

621.01(075.01)
7 508

Горбатюк Є.О., Мазур М.П.,
Зенкін А.С., Каразей В.Д.

ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник*

50.1.862

Сумський державний університет
БІБЛІОТЕКА
ЧИТАЛЬНИЙ ЗАЛ №1

Сумський державний університет
БІБЛІОТЕКА

“Новий світ – 2000”
Львів – 2009

УДК 621(072)
ББК 34.5я7
Г 67

Відтворення цієї книги або будь-якої її частини заборонено без письмової згоди видавництва. Будь-які спроби порушення авторських прав будуть переслідуватися у судовому порядку.

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(Лист №1 4/18-Г-1787 від 23. 10. 2007р.)*

Рецензенти:

Гавриш А.П., д.т.н., професор кафедри Технології машинобудування НТУУ «Київський політехнічний інститут»;

Скиба М.Є., д.т.н., професор, завідувач кафедри «Машини та апарати», ректор Хмельницького національного університету ;

Петко І.В., д.т.н., професор кафедри Електромеханічних систем Київського національного університету технологій та дизайну.

Г 67 Горбатюк Є.О., Мазур М.П., Zenkin A.C., Каразей В.Д.
Технологія машинобудування: Навчальний посібник – Львів:
“Новий Світ – 2000”, 2009. – 358 с.

ISBN 978-966-418-094-5

Навчальний посібник підготовлено на основі робочої програми з курсу “Технологічні основи машинобудування” професійного напрямку “Інженерна механіка”, для студентів, які навчаються за спеціальностями приладобудування, легкої і харчової промисловості, та студентів, які не вивчають предмети, що забезпечують вивчення курсу “Технологія машинобудування”. У навчальному посібнику надані основні відомості з основ технології машинобудування, способів механічної обробки деталей машин на металорізальних верстатах, конструкції і матеріалів інструментів та розробки типових технологічних процесів складання складальних одиниць машин і механізмів.

© Горбатюк Є.О., Мазур М.П.,
Zenkin A.C., Каразей В.Д., 2009
© “Новий Світ – 2000”, 2009

ISBN 978-966-418-094-5

Вступ

Коротка історична довідка

Машинобудування є базовою галуззю народного господарства, що визначає рівень розвитку галузей: легкої промисловості, сільського господарства, енергетики, транспорту, побуту, сфери обслуговування тощо.

В існуючих умовах розвитку суспільства в період переходу від великих підприємств, оснащених старою технологією, до сучасних, в більшості приватних, одним із самих значимих факторів технічного прогресу в машинобудуванні, приладобудуванні та легкій промисловості є удосконалювання технології виробництва за рахунок створення кращих засобів праці, розробки принципово нових технологій.

Сучасні досягнення науки і техніки стали можливі завдяки творчості і творчій діяльності багатьох поколінь фахівців техніки. У різні історичні періоди людина постійно пізнавала закони природи, робила різні винаходи, вела завзяту боротьбу за нові технічні та наукові ідеї.

Після розпаду феодалізму у всіх європейських країнах стала швидко розвиватися велика машинна капіталістична промисловість. За період ХІХ ст. буржуазне суспільство створило більші продуктивні сили ніж усі попередні покоління разом узяті.

Велика машинна індустрія історично змінила мануфактуру не відразу, а на протязі визначеного часу, неоднакового в різних країнах світу за тривалістю, тому що капіталізм у всіх країнах розвивався не одночасно.

Процес переходу мануфактурного виробництва на рейки машинної техніки та мануфактурної організації праці до фабричної системи відомий в історії, як промисловий переворот або промислова революція.

Перший етап промислової революції був пов'язаний з появою робочих машин у текстильному виробництві.

Другий етап промислової революції почався з винаходу універсального теплового двигуна, тобто парової машини.

Третій етап промислової революції був пов'язаний зі створенням робочих машин у машинобудуванні, тобто з винаходом супорта та різцегримача.

У кожній країні промисловий переворот мав свої особливі, специфічні риси, але техніка, створена в Англії в епоху промислового перевороту, була новаторською, ведучою та впливала на технічний розвиток інших країн.

Техніка текстильного виробництва в першій третині XVIII ст. усе ще залишалася на рівні мануфактурного періоду, а з початку 30-х років XVIII ст. починають з'являтися перші значні, хоча практично ще не зовсім зручні для експлуатації, винаходи в області прядіння і ткацтва.

У 1733 р. англійський робітник-сукнороб Джон Кей (1704–1774) винайшов механічний човник, застосування якого набагато зрушило вперед техніку ручного ткацтва.

У процесі подальшого розвитку цих верстатів видатну роль зіграв англієць Едмунд Картрайт, що у 1785 р. створив першу, а в 1792 р. другу конструкцію ткацького верстата, що забезпечує механізацію всіх основних операцій ручного ткацтва. Велике досягнення Картрайта – застосування для роботи ткацького верстата парового двигуна.

Значним досягненням у розвитку текстильного виробництва і великою подією в удосконалюванні робочих машин з'явився винахід французом Жаккаром у 1804 р. верстата для візерункового тkania. Машина Жаккара забезпечувала тkania різнобарвними нитками, автоматично виконуючи різні візерунки. Перехід на новий візерунок полягав у зміні програмуєної перфокарти, що забезпечувало підвищення продуктивності праці та звільнення робітника від важкої фізичної праці.

У середині XIX ст. у Росії різко підвищується попит на тканини, що дало поштовх розвитку текстильної промисловості. Спроби механізувати процеси ручного прядіння були початі в льонопрядінні Родіоном Глінковим ще в 1761 р. Його винахід дозволяв збільшити продуктивність праці в 15 разів.

З розвитком мануфактурного виробництва почало розвиватися і удосконалюватися машинобудівне виробництво.

Виробництво деталей і простих виробів за давніх часів було примітивним. Одним з досягнень того часу з'явилося використання обертового каменю – прообразу заточувального верстата. Надалі обертальний рух застосували для виготовлення керамічних виробів і виробів циліндричної форми з дерева, кісток тварин і, нарешті, з металу. Поряд із пристроями, що задають рух різальному інструменту, з'явилися пристосування, які задають рух оброблюваній заготовці. Прообразом примітивного токарного верстата виявився лук, що обертає виріб за допомогою тятиви; кремінний різець тримали вручну. Поступово був створений найпростіший тип токарного верстата з кінним приводом і, як і раніше, з ручним утримуванням різального інструменту.

“Технологія машинобудування”, як навчальна дисципліна

Розвитку та формуванню навчальної дисципліни “Технологія машинобудування”, як прикладної науки, передував безупинний прогрес машинобудування протягом останніх двох сторіч.

Ступінь прогресу визначала інтенсивність вивчення виробничих процесів, а, отже, і наукове їх узагальнення з установленням закономірностей у технології механічної обробки та збирання.

Початок вивчення технологічних процесів, тобто способів обробки заготовок, у результаті яких виходить готовий виріб, що відповідає за розмірами, формі і якості поверхні вимогам, які запропоновані до його роботи, відноситься до перших років минулого сторіччя. У 1804 р. акад. В.М. Севергін сформулював основні положення про технологію, а у 1817 р. проф. Московського університету І.А. Двигубський видав книгу “Начальные основания технологии, как краткое описание работ на заводах и фабриках производимых”, Першою капітальною працею, присвяченою технології металообробки, є тритомна праця проф. І.А. Тіме “Основы машиностроения. Организация машиностроительных фабрик в техническом и экономическом отношении и производство в них работ” (1885).

І.А. Тіме вперше сформулював основні закони різання та встановив правильне розуміння сутності цього процесу, як послідовного сколювання окремих елементів металу. Але найбільший внесок у цю галузь науки вніс на початку ХХ ст. американський інженер Ф. Тейлор, що зовсім по іншому підійшов до питання різання металів. Він ставив перед собою задачу визначити умови найбільш вигідної обробки металів різанням залежно від таких факторів, як швидкість різання, стійкість інструменту, глибина різання та подача.

Основні результати своїх 26-літніх експериментальних і теоретичних досліджень Тейлор виклав у книзі “Уміння різання металів”, що багато років була настільною книгою багатьох технологів.

Тейлор винайшов швидкорізальну сталь, що дала можливість набагато збільшити швидкість різання металів, сформулював і практично використовував у машинобудуванні основи наукової організації праці.

Головною проблемою технології машинобудування, як науки, є вивчення закономірностей протікання технологічних процесів, виявлення

найбільш ефективних параметрів підвищення якості виробів, рентабельності та інтенсифікації виробництва. У вирішенні цієї проблеми відома роль приділяється розрахунково-аналітичному методу визначення точності обробки, якому присвячені роботи багатьох радянських учених – професорів В.А. Кована, В.І. Комісарова, В.С. Корсакова, А.А. Маталіна, А.П. Соколовського тощо. Особливістю цього методу є всебічний аналіз елементарних похибок і виявлення з його допомогою технологічних закономірностей і можливості прогнозування одержуваної величини сумарної похибки. У наш час виникла необхідність у синтезі двох методів: розрахунково-аналітичного методу визначення точності обробки і методу статистичних досліджень.

У дослідженнях радянських учених – професорів А.М. Дальського, А.А. Магаліна, М.В. Медвідя, А.В. Подзея, А.С. Пронікова, Е.В. Рижова, В.О. Остафєва тощо, використовувалися явища технологічної спадковості, які припускають, що стосовно до високоточних деталей необхідно розглядати всю сукупність технологічних операцій, виявляти зв'язок і взаємозв'язок параметрів, що діють на попередніх і наступних операціях. У 1959 р. вийшла книга "Основы технологии машиностроения" В.М. Кована, що містить основні наукові положення технології машинобудування і методика технологічних розрахунків, загальних для різних галузей машинобудування. Першу книгу по технології машинобудування українською мовою написав д.т.н. професор Львівського Національного університету Львівська політехніка завідувач кафедри технології машинобудування Медвідь М.В., що вийшла у світ в 1976 р. під назвою "Теоретичні основи технології машинобудування".

Великий вклад в розробку теорії та конструкції автоматизації і механізації виробничих процесів внесли вчені Львівського Національного університету Львівська політехніка Рабинович А.Н., Повидайло В.О. та академік Хмельницького Національного університету Сілін Р.І.

Підручник, який пропонується вашій увазі, написаний відповідно до навчальних програм для студентів інженерних спеціальностей, спрямований на легку промисловість, приладобудування, харчову промисловість де вивчають технологію виготовлення деталей машин, збирання машин та їх ремонт. Тут розглянуті питання основ технології виробництва типових деталей машин та їх збирання, показані перспективи розвитку технології машинобудування легкої промисловості.

Основні поняття, терміни і визначення

1.1. Технологічні особливості машинобудування

Серед багатьох властивостей машин різних галузей народного господарства особливу увагу приділяють технологічності, точності і їх надійності. Технологічність конструкції виробу – сукупність властивостей, що визначають її придатність до досягнення оптимальних витрат при виробництві, експлуатації і ремонті для заданих показників якості, обсягу випуску і умов виконання робіт (ГОСТ 14.205–83). Технологічну конструкцію характеризують: найменша трудомісткість виготовлення виробу і найкоротший виробничий цикл; найбільша уніфікація і нормалізація агрегатів, вузлів, деталей та їх елементів; великі можливості застосування найбільш простих і раціональних операцій.

Технологічність деталей визначається їхньою формою, вибором матеріалів, методом отримання заготовки і способом обробки при заданих масштабах і умовах виробництва. При конструюванні деталей варто домагатися зменшення і спрощення механічної обробки. Її можна зменшити, застосовуючи заготовки, близькі за формою і розмірами до готової деталі, скороченням кількості розмірів оброблюваних поверхонь, а обробляти слід тільки ті з них, які дійсно мають потребу в більшій точності і чистоті, ніж одержані в заготовці. Допуски на виготовлення деталі і шорсткість поверхні призначають з умов отримання посадки з'єднання.

Технологічність конструкції визначають конструктивні, технологічні та експлуатаційні властивості. Технологічна конструкція дозволяє застосовувати економічні техпроцеси при виготовленні, вона надійна в роботі і проста в обслуговуванні при експлуатації. Поверхні деталей, що підлягають механічній обробці, повинні являти собою найпростіші тіла обертання чи площини і бути паралельними чи перпендикулярними одна до одної. Криволінійні поверхні утрудняють обробку, змушуючи застосовувати спеціальне устаткування чи верстати із програмним керуванням. Деталі повинні закріплюватися на верстатах швидко і зручно, що досягається правильним вибором установчих баз. Конструкція деталі повинна забезпечувати легкий доступ до всіх поверхонь при обробці та контролі.

При конструюванні деталей передбачають виконання вимог складання. Конструкція деталей повинна забезпечувати зручне і доступне складання. Зручність її полягає в застосуванні простих виробничих прийомів, що не вимагають спеціальних інструментів і пристосувань; місця складання і установки деталей і вузлів повинні бути відкритими і доступними для складання, регулювання і контролю. Механічна обробка і пригнаняльні роботи при складанні повинні бути мінімальними. При проектуванні машини потрібно передбачати розподіл її на самостійні і взаємозамінні складальні вузли, паралельне складання основних вузлів.

Технологічність конструкції визначається не тільки трудомісткістю виготовлення деталей та їх складання, але і матеріалоємністю. Коефіцієнт використання матеріалу дозволяє судити не тільки про витрати матеріалів, але і про те, наскільки правильно обрані методи отримання заготовки, тобто скільки металу йде у відходи при механічній обробці заготовок. При оцінці технологічності враховується ступінь уніфікації і нормалізації деталей і вузлів. Максимальне використання уніфікованих і нормалізованих деталей і вузлів зменшує трудомісткість виготовлення, експлуатації і ремонту машин. Технологічність конструкції виробу розглядають як комплексне рішення задачі, що враховує вимоги до всіх стадій проектування і виготовлення дослідного зразка. Заходи щодо підвищення технологічності конструкцій різноманітні. Найважливішою умовою отримання таких конструкцій є стандартизація і нормалізація.

Для виготовлення деталей застосовуються матеріали з заданими властивостями, шорсткість поверхні деталей і точність їх виготовлення заздалегідь обумовлені. Це забезпечує для даних з'єднань найбільш сприятливі умови змащування, розподілу навантаження, типи посадок тощо.

Точність – основна характеристика машин взуттєвої, швейної і трикотажної промисловості. Досягнута точність оцінюється величиною похибки, а запропонована – визначається допуском. В умовах серійного чи масового випуску машин усі їх частини необхідно проектувати і виготовляти так, щоб забезпечити необхідну якість готових виробів, складання виробу без підгінних чи сортувальних операцій, заміну частин, що вийшли з ладу, новими без підбору чи припасування.

Тривалість роботи машин і механізмів оцінюють терміном служби або довговічністю. У межах цього терміну бувають несправності, після усунення яких, машина знову відповідає вимогам, які до неї пред'явлені.

Роботу машини характеризує надійність – властивість машини чи механізму зберігати свої параметри в заданих межах при експлуатації. На відміну від довговічності, надійність є вимогою, що відноситься до усіх виробів, і кількісні характеристики надійності враховуються в технічних умовах. Здійснення цих характеристик надалі залежить від якості виробничих процесів і від якості складання, що визначає якість виробу.

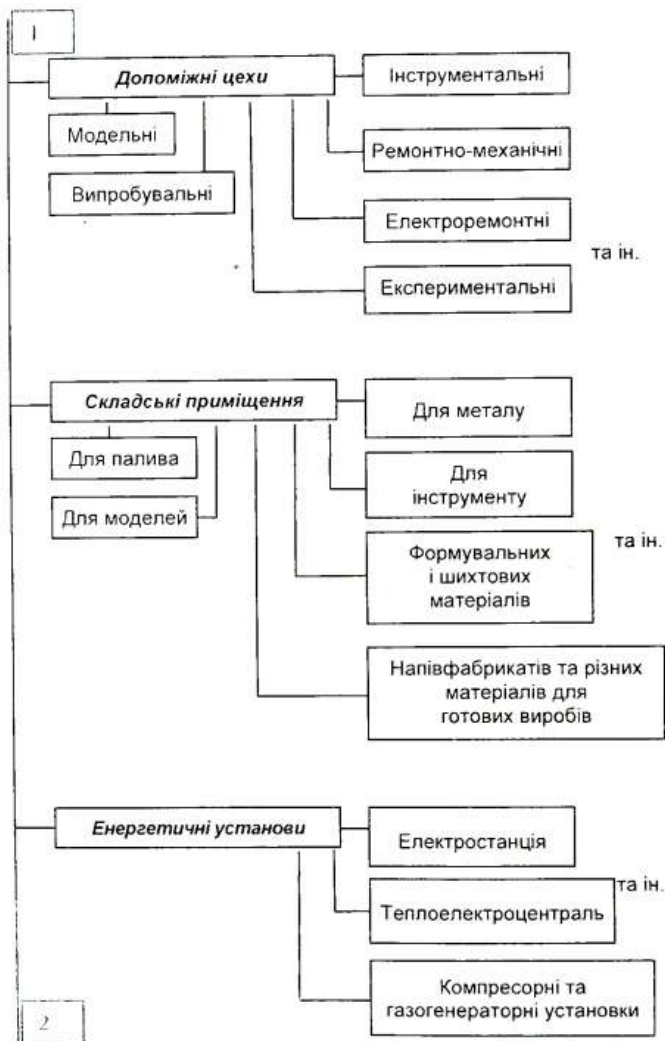
1.2. Машинобудівний завод, його призначення і структура

Машинобудівні заводи складаються з різних дільниць та окремих виробничих одиниць, які називаються цехами.

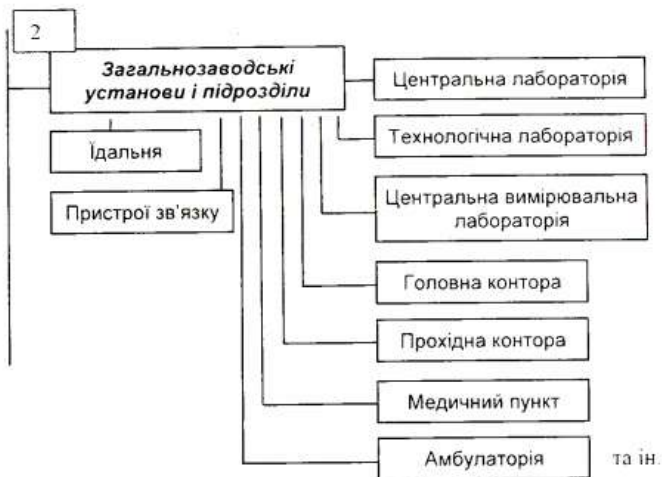


Рис. 1.1 – Структурна схема машинобудівного заводу

Продовження структури машинобудівного заводу



Продовження структури машинобудівного заводу



Склад цехів, дільниць і споруд заводу визначається обсягом випуску продукції, характером технологічних процесів, вимогами до якості виробів і інших виробничих факторів, а також значною мірою ступенем спеціалізації виробництва і кооперування заводу з іншими підприємствами і суміжними виробництвами.

Спеціалізація припускає зосередження великого обсягу випуску строго визначених видів продукції на кожному підприємстві.

Кооперування передбачає забезпечення заготовками (вилівками, поковками, штампівками), комплектуючими агрегатами, різними приладами і пристроями, виготовленими на інших спеціалізованих підприємствах.

Якщо машинобудівний завод буде одержувати вилівки в порядку кооперування, то в його складі не буде ливарних цехів. Наприклад, деякі верстатобудівні заводи одержують вилівки зі спеціалізованого ливарного заводу, що постачає споживачів литтям у централізованому порядку. Склад енергетичних і санітарно-технічних пристроїв заводу також може бути різним у залежності від можливості кооперування з іншими промисловими і комунальними підприємствами по постачанню електроенергією, газом, паром, стисненим повітрям для транспорту.

водопроводу, каналізації тощо. Подальший розвиток спеціалізації й у зв'язку з цим широке кооперування підприємств значно відобразяться на виробничій структурі заводів. У багатьох випадках у складі машинобудівних заводів не передбачаються ливарні і ковальсько-штампувальні цехи, цехи з виготовлення кріпильних деталей тощо, тому що заготовки, металовироби та інші деталі поставляються спеціалізованими заводами. Багато заводів масового виробництва в порядку кооперування зі спеціалізованими заводами також можуть забезпечуватися готовими вузлами і агрегатами (механізмами) для машин, що випускаються, наприклад, автомобільні і тракторні заводи – готовими двигунами тощо.

1.3. Виріб і його елементи

Виробничий процес машинобудівного заводу забезпечує випуск готового виробу встановленої якості.

Виробом називають будь-який предмет чи набір предметів виробництва, що підлягають виготовленню на підприємстві (ГОСТ 2.101–68). Виробами є різні машини, механізми, агрегати і окремі деталі. Наприклад, для верстатобудівного заводу виробом є верстат, для електромеханічного – електродвигун, для підшипникового – підшипник, для інструментального – інструмент, прес-форма тощо.

Вироби, виготовлені для постачання (реалізації), відносяться до виробів основного виробництва. Виробами основного виробництва вважають також такі, котрі призначені для постачання (реалізації) і одночасно використовуються і для власних нестатків підприємства-виготовлювача.

Якщо підприємства виготовляють вироби тільки для власних потреб, то ці вироби є виробами допоміжного виробництва.

Залежно від наявності складових частин, вироби поділяються на наступні види:

- ✎ не специфіковані (деталі) – не мають складових частин;
- ✎ специфіковані (складальні одиниці, комплекси, комплекти), що складаються з двох і більше частин.

Відповідно до ГОСТ 2.101–68 установлені чотири види виробів:

1) деталі – вироби, виготовлені з однорідного по найменуванню і марці матеріалу без застосування складальних операцій. Наприклад: валик з одного відрізка матеріалу, литий корпус, кришка, зубчасте колесо тощо;

2) складальні одиниці – вироби, складові частини яких підлягають з'єднанню між собою на підприємстві-виготовлювачі шляхом складальних операцій, наприклад, автомобіль, двигун внутрішнього згоряння, електродвигун, холодильник, швейна машина, корпус тощо;

3) комплекси – два і більше специфікованих виробів, несполучених між собою на підприємстві-виготовлювачі складальними операціями, але призначених для виконання взаємозалежних експлуатаційних функцій, наприклад, цех-автомат, автоматична лінія, бурильна установка, верстат із ЧПК з електронними стійками тощо;

4) комплекти – два і більше виробів, не з'єднаних на підприємстві-виготовлювачі складальними операціями, і виробів, що представляють набір, що має загальне експлуатаційне призначення допоміжного характеру, наприклад, комплект запасних частин, комплект інструментів тощо.

1.4. Характеристика машинобудівного виробництва

1.4.1. Виробничий і технологічний процеси

Під *виробничим процесом* розуміють сукупність окремих процесів, здійснюваних для отримання з матеріалів і напівфабрикатів готових машин (виробів).

У виробничий процес входять не тільки основні процеси, безпосередньо пов'язані з виготовленням деталей і складанням із них машин, але і всі допоміжні процеси, що забезпечують можливість виготовлення продукції (наприклад, транспортування матеріалів і деталей, контроль деталей, виготовлення пристосувань та інструменту, загострення останнього тощо).

Технологічним процесом називають послідовну зміну форми, розмірів, властивостей матеріалу чи напівфабрикату з метою отримання деталі або виробу відповідно до заданих технічних вимог.

Технологічний процес механічної обробки деталей є частиною загального виробничого процесу виготовлення всієї машини.

Виробничий процес складається з окремих процесів, які забезпечують виготовлення виробу (рис. 1.2).

На кожному етапі виробничого процесу, по окремих операціях технологічного процесу, здійснюється контроль за виготовленням деталей відповідно до технічних умов, які пред'явлені до деталі для забезпечення належної якості готової машини (виробу).

Технологічний процес механічної обробки деталей повинний проектуватися і виконуватися таким чином, щоб за допомогою найбільш раціональних і економічних способів обробки задовольнялися вимоги до деталей (точність обробки і шорсткість поверхонь, взаємне розташування осей і поверхонь, правильність контурів тощо), що забезпечують правильну роботу зібраної машини.

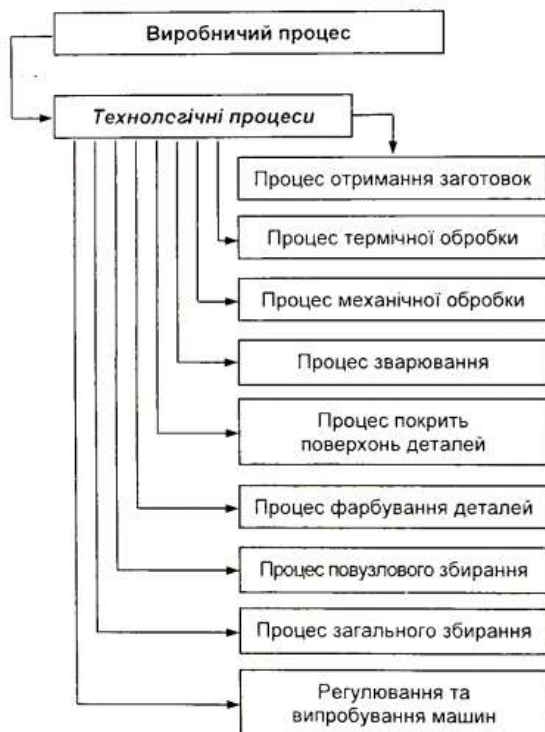


Рис. 1.2 – Структура виробничого процесу

Згідно з ГОСТ 3 1109–82 технологічний процес може бути: простим, комплексним, робочим, перспективним, одиничним, маршрутним, типним, операційним, стандартним, маршрутно-операційним.

1.4.2. Структура технологічного процесу механічної обробки

З метою забезпечення найбільш раціонального процесу механічної обробки заготовки складається план обробки з позначенням поверхонь, які необхідно обробити, у якій послідовності і якими способами.

У зв'язку з цим весь процес механічної обробки поділяється на окремі складові частини: технологічні операції, установи, переходи, проходи, позиції, прийоми. Структура технологічного процесу механічної обробки показана на рис.1.3. *Технологічною операцією* називають частину технологічного процесу, яка виконується на одному робочому місці і займає всі послідовні дії робітника (або групи робітників) і верстата з обробки заготовки (однієї чи декількох одночасно).



Рис.1.3. – Структура технологічного процесу механічної обробки

Технологічний перехід – закінчена частина технологічної операції, яка характеризується сталістю застосовуваного інструменту, оброблюваної поверхні і режиму роботи верстата.

Допоміжний перехід – закінчена частина технологічної операції, що складає дії людини і (чи) устаткування, що не супроводжуються зміною форми, розмірів і шорсткості поверхні. Він необхідний для зміни положення деталі при переході від обробки однієї поверхні до іншої, наприклад, обточування вала, виконуване послідовно спочатку на одному

кінці, а потім після повороту, тобто переустановки вала в центрах, без зняття його з верстага, – на іншому кінці, є однією операцією, яка виконується за два установи.

Установом називають частину операції, яка виконується при одному закріпленні заготовки (чи декількох одночасно, які обробляються) на верстаті чи в пристосуванні, чи складальній одиниці, що збирається.

Так, наприклад, обточування вала при закріпленні в центрах – перший установ; обточування вала після його переустановки і закріплення в центрах для обробки протилежного кінця – другий установ.

Встановлена і закріплена заготовка може змінювати своє положення на верстаті щодо його робочих органів під впливом дії поворотних пристроїв, займаючи нову позицію.

Позицію називають кожне окреме положення заготовки, що вона займає щодо верстага при незмінному її закріпленні.

Наприклад, при обробці на багатшпиндельних напівавтоматах і автоматах деталь при одному її закріпленні займає різні положення щодо верстага шляхом обертання столу (чи барабана), що послідовно підводить деталь до різних інструментів, при послідовному свердленні отворів у кришках по кондукторній плиті з поворотом кришки відносно своєї вісі.

Операція розділяється на переходи – технологічні і допоміжні. Технологічні переходи застосовуються для безпосереднього зняття стружки, зміни розміру, настроювання інструменту на розмір його переміщення тощо. Прикладами допоміжних переходів є установка заготовки, зміна інструменту тощо.

Зміна тільки одного з перерахованих елементів (поверхні, що обробляється, інструменту чи режиму різання) визначає новий перехід.

Перехід складається з робочих та допоміжних ходів. Під робочим ходом розуміють частину технологічного переходу, що охоплює всі дії, пов'язані зі зняттям одного шару матеріалу при одних і тих же: інструменті, поверхні обробки і режимі роботи верстага.

На верстагах, що обробляють тіла обертання, під *робочим ходом* розуміють безупинну роботу інструменту, наприклад, на токарному верстаті – зняття різцем одного шару стружки безупинно, на стругальному верстаті – зняття одного шару металу по всій поверхні.

Якщо шар матеріалу не знімається, а піддається пластичній деформації (наприклад, при утворенні рифлень чи при обкатуванні поверхні

гладким роликом з метою її ущільнення), також застосовують поняття робочого ходу, як і при знятті стружки.

Допоміжний хід – закінчена частина технологічного переходу, що складається з однократного переміщення інструменту щодо заготовки, не супроводжуваного зміною форми, розмірів, шорсткості поверхні або властивостей заготовки, але необхідного для виконання робочого ходу.

Усі дії робітника, які він виконує при виконанні технологічної операції, розділяються на окремі прийоми.

Під прийомом розуміють закінчену дію робітника. Звичайно прийомами є допоміжні дії, наприклад установка або зняття деталі, пуск верстата, перемикання швидкості чи подачі тощо, а всі розглянуті поняття "приймів" використовуються при технічному нормуванні операції.

У план механічної обробки включають також проміжні роботи – контрольні, слюсарні тощо, необхідні для подальшої обробки, наприклад спайка, складання двох деталей, запресовування деталей, що з'єднуються, термічна обробка тощо; остаточні операції для інших видів робіт, які виконуються після механічної обробки, вносяться в план відповідних видів обробки.

Операціям у технологічній документації призначають порядкові номери через п'ять цифр або через десять, наприклад, перша операція – 005, друга – 010 або 010, 020, 030, а переходи нумеруються арабськими цифрами по порядку номерів. Нумерація операцій через п'ять чи десять цифр виконується з метою забезпечення запасу номерів при необхідності внесення змін в техпроцес і додаткових операцій, наприклад, операція 004 чи операції 006, 011, 017 і т.д., що дозволяє вносити зміну в технологічний процес не змінюючи порядкові номери операцій розробленого маршруту обробки. Порядкові номери переходів у кожній операції, починають з першого номера.

Установи позначаються буквами, причому в кожній операції літерне позначення починається з першої букви алфавіту, наприклад, установ А. Проходи знаками не позначають, але вказують їх кількість.

Зміст операцій і переходів з вказуванням їхніх номерів і літерних позначень установів, найменування устаткування, пристосувань, інструментів, режимів роботи, норм часу та інших даних, необхідних для виконання технологічного процесу, вказуються в технологічній документації.

Сумський державний університет

БІБЛІОТЕКА

ЧИТАЛЬНИЙ ЗАЛ №1

коротко за видом обробки, наприклад: токарна, фрезерна, свердлильна, шліфувальна тощо; переходи вик-

падаються докладно з вказуванням найменування в приказній формі, наприклад: "Точити поверхню...", "Фрезерувати...", і порядкового номера або розміру оброблюваної поверхні.

Для більш зрозумілого і повного уявлення плану і способу обробки технологічний процес ілюструється графічними зображеннями (ескізами) переходів обробки з виділенням поверхонь обробки жирними лініями, вказуванням базових поверхонь, точності обробки розміру і чистоти поверхні.

1.4.3. Види (типи) виробництва і характеристика їх технологічних процесів. Організаційні форми виробництва

Залежно від розміру виробничої програми, характеру продукції, а також технічних і економічних умов здійснення виробничого процесу всі різноманітні виробництва умовно поділяються на три основних види (або типи):

- а) одиничне (індивідуальне);
- б) серійне, яке у свою чергу поділяється на:
 - дрібносерійне;
 - середньoserійне;
 - багатoserійне (крупносерійне);
- в) масове потокове і прямоточне.

У кожного з цих видів виробничий і технологічний процеси мають свої характерні риси і кожному з них властива визначена форма організації роботи.

Необхідно відзначити, що на тому самому підприємстві і навіть у тому самому цеху можуть існувати різні види виробництва, тобто окремі вироби або деталі можуть виготовлятися на заводі чи в цеху по різних технологічних принципах: технологія виготовлення одних деталей відповідає одиничному виробництву, а інших – масовому, чи одних – масовому, а інших – серійному тощо. Так, наприклад, у важкому машинобудуванні, що має характер одиничного виробництва, дрібні деталі, що потребуються у великій кількості, можуть виготовлятися за принципом серійного і навіть масового виробництва.

Таким чином, характеризувати виробництво всього заводу чи цеху в цілому можна тільки за ознакою переважного характеру виробничих і технологічних процесів.

Одиничним називають таке виробництво, при якому вироби виготовляються одиничними екземплярами, різноманітними по конструкції чи розмірах, причому повторюваність цих виробів рідкісна або і зовсім відсутня.

Одиничне виробництво універсальне, тобто охоплює різнохарактерні типи виробів, тому воно повинно бути дуже гнучким, пристосованим до виконання різноманітних завдань. Для цього завод повинен мати у своєму розпорядженні комплект універсального устаткування, що забезпечує виготовлення виробів порівняно широкої номенклатури. Цей комплект устаткування повинен бути підібраний таким чином, щоб, з одного боку, можна було застосовувати різні види обробки, а з іншого боку – щоб, кількісне співвідношення окремих видів устаткування гарантувало визначену пропускну здатність заводу.

Технологічний процес виготовлення деталей при цьому виді виробництва має ущільнений характер: на одному верстаті виконуються кілька операцій і часто виконується повна обробка деталей різноманітних конструкцій та з різних матеріалів. Через різнохарактерність робіт, виконуваних на одному верстаті, і неминучості внаслідок цього в кожному випадку підготовки та налагодження верстата для нової роботи основний (технологічний) час у загальній структурі норми часу невеликий.

Пристосування для обробки деталей на верстатах мають тут універсальний характер, тобто можуть бути використані в різноманітних випадках (наприклад, лещата для кріплення деталей, косинці, прихвати тощо). Спеціальні пристосування не застосовують чи застосовують рідко, тому що значні витрати на їхнє виготовлення економічно не виправдовуються.

Необхідний при цьому виді виробництва різальний інструмент також повинен бути універсальним (стандартні свердла, зенкери, фрези, різці звичайних типів тощо), тому що через розмаїтість оброблюваних деталей застосування спеціального інструменту економічно недоцільно.

Так само і вимірювальний інструмент, який використовують при вимірюванні деталей, повинний бути універсальним, тобто вимірювати деталі різноманітних розмірів; у цьому випадку широко застосовують штангенциркулі, мікрометри, нутроміри, штихмаси, індикатори та інші універсальні вимірювальні засоби.

Різноманітність виготовлених виробів, нерівномірність за часом надходження у виробництво більш-менш подібних конструкцій, розходження вимог, пропозованих до виробу у відношенні точності

обробки деталей і якості застосовуваних матеріалів, необхідність завдяки розмаїтості деталей виконання різних операцій на універсальному устаткуванні – усе це створює особливі умови успішної роботи цехів і всього заводу, характерні для одиничного виробництва.

Зазначені особливості цього виду виробництва обумовлюють відносно високу собівартість виробів, що випускаються. Збільшення потреби в цій продукції з одночасним зменшенням її номенклатури і стабілізацією конструкцій виробів створює можливість переходу від одиничного виробництва до серійного.

Одиничне виробництво існує у важкому машинобудуванні, на суднобудівних верфях, на підприємствах, що випускають складне устаткування для хімічних і металургійних заводів, у ремонтних цехах тощо.

Серійне виробництво займає проміжне положення між одиничним і масовим виробництвом.

При серійному виробництві вироби виготовляють партіями чи серіями, що складаються з однойменних, однотипних по конструкції й однакових по розмірах виробів, що запускаються у виробництво одночасно. Основним принципом цього виду виробництва є виготовлення всієї партії (серії) цілком як в обробці деталей, так і в збиранні.

Поняття "партія" відноситься до кількості деталей, а поняття "серія" – до кількості машин, що запускаються у виробництво одночасно. Кількість деталей у партії і кількість машин у серії можуть бути різними.

У серійному виробництві залежно від кількості виробів у серії, їхнього характеру і трудомісткості, частоти повторюваності серій протягом року розрізняють виробництво дрібносерійне, середньо серійне і багатосерійне. Такий розподіл є умовним для різних галузей машинобудування: при тій самій кількості машин у серії, але різних розмірів, складності і трудомісткості виробництво може бути віднесене до різних видів (табл. 1).

Таблиця 1.1 – Умовне розподілення кількості машин за серійністю

Вид виробництва	Кількість машин у серії		
	Великих	Середніх	Малих
Дрібносерійне	2...5	6...25	10...50
Середньосерійне	6...25	26...150	51...300
Багатосерійне	> 25	> 150	> 300

У серійному виробництві технологічний процес переважно диференційований, тобто розчленований на окремі операції, що закріплені за визначеними верстатами.

Верстати тут застосовуються різноманітних видів: універсальні, спеціалізовані, спеціальні, автоматизовані, агрегатні і з числовим програмним керуванням. Верстатний парк повинний бути спеціалізований у такій мірі, щоб був можливий перехід від виробництва однієї серії машин до виробництва інших, що трохи відрізняється від першої в конструктивному відношенні.

При використанні універсальних верстатів повинні широко застосовуватися спеціалізовані і спеціальні пристосування, спеціалізований і спеціальний різальний інструмент і, нарешті, вимірювальний інструмент у виді граничних (стандартних і спеціальних) калібрів і шаблонів, що забезпечують взаємозамінність оброблених деталей. Усе це устаткування та оснащення в серійному виробництві можна застосовувати досить широко, тому що при повторюваності процесів виготовлення тих самих деталей зазначені засоби виробництва дають техніко-економічний ефект, що з великою вигодою окупає витрати на них. Однак, у кожному окремому випадку при виборі спеціального чи спеціалізованого верстата, виготовленні дорогого пристосування або інструменту необхідно підрахувати витрати та очікуваний техніко-економічний ефект.

Серійне виробництво більш економічне, ніж одиничне, тому що ефективніше використання устаткування, спеціалізація робітників, збільшення продуктивності праці забезпечують зменшення собівартості продукції.

Серійне виробництво є найбільш розповсюдженим видом виробництва в загальному і середньому машинобудуванні. До цього виду виробництва відносяться: верстатобудування, виробництво пресів, компресорів, насосів, вентиляторів, текстильних машин, деревообробних верстатів, устаткування для харчової і лісової промисловості, для комунального господарства, транспорту тощо.

Масовим називається виробництво, у якому при досить великій кількості однакових випусків виробів виготовлення їх ведеться шляхом безупинного виконання на робочих місцях тих самих постійно повторюваних операцій.

Масове виробництво є наступних видів:

а) поточно-масове виробництво, при якому здійснюється безперервність руху деталей по робочих місцях, розташованих у порядку послідовності виконання технологічних операцій, закріплених за окремими робочими місцями, які виконуються приблизно в однаковий проміжок часу, що відповідає такту випуску деталей (або кратний такту):

б) масове прямоточне виробництво, при якому технологічні операції також виконуються на окремих робочих місцях, розташованих у порядку операцій, але час на виконання окремих операцій не завжди однаковий (чи кратний такту), внаслідок чого біля деяких верстатів накопичуються деталі, рух яких протікає з перервами. Під тактом розуміють час через який повторюються окремі операції, наприклад: час через який з конвеєра сходить готовий виріб або робітник завершує операцію збирання, чи на конвеєр установлюється нова базова деталь.

Масове виробництво можливе і економічно вигідне при випуску досить великої кількості виробів, коли усі витрати на організацію масового виробництва викупляються і собівартість одиниці продукції, що випускається, менша, ніж при серійному виробництві.

До умов, що визначають ефективність масового виробництва, відносяться насамперед обсяг виробничої програми і спеціалізація заводу на визначених типах виробів, причому найбільш сприятливою умовою масового виробництва є така спеціалізація, коли у виробництві знаходиться один тип, одна конструкція виробу.

Однак вироби масового виробництва з часом і розвитком техніки, моральним старінням техніки все-таки піддаються конструктивним змінам з метою поліпшення їхніх експлуатаційних якостей чи у зв'язку з вимогами технологічного характеру. У таких випадках технологічний процес приходиться перебудовувати.

При масовому і багатосерійному виробництві технологічний процес будується за принципом диференціації або за принципом концентрації операцій.

За першим принципом технологічний процес диференціюється (розчленовується) на елементарні операції з приблизно однаковим часом виконання (тактом) чи кратним такту; кожен верстат виконує одну визначену операцію. У зв'язку з цим верстати тут застосовуються спеціальні та вузькоспеціалізовані; пристосування для обробки повинні бути також спеціальними, призначеними для обробки тільки одного

типу деталі на одній операції. Часто таке спеціальне пристосування є невід'ємною частиною верстата.

За другим принципом технологічний процес передбачає концентрацію операцій, виконуваних на багатшпиндельних автоматах, напівавтоматах, агрегатних, верстатах з ЧПК, багатопозиційних, багаторізцевих верстатах, окремо на кожному верстаті або на автоматизованих верстатах, пов'язаних в одну лінію (автоматичні лінії), що виконують одночасно кілька операцій при малій витраті основного (технологічного) часу. Подібні верстати все ширше впроваджуються у виробництво; особливо широке застосування вони одержали в автомобільному і тракторному виробництві.

Різальний інструмент для виконання визначених операцій застосовується переважно спеціальний і спеціалізований.

Як вимірювальний інструмент, що гарантує взаємозамінність деталей, застосовують граничні калібри, а також вимірювальні прилади, пристосування і автоматичні вимірювальні пристрої, що заміряють розміри поверхонь деталі в процесі їх обробки на верстатах. Завдяки цим пристроям підвищується продуктивність верстатів, тому що виключається необхідність їх зупинки для виміру деталей і представляється можливість одночасного обслуговування декількох верстатів, оснащених такими автоматичними пристроями для виміру. Такі пристрої можуть коректувати положення інструменту відносно поверхні, яка обробляється, компенсуючи знос інструменту і інші фактори, які впливають на точність та забезпечують стовідсотковий вихід якісних деталей.

Технічна організація масового виробництва повинна бути досконалою. Як раніше зазначалось, технологічний процес повинен бути розроблений детально і точно у відношенні як методів обробки, так і розрахунків основного (технологічного) та допоміжного часу. Устаткування повинне бути точно визначено і розставлено таким чином, щоб його кількість, типи, комплектність і продуктивність відповідали заданому випуску продукції.

Особливо важливе значення в масовому виробництві має організація технологічного контролю, тому що недостатньо ретельна перевірка деталей та несвоєчасне відбраковування неякісних деталей можуть привести до затримки і розладнання усього виробничого процесу. Кращі результати досягаються при використанні (де можливо) автоматичного контролю в процесі обробки.

Організація постачання робочого місця основними і допоміжними матеріалами, напівфабрикатами, різальним, вимірювальним і допоміжним інструментом, пристосуваннями тощо, повинна забезпечувати безперервність роботи.

Незважаючи на великі початкові капітальні витрати, необхідні для організації масового виробництва, техніко-економічний ефект його на правильно організованому підприємстві буває звичайно високий і значно більший, ніж при серійному виробництві.

Собівартість того самого виду продукції при масовому виробництві значно нижче, оборотність засобів вище, витрати на транспорт менші, випуск продукції більший, ніж при серійному виробництві.

Масове виробництво набуло широкого застосування в автомобіле- і тракторобудуванні, випуску двигунів, в сільськогосподарському машинобудуванні, на підприємствах, що виготовляють мотоцикли, велосипеди, швейні і текстильні машини тощо.

Кожному з описаних вище видів виробництва (одичному, серійному, масовому) властиві відповідні форми організації роботи і способи розташування устаткування, що визначаються характером виробу та виробничого процесу, обсягом випуску та іншими факторами.

1.4.4. Форми організації робіт

Існують наступні основні форми організації роботи:

1) *за видами устаткування*, властива головним чином одичному виробництву; для окремих деталей застосовується в серійному виробництві.

Верстати розташовують за ознакою однорідності обробки, тобто створюють дільниці верстатів, призначених для одного виду обробки. – дільниця токарних, дільниця стругальних, фрезерних тощо.

2) *предметна*, властива головним чином серійному виробництву; для окремих деталей застосовується в масовому виробництві. Верстати розташовують у послідовності технологічних операцій для однієї чи декількох деталей, що вимагають однакової послідовності обробки. В тій самій послідовності буде виконуватись рух деталей. Деталі обробляють на верстатах партіями; при цьому час виконання операції на окремих верстатах може не співпадати з часом обробки на інших верстатах. Виготовлені деталі під час роботи зберігають біля верстатів і потім транспортують цілою партією. Деталі, що очікують передачі на наступ-

ний верстат для виконання чергової операції зберігають біля верстатів, або на спеціальних площадках між верстатами, на яких виконується контроль деталей.

3) *поточно-серійна* або перемінно-потокова, властива серійному виробництву; верстати розташовують також у послідовності технологічних операцій, установлений для деталей, що обробляються на даній верстатній лінії. Виробництво виконується партіями, причому деталі кожної партії можуть трохи відрізнятись одна від іншої розмірами чи конструкцією, що допускають, однак, обробку їх на тому самому устаткуванні. Виробничий процес ведеться таким чином, що час виконання операції на одному верстаті погоджено з часом роботи на наступному верстаті; деталі даної партії переміщують від верстата до верстата в послідовності технологічних операцій, створюючи безперервність руху.

4) *прямоточна*, властива масовому або, в меншій мірі, багатосерійному виробництву; верстати розташовують у послідовності технологічних операцій, закріплених за визначеними верстатами; деталі з верстата на верстат передають поштучно, але синхронізація часу операцій дотримується не на всіх ділянках лінії, тобто час виконання окремих операцій не завжди однаковий (чи кратний такту); внаслідок цього біля верстатів, у яких час виконання операції більше такту, створюються запаси необроблених деталей. Така форма роботи називається іноді пульсуючим потоком.

Транспортування деталей від одного робочого місця до іншого здійснюється рольгангами, похилими лотками та іншими немеханізованими транспортними пристроями; іноді застосовують і конвеєри, які використовують тут тільки як транспортери.

5) *безупинним потоком*, властива тільки масовому виробництву. При цій формі організації роботи верстати розташовують у послідовності операцій технологічного процесу, закріплених за визначеними верстатами, час виконання окремих операцій на всіх робочих місцях приблизно однаковий або кратний такту, завдяки чому досягається синхронізація операцій і створюється визначений такт роботи для всієї поточної лінії.

Розрізняють кілька різновидів роботи безупинним потоком:

а) з передачею деталей (виробів) простими транспортними пристроями – без тягового елемента (рольганги, сковзала, схили, похилі конвеєри тощо).

б) з періодичною подачею деталей (виробів) транспортними пристроями з тяговим елементом.

Пересування деталей від одного робочого місця до іншого виконуються за допомогою механічних конвеєрів, що рухаються періодично – поштовхами. Конвеєр переміщує деталь через проміжок часу, що відповідає величині такту роботи, протягом якого конвеєр не рухається і виконується робоча операція; тривалість виконання операції приблизно дорівнює (або кратна) величині такту роботи, що підтримується конвеєром механічно.

в) з безупинною подачею деталей (виробів) транспортними пристроями з тяговим елементом: у цьому випадку механічний конвеєр рухається безупинно, переміщуючи розташовані на ньому деталі від одного робочого місця до іншого. Операція виконується під час руху конвеєра; при цьому деталь знімається з конвеєра для виконання операції, чи залишається на конвеєрі та у цьому випадку операція виконується під час руху деталі разом з конвеєром.

1.4.5. Загальний огляд видів обробки деталей машин, що застосовуються на виробництві

Таблиця 1.2 – Види обробки заготовок деталей машин

№ п/п	Вид обробки	Спосіб обробки
1	2	3
1	Виготовлення заготовок деталей машин	1) литтям металів: у земляні форми; у металеві форми (кокілі); відцентровим способом; під тиском; по моделях, що виплавляються; по моделях, що випалюються; в оболонкові форми; методом вакуумного всмоктування (кольорові метали); 2) обробкою металів тиском: куванням; штампуванням; пресуванням; прокаткою; волочінням; 3) литтям із пластмас; 4) штампуванням пластмас

продовження табл. 1.2

2	Обробка заготовок деталей машин механічними способами	1) зняттям стружки лезовим і абразивним інструментами; 2) пластичним деформуванням: ущільненням металу; обкатуванням і розкочуванням роликami, калібруванням отворів кульками чи оправками, накочуванням; 3) холодним виправленням металевих деталей; 4) дробеструйною обробкою металевих деталей; 5) пластичним деформуванням пластмас
3	Хіміко-механічна обробка	1) доведення притираннями; 2) полірування м'якими кругами; 3) обробка (заточування і доведення) твердосплавного інструменту
4	Електрохімічна обробка	1) електрополірування.
5	Термічна обробка	1) загартування; 2) відпуск; 3) відпал; 4) нормалізація; 5) поліпшення; 6) штучне старіння
6	Хіміко-термічна обробка	1) підвищення жароміцності, зносостійкості поверхонь деталей машин насиченням: азотом (азотування); алюмінієм (алітування); вуглецем і азотом одночасно (ціанірування); низьковуглецевих сталей вуглецем (цементация)
7	Електроерозійна обробка	1) анодно-механічна обробка; 2) електроконтактна обробка; 3) електроіскрова; 4) електроімпульсна; 5) високочастотна електроіскрова
8	Ультразвукова обробка	
9	Покриття металами і сплавами поверхонь деталей	1) хромування; 2) нікелювання; 3) обміднення; 4) металізація

продовження табл. 1.2

10	Зварювання металів	1) хімічна: газова; термітна; 2) електрична: електродугова; контактна
11	Очищення, промивання і консервація	

1.4.6. Основні фактори, що впливають на характер технологічного процесу механічної обробки

На характер технологічного процесу механічної обробки впливають наступні основні фактори:

- ↳ розмір виробничої програми;
- ↳ конструктивна форма, розміри і технологічність деталі;
- ↳ вид матеріалу деталі і його властивостей;
- ↳ форма, розмір і точність виготовлення заготовки;
- ↳ вимоги до точності і якості обробленої поверхні та інші вимоги по технічних умовах;
- ↳ характер устаткування, яким користуються і технологічного оснащення;
- ↳ вимоги найбільшої економічності та продуктивності виробництва.

Кожний із зазначених факторів визначає ті чи інші особливості технологічного процесу.

Дотримання розробок і вказівок технологічного процесу обов'язкове для всіх. Навіть незначне відхилення від технології може призвести до небажаних, а деколи і трагічних випадків при експлуатації виробів. Наприклад: при виготовленні валика, який входив в конструкцію двигуна швидкісного літака, необхідно було зняти облой резини. Згідно технології обрізку облой необхідно виконувати ножем із сталі 45 не гартованої. Токар, який виконував цю операцію, через кожних 20...30 хв заточував ніж, який поступово притуплявся, а потім він рішив загартувати ніж, після чого ніж наносив непомітну подряпину на поверхні, в якій виникала концентрація напружень і в момент максимальних навантажень на двигун валик по лінії подряпини обламався, що призвело до катастрофи літака.

Питання для самоконтролю

1. Що ми розуміємо під виробничим та технологічним процесами?
2. Яка структура машинобудівного заводу?
3. Що розуміється під спеціалізацією та кооперацією у виробництві?
4. Із яких основних елементів складається технологічний процес?
5. Що називається операцією, переходом, проходом, установом та позицією?
6. Які існують види виробництва та їх характеристика?
7. В яких випадках з економічної та технологічної точки зору доцільна організація масового виробництва?
8. Основні форми організації робіт при кожному виді виробництва?
9. Охарактеризувати основні види обробки деталей машин на виробництві.

2.1. Загальні поняття про точність

Точність – основна характеристика деталей, машин чи приладів. Під точністю в технології машинобудування розуміють ступінь відповідності виготовлених виробів їх заздалегідь установленому прототипу чи зразку. Чим більша ця відповідність, тим вища точність.

На всіх етапах технологічного процесу виготовлення машин неминучі ті чи інші похибки, у результаті чого досягнення абсолютної точності практично неможливе.

Похибки, що виникають на різних етапах технологічного процесу, взаємозалежні. Точність складання машини залежить від точності виготовлення її деталей, а остання у свою чергу залежить від точності виготовлення заготовок. Тому питання точності повинні вирішуватись не ізольовано, а комплексно для всього технологічного процесу.

Точність у машинобудуванні має велике значення для підвищення експлуатаційних якостей машин і для побудови технологічного процесу їх виготовлення. Збільшення швидкості і питомих навантажень при експлуатації деталей може бути досягнуто тільки підвищенням точності їх обробки. Зубчасті колеса, виготовлені з незначною точністю, не можуть працювати при високих швидкостях, тому що при цьому, за рахунок неточності евольвентного профілю зубців, кроку між зубцями в передачі виникають додаткові ударні навантаження, вібрації тощо. Точність роботи ділильного механізму цілком залежить від точності виготовлення деталей ділильного ланцюга (ділильних дисків, зубчастих коліс тощо). З підвищенням точності деталей збільшується довговічність і надійність машин.

Підвищення точності виготовлення заготовок зменшує трудомісткість наступної механічної обробки і скорочує витрати матеріалу через зменшення припусків на її виконання.

Підвищення точності механічної обробки скорочує трудомісткість складання машин завдяки частковому чи повному усуненню пригнанийних робіт, забезпечує взаємозамінність деталей і вузлів. Взаємо-

замінність, у свою чергу, забезпечує можливість потокового складання і швидкого ремонту машин, що знаходяться в експлуатації.

Особливе значення мають питання точності при автоматизації виробництва. У цьому випадку необхідну якість продукції отримують не внаслідок майстерності робітника, а в результаті стійкої і надійної роботи технологічного устаткування.

У машинобудуванні показники якості виробів дуже тісно пов'язані з точністю виготовлення деталей машин. Отримані при обробці розмір, форма і розташування елементарних поверхонь визначають фактичні зазори і натяги в з'єднаннях деталей машин, а, отже, і технічні параметри продукції, що впливають на її якість, надійність і економічні показники виробництва та експлуатації.

Точність виконання розмірів окремих поверхонь деталі (діаметри зовнішньої і внутрішньої поверхонь, глибина отворів, кут конуса тощо) регламентується допусками, що проставляються на кресленнях деталей.

Точність форми поверхонь визначається ступенем їх відповідності геометрично правильним поверхням, з якими вони ототожнюються. Відхилення форми дуже різноманітні. Циліндрична поверхня може мати невелику конусність, відхилення від округлості поперечного січення, скривлення вісі; плоска поверхня – невеликі випуклості або впадіння.

Точність взаємного розташування поверхонь – це розміщення поверхонь одна відносно іншої з величиною відхилення в межах величин допусків, заданих на кресленні чи в технічних умовах на виготовлення деталі (наприклад: паралельність осей отворів, відстань між осями отворів, паралельність або перпендикулярність осей отворів до площини базової поверхні тощо).

Точність розмірів регламентується ГОСТ 25346–89, точність форми і розташування – ГОСТ 24643–81. Залежно від поставленої задачі розрізняють технологічну точність процесу обробки; операційну; технологічну точність верстатів і т.д.

У більшості стандартних систем точність розмірів визначається на основі одиниці допуску ІТ, що залежить від номінального розміру D . Для гладких циліндричних з'єднань розміром 1...500 мм одиниця допуску, мкм: $I = 0,5 \sqrt[3]{D}$ (у системі ОСТ), $I = 0,45 \sqrt[3]{D} + 0,001D$ (у міжнародній системі ISO), де D – середнє значення номінальних розмірів, мм, для даного інтервалу, у межах якого допуск приймають постійним.

При складанні стандартизованих числових значень допусків діапазону 1–500 мм відібрано 13 значень одиниць допусків, рівних ординатам середніх геометричних значень інтервалів: до 3; 3...6; 6...10; 10...18; 18...30; 30...50; 50...80; 80...120; 120...180; 180...250; 250...315; 315...400; 400...500.

Кожному методу обробки відповідає визначений діапазон квалітетів точності. Квалітет характеризується числом одиниць допуску. Квалітет відображає точність технологічного процесу. В ЕСДП СЭВ для розмірів до 500 мм встановлено 19 квалітетів: IT01, IT0, IT1, IT2, IT3, IT4, IT5, IT6, IT7, IT8, IT9, IT10, IT11, IT12, IT13, IT14, IT15, IT16, IT17, IT – International Tolerance – Міжнародний допуск чи допуск ІСО. Наприклад, IT8 означає допуск системи за 8-м квалітетом ІСО.

При виготовленні деталей неможливо досягти абсолютно точних номінальних розмірів. У зв'язку з цим при складанні робочих креслень деталей призначаються допустимі відхилення від номінальних розмірів у межах вимог точності їхнього виготовлення.

Самостійним критерієм є оцінка якості поверхні деталі по шорсткості, що характеризується параметром шорсткості.

При виготовленні деталей необхідно також дотримувати вимоги фізико-механічних властивостей матеріалу.

2.2. Методи забезпечення точності механічної обробки на верстатах

Здану точність обробки можна досягти одним з наступних методів:

- ↪ метод пробних проходів і промірів;
- ↪ метод установки інструмента на розмір по лімбу верстата;
- ↪ метод автоматичного отримання розмірів на налаштованих верстатах;
- ↪ метод активного контролю.

Метод пробних проходів і промірів полягає в тому, що до оброблюваної поверхні заготовки, встановленої на верстаті, підводять різальний інструмент і з короткої ділянки заготовки знімають пробну стружку. Після цього верстат зупиняють, роблять пробний вимір обробленої ділянки, визначають величину відхилення розміру від заданого на кресленні і вносять зміни в положення інструменту, що відраховують по поділках лімба верстата. Потім знову роблять пробну обробку, заміряють отриманий розмір і при необхідності знову вносять зміни в положення інструмента.

При методі пробних проходів і промірів часто застосовують розмітку. У цьому випадку на поверхню вихідної заготовки наносять тонкі лінії, що визначають контур майбутньої деталі.

Метод пробних проходів має наступні переваги:

1. На неточному устаткуванні дозволяє одержати високу точність обробки. Робітник високої кваліфікації шляхом пробних промірів і ходів може на неточному верстаті визначити та усунути похибку заготовки, що виникла при її обробці;

2. При обробці партії дрібних заготовок виключає вплив спрацювання різального інструменту на точність розмірів, що витримуються при обробці;

3. При неточній заготовці дозволяє правильно розподілити припуск і запобігти появі браку;

4. Звільняє робітника від необхідності виготовлення складних і дорогих пристосувань типу кондукторів, поворотних і ділильних пристосувань.

Поряд з цим метод пробних проходів і промірів має ряд недоліків:

- залежність точності обробки, що досягається, від мінімальної товщини шару, що знімається, (при малих товщинах стружки 0,02...0,05 мм знімати пробні стружки практично неможливо);
- поява браку з вини робітника (втома, неухважність);
- низька продуктивність праці;
- висока собівартість обробки деталі.

У зв'язку з перерахованими недоліками цей метод використовується в основному в одиничному і дрібносерійному виробництвах, а в умовах крупносерійного і масового виробництва метод пробних проходів і промірів використовується головним чином при шліфуванні, тому що дозволяє легко компенсувати знос абразивних інструментів, що часто протікає нерівномірно і визиває неточність обробки.

При цьому методі заданий розмір досягається послідовним наближенням, а точність обробки залежить від кваліфікації робітника.

Метод установки інструмента по лімбу верстата. В умовах дрібно- і середньосерійного виробництва застосовується метод отримання заданих розмірів за допомогою лімбу верстата. Він полягає в тому, що при обробці кожної деталі з партії різальний інструмент встановлюється у вихідне положення по лімбу верстата. Положення поділок на лімбі визначається при обробці першої деталі з партії по методу

пробних проходів і промірів. При цьому методі обробка ведеться за один прохід. У даному випадку на точність обробки впливають фактори двох видів: один з них пов'язаний з похибкою установки (визначення) необхідної поділки лімба (похибка налагодження), а інший – з повторюваною для кожної деталі похибкою установки різального інструмента по знайденій поділці лімба. Метод установки інструмента по лімбу верстата дозволяє значно підвищити продуктивність обробки, за рахунок скорочення часу на налагодження інструмента, за рахунок виключення додаткових зупинок верстата, промірів і наладок.

Метод автоматичного отримання розмірів на попередньо налагоджених верстатах. Метод полягає в тому, що заготовка встановлюється у пристрій без вивірювання на вибрані базові поверхні. Обробка виконується за один або кілька робочих ходів попередньо встановленим на певний налагоджувальний розмір інструментом.

При використанні даного методу задача забезпечення необхідної точності обробки переноситься з робітника-оператора на наладника, що виконує налагодження верстата, на інструментальника, що виготовив спеціалізований пристрій та на технолога, що призначає технологічні бази і розміри заготовок, а також визначає метод її установки і кріплення та вибирає конструкцію пристосування.

До переваг методу відносяться:

- підвищення точності обробки і зниження браку;
- ріст продуктивності праці;
- раціональне використання робітників високої кваліфікації

Метод активного контролю. Метод полягає у тому, що у верстат, який виконує механічну обробку, вбудовується вимірювальний пристрій та пристрій для регулювання (наладчик) положення інструменту, який у випадку виходу розміру із контрольних границь поля допуску автоматично налагоджує систему на заданий розмір. Контрольні границі звужують поле допуску, тому при перетині контрольної границі поля допуску верстат отримує сигнал про те, що розмір може вийти за поле допуску і виникає потреба в наладці інструменту. При такому методі обробки всі деталі отримують з заданою точністю. Пристрої, що працюють за зазначеною схемою, часто називають пристроями зі зворотним зв'язком, вони характерні для верстатів, які виконують обробку за один прохід (наскрізне безцентрове шліфування, тонке і чистове розточування тощо): . .

У наш час є велика кількість подібних систем, відомих під назвою засобів активного контролю.

2.3. Сумарна (загальна) похибка при обробці на попередньо налагоджених верстатах

Сумарна похибка механічної обробки Δ_{Σ} виникає через вплив технологічних факторів, кожен з яких викликає появу окремої елементарної похибки обробки. Сумарна похибка визначає величину технологічного допуску на розміри заготовки за технологічними переходами. До елементарних похибок обробки відносяться похибки:

- ↳ установки заготовки;
- ↳ від пружних деформацій технологічної системи;
- ↳ налагодження верстата;
- ↳ від температурних деформацій технологічної системи;
- ↳ від спрацювання різального інструменту;
- ↳ від геометричних похибок верстата;
- ↳ від залишкових напружень у деталі.

2.3.1. Похибка установки заготовки ϵ_y

Перед обробкою заготовка повинна бути чітко зорієнтована по відношенню до пристрою, верстата та різального інструменту. Відхилення фактично досягнутого положення заготовки або виробу при установці від необхідного називається **похибкою установки**. Похибка установки ϵ_y складається із похибки базування ϵ_{σ} , похибки закріплення ϵ_z та похибки пристрою ϵ_{np} , тобто $\epsilon_y = \epsilon_{\sigma} + \epsilon_z + \epsilon_{np}$.

Основні поняття базування:

Базування – надання заготовці визначеного положення відносно вибраної системи координат.

База – поверхня (сукупність поверхонь), вісь, лінія або точка, що належать заготовці і використовуються для базування.

При базуванні необхідно обмежити переміщення заготовки, тобто забезпечити її нерухомість щодо пристрою на весь період обробки, що гарантує збереження незмінного орієнтування заготовки. Орієнтування заготовки забезпечується базуванням, а незмінність положення – затиском заготовки.

Для забезпечення орієнтації та нерухомості заготовки на можливі переміщення заготовки накладаються певні обмеження (зв'язки).

Зв'язок – це обмеження позиційного чи кінематичного характеру. Заготовка як тверде тіло має шість степенів вільності – три поступальних уздовж вісі координат та три обертових навколо тієї ж вісі.

Опорна точка – точка, що символізує один із зв'язків заготовки з вибраною системою координат.

Схема базування – схема розміщення опорних точок на базах заготовки.

Всі опорні точки на схемі базування зображають умовними позначеннями та нумерують, починаючи із бази, на якій розміщується найбільша кількість опорних точок (рис. 2.1).

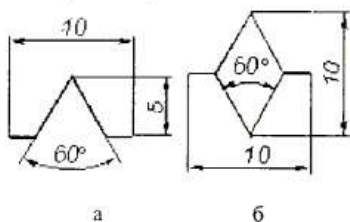


Рис. 2.1 – Умовне зображення опорних точок на видах:
а – спереду та збоку; б – зверху

Класифікація баз. За призначенням бази діляться на конструкторські, технологічні, вимірювальні.

Конструкторська база – база, що використовується для визначення положення деталі або складальної одиниці у виробі. Конструкторська база може бути реальною у вигляді площини, лінії (розміточної риски), точки або уявною (уявна площина, вісь симетрії, лінія центрів).

Так, конструкторськими базами ступінчастого валика є вісь центрів $O-O$ та поверхні уступів I і I' (рис. 2.2, а).

Технологічна база – база, що використовується для визначення положення заготовки чи виробу у процесі виготовлення. На цю базу заготовка встановлюється при обробці. При використанні пристроїв за технологічні бази приймають реальні поверхні, що безпосередньо контактують із установочними елементами пристрою. При установці з вивіркою використовують як реальні поверхні заготовки, так і геометричні лінії та точки, що утворюються при розмітці.

Технологічні бази діляться на **основні та штурчні** (допоміжні).

Основна технологічна база – поверхня, що передбачена конструкцією деталі і виконує певну роль при роботі деталі у виробі.

Штучна або допоміжна технологічна база – це поверхня, що спеціально створюється на деталі для покращення умов обробки. Такими штучними базами є центрові гнізда валів (рис. 2.2, б), площини приливів на заготовках, центруючий поясок на поршні, два установочних отвори на заготовках корпусних деталей.

Вимірвальна база – база, що використовується для визначення відносного положення заготовки та засобів вимірювання. Від цієї бази виконується вимірювання деталі (рис. 2.2, в). Якщо як вимірвальна база використовуються реальна поверхня, то перевірка виконується прямими методами контролю. При використанні геометричних ліній або точок застосовуються непрямі методи контролю.

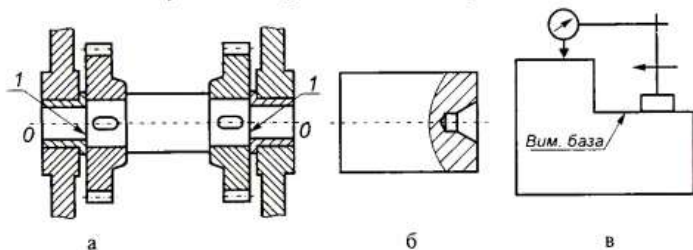


Рис. 2.2 – Види баз

За числом степенів вільності, що позбавляє база, є такі бази:

Установочна база – база, що лишає заготовку трьох степенів вільності – переміщення вздовж однієї координатної вісі та поворотів навколо двох інших осей.

Напрямна база – база, що лишає заготовку двох степенів вільності – переміщення вздовж однієї координатної вісі та поворотів навколо інших осей.

Опорна база – база, що лишає заготовку однієї степені вільності – переміщення вздовж однієї координатної вісі або повороту навколо вісі.

Подвійна напрямна база – база, що лишає заготовку чотирьох степенів вільності – переміщення вздовж двох координатних осей та поворотів навколо них.

Подвійна опорна база – база, що лишає заготовку двох степенів вільності – переміщення вздовж двох координатних осей.

За характером прояву – явна (реальна) або умовна (прихована).

Явна база – база заготовки у вигляді реальної поверхні, розміточної риски або точки перетину рисок.

Умовна (прихована) база – база заготовки у вигляді уявної площини, вісі або точки.

Базування призматичних деталей. За такою схемою базуються заготовки деталей типу плит, кришок, картерів тощо.

Заготовка призматичної форми (рис. 2.3) має шість степенів вільності: три переміщення вздовж осей OX , OY , OZ та три повороти відносно цих же осей. Для визначення положення заготовки на ній необхідно накласти шість жорстких двосторонніх зв'язків, прикладених в опорних точках.

Три степені вільності – можливість переміщуватись у напрямку вісі OZ і обертатись навколо осей OX та OY , обмежуються трьома зв'язками із площиною координат XOY (опорні точки 1, 2, 3).

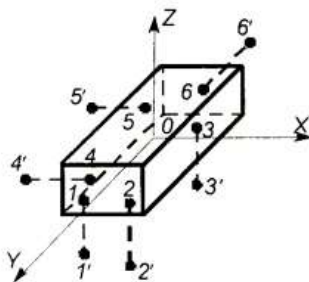


Рис. 2.3 – Схема базування призматичної деталі

Дві степені вільності – можливість переміщуватись в напрямку вісі OX і обертатись навколо вісі OZ , обмежуються двома зв'язками із площиною YOZ (опорні точки 4, 5). Шоста координата, яка визначає положення заготовки відносно площини XOZ , обмежує її можливість переміщуватись у напрямку вісі OY , тобто лишає заготовку останньої шостої степені вільності (опорна точка 6).

Такий порядок установки заготовок призматичної форми називається **правилом шести точок** – для повного базування заготовки в пристрої

необхідно і достатньо створити в ньому шість опорних точок, розташованих певним чином відносно базових поверхонь заготовки.

Базування довгих циліндричних деталей. Схема базування наведена на рис. 2.4.

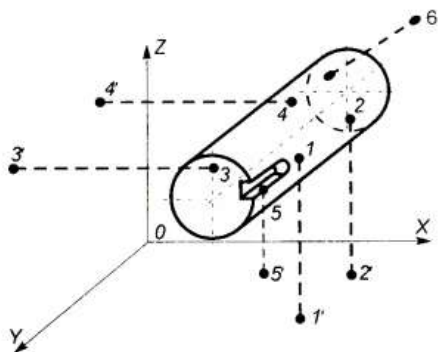


Рис. 2.4 – Базування довгої циліндричної деталі

Положення вала в призмі визначається координатами, що лишають заготовку чотирьох степенів вільності – переміщень у напрямку осей OX , OZ та обертання навколо осей OX , OZ . П'ята степінь вільності – обертання навколо власної вісі OY обмежується координатою, проведеною від поверхні шпонкової канавки, а шоста степінь вільності обмежується упором в торець – точка 6. Чотири опорних точки, розміщених на циліндричній поверхні, утворюють подвійну напрямну базу. Торець вала та шпонковий паз визначають поверхні, що є упорними базами.

Базування коротких циліндричних деталей. До коротких циліндричних деталей відносяться диски, кільця. Головною базою у таких деталях є торцева поверхня, на якій розміщується три опорних точки 1, 2 і 3 (рис. 2.5).

Дві опорних точки 4 і 5, розміщені на короткій циліндричній поверхні і утворюють подвійну опорну базу.

За необхідністю шоста степінь вільності може бути ліквідована за рахунок зведення зв'язку із додатковою поверхнею – лискою, шпонковим пазом, отворм, тощо.

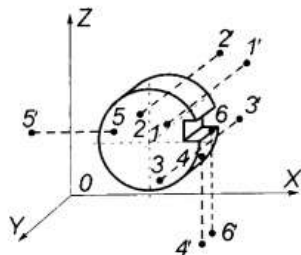


Рис. 2.5 – Базування короткої циліндричної деталі

Схеми установки, коли заготовка втрачає всі шість степенів вільності, називають повними схемами установки. Ця умова повинна виконуватись, коли поверхня, що обробляється, має розміри по трьох координатах і для базування таких заготовок необхідним є комплект із трьох баз.

За необхідністю отримати розмір у двох або тільки в одному напрямку можна застосовувати схеми спрощеного базування.

Так, на рис. 2.6 приведена заготовка, на якій необхідно обробити уступ. Положення якого визначається розмірами a та b .

Неточність установки відносно вісі несуттєва, тому в даному випадку можна використати дві бази – 1 та 2.

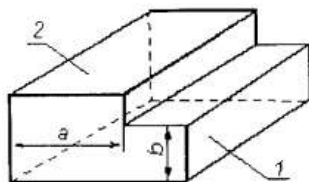


Рис. 2.6 – Схема спрощеного базування

Похибка базування заготовки. При базуванні фактично досягнуте положення заготовки може відрізнятись від розрахункового (теоретичного), через що і виникає похибка базування.

Похибку базування можна розглядати як різницю граничних відстаней від вимірювальної бази заготовки до встановленого на розмір інструменту. Похибка базування виникає при несуміщенні вимірювальної та установочної баз заготовки і визначається для розміру, що виконується із вибраної схеми базування.

Похибка базування при установці заготовки на площину. Розглянемо базування призматичної деталі при фрезеруванні уступу (рис. 2.7). При обробці необхідно витримати розмір A .

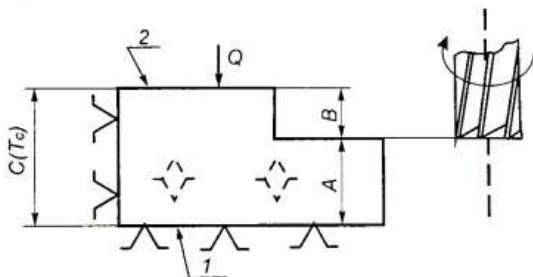


Рис. 2.7 – Похибка базування при базуванні деталі на площину

Заготовка затискається при обробці зусиллям Q . При обробці партії заготовок похибка базування $\varepsilon_{\delta A}$ відносно розміру A дорівнює нулю ($\varepsilon_{\delta A} = 0$), оскільки вимірювальна та установочна бази 1 співпадають (базами є площина 1 заготовки).

При виконанні розміру B технологічною базою являється площина 1 , а вимірювальною – площина 2 . Розмір B , що визначає положення вимірювальної бази 2 , може змінюватись у границях поля допуску на розмір C , тобто в межах $C_m - C_{\min}$.

Похибка базування на розмір h_1 . Розмір h_1 визначається від верхньої циліндричної поверхні (рис. 2.8).

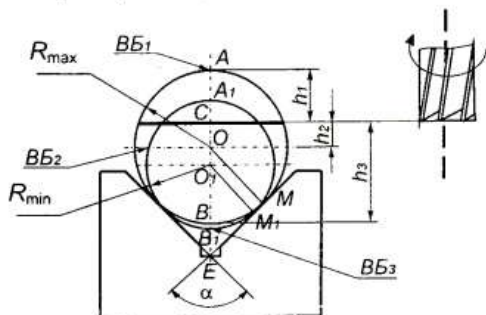


Рис. 2.8 – Схема для розрахунку похибки базування в призмі

Похибка базування дорівнює різниці граничних відстаней від вимірювальної бази BB_1 відносно встановленого на розмір інструменту:

$$\varepsilon_{\text{аб1}} = h_{1\text{max}} - h_{1\text{min}} = AC - A_1C = AA_1, \quad (2.1)$$

$$\text{або } AA_1 = AE - A_1E \quad (2.2)$$

$$\text{де } AE = AO + OE, \quad A_1E = A_1O_1 + O_1E, \quad (2.3)$$

$$AO = \frac{D_{\text{н}}}{2} = OM; \quad A_1O_1 = \frac{D_{\text{м}}}{2} = O_1M_1; \quad (2.4)$$

Із прямокутного трикутника $\triangle OME$ визначимо OE :

$$OE = \frac{OM}{\sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{D_{\text{н}}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}, \quad (2.5)$$

а із прямокутного трикутника $\triangle O_1M_1E$ визначимо O_1E :

$$O_1E = \frac{O_1M_1}{\sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{D_{\text{м}}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}, \quad (2.6)$$

Тоді, підставляючи 2.5 та 2.6 в 2.3, а потім в 2.2 та 2.1, отримуємо:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\text{аб1}} &= \left(\frac{D_{\text{н}}}{2} + \frac{D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \right) - \left(\frac{D_{\text{м}}}{2} + \frac{D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \right) = \left(\frac{D_{\text{н}}}{2} - \frac{D_{\text{м}}}{2} \right) + \\ &+ \left(\frac{D_{\text{н}}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} - \frac{D_{\text{м}}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \right) = \frac{T_D}{2} + \frac{T_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{T_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right) \end{aligned} \quad (2.7)$$

Похибка базування на розмір h_2 . Розмір h_2 визначається від вісі вала (рис. 2.8). При виконанні розміру h_2 похибка базування дорівнює різниці граничних відхилень вимірювальної бази BB_2 відносно встановленого на розмір інструменту:

$$\varepsilon_{\text{аб2}} = h_{2\text{max}} - h_{2\text{min}} = O_1C - OC = OO_1, \quad (2.8)$$

$$\text{або } OO_1 = OE - O_1E \quad (2.9)$$

Із (2.7) та (2.8) маємо:

$$OE = \frac{D_m}{2n \frac{\alpha}{2}}, \quad O_1E = \frac{D_m}{n2 \frac{\alpha}{2}}, \quad (2.10)$$

Тоді похибка базування:

$$\varepsilon_{\delta h_2} = \frac{D_m}{2n \frac{\alpha}{2}} - \frac{D_m}{n2 \frac{\alpha}{2}} = \frac{T_D}{2 \frac{\alpha}{2}}, \quad (2.11)$$

Похибка базування на розмір h_3 . Розмір h_3 визначається від нижньої циліндричної поверхні (рис. 2.8).

$$\varepsilon_{\delta h_3} = h_{3\max} - h_{3\min} = B_1C - BC = BB_1, \quad (2.12)$$

$$\text{або } BB_1 = BE - B_1E \quad (2.13)$$

$$\text{де } BE = OE - OB, \quad B_1E = O_1E + O_1B_1, \quad (2.14)$$

Із (2.5) та (2.6) маємо:

$$OE = \frac{D_m}{2n \frac{\alpha}{2}}, \quad O_1E = \frac{D_m}{2n \frac{\alpha}{2}},$$

$$BO = \frac{D_m}{2}; \quad O_1B_1 = \frac{D_m}{2},$$

Тоді

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\delta h_3} &= \left(\frac{D_m}{2n \frac{\alpha}{2}} - \frac{D}{2} \right) - \left(\frac{D_m}{2n \frac{\alpha}{2}} - \frac{D}{2} \right) = \\ &= \left(\frac{D_m}{2n \frac{\alpha}{2}} - \frac{D_m}{n2 \frac{\alpha}{2}} \right) - \left(\frac{D_m}{2} + \frac{D_m}{2} \right) = \frac{T_D}{2} \left(\frac{1}{n \frac{\alpha}{2}} - 1 \right) \end{aligned} \quad (2.15)$$

Похибку базування для розмірів h_1 , h_2 , h_3 , можна зменшити:

- за рахунок збільшення кута призми α ;
- за допомогою зміни положення призми (рис. 2.9).

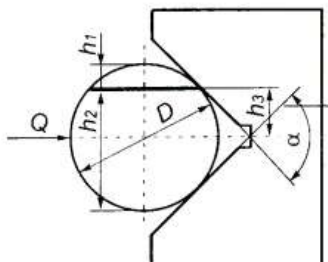


Рис. 2.9 – Зміна положення призми

$$\varepsilon_{\text{об}} = \frac{T_D}{2}; \varepsilon_{\text{об}} = 0.$$

Похибка базування при установці деталі в жорстких центрах.

Установка в жорстких центрах дуже поширена при обробці деталей типу валів та осей (рис. 2.10). Діаметр центрального отвору може змінюватись у межах допуску $T_{\text{ц}}$ від D_{max} до D_{min} .

Затиск заготовки здійснюється за допомогою задньої бабки, тому при дії зусилля затиску $P_{\text{зат}}$ відбувається зміщення заготовки вздовж

вісі на величину $\Delta = a_2 - a_1 = \frac{D_{\text{м}} - D_{\text{м}}}{2 \text{tg } \alpha} = \frac{T_{\text{ц}}}{2 \text{tg } \alpha}$.

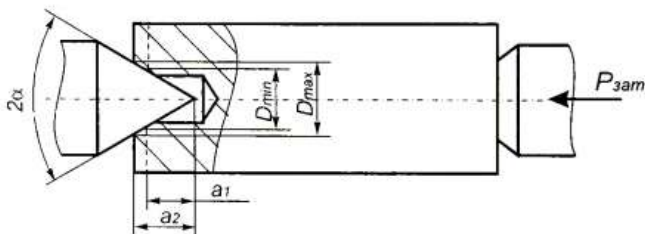


Рис. 2.10 – Базування заготовки в жорстких центрах

Це зміщення визначає похибку базування в жорстких центрах, тобто

$$\varepsilon_{\text{в}} = \frac{T_{\text{ц}}}{2 \text{tg } \alpha}.$$

Для усунення похибки базування в центрах необхідно використовувати не жорсткий передній центр, а плаваючий (підпружинений), тоді

упорною базою буде служити не центровий отвір, а торець заготовки, який буде опиратись на торець планшайби.

Визначення похибки базування у більшості випадків зводиться до аналізу та рішення розмірних ланцюгів. На рис. 2.11 приведені приклади визначення похибок базування для різних схем обробки.

Так, при обробці на розтискній оправці похибка базування для діаметральних розмірів дорівнює нулю (рис. 2.11, а).

У всіх випадках похибка базування дорівнює нулю для діаметрів оброблюваних поверхонь та розмірів, що визначають взаємне положення поверхонь при обробці мірним або попередньо настроєним інструментом. Так, для розмірів B та C (рис. 2.11, б), $\epsilon_{a_i} = 0$, $\epsilon_{a_B} = 0$, $\Delta_{D_i} = 0$, $\epsilon_{a_C} = 0$.

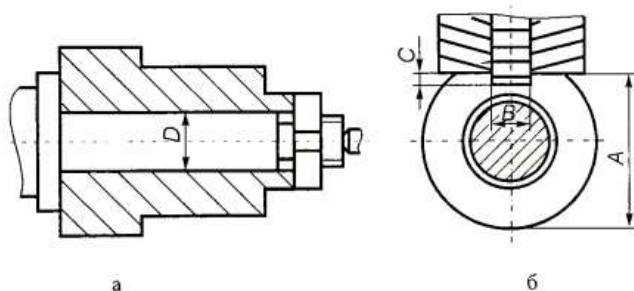


Рис. 2.11 – Похибки базування при різних схемах установки

Похибка затиску. У процесі установки відбувається базування заготовки та її затискування. Сила затиску повинна надійно притискувати базову поверхню заготовки до установочних елементів пристрою. При дії сил затиску виникає похибка затиску.

Згідно [1] похибка затиску – це різниця граничних відстаней від вимірювальної бази до встановленого на розмір інструменту в результаті зміщення поверхонь заготовок, що обробляються під дією сили затиску.

Причинами зміни положення (зміщення) заготовки є нестабільність сил затиску, неоднакова твердість поверхонь заготовки, нерівності на поверхні заготовки та опорах пристрою: деформації заготовки, установочних елементів, корпусу пристрою від сил затиску.

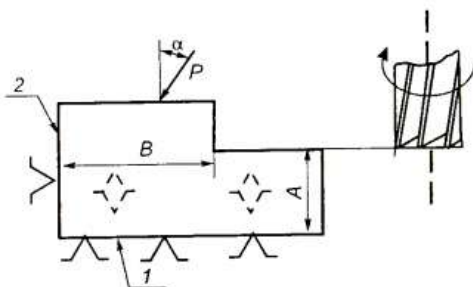


Рис. 2.12 – Визначення похибки затиску

Схема затиску призматичної заготовки приведена на рис. 2.12. Похибка затиску для розміру A не дорівнює нулю, так як вимірювальна база 1 заготовки може зміщуватись в результаті деформації заготовки, установочних елементів, корпусу пристрою, через які передається сила затиску Q .

Для розміру B похибка затиску дорівнює нулю, так як вимірювальна база 2 не переміщується при затиску заготовки (сила затиску діє по нормалі до напрямку розміру B або під кутом).

Найбільші деформації спостерігаються у стикові між поверхнею заготовки і поверхнями опорних елементів пристрою), в інших ланках (корпус, кулачки, прихвати, важелі, тощо) переміщення незначні.

Залежність контактної деформації в точці дотику, заготовка – установочні елементи пристрою має вигляд:

$$y = C \cdot Q^n \cdot \cos \alpha,$$

де C – коефіцієнт, що характеризує вид контакту, матеріал заготовки, твердість, шорсткість, структуру поверхневого шару, жорсткість самої деталі та елементів пристроїв;

Q – сила затиску, Н;

α – кут між напрямком витримуваного розміру та напрямком найбільшого зміщення;

n – показник степені (< 1).

На похибку затиску також суттєво може впливати жорсткість деталі.

При установці заготовки в пристрої виникають деформації, що викликають похибки форми обробленої поверхні. Так, при затискуванні

тонкостінного кільця у трьохкулачковому патроні, кільце деформується, приймаючи неправильну форму (рис. 2.13).

По закінченню обробки та після розкріплення заготовки форма зовнішньої поверхні кільця пружно відновлюється, а оброблена поверхня спотворюється. Похибка форми цієї поверхні визначається різницею діаметрів вписаного та описаного кіл:

$$\Delta_{\phi} = d_{\text{н}} - d_{\text{м}}$$

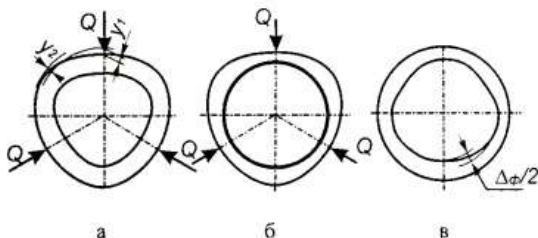


Рис. 2.13 – Похибка обробки тонкостінного кільця у трьохкулачковому патроні

За величиною похибка затиску може бути близькою до значень похибки базування. Похибку затиску можна зменшити:

- за рахунок застосування механізмів, що забезпечують постійне зусилля закріплення заготовок;
- забезпеченням однорідності поверхневого шару та матеріалу заготовок;
- за рахунок раціонального вибору напрямку сили затиску.

Похибка пристрою ϵ_{np} . Похибка пристрою ϵ_{np} виникає в результаті неточності виготовлення та складання установочних елементів, зношування цих елементів, похибок установки та фіксації пристрою на верстаті:

$$\bar{\epsilon}_{np} = \bar{\epsilon}_{виг. np} + \bar{\epsilon}_{знош. np} + \bar{\epsilon}_{ус. np}, \quad (2.16)$$

де $\bar{\epsilon}_{виг. np}$ – похибка виготовлення пристрою;

$\bar{\epsilon}_{знош. np}$ – похибка спрацювання пристрою;

$\bar{\epsilon}_{ус. np}$ – похибка установки пристрою на верстаті.

Похибка спрацювання $\epsilon_{знош. np}$ характеризує зміну положення контактних поверхонь установочних елементів при експлуатації пристрою.

Інтенсивність спрацювання залежить від конструкції та розмірів установочних елементів, матеріалу та маси заготовки, стану її базової поверхні, умов установки заготовки в пристрої.

На зношування опор встановлюють допустимі значення і контролюють їх при плановій періодичній перевірці пристроїв. При обробці заготовок середніх розмірів по 7–8 квалітету допустима величина зношування не перевищує 15 мкм. Для зменшення зношування опори гартують; також покривають хромом або наплавляють твердим сплавом, що дозволяє зменшити зношування у 3...10 разів.

Якщо зношування досягло гранично допустимої величини, виконують заміну опор.

Похибка $\epsilon_{\text{в. оп.}}$ виникає із-за неправильного положення корпусу пристрою на столі, планшайбі або шпинделі верстата. В масовому та крупносерійному виробництві при однократному незмінному закріпленні пристрою на верстаті ця величина з допомогою вивірки доводиться до певного мінімуму і є постійною протягом експлуатації даного пристрою.

Визначення похибки установки. Похибки ϵ_{σ} , ϵ_{γ} , $\epsilon_{\text{оп}}$ являються векторними величинами, розподілення яких відповідає нормальному закону.

Тоді похибка установки буде визначатись за формулою:

$$\epsilon_{\text{в}} = \sqrt{\epsilon_{\sigma}^2 + \epsilon_{\gamma}^2 + \epsilon_{\text{оп}}^2}$$

Вибір баз. Принципи постійності та суміщення баз. При виборі баз необхідно виконувати такі рекомендації:

- ↳ базові поверхні повинні бути рівними, чистими, мати достатні розміри;
- ↳ на перших операціях за базові необхідно приймати поверхні, які залишаються необробленими;
- ↳ якщо у деталі обробляються всі поверхні, за бази необхідно приймати поверхні із найменшими припусками на обробку;
- ↳ повторна установка на чорну базу не допускається;
- ↳ необхідно дотримуватись принципів суміщення баз та постійності баз;

Принцип постійності баз полягає в тому, що для виконання всіх операцій обробки деталі бажано використовувати одну і ту ж саму базову поверхню.

Якщо постійність технологічної бази не забезпечується, як нову технологічну базу необхідно вибирати більш точно оброблену поверхню.

Принцип суміщення баз полягає в тому, що як технологічну базу необхідно вибирати поверхню, що одночасно є і вимірювальною базою. Найкращі результати досягаються тоді, коли співпадають технологічна, вимірювальна та конструкторська бази, тобто поверхні, що визначають положення деталі у виробі.

2.3.2. Похибка через пружну деформацію технологічної системи

При обробці заготовок у технологічній системі виникають пружні деформації. Причиною деформацій є сила різання, що змінюється в результаті нерівномірної глибини різання із-за коливання розмірів заготовок у партії, нестабільності механічних властивостей матеріалу заготовок та зношування інструменту. Сила різання при обробці викликає пружні переміщення елементів технологічної системи, внаслідок чого виникають похибки форми оброблених одиничних заготовок та змінюються розміри заготовок у партії.

Здатність системи протистояти зовнішнім навантаженням характеризує її жорсткість.

У технології машинобудування жорсткістю технологічної системи називається відношення складової сили різання P_r до зміщення леза інструмента y , викликаного дією цієї складової, у тому самому напрямку:

$$j = \frac{P_r}{y}, \text{ (Н/мм)}. \quad (2.17)$$

Необхідно враховувати, що інші складові результуючої сили різання (P_z, P_v) також впливають на жорсткість пружної системи.

Пружні властивості елемента технологічної системи можна характеризувати також податливістю W – величиною, зворотною до жорсткості:

$$W = \frac{1}{j} = \frac{y}{P_r}, \text{ мм/Н}; \quad (2.18)$$

Якщо технологічна система складається із кількох ланок, то сумарна податливість визначається за формулою:

$$W_{\text{сум}} = W_1 + W_2 + \dots + W_n$$

або

$$\frac{1}{j_{\text{сум}}} = \frac{1}{j_1} + \frac{1}{j_2} + \dots + \frac{1}{j_n} \quad (2.19)$$

Вплив жорсткості на похибку розміру. Розглянемо обробку циліндричної заготовки на токарному верстаті. До початку обробки при налагоджуванні верстата задається глибина різання $t_{\text{зад}}$. У процесі обробки внаслідок пружних деформацій під дією сили різання заготовка пружно переміщується на величину y_1 , а інструмент – на величину y_2 (рис. 2.14). Через пружні переміщення елементів технологічної системи задана глибина різання зменшується до значення $t_{\text{факт}}$. Для окремого сечення деталі можна записати:

$$y_1 + y_2 = t_{\text{зад}} - t_{\text{факт}} \quad (2.20)$$

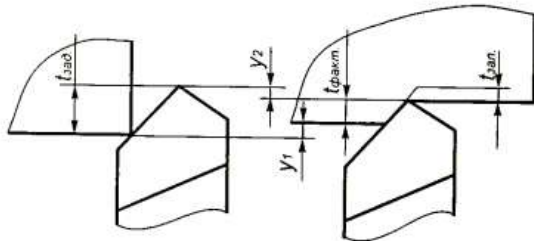


Рис. 2.14 – Схема пружних переміщень елементів технологічної системи при обробці

Визначимо величину пружних переміщень:

$$y_1 = \frac{P_y}{j_{\text{зав}}}; \quad y_2 = \frac{P_y}{j_{\text{інстр}}} \quad (2.21)$$

де $j_{\text{зав}}$ – жорсткість системи: заготовка – установочний пристрій – вузол верстата;

$j_{\text{інстр}}$ – жорсткість системи: інструмент – пристрій – вузол верстата, на якому встановлений інструмент;

P_y – радіальна складова сили різання при точінні, визначається за формулою:

$$P_y = C_{py} \cdot S_a^y \cdot t_{\text{зад}}^x \cdot HB^n \quad (2.22)$$

де C_m – постійний коефіцієнт;
 x, y, n – показники степенів;
 HB – твердість заготовки

2.3.3. Похибка від розмірного спрацювання різального інструменту

Похибка від розмірного спрацювання інструменту значною мірою визначає точність чистової обробки на налагоджених верстатах. Для забезпечення необхідної точності велике значення має розмірне зношування інструменту в напрямку, перпендикулярному до поверхні, що обробляється (рис. 2.15, а), при цьому інструмент ніби віддаляється від оброблюваної поверхні на величину зношування U .

Розмірне спрацювання відбувається у процесі різання неперервно, а швидкість спрацювання інструменту різна. Графік залежності розмірного спрацювання інструменту від пройденого шляху наведено на рис 2.15, б).

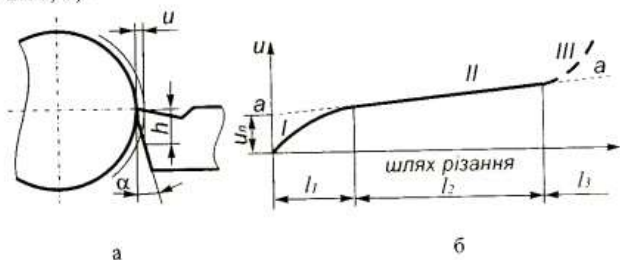


Рис. 2.15 – Схема розмірного зношування інструменту

Можна виділити три періоди роботи інструменту:

- ☞ зона I – припрацювання інструменту (інтенсивне зношування інструменту через припрацювання заточеного інструменту на початку різання). Припрацювання інструменту відбувається протягом 2–5 хв різання і залежить в основному від якості заточки інструменту;
- ☞ нормальне спрацювання. В зоні II інструмент зношується із меншою інтенсивністю, тут величину спрацювання інструменту можна вважати прямо пропорційною пройденому шляхові різання.

- ☞ зона III. При тривалій обробці може наступити різка зміна умов обробки (підвищення сил і температури різання), що приводить до катастрофічного зношування.

2.3.4. Похибка від температурних деформацій

У процесі механічної обробки відбувається нерівномірний нагрів всіх складових технологічної системи, що спричиняє їх деформацію та появу похибок обробки. Причинами нагріву є виділення значної кількості тепла в зоні різання; тертя деталей та вузлів верстата; теплопередача від охолоджуючої рідини; нагрівання гідро- та електроприводів; непостійність температури приміщення.

Похибка від температурних деформацій верстата. Джерелами нагріву верстата є теплопередача від мастильно-охолоджувальної рідини, що відводить тепло із зони різання; тертя в рухомих частинах; нагрів від гідро- та електроприводів; зовнішні джерела тепла. У більшості випадків нагрів верстата і його деформація протікає нерівномірно. Різниця температур окремих елементів станини може досягати 10 °С, внаслідок чого змінюється правильна форма станини і положення основних елементів верстата. Температура в різних точках шпіндельного вузла змінюється в межах кількох десятків градусів, що приводить до зміни положення вісі шпинделя та викликає похибку обробки.

Похибка від температурних деформацій заготовки. Основною причиною теплової деформації заготовки являється нагрів теплом із зони різання. Кількість тепла, що переходить у заготовку, залежить від схеми обробки. Так, при свердлуванні в заготовку переходить близько 55 % тепла, що виділяється при різанні; 14 % попадає в інструмент; інше тепло іде у стружку та навколишнє середовище. При точінні та фрезеруванні відкритих поверхонь тепла в заготовку переходить менше.

Тонкостінні заготовки деформуються найбільше, так як погіршуються умови тепловідведення із зони різання. Теплові деформації мазивних заготовок невеликі, і їх впливом можна знехтувати.

Обробка сталевих заготовок здійснюється із використанням мастильно-охолоджувальних рідин, що дозволяє запобігти нагріву заготовки.

Нагрів заготовки по довжині в процесі обробки відбувається нерівномірно, відповідно, різними є і величини деформацій.

Похибка від температурних деформацій інструмента. Теплові деформації різального інструменту впливають на точність обробки головним чином в умовах нестационарного теплового стану та при обробці мірним інструментом. На початку різання в перші 2–5 хв. роботи температура швидко зростає, деформація досягає граничних значень; далі зростання температури і, відповідно, деформація, сповільнюється і через певний проміжок часу (до 25 хв.) настає тепла рівновага. При звичайних умовах роботи видовження різця може досягати 30–50 мкм.

Нагрів інструмента залежить від його конструкції, режимів різання, границі міцності матеріалу, що обробляється.

2.3.5. Похибка налагодження

При обробці інструмент поступово спрацьовується, тому при періодичній заміні інструменту необхідно кожен раз налагоджувати верстат на розмір, що виконується. При налагоджуванні необхідно виконувати умови, при яких розміри всіх деталей у партії знаходились би у межах поля допуску.

При налагоджуванні інструментів використовують два методи налагодження:

- налагодження за пробними деталями;
- налагодження за еталоном.

2.3.6. Похибка через геометричні неточності верстата

Основні характеристики точності верстата залежать головним чином від точності виготовлення основних деталей, точності складання вузлів та їх спрацювання. Точність верстатів у ненавантаженому стані називається геометричною. Величини допустимих відхилень регламентуються нормами точності і приведені у стандартах. Ось деякі характеристики геометричної точності верстатів загального призначення, нормальної точності, середніх розмірів:

- радіальне биття шпинделів токарних і фрезерних верстатів на кінцях шпинделя в ненавантаженому стані допускається не більш 0,01...0,015 мм;
- биття конічного отвору в шпинделі – 0,02 мм;
- торцеве (осьове) биття шпинделя – 0,01...0,02 мм;
- похибка прямолінійності і паралельності направляючих токарних і поздовжньо-стругальних верстатів на довжині 1000 мм до-

пускається не більш 0,02 мм, а на всій довжині – не більш 0,05–0,08 мм.

Дані про фактичні похибки заносяться в паспорт верстата при його випробуваннях та поновлюються після ремонтів у процесі експлуатації.

2.3.7. Похибка через неточності різальних інструментів

Ступінь точності виготовлення різального інструменту суттєво впливає на точність механічної обробки деталей. Інструмент, як і всякий інший виріб, не може бути виготовлений з абсолютно точними розмірами, і деякі похибки при його виготовленні неминучі. Ці похибки часто залежно від виду інструмента переносяться в деякій мірі на оброблювану деталь. Тому чим точніше виготовлений інструмент, тим точніше і розміри деталі, утворені даним інструментом. Похибка обробки виникає при використанні мірних і фасонних інструментів – розверток, зенкерів, свердел, фасонних та канавкових різців, пальцевих та черв'ячних фрез, шліфувальних кругів, протяжок тощо. Відхилення розмірів таких інструментів безпосередньо переносяться на деталь.

2.3.8. Похибка через залишкові напруження в заготовках

Залишковими напруженнями називаються напруження, які існують у заготовці або деталі при відсутності зовнішніх навантажень. Залишкові напруження повністю врівноважуються і їх вплив на деталь не проявляється. Будь-яка обробка порушує рівновагу і викликає деформацію оброблюваної деталі.

Внутрішні напруження виникають внаслідок нерівномірного охолодження при виливанні, куванні, штампуванні, зварюванні, термообробці заготовок, при обробці методами поверхневої пластичної деформації, при нанесенні електrolітичних покриттів. Напруження досягають великих значень і можуть бути причиною саморуйнування заготовок.

2.4. Визначення сумарної похибки механічної обробки

Сумарна похибка механічної обробки являється результатом впливу технологічних факторів, кожний із яких викликає появу окремих елементарних похибок.

Сумарна похибка визначається із врахуванням умови, що обробка виконується в пристроєві. Сумарна похибка визначає величину технологічного допуску.

Сумарна похибка обробки заготовок на попередньо налагодженому верстаті повинна враховувати похибки, які розглянуті в п. 2.3.

У загальному випадку сумарну похибку можна записати у вигляді функціональної залежності:

$$\Delta_{\text{сум}} = f(\Delta_v, \varepsilon_v, \Delta_H, \Delta_U, \Delta_T, \sum \Delta_\phi) \quad (2.23)$$

Кожна із елементарних похибок є незалежною величиною від інших і визначається із умов побудови конкретної технологічної операції. Вважають, що розподілення випадкових величин, якими є похибки установки ε_v , похибки через пружні деформації технологічної системи Δ_v , похибки налагодження Δ_H , підпорядковується нормальному закону розподілення; розподілення похибки через спрацювання різального інструменту Δ_U , підпорядковується закону рівної ймовірності; характер розподілення похибки від температурних деформацій вивчений недостатньо.

Загальну похибку форми, що складається із таких похибок, як похибка від геометричних неточностей верстата; похибка через неточність виготовлення інструменту; похибка від внутрішніх залишкових напружень у заготовці, позначимо як $\sum \Delta_\phi$. При обробці заготовок на одному верстаті ця похибка є систематичною величиною; при обробці на кількох верстатах – переходить у випадкову величину.

При взаємно незалежних елементарних похибках сумарна похибка обробки визначається за формулами:

– для обробки на одному верстаті:

$$\Delta_{\text{сум}} = t \sqrt{\lambda_1 \varepsilon_v^2 + \lambda_2 \Delta_v^2 + \lambda_3 \Delta_H^2 + \lambda_4 \Delta_U^2 + \lambda_5 \Delta_T^2 + \sum \Delta_\phi} \quad (2.24)$$

– для обробки на кількох верстатах:

$$\Delta_{\text{сум}} = t \sqrt{\lambda_1 \varepsilon_v^2 + \lambda_2 \Delta_v^2 + \lambda_3 \Delta_H^2 + \lambda_4 \Delta_U^2 + \lambda_5 \Delta_T^2 + \lambda_6 (\sum \Delta_\phi)^2} \quad (2.25)$$

де t – коефіцієнт, що визначає відсоток ризику отримання браку при обробці, коефіцієнт ризику t вибирається залежно від прийнятого ризику P . Ряд значень коефіцієнту наступний:

Таблиця 2.1 – Значення коефіцієнта ризику

$P, \%$	32,00	10,00	4,50	1,00	0,27	0,10	0,01
t	1,00	1,65	2,00	2,57	3,00	3,39	3,89

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_6$ – коефіцієнти, що враховують закон розподілення елементарних похибок.

Для закону нормального розподілення $\lambda = \frac{1}{9}$; для розподілення рівної ймовірності, а також, коли характер розподілення не встановлено, $\lambda = \frac{1}{3}$.

Для елементарних похибок обробки приймаємо:

$$t = 3; \lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \frac{1}{9}, \lambda_4 = \lambda_{52} = \lambda_6 = \frac{1}{3}.$$

Тоді формули (2.24), (2.25) приймуть вигляд.

– для обробки на одному верстаті:

$$\Delta_{cvt} = \sqrt{\varepsilon_y^2 + \Delta_y^2 + \Delta_H^2 + 3\Delta_{tl}^2 + 3\Delta_T^2 + \sum \Delta_\phi} \quad (2.26)$$

– для обробки на кількох верстатах:

$$\Delta_{cvt} = \sqrt{\varepsilon_y^2 + \Delta_y^2 + \Delta_H^2 + 3\Delta_{tl}^2 + 3\Delta_T^2 + 3(\sum \Delta_\phi)^2} \quad (2.27)$$

На етапі попередніх розрахунків сумарну похибку обробки також можна визначити як алгебраїчну суму всіх елементарних похибок:

$$\Delta_{cvt} = \varepsilon_y + \Delta_y + \Delta_H + \Delta_{tl} + \Delta_T + \sum \Delta_\phi \quad (2.28)$$

Розрахунок простіший, однак при цьому сумарна похибка має більші значення, ніж при розрахунку за формулами (2.26) або (2.27).

2.5. Аналіз точності на основі методів математичної статистики

Види похибок. Похибки, які виникають при механічній обробці, можна поділити на три види:

- ↪ систематичні постійні;
- ↪ систематичні закономірно-змінні;
- ↪ випадкові.

Систематичні постійні похибки не змінюються при обробці однієї чи декількох партій заготовок. Вони виникають під впливом постійно діючого фактора. Прикладом подібних похибок можуть слугувати: відхилення від перпендикулярності вісі просвердленого отвору до базової площини заготовки через відхилення від перпендикулярності вісі шпинделя до площини столу вертикально-свердильного верстата; помилка міжосьової відстані розточувальних отворів через неправильну

витриману відстань між осями направляючих втулок розточного кондуктора; похибка форми обточеної поверхні (конусність) у результаті відхилення від паралельності вісі шпинделя направляючим станини токарного верстата.

Систематичні постійні похибки можуть бути виявлені пробними вимірюваннями декількох оброблених деталей і зводяться до бажаного мінімуму відповідними технологічними заходами (усунення геометричних похибок верстата, пристрою чи інструменту, а також зміни умов виконання даної технологічної операції).

Систематичні закономірно-змінні похибки можуть впливати на точність обробки постійно або періодично. Прикладом похибки, яка постійно впливає на точність, може слугувати похибка, викликана розмірним спрацюванням різального інструменту.

Прикладом періодично діючої похибки може слугувати похибка, яка виникає в результаті температурної деформації верстата в період його пуску до досягнення стану теплової рівноваги.

Знання закону зміни цих похибок дозволяє приймати міри для їх усунення чи компенсації при обробці на верстатних операціях.

Випадкові похибки виникають у результаті дії великої кількості не пов'язаних між собою факторів. Випадкова похибка може мати різні значення, визначити наперед момент появи і точну величину цієї похибки для кожної конкретної деталі в партії немає можливості.

Прикладом випадкових похибок можуть слугувати похибки положення заготовки на верстаті, похибки обробки, які викликані пружним переміщенням елементів технологічної системи під впливом нестійких сил різання, а також похибки форми оброблюваних поверхонь тонкостінних заготовок, обумовлені непостійністю затискної сили.

Визначити випадкову похибку для кожної деталі в партії практично неможливо, але границі зміни цієї похибки можна встановити з певною наперед заданою ймовірністю P . Інтервал, у якому відбувається розсіювання значень випадкової величини, називається *полем розсіювання* ω .

2.5.1. Криві розподілу та оцінка точності обробки на їх основі.

Закони розподілу. Для оцінки безперервних випадкових величин використовуються статистичні закони – *закони розподілу*.

Законом розподілу називається залежність між числовими значеннями величини X і щільністю ймовірності Y їх появи.

Для дослідження точності у машинобудуванні використовуються такі закони:

- нормального розподілу (Гауса);
- Сімпсона (трикутника);
- рівної ймовірності (прямокутника);
- ексцентриситету (Релея).

Статистичні залежності описуються теоретичними кривими розподілу. При виборі теоретичного закону розподілу на основі емпіричного розподілу розмірів використовуються критерії згоди Пірсона, Романовського, Колмогорова.

Вид кривої розподілу розмірів (лінійних, діаметральних, кутових) при обробці заготовок на попередньо налагодженому верстаті залежить від характеру (виду) похибки. Численні досліди показали, що розподіл випадкових похибок проходить по так званому нормальному закону чи закону Гауса. Відповідна крива розподілу, зображена на рисунку 2.16, має симетричну шатроподібну форму.

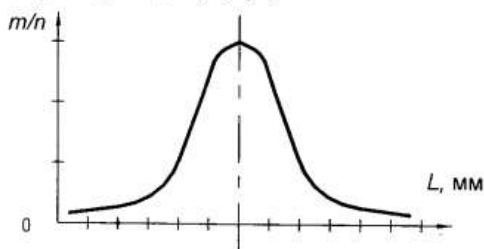


Рис. 2.16 – Крива розподілу за законом Гауса

Розподіл систематичних закономірно-змінних похибок проходить по різних законах залежно від характеру зміни похибки. Для рівномірно зростаючих похибок (похибки, які викликані розмірним зносом різального інструменту) розподіл проходить за законом рівної ймовірності, а відповідна крива розподілу перетворюється в прямокутник, рис. 2.17).

Систематична постійна похибка не впливає на форму кривої розподілу. Вплив цієї похибки має місце лише в тому, що крива розподілу для даної партії зміщується на величину Δ_H цієї похибки по вісі абсцис.

На рисунку 2.18 суцільною лінією показана крива розподілу, отримана при відсутності систематичної постійної похибки, а штриховою лінією зображена крива розподілу за наявності систематичної похибки. Дана крива зміщена на величину цієї похибки.

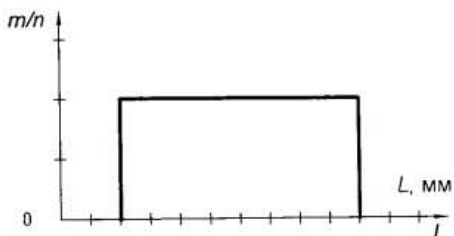


Рис. 2.17 – Крива розподілу за законом рівної імовірності

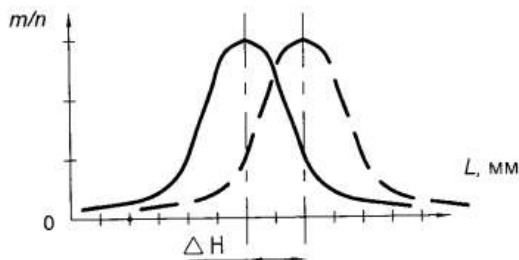


Рис. 2.18 – Крива розподілу при наявності систематичної постійної похибки

Якщо наряду з випадковими є і систематичні закономірно-змінні похибки, то крива розподілу спотворюється. На рисунку 2.19 показана крива, яка представляє собою композицію кривої Гауса та кривої рівної ймовірності. Ця крива може бути отримана в тому випадку, коли на точність обробки має великий вплив розмірний знос інструменту.

Крива розподілу для двох партій деталей, обробка яких проводилась при двох різних налагоджуваннях верстага, отримується трьох вершинною, рис. 2.20. Для декількох налагоджень може вийти багато вершинна крива. При великій кількості налагоджень багатoverшинність згладжується, і крива набуває форми кривої нормального розподілу, але з більш широкою базою.

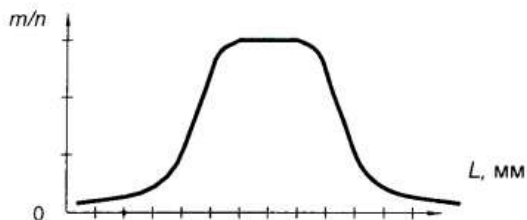


Рис. 2.19 – Крива розподілу при наявності систематичної закономірної змінної похибки

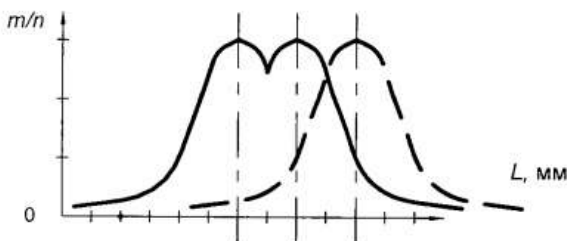


Рис. 2.20 – Крива розподілу при декількох переналагоджуваннях верстата

Праці великої кількості дослідів показали, що розподіл розмірів, виконаних на попередньо налагоджених верстатах близький до нормального. В умовах наближеного характеру технологічних розрахунків можна рахувати, що дійсний розподіл співпадає з нормальним.

Побудова емпіричних кривих розподілу. Для побудови кривої розподілу вся сукупність вимірів величини розбивається на ряд груп.

У кожену групу входять заготовки, для яких результати вимірювань знаходяться в межах встановленого інтервалу. Інтервали відкладають по вісі абсцис, а кількість заготовок, які приходяться на кожний інтервал, по вісі ординат. Після з'єднання нанесених на графік точок, отримують ламану лінію.

На рисунку 2.21 показана крива розподілу діаметральних розмірів шайб, підданих попередньому обточуванню; з неї видно, що на середині інтервали розмірів приходить більша кількість шайб.

При збільшенні кількості деталей у партії, звуженні інтервалів і збільшенні їх числа ламана лінія приближається до плавної кривої (рис. 2.22). Замість абсолютної кількості деталей у кожному інтервалі по вісі ординат відкладають також відношення цієї кількості до загальної кількості деталей у партії; дане відношення називається відносною частотою, або частістю.

Як найбільш наближена міра точності досліджуваного процесу обробки може слугувати і поле розсіювання. Величину поля розсіювання можна брати по графіку чи по таблиці вимірювання досліджуваних значень.

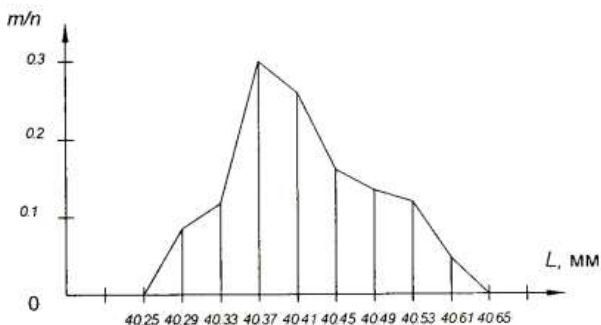


Рис. 2.21 – Крива розподілу діаметральних розмірів шайб

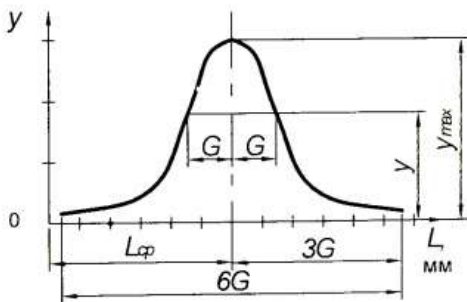


Рис. 2.22 – Крива нормального розподілу або крива Гауса

Чим вужче поле розсіювання, тим точніше досліджуваний технологічний процес.

Співставлення емпіричного розподілу з теоретичними кривими розподілу може бути виконано декількома способами.

Самий найпростіший і наглядний спвісіб оцінки близькості емпіричного розподілу до підбраного теоретичного полягає в визначенні різниці їх ординат. Крива повинна мати при цьому однаковий масштаб, однакові інтервали зміни частоти.

2.5.2. Нормальний розподіл та його характеристики

Закону нормального розподілення підпорядковуються різні неперервні величини: розміри деталей, оброблених на попередньо налагоджених верстатах; маса заготовок; твердість та технічні (механічні) властивості матеріалів; висота мікронерівностей на оброблених поверхнях; похибки вимірювання та інші величини.

Крива нормального розподілу (Гауса) описується рівнянням:

$$y = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}; \quad (2.29)$$

де a – дійсне середнє значення випадкової величини (математичне чекання).

$$a = M_x = \int_{-x}^{+x} xy dx;$$

σ – розсіювання випадкової величини (середнє квадратичне відхилення):

$$\sigma = \sqrt{\int_{-x}^{+x} y(x-a)^2 dx}; \quad (2.30)$$

e – основа натуральних логарифмів

При проведенні обмеженої кількості вимірювань визначаються наближені (емпіричні) значення середнього арифметичного \bar{x} та середнього квадратичного σ за формулами:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n},$$

де n – кількість вимірювань.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{або} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{i,гр} - \bar{x})^2 m_i}{n-1}} \quad (2.31)$$

де $x_{i,гр}$ – середнє значення i -го інтервалу;

m_i – частота попадання розміру в i -тий інтервал.

При $x = a$ нормальна крива має найбільшу ординату:

$$y_m = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \approx \frac{0.4}{\sigma} \quad (2.32)$$

На відстані $\pm \sigma$ від вісі симетрії нормальна крива має дві точки перегину:

$$y_2 = y_3 = \frac{0.24}{\sigma} \quad (2.33)$$

При $x = \pm 3\sigma$ нормальна крива асимптотично наближається до вісі абсцис, але з нею не перетинається. У межах $\pm 3\sigma$ (6σ) знаходиться 99.73 % всієї площі, що обмежується нормальною кривою.

Значення σ являється характеристикою точності обробки, із зменшенням σ точність методу підвищується. При правильній побудові технологічного процесу необхідно виконувати умову збільшення точності: $\sigma_1 > \sigma_2 > \dots > \sigma_n$, тобто на кожному наступному переході повинна забезпечуватись вища точність, ніж на попередньому.

Також величина σ характеризує форму нормальної кривої, при великих значеннях σ крива має пологі форму, при малих значеннях σ крива сильно витягнута вгору з малим полем розсіювання.

Таблиця 2.2 – Визначення параметрів нормального розподілу

№ п/п	Інтервал розміру, x_i	Частота m_i	Середній розмір, $x_{i,гр}$	Добуток, $x_{i,гр} m_i$	Відхилення середнього розміру $x_{i,гр} - \bar{x}$	$(x_{i,гр} - \bar{x})^2$	$(x_{i,гр} - \bar{x})^2$

2.5.3. Оцінка точності обробки з допомогою закону нормального розподілу

При обробці великої партії заготовок як на попередньо налаштованих верстатах, так і при використанні методу пробних ходів та вимірів можлива поява браку, тобто у деякої кількості деталей розміри будуть виходити за межі поля допуску, (поле розсіювання розмірів більше за поле допуску): $\omega = 6\sigma > T$.

Крива нормального розподілення симетрично розміщується відносно вісі ординат. Нехай поле допуску T обмежується двома розмірами x_1 та x_2 від центра групування. Ймовірна кількість годних деталей обмежується відношенням площі $F_1 + F_2$ до площі F , що знаходиться між нормальною кривою та віссю абсцис (ця площа визначає 100 % деталей партії).

Тоді площа дільниці F_1 зліва від центра розсіювання, що обмежується нормальною кривою та нижньою границею поля допуску дорівнює:

$$F_1 = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^{x_1} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx;$$

а площа дільниці F_2 справа від центра розсіювання, що обмежується нормальною кривою та верхньою границею поля допуску дорівнює:

$$F_2 = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^{x_2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx.$$

Ці інтеграли звичайно представляються у вигляді функцій Лапласа $2\Phi(z)$, причому $z = \frac{x}{\sigma}$:

$$\Phi(z_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^{z_1} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (2.34)$$

$$\Phi(z_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^{z_2} e^{-\frac{z^2}{2}} dz; \quad (2.35)$$

При $z = \pm 3$ $\Phi(z) = 0,9973$. Це означає, що із всієї партії деталей тільки 0,27 % вийде за границі поля допуску.

Значення функції Лапласа наведені у табл. 2.3.

Метод кривих розподілення універсальний, простий, має єдину методику, дозволяє оцінити точність різних способів обробки. Метод вигідно використовувати для тих випадків, коли невідомий механізм виникнення похибки.

Недоліки методу:

- метод фіксує результати закінченого етапу обробки, частина заготовок може попасти у брак;
- не виявляє суті фізичних явищ і факторів, що впливають на точність та не виявляє конкретні можливості підвищення точності;
- не враховує послідовність обробки заготовок;
- якщо при виконанні операції були зроблені зміни, отримані результати не можуть бути використані.

Таблиця 2.3 – Значення функції

z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$
0,00	0,0000	0,29	0,1142	0,66	0,2454	1,60	0,4452
0,01	0,0040	0,30	0,1179	0,68	0,2517	1,65	0,4502
0,02	0,0080	0,31	0,1217	0,70	0,2580	1,70	0,4554
0,03	0,0120	0,32	0,1255	0,72	0,2642	1,75	0,4599
0,04	0,0160	0,33	0,1243	0,74	0,2703	1,80	0,4641
0,05	0,0199	0,34	0,1331	0,76	0,2764	1,85	0,4678
0,06	0,0239	0,35	0,1368	0,78	0,2823	1,90	0,4713
0,07	0,0279	0,36	0,1416	0,80	0,2881	1,95	0,4774
0,08	0,0319	0,37	0,1443	0,82	0,2939	2,00	0,4772
0,09	0,0359	0,38	0,1480	0,84	0,2995	2,10	0,4821
0,10	0,3980	0,39	0,1517	0,86	0,3051	2,20	0,4861
0,11	0,0438	0,40	0,1554	0,88	0,3106	2,30	0,4893
0,12	0,0478	0,41	0,1591	0,90	0,3159	2,40	0,4918
0,13	0,0517	0,42	0,1628	0,92	0,3212	2,50	0,4938
0,14	0,0557	0,43	0,1684	0,94	0,3264	2,60	0,4953
0,15	0,0596	0,44	0,1700	0,96	0,3315	2,70	0,4965
0,16	0,0636	0,45	0,1736	0,98	0,3365	2,80	0,4574
0,17	0,0675	0,46	0,1772	1,00	0,3413	2,90	0,4981
0,18	0,0714	0,47	0,1808	1,05	0,3531	3,00	0,49865
0,19	0,0753	0,48	0,1844	1,10	0,3643	3,20	0,49931
0,20	0,0793	0,49	0,1879	1,15	0,3749	3,40	0,49966
0,21	0,0832	0,50	0,1915	1,20	0,3849	3,60	0,499841
0,22	0,0871	0,52	0,1985	1,25	0,3944	3,80	0,499928
0,23	0,0910	0,54	0,2054	1,30	0,4032	4,00	0,499968
0,24	0,0948	0,56	0,2123	1,35	0,4115	4,500	0,499997
0,25	0,0987	0,58	0,2190	1,40	0,4192	5,00	0,4999997

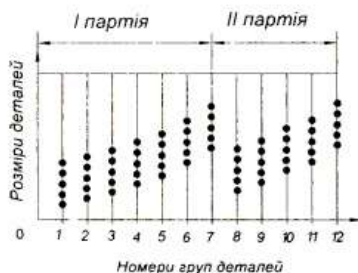
продовження табл. 2.3

0,26	0,1020	0,60	0,2257	1,45	0,4265		
0,27	0,1064	0,62	0,2324	1,50	0,4332		
0,28	0,1103	0,64	0,2389	1,55	0,4394		

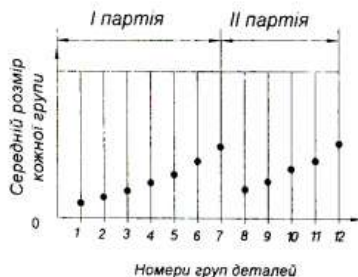
2.5.4. Точкові діаграми та їх застосування для дослідження точності обробки

Дослідження процесів обробки методом кривих розподілу дозволяє об'єктивно оцінити точність виконання даної технологічної операції. Цей метод, однак, володіє тим недоліком, що при його використанні не враховується послідовність обробки заготовок.

Крім того, криві розподілу не дають можливості розпізнати кожну із причин, які впливають на результат процесу. За формою кривої можна судити про ту чи іншу причину, яка викликається похибкою, але не більше.



а



б

Рис. 2.23 – Точкові діаграми

Інший метод дослідження точності оснований на побудові точкової діаграми. По горизонтальній вісі відкладаються номери оброблювальних деталей в тій послідовності, в якій вони сходять з верстата. По вертикальній вісі у вигляді точок відкладаються результати вимірювання деталей. Подібні діаграми можна будувати як для однієї, так і для декількох партій деталей, які обробляються послідовно (рис. 2.23).

Властивості точкових діаграм стали детально вивчати в зв'язку з розвитком і застосуванням в промисловості статистичного методу контролю продукції. Суть цього методу полягає в тому, що в процесі виготовлення даної продукції періодично беруться проби кількістю від двох до десяти деталей. Результати вимірювань цих деталей, які проводяться універсальним інструментом, швидко оброблюються і наносяться на спеціальну (контрольну) діаграму.

На цій діаграмі передбачені дві паралельні прямі ($a - a$), які визначають границі поля допуску і прямі ($b - b$) допустиме поле розсіювання (рис. 2.24).

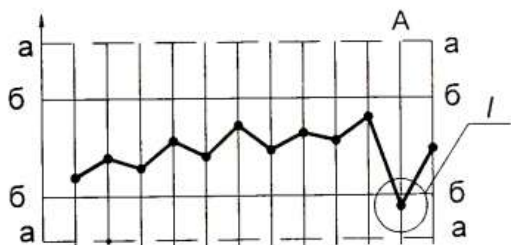


Рис. 2.24 – Контрольна діаграма для статистичного контролю
1 – вихід розміру за допустиме поле розсіювання ($b-b$)

Вихід ломаної лінії за межі контрольних границь (1), є сигналом для того, щоб провести переналадку верстата регулюванням чи зміною інструмента.

Питання для самоконтролю

1. Що розуміється під точністю механічної обробки?
2. Яким чином можна розділити на групи похибки розмірів і форми деталі?
3. Які існують види похибок і причини їхнього виникнення?

4. Як деформується технологічна система: верстат – пристосування – інструмент – заготівля під дією сил різання?
5. Що таке жорсткість і піддатливість технологічної системи?
6. Які похибки виникають від неточності роботи верстага, деформації пружної технологічної системи?
7. Які похибки геометричної форми виникають від дії сил різання?
8. У результаті чого виникають похибки установки базування заготовок?
9. Як змінюються розміри і форма деталі під дією температури?
10. Які існують методи розрахунку точності технологічних процесів?
11. Що являють собою випадкові похибки і крива нормального розподілу випадкових похибок (крива Гаусса)?
12. Як визначити середньоквадратичне відхилення розмірів деталі?
13. Які похибки обробки виникають у процесі фрезерування?
14. Яким чином визначаються параметри точності ТС на основі статистичної обробки миттєвих вибірок?
15. Як оцінюються показники точності ТС на основі розрахунку сумарної похибки контрольованого параметра?
16. Які існують основні терміни і знаки визначення шорсткості поверхні відповідно ГОСТ 25142–82?
17. Чим характеризується квалітет точності і яким чином регламентується точність технологічного процесу?

Якість поверхонь деталей машин

3.1. Поняття якості поверхонь

Якість поверхонь деталей машин та заготовок характеризується шорсткістю і хвилястістю поверхні, а також фізико-механічними властивостями поверхневого шару.

Шорсткістю поверхні називають сукупність нерівностей з відносно малими кроками, що формують рельєф поверхонь деталі і розглядаються на визначеній (базовій) довжині.

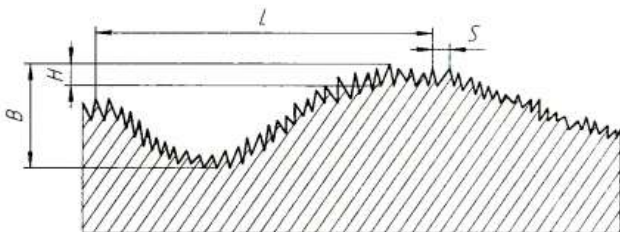


Рис. 3.1 – Шорсткість та хвилястість поверхні:

B – висота хвилі; L – крок хвилі; H – висота мікронерівностей;
 S – крок мікронерівностей

Під хвилястістю поверхонь розуміють сукупність виступів і впадин, що періодично чергуються і утворюють нерівності поверхонь, у яких відстань між суміжними виступами чи впадинами перевищує базову довжину, що приймається при вимірі шорсткості.

Шорсткість і хвилястість поверхні взаємозалежні з точністю розмірів. Високій точності завжди відповідає мала шорсткість і хвилястість поверхні. Це визначається не тільки умовами роботи виробу, але й необхідністю одержання стійких і надійних результатів вимірювання.

Фізико-механічні властивості поверхневого шару характеризуються його твердістю, структурними перетвореннями, величиною і знаком залишкових напруг, глибиною поширення деформації кристалічної решітки металу.

У готовій деталі якість оброблених поверхонь значною мірою залежить від операцій кінцевої обробки, необроблені поверхні зберігають характеристики якості, що виникли в процесі одержання заготовки.

Досягнення потрібних характеристик якості поверхонь деталей машин і підтримка їх на визначеному рівні є задачею побудови всього технологічного процесу.

3.2. Фактори, які впливають на шорсткість і хвилястість поверхонь

При обробці металів різанням на обробленій поверхні отримуємо деякі відхилення за геометричними ознаками:

- ✎ макрогеометрія (макронерівності) поверхні, які характеризується похибками форми – відхиленням від правильної геометричної форми (овальність, конусність, бочкоподібність тощо);
- ✎ хвилястість поверхні, тобто наявність приблизно однакових, хвиленеподібних відхилень, що періодично повторюються;
- ✎ мікрогеометрія (мікронерівності) поверхні, тобто шорсткість, що обумовлена наявністю найдрібніших виступів і впадин. Величина мікронерівностей характеризує чистоту обробленої поверхні.

Поверхня може бути хвилястою, і одночасно грубошорсткою чи малошорсткою – чистою (гладкою).

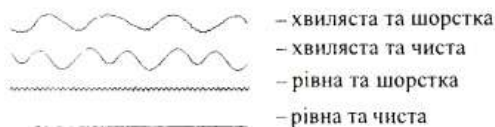


Рис. 3.2 – Види поверхонь з точки зору їх чистоти

Шорсткість виміряну в напрямку руху подачі називають поперечною шорсткістю, а виміряну в напрямку головного робочого руху, при якому здійснюється різання – повздовжньою шорсткістю. Зазвичай повздовжня шорсткість характеризується меншою висотою нерівностей і при вимірюванні охоплюється поперечною шорсткістю.

Шорсткість поверхні залежить від методу і режимів обробки, геометрії і якості доведення різальних кромek інструменту, властивостей оброблюваного матеріалу, а також від умов виконання обробки (виду МОР, способу закріплення заготовки, вібрацій, що виникають у процесі обробки).

Кожному методу обробки властивий визначений діапазон висоти мікронерівностей, та чи інша картина розміщення штрихів на обробленій поверхні.

Істотний вплив на шорсткість поверхні здійснює подача і швидкість різання. Форма різальної кромки інструменту, також впливає на шорсткість поверхні, однак утворення мікронерівностей не можна пояснити лише слідом руху різальної кромки по поверхні матеріалу заготовки, яка обробляється.

На шорсткість поверхні впливають пластична деформація захоплення і відриву шарів матеріалу, що знаходяться під різальною кромкою (обробка сталевих заготовок) і явище крихкого відламування часточок матеріалу (обробка заготовок із сірого чавуну і твердих кольорових сплавів).

Наріст на передній поверхні різального інструменту, що періодично з'являється у визначеному діапазоні швидкостей різання при обробці сталевих заготовок, сприяє збільшенню шорсткості. При високих швидкостях різання шорсткість зменшується, тому що наростоутворення зникає, стружка, внаслідок підвищення температури різання, відокремлюється різцем більш плавно і кристали металу не вириваються.

При підвищенні подачі явище захоплення і відриву шарів металу збільшуються, збільшуючи цим шорсткість поверхні.

Мікронерівності отримують також внаслідок тертя задньої поверхні інструмента по оброблюваній поверхні заготовки, які збільшуються в міру зношування різального інструмента.

На шорсткість поверхні впливають механічні властивості, хімічний склад і структура матеріалу заготовки. При обробці заготовок з м'якої мало вуглецевої сталі отримується більш шорстка поверхня, ніж при обробці заготовок із твердої сталі з великим вмістом вуглецю.

Заготовки зі сталей із дрібнозернистою структурою обробляються краще заготовок зі сталей із грубозернистою структурою.

Вібραції елементів технологічної системи періодично змінюють положення кромки різального інструмента щодо поверхні, яка обробляється, створюючи на ній виступи і западини.

На процес вібрації впливають: жорсткість системи (і, зокрема, жорсткість пристрою і кріплення заготовки), зазори в ланках системи, нерівноваженість частин, що обертаються, дефекти приводів та інші причини.

Залежно від частоти і амплітуди коливань змінюються розміри і форма поверхневих нерівностей. При відносно невисокій частоті і великій амплітуді коливань на оброблюваній поверхні виникає хвилястість.

Шорсткість поверхонь чорних заготовок виникає під дією технологічних умов їх одержання. За результатами досліджень професора Кована В.М. поверхневі шари заготовок характеризуються наступними даними:

- на поверхні прокату залишаються сліди похибок поверхні прокатних валиків, у міру зношування яких поверхня прокату погіршується. Висота поверхневих нерівностей гарячекатаного прокату не перевищує 150 мкм, а холоднотягнутого – 40...50 мкм;
- у поковок висота поверхневих нерівностей залежить від методів кування. Найбільш груба поверхня зі значними нерівностями, близько 1,5...4 мм отримується при вільному куванні. На поверхнях гаряче штампованих поковок залишаються сліди окалини і відтворюються поверхневі похибки штампів, при цьому висота поверхневих мікронерівностей залежно від ваги поковок, стану штампів, знаходиться в границях 150...500 мкм;
- поверхні відливок копіюють в тій чи іншій степені поверхні лінійних форм. Поверхневі нерівності у дрібних відливках, залитих у піщану форму ручного формування, сягають 500 мкм, а у великих – 1500 мкм і залежать від величини зерен формувальної суміші, щільності набивання форми, старанності її обробки та інших факторів. При литті в піщані форми машинного формування висота поверхневих нерівностей – 300 мкм.

3.3. Критерії шорсткості

За ГОСТ 2789–73 встановлено шість критеріїв шорсткості: R_a ; R_z ; R_{\max} ; S_r ; S_m ; t_r .

Значення параметрів шорсткості поверхні визначаються від єдиної бази, за яку прийнята середня лінія m . Середня лінія m – базова лінія, що має форму номінального профілю і проведена так, що в межах базової довжини середньоквадратичне відхилення профілю до цієї лінії має мінімальне значення (рис. 3.3).

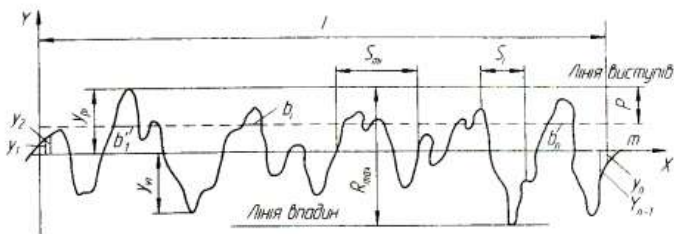


Рис. 3.3 – Параметри шорсткості поверхні

Шорсткість поверхні оцінюється на довжині (l), що може містити одну чи кілька базових довжин (l).

Значення базової довжини вибирають з ряду: 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; 25 мм.

При вимірі шорсткості поверхні профілометрами, одержуємо картину показану на рис. 3.4.

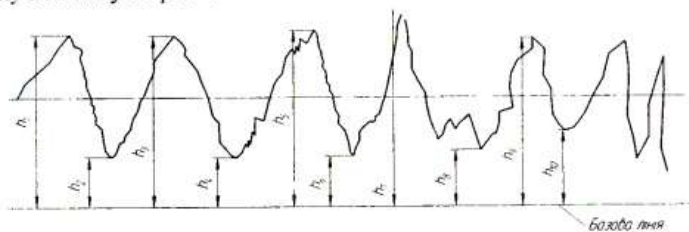


Рис. 3.4 – Приклад визначення шорсткості критерію R_z

Визначення критеріїв шорсткості: R_z – висота нерівностей по десяти точках – або середня відстань між п'ятьма найвищими h та п'ятьма найнижчими точками профілю, який вимірюється, в границях базової довжини (рис. 3.4).

Обробку профілограми (рис. 3.4) з метою визначення висоти нерівностей R_z поверхні деталі ведуть відповідно до ГОСТ 2789-73 за формулою:

$$R_z = \frac{1}{5} [(h_1 + h_3 + h_5 + h_7 + h_9) - (h_2 + h_4 + h_6 + h_8 + h_{10})], \text{ мкм} \quad (3.1)$$

де $h_1, h_3, h_5 \dots$ – висота п'яти найвищих точок виступів, замірених від довільно віддаленої базової лінії;

h_1, h_2, h_3, \dots – висота п'яти найглибших впадин, заміряних від тієї самої базової лінії, мкм;

Ra – середнє арифметичне відхилення профілю чи середнє арифметичне з абсолютних значень відхилень профілю “ y ” у границях базової довжини.

Значення Ra визначається із суми абсолютних значень відхилень профілю “ y ” від середньої лінії в границях базової довжини (рис. 3.5).

$$Ra = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i|}{n}, \text{ мкм.} \quad (3.2)$$

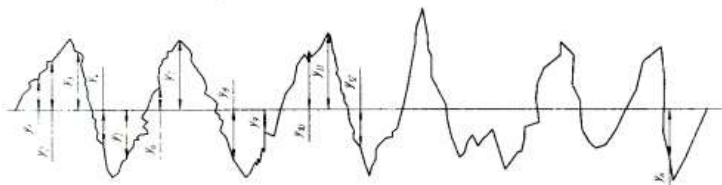


Рис. 3.5 – Визначення критерію шорсткості Ra

Критерій шорсткості R_{max} – це найбільша висота нерівностей профілю або відстань між лінією виступів профілю поверхні і лінією впадин у границях базової довжини (рис. 3.6).

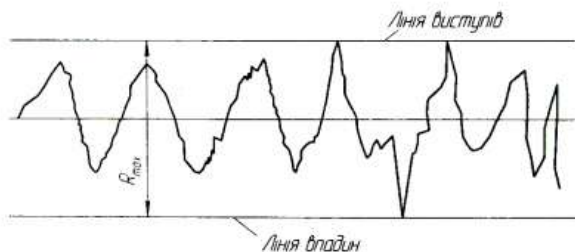


Рис. 3.6 – Визначення критерію R_{max}

S_m – це середнє арифметичне значення кроку нерівностей профілю в границях базової довжини.

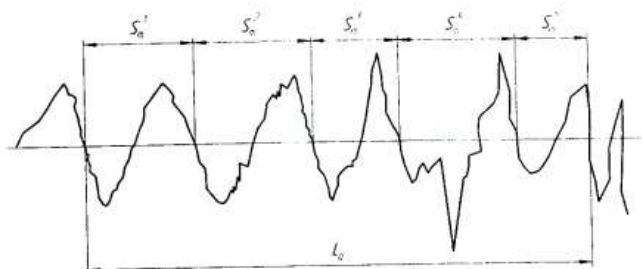


Рис. 3.7 – Визначення критерію шорсткості S_m

$$S_m = \frac{S_{1m} + S_{2m} + S_{3m} + S_{4m} + S_{5m}}{5}, \text{ мкм} \quad (3.3)$$

S_i – це середнє арифметичне значення кроку нерівностей профілю за вершинами у границях базової довжини.

$$S_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N |S_i| \quad (3.4)$$

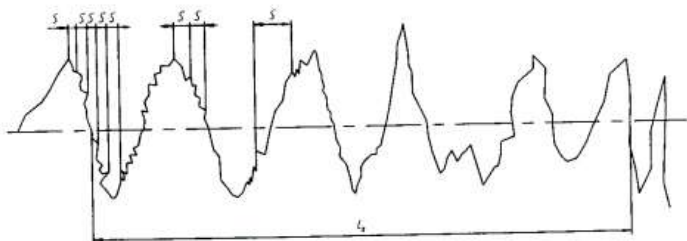


Рис. 3.8 – Визначення критерію шорсткості S_p

Відносна опорна довжина профілю – t_p – це відношення опорної довжини профілю до базової довжини.

$$t_p = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n b_i \quad (3.5)$$

Опорна довжина профілю це сума довжин відрізків b_i у границях базової довжини, що отримані відтинанням вершин мікронерівностей на заданому рівні стосовно середньої лінії (m) при з'єднанні, наприклад, поверхонь з натягом.

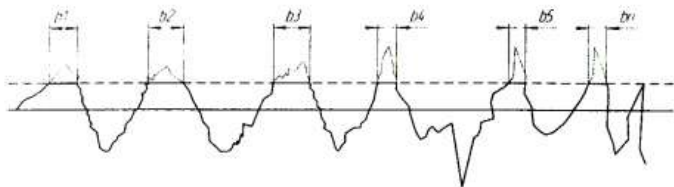


Рис. 3.9 – Визначення критерію шорсткості t_p

Параметр шорсткості t_p має важливе значення при збиранні деталей машин, коли необхідно забезпечити посадку з натягом.

ГОСТ 2789-73 – регламентує наступні границі значень параметрів шорсткості:

$$\begin{aligned}
 Ra &= 0,008 \dots 100 \text{ мкм}; \\
 Rz \text{ та } R_{\max} &= 0,025 \dots 1\ 600 \text{ мкм}; \\
 S_m \text{ та } S_i &= 0,002 \dots 12,5 \text{ мм}; \\
 t_p &= 10 \dots 90 \% \text{ або } t_p = 0,1 \dots 0,9; \\
 l &= 0,01 \dots 25 \text{ мм}.
 \end{aligned}$$

3.4. Методи оцінки якості поверхонь

Оцінку шорсткості поверхонь проводять у цеху при контролі і прийнятті оброблених деталей, а також при виконанні випробувань в лабораторних умовах.

Існуючі методи оцінки можна розділити на прямі і непрямі (порівняльні). Для прямої оцінки шорсткості (у мкм) застосовують щупові (профілометри і профілографи) і оптичні (подвійний і інтерференційний мікроскопи) прилади. Для непрямой оцінки застосовують еталони шорсткості та інтегральні методи.

Профілометри виготовляються стаціонарного і переносного типів і дозволяють вимірювати шорсткість у границях $0,02 \dots 5$ мкм. Дія профілометра ґрунтується на проходженні по поверхні алмазної голки, (рис. 3.11), що рухається по заданій трасі. Механічні коливання голки перетворюються в електричні. На шкалі приладу профілометра оцінка шорсткості, залежно від характеристики перетворення, дається за Ra або Rz (середнє квадратичне відхилення висоти мікронерівностей від середньої лінії профілю).

Профілографи застосовують для запису мікропрофілю поверхні R_z $0,025 \dots 80$ мкм у виді профілограм. При подальшій обробці знятої

профілограми можуть бути отримані значення Ra і Rz для даної поверхні.

Профілографи призначені для лабораторних досліджень і не придатні для цехового контролю деталей.

В оптико-механічних профілографах запис профілограми проводиться світловим променем на фотоплівці чи пером самописця на паперовій стрічці.

Вертикальне збільшення при знятті профілограми дається значно більше ніж горизонтальне. Так, наприклад, на профілографі заводу "Калібр", можливий вимір шорсткості з вертикальним збільшенням від 1000 до 200000 разів і горизонтальним – від 2 до 4000 разів.

При вимірі шорсткості поверхонь щуповими приладами деталей з м'яких матеріалів спостерігається дряпання поверхні деталей, не дивлячись на маленький тиск на голку. Радіус заокруглення вістря голки в 10–12 мкм не дозволяє проникнути ним у вузькі і глибокі западини і відобразити їх на профілограмі або в числовій оцінці висоти мікронерівностей.

Подвійні мікроскопи МИС-11 і ПСС-2 призначені для виміру шорсткості поверхонь Rz 0,8...80 мкм. У цьому приладі мікронерівності висвітлюються світловою смугою, що направляється з освітлювального тубуса під деяким кутом до поверхні, що контролюється. Лінія перетинання світлової смуги і мікронерівностей спостерігається в збільшеному виді у візуальному тубусі.

Мікронерівності вимірюються за допомогою окулярного мікрометра або фотографуються за допомогою фотонасадки. Змінними об'єктивами досягається збільшення в 87, 157, 270, 517 разів. На приладі визначається шорсткість поверхні за показником Rz . Недолік методу – необхідність вимірів, і підрахунків результатів вимірів. Метод застосовується при лабораторних дослідженнях і вибірковому контролю.

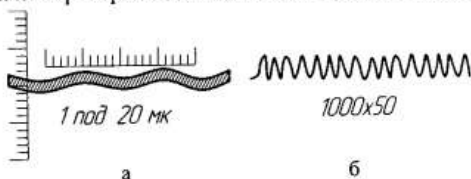


Рис. 3.10 – Профілограма сталеві поверхні, обробленої чистовим точінням: а – знятої на МИС-11; б – знятої на профілографі ИЗП-17

Алмазний наконечник голки 1 датчика, яка протилежним кінцем вільно входить у котушку 4, при переміщенні по поверхні деталі 3, що перевіряється, залежно від мікронерівностей на останній, коливається (рис. 3.11).

Ці коливання голки сприймаються обмоткою котушки 4, а маленькі токи, які виникають у котушці, передаються через підсилювач на шкалу приладу чи профілограму (у профілографів) (рис. 3.12).

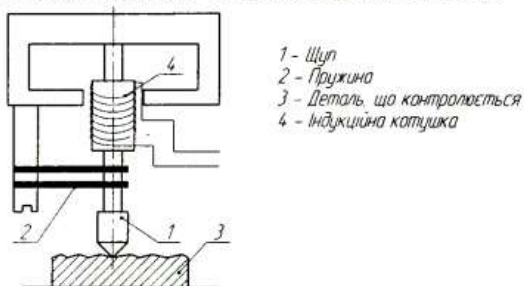


Рис. 3.11 – Схема щупового приладу для вимірювання шорсткості

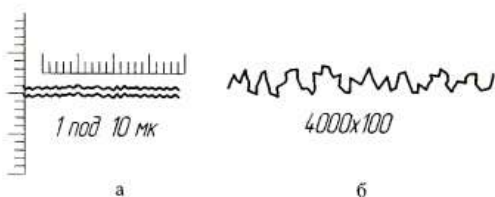


Рис. 3.12 – Профілограми сталевих поверхонь, оброблених чистовим шліфуванням:

а – знятої на подвійному мікроскопі МІС-11;

б – знятої на профілографі ІЗП-17

Мікроінтерферометри МІІ-4 використовують для виміру шорсткості поверхонь Rz 0,025...0,6 мкм. У полі зору приладу спостерігаються скривлені інтерференційні смуги відповідно профілю мікронерівностей на розглянутій ділянці поверхні. Висота цих скривлень вимірюється окулярним мікрометром при збільшенні в 490 разів. Фотографування проводиться при збільшенні в 290 разів. Незначна величина поля зору приладу при фотографуванні обмежує його застосування 0,025...0,05

мкм по базовій довжині. Метод застосовується при лабораторних дослідженнях і виробничому контролі прецизійних деталей.

Метод порівняння поверхні контрольованої деталі з атестованими зразками шорсткості поверхні є найбільш простим і швидким способом контролю виробничих деталей у цехових умовах. При деяких звичках контролери можуть досить надійно визначати клас чистоти контрольованої деталі. Для цього зразки повинні бути виготовлені з тих же матеріалів, що і деталі, які обробляються, тому що відбиваюча здатність матеріалу (сталі, чавуна, кольорових сплавів тощо) істотно впливає на окомірну оцінку шорсткості поверхні. Механічна обробка зразків повинна проводитися тим же методом, яким обробляються контрольовані деталі. Зразки повинні бути виготовлені по найбільшій границі висот нерівностей для даної шорсткості. При цій умові легше розрізнити зразки різних класів. Зразки повинні мати паспорти з зазначеними матеріалом, термообробкою, методом механічної обробки, режимами різання, мастильно-охолоджувальною рідиною, геометричними параметрами різального інструменту, при якому вони були оброблені. Такі паспорти орієнтують технолога при призначенні режиму різання та інші умови обробки для одержання чистоти поверхні деталей заданих класів. Зразками можуть служити такі готові деталі, шорсткість поверхні яких атестована. На практиці важко забезпечити вказані вимоги, тому для відповідальних видів контролю на виробництві їх не застосовують.

Для поверхонь з шорсткістю Ra 0,16...1,25 мкм рекомендується користуватися переносним, або стаціонарним мікроскопом, у якому зображення контрольованої поверхні і зразка сполучені в поле одного окуляра, розділеного на дві рівні частини, і збільшені в 10...50 разів.

Таким мікроскопом є мікроскоп МС-49, що за конструкцією дуже простий і дозволяє оцінювати шорсткість поверхні деталей, не знімаючи їх з верстату.

Промені світла від лампочки 1 проходять через призму 2 у двох напрямках. Одна частина променів направляється через діафрагму 3 на поверхню еталону 4 і відбившись від неї, повертається в призму 2, проходить об'єктив 5 і в половині поля зору окуляра 6 дає зображення поверхні еталона чистоти. Друга частина променів направляється через діафрагму 7 і, відбившись від контрольованої поверхні 8, проходить через призму 2, об'єктив 5 і поруч із зображенням еталону 4 дає

зображення контрольованої поверхні. Такий метод не може з високою точністю оцінювати чистоту поверхонь деталей, так як неможливо підібрати еталони, оброблені при тих же умовах, при яких обробляються деталі в механічних цехах і тому цей метод поступово витісняється із виробництва.

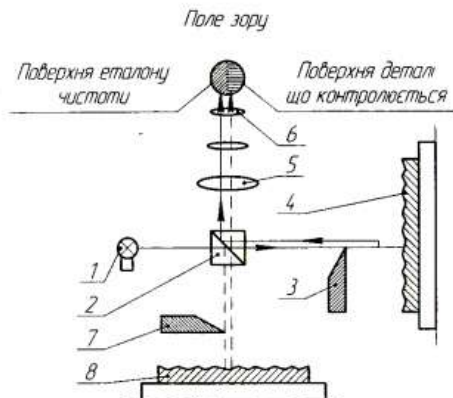


Рис. 3.13 – Оптична схема мікроскопа порівняння МС-49

Інтегральні методи дають непряму оцінку шорсткості не по визначеній трасі, а по площі обраної ділянки поверхні. Даний метод контролю використовується зокрема в пневматичних приладах, що застосовуються для оцінки шорсткості поверхонь $Rz\ 0,8 \dots 80\ \mu\text{м}$. Шорсткість поверхонь оцінюється за витратою повітря, що проходить крізь щілини між торцевою поверхнею сопла приладу, і поверхнею деталі, до якої сопло притуляється. Чим більша висота мікронерівностей тим більші витрати повітря при тому самому тиску повітря. Зі зміною шорсткості поверхні змінюється прохідний переріз, а разом з ним – опір витіканню струменю повітря із сопла.

Метод зручний при роботі на настроєних приладах на визначені розміри деталі і застосовується в масовому виробництві. Настроювання приладу проводиться за зразками чистоти чи за еталонними деталями.

Шорсткість непрямым методом може бути визначена на поверхні деталі методом виміру електричної ємності між деталлю і металеву пластинкою, розділених діелектриком. Зі зменшенням шорсткості поверхні ємність конденсатора збільшується.

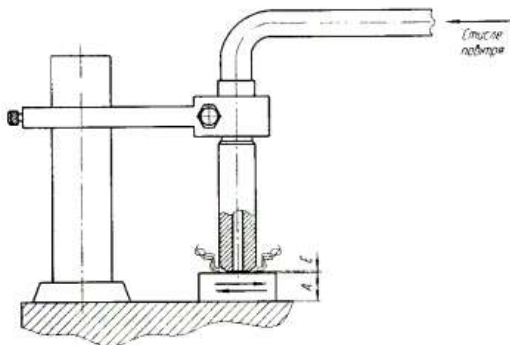


Рис. 3.14 – Схема пневмоприладу для контролю якості поверхні

Відомі також інші методи інтегральної оцінки шорсткості (за зношуванням графітової пластинки чи стрижня, що притискається до контрольованої поверхні з визначеною силою, за кількістю відбитого світла, що падає на поверхню деталі, індуктивний метод виміру шорсткості тощо).

Вимір хвилястості поверхні можливий на профілографіях для виміру шорсткості, для цього необхідно лише збільшити трасу виміру та застосувати голку зі збільшеним радіусом заокруглення вістря.

3.5. Позначення шорсткості на поверхнях деталей

ГОСТ 2.309–73 установлює позначення шорсткості поверхонь і правила нанесення їх на креслення виробів (рис. 3.15).

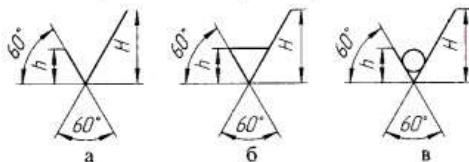


Рис. 3.15 – Позначення шорсткості поверхні

Без вказування виду обробки:

– для Rz – $Rz\ 20$;

– для Ra – $Ra\ 1,25$.

Обробка без видалення поверхневого шару (відливка, пресування, прокат, накатування, зміцнення дробинками, кульками...) Rz40.

З видаленням поверхневого шару (усі види механічної обробки):

– по Rz – Rz20;

– по Ra – Ra0,25.

При вказуванні конкретного виду обробки:

Rz 40; Ra 0,25
відливка шабрувати

5. Чистота поверхні, яка не підлягає обробці по заданому кресленню – або – всі інші не вказані на кресленні поверхні за Rz 40 або без обробки Rz40.

Взаємозв'язок між точністю і шорсткістю поверхонь. При обробці на металорізальних верстатах при різних режимах різання і точності обробки одержують різну чистоту поверхонь. Взаємозв'язок між класами точності і шорсткістю поверхонь при обробці заготовок із сталі і сірого чавуну показано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Шорсткість поверхонь у залежності від виду обробки

№ п/п	Метод обробки	Точність (квалітет)	Шорсткість поверхні Ra, мкм
1	Точіння		
	Попереднє (чорнове)	11	12,5...6,3
	Чистове	8	2,5...1,25
	Тонке	5...6	0,63...0,32
2	Фрезерування		
	Чорнове	11	12,5...6,3
	Чистове	8	2,5...1,25
	Тонке	6	0,63...0,32

3.6 Фактори, що впливають на якість обробленої поверхні

Параметр шорсткості поверхні залежить від багатьох факторів: методу обробки, режимів різання, геометричних параметрів і якості поверхонь частин різального інструменту, пластичної і пружної деформації оброблюваного матеріалу, жорсткості системи: верстат – пристосування – інструмент – заготівля і пов'язаних з нею змушених коливань і вібрацій при різанні тощо.

Професор П.Е. Дьяченко запропонував наступну загальну формулу, що визначає параметр шорсткості поверхні:

$$Rz = R_p + R_{n_i} + R_{vnp} + R_t + R_o + R_m \quad (3.6)$$

де R_p – розрахункова висота шорсткості (частка висоти параметра шорсткості, обчислена по повздовжній подачі);

R_{n_i} – частка висоти шорсткості, що створюється внаслідок пластичного деформування матеріалу перед лезом інструмента;

R_{vnp} – частка висоти шорсткості, що створюється за рахунок пружного відновлення матеріалу після проходження різального інструменту;

R_t – частка висоти шорсткості, створювана мікро нерівністю леза інструмента;

R_o – частка висоти шорсткості, утворена ушкодженням стружки, що відходить, що не завжди міститься в проміжках між зубами багатозубого інструмента;

R_m – частка висоти шорсткості, утворена за рахунок недостатньої жорсткості системи: верстат – пристосування – інструмент – заготовля.

Крім перерахованих факторів, на утворення шорсткості можуть впливати й інші. Тому необхідно враховувати вплив лише основних факторів, у значній мірі, що впливають на шорсткість поверхні.

На підставі аналізу виконаних науково-дослідних робіт можна зробити висновок про те, що шорсткість обробленої поверхні представляє насамперед слід робочого руху частини крайки різального інструменту, що контактує з оброблюваним матеріалом. Висоту цієї шорсткості визначають розрахунковим шляхом залежно від геометричних параметрів частини різального інструменту, (кутів у плані – головного і допоміжного, радіуса заокруглення вершини інструменту і подачі).

Аналогічні формули можуть бути отримані для будь-яких випадків утворення розрахункової висоти нерівності поверхні. При деяких умовах обробки фактична шорсткість поверхні визначається її розрахунковим значенням, а вплив інших факторів незначний.

Найбільш сильний вплив на значення розрахункової висоти нерівності поверхні має пластична деформація. При обробці матеріалів, що не дають наросту, вплив пластичної деформації на висоту шорсткості визначається головним чином поширенням хвилі деформації убік сусіднього сліду, а при обробці матеріалів, що дають нарост, як цією причиною, так і дією вершини наросту, завдяки чому утворюються задирки матеріалу на поверхні зрізу.

Вплив пружних деформацій на параметр шорсткості поверхні є наслідком наявності на лезі будь-якого інструменту притуплення. При взаємному переміщенні різця та оброблюваної поверхні наявність цього округлення викликає пружне деформування матеріалу біля крайки, що різє. Минаючи її, матеріал заготовки піднімається і займає попереднє положення. Внаслідок того, що конфігурація нерівності досить складна, пружне відновлення матеріалу може відбуватися в різному ступені на різних ділянках обробленої поверхні.

Оброблювана поверхня формується різальним інструментом. Тому нерівності його леза деякою мірою копіюються на цій поверхні. За певних умов цей фактор буде визначальним при формуванні шорсткості обробленої поверхні (поперечне точіння, протягування, циліндричне фрезерування тощо).

При виборі або проектуванні різального інструмента, при встановленні режимів різання, виборі складу мастильно-охолодної рідини і техніки її підведення в робочу зону необхідно прагнути до раціонального відводу стружки, тому що в іншому випадку не можна виключити її негативного впливу на формування шорсткості обробленої поверхні.

Деформації і коливальні рухи в системі: верстат – пристосування – інструмент – заготівля змінюють розрахункову висоту нерівності, змінюючи, таким чином, розрахунковий параметр шорсткості.

Відзначені вище фактори, що впливають на параметр шорсткості поверхні, залежать від режимів різання, геометричних параметрів інструмента, жорсткості системи верстат-пристосування-інструмент-заготівля, механічних властивостей оброблюваного матеріалу тощо.

З параметрів режиму різання найбільш істотний вплив на процес утворення шорсткості поверхні роблять швидкість різання і подача.

Шляхом експериментальних досліджень установлений безпосередній зв'язок між швидкістю різання і висотою наросту матеріалу на різці, від значення та етапів утворення якого значною мірою залежить шорсткість обробленої поверхні.

На рис. 3.16 показана залежність параметра шорсткості від швидкості різання.

Приведені залежності можна розбити на чотири зони. Перша зона відповідає дуже малим діапазоном і характеризується тим, що нарост у ній відсутній, поверхня виходить без задирок. Друга зона відповідає швидкостям різання 1–30 м/хв. У цій зоні з'являється нарост, досягаючи тут найбільшої висоти. Оброблена поверхня має значний параметр шорсткості при швидкості різання $V = 25 \dots 30$ м/хв.

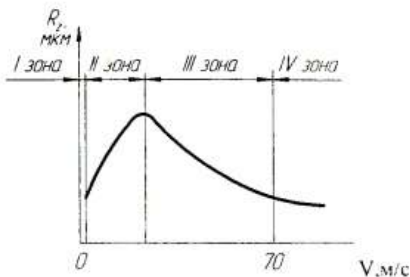


Рис. 3.16 – Залежність параметра шорсткості від швидкості різання

Третя зона відповідає швидкостям різання від 25–80 м/хв; вона характеризується поступовим зникненням наросту, при цьому параметр шорсткості зменшується. У четвертій зоні швидкість різання більше 80 м/хв, вона характеризується відсутністю наросту.

У цій зоні параметр шорсткості мало відрізняється від розрахункового значення і зі зміною швидкості різання змінюється незначно, в основному за рахунок зменшення ступеня пластичного деформування.

Дослідження металів, що не виявляють схильності до утворення наросту при їх обробці різанням, показали, що параметр шорсткості не залежить від зміни швидкості різання.

На рис. 3.17 показана залежність параметра шорсткості обробленої поверхні від подачі при точінні сталей.

З представленої залежності видно, що чим більше подача, тим більша ступінь збільшення параметру шорсткості. Інтенсивність цього збільшення підвищується особливо сильно на ділянці до величини 0,6...0,7 мм/об, а далі приймає постійне значення. При малих подачах ($S < 0,2...0,25$ мм/об) зменшення параметра шорсткості зі зменшенням подачі дуже незначне в зв'язку з тим, що чим менше подача, тим більший вплив мають мікронерівності леза інструмента.

Глибина різання теж впливає на параметр шорсткості поверхні. Однак зміна глибини різання при малих її значеннях (0,2–0,3 мм) може істотно змінити умови зрізання стружки. У таких умовах вплив глибини різання на утворення шорсткості поверхні значно зростає. За результатами досліджень впливу геометричної форми різального інструмента на параметр шорсткості поверхні можна зробити наступні загальні

висновки. Передній кут нахилу різальної крайки, і задній кут можуть бути віднесені до другорядних факторів, що впливають на формування мікро профілю. Більше значення мають радіус заокруглення при вершині, кути в плані – головний і допоміжний. При збільшенні радіуса заокруглення параметр шорсткості зменшується.

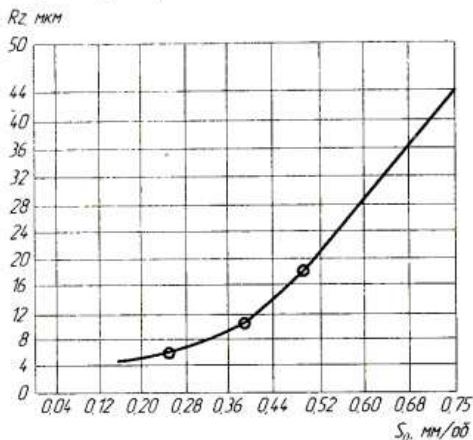


Рис. 3.17 – Залежність шорсткості поверхні від подачі

Властивості і структура матеріалу також впливають на шорсткість поверхні.

При збільшенні крихкості матеріалу шорсткість зменшується. Сталі з підвищеним вмістом сірки (автоматні сталі) і сталі з присадкою свинцю після обробки різанням мають менший параметр шорсткості поверхні, ніж вуглецеві сталі, оброблені в однакових з ними умовах.

Застосування мастильно-охолодної рідини сприяє зменшенню параметра шорсткості поверхні.

Збільшення швидкості різання приводить до збільшення глибини наклепу. Однак при швидкостях різання більше 0,33 м/с (200 м/хв) глибина наклепу зменшується, в результаті дії високих температур відбувається зменшення міцності.

При обробці конструкційних сталей різальним інструментом з негативним переднім кутом і при швидкостях різання 8,3...13,3 м/с (500...800 м/хв) виникають залишкові напруги стиску. Збільшення подачі приводить до зростання глибини наклепу і залишкових напруг.

Збільшення радіуса округлення крайки, що ріже, приводить до зростання глибини наклепу і залишкових напруг.

Зі зменшенням твердості оброблюваної сталі збільшується глибина наклепу.

Залишкові напруги зростають при збільшенні опору деформуванню, а також при підвищенні твердості оброблюваного матеріалу.

3.7. Вплив якості поверхні на експлуатаційні властивості деталей машин

Якість поверхні впливає на експлуатаційні властивості деталей машин: зносостійкість, втомну міцність, стабільність посадок деталей (зазори, натяги), корозійну стійкість тощо.

У початковий період роботи сполучених поверхонь деталей машин, тобто в процесі їх прироблення, навіть при невеликому тиску можливий розрив масляної плівки в місцях виступаючих вершин шорсткостей: у результаті відбувається сухе тертя, пружне і пластичне деформування на цих ділянках, що приводить до інтенсивного зношування контактуючих поверхонь. Таким чином, після прироблення параметр шорсткості поверхні буде відрізнитися від отриманого після механічної обробки.

На рис. 3.18 приведена типова залежність зносу сполученої пари від часу її роботи. У цій залежності можна виділити дві критичні крапки і три характерних ділянки, що відзначаються також і в залежності розмірного зносу різця від шляху різання. Крапка А представляє кінець початкового зносу (приробітки) на ділянці I за період часу t_1 . Ділянка II характеризує нормальне, природне зношування, що повільно наростає в процесі експлуатації. Після визначеного періоду роботи T_2 знос досягає таких розмірів, коли подальша експлуатація машини стає практично неможливою (точка Б). При продовженні роботи (ділянка III) знос росте надзвичайно швидко, протікає катастрофічний знос різального інструменту.

Нормальний знос для всіх випадків приблизно можна характеризувати однаковим кутом нахилу прямих, що виражають залежності зносу від часу роботи сполученої пари і властиві даним матеріалам і умовам роботи.

Таким чином, тривалість роботи тертьових пар до границі припустимого зносу буде різною залежно від шорсткості поверхні.

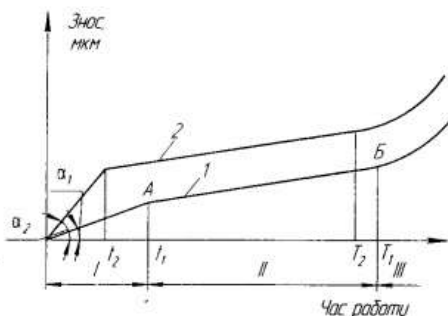


Рис. 3.18 – Залежності зносу поверхні від часу роботи

На початковий знос сполучених деталей впливають також форма і напрямок нерівності щодо напрямку ковзання поверхонь.

Наклеп, що виникає в поверхневому шарі, зменшує знос поверхонь у 1,5...2 рази.

Установлено, що поверхні з меншою шорсткістю менше піддані корозії. Речовини, які визивають корозію, збираються на дні западин нерівностей поверхні і проникаючи в глиб металу, вони руйнують гребінці шорсткості, утворюючи нові тощо. Очевидно, чим менше висота нерівностей, тим повільніше буде протікати корозія. Тому в деяких відповідальних машинах, що працюють у несприятливих атмосферних умовах, полірують навіть ті поверхні деталей, які при звичайних умовах експлуатації можна було б не обробляти.

Питання для самоконтролю

1. Чим визначається якість поверхонь деталей?
2. Які параметри шорсткості поверхонь встановлені ГОСТ 2789–73?
3. Як позначається шорсткість поверхні на кресленні?
4. Які параметри визначають фізико-механічні властивості поверхневого шару?
5. Які фактори впливають на якість обробленої поверхні?
6. Як впливає якість поверхні на експлуатаційні властивості деталей?
7. Які шляхи використовують для поліпшення якості обробленої поверхні деталей машин?

4.1. Вибір матеріалів заготовок

Правильний вибір матеріалів для виготовлення деталей машин, які проектуються – один з основних факторів, що впливають на створення надійної та економічної конструкції. При виборі матеріалу деталей необхідно враховувати: умови роботи деталі, вартість матеріалу, його дефіцитність і здатність оброблятися, форму і розміри деталі, метод одержання заготовки і способи її обробки, вартість виготовлення деталі тощо. Деталі повинні мати форму зручну для нескладного і недорогого виготовлення, бути міцними і зносостійкими. Вибираючи матеріал, враховують характер і величину діючих на деталі навантажень, швидкість відносного переміщення деталей і умови експлуатації машини. Для деталей, на які діють значні статичні і динамічні навантаження, наприклад у пресах для вирубки, приклеювання підшов, гарячої вулканізації тощо, обраний матеріал повинний забезпечувати необхідну міцність і твердість. У той же час більшість деталей швидкохідних взуттєвих машин, на які діють інерційні навантаження, виходять з ладу від зносу поверхонь тертя. Тому деталі, виготовлені з матеріалу, обраного тільки на основі забезпечення міцності, в ряді випадків мають низьку зносостійкість.

Зносостійкість поверхонь тертя визначається властивостями поверхневого шару матеріалу деталі. У багатьох матеріалів вони змінюються під дією термічної чи хіміко-термічної обробки. При виборі матеріалу для деталей, що піддаються зносу, варто враховувати властивості матеріалу сполученої деталі. Більш відповідальну і складну деталь варто виготовляти з твердого і зносостійкого матеріалу, а більш просту, яка працює в парі з нею, виготовляти з матеріалу меншої твердості з відносно невисоким коефіцієнтом тертя.

Найбільш часто в машинобудуванні легкої промисловості застосовується сірий чавун марок СЧ12, СЧ15 і СЧ18 (ГОСТ 1412–85). Чавун марки СЧ12 застосовують для виготовлення мало навантажених деталей, що не працюють на знос. З нього виготовляють станини, кришки,

стійки, рукоятки, маховики і т.д. Деталі, що працюють на знос при питомому тиску до 0,49 МПа і на згинаючі напруги, що випробують, до 9,8 МПа, виготовляють з чавунів марок СЧ15 і СЧ18. Вони застосовуються для виготовлення зубчастих коліс, повзунів, станин, голівок, ударників і інших деталей. Для виготовлення відповідальних і сильно навантажених деталей великих розмірів і складної конфігурації (гідроциліндрів, корпусів насосів, зубчастих коліс, кулачків), що працюють при питомому тиску більше 0,49 МПа, застосовують чавун марки СЧ21. Модифікований чавун використовують при виготовленні дуже навантажених деталей складної конфігурації (супортів, кареток, станин, корпусів гідронасосів).

Антифрикційний чавун застосовують для виготовлення втулок-підшипників. Він має невеликий коефіцієнт тертя, високу зносостійкість і припрацьовуваність. Застосування антифрикційного чавуну в підшипниках вимагає безупинного змащення, ретельного монтажу і збільшення зазорів у сполученні на 15...30 % у порівнянні з зазорами, установленими для бронзи. Підшипники з антифрикційного чавуну марки АСЧ-2 виготовляють для взуттєвих, швейних і інших машин.

Ковкий чавун КЧ35, у порівнянні із сірим, має підвищену пластичність і міцність. У взуттєвому машинобудуванні з нього виготовляють важелі і кронштейни швидкохідних машин.

Для виготовлення більшості сталевих деталей найбільш часто застосовують сталь вуглецеву звичайної якості марок Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6; конструкційну, автоматну марок А12, А20, А30; вуглецеву якісну конструкційну марок 15, 20, 25, 30, 40, 45, 60; сталь леговану конструкційну марок 20Х, 35Х, 40Х, ШХ15; інструментальну вуглецеву сталь марок У7, У7А, У8 тощо.

Для виготовлення сталевих деталей використовують листовий і сортовий прокат, сталеве лиття. При виборі сталі необхідно враховувати її призначення, технологію виготовлення і умови експлуатації деталі. Рекомендується ширше використовувати сталь вуглецеву звичайної якості марки Ст3, автоматну марки А12 і вуглецеві конструкційні марок 15, 35, 45. Сталь марки Ст3 застосовується в зварних конструкціях (станини машин, траверси та ударники пресів), для виготовлення прокладок, кришок і інших деталей. Автоматна сталь марки А12 добре обробляється різанням і з неї виготовляють дрібні мало навантажені деталі (гвинти, гайки, вісі)...

Леговані сталі марок 20X, 35X, 40X, термічно оброблені, мають більш високі механічні властивості, ніж вуглецеві, леговані сталі застосовуються для виготовлення кулачків, валів складної форми та інших деталей. Інструментальні вуглецеві сталі застосовують для різального інструменту (пробійників, різаків, ножів і ін.).

До антифрикційних матеріалів, які використовуються для виготовлення підшипників, відносяться кольорові антифрикційні, залізовуглецеві сплави (чавуни і металокерамічні залізграфітові матеріали) і неметалічні антифрикційні матеріали. До кольорових антифрикційних матеріалів відносяться: бабіт, бронза, латунь, цинкові сплави. Більшість кольорових антифрикційних сплавів мають однакову будову – м'яку пластичну грузлу масу, в яку вкраплені тверді частки. Розрізняють наступні марки бабітів: оловянистий Б-83; олов'яно-свинцевисті Б16, БН, БТ, Б-6, свинцевисті БК, БК-2, БС. Найкращими антифрикційними властивостями володіє бабіт Б-83, що містить 83 % олова і є найбільш дорогим, тому використовується тільки для особливо відповідальних вузлів машин. Він добре приробляється, має високу теплопровідність, і малий коефіцієнт тертя, стійкий проти зносу і володіє підвищеною ударною в'язкістю. Граничні режими роботи: питоме навантаження до 20 МПа, швидкість ковзання до 50 м/с і температура до 110 °С. Інші марки бабітів трохи уступають оловянистому, однак широко використовуються у вузлах машин.

Значна кількість деталей виготовляється з бронзи і латуні різних марок. Бронза буває оловяниста і безоловяниста. Найбільше поширення у вузлах машин взуттєвої, трикотажної, шкіряної промисловості знаходять бронзи наступних марок: Броце 6-6-3, Броце 5-5-5 і Броце 4-4-17 (оловяно-цинковосвинцевисті сплави); Бресо, Брмц 8-20, Брмцс5-25-1 (безоловянисті свинцевисті сплави) і Браж 9-4, Браже 7-1, 5-1, 5, Бражмцю 3-1,5 (алюмінієво-залізисті). Бронза – антифрикційний високоякісний сплав. Вона застосовується для виготовлення втулок і вкладишів підшипників ковзання, вінців черв'ячних коліс тощо. Бронзи, особливо оловянисті і свинцеві, дуже дорогі і дефіцитні сплави. Гарним заміником їх є алюмінієво-залізисті бронзи. З урахуванням умов роботи деталей бронзу варто замінити антифрикційним чавуном, чи цинком алюмінієвим антифрикційним сплавом і іншими матеріалами.

Широке застосування в машинобудуванні знаходять неметалічні матеріали: пластмаси, текстоліт, гума. Пластмаси характеризують цінні

фізико-хімічні і механічні властивості. Вони мають високу міцність, малу теплопровідність і плавкість, діелектричні властивості. Пластмаси зносостійкі, їх можна застосовувати в якості фрикційних і антифрикційних матеріалів. Вироби з них можна одержувати високопродуктивними методами (литтям під тиском, пресуванням, формуванням, зварюванням) з мінімальними витратами праці, практично без відходів і додаткової обробки. З пластмас виготовляють рукоятки, підшипники, корпуси, кришки тощо. Деревинно-шаруваті пластики широко використовуються для втулок і вкладишів підшипників, зубчастих коліс, як електроізоляційний матеріал. Коефіцієнти тертя ковзання деревних пластиків по сталі залежно від умов роботи знаходяться в межах 0,02...0,1, що відповідає коефіцієнтам тертя при роботі вкладишів із бронзи і бабіту. Текстоліт застосовують для виготовлення безшумних шестерень, втулок, ручок, прокладок, а також використовують як антифрикційний матеріал. Від заготовки, від того, наскільки вона за своєю формою і розмірами наближається до готової деталі, залежать витрата матеріалу, якість обробки, кількість операцій і їхня трудомісткість.

4.2. Види і способи виготовлення заготовок

У сучасному виробництві одним з основних напрямків розвитку технології механічної обробки є використання чорнових заготовок з економічними конструктивними формами, що забезпечують можливість застосування найбільш оптимальних способів їх обробки, тобто обробки з найбільшою продуктивністю і найменшими відходами.

Основними видами заготовок у залежності від призначення деталей є: виливка з чорних і кольорових металів; заготовки з металокераміки; куті і штамповані заготовки; заготовки, штамповані з листового металу; заготовки з прокату; зварені заготовки; заготовки з неметалічних матеріалів.

Виливки з чорних і кольорових металів (рис. 4.1) виконують різними способами. Для заготовок простих форм із плоскою поверхнею в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва застосовують лиття у відкриті земляні форми, для великих заготовок – лиття в закриті форми. Ручне формування в опоках по моделях чи шаблонах застосовують для дрібних і середніх виливків деталей, що мають форму тіл обертання. В даний час набуває поширення лиття в рідкі суміші, які швидко твердіють. Цей спосіб виключає необхідність сушіння форм у печах. У

серійному і масовому виробництві застосовують машинне формування по дерев'яних чи металевих моделях. Виливки складної конфігурації виготовляють у формах, що збирають зі стрижнів по шаблонах і кондукторах. Виливки складних форм із сплавів, що важко обробляються різанням, виготовляють по моделях, що виплавляються (рис. 4.1 об'ємне зображення "ялінка"), при цьому забезпечується точність розмірів за 11-12-м квалітетами і шорсткість поверхні $Ra\ 6,3\ \dots\ 1,6\ \mu\text{m}$. За моделями, що виплавляються, виготовляють виливки як з чорних, так і з кольорових сплавів, причому у виробництві виливків зі сплавів, заливання яких повинне виконуватись у холодні форми, застосовують сполучення лиття по моделях, що виплавляються і способу гіпсового формування.

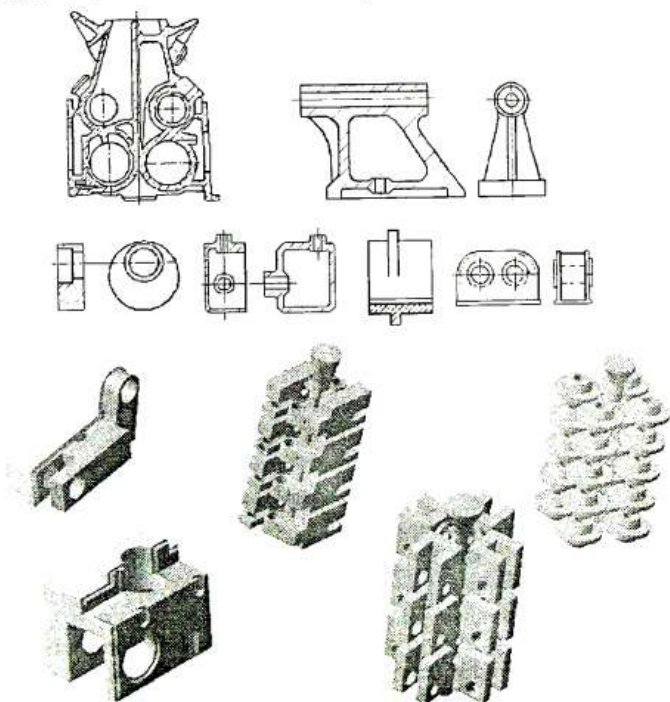


Рис. 4.1 – Виливки з чорних і кольорових металів (об'ємне зображення – відливки по моделях, що виплавляються)

Точні виливки з невеликими припусками на механічну обробку одержують при литті в оболонкові форми. Цей спосіб, широко розповсюджений у даний час, заснований на властивості термореактивної смолопіщаної суміші приймати форму підігрітої металевої моделі та утворювати щільну і швидкотвердіючу оболонку. Цей спосіб лиття розширює можливості автоматизації. Виливки мають точність розмірів за 12-14-м квалітетами і шорсткість Ra 0,4 мкм.

До прогресивних способів виготовлення литих заготовок відноситься спосіб лиття в металеві форми (кокілі), що виключає процес формування, забезпечує сприятливі умови охолодження, а також простоту видалення виливків з форми. Перспективне застосування податливих металевих форм, виготовлених з пакетів листової сталі, а також тонкостінних водоохолоджувальних форм, у яких робоча порожнина виготовляється у виді змінного штампування. Застосування вакуумного відсмоктування при кокільному литті розширює область його використання для виготовлення тонкостінних корпусних деталей з алюмінієвих і магнієвих сплавів, а заливання у відкриту форму з наступним витисканням при змиканні напівформ (метод "книжкового" формування) дозволяють одержувати великогабаритні тонкостінні виливки.

Для виготовлення виливків із дрібнозернистою структурою металу і підвищених механічних властивостей застосовують спосіб відцентрового лиття, який одержав найбільше поширення при виготовленні виливків деталей, що мають форму тіл обертання (втулок, труб, пустотілих валів), з точністю 12-го квалітету.

Для виготовлення заготовок деталей складної конфігурації успішно застосовують спосіб лиття під тиском. Міцність виливків, виготовлених цим способом, на 30 % вища міцності виливків, виготовлених литтям у земляні форми. Цей спосіб широко застосовують у серійному і масовому виробництві при виготовленні невеликих деталей складної форми. Сучасні автомати для лиття під тиском виливків масою до 300 г забезпечують продуктивність 6 000...8 000 виливків за годину. Шорсткість поверхні заготовок Ra 2,5...0,32 мкм.

Заготовки з металокераміки виготовляють з порошків, різних металів чи із суміші їх з порошками, наприклад графіту, кремнезему, азбесту тощо. Цей вид заготовок застосовують для виробництва деталей, які не можуть бути виготовлені іншими методами – з тугоплавких елементів (вольфрам, молибден, магнітних матеріалів тощо), з металів,

що не утворюють сплавів, з матеріалів, що складаються із суміші металу з неметалами (мідь-графіт), і з пористих матеріалів.

Спосіб одержання металокерамічних матеріалів заснований на пресуванні тонких металевих порошоків у необхідній суміші в прес-формах під тиском 100...600 МПа і наступному спіканні при температурі трохи нижче температури плавлення основного компонента. Цей спосіб зветься порошковою металургією, і з його допомогою виготовляють підшипники ковзання (з антифрикційними властивостями), гальмові диски (із фрикційними властивостями), що самозмащуються, пористі втулки, у яких пори на 20...30 % обсягу під тиском заповнюються мастилом, а також деталі для електро- і радіотехнічної промисловості (магніти). Перевагою порошкової металургії також є можливість виготовлення деталей, які не вимагають наступної механічної обробки.

Ковані і штамповані заготовки (рис. 4.2) виготовляють різними способами.

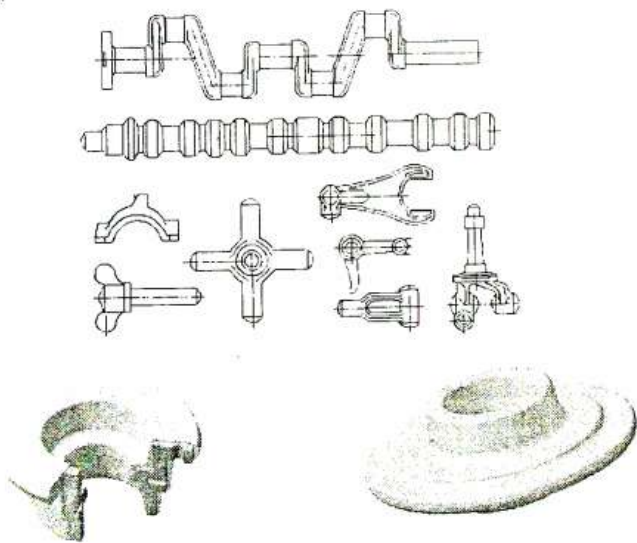


Рис. 4.2 – Ковані і штамповані заготовки

Так, для одержання заготовок деталей в одиничному і дрібно-серійному виробництві застосовують кувальні молоти і гідравлічні ку-

вальні преси. Заготовки характеризуються порівняно грубим наближенням до форми готової деталі і вимагають великих витрат на наступну механічну обробку.

Для більшого наближення форми заготовки до форми готової деталі в дрібносерійному виробництві застосовують підкладні штампи. Заготовку, попередньо виконану вільним куванням за допомогою універсального ковальського інструменту, поміщають у підкладний штамп, де вона приймає форму, більш близьку до форми готової деталі.

У серійному і масовому виробництві заготовки виготовляють на штампувальних молотах і пресах у відкритих і закритих штампах. У першому випадку утворюється облой, тобто відхід зайвого металу в результаті витікання; облой компенсує неточність у масі вихідної заготовки. В другому випадку облой відсутній, отже, витрата металу на заготовку менша. Технологічними процесами, що інтенсифікують технологію штампування, є: штампування заготовок з відцентрових виливків і виливків у кокіль, штампування методом видавлювання в звичайних закритих і рознімних штампах, безоблойне штампування, штампування з періодичного прокату, об'ємне штампування із заготовок, отриманих безупинним розливанням сталі.

Штампування заготовок, відлитої методами відцентрового і кокільного лиття, призначається для виготовлення заготовок типу пустотілих циліндрів, минаючи процеси розливання сталі в злитки і наступну їх прокатку і розковування. При цьому процесі заготовки для наступного штампування чи розкочування відливаються на відцентровій машині, а потім у гарячому виді (при $t = 1250 \dots 1300$ °C) виймаються з кокілю чи відцентрової машини.

Метод видавлювання особливо ефективний при сполученні його з індукційним нагріванням для виготовлення таких великих заготовок, як вали, валки, ротори тощо.

Значно велику економію металу можна одержати при впровадженні прогресивних технологічних процесів штампування на кривошипних гаряче-штампувальних пресах, штампування (гарячого видавлювання) у цільних і рознімних матрицях, мало відхідного штампування (безоблойного і з протитиском). Гаряче видавлювання є ефективним процесом одержання штампувань різноманітної конфігурації, найчастіше у виді стрижнів із фланцями різної форми, деталей з відростками тощо, причому видавлювання, як операція гарячого штампування, часто засто-

совується як заготовочна операція для розподілу металу відповідно до форми деталі, завдяки чому скорочуються відходи в облой. Ще більш ефективний різновид технологічної схеми видавлювання – штампування видавлюванням у рознімних матрицях. Наявність другої лінії рознімання дозволяє одержувати кування з відростками і піднутріннями, близькими до конфігурації деталі. Сутність процесу маловідхідного штампування полягає в одержанні точних заготовок (переважно тіл обертання) без облоя в закритих штампах (див. рис. 4.3 об'ємне зображення). Надлишок металу (неминучий при існуючих способах різання заготовок) відводиться в спеціальні порожнини штампу. Одним із різновидів процесу штампування шестерень у штампах з клиновою облойною канавкою.

Для одержання заготовок із пруткового матеріалу висадженням використовують горизонтально-кувальні машини. Цей спосіб продуктивний і економічний. Фасонні, а також пустотілі заготовки циліндричної форми штампують на гідравлічних пресах. Пустотілі заготовки виготовляють прошиванням отвору з наступним протягуванням через кільце чи висадженням, а болти, заклепки і подібні деталі – на фрикційних гвинтових пресах у спеціальних збірних штампах з рознімними матрицями. При штампуванні на фрикційних пресах досягаються висока точність виготовлених заготовок, зменшення витрат матеріалу і висока продуктивність. Так, при виготовленні заклепок продуктивність пресів складає до 1000 шт. на годину.

Для виготовлення заклепок і інших подібних деталей у масовому виробництві застосовують також холодновисадочні прес-автомати. Продуктивність цих пресів складає 400 шт. за хвилину і більше. Деталі, отримані холодним висадженням з каліброваного прокату, відрізняються великою точністю (8-й квалітет). Для одержання заготовок періодичного профілю чи для витяжки металу в поздовжньому і поперечному перерізі використовують кувальні вальці. Профіль змінного перетину одержують пропускаючи заготовку через рівчак вальців, складний профіль – пропускаючи заготовку через кілька профільованих рівчаків.

Точність розмірів і чистоту поверхонь штампованих заготовок підвищують холодним калібруванням і площинним чи об'ємним проглажуванням (чеканкою). Площинну чеканку застосовують для невеликих поверхонь заготовок, а об'ємну – для заготовок невеликого розміру. Заготовки можна чеканити й у гарячому стані, однак точність гарячої чеканки нижча, ніж холодної. Гарячу чеканку застосовують переважно для великих штампованих заготовок.

Штапуванням заготовок з листового металу можна одержувати вироби простої і складної конфігурації: шайби, втулки, сепаратори підшипників кочення, баки, kabіни автомобілів тощо. Для цих виробів характерна майже однакова товщина стінок, що мало відрізняється від товщини вихідного матеріалу (рис. 4.3).

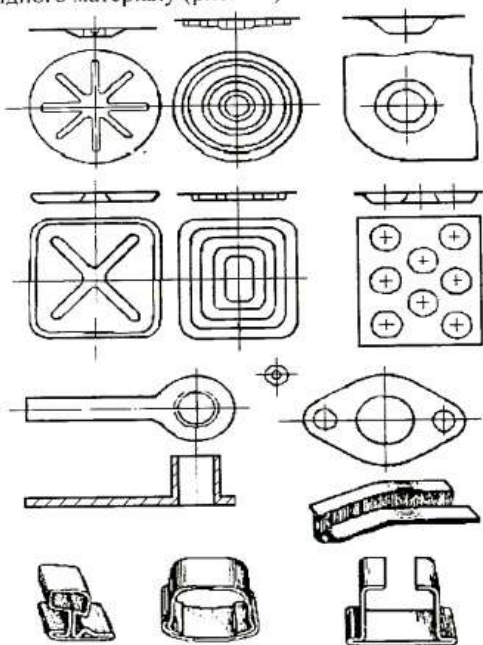


Рис. 4.3 – Штаповані заготовки з листового металу

Холодним штапуванням з листового матеріалу можуть бути отримані заготовки з низьковуглецевої сталі, пластичної легованої сталі, міді, латуні (з вмістом міді більше 60 %), алюмінію і деяких його сплавів, а також з інших пластичних листових матеріалів товщиною від десятих часток міліметра до 6...8 мм. Заготовки, одержані холодним штапуванням з листа, відрізняються високою точністю розмірів, у багатьох випадках не потребують наступної механічної обробки і надходять безпосередньо на збірку.

Гарячим листовим штапуванням можуть бути отримані заготовки з матеріалу товщиною понад 8...10 мм, а при низькій пластичності – з

матеріалу менших товщин для виготовлення деталей корпусів кораблів, цистерн, казанів, хімічних машин, апаратів і ін.

При виготовленні великогабаритних листових деталей у даній час широко застосовують безпресове штампування, яке називають гідравлічною витяжкою і засновану на використанні статичного гідравлічного тиску, електрогідравлічного ефекту й енергії підводного вибуху вибухових речовин. Гідравлічна витяжка може бути використана для формоутворення деталей з алюмінієвих сплавів товщиною до 5 мм і сталі товщиною до 3 мм.

Високий тиск порядку 20...25 МПа передається безпосередньо рідиною, або за допомогою гумової діафрагми чи мішка.

Гідравлічна витяжка відрізняється більш рівномірним розподілом напруг у металі, ніж при витяжці пуансонами, і створює більш сприятливі умови для формоутворення з меншими утоненнями в процесі витяжки.

Для формоутворення, калібрування, обробки поверхні деталей машин і їх зміцнення при обробці тиском у холодному стані застосовують процеси безшампової обробки, засновані на пластичній деформації металів. До них відносяться накатка шестерень, шліц і різьблень, накатка і розкочування поверхонь кульками і роликами. Ці способи дозволяють здійснити розмірно-чистову обробку, поліпшити мікро геометрію поверхонь, у ряді випадків скасувавши оздоблювальну обробку.

Знаходить застосування також метод обкатування роликами (гідро спінінг), що успішно заміняє не тільки обробку різанням і давильні роботи, але і витяжку. Цей спосіб полягає в поступовому обтисненні роликами листової, штампованої чи литої заготовки, отриманої на оправці, яка примусово обертається. Великі тиски на ролики, що сягають 25 МПа, створювані гідравлічним приводом, дозволяють дуже продуктивно обжимати порожні деталі циліндричної, конічної і параболічної форм, одержувати деталі складної конфігурації з великим перепадом перетинів з точністю в межах 11-го квалітету і шорсткістю поверхні Ra 0,8...0,4 мкм.

Всі операції листового штампування можна розділити на розділові (відрізка, вирубка, пробивання, зачищення), у ході яких одну частину заготовки відокремлюють від іншої, і формозмінні (згинання, витяжка, обтиск, відбортовка, рельєфне формування, формування), у яких одна частина заготовки переміщується щодо іншої без руйнування заготовки (у межах пластичних деформацій).

Вихідний товстий лист розділяють на мірні заготовки переважно газовим різанням.

Тонкі аркуші розділяють на заготовки звичайно відрізанням на гільйотинних і дискових ножицях.

Гаряче листове штампування роблять переважно на гідравлічних листоштампувальних і фрикційних гвинтових пресах, рідше – на кривошипних листоштампувальних пресах. Зі спеціального устаткування для обробки лист-чеканка у гарячому стані слід зазначити трьох- і чотирьохвалкові згинальні вальці, призначені для згинання листа в обичайку реверсивним прокатуванням листа між валками, які поступово зближаються.

Нагрівання перед штампуванням ведуть звичайно в полум'яних камерних печах періодичної дії чи в методичних печах безупинної дії. Прогресивний індукційний електронагрів, при якому тривалість процесу скорочується у 5...6 разів, а товщина шару окалини зменшується в 2...3 рази в порівнянні із шаром окалини, отриманим у полум'яних печах. Різко підвищується точність штампування, створюються можливості автоматизації процесу, значно поліпшуються умови праці в пресових (ковальсько-штампувальних) цехах.

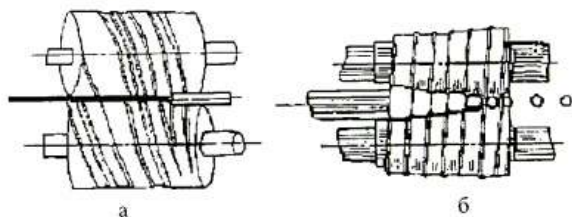


Рис. 4.4 – Схеми періодичної прокатки заготовок:
а – прокатка розподільчого вала; б – прокатка куль

Для точного штампування дрібних заготовок рекомендується безокисний електронагрів у захисній атмосфері. Цей метод дозволяє одержувати заготовки також без окалини.

Заготовки з круглого прокату для валів у більшості випадків більш доцільні, ніж ковані чи штамповані заготовки. Однак якщо маса заготовки з прокату перевищує масу штампування більш ніж на 15 %, краще застосовувати штамповані заготовки. Виготовлення заготовок із труб також є одним з раціональних способів. Незважаючи на те, що

тонна гарячого прокату коштує в середньому в 1,5 рази менше, ніж тонна труб, проте економія металу при виробництві деталей із труб у порівнянні з виготовленням із круглого прокату може покрити різницю у вартості. Виключення може бути зроблено тільки для деталей, що піддають подальшій кількарізній обробці (свердлінню, фрезеруванню тощо), і якщо коефіцієнт використання матеріалу нижче 0,5.

Максимальної подібності конструктивних форм і розмірів заготовок готовим деталям можна досягти застосуванням спеціальних профілів металу. Застосування періодичного прокату, тобто прокату з максимальною схожістю заготовки і деталі, забезпечує підвищення коефіцієнта використання металу при штампуванні в середньому на 10...15 % завдяки скороченню втрат на облой, сприяючи одночасно підвищенню продуктивності праці як у заготовочних, так і в механооброблювальних цехах. На рис. 4.4 приведені схеми періодичної прокатки різних заготовок: розподільного вала (а); куль, виготовлених методом поперечного розкочування (б). У приведеному прикладі маса заготовок зі звичайних профілів: розподільного вала – 7,95 кг і куль – 0,164 кг, а при використанні періодичного прокату – відповідно 6,32 і 0,125 кг, що складає економію металу 13 і 24 %.

Зварені заготовки дозволяють одержувати вироби такої конфігурації, що звичайно виходить у результаті лиття чи обробки різанням. У сучасному машинобудуванні часто застосовують штамповувальні заготовки (рис. 4.5). Заміна деталей, отриманих з відливки виготовлених обробкою різанням, штампо-зварювальними значно знижує собівартість.

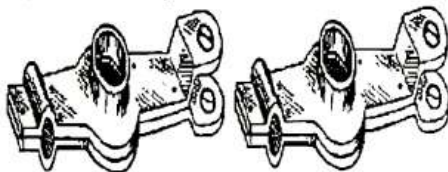


Рис. 4.5 – Штамповувальна заготовка

Поряд зі штамповувальними застосовують також і зварювальні литі заготовки, наприклад при виготовленні заготовок для корпусних деталей, що відрізняються великою розмаїтістю конструктивних форм, розмірів, маси і матеріалів.

Застосовують також заготовки зі штампованих і литих частин, з'єднаних зварюванням.

Заготовки з неметалічних матеріалів. До неметалічних матеріалів, які широко застосовуються у машинобудуванні, відносяться: пластичні маси, деревина, гума, папір, азбест, текстиль, шкіра й ін. Неметалічні матеріали, забезпечуючи необхідну міцність при невеликій масі виготовлених з них деталей, додають деталям необхідні властивості: хімічну стійкість (до впливу розчинників), водо-, газо- паронепроникність, високі ізоляційні властивості тощо.

Пластичними масами називають матеріали, що на визначеній стадії їх виробництва здобувають пластичність, тобто здатність під впливом тиску приймати відповідну форму і надалі зберігати її. У залежності від хімічних властивостей вихідних смолообразних речовин пластичні маси, одержувані на їх основі, поділяють на дві основні групи:

1) термореактивні пластичні маси на основі термореактивних смол, що відрізняються тим, що при дії підвищених температур вони піддаються ряду хімічних змін і перетворюються в неплавкі і практично нерозчинні продукти;

2) термопластичні маси (термопласти), одержувані на основі термопластичних смол і які відрізняються тим, що при нагріванні вони розм'якшуються, зберігаючи плавкість, розчинність і здатність до повторного формування.

Розмаїтість фізико-хімічних і механічних властивостей і простота переробки у виробі обумовлюють широке застосування різних видів пластичних мас у машинобудуванні й інших галузях народного господарства. Порівняно невелика щільність ($1000 \dots 2000 \text{ кг/м}^3$), значна механічна міцність і високі фрикційні властивості дозволяють у ряді випадків застосовувати пластичні маси як замітники, наприклад кольорових металів і їх сплавів – бронзи, свинцю, олова, бабіту тощо, а при наявності деяких спеціальних властивостей (наприклад, корозійна стійкість) пластмаси можна використовувати і як замітники чорних металів. Високі електроізоляційні властивості сприяють застосуванню пластичних мас у електро- і радіопромисловості як замітники таких матеріалів, як фарфор, ебоніт, шелак, слюда, натуральний каучук та інші. Достатня хімічна стійкість при впливі розчинників і деяких окислювачів, водостійкість, газо- і паронепроникність дозволяють застосовувати пластичні маси як технічно важливі матеріали в автотракторній, суднобудівній і інших галузях промисловості.

Деталі з пластичних мас одержують пресуванням, литтям під тиском і литтям у форми. Найбільш розповсюдженим способом одержання де-

талей із пластичних мас є спосіб гарячого пресування при необхідному тиску і температурі.

Деталі із шаруватих пластиків широко поширені в машинобудуванні. Наприклад, текстолітові зубчасті колеса відрізняються від металевих безшумністю роботи і стійкістю проти впливу різних агресивних середовищ. У ряді випадків текстолітові зубчасті колеса майже зовсім витиснули зубчасті колеса з кольорових металів. Їх застосовують для передачі обертання від електродвигунів у швидкохідних металообробних верстатах, установлюють на розподільних валах двигунів внутрішнього згорання. У хімічній промисловості текстолітові зубчасті колеса застосовують у різних апаратах і приладах, де вони набагато краще, ніж зубчасті колеса з бронзи і латуні, протидіють різним агресивним впливам. Крім зубчастих коліс з текстоліту виготовляють ролики, кільця тощо.

4.3. Основні вимоги до заготовок

Правильний вибір заготовок, якщо по технічних умовах застосовні різні їх види, можна здійснити тільки на основі техніко-економічних розрахунків шляхом зіставлення технологічної собівартості деталі з того чи іншого виду заготовки. Однак при виборі заготовок можна керуватися деякими загальними розуміннями. Так, наприклад, фасонні деталі, що не піддаються ударним навантаженням, а також розтягання і вигину, доцільно виготовляти з чавунних виливків; фасонні деталі, що піддаються великим напругам, – зі сталевих виливків.

Заготовки у виді кувачів і штампувань застосовують для деталей, що працюють переважно на вигин, розтягання і крутіння. Заготовки з прокату застосовують для деталей, по конфігурації, що наближаються до якого-небудь виду прокату (круглому, квадратному, шестигранному), коли немає значної різниці в площах перетину деталі і для одержання готової форми немає необхідності знімати великий шар металу.

Основним показником, що характеризує економічність обраного методу виготовлення заготовок поряд із приведеними вище розуміннями є коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{M_0}{M_1}; \quad (4.1)$$

де M_0 – маса виробу (деталі);

M_1 – маса матеріалу, витраченого на виготовлення складової частини виробу (заготовки).

При розрахунку коефіцієнта використання матеріалу, покупні виробу не враховуються.

Технологічні вимоги, пропоновані до заготовок, обумовлені необхідністю дотримувати технічні умови, що визначають припуски, шорсткість поверхонь, твердість і оброблюваність. Поверхні, що використовуються при механічній обробці як технологічні бази, повинні бути рівними і гладкими, без литників, прибутків, випарів, ливарних чи штампувальних ухилів і задирок. Ці опорні поверхні виливків повинні по можливості утворюватися моделлю і знаходитися в одній опозі, щоб уникнути можливого впливу перекосу опок чи стрижнів на якість поверхонь. Для взаємозв'язку поверхонь, що обробляються, на кресленні заготовки позначають опорні поверхні механічної обробки, використовуючи їх як вихідні поверхні при виготовленні і перевірці заготовок, а також при виготовленні моделей і штампів.

Дефекти заготовок виявляють при огляді чорних чи попередньо оброблених поверхонь. Усі виявлені дефекти чи відхилення від установлених вимог (наявність формувальної землі, пригарів, раковин, заток, окалини, задирок, тріщин, нерівностей тощо) повинні бути усунуті відповідними методами. Основний дефект сортового прокату – це скривлення вісі в результаті нерівномірності остигання після виготовлення або дефект процесу виготовлення (прокатки, відрізки, механічної обробки) і транспортування. Крім візуального виявлення дефектів у заготовок застосовують і інші види контролю, зазначені в технічних умовах. Вони можуть викликати часткове чи повне руйнування зразка з партії, можуть проводитися без руйнування з застосуванням рентгено-і магнітної дефектоскопії, ультразвуку, гамма-променів радіоактивних речовин тощо. У ряді випадків виробляються механічні випробування і металографічні дослідження.

Питання для самоконтролю

1. Залежність методу одержання заготовки від виду виробництва.
2. Дати характеристику методів одержання заготовок.
3. Які матеріали використовують для виготовлення заготовок?
4. З яких матеріалів виготовляють деталі, що працюють з ударними навантаженнями?
5. Охарактеризувати методи та способи одержання заготовок.

6. Із яких матеріалів одержують заготовки штампуванням чи куванням?
7. Із яких матеріалів одержують заготовки відливкою?
8. Які способи одержання заготовок характерні для одиничного, а які для масового виробництва?

Відомості про процес різання

5.1. Різання як технологічний спосіб обробки

Задача технології виготовлення деталей машин складається в послідовному використанні технологічних засобів дії на оброблювану заготовку з метою надати їй задану форму і розміри вказаної точності. Одним з таких способів є механічна обробка заготовок різанням. Вона виконується металорізальним інструментом на металорізальних верстатах. Обробка різанням – це процес при якому знімається необхідний шар металу (припуск), залишений для обробки, з метою досягнення заданих точності розміру, чистоти поверхні і фізико-механічних властивостей поверхневого шару.

Метал, який знімається з поверхні під час різання піддається пластичній деформації і руйнується, приймаючи характерну форму і в цьому виді її прийнято називати стружкою. Стружка – це відходи виробництва.

Усі способи і види обробки матеріалів, які основані на зрізанні припуску і переведенні його в стружку, складають різновидність, яка називається – “різання металів”.

Способи розділення металів на частини, при яких стружка не з'являється, наприклад, різання ножицями, штампування, вирізка на штампах та інше, не відноситься до різання металів.

5.2. Конструкційні матеріали, які оброблюються різанням, їх види та маркування

Матеріали, які використовуються в машинобудуванні для виготовлення деталей, які несуть навантаження конструкцій, прийнято називати конструкційними.

Основними конструкційними матеріалами є:

а) чорні метали – сплави на основі заліза (вуглецеві, леговані та нержавіючі сталі, спеціальні сплави, чавуни);

б) кольорові метали – сплави на основі міді, алюмінію, титану та інших елементів.

Конструкційні матеріали мають різні механічні властивості, які залежать від хімічного складу і структурного стану. Маркування конструкційних матеріалів складається із ряду заголовних букв алфавіту та цифр.

Для легуючих елементів прийняті наступні буквені позначення:

– азот – А;	– бор – Р;
– ніобій – В;	– кремній – С;
– вольфрам – В;	– титан – Т;
– марганець – Г;	– тантал – Т;
– мідь – Д;	– вуглець – У;
– селен – Е;	– ванадій – Ф;
– молібден – М;	– хром – Х;
– нікель – Н;	– цирконій – Ц;
– фосфор – П;	– алюміній – Ю.

У маркуванні після кожної букви може бути вказана цифра, яка вказує на відсотковий вміст цього елемента. Відсутність цифри означає, що середній вміст легуючих елементів складає до 1 %. Цифри, які стоять першими у маркуванні вказують на вміст вуглецю в металі в сотих частках відсотка. Елементи, вміст яких у металі значно менший одного відсотка, буквами не вказуються.

Наприклад:

- ☞ конструкційна сталь 45 – має 0,45 % вуглецю.
- ☞ хромиста сталь 40Х має – 0,40 % вуглецю, 1 % хрому.
- ☞ хромонікелева сталь 30ХН – 0,30 % вуглецю, 1 % хрому, 1 % нікелю.
- ☞ 40ХН2МА – 0,40 % У, 1 % Х, 2 % Н, 1 % М, а весь інший об'єм – залізо \approx 94,5 %. Буква А в кінці марки вказує не на вміст азоту, а високу якість виплавки сталі.

5.3. Групування конструкційних матеріалів

За вмістом і об'ємом легуючих елементів конструкційні сталі ділять на групи:

1) сталі, у вміст яких крім заліза входить тільки вуглець; вони складають групу найбільш поширених в машинобудуванні вуглецевих конструкційних сталей (сталь 40; 45; 50; 35 тощо);

2) сталі, які складаються, крім заліза, з вуглецю і 1 % хрому – хромисті конструкційні сталі (сталь 20Х; 40Х тощо);

3) хромонікелеві сталі (20ХН; 30ХН тощо), які крім заліза і вуглецю мають 1% Х ; 1 % Н;

4) хромонікельвольфрамові і хромонікельмолібденові сталі (30ХНВА; 40ХНМА) і хромокремніймарганцевисті (20ХГСА; 30ХГСА).

5.4. Матеріали різальних інструментів

Вирішальний вплив на процес різання має матеріал різального інструменту. Вважають, що чим вище твердість, міцність, ударну в'язкість, теплостійкість і хімічну інертність до матеріалу заготовки має інструментальний матеріал, тим вища його різальна здатність і тим вищу продуктивність обробки можна досягнути. Матеріал різального інструменту повинен бути по можливості дешевшим.

Інструментальні матеріали розділяються на наступні групи:

- вуглецеві та низьколеговані сталі;
- швидкорізальні сталі;
- тверді сплави (металокераміка);
- мінералокераміка;
- синтетичні композиції нітриду бора;
- синтетичні і природні алмази.

Кожен матеріал має набір основних властивостей, які визначають область його раціонального використання (табл. 5.1).

Із групи вуглецевих інструментальних сталей в інструментальному виробництві найбільш поширеними є сталі марок У10А і У12А, У7А і У13А, які мають 1,0...1,3 % У. Буква А в кінці марки також, як і в прикладі п. 5.2 вказує на вміст азоту, а високу якість виплавки сталі. Низьколеговані сталі, до яких відносять сталі марок В2Ф, 9ХС і ХВГ по складу вуглецю відповідають вуглецевим інструментальним сталям, але додатково леговані невеликою кількістю вольфраму, ванадію та інших елементів.

Швидкорізальні сталі. Кількість марок швидкорізальних сталей велика. Принцип маркування аналогічний конструкційним сталям з єдиною відмінністю, де вольфрам закодований процентним вмістом після букви Р (гарід – швидкий), а не В (вольфрам), а також упущені дані про кількість вуглецю і хрому. Головним легуючим елементом багатьох марок швидкорізальних сталей є вольфрам в кількості 5,5...19,5 %. Р9, Р12, Р18, Р6М5, Р6М3, Р6К5, Р9К10 та інші.

Тверді сплави діляться на чотири підгрупи:

- вольфрамокобальтові – ВК (ВК3, ВК8, ВК 20);
- вольфрамотитанокобальтові – ТК (Т5К10, Т15К6, Т14К8);
- вольфрамотитанотанталокобальтові – ТТК (ТТ7К12);
- титанові (безвольфрамові) – ТН20; КНТ16; ТНМ30; КТНМ30В.

У маркуванні твердих сплавів буквами В і Т позначається наявність вмісту у сплаві карбідів вольфраму, титану, танталу. Цифри в марках твердих сплавів показують кількість у відсотках кобальту і карбідів титану. В підгрупі ТТК за буквами ТТ вказується загальна кількість карбідів титану і танталу. Склад карбідів вольфраму не вказується, мається на увазі, що все інше – карбід вольфраму.

Тверді сплави вольфрамової групи складаються із зерен карбіду вольфраму і зв'язки в вигляді кобальту. Найбільш часто зустрічаються наступні марки сплавів: ВК3, ВК3М, ВК4, ВК4В, ВК6М, ВК6В, ВК8, ВК8В, ВК10, ВК15 і інші, де К – кобальт, цифра – кількість кобальту в %.

Букви М і В, які стоять в кінці марки показують, що структура цього сплаву М – дрібнозерниста, В – великозерниста, наприклад: ВК6М – 6 % кобальту, 94 % карбіду вольфраму, структура – дрібнозерниста.

Тверді сплави дуже слабкі на розтягування, але кращі на згин і особливо на стискування.

Температуростійкість висока, що дозволяє різати метал зі швидкістю 300...600 м/хв.

Синтетичні алмази використовують для самої точної обробки алюмінієвих і мідних сплавів, пластмас, склопластику напівпровідникових матеріалів, при швидкості різання $V = 1000...1200$ м/хв, та температурі в зоні різання $t \approx 650$ °С. Обробляти сталь та чавун не можна в зв'язку з тим, що при обробці сталі температура в зоні різання сягає 800...1000 °С, а алмаз при температурі 850...900 °С перетворюється в графіт. При обробці чавуну, в якому при отриманні виливок виникають раковини (пустотілі зони), вершина алмазного різального інструменту сприймає ударні навантаження при переході через раковини і викрешується.

Таблиця 5.1 – Властивості і застосування інструментальних матеріалів

Матеріал	Хімічний склад	Твердість	Міцність σ_r , МПа	Ударна в'язкість a_1 , кДж/м ²	Теплостійкість, °С	Швидкість різання V , м/хв	Сфера раціонального використання
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Інструментальні сталі:	Fe (основа)	HRCe					
– вуглецеві У8А...У12А;	0,8...1,3 %С	62...66	≤1700...2000	20	200...250	≤ 15...18	Ручний інструмент, дрібні свердла, мітчики
– леговані 9ХС, ХВГ, ХВСГ;	0,9...1,0 % С; Cr, Mo, W, V, Mn, Si (до 6 %)	63...66	≤2200...3200	25	220...350	≤ 15...25	Мітчики, плашки, розвіртки, дрібні свердла, протяжки
– швидкорізальні Р18, Р12, Р9, Р6М5, Р6М5К5	~ 0,8 % С; W, Mo, Co, V (до 24 %)	65...70	до 4000	до 580	до 600...700	≤ 25...80	Найрізноманітніші, у т. ч. складні зубо- і різьбообробні інструменти, протяжки, свердла
2. Тверді сплави:							
– група ВК: ВК8, ВК6, ВК3;	WC + Co	HRA: 87...90	1100...1600	15...30	8800...850	≥ 100...400	Для обробки чавуну, кольорових сплавів, важкооброблюваних матеріалів

Продовження табл. 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8
- група ТК: Т5К10, Т15К6, Т30К4;	WC + TiC + Co	88...92	950...1400	7...9	800...850	\geq 100...40	Для обробки сталей
- група ТТК: ТТ7К12, ТТ20К9	WC + TiC + + TaC + Co	87...90	1300...1650			0	Для обробки сталей і важкооброблюваних матеріалів з ударами
- група титано- вих (безвольфра- мових): ТН20, КНТ16, ТНМ30, КТНМ30Б	TiN (TiC, TiCN, NbC)+Ni (Mo)	88...91	1079...1716				Чистова і напівчис- това обробка твердих матеріалів без ударів
3. Різальна кераміка ВОК63, ВОК71, сілініт Р	Al ₂ O ₃ (основа) або Al ₂ O ₃ + + Si ₃ N ₄	до 94	до 750	до 5...19	до 1200	до 1000	
4. Надтверді матеріали:		Мікро- твердість HV, ГПа					
- алмаз АСП, АСПК	Алмаз	100	до 300		800	до 1000	Чистова обробка не- металевих і кольорових матеріалів
- нітрид бору К01, К05, К10, тібор, нітібор	ВN (основа)	60...80	до 1000		до 1500	до 1000	Чистова обробка термічно змішених чорних металів

Створення нових інструментальних матеріалів в сучасних умовах ринкової конкуренції потребує зберігання таємниці щодо хімічного складу та технології їх виготовлення. Тому провідні світові компанії, крім комерційної марки сплаву, вказують його групу використання: За стандартом ISO виділено 3 групи:

а) група *P* – обробка матеріалів, які дають зливну (неперервну) стружку (сталь, ковкий чавун). Пластини позначаються блакитною фарбою;

б) група *K* – обробка матеріалів з ломаною стружкою, або елементною (сірий та ковкий чавун, загартована сталь, кольорові метали та сплави, неметалічні матеріали). Колір – червоний;

в) група *M* – обробка матеріалів як із зливною, так і стружкою надломом (марганцевисті сталі, легований чавун, ковкий чавун, аустенітна та автоматна сталі). Колір для маркування – жовтий.

У кожній групі сплави поділяються на підгрупи залежно від виду робіт: чистова чи чорнова обробка (рис. 5.1).

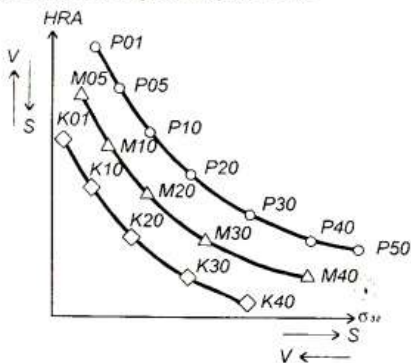


Рис. 5.1 – Схема взаємного розміщення груп і підгруп твердих сплавів за стандартом ISO

5.5. Різальний інструмент. Елементи різального леза і його геометричні параметри

Робоча частина будь-якого різального інструменту має *різальний клин*, або *лезо* (рис. 5.2). *Лезом різця* є клиноподібний елемент, який служить для проникнення в матеріал заготовки і відокремлення шару ма-

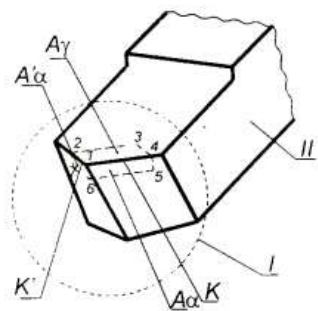


Рис. 5.2 – Елементи різального
леза токарного різця

матеріалу у вигляді стружки. На прикладі токарної обробки введемо основні терміни щодо процесу різання (рис. 5.3).

теріалу. До елементів лева токарного різця належать: *передня поверхня* A_γ , яка контактує в процесі різання з шаром, що знімається, і стружкою; *головна задня* A_α і *допоміжна задня* $A_\alpha K$ *поверхні* (площини), які контактують з заготовкою; *головна* K і *допоміжна* K' *різальні кромки*, які утворюються перетином передньої і задньої поверхонь лева; вершина I – ділянка різальної кромки в місці перетину двох задніх поверхонь.

Під час різання це лезо втискується в заготовку і відділяє шар

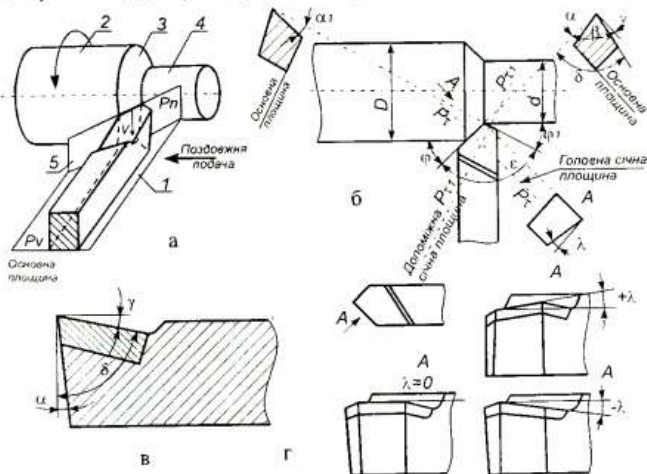


Рис. 5.3 – Геометричні параметри різальної
частини токарного різця

Поверхні та площини різця і заготовки:

I – основна площина P_I (перпендикулярна вектору швидкості головного руху);

2 – оброблювана поверхня заготовки (видаляється під час обробки);
 3 – поверхня різання (утворюється безпосередньо головною різальною кромкою і є перехідною між обробленою та оброблюваною поверхнями заготовки);

4 – оброблена поверхня заготовки (отримується в результаті обробки). Відстань між оброблюваною і обробленою поверхнями, виміряна по нормалі до останньої, називається глибиною різання t :

$$t = \frac{(D-d)}{2}, \text{ мм} \quad (5.1)$$

5 – площина різання P_n (перпендикулярна до основної площини і дотична до різальної кромки);

$P_\tau - P_\tau$ – головна січна площина (перпендикулярна до лінії перетину основної площини і площини різання);

$P_{\tau 1} - P_{\tau 1}$ – допоміжна січна площина (перпендикулярна до лінії перетину основної площини і допоміжної площини різання).

Кути різального леза в головній січній площині $P_\tau - P_\tau$:

α – головний задній кут. Це кут між площиною різання та дотичною до головної задньої поверхні;

γ – передній кут. Кут між дотичною до передньої поверхні та основною площиною;

β – кут загострення. Кут між передньою та головною задньою поверхнями;

δ – кут різання – кут між передньою поверхнею та площиною різання;

λ – кут нахилу головної різальної кромки, тобто кут у площині різання P_n між різальною кромкою та основною площиною.

Між вказаними кутами існують такі залежності:

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ; \quad \alpha + \beta = \delta. \quad (5.2)$$

Кути різця в плані (в проекції на основну площину):

φ – головний кут у плані – кут між проекцією головної різальної кромки й напрямком подачі;

φ_1 – допоміжний кут у плані – кут між проекцією допоміжної різальної кромки й напрямком подачі.

Місце з'єднання різальних кромки різця часто має форму дуги кола радіусом r , його називають радіусом при вершині.

У всіх перерахованих способах використовують поняття хвилинної подачі $S_{\text{вн}}$, як переміщення інструмента або деталі за одну хвилину роботи, в мм/хв. Між ними існують залежності:

$$S_{\text{вн}} = n \cdot S, \text{ мм / хв}; \quad S = z \cdot S_z, \text{ мм / зуб}, \quad (5.4)$$

де z – кількість різальних лез багатолезового інструмента.

Три розглянуті параметри процесу різання: глибина, подача та швидкість різання складають, так названий, *режим різання*. Призначення оптимального режиму різання є основною задачею інженера технолога.

При зрізанні припуску різальним лезом як на передню, так і на задню поверхні інструмента діють розподілені навантаження, які можна з певним наближенням замінити сконцентрованими силами, прикладеними у відповідних місцях цих поверхонь (рис. 5.5).

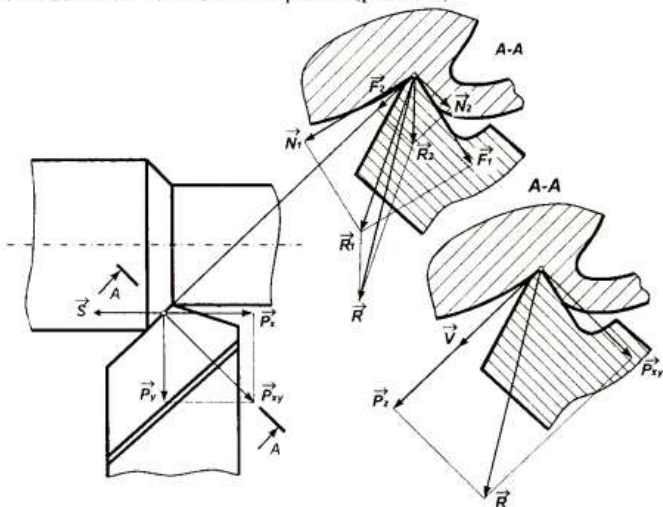


Рис. 5.5 – Схема дії сили різання та її складових

- ↙ на передню поверхню діють: нормальна сила N_1 і сила тертя F_1 , які разом утворюють рівнодійну силу передньої поверхні R_1 .
- ↙ на контактну ділянку задньої поверхні (ЗП) діє нормальна сила пружної післядії N_2 . Ця сила викликає силу тертя ЗП по поверхні різання F_2 , яка разом із силою N_2 утворює рівнодійну R_2 .

Співвідношення між силами R_1 і R_2 залежить від умов різання. Так для гострого інструмента складова R_2 практично близька до нуля.

Рівнодійна сил на передній і задній поверхнях $\bar{R} = \bar{R}_1 + \bar{R}_2$ називається силою різання. Її напрямок дії та величина залежать від геометрії інструмента, режимів обробки і властивостей оброблюваного та інструментального матеріалів. Тому на практиці зручно, зазвичай, використовувати не саму силу різання, а її складові на задалегідь обумовлені напрямки (рис. 5.6): \bar{P}_z – на напрямок швидкості різання \bar{V} , \bar{P}_x – на напрямок подачі \bar{S} і \bar{P}_y – на напрямок нормалі до перших двох (як правило, на напрямок нормалі до обробленої поверхні). При відомих трьох складових величина загальної сили різання буде дорівнювати:

$$R = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2}. \quad (5.5)$$

Оскільки сила P_z , як правило, завжди більша за дві інші, її називають головною, або тангенційною, складовою сили різання.

Співвідношення між складовими силами різання змінюються при зміні умов обробки. Найбільше зростають складові сили різання при збільшенні глибини різання, слабкіше впливає подача, а ріст швидкості приводить до незначного зменшення сили різання.

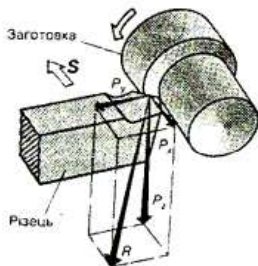


Рис. 5.6 – Напрямки дії сил різання

Зменшення кутів γ , α і ϕ різця, ріст його зношування, збільшення міцності і твердості оброблюваного матеріалу супроводжується ростом сил різання, тоді як використання мастильно-охолоджувальних речовин їх зменшують.

До силових параметрів процесу різання належить також крутний момент $M_{кр}$:

$$M_{xp} = \frac{P_z \cdot D}{2000}, \text{ Н} \cdot \text{ м}; \quad (5.6)$$

де D – найбільший діаметр на поверхні різання, мм.

Сила різання P_z використовується для розрахунку потужності різання ($N_p = \frac{P_z V}{60 \cdot 1020}$ кВт), яка в подальшому є вихідним даним для проектних і перевірочних розрахунків на міцність та жорсткість деталей коробок швидкостей, корпусів, шпинделів металорізальних верстатів, а також корпусів та елементів кріплення інструментів.

Сила різання P_x – сила подачі, використовується для розрахунку механізму подач: коробок подач, ходових гвинтів, ходових валів, напрямних верстата; а також елементів, що визначають жорсткість кріплення інструмента.

Сила різання P_y – сила відтискання інструмента від заготовки є причиною похибок обробки (бочкоподібність, конічність, корсетність тощо). За її величиною конструюються елементи і пристрої кріплення (тримачі, полозки напрямних тощо).

Складові сили різання визначають за емпіричними формулами або за нормативами залежно від методу обробки, режимів різання, геометрії різального леза, матеріалу заготовки та інструмента тощо.

5.7. Теплові явища. Зношування і стійкість інструменту

Затрачувана на процес різання механічна енергія перетворюється в тепло. Кількість теплоти Q , що виділяється в зоні різання за одиницю часу, можна наближено оцінити за формулою:

$$Q = \frac{P_z \cdot V}{60}, \text{ Дж / с}. \quad (5.7)$$

Ця теплота переходить у стружку (основна його частина), заготовку, інструмент, навколишнє повітря, а також забирається *мастильно-охолоджувальною рідиною (МОР)*, якщо вона використовується. Температура в зоні різання твердосплавними інструментами може сягати 800...1000 °С, що негативно впливає на процес обробки – змінюються розміри заготовки та інструмента (зменшується точність обробки), інструмент втрачає свої різальні властивості, в матеріалі заготовки можуть відбуватися небажані процеси, які супроводжуються алотропічними перетвореннями, утворенням небажаних залишкових напружень розтягу і навіть тріщин.

Температура в зоні різання залежить від співвідношення двох взаємнопротилежних явищ: процесу виділення тепла (тобто збільшення роботи або потужності різання), який викликає ріст температури; та відводу тепла із зони обробки, що є фактором її зменшення. Залежно від того, який з цих процесів переважає при зміні будь-якого фактора процесу різання, відбувається або ріст або зменшення температури різання.

Збільшення міцності та твердості оброблюваного матеріалу, швидкості різання, подачі та, в меншій мірі, глибини призводить до збільшення потужності обробки та температури. Геометрія інструмента впливає двояко: з одного боку – зменшуючи силу різання, а з другого – зменшуючи поперечний переріз тіла інструмента, через який тепло відводиться із зони обробки.

Негативний вплив теплових явищ можна обмежити раціональним вибором режимів обробки та використанням МОР.

Під впливом великих тисків (часто ударних), тертя та високих температур різальний клин зношується (стирається) як на задній, так і на передній поверхнях (рис. 5.7).

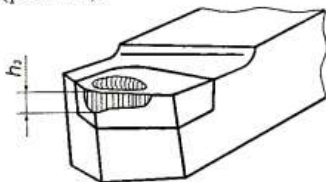


Рис. 5.7 – Вид зношування різця

Зношування задньої поверхні переважає під час обробки крихких матеріалів, наприклад чавуну; його оцінюють шириною площадки зношування h_p . Зношування передньої поверхні переважає під час обробки в'язких матеріалів, наприклад сталей із великими товщинами зрізуваного шару; воно характеризується глибиною утвореної ямки h_f . Але, у більшості випадків знос одночасно протікає і по передній, і по задній поверхнях.

Зношування викликає затуплення різального леза, збільшення сили різання і тепловиділення, погіршення якості обробленої поверхні та її точності. Інструмент вважають затупленим, якщо h_p або h_f сягають допустимих значень, які називаються критеріями зношування. Критерії

визначаються як виходом технологічних факторів (перерахованих вище) за допустимі межі (при чистовій обробці), так і умовою максимального використання ресурсу інструмента (використовується при чорновій обробці). Допустимі значення критерію зношування залежать від виду обробки, матеріалів інструмента і заготовки.

Одним з видів зносу твердого сплаву є викришування і відкол різальної кромки. Викришування є відділення частинок РІ менших контактної ділянки по ППЦ, сколювання – співрозмірних та більших контактної ділянки.

Час (тривалість) роботи інструмента від загостреного до затупленого стану називають його *стійкістю*, або *періодом стійкості*, T . Між стійкістю інструмента та швидкістю різання при однакових інших режими і умовах існує зв'язок:

$$V = \frac{C_V}{T^m}, \quad (5.8)$$

де m – емпіричний показник степеня. Його величина табульована в нормативній літературі та залежить від методу і умов обробки;

C_V – константа, що враховує вид обробки і оброблюваний матеріал.

Стійкість інструмента залежно від його виду та складності призначається у межах 10...400 хв. Оскільки m набагато менше одиниці, звично в межах 0,15...0,40, то невеликі зміни швидкості різання викликають значні зміни стійкості інструмента. Так, якщо швидкість різання збільшити у 1,2 рази, то при $m = 0,2$ стійкість інструмента (за формулою

$$(5.8) \text{ зменшиться у: } \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\frac{1}{m}} = 1,2^{\frac{1}{0,2}} \cong 2,5 \text{ рази.}$$

5.8. Вплив геометрії інструмента та умов різання на процес різання

Передній кут сильно впливає на стійкість інструмента та силові параметри різання: чим більший кут, тим менші сила різання і міцність клина. Стійкість інструмента найвища при оптимальних значеннях кута. Його вибирають у межах $+35...-15^\circ$; великі додатні кути – для обробки м'яких матеріалів; великі від'ємні – для твердих та високоміцних.

Збільшення заднього кута зменшує тертя по задній поверхні та підвищує якість обробленої поверхні, однак ослаблює різальне лезо. Задній кут вибирають у межах $6...15^\circ$; більші значення рекомендують

для обробки м'яких матеріалів з меншими товщинами зрізуваного шару.

Кути в плані ϕ і ϕ_1 та радіус r при вершині впливають на: стійкість інструмента (стійкість більша при менших ϕ і ϕ_1 та більшому r), шорсткість (висота мікронерівностей обробленої поверхні менша при більшому r і менших ϕ і ϕ_1) і співвідношення між P_2, P_1 і P_1, P_2 , а також P_1/P_2 і P_2/P_1 – більші, якщо ϕ і ϕ_1 менші, а r – більший). Однак збільшення r і зменшення ϕ та ϕ_1 збільшуючи сили різання може спричинити вібрації в технологічній системі, які знижують стійкість інструментів, точність і якість обробки.

Мастильно-охолоджувальні рідини чинять значний позитивний вплив на процес різання. Їх використання дає змогу різко зменшити зношування інструмента, підвищити якість обробленої поверхні та застосувати значно вищі режими, тобто підвищити продуктивність обробки. Усі МОР за хімічним складом прийнято поділяти на емульсійні, синтетичні і масляні.

1. Емульсійні МОР (5–10 % розчин емульсолу у воді) – виготовляються з емульсолів, що включають: мінеральні масла, емульгатори, інгібітори корозії, соду, бактерицидні речовини, речовини зв'язки, антипініні компоненти тощо. Основа емульсій – олива "Індустріальна 12" (20) + ПАР (масляний асидол, сода). Наприклад: Укринол-1, Аквол-2, Э-2, ЭТ-2, НГЛ-205. Мають підвищені охолоджувальні властивості.

2. Синтетичні і напівсинтетичні МОР. Поділяються на електроліти (водні розчини інгібіторів корозії: сода, бура, тринатрійфосфат, нітрит натрію), водяні розчини полімерів і ПАВ. У *напівсинтетичних МОР* у складі може бути мінеральна олія. Мають підвищені охолоджувальні властивості. Наприклад: Аквол 10-М, Аквол-11, у вигляді 3–10 % розчину у воді.

3. Масляні МОР – чисті мінеральні або рослинні (дорогі) масла з присадками. Крім базових мастил додають антифрикційні, антизношувальні, антизадирині присадки, інгібітори корозії, антипініні та антиту-манні присадки.

Склад: 60–95 % мінеральні масла. Якщо використовують рослинні оливи, то до них додають різні присадки для покращання властивостей. Масляні МОР мають підвищені мастильні властивості. Їх застосовують для обробки сталей складними швидкорізальними інструментами, на токарних автоматах, в методах ППД.

Наприклад: МР1...6, ОСМ1; 3; 5, сульфифрезол.

5.9. Оброблюваність матеріалів різанням

У широкому сенсі цього слова – розуміють здатність матеріалів піддаватися різанню за рядом технологічних ознак. Сюди належать: допустима швидкість різання, сили різання, шорсткість обробленої поверхні, тип стружки і умови її відводу із зони різання. Це важливий технологічний показник усіх конструкційних матеріалів.

Залежно від виду обробки ті чи інші критерії стають визначальними:

1. Чорнова обробка: продуктивність або рівень швидкості різання, сили різання та умови видалення стружки.

2. Чистова обробка: продуктивність або рівень швидкості різання, шорсткість поверхні і властивості поверхневого шару.

Оскільки продуктивність і собівартість залежать, головним чином, від рівня швидкості різання, то оброблюваність у вузькому розумінні – це рівень допустимої швидкості різання.

Часто оброблюваність матеріалу різанням оцінюють коефіцієнтом оброблюваності швидкорізальним або твердосплавним різцем відносно еталонного матеріалу:

$$K_o = \frac{V_{60}}{V_{em\ 60}}, \quad (5.9)$$

де V_{60} – швидкість різання даного матеріалу при 60-хвилинній стійкості різця;

$V_{em\ 60}$ – швидкість різання еталонного матеріалу при 60-хвилинній стійкості різця.

За еталонний матеріал прийнято сталь 45 із $\sigma_a = 650$ МПа,

НВ179. У деяких випадках використовують еталонні матеріали для груп матеріалів:

- для групи конструкційних сталей – сталь 45;
- для групи важкооброблюваних матеріалів – сталь 12Х18Н10Т;
- для групи сірих чавунів – СЧ18 (НВ190);
- для групи ковких чавунів – чавун із НВ150.

Аналогічні матеріали використовуються для кольорових сплавів.

Оброблюваність матеріалів різанням залежить насамперед від їх механічних властивостей: твердості, міцності σ_a і пластичності (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Коефіцієнт оброблюваності різанням K_r деяких конструкційних матеріалів

Марка матеріала	Стан матеріалу	Властивість		K	
		Твердість HB	Міцність σ_s , МПа	Швидко-різальна сталь	Твердий сплав
1	2	3	4	5	6
Сталь Ст3	Гарячекатаний	124	380...470	1,65	1,7
Сталь 20		≤ 130	–	1,6	2,0
Сталь 20Х		131	470	1,3	1,7
Сталь 20Л	Виливок	≤ 126	420	1,3	1,5
Сталь А20	Холодноотягнутий	167...217	–	–	1,6
Сталь 45 (35)	Гарячекатаний	170...179	650	1,0	1,0
Сталь 45Х (40Х)	Нормалізований	< 207	–	0,7	0,8
Сталь 45Л	Виливок	< 201	550	0,6	0,8
Сталь 18ХГТ	Нормалізований	156...199	540	0,9	1,0
Сталь 12ХНЗА	Гарячекатаний	207	–	0,7	0,8
Чавун СЧ20	Відпалений	170...241	–	–	0,8
Сталь Х18Н10Т	Загартований	179	≥ 550	0,3	0,5
Сталь 38ХМЮА	Поліпшений	240...270	800	0,5	0,7
Сталь ШХ15	Відпалений	< 207	750	0,5	0,9
BT5	Відпалений	–	700...950	0,4	0,8
АЛ2, АЛ4	Поставка	–	150...400	–	10...12
М1, М2, М3 (мідь)		–	290...300	–	4...6
ХН77Т10	Гартування, старіння	321	750	0,1	0,1

5.10. Загальні відомості про процеси поверхневого пластичного деформування

Робоча частина більшості інструментів для обробки заготовок методами поверхневого пластичного деформування (ППД) має округлу форму – сферичну, циліндричну, конічну тощо – з радіусом кривизни

$R \approx 1 \dots 100$ мм. В ході обробки (рис. 5.8) інструмент цією округлою частиною притискають до заготовки з силою $0,1 \dots 40$ кН.

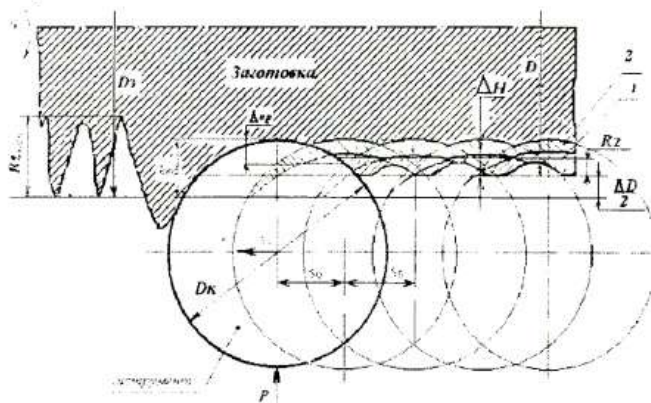


Рис. 5.8 – Схема деформації поверхневого шару металу під час обкатування кулькою циліндричної заготовки:

1 – ділянка пластичної деформації; 2 – ділянка пружної деформації; $R_{z\text{поч}}$, R_z – висота мікронерівностей до і після обкатування; D_1 та D – діаметр заготовки до і після обкатування; $\Delta D/2$ – товщина ділянки пластичної деформації поверхні; $\Delta H_{пр}$ – товщина ділянки пружної деформації; ΔH_n – глибина наклепаного шару

Значне зусилля при невеликій площадці контакту інструмента із заготовкою забезпечує його втискування в поверхню заготовки – матеріал заготовки на відстані від поверхні контакту від декількох десятих до декількох міліметрів деформується пружно і пластично. Внаслідок переміщення – кочення або ковзання – інструмента по оброблюваній поверхні ця локальна область деформації переміщується разом з інструментом і послідовно проходить по всій оброблюваній поверхні. Так формується нова оброблена поверхня з іншими властивостями. Розглянемо докладніше ці властивості, причини та умови їх утворення:

↪ **висота мікронерівностей.** Висота мікронерівностей зменшується вдвічі – втричі. Округла форма інструменту згладжує мікрорельєф – виступи пластично деформуються найбільше та їх висота зменшується;

↳ **твердість і міцність поверхневого шару.** У приконтатній зоні, де під впливом інструменту напруження стискування в матеріалі заготовки сягають межі текучості, матеріал пластично деформується і, як наслідок, наклепується. Зазвичай ступінь наклепу складає 25...40 % (іноді до 260 %), а глибина наклепаного шару залежить від методу ППД, режимів обробки й матеріалу заготовки і може сягати декількох міліметрів;

↳ **напружений стан у поверхневому шарі.** В момент втискування інструменту в поверхню заготовки в її приконтатній ділянці виникають напруження стискування (як протидія втискуванню). Ці напруження змінюються від найбільшого значення (рівного межі текучості матеріалу) у шарі матеріалу, який пластично деформоване, до нуля на межі пружно деформованого і основного (недеформованого) матеріалу заготовки. В момент, коли зовнішня сила перестав діяти на цю частину поверхні заготовки (інструмент перемістився далі по ходу обробки), напруження релаксують (зменшуються), однак, залишаються ще досить значними (можуть сягати декількох сотень мегапаскалів);

↳ **розміри.** У більшості випадків (крім тих формотворних методів ППД, які використовують для утворення різьб, зубчастих і шліцьових поверхонь) розміри під впливом ППД змінюються мало – в межах висоти мікронерівностей оброблюваної поверхні заготовки. Точність поверхонь, як правило, не підвищується, іноді погіршується в межах 10...20 %. Лише при використанні жорсткого інструмента точність розмірів і форми поверхні може зростати;

↳ **режими та умови обробки.** Обробка методами ППД характеризується такими параметрами:

1. V – швидкість обробки, м/хв. Вона, як правило, не впливає на якість обробки; вибирається з умов потрібної продуктивності та можливості та зручності реалізації в межах 10...250 м/хв;

2. S_n – подача, мм. Впливає передовсім на шорсткість обробленої поверхні; приймають зазвичай у межах 0,1...0,6 мм;

3. P – сила притискання або Δ – натяг між інструментом і заготовкою, мм. Ці параметри суттєві для досягнення потрібної якості обробки – шорсткості, степеню наклепу, напруженого стану;

4. Використання та вид МОР. Використання МОР із переважаючою мастильною дією (наприклад, сульфозфрезолу) є обов'язковою умовою

отримання високоякісних поверхонь та високої стійкості інструмента, особливо в методах з використанням тертя ковзання. У випадках, коли основною задачею є отримання наклепу і залишкових напружень стикування, обробку роликами можна вести без використання МОР.

Методи ППД надзвичайно ефективні у випадках, коли потрібне значне підвищення експлуатаційних властивостей деталей машин (насамперед зносостійкості та втомної міцності) здебільшого в місцях появи під час експлуатації деталей значних концентрацій напружень. Найчастіше цими методами обробляють поверхні обертання: термічно незміцнені із початковою точністю 7...11 квалітетів – методами обкатування (розкатування), деформуючого протягування, і термічно зміцнені шліфовані – алмазним вигладжуванням, а також різьби.

Питання для самоконтролю

1. Визначте кути загострення та кути різання різця, якщо головний задній та передній кути відповідно рівні: 10° та 15° ; 8° та -10° .

2. Плоску поверхню обробляють фрезою $\varnothing 200$ мм з кількістю зубців 10; частота обертання фрези 400 хв^{-1} ; подача на один зуб $0,1$ мм; сила різання $R_z = 1000$ Н. Визначте: швидкість різання, подачу за один оберт фрези, хвилинну подачу, крутний момент та ефективну поужність різання.

3. Визначте глибину різання під час обробки циліндричного отвору, якщо:

– діаметр заготовки 26 мм, а деталі після обробки – 30 мм;

діаметр свердла 20 мм, отвір свердлять у суцільному матеріалі.

4. Під час обробки чавунних заготовок задня поверхня різця зношується з середньою швидкістю $0,02$ мм/хв. Допустиме зношування різця $1,0$ мм, тривалість обробки однієї деталі 2 хв. Визначте період стійкості різця та кількість оброблених за цей період заготовок.

5. З метою підвищення продуктивності обробки робітник збільшив швидкість різання зі 100 до 120 м/хв. Інші режими та умови обробки не змінилися. Визначте, у скільки разів і як зміниться стійкість інструменту, якщо показник степеня при стійкості $m = 1/3$.

6. Стійкість фрези виявилася недостатньою. Як потрібно змінити частоту обертання фрези (не змінюючи інших умов і режимів обробки), щоб стійкість фрези збільшити удвічі? Показник степеня при стійкості $m = 0,25$.

7. Удосконалюючи конструкцію деталі, її матеріал змінили зі сталі 20Л на сплав АЛ4. Як і в скільки разів зміниться продуктивність різання під час обробки заготовки, якщо коефіцієнти оброблюваності цих матеріалів рівні 1,5 і 12?

8. Розшифруйте позначення марок інструментальних матеріалів: У10А, 9ХС, ХВГ, 40ХН2МА, Р6М5К5, ВК6, Т15К6, Т30К4, ТТ7К12. Назвіть сферу їх раціонального використання.

9. Як зміниться сила різання і стійкість різця при обточуванні сталеві заготовки, якщо змінювати такі елементи різця або умови різання:

- збільшувати передній кут різця;
- збільшувати головний задній кут різця;
- збільшувати головні кути в плані та радіус при вершині;
- використати МОР?

10. Порівняйте методи обробки поверхонь заготовок різанням та ППД за:

- формою робочої частини інструменту;
- способом утворення нової поверхні;
- якістю оброблених поверхонь;
- режимами та умовами обробки.

Способи механічної обробки поверхонь деталей машин

6.1. Обробка на токарних верстатах

6.1.1. Призначення токарних верстатів. Токарно-гвинторізні верстати: основні частини та виконавчі поверхні, їх функції

Токарні верстати призначені для чорнової, чистової, а деякі для викінчувальної (з точністю до 8...7 квалітетів) обробки гладких поверхонь обертання (циліндричних, конічних, торцевих і криволінійно-фасонних як внутрішніх, так і зовнішніх), а також різьб (мітчиками, плашками, іноді різцями) на заготовках, як правило, ротаційних деталей (валів, втулок, дисків тощо). В ході обробки заготовка отримує головний обертовий рух, а інструмент – рух подачі: поздовжню подачу (паралельно до осі обертання заготовки) та поперечну (радіальну).

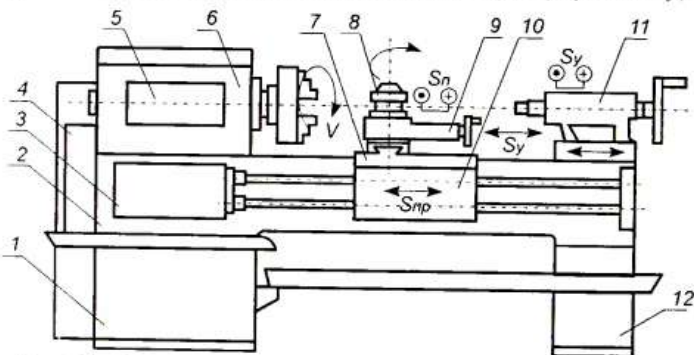


Рис. 6.1 – Загальний вигляд токарно-гвинторізного верстата

Токарно-гвинторізний верстат має такі функціонально важливі частини (рис. 6.1):

станина 2. Це базова деталь верстата. Її встановлюють на двох тумбах 1 і 12. На ній монтують усі інші частини верстата. Станина у своїй верхній частині має дві пари поздовжніх напрямних;

– передня бабка 6. Вона розміщена на станині та містить коробку швидкостей 5 або її частину. На виході до неї під'єднаний асин-

хронний електродвигун. Вихідний вал бабки називається шпindelю; на його правому кінці кріплять пристрої для установки (базування та закріплення) заготовки: кулачковий патрон або планшайбу, а в кінці-ному отворі – центр або консольну (шпindelю) оправку. Шпindelю пустотілий. Це дає змогу розміщати в ньому довгу пруткову заготовку;

– супорт 7 з різцетримачем 8. У чотирьох позиційному різцетримачі кріплять різці й накатний інструмент; їх разом з супортом переміщують у поздовжньому напрямку по поздовжніх напрямних станини або в поперечному – за допомогою поперечних полозків супорта. Верхня частина супорта 9 є поворотною й має додаткові полозки. Це дає змогу обробляти конічні поверхні. Привід поздовжньої та поперечної подач супорта здійснюють від шпинделя через низку зубчастих і гвинтових передач гітари 4, коробки подач 3 і фартуха 10. Привід верхніх полозків зазвичай ручний;

– задня бабка 11 з піноллю – втулкою з осьовим переміщенням. Конічний отвір пінолі використовують для розміщення в ньому центра або інструмента (свердла, зенкера, викрутки, мітчики, плашки) безпосередньо або через допоміжні інструменти – перехідні втулки чи свердлильний, плаваючий або компенсуючий патрон. Задня бабка може переміщуватися по внутрішній парі напрямних станини.

Технологічні можливості токарно-гвинторізного верстата характеризують такі групи параметрів:

– висота центрів (цей параметр входить у позначення моделі верстата), діаметр наскрізного отвору шпинделя та міжцентрова відстань. Вони вказують на граничні розміри заготовки, а саме: найбільший радіус під час обробки над станиною, найбільший діаметр пруткової заготовки при її розміщенні в отворі шпинделя та найбільшу довжину заготовки при її розміщенні в центрах;

– розміри конічних отворів шпинделя і пінолі задньої бабки, зовнішнього конуса шпинделя та пазів різцетримача. Ці розміри визначають приєднувальні розміри токарної оснастки;

– потужність приводу, частоти обертання шпинделя, величини подачі і кроків різьб визначають можливі режимні параметри токарної обробки;

– точність верстата (нормальна – Н, підвищена – П, висока – В) вказує на точність розміщення і переміщення його виконавчих поверхонь та відтворення ними формотворних рухів, а отже, характеризує можливу точність обробки поверхонь заготовок;

– кількість інструментів, які автоматично можуть змінюватися (для верстатів з ЧПК).

6.1.2. Пристрої і способи установки заготовок

Спосіб установки заготовки на верстаті залежить від її конструкції та виду оброблюваних поверхонь. Опис способів установки заготовок на токарно-гвинторізних верстатах і потрібних для цього пристроїв (див. табл. 6.1 та рис. 6.2).

Таблиця 6.1 – Схеми установки заготовок і токарні пристрої

Заготовка	Схема встановлювання заготовки	Пристрій або комплект пристроїв, у дужках – позиція (рис. 6.2)
Коротка ротаційна $l < (4...6)d$	1. В патроні “в стиск” або “в розтиск” прямими або зворотними кулачками	Трикулачковий самоцентруючий патрон (<i>a</i>)
Коротка неротаційна		Чотирикулачковий несамоцентруючий патрон (<i>b</i>)
Те ж	2. На планшайбі	Планшайба (<i>в</i>)
Коротка ротаційна з осьовим отвором	3. На (або в) консольній (шпіндельній) оправці	Різні види консольних оправок (<i>z</i>)
Довга ротаційна з осьовим отвором	4. На центровій оправці	Центрова оправка (<i>d</i>); задній центр обертовий (<i>e</i>) або жорсткий (<i>ε</i>); повідкова планшайба, передній центр (<i>z</i>) і хомутик (<i>u</i>)
Довга ротаційна $4 \leq l/d < 12$	5. У центрах	Центр передній жорсткий або плаваючий; центр задній обертовий, повідкова планшайба і хомутик (<i>ж</i>)
Те ж, нежорстка $l \geq 12d$	6. У центрах і люнеті	Те ж і рухомий (<i>i</i>) або нерухомий (<i>i</i>) люнет
Довга $l \geq 12d$	7. У патроні з підтримкою заднім центром (часто з люнетом)	Патрон (<i>a</i>) або (<i>b</i>), задній обертовий центр (<i>e</i>), люнет (<i>i</i>) або (<i>i</i>)
Те ж, для обробки осьового отвору	8. У патроні з підтримкою люнетом	Патрон (<i>a</i>) і нерухомий люнет (<i>i</i>)

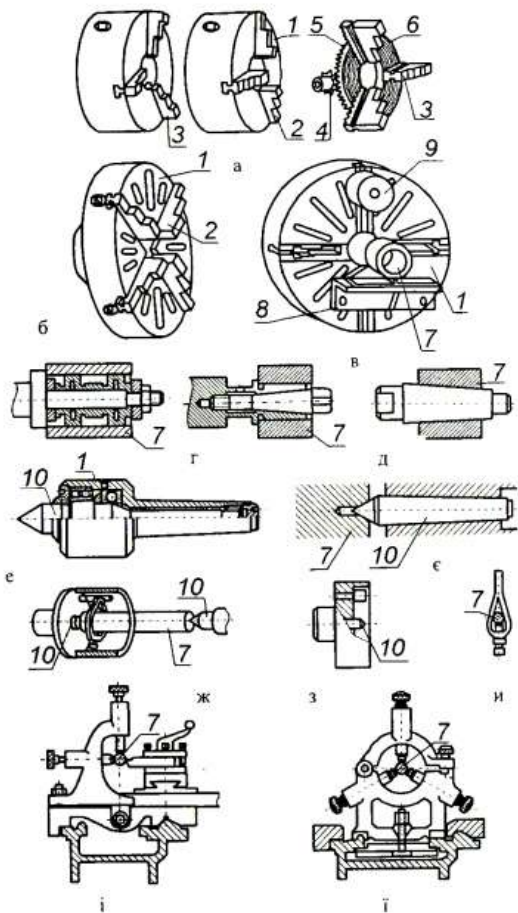


Рис. 6.2 – Токарні пристрої:

1 – корпус; 2 – прямий кулачок; 3 – зворотній кулачок;
 4 та 5 – конічна зубчаста пара; 6 – спіральна рейка;
 7 – заготовка; 8 – кутник; 9 – протизага; 10 – центр

6.1.3. Основні види робіт та інструменти

Зовнішні поверхні обертання обробляють (рис. 6.3) прохідними різцями (прямими 1, 2, 4, 7 та 8, відігнутими 9 і 11, упорними 11, лівими 1 і 4, правими 9 та 11), внутрішні – розточувальними різцями 12 та 13 і свердлами 15, зенкерами та розвертками.

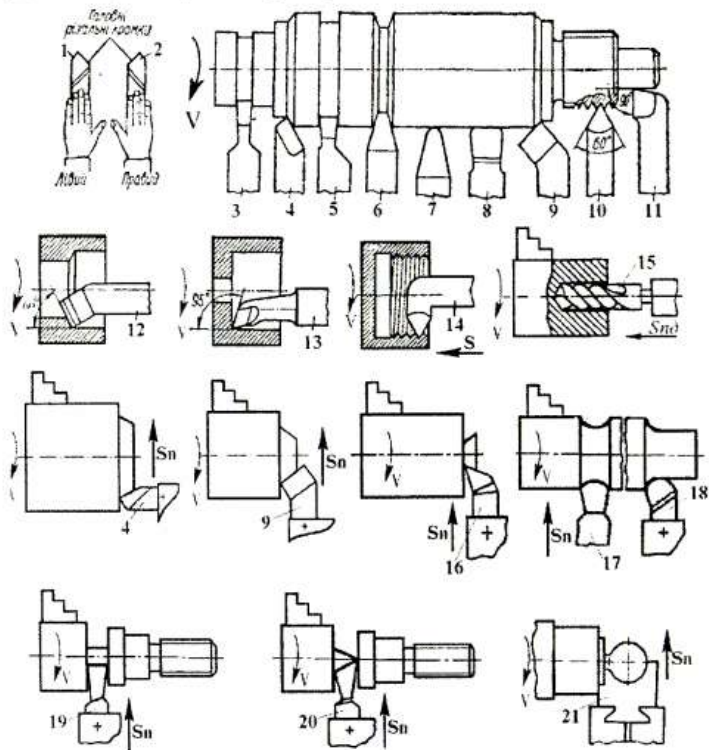


Рис. 6.3 – Схеми обробки токарними інструментами

Торці обробляють різцями: прямими 4, відігнутими 9 і упорними 11, прохідними і підрізними 16; канавки – канавковими 3, 5, 6 і 17; відрізу деталі з пруткової групової заготовки здійснюють відрізними різцями 19 і 20.

Фасонні поверхні невеликої довжини точать фасонними різцями 17 і 21, довгі – за допомогою копіра або за програмою на верстатах з ЧПК.

Різьби нарізають мітчиками (в отворах), плашками (на зовнішніх поверхнях), а також різцями 10 і 14.

Конічні поверхні отримують такими способами (рис. 6.4):

- широким різцем, різальну кромку якого виставляють під відповідним кутом (рис. 6.4, а) – короткі (l до 20...40 мм);

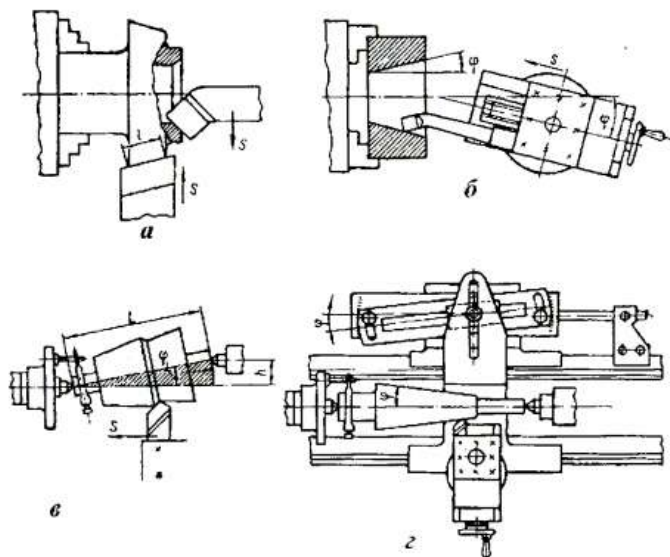


Рис. 6.4 – Схеми обробки конічних поверхнь різцями

- поворотом верхньої частини супорта (б) прохідними (у тім числі розточувальними різцями) – поверхні, довжина яких не перевищує довжини ходу верхнього супорта;
- зміщенням задньої бабки (рис. 6.4, в) – зовнішні пологі конуси з кутом до 10...15° при обробці заготовки в центрах;
- за допомогою конусної лінійки (рис. 6.4, г);
- за програмою на верстатах з ЧПК.

На токарних верстатах застосовують також методи ППД: накатування рифлень прямих і сітчастих на зовнішніх циліндричних поверхнях,

обкатування роликми циліндричних поверхонь і галтелей (рис. 6.5), іноді накатування різьб різьбонакатними головками.

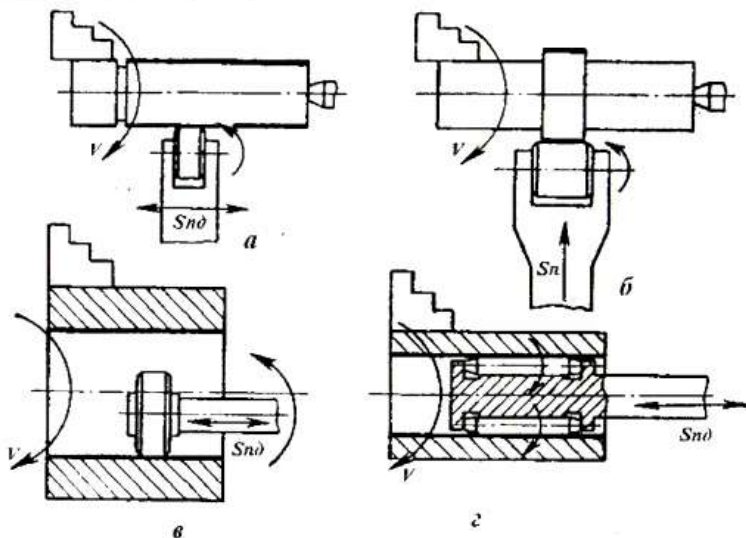


Рис. 6.5 – Схема накатування (а) і (б) та розкатування (в) і (г) гладких поверхонь обертання

6.1.4. Різновиди токарних верстатів: технологічні можливості, застосування

Верстати токарної групи мають різні технологічні можливості як щодо рівня механізації та автоматизації, продуктивності та гнучкості, так і можливості обробки заготовок різної конструкції (короткі, довгі, різних типорозмірів).

Найвищий рівень технологічної гнучкості мають універсальні токарно-гвинторізні верстати. Їх використовують в одиничному і дрібносерійному типах виробництва для обробки відносно довгих (валів) і коротких (дисків, втулок) ротаційних заготовок переважно діаметром до 500 мм і довжиною до 4 000 мм. Іноді на цих верстатах обробляють невеликі неротаційні деталі.

Для обробки відносно коротких ($l \leq d$) великогабаритних заготовок ($d = 500 \dots 3200$ мм) в одиничному та серійному виробництві

призначені токарно-карусельні верстати (рис. 6.6). Характерним для них є вертикальне розміщення шпинделя з великою горизонтальною планшайбою для закріплення заготовки, а також два або три різцевих супортів, які мають вертикальні і горизонтальні рухи.

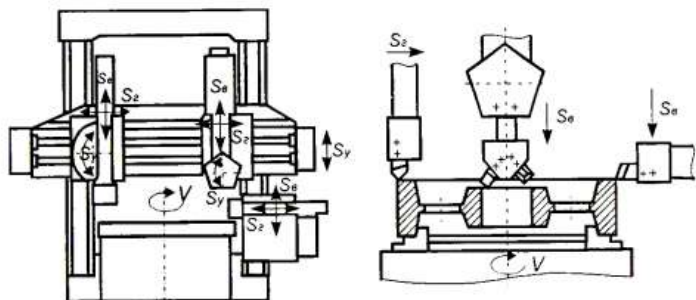


Рис. 6.6 – Загальний вигляд двостоякового токарно-карусельного верстата (а) і схема обробки заготовки з використанням трьох супортів (б)

Відносно невеликі та короткі деталі з прутка діаметром до 65 мм або штучних заготовок діаметром до 500 мм (коли потрібна велика кількість інструментів (8...20)), у дрібно- і середньосерійному виробництві доцільно обробляти на токарно-револьверних верстатах (рис. 6.7).

Характерним для конструкції цих верстатів є:

- наявність багатопозиційної (6...16 позицій) револьверної інструментальної головки 2 та ряд інших супортів (поперечного 1, різьбонарізного);
- високий рівень механізації (механізовані закріплення-розкріплення і подача прутка, зміна частот обертання шпинделя й подач та поворот револьверної головки – автоматичні, пов'язані з її відводом);
- наявність засобів розмірного та кінематичного налагодження (командоапарат і барабан упорів 3).

Усе це порівняно з токарно-гвинторізними верстатами дає змогу досягти значно вищої продуктивності обробки.

У масовому, велико- та частково середньосерійному типах виробництва для обробки заготовок, які в дрібносерійному типі виробництва доцільно обробляти на токарно-револьверних верстатах,

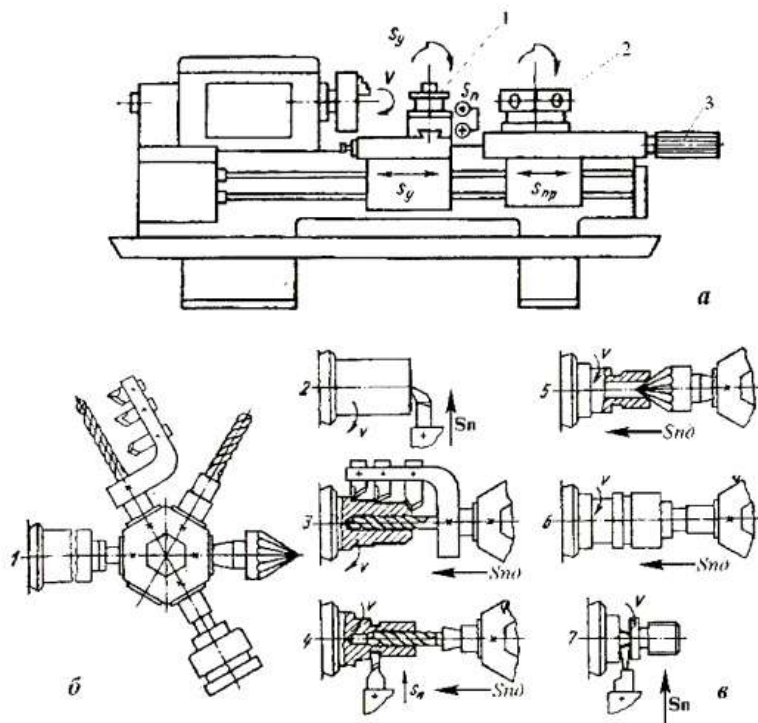


Рис. 6.7 – Загальний вигляд токарно-револьверного верстата з вертикальною віссю револьверної головки (а), схема розміщення інструментів в револьверній головці (б) і схема обробки заготовки (в)

найефективнішими виявились одно- і багатшпindelні пруткові автомати та патронні напівавтомати (рис. 6.8). Весь цикл роботи верстата-напівавтомата, за винятком установки-зняття заготовки, автоматичний.

На пруткових автоматах, після завантаження верстата прутковою групою заготовкою довжиною 2...3 м, робота йде без втручання оператора. На багатшпindelних верстатах заготовка проходить через різні позиції (їх число 4, 6 або 8). На всіх позиціях різні інструменти працюють одночасно (паралельно). Тому продуктивність таких

верстатів надзвичайно висока, однак вони потребують багато часу на налагодження. Через це багатшпиндельні верстати мають обмежене використання в середньосерійному виробництві, а для дрібносерійного вони непридатні.

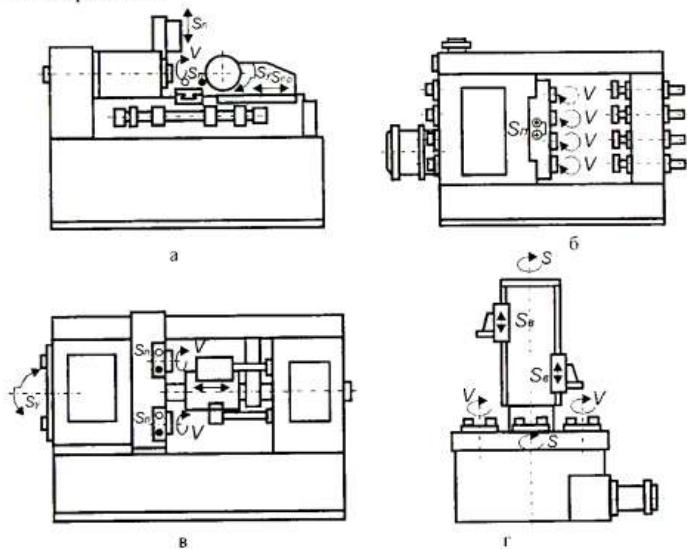


Рис. 6.8 – Загальний вигляд токарних верстатів з автоматичним циклом роботи: а – токарно-револьверного одношпиндельного; б, в і г – багатшпиндельних з горизонтальним (а, в) і вертикальним (г) розміщенням шпинделя

Заготовки валів у середньо-, великосерійному і масовому виробництві обробляють (у центрах) на одношпиндельних (центрових або патронно-центрових) багаторізцевих напівавтоматах. Вони здебільшого мають два супорти: один для обробки з поздовжньою подачею, другий – з поперечною. Усі різці, установлені на супортах, працюють одночасно, що забезпечує високу продуктивність роботи (рис. 6.9).

У серійному виробництві ефективними виявились токарні верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК). Це напівавтоматичні верстати – весь цикл роботи, за винятком установки-зняття заготовки.

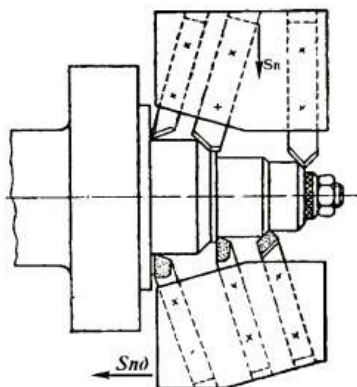


Рис. 6.9 – Схема обробки заготовки на одношпиндельному токарно багаторізцевому напівавтоматі

виконуються за попередньо набраною програмою. Вона обробляється мікропроцесором верстата та керує потрібними переміщеннями робочих органів, увімкненням-вимкненням-реверсуванням шпинделя, зміною інструментів (у револьверній головці або з магазину) тощо. Системами ЧПК оснащують верстатами різних типів – токарно-гвинторізні, токарно-револьверні, токарно-карусельні. За технологічною гнучкістю верстата з ЧПК близькі до універсальних верстатів, а за рівнем продуктивності – до верстатів з жорсткою системою автоматичного керування. Особливо ефективною є обробка на цих верстатах складних, у тім числі фасонних, поверхонь і різьб. Важливо підкреслити, що чим складніша й точніша робота, тим верстата з ЧПК вигідніші.

Усі типи верстатів виготовляють різних типорозмірів. Наприклад, токарно-гвинторізні верстата виконують з висотою центрів такого ряду: 62, 100, 125, 160, 200, 250, 300, 400, 500, 600 і 700 мм і міжцентровою відстанню від 100 до 10 000 мм.

Питання для самоконтролю

1. На токарно-гвинторізному верстаті обробляють:
 - циліндричну шийку розмірами $d \cdot L = 40 \cdot 200$ мм; $n = 1\,000$ хв⁻¹; $S_0 = 0,2$ мм; $l_1 + l_2 = 3$ мм; що таке $l_1 + l_2$ – ?

- торець заготовки діаметром 100 мм; $n = 500 \text{ хв}^{-1}$; $S_0 = 0,2 \text{ мм}$; $l_1 + l_2 = 3 \text{ мм}$;
- свердять отвір $d \cdot L = 25 \cdot 20 \text{ мм}$; $n = 200 \text{ хв}^{-1}$; $S_0 = 0,3 \text{ мм}$; $l_1 + l_2 = 10 \text{ мм}$. Назвіть (окремо для кожного з п.п. а – в):
- які частини (механізми) верстата задіяні під час обробки;
- яка оснастка використовується (докладно);
- по яких напрямних верстата реалізується рух подачі, а також визначте основний час обробки.

2. Порівняйте технологічні можливості верстатів і сферу їх застосування (тип виробництва):

- токарно-гвинторізного і карусельного;
- токарно-гвинторізного з ручним керуванням та з ЧПК;
- токарно-револьверного пруткового з ручним керуванням і токарно-револьверного автомата.

3. Назвіть, за рахунок зменшення яких складових норми часу підвищується продуктивність обробки однакових заготовок (порівняно з обробкою на токарно-гвинторізному верстаті) на:

- токарно-револьверному верстаті;
- токарному одношпindelному напівавтоматі;
- токарно-гвинторізному з ЧПК;
- токарному багатшпindelному автоматі.

4. Визначте (графічно і аналітично) сферу доцільного використання трьох токарних верстатів залежно від величини партії заготовок (критерій доцільності – найменший штучно-калькуляційний час). Норми часу виготовлення однакових деталей на цих верстатах дано в таблиці:

Складові норми часу, хв	Токарно-гвинторізний 16К20	Токарно-револьверний 1Е340П	Токарно-револьверний автомат 1Е140П
$T_{\text{шт}}$	10	7	6
$T_{\text{н.р.}}$	15	48	90

6.2. Обробка заготовок на фрезерних верстатах

6.2.1. Призначення фрезерних верстатів. Основні частини консольно-фрезерного верстата і їх функції

Фрезерні верстати призначені для чорнової, чистової та іноді викінчувальної обробки фрезами лінійчатих поверхонь (плоских і

фасонно-лінійчатих) і різьб на заготовках різних конфігурацій як ротаційних, так і неротаційних. Під час фрезерування фреза отримує головний обертовий рух, а заготовка – поступальні (іноді обертовий) рухи подачі у трьох взаємоперпендикулярних напрямках. Іноді фреза може мати рух подачі лише в одному з напрямків. Після верстатів токарної групи фрезерні верстати є найпоширенішими, а фрезерування – одним з найпродуктивніших методів обробки.

На рис. 6.10 показано загальний вигляд (зовнішній обрис) найпоширеніших консольно-фрезерних верстатів загального призначення – горизонтально- (а) і вертикально-фрезерного (б) моделей 6Р82Г і 6Р11. Їх основні функціональні частини:

– станина 1 з вертикальними напрямними. В станині розміщена коробка швидкостей 2 привода головного вала верстата – шпинделя. Вісь шпинделя розташована горизонтально (рис. 6.10, а) і вертикально (рис. 6.10, б). У кінцевий отвір шпинделя вставляють фрезу безпосередньо або через оправку. Шпиндель пустотілий, що дає змогу надійніше кріпити фрезу шомполом, або спеціальним механізмом затягування. На горизонтально-фрезерному верстаті оправка додатково підтримується опорою підвіски 5, яка може переміщатися вздовж напрямних хобота 3. На вертикально-фрезерному верстаті шпиндель разом з піноллю може переміщатися вертикально (подача S_v). Фрезерну головку 9 можна повертати – виставляти вісь шпинделя під кутом до вертикалі (установче переміщення). Це дає можливість обробляти нахилені поверхні торцевими або кінцевими фрезами;

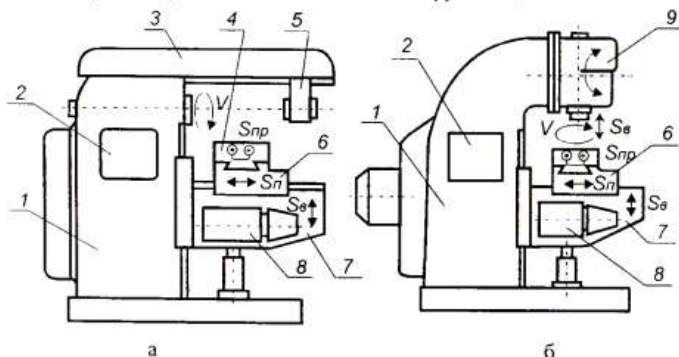


Рис. 6.10 – Загальний вигляд горизонтально-фрезерного (а) і вертикально-фрезерного (б) верстатів

– консоль, або консольна балка 7. Вона може переміщатися по вертикальних напрямних станини (подача S_z , частіше установче переміщення) і містить хрестовий стіл 6, на якому кріплять заготовку. Стіл може переміщатися в поздовжньому (подача S_m) і поперечному (подача S_n) напрямках. Привод подач 8 окремий від привода головного руху та розміщується разом з коробкою подач у консолі. Тому подачу на фрезерних верстатах задають у мм/хв.

Універсально-фрезерні верстати відрізняються від горизонтально-фрезерних наявністю поворотної частини стола (в горизонтальній площині). Можливість повороту стола на кут до $\pm 45^\circ$ дає змогу фрезерувати гвинтові поверхні дисковими фрезами.

Основні параметри фрезерних верстатів, що характеризують їх технологічні можливості:

- розміри стола (входять у позначення моделі верстата), величини переміщень стола в трьох напрямках і найменша та найбільша відстані від осі шпинделя до поверхні стола (на горизонтально-фрезерному) або від торця шпинделя до поверхні стола (на вертикально-фрезерному верстаті). Ці розміри характеризують граничні габарити заготовки (разом з пристроєм);
- розмір кінцевого отвору шпинделя та розміри пазів стола визначають приєднувальні розміри оснастки;
- потужність привода, діапазони частот обертання шпинделя й подач характеризують можливі режимні параметри обробки;
- кількість інструментів у револьверній головці або магазині (для верстатів з ЧПК).

6.2.2. Фрези і схеми фрезерування. Способи установки заготовок і фрез. Пристрої

Фреза – це багатолезовий вісесиметричний інструмент, різальні леза якого розміщені на периферії та або на торці. За призначенням фрези (рис. 6.11) поділяють на циліндричні (а–в), торцеві (г,д), кінцеві(є), дискові дво- і тристоронні (е), прорізні або відрізні (ж), кутові (з), фасонні (и), модульні (і), різьбові, шліцові, шпонкові та інші.

За конструкцією розрізняють фрези суцільні й із вставними зубцями-ножами, наприклад показані на рис. 6.11 (б, в, д, е).

Суцільні фрези виготовляють із швидкорізальної сталі; вставні ножі – із швидкорізальної сталі або твердого сплаву.

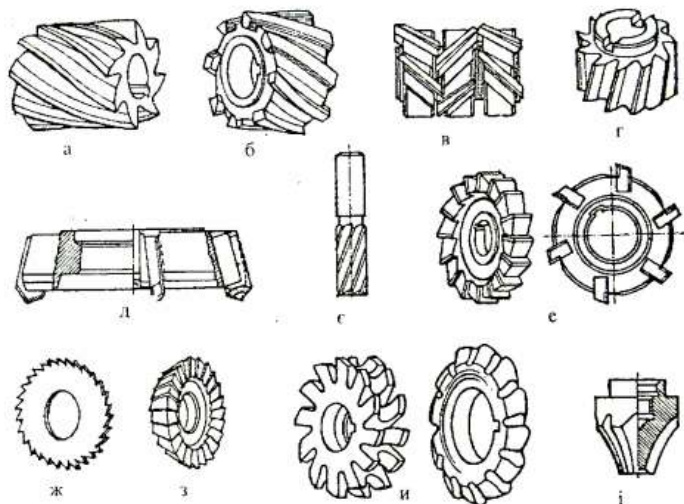


Рис. 6.11 – Основні типи фрез

Фрези працюють периферійними зубцями (рис. 6.12, а – циліндричні, прорізні, відрізні, кутові, фасонні, модульні й шліцові) або торцевими зубцями (рис. 6.12, б – торцеві). Кінцеві фрези можуть обробляти поверхні як периферійними, так і торцевими зубцями.

Під час фрезерування зубцями на периферії залежно від напрямку обертання фрези та подачі заготовки розрізняють зустрічне та попутне фрезерування. При зустрічному фрезеруванні (рис. 6.12, в) обидва рухи направлені назустріч один одному. Товщина шару металу, що зрізується кожним зубом, збільшується поступово від нуля до максимуму; це сприяє плавній роботі фрези. Однак перед врізанням зуб деякий час ковзає по обробленій поверхні без врізання, що прискорює його зношування та погіршує якість поверхні. Для попутного фрезерування (рух подачі і обертання фрези збігаються) зуб працює більше на удар, але кращі умови його роботи на виході із заготовки (рис. 6.12, г).

Тому зустрічне фрезерування рекомендують для чорнкової обробки, особливо у випадках, коли оброблювана поверхня містить окалину або залишки формувальної суміші. Попутне фрезерування ефективніше для чистої обробки.

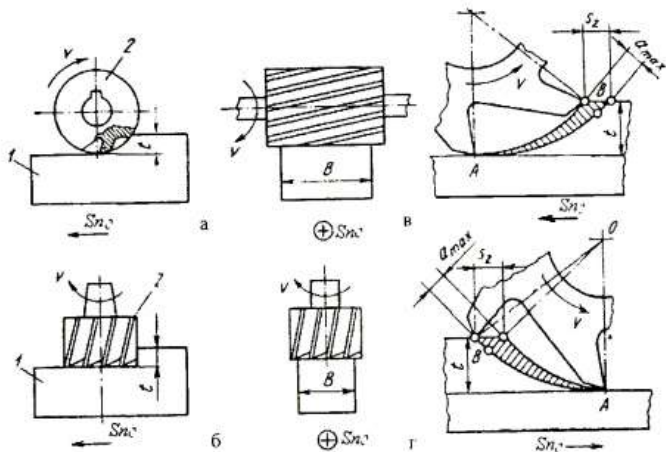


Рис. 6.12 – Схеми фрезерування циліндричною і торцевою фрезами

Важливими параметрами фрези є число зубців та зовнішній діаметр фрези. Саме він є визначальним для розрахунку швидкості різання. Особливістю режимів фрезерування є потреба виявляти принаймні два види подач – S_z та S_{n1} – та враховувати ширину фрезерування B – що визначає величину поверхні контакту фрези із заготовкою, виміряну в напрямку, перпендикулярному до напрямку подачі (рис. 6.12, а, б).

На рис. 6.13 показано основні схеми фрезерування: горизонтальної площини циліндричною фрезою (а); горизонтальної, вертикальної і похилої площин – торцевою (б, в, е) фрезою, кінцевою (є), кутовою (д) та дисковою (к) фрезами; пазів прямокутного – дисковою (л), кінцевою (є), шпонкових – дисковою (и) і кінцевими (і, і) типу “ластівчин хвіст” і T -подібного – кінцевими (з, ж) фрезами; фасонних поверхонь – дисковими фасонними (й) та кутовою (г) фрезами.

Обробку здійснюють на горизонтально-фрезерних (схеми (а), (в), (г), (д), (и), (й), (к), (л)) і вертикально-фрезерних (схеми (б), (е), (ж), (з), (і), (і)) верстатах.

Основний час для фрезерування визначають за формулою:

$$T_0 = \frac{L \cdot i}{S_{n1}}, \quad (6.1)$$

де L – розрахункова довжина робочого ходу, мм,

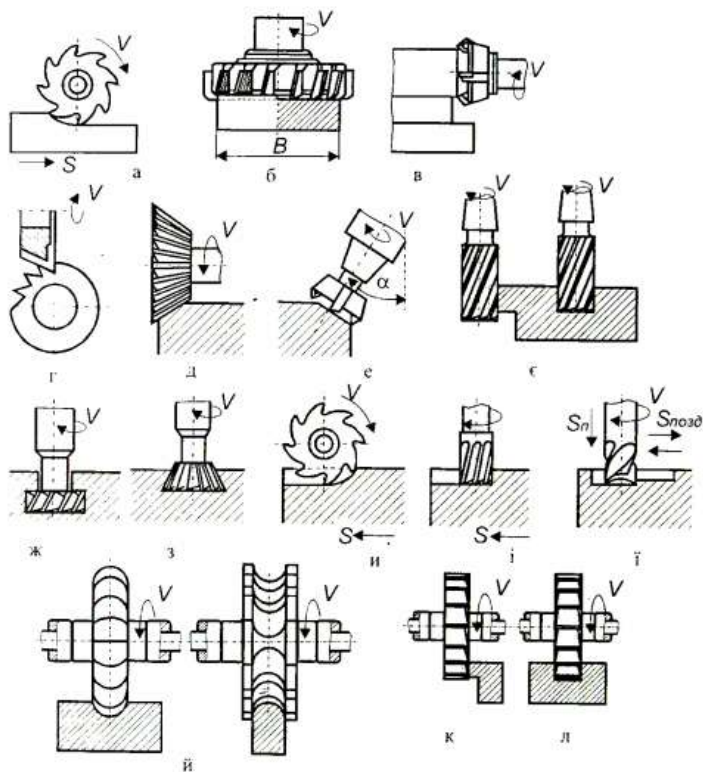


Рис. 6.13 – Схеми фрезерування

$$L = l + l_1 + l_2, \quad (6.2)$$

l – довжина оброблюваної поверхні в напрямку подачі;
 $l_1 + l_2$ – величини врізання і перебігу інструмента. Величина l_1 залежить від глибини різання й діаметра фрези (див. [1], с. 613, 614);

S_{in} – хвилинна подача, мм/хв.

На фрезерних верстатах заготовки кріплять на столі:

- безпосередньо за допомогою найпростіших механізмів: упорів, болтів, притискових планок;

- за допомогою універсальних (машинних лещат, дільних головок тощо), спеціальних або спеціалізованих пристроїв із ручним або механізованим закріпленням. Поділові пристрої потрібні для повороту заготовки при послідовній обробці поверхонь, розташованих під різними кутами, наприклад впадин зубів зубчастих коліс, поверхонь під ключ головок болтів чи гайок.

Для зручності розміщення та кріплення пристрою або заготовки на верстаті його стіл має *T*-подібні пази, розміщені паралельно відносно поздовжніх напрямних. У пазах поміщають головки кріпильних болтів і шпонки пристроїв (в середньому, найточнішому пазу).

6.2.3. Типи фрезерних верстатів і їх технологічні можливості

За призначенням фрезерні верстати поділяють на верстати загального призначення, верстати з ЧПК і спеціалізовані. Верстати загального призначення мають широкі технологічні можливості; їх використовують в умовах від одиничного до середньосерійного виробництва для обробки різнотипних заготовок. Це вже розглянуті вертикально-горизонтально- та універсальнофрезерні, а також широкоуніверсальні та поздовжньофрезерні верстати.

Широко-універсальний фрезерний верстат має змінні горизонтальну і вертикальну фрезерні та іноді довбальну головки, що дає змогу виконувати надзвичайно широкий діапазон робіт. Такі верстати часто використовують у інструментальних та ремонтних цехах одиничного виробництва. Тому їх ще називають інструментально-фрезерними.

Поздовжньофрезерні (рис. 6.14) призначені для обробки плоских поверхонь на заготовках великих габаритів. Усі ці верстати мають ручне керування.

Спеціалізовані фрезерні верстати призначені для виконання певного виду роботи. Діапазон виконуваних робіт значно вузьчий, зате вони мають напівавтоматичний цикл роботи і набагато продуктивніші за верстати загального призначення. Тому їх використовують у масовому, велико- та іноді середньосерійному виробництвах.

Сюди належать шпонко-фрезерні, зубофрезерні, шліцефрезерні, копіювально-фрезерні (для фрезерування дискових кулачків за копіром), різьбофрезерні, карусельно- та барабанно-фрезерні.

Фрезерні верстати з ЧПК мають широкі технологічні можливості та високий рівень автоматизації. Вони працюють у напівавтоматичному режимі, високопродуктивні, легкі в переналагодженні та оснащені

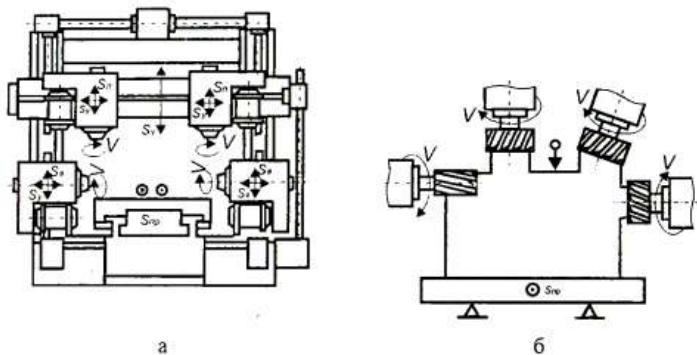


Рис. 6.14 – Загальний вигляд поздовжньо-фрезерного верстата (а) і схема фрезерування заготовки (б)

магазином або револьверною головкою на 5...15 інструментів, які можуть змінюватися автоматично за програмою. На цих верстатах поряд з фрезами використовують також свердла, зенкери, розвіртки, мітчики, іноді розточувальні головки. Контурні системи ЧПК дають змогу обробляти складні профільні поверхні. Деякі верстати (наприклад, моделі ОЦІИ22) оснащують поворотними головками (дещо нагадують ділильні головки для верстатів загального призначення), керованими від ЧПК. Це дає змогу обробляти заготовки валів, втулок, невеликих корпусних деталей з їх поворотом навколо горизонтальної осі. Верстати з ЧПК ефективні в дрібно- та середньосерійному типах виробництва.

6.2.4. Інші методи обробки лінійчастих поверхнь

Поряд з фрезеруванням, лінійчаті поверхні можна отримати різцями на стругальних та довбальних верстатах, а також протяжками на верстатах для протягування отворів і зовнішніх поверхнь.

Різцями формують поверхні з використанням прямолінійного зворотно-поступального головного руху в горизонтальній (на стругальних) або у вертикальній (довбальних верстатах) площині. Головний рух (різця або стола із заготовкою) має робочий хід (коли зрізається стружка) і холостий (зворотний) хід. Наявність холостого ходу зменшує продуктивність обробки тому його швидкість роблять набагато більшою за швидкість робочого ходу. Подачу виконують теж періодично, після кожного холостого ходу.

Стругання ефективно для чорнової та чистової обробки площин, пазів і профілів відносно великої довжини й малої ширини. Важливою перевагою методу є проста конструкція інструмента. Це, крім усього іншого, полегшує досягнення точності при обробці (порівняно з фрезеруванням). Стругання використовують також для обробки зубчастих поверхонь прямозубих конічних коліс.

Довбання найчастіше використовують для обробки пазів у отворах та не круглих отворів передусім у одиничному та дрібносерійному виробництві, а також циліндричних зубчастих коліс внутрішнього та зовнішнього зачеплення на зубодовбальних і конічних прямозубих коліс на зубостругальних напівавтоматах. У цілому стругання й довбання мають обмежене використання.

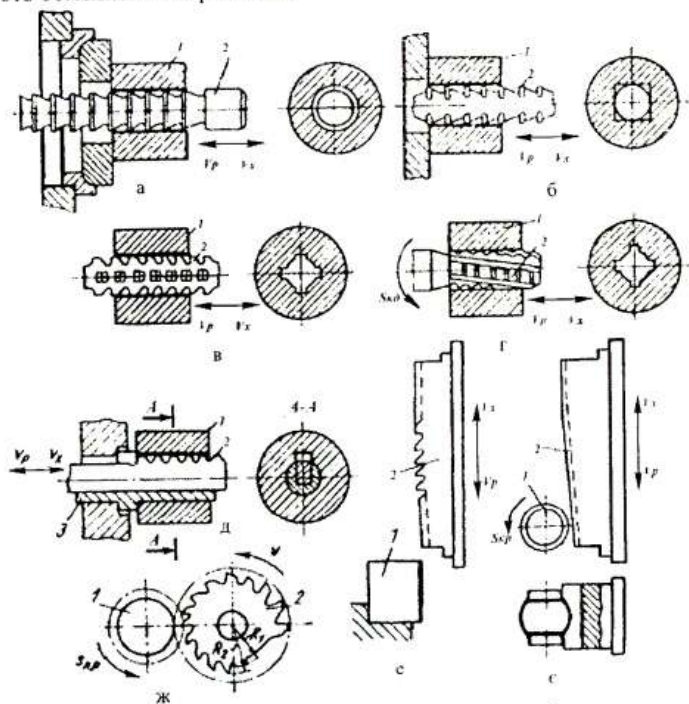


Рис. 6.15 – Схеми протягування: 1 – заготовка; 2 – протяжка; 3 – адаптер

Протягування – високопродуктивний метод обробки отворів і зовнішніх поверхонь різного профілю з точністю до 7 квалітету і шорсткістю до $Ra = 0,8$ мкм (рис. 6.15).

Протяжка – це спеціальний багатозубий інструмент, форма різальних лез якого відповідає профілю утвореної поверхні, а кожен наступний зуб протяжки виступає вище попереднього на величину конструктивної подачі. Тому верстат має забезпечити лише один рух – головний прямолінійний. Висока продуктивність та точність протягування, простота конструкції верстата зумовили широке застосування методу в масовому, велико- і середньосерійному виробництві. Для малих обсягів випуску метод не використовують через складність і високу вартість інструментів.

Основний час стругання і довбання поверхні з розмірами l , і b , де b – розмір поверхні у напрямку подачі інструмента, розраховують за формулою:

$$T_0 = \frac{b + l_1 + l_2}{n_{2x} S_x}, \quad (6.3)$$

де l_1 і l_2 – величини врізання і перебігу інструмента, мм;

n_{2x} – число подвійних ходів за хвилину, хв^{-1} ;

S_x – подача за один подвійний хід, мм.

При протягуванні основний час залежить не від розмірів оброблюваної поверхні, а від довжини протяжки

$$T_0 = \frac{L + l_1 + l_2}{1000 \cdot V}, \quad (6.4)$$

де L – довжина протяжки, мм; $l_1 + l_2 = 30 \dots 50$ мм ([4], с. 617).

Питання для самоконтролю

1. На вертикально-фрезерному верстаті моделі 6P12 фрезерують площину 500×180 мм призматичної деталі висотою 150 мм (розмір заготовки 154 мм) торцевою фрезерною головкою $\varnothing 200$ мм з числом зубців 10. Частота обертання фрези 250 хв^{-1} , подача на зуб $0,15$ мм.

– назвіть і розрахуйте елементи режимів різання (t , $S_{\text{ср}}$, V);

– визначте основний час обробки; $l_1 + l_2 = 100$ мм.

2. Назвіть різницю в технологічних можливостях верстатів:

а) вертикально- та горизонтально-фрезерного;

- горизонтально- та універсально- фрезерного;
- горизонтально- і широкоуніверсального фрезерного;
- вертикально-фрезерного з ручним керуванням і з ЧПК.

3. Порівняти три методи обробки плоских поверхонь – фрезерування, стругання (довбання) і протягування:

- за продуктивністю;
- за сферою застосування;
- за складністю інструментів і верстатів;
- за точністю.

4. Порівняти продуктивність варіантів (а) і (б) обробки отвору $\varnothing 50H7$, $l=40$ мм після чорнового зенкерування:

– чистове розточування ($n_1=500$ хв⁻¹, $S_{01}=0,3$ мм) і тонке розточування ($n_2=1\ 000$ хв⁻¹, $S_{01}=0,05$ мм), твердосплавними різцями: $l_1+l_2=4$ мм;

– протягування швидкорізальною протяжкою довжиною 650 мм зі швидкістю різання 10 м/хв; $l_1+l_2=50$ мм.

5. Порівняйте продуктивність обробки площини 100×250 мм:

– фрезеруванням фрезою $\varnothing 125$ мм з числом зубів 8 з подачею на зуб 0,15 мм і частотою обертання 600 хв⁻¹;

– струганням на режимах $S_x=0,4$ мм, $n_x=80$ хв⁻¹; величини врізання і перебігу для фрезерування – 50 мм, для стругання – 5 мм.

6.3. Обробка на свердлильних та розточувальних верстатах

6.3.1. Призначення і типи свердлильних верстатів; схеми обробки, інструменти і пристрої

Свердлильні верстати призначені для чорнової, чистової й викінчувальної обробки гладких циліндричних і конічних поверхонь та різьб у отворах кінцевими інструментами – свердлами, зенкерами, зенківками, цеківками, розвіртками та мітчиками – у різних за конструкцією заготовках. Інструмент під час обробки отримує обидва формотворні рухи: головний обертовий різання та осьовий подачі.

Основними частинами вертикально-свердлильного верстата (рис. 6.16, а) є:

- ↳ станина 2. Вона змонтована на фундаментній плиті 1 і має вертикальні напрямні;

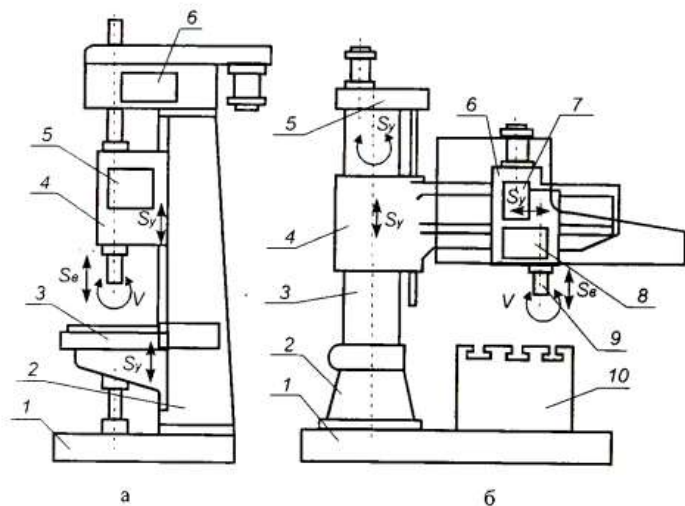


Рис. 6.16 – Загальний вигляд вертикально (а) і радіально-свердлильного (б) верстатів

- ☞ стіл 3, на якому встановлюють заготовку. Стіл може переміщатись лише у вертикальному напрямку (установче переміщення) по напрямних станини;
- ☞ коробка подач 5 і швидкостей 6 зі шпинделем, у конічному отворі якого кріплять інструмент. Шпиндель отримує обертовий рух і разом з піноллю – осьовий рух подачі відносно шпиндельної бабки 4. Разом з бабкою шпиндель може переміщатися вертикально по напрямних станини (установче переміщення).

Основними характеристиками свердлильного верстата є:

- діаметр найбільшого отвору, який можна свердлити на верстаті в сталі середньої твердості. Це число входить у позначення моделі верстата. Наприклад, для верстата моделі 2Н135 таким є $d=35$ мм. З цим параметром пов'язані силові та кінематичні характеристики верстата – потужність, частоти обертання і подачі шпинделя;
- габарити стола, відстань від стола до торця шпинделя та від осі шпинделя до станини, розмір конічного отвору шпинделя;
- точність верстата;

- кількість інструментів, які автоматично можуть змінюватися (для верстатів з ЧПК).

Вертикально-свердлильні верстати ефективні під час обробки заготовок середніх та невеликих розмірів у одиничному, дрібно- та середньосерійному типах виробництва. Для обробки малих заготовок використовують настільно-свердлильні верстати.

Великогабаритні заготовки обробляють на радіально-свердлильних верстатах (див. рис. 6.17, б), наприклад моделі 2Н55. На цих верстатах шпиндельна бабка 6 з коробкою швидкостей 7 і подач 8 – розміщена на траверсі 4 – горизонтальній балці – і може переміщатися по ній у радіальному напрямку відносно вертикальної стійки – колони 3. Траверса може підніматись, опускатись по колоні і повертатись навколо колони. Це дає змогу створити на верстаті робочу зону великих розмірів. При нерухомій заготовці суміщення осі шпинделя з віссю оброблюваного отвору досягають переміщенням шпиндельної бабки відносно траверси та траверси відносно колони. Заготовку встановлюють на фундаментній плиті 1 або столі (тумбі) 10.

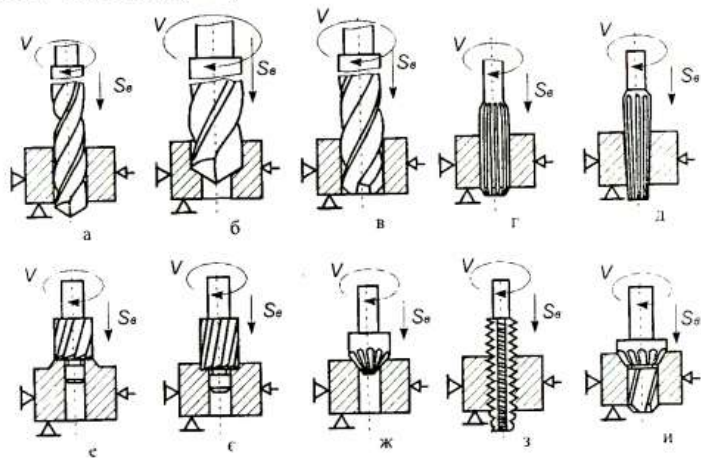


Рис. 6.17 – Схеми обробки отворів на свердлильних верстатах

Вертикально-свердлильні верстати з ЧПК, наприклад моделі 2Р135Ф2, оснащені хрестовим столом і шестипозиційною інстру-

ментальною головкою. Це дає змогу вести координатну обробку багатьох отворів у заготовці в напівавтоматичному режимі. Такі верстати ефективні в дрібно- і середньосерійному виробництві.

У масовому та великосерійному виробництві замість вертикально-свердильних верстатів використовують спеціалізовані та спеціальні напівавтоматичні багатошпindelні та агрегатні верстати. Висока продуктивність таких верстатів зумовлена паралельною (одночасною) обробкою багатьох отворів з однієї або кількох сторін заготовки чи кількох заготовок. Глибокі отвори ($l > 10d$) свердлять свердлами для глибокого свердління на спеціалізованих верстатах для глибокого свердління – горизонтально-свердильних.

Опис основних робіт, що виконуються на свердильних верстатах подано в табл. 6.2. Способи кріплення інструментів і заготовок на верстатах показано на рис. 6.18 та 6.19.

Свердла, зенкери і розвіртки з конічним хвостовиком кріплять безпосередньо в конічному отворі шпинделя (рис. 6.18, а) або через перехідну втулку 1 (див. рис. 6.18, б), а з циліндричним хвостовиком 4 (див. рис. 6.18, в) у свердильному патроні 2 за допомогою перехідної цанги 3 або кулачків. Заготовки встановлюють безпосередньо на столі (рис. 6.19, а), з використанням універсальних засобів – призм (рис. 6.19, б), кутників (рис. 6.19, г), лещат (рис. 6.19, в), поворотних столів (рис. 6.19, д) або в спеціальних пристроях, наприклад кондукторах.

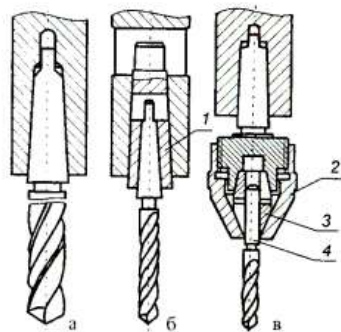


Рис. 6.18 – Способи кріплення свердел на свердильному верстаті

Таблиця 6.2 – Основні роботи, виконувані на свердлильних верстатах

Вид роботи (рисунок)	Інструмент	Характеристика обробленої поверхні			
		Квалітет точності, IT	Шорсткість Ra, мкм	Діаметр, мм	Примітка
1	2	3	4	5	6
Свердління (6.18, а)	Свердло спіральне	12...13	до 6,3	до 25...30	У суцільному матеріалі
Розсверд- лювання (6.18, б)	Свердло спіральне	11...12	до 3,2	до 75	Значне збіль- шення розміру отвору
Зенкеруван- ня (6.18, в)	Зенкер	10...15	до 6,3	10...100	Підвищення точності і якості поверх- ні, утворення пологого кон- уса
Зенкування (6.18, ж, и)	Зенківка (зенкер конічний)	11...14	до 6,3	11...63	Конічні отво- ри, фаски
Цекування (6.18, е, є)	Цеківка (зенкер торцевий з напрямною цапфою)	11...14	до 6,3	15...63	Циліндричні заглибини і глухі торці
Розвертання (6.18, г, д)	Розвіртка циліндрич- на, конічна	9...6	3,2...0,8	2...100	Підвищення точності та якості цилін- дричних і ко- нічних отворів
Нарізання різьби (6.18, з)	Мігчик	Ступінь точності 8...5	6,3...3,2	1...52	Кріпильні циліндричні та конічні різьби

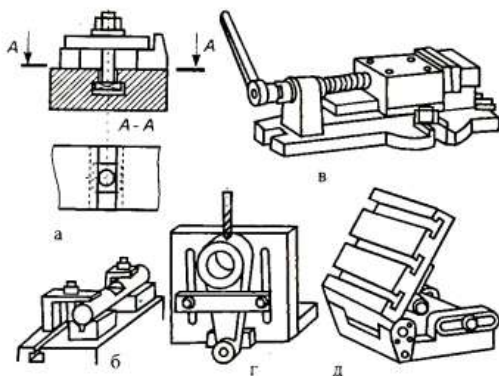


Рис. 6.19 – Пристрої і способи установки заготовок на свердлильних верстатах

Характерною вимогою до робіт, які виконують на свердлильних верстатах, є отримання точності міжосьових відстаней отворів. На практиці використовують три основні способи забезпечення такої вимоги: за розміткою, в кондукторі та координатний. Перший спосіб вимагає попереднього нанесення на заготовку розмічальних рисок і заглиблень рисуwalkою й кернером. Ці знаки використовуються під час свердління. Спосіб універсальний, однак неточний (похибка в межах $\pm 0,5$ мм) і трудомісткий. Тому він може використовуватися в одиничному виробництві.

Кондуктором є пристрій, який не лише закріплює заготовку, а й має напрямні (кондукторні) втулки для інструмента, що визначають місце обробки. Спосіб обробки продуктивний, точний, але потребує складного пристрою, часто спеціального. Його застосовують у серійному та масовому виробництві.

При координатному способі для переходу від обробки одного отвору до наступного заготовку переміщують на величину різниці координат їх розміщення відносно базових поверхонь. Спосіб набув поширення з використанням верстатів з ЧПК. Він продуктивний, достатньо точний (точність залежить насамперед від точності позиціонування стола верстата з ЧПК) і не потребує кондукторів. Для збільшення точності засвердлювання використовують короткі свердла або спеціальні способи загострювання різальної частини.

6.3.2. Обробка на розточувальних верстатах

Розточувальні верстати призначені для чорнової, чистової, а іноді лише для викінчувальної обробки отворів у заготовках деталей, що не відносяться до тіл обертання. Тут головний обертовий рух здійснює інструмент, а поступальний рух подачі – інструмент або заготовка. На багатьох верстатах є також можливість свердлити, зенкерувати та розвертати отвори, нарізати в отворах різьби, фрезерувати і точити площини. Розточувальні верстати можуть мати вертикальний або горизонтальний шпindel. В останньому випадку верстати мають також поворотний стіл для заготовки. Така конструкція верстата надає йому широкі технологічні можливості, зокрема обробляти заготовки з чотирьох сторін повертаючи їх зі столом навколо вертикальної осі.

Найбільшого поширення набули такі різновиди верстатів:

- *горизонтально-розточувальні* – для послідовної обробки отворів і площин з різних сторін середніх та великих заготовок в одиничному й серійному виробництві;
- *координатно-розточувальні* з вертикальним шпindelом – для високоточної обробки отворів в одиничному й дрібносерійному виробництві;
- *алмазно-розточувальні* – для викінчувальної обробки високоточних отворів в умовах масового і великосерійного виробництва;
- *розточувальні верстати з ЧПК* з вертикальним або горизонтальним шпindelом у магазині на 12...100 інструментів. Такі верстати мають надзвичайно широкі технологічні можливості, тому їх називають оброблювальними центрами. Вони ефективні для обробки отворів і площин складних корпусних деталей у серійному виробництві;
- *агрегатні розточувальні верстати*. Завдяки високій продуктивності – одночасно обробляють велику кількість отворів – поширені в масовому виробництві.

На рис. 6.20 показано загальний вигляд горизонтально-розточувального верстата; такі верстати є найпоширенішими. На станині 1 розміщений стоек 2 з вертикальними напрямними. По них переміщуються шпindelна бабка 3 зі шпindelом 6 та планшайбою 4. Головний обертовий рух отримує або шпindel з установленим у ньому

інструментом (розточувальною оправкою, свердлом, розвірткою або фрезою), або планшайба з радіальним супортом 5, де кріплять різець. Заготовку встановлюють на хрестовий 9 та 10 і поворотний 11 стіл. Для підтримування довгих розточувальних оправок – борштанг використовують люнет 8 на стояку 7.

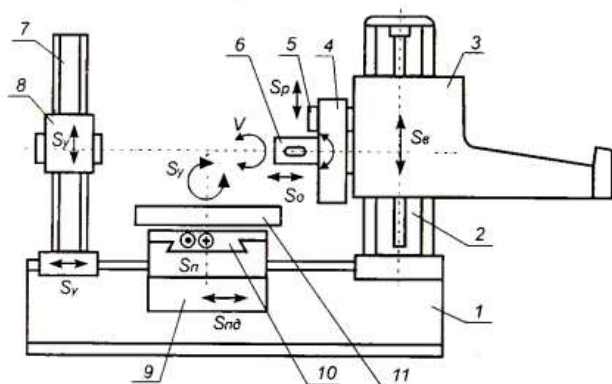


Рис. 6.20 – Загальний вигляд горизонтально-розточувального верстата

Схеми обробки заготовок на верстаті показані на рис. 6.21. Як видно з рисунка, рух подачі може отримати як інструмент, так і заготовка. Як і на свердлильних, на розточувальних верстатах точність міжосьових розмірів досягають за допомогою розмітки, в кондукторах і координатним способом. Останній є найпоширенішим (верстати координатно-розточувальні, розточувальні з ЧПК і горизонтально-розточувальні). У корпусних деталях часто потрібно отримати співвісні отвори – отвори, які розміщені на спільній осі й часто значно віддалені один від іншого. При цьому користуються, як правило, двома способами: розточуванням довгою борштангою з однієї позиції (див. рис. 6.21, в), або короткою розточувальною оправкою за дві позиції (з поворотом стола із заготовкою на 180°).

Перший спосіб точніший, другий – універсальніший. Ним широко користуються на верстатах з ЧПК. Якщо отвори розміщені близько, то їх обробляють з однієї позиції.

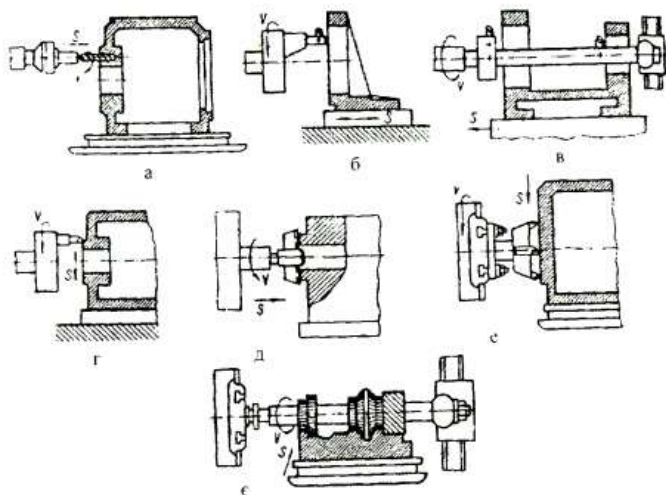


Рис. 6.21 – Схеми обробки заготовок на горизонтально-розточувальному верстаті

Питання для самоконтролю

1. Вкажіть призначення, характеристики економічної точності та шорсткості, стан заготовки до використання цього методу та верстату, на яких цей метод виконують:

- свердління;
- зенкерування;
- розвертання.

2. Назвіть різницю в конструкції та технологічних можливостях верстатів:

- вертикально- і радіально-свердлильного;
- вертикально-свердлильних з ручним керуванням і з ЧПК;
- розточувальних верстатів з горизонтальним і вертикальним розташуванням шпинделів.

3. Назвіть види робіт, які можуть виконуватися на верстатах:

- вертикально-свердлильному;

- горизонтально-розточувальному;
 - горизонтально-розточувальному з ЧПК.
4. Чому розточувальні верстати з ЧПК називають оброблювальними центрами ?
5. Назвіть два основні джерела високої продуктивності агрегатних (свердлильних і розточувальних) верстатів. Яка їх технологічна гнучкість?

6.4. Обробка на шліфувальних верстатах

6.4.1. Призначення шліфування. Абразивні матеріали та інструменти

Шліфування в загальному – це процес обробки поверхонь абразивними інструментами: шліфувальними кругами, брусками, шкурками, пастами, суспензіями. Як правило, його використовують для викінчуваної обробки високоточних поверхонь. Економічна точність шліфування 8...6 (іноді 5) квалітети, шорсткість $Ra=0,8...0,02$ мкм. Шліфування застосовують після чистової обробки лезовими інструментами при початковій точності 9 або 10 квалітетів. Іноді шліфування використовують як перший метод чистової обробки точних заготовок. Найчастіше це безцентрове шліфування заготовок з каліброваного прокату. Шліфуванням обробляють матеріали різної твердості і міцності – тверді сплави, загартовані та термічно не зміцненні сталі, чавуни, кольорові метали і сплави, а також кераміку, неметалеві матеріали та інші.

Інструменти для шліфування, або *абразивні інструменти*, складаються із зерен абразивного матеріалу різної зернистості, скріплені зв'язкою.

Абразивні матеріали повинні мати підвищену твердість і достатню міцність. У табл. 6.3 записані основні абразивні матеріали в послідовності зростання їх твердості.

Зернистість – це характеристика шліфувального матеріалу за розмірами зерен. Розрізняють чотири групи матеріалів:

- ↪ шліфзерна їх розміри в поперечнику 2 000...160 мкм. Зернистість позначають цифрами в межах 200...16;
- ↪ шліфпорошки (125...40 мкм – позначають 12...4);
- ↪ мікрошліфпорошки (63...14 мкм – позначають М63...М14);
- ↪ тонкі мікрошліфпорошки (10...3 мкм – позначають М10...М3).

Таблиця 6.3 – Характеристика абразивних матеріалів

Назва	Хімічний склад основи	Приклад марок	Призначення
1	2	3	4
1. Електрокорунд	Al_2O_3		Широко використовуються для усіх видів інструментів для обробки незагартованих сталей
а) нормальний	93...95 %	13...16A	
б) білий в) хромистий, титанистий г) монокорунд	98...99 %	22...25A	Те ж і точна обробка загартованих важко обробних сталей
2. Карбід кремнію	Al_2O_3 легований хромом або титаном	33A 37A 91...94A	Забезпечує значно вищу продуктивність при обробці сталі
а) чорний (КЧ) б) зелений (КЗ)	Те ж	43...45A	Всі види інструментів. Обробка важко обробних сталей
3. Карбід бору			
4. Ельбор	SiC		Порівняно з електрокорундом має вищу твердість і крихкість. КЗ має вищі абразивні властивості ніж КЧ. Для всіх видів інструментів. Обробка чавуну, твердих сплавів, а також міді та алюмінію
5. Алмаз природний, синтетичний і полікристалічний	$\geq 95\%$	52...55 C	
	$\geq 97\%$	62...64 C	
	B_4C 84...93 %	УКБ	Вільне зерно та пасти для притирання та полірування чавуну і твердих сплавів
	Кубічний BN	ЛП, ЛО	Всі види інструментів для викінчувальної обробки інструментальних та важкообробних матеріалів
	C (алмаз)	A1...A8 AC2, AC50, AP	Шліфпорошки, а також круги, як правило на металевих зв'язках, для обробки кераміки, твердих сплавів та інших висококомірних і крихких матеріалів

Сукупність абразивних зерен певного інтервалу розмірів називають *фракцією*. За гарантованим (найменшим допустимим) вмістом основної фракції зернистість шліфматеріалу поділяють на чотири групи. Їх позначають літерами-індексами В, П, Н та Д в порядку зменшення вмісту основної фракції. Так, позначення мікрошліфпорошка зернистістю М40 з вмістом основної фракції не менше 60, 50, 45 і 43 % буде М40-В, М40-П, М40-Н і М40-Д відповідно.

Для різних видів роботи використовують матеріали відповідної зернистості. Наприклад, для притирання, суперфінішу й тонкого хонінгування з допуском 3...5 мкм і шорсткістю $Ra=0,16...0,02$ мкм зернистість шліфувального матеріалу має бути в межах М5...М40 (чим вища точність і менша шорсткість поверхні, тим меншої зернистості має бути абразив). Для тонкого шліфування і чистового хонінгування з $Ra=0,63...0,16$ мкм, чистового шліфування з $Ra=1,25...0,16$ мкм – 16...25, попереднього шліфування з $Ra=2,5...0,63$ мкм – 40...63, для грубої роботи – понад 80.

Матеріал, який скріплює зерно абразивного матеріалу в абразивному інструменті, називають *зв'язкою*. Зв'язка визначає фізико-механічні властивості інструмента, впливає на точність і шорсткість обробленої поверхні та продуктивність обробки.

Поширеними є такі зв'язки:

- *керамічні* (К1...К6, К8, К10) – на основі вогнетривкої глини та склотвірних добавок. Їх використовують для усіх видів шліфувальних робіт, крім прорізання вузьких пазів. К2, К3 – для інструментів з карбіду кремнію, К1, К5, К8 – для інструментів з електрокорунду, К2 – для дрібнозернистого інструменту;
- *бакелітові* (Б, Б1...Б4 тощо) – на основі фенолформальдегідних смол. Забезпечують вищу міцність. Використовують для відрізних і прорізних кругів, для дрібнозернистих інструментів (кругів, брусків), а також для роботи із швидкостями 50...80 м/с.;
- *вулканітові* (В, В1...В5 тощо) – на основі синтетичного каучуку – для відрізних і прорізних кругів, полірувальних еластичних кругів тощо;
- *металеві* на основі міді або алюмінію – переважно для алмазних кругів підвищеної зносостійкості.

Важливими характеристиками абразивних інструментів є їх твердість і структура. *Твердість* вказує на здатність зв'язки утримувати

абразивні зерна. Шкала твердості охоплює 16 ступенів – включаючи: дуже м'які – ВМ, м'які – М, середні – С, тверді – Т та надтверді – ЧТ. За структурою інструменти поділяють на 18 груп від № 1 до 18. Чим вище номер структури, тим менше зерен, більше зв'язки та пор (порожнин). Вибір структури інструмента залежить від виду роботи та матеріалу заготовки. Так, тонку обробку ведуть інструментами зі структурою № 1...4. В'язки німецькі матеріали – № 7...8, шліфування різьб – № 8...12. Докладніше про вибір інструментів (див. [3], т. 2, с. 242...260).

Маркування абразивних інструментів. Маркування розглянемо на прикладах.

Круг шліфувальний загального призначення

ПП 250×16×32 14А 25-Д СМ 6 К5 35м/с А1 ГОСТ 2424-83.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

де 1 – форма круга (плоский прямиий);

2 – розміри в мм (зовнішній діаметр × ширина × внутрішній діаметр);

3 – абразивний матеріал (електрокорунд нормальний марки 14А);

4 – зернистість (основна фракція – шліфзерно 250 мкм, її вміст не менше 41 %);

5 – ступінь твердості круга (середньом'яка);

6 – номер структури (6);

7 – вид зв'язки (керамічна К5);

8 – максимально допустима колова швидкість (35 м/с);

9 – клас дебалансу (1) і клас точності (А) круга;

10 – номер стандарту.

Бруски (використовують для суперфінішу, хонінгування або ручної обробки)

БКв 8×80 63С 6-Н С2-7 Б А ГОСТ2456-82.

1 2 3 4 5 6 7 8

де 1 – вид інструмента (брусок квадратного поперечного перерізу);

2 – розміри в мм (сторона квадрата × довжина бруска);

3 – абразивний матеріал (карбід кремнію зелений марки 63С);

4 – зернистість (шліфпорошок 60 мкм з вмістом основної фракції не менше 40 %);

5 – ступінь твердості (середня 2) і структура (№ 7);

6 – вид зв'язки (бакелітова марки Б);

7 – клас точності (А);

8 – номер стандарту.

Шліфувальна шкурка

Шкурка Д2Э 140×230 У1Г 63С 40-Н/25-П СФЖ А ГОСТ13344-79,

1 2 3 4 5 6 7 8 9

де 1 – вид інструмента (абразивна шкурка);

2 – характеристика абразивного шару (двошарова Д типу 2, спосіб нанесення – електростатичний);

3 – розміри в мм (ширина × довжина);

4 – матеріал основи (тканина – саржа);

5 – абразивний матеріал (карбід кремнію зелений марки 63С);

6 – зернистість (40-Н перший шар і 25-П – другий);

7 – вид зв'язки (смола СФЖ – водостійка);

8 – клас точності А;

9 – номер стандарту.

Алмазна абразивна паста (використовується для машинного та ручного полірування або притирання)

АСМ 28/20 НОМ СТ СЭВ 206-75,

1 2 3 4

де 1 – марка матеріалу (синтетичний алмаз марки АСМ);

2 – зернистість мікропорошку (максимальний і мінімальний розмір зерен в мкм);

3 – концентрація абразиву (нормальна Н), спосіб змивання пасти (органічними розчинами О), консистенція пасти (мазеподібна М);

4 – номер стандарту.

6.4.2. Методи шліфування

Залежно від форми поверхонь розрізняють шліфування кругле (поверхонь обертання), плоске та фасонних поверхонь (зубчатих, різьбових тощо). Шліфувальний круг отримує головний обертовий рух $V_{\text{кр}}$, а також періодичний рух врізної подачі $S_{\text{вр}}$. Заготовку обертають або поступально переміщують зі швидкістю V_f . Якщо розмір оброблюваної поверхні більше ширини круга, то заготовка або круг додатково отримують зворотньо-поступальний рух подачі S_m або S_n . У зону різання, як правило, подають у великій кількості МОР.

Кругле зовнішнє шліфування виконують на круглошліфувальних верстатах методом поздовжньої подачі, якщо $l > B$ (рис. 6.22, а), і методом врізного шліфування, якщо $l < B$ (рис. 6.22, б). Заготовку обертають зі швидкістю $V = 10 \dots 30$ м/хв, швидкість шліфувального круга від 30 м/с до 100 м/с. Для шліфування методом поздовжньої подачі – $S_{\text{пр}}$ задають у долях ширини шліфувального круга на оберт заготовки $S_{\text{пр}} = 0,1 \dots 0,6$. Врізну подачу здійснюють періодично на одинарний або подвійний хід $S_{\text{вріз}}$ 0,001...0,02 мм/хід.

Для **врізного шліфування** хвилинна подача $S_{\text{хв}} = 0,1 \dots 0,6$ мм/хв. У кінці робочого ходу виконують виходжування ($S_{\text{в}} = 0$) протягом кількох обертів заготовки.

Кругле зовнішнє шліфування здійснюють також на безцентрово-шліфувальних верстатах (рис. 6.22, г). Заготовку 4 кладуть на ніж (опору) 1 між шліфувальним 2 і ведучим 3 кругами. Ведучий круг забезпечує як обертання, так і поздовжнє переміщення заготовки. Метод надзвичайно продуктивний.

Кругле внутрішнє шліфування (рис. 6.22, д) виконують на верстатах для внутрішнього шліфування. Його схеми і режими аналогічні зовнішньому шліфуванню.

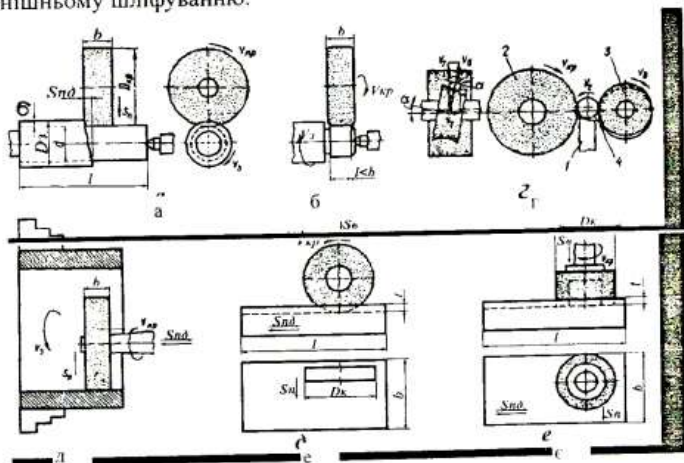


Рис. 6.22 – Схеми шліфування: 1 – заготовка, 2 – шліфувальний круг, 3 – оправка, 4 – ведучий круг, 5 – ніж, 6 – стіл верстата

Однак слід мати на увазі, що через менший діаметр круга (звично його приймають 0,4...0,9 від діаметра отвору) і нижчу жорсткість ТС подачі тут менші, а стійкість круга і продуктивність – значно нижчі. Тому отвори шліфують переважно в деталях зміцнених до твердості $HRc_e > 40$, коли обробка лезовими інструментами утруднена.

На круглошліфувальних верстатах заготовки встановлюють у центрах, на оправках і в патронах.

Плоскі поверхні шліфують на плоскошліфувальних верстатах. На рис. 6.23,е показана схема шліфування периферією круга на шліфувальному верстаті з прямокутним столом. Заготовка виконує зворотньо-поступальний рух зі швидкістю $V_z = 3...20$ м/хв. Шліфувальний круг, крім головного руху V_{sp} , здійснює в кінці кожного подвійного поздовжнього ходу поперечну подачу в долях ширини круга $S_{n,os} = 0,05...0,25$, а після шліфування всієї поверхні врізну подачу $S_{n,os} = 0,002...0,006$ мм/хід. Крім такої схеми, використовують також шліфування торцем круга та сегментним кругом (рис. 6.22, є). Плоскошліфувальні верстати можуть мати круглий (обертвий) стіл. Характерною особливістю плоскошліфувальних верстатів є наявність у них так званих магнітних столів, що надзвичайно спрощує і прискорює установку заготовок з феромагнітних матеріалів.

Шліфують також і складні поверхні: зубчасті, різьбові, фасонні. Для всіх методів шліфування використовують МОР.

Основний час на шліфування розраховують за формулами: врізне, кругле, зовнішнє та внутрішнє шліфування:

$$T_0 = \frac{a}{S_{a,os}} \cdot K; a = \frac{d_3 - d}{2}; S_{a,os} = S_{n,os} \cdot n_3; \quad (6.5)$$

кругле шліфування методом поздовжньої подачі:

$$T_0 = \frac{L}{n_3 \cdot S_{n,os} \cdot B} \cdot i \cdot K; i = \frac{a}{S_{a,os}}; L = l + B + 10; \quad (6.6)$$

плоске шліфування периферією на верстатах з прямокутним столом:

$$T_0 = \frac{L}{n_2 \cdot S_n \cdot B \cdot Q} \cdot i \cdot K; L = A + B + 10; i = \frac{a}{S_{a,os}}; \quad (6.7)$$

де a – припуск на шліфування, мм;

i – кількість ходів;

n_i – частота обертання заготовки, $хв^{-1}$;

- n_z – кількість подвійних ходів заготовки, хв⁻¹;
 Q – кількість одночасно оброблюваних заготовок;
 K – коефіцієнт точності шліфування; $K = 1,1 \dots 2$.

6.4.3. Інші методи абразивної обробки

Полірування – процес обробки дрібнозернистим абразивом у вигляді пасти чи суспензії з використанням еластичних кругів (повстяних, фетрових тощо) для зменшення шорсткості до $Ra = 0,8 \dots 0,02$ мкм. Така обробка підвищує антикорозійну стійкість, втомну міцність і покращує декоративні властивості деталей. Полірують заготовки також перед нанесенням гальванічних покриттів.

Хонінгування і суперфініш – це методи високоточної кінцевої обробки абразивними брусками, закріпленими в хлнігувальній головці, з використанням МОР для отримання поверхонь високої точності (круглості, циліндричності) та якості (до $Ra = 0,04 \dots 0,02$ мкм). Так, хонінгують поршневі отвори блоків циліндрів ДВЗ; суперфініш застосовують для кінцевої обробки шийок колінчастих валів.

Притирання – метод високоточної обробки циліндричних і плоских поверхонь за допомогою притирів, виготовлених з матеріалу м'якшого за матеріал заготовки, та абразивних суспензій або паст. Методом можна досягнути найвищої точності (до 0,1 мкм) і якості поверхні (до $Ra = 0,02$ мкм). Використовують для остаточної обробки кінцевих мір довжини та інших вимірjuвальних інструментів, ущільнюваних поверхонь у парах "метал-метал", кульок і роликів підшипників кочення тощо.

Питання для самоконтролю

1. Назвіть абразивні матеріали, їх основні складові та застосування.
2. Назвіть види абразивних інструментів.
3. Складіть схему обробки, покажіть формотворні рухи і назвіть верстат для:
 - круглого зовнішнього врізного шліфування;
 - круглого безцентрового шліфування;
 - внутрішнього шліфування методом поздовжньої подачі;
 - плоского шліфування периферією круга.
4. Порівняйте продуктивність шліфування (обґрунтуйте):
 - круглого зовнішнього і внутрішнього;

- врізного та методом поздовжньої подачі;
- на круглошліфувальних та безцентрово-шліфувальних верстатах.

5. Розрахуйте основний час шліфування крутом діаметром 600 мм і шириною 60 мм, $V=30$ м/с, коефіцієнт точності шліфування 1,5:

- шийка вала $d=50$ мм; $d_{\text{ис.}}=50,5$ мм, частота обертання заготовки 100 хв^{-1} , врізна подача 0,005 мм або 0,005 мм/хід, поздовжня подача 0,1, якщо довжина шийки: 20 мм; 160 мм;

- площини 40×500 мм призматичних сталевих деталей товщиною 100 мм (заготовка 100,3 мм); число подвійних ходів стола 10 хв^{-1} , поперечна подача 0,1; врізна подача на подвійний хід стола 0,005 мм/хід; якщо одночасно оброблюють установлених на столі: 1, 2 або 5 заготовок.

6. Чи підвищується точність поверхонь заготовок при їх поліруванні? Відповідь обґрунтуйте.

Проектування технологічних процесів обробки типових деталей машин

7.1. Класифікація деталей і типізація технологічних процесів

На підприємствах машинобудування легкої промисловості технологічні процеси розроблялися і розробляються залежно від багатьох факторів: річної програми, наявності устаткування, оснащення, різальних інструментів, досвіду і уміння технологів. В ІХ і на початку ХХ ст. технологічні процеси на кожному підприємстві розроблялися індивідуально, не завжди витримувався принцип постійності і сполучення баз, тому точність обробки залежала від досвіду роботи технолога, від уміння правильно вибрати базові поверхні деталі, послідовність і вид їх обробки. Для обробки однієї і тієї самої деталі можна побудувати різні варіанти технологічного процесу і застосувати різні методи обробки. Це залежить, насамперед, від розмірів виробничої програми і виробничих умов. Але навіть при однакових виробничих умовах і програмі технологічні процеси часто відрізняються один від одного, і поставлені задачі оцінюються по-різному залежно від сталих прийомів і досвіду технічного персоналу. До того ж методи обробки деталей різноманітні і залежать не тільки від вищевказаних, але і від багатьох інших факторів. Усі ці обставини і створюють труднощі та складність розробки технологічних процесів, що вимагають великої витрати часу. Значно спростити і прискорити розробку технологічних процесів може типізація технологічних процесів, під якою розуміється створення типових процесів для визначених груп деталей.

Аналізуючи точність обробки однотипних деталей на різних підприємствах, завідувач кафедрою технології машинобудування політехнічного інституту м. Санкт-Петербург, професор А.П. Соколовський наприкінці 30-х років висловив ідею типізації технологічних процесів.

Під типізацією технологічних процесів розуміється розподіл деталей, які виготовляються, на конструктивно-технологічні класи (типи) і складання для кожного з них типового технологічного процесу.

Під типовим технологічним процесом розуміють процес виготовлення деталей однієї класифікаційної групи (ряду деталей однакового конструктивного виконання при однакових вимогах до їх точності і якості оброблюваних поверхонь при визначеній програмі випуску), що визначає основні елементи конкретного процесу: спосіб базування та кріплення, послідовність операцій, типи устаткування і оснащення.

За типовим технологічним процесом можна скласти конкретний процес обробки будь-якої деталі даної класифікаційної групи для заданих виробничих умов, правильно вибрати перші операції та базові поверхні, що приведе до високої точності обробки та відносного положення поверхонь.

Таким чином, типізація технологічних процесів базується на класифікації деталей машин, які підрозділяються на класи за ознакою схожості технологічних процесів і по спільності технологічних задач, що виникають при їхньому виготовленні (вали, втулки, диски, важелі, плити, стійки, косинці, зубчасті колеса, корпуси, станини, шпинделі, ходові гвинти тощо). Спочатку деталі були розподілені на 15 груп, але з появою нового більш сучасного та жорсткого устаткування, класифікація деталей була переглянута і розроблені різні методи класифікації обробки деталей. У методі, запропонованому д. т. н. А. Я. Малкіним, за основу приймається вид, кількість і чергування технологічних баз при обробці деталей заданої форми і розмірів. За цією методикою технологічна класифікація включає 5 класів і передбачає застосування цілком визначених баз залежно від виду і конфігурації деталі. При цьому обробка всіх поверхонь, що розташовуються навколо однієї вісі симетрії, повинна здійснюватися з однієї установки.

Перший клас – це деталі тіл обертання з відношенням $V/d = 2 \dots 20$.

Другий клас – втулки, диски з поверхнями обертання, що мають наскрізні отвори за віссю симетрії.

Третій клас – деталі з рівнобіжними площинами, що мають, як мінімум, по два отвори з рівнобіжними осями (шатуни, кришки, плоскі важелі).

Четвертий клас – деталі коробчатого типу (картери, корпуси редукторів, коробки передач, корпуси фартухів тощо).

П'ятий клас – складні деталі, що мають кілька осей симетрії (хрестовини сателітів, вилки зовнішніх з'єднань тощо).

Аналогічну класифікацію, найбільш прийнятну, пропонує професор Ф.С. Дем'янюк, при якій передбачається шість класів:

- ✦ перший клас – корпусні деталі;
- ✦ другий клас – круглі стрижні (вали);
- ✦ третій клас – пустотілі циліндри;
- ✦ четвертий клас – диски;
- ✦ п'ятий клас – некруглі стрижні (важелі);
- ✦ шостий клас – кріпильні деталі.

Типова деталь поєднує сукупність деталей, що мають однаковий план (маршрут) операцій, здійснюваних на однорідному устаткуванні з застосуванням однотипних пристосувань та інструментів.

Наступним етапом типізації технологічних процесів є розробка принципово загального (типового) технологічного процесу з установленням типових послідовності та змісту операцій.

Типовий технологічний процес повинний бути раціональним, у конкретних виробничих умовах, характеризуватися єдністю змісту і послідовності більшості технологічних операцій для групи виробів, що володіють загальними конструктивними ознаками.

Типові технологічні процеси розробляють на основі аналізу безлічі діючих і можливих технологічних процесів на типові представники груп виробів. Типізація забезпечує усунення різноманіття технологічних процесів обґрунтованим зведенням їх до обмеженого числа типів та є базою для розробки стандартів на типові технологічні процеси. Типізація технологічних процесів заснована на класифікації об'єктів виробництва, вона полягає в поділі їх за ознаками, що містяться в конструкторській документації, на окремі групи, для яких можлива розробка загальних технологічних процесів або операцій.

На підставі планового завдання для кожного типового представника груп визначається тип виробництва. Виходячи з даних робочих креслень і технічних умов на об'єкти виробництва, програми випуску, типу виробництва, діючих типових технологічних процесів для даного класу деталей, розробляють основні маршрути виготовлення об'єктів виробництва, включаючи заготовочні процеси. Потім вибирають заготовки, методи їх виготовлення, виконуючи техніко-економічну оцінку вибору заготовок (використовують класифікатор заготовок і методичні документи по економічних розрахунках). Керуючись класифікатором способів базування і методикою вибору технологічних баз, вибирають поверхні базування, оцінюють точність і надійність базування.

За обраними видами обробки складають технологічний маршрут у порядку послідовності операцій, визначають групи устаткування за операціями (використовують класифікатор виробів і операцій, методику оцінки точності і якості поверхонь деталей, класифікатор технологічного устаткування).

Важливий етап – розробка технологічних операцій. Необхідно домогтися їх раціональності, вибрати правильну структуру, продумати послідовність переходів в операції, вибрати устаткування, що забезпечує оптимальну продуктивність при заданій якості, розрахувати його завантаження, вибрати конструкції оснащення з її стандартних систем. Необхідно установити вихідні дані для розрахунку оптимальних режимів обробки, припусків на обробку, а також норм часу і виконати їх розрахунок.

Визначити розряд робіт і професії виконавців операцій у залежності від їх складності. На цьому етапі використовують структурні формули технологічних операцій, моделі структур, стандарти і класифікатори на технологічне устаткування, технологічне оснащення, на розряди робіт і процесів, методики з розрахунку режимів різання, норм часу.

Типізація технологічних процесів дозволяє узагальнити і привести в систему існуючі технологічні процеси, сприяє впровадженню раціональних методів обробки, скорочує час підготовки виробництва і прискорює освоєння нових машин. Вона дає можливість використовувати уніфіковане технологічне оснащення і потокові методи виробництва, спрощує і прискорює розробку нових технологічних процесів і т.д. У серійному виробництві при поточній організації роботи часто виявляється неможливим достатньо завантажити верстати виконанням однієї технологічної операції обробки деталей одного найменування. У зв'язку з цим підбираються деталі декількох найменувань, схожих по конструктивних і технологічних ознаках, що можуть оброблятися на одній верстатній лінії з устаткуванням, розташованим по типовому технологічному маршруту. Усі прикріплені до даної лінії деталі обробляються партіями. Після обробки партії деталей одного найменування запускається наступна партія деталей іншого найменування; далі по черзі обробляються партії деталей третього, четвертого тощо найменувань. При обробці кожної партії верстатна лінія працює, як безперервно-потокова лінія, тобто створюється перемінно-потокова або групова потокова форма організації роботи. Для таких ліній варто підбирати деталі,

обробка яких зовсім не вимагає переналагодження ліній або з переналагодженнями нескладними і нетрудомісткими.

У груповій потоковій лінії можуть оброблятися деталі, схожі за технологією, декількох найменувань, що визначається ступенем необхідних переналагоджень і можливим завантаженням верстатів. На одному верстатобудівному заводі на таких лініях обробляються деталі п'яти-шести найменувань, і цим досягається повне завантаження верстатів.

Перемінно-потокові (групові потокові) лінії можуть бути автоматизовані. У цьому випадку ми будемо мати автоматичні лінії, які переналагоджуються. У тих випадках, коли для груп деталей, що мають схожий технологічний процес за основними операціями, вимагаються однакові устаткування і технологічне оснащення, але їх обробка на групових поточкових лініях нерациональна через малу серійність, доцільно обробляти ці деталі за типовим технологічним процесом, як і для перемінно-потокових ліній, використовуючи групові налагодження, тобто нормалізовані пристосування та інструментальні налагодження для груп деталей, що підвищує рівень оснащеності технологічного процесу і знижує трудомісткість, а, отже, і собівартість обробки деталей..

Групові налагодження розширюють можливості використання високоефективних технологічних методів у серійному виробництві деталей, можливості досягнення більш високого завантаження верстатів і скорочують або виключають час на переналагодження.

Групові налагодження варіюються для різних верстатів у залежності від сполучень оброблюваних поверхонь (зовнішніх, внутрішніх, торцевих), їх розмірів і розташування.

Так, наприклад, у групових налагодженнях токарно-револьверних верстатів частина позицій револьверної головки і супорта для кріплення інструменту використовується для обробки деталей одного найменування, інша частина позицій – для обробки деталей іншого найменування; деякі позиції (або усі) можуть бути використані для обробки деталей декількох найменувань.

Аналогічно можна використовувати групові налагодження для обробки на токарно-карусельних верстатах.

При груповому налагодженні для обробки плоских поверхонь на фрезерних верстатах деталі розміщуються в груповому пристосуванні так, щоб оброблювані поверхні були розташовані в одній площині. При цьому обробка деталей можлива одночасна та роздільна.

Групове налагодження може бути застосоване і при використанні багатошпindelних свердлильних головок на звичайних свердлильних верстатах. Частина шпindelів можна використовувати при свердленні отворів одних деталей, іншу частину шпindelів – для свердлення отворів інших деталей; можливо і використання всіх шпindelів для свердлення отворів декількох деталей.

Групові налагодження створюють сприятливі умови для здійснення групових технологічних процесів.

Розрахунок точності, продуктивності та економічної ефективності варіантів типових технологічних процесів для вибору оптимального варіанту виконується за методиками розрахунку економічної ефективності та розрахунку точності.

На останньому етапі виконується оформлення типових технологічних процесів відповідно до вимог стандартів ЕСТД.

Нижче ми розглянемо складання типових технологічних процесів механічної обробки деталей по класифікації, запропонованій проф. Ф.С. Дем'янюком, де розглядаються більш конкретні деталі.

7.2. Технологія обробки корпусних деталей

7.2.1. Службове призначення і класифікація корпусних деталей машин

Корпусні деталі в більшості випадків є базовими деталями, на які монтується окремі складальні одиниці та деталі, що з'єднуються між собою з необхідною точністю відносного положення. Корпусні деталі повинні забезпечити сталість точності відносного положення деталей і механізмів, як у статичному стані, так і в процесі експлуатації машин, а також плавність їх роботи і відсутність вібрацій.

Конструктивна форма і розміри корпусних деталей, застосовувані матеріали, точнісні характеристики деталей в основному залежать від службового призначення деталей і умов їх роботи.

Звичайно збирання відповідних складальних одиниць починається з корпусних деталей. Наприклад, збирання передньої бабки токарного верстата починається з корпусу передньої бабки, у якому збирають усі деталі цього вузла: підшипники, шпindel, вали, зубчасті колеса, муфти, важелі, фіксатори, деталі мастильної системи, тобто всі деталі механізмів приводу шпинделя. Корпус передньої бабки служить також

резервуаром для мастила. Основним призначенням корпуса передньої бабки є забезпечення правильного положення вісі шпинделя щодо направляючих станини і піноли задньої бабки, збереження стабільності цього положення в статичному стані та у процесі роботи верстата, забезпечення плавності обертання шпинделя і відсутності вібрацій.

Блок циліндрів двигуна внутрішнього згоряння – корпусна деталь двигуна, координує взаємне розташування всіх інших деталей і механізмів двигуна та забезпечує їх правильне відносне переміщення в процесі роботи двигуна.

Умови роботи блоку циліндрів – високі тиски і температура робочої суміші в камерах згоряння, великі тиски поршнів на стінки циліндрів, наявність вібрацій і інших динамічних факторів – обумовлюють підвищені вимоги до матеріалу блоку циліндрів і якості його виготовлення. Кронштейни, косинці, стійки, будучи конструктивно більш простими деталями, часто виконують функції додаткових опор для валів, черв'яків, ходових гвинтів, конічних передач і інших деталей приводу чи є деталями-підставками для установки і забезпечення правильного відносного положення окремих вузлів верстатів і машин (електродвигунів, насосів, бачків, редукторів тощо).

Корпусні деталі металорізальних верстатів типу кареток, салазок, столів, повзунів, планшайб тощо мають основним призначенням забезпечити установку і правильне відносне переміщення різальних інструментів і оброблюваних заготовок.

Деталі, такі як кришки, іноді виконують другорядну роль у машині або разом з підставою утворюють корпус (наприклад, у редукторів відцентрових насосів).

Корпусні деталі мають основні базові поверхні у виді площини або комбінації площин, за допомогою яких вони присднюються до деталей-підстав і зберігають правильне відносне положення в машині. Як допоміжні бази, за допомогою яких забезпечують правильне відносне положення в машині інших деталей, що приєднуються до них, можуть бути поверхні отворів (для установки опор валів, шпинделів, черв'яків тощо) і площини, а також їх комбінації. Якщо розміри корпусних деталей входять в основні розмірні ланцюги машини, до них висувають високі вимоги точності. Якість виготовлення таких корпусних деталей у відношенні точності основних і допоміжних баз і точності їхнього взаємного розташування впливає на якість машини, а також на тру-

домісткість слюсарно-складальних робіт і тривалість циклу збирання. По службовому призначенню і конструктивних формах їх можна розділити на основні групи:

1. Корпусні деталі коробчатого типу. Деталі цієї групи звичайно мають форму паралелепіпеда з тонкими стінками; усі габаритні розміри їх – величини одного порядку. Характерною рисою цієї групи деталей є наявність у них отворів, що служать опорами для валів. Діаметри основних отворів (отворів для монтажу шпинделів, валів, пінолей тощо і їх опор) знаходяться в межах 20...600 мм (рис. 7.1, а).

Деталі коробчатого типу можуть бути нероз'ємними і роз'ємними по осях усіх чи частини отворів і мати внутрішні перегородки чи напрямні прямолінійного руху, якщо вони в процесі експлуатації переміщуються. Форма і розміри корпусних деталей визначаються умовами розміщення в них необхідних механізмів і деталей.

2. Корпусні деталі з внутрішніми циліндричними поверхнями. До них відносяться: блоки циліндрів, циліндри двигунів і компресорів (рис. 7.1, б). Ця група деталей має точні за розмірами і формою отвори циліндрів, а також отвори для установки колінчастих і інших валів.

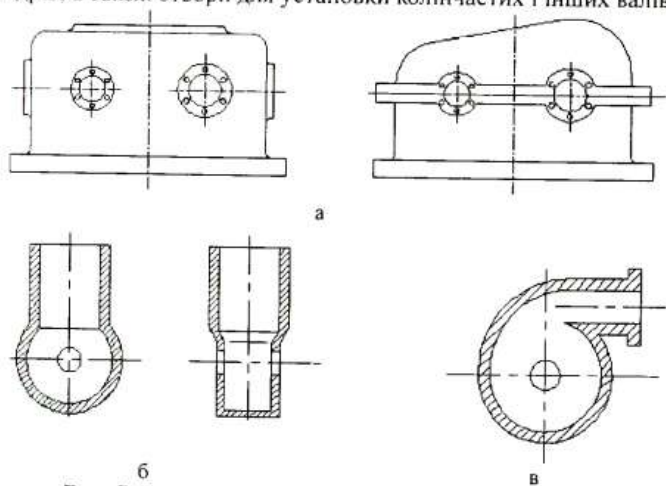


Рис. 7.1 – Конструктивні види корпусних деталей:

а – корпусні деталі коробчатого типу;

б – корпусні деталі з внутрішніми циліндричними поверхнями;

в – корпусні деталі складної просторової форми

3. *Корпусні деталі складної просторової форми.* Корпуси відцентрових насосів, парових і газових турбін (рис. 7.1. в). Форма цих деталей забезпечує створення плавно-обтічних каналів для руху рідин і газів.

7.2.2. Технічні умови на виготовлення корпусних деталей

До корпусних деталей висувають технічні вимоги до міцності, твердості, зносостійкості, точності, мінімальних деформацій при перемінних температурах, герметичності, зручності збирання і розбирання відповідних складальних одиниць. При забезпеченні фізико-механічних властивостей матеріалу, з якого виготовляють деталі, якість їх в основному визначається точністю обробки і шорсткістю поверхні.

У відношенні точності обробки до корпусних деталей пред'являють наступні основні вимоги:

- а) точність форми базових поверхонь: площинність або прямолінійність площин у визначених напрямках;
- б) точність відносного положення плоских базових поверхонь: в одній площині, у рівнобіжних або перпендикулярних площинах;
- в) точність відстані між рівнобіжними площинами;
- г) точність діаметральних розмірів і геометричної форми отворів;
- д) точність відстані між осями отворів або осями отворів і площинами, співвісність отворів;
- е) паралельність або перпендикулярність осей отворів або осей отворів і площин.

До оброблюваних поверхонь корпусних деталей пред'являються також визначені вимоги у відношенні чистоти поверхонь.

Дотримання всіх перерахованих вимог може бути необхідним лише в окремих, виняткових випадках, при виготовленні дуже складної та відповідальної деталі.

Звичайно до окремих корпусних деталей пред'являють тільки деякі з перерахованих тут вимог.

Величини допустимих відхилень по перерахованих параметрах точності визначаються з умов сполучення деталей, характеру механізмів, що збираються, і умов їх роботи і можуть бути визначені аналітично або на підставі досвіду роботи. У багатьох випадках відхилення, що допускаються, регламентуються відповідними стандартами. Наприклад, ГОСТ 1643-81 регламентує допустимі відхилення на міжцентрові

відстані і на паралельність осей отворів корпусної деталі при зборці зубчастих передач; ГОСТ 1758–81 регламентує точність розташування осей отворів при зборці конічних передач, а ГОСТ 3675–81 – черв'ячних передач тощо.

На всі розміри корпусних деталей, що входять у розмірні ланцюги машини, або вузла механізму, величини відхилень, що допускаються, повинні визначатися аналітично на підставі обраних методів рішення тих розмірних ланцюгів, ланками яких є відповідні відстані, розміри або координати положення поверхонь корпусних деталей. На приєднувальні розміри корпусних деталей (наприклад, на відстань від вісі отвору вхідного або вихідного вала до основної настановної бази корпуса редуктора) відхилення, що допускаються, призначаються з умов монтажу вузлів або машин, що з'єднуються.

7.2.3. Матеріал корпусних деталей машин

Більшість корпусних деталей виготовляють із сірого чавуну та вуглецевої сталі; застосовують також ковкий чавун, леговані сталі, кольорові сплави тощо. Основний вплив на вибір марки матеріалу мають умови роботи корпусної деталі, обумовлені службовим призначенням машини.

Сірий чавун, широко використовуваний для виготовлення корпусних деталей, є гарним конструктивним матеріалом, досить дешевим з гарними технологічними властивостями (рідкотичність, оброблюваність, перетворення структур при різних режимах термічної обробки тощо). Механічні, фізичні, технологічні та інші властивості чавуну можна змінювати в досить широких межах, що значно розширює область використання цього матеріалу.

Із сірого чавуну марок СЧ 15, СЧ 18, СЧ 40 тощо виготовляють корпусні деталі металорізальних верстатів, що не мають поверхонь, які систематично працюють на знос, а також корпусні деталі сільськогосподарських машин, корпуси відцентрових насосів, корпуси різних стаціонарних редукторів і багато інших корпусних деталей.

Відповідальні деталі автомобільних і тракторних двигунів (блоки циліндрів, головки), що повинні мати підвищену міцність, виготовляють із сірого чавуну марок СЧ 21 і СЧ 24.

Для зварних корпусних деталей застосовують у більшості випадків маловуглецеві сталі (листовий прокат марок сталей Ст. 3, Ст. 4).

Корпуси відцентрових багатоступінчастих насосів, які працюють з високими тисками рідини виготовляють зі сталевого лиття чи застосовують високоміцний чавун.

Корпуси парових турбін, що працюють при тисках до 2 МПа та температурах до 250 °С виготовляють із сірого чавуну марки СЧ 21 і модифікованого чавуну марки СЧ 28, що представляє собою перлітний чавун.

Корпуси парових турбін, що працюють при температурах 250–400 °С, виготовляють з вуглецевої сталі марки 30 Л. Для парових турбін, що працюють при температурах 400–500 °С, застосовують молібденові та хромомолібденові сталі. При більш високих температурах корпуси виготовляють зі сталей із присадкою ванадію і титана.

Корпусні деталі, що працюють в умовах вібрації або піддаються значним згинаючим і крутним моментам і ударним навантаженням, виготовляють із ковкого чавуну або зі сталей. Наприклад, корпус редуктора заднього моста самохідного комбайна виконують з ковкого чавуну, тому що при пересуванні комбайна по полю він, через нерівності верхнього шару ґрунту, піддається впливу згинаючих і крутних моментів і вібрацій.

Такі деталі, як корпуси заднього моста, диференціала, рульової системи автомобілів і тракторів, що піддаються складним перемінним динамічним навантаженням, також виготовляють з ковкого чавуну.

Корпусні деталі, що працюють в агресивних середовищах, виготовляють з матеріалів, що володіють підвищеним опором корозії. Наприклад, корпуси різних насосів, що перекачують різні агресивні розчини, кислоти і інше виконують з ферросиліда (сплав, що містить до 15 % Si), нержавіючих сталей (хромистих, хромонікелевої Х18Н10Т) тощо. Корпуси насосів, що перекачують морську воду, виготовляють із бронзи і латуні.

Останнім часом усе більше застосування для виготовлення корпусних деталей машин одержують алюмінієві сплави з використанням методів лиття під тиском і в кокіль.

Хімічний склад, механічні властивості, методи приймання і випробування різних матеріалів регламентуються відповідними стандартами.

7.2.4. Способи одержання заготовок корпусних деталей машин.

Заготовки корпусних деталей виготовляють литтям або зварюванням.

Литі заготовки одержують литтям у формувальну суміш, у кокіль, в оболонкові форми, під тиском. Зварені заготовки одержують різанням або штампуванням окремих елементів з листового або профільного прокату з наступним зварюванням.

Лиття у формувальну суміш є самим розповсюдженим способом одержання заготовок корпусних деталей внаслідок його універсальності і щодо незначних первісних витрат.

Вибір того чи іншого методу формування залежить від конструктивних форм і розмірів виливка, необхідної точності та серійності виробництва.

Ручне формування застосовується для одержання різних виливків в індивідуальному і серійному виробництві та при виготовленні великих деталей.

Формування в ґрунті застосовується переважно в індивідуальному виробництві для одержання виливків середніх і великих розмірів, а формування в опоках використовуються у всіх випадках, коли є необхідні парні опоки.

Машинне формування за металевими моделями застосовується для одержання дрібних і середніх виливків у серійному і масовому виробництвах.

Перевагами машинного формування є більша, ніж при ручному формуванні, продуктивність, точність, однорідність та краща якість виливків. Продуктивність машинного формування характеризується одержанням від 30 до 360 форм у зміну, залежно від складності виливків. Точність розмірів виливків при формуванні за металевими моделями відповідає приблизно 13–14 квалітету.

Збирання форм із сухих стрижнів застосовується для одержання відповідальних виливків з підвищеною точністю розмірів і чистих поверхонь, різних за розмірами і вагою, що мають складну конфігурацію зовнішніх і внутрішніх поверхонь, форми для яких не можуть бути отримані за допомогою звичайних моделей.

Лиття в кокіль або у металеві форми застосовується в серійному і масовому виробництвах для заготовок з кольорових сплавів, чавуну і сталі. Литтям у кокіль виготовляють заготовки розмірами до 1,5 м. та вагою до 85 кг.

Лиття в металеві форми, у порівнянні з литтям у формувальну суміш, дає можливість значно підвищити продуктивність праці та поліпшити використання виробничих площ. Точність розмірів виливків може бути

витримана у межах ($\pm 0,12$)...($\pm 1,0$) мм для розмірів виливків 20...1000 мм. Чистота поверхонь виливків відповідає Rz 40...20 за ГОСТ 2789-73. Припуски для тих же розмірів виливків коливаються у межах 0,2-3,5 мм. Лиття в металеві форми є прогресивним способом одержання заготовок. Для здійснення процесу лиття в металеві форми конструкції заготовок, що відливаються, повинні відповідати наступним основним вимогам:

1. Товщина стінки вилівка повинна бути достатньою, щоб форма цілком заповнювалася розплавленим металом при нормальному технологічному режимі; мінімальна товщина стінок для дрібних виливків 3 мм, а для великих 20 мм.

2. Виливки не повинні мати великої кількості виступаючих зовнішніх частин і поглиблень, що утруднюють видалення вилівка з форми; не повинне бути різких переходів від товстої стінки до тонкої, гострих внутрішніх кутів і великих місцевих скупчень металу.

3. Конструкція вилівка повинна забезпечити мінімальні кількості прямолінійних розмірів форми і піщаних стрижнів.

Лиття під тиском застосовується для одержання заготовок корпусних деталей з кольорових сплавів (цинкових, магнієвих, алюмінієвих, мідних). Литтям під тиском можуть бути отримані заготовки складної форми, фасонні, тонкостінні з отворами різних розмірів, внутрішніми і зовнішніми різьбленнями. Заготовки, отримані литтям під тиском, володіють високими механічними властивостями і мають прекрасний зовнішній вигляд.

При литті під тиском широко використовують армування виливків різними вставками з матеріалів, що володіють властивостями, відмінними від властивостей основного матеріалу вилівка.

У деяких випадках для одержання невеликих тонкостінних виливків заготовок корпусних деталей застосовується лиття в оболонкові форми. Цим способом одержують виливки заготовок з різних матеріалів розмірами до 500 × 700 мм і вагою до 30 кг. Точність розмірів приблизно відповідає 10-12 квалітетам залежно від розташування розміру у формі. Чистота поверхонь відповідає Rz 40...20. Припуски можуть бути в межах 0,25...0,5 мм.

В умовах одиничного виробництва застосовують зварені заготовки. Усі заготовки повинні піддаватися термічній обробці. Вид термічної обробки і режими призначають залежно від матеріалу вилівка, її призначення, конструктивної форми і технічних вимог.

Виливки із сірого чавуну, як правило, піддають низькотемпературному відпалу для зняття внутрішніх напружень, підвищення в'язкості, запобігання покороблення та утворення тріщин при механічній обробці та експлуатації.

Для правильного вибору способу одержання заготовки потрібно розглядати комплексно процес одержання заготовки і процес подальшої її механічної обробки. При цьому потрібно враховувати, наприклад, для звареної заготовки витрати на виготовлення елементів звареної заготовки і собівартість зварювального пристосування, а також витрати на зварювання і механічну обробку звареної заготовки. При порівнянні варіантів технологічного процесу критерієм повинні бути не витрати на виготовлення заготовки на механічну обробку, а витрати на виготовлення деталі.

Зміст і побудова технологічного процесу механічної обробки корпусної деталі залежить в основному від конструктивної форми, розмірів та ваги деталі, виду заготовки, технічних вимог і масштабу випуску. Послідовність обробки поверхонь визначається в основному вибором баз і схемою розмірних зв'язків різних поверхонь деталі.

Незважаючи на велику розмаїтість конструктивних форм корпусних деталей, механічна обробка їх має багато загального. Технологічний маршрут виготовлення корпусної деталі включає:

- 1) чорнову і чистову обробку площин (чи площини і отворів), що надалі будуть використані як технологічні бази;
- 2) обробку інших зовнішніх площин;
- 3) чорнову і чистову (чи напівчистову) обробку основних отворів;
- 4) обробку другорядних отворів і інших поверхонь;
- 5) оздоблювальну обробку площин – основних баз і основних отворів.

Така принципова побудова процесу може видозмінюватися в залежності від конкретних умов (характеру деталі, її службового призначення і вимог точності). Наприклад, при обробці корпусу, що має площину рознімання, процес буде будуватися у такий спосіб:

- 1) обробка площини рознімання корпусу;
- 2) обробка основної базової площини (або декількох площин) корпусу;
- 3) обробка площини рознімання в кришки;
- 4) свердління і нарізування різьблення в кріпильних отворах по площині рознімання корпусу і кришки;

- 5) свердління отворів під штифти;
- 6) з'єднання корпусу і кришки з дотриманням правильного їх відносного положення з наступною фіксацією контрольними штифтами;
- 7) спільна обробка основних отворів тощо.

7.2.6. Базування корпусних деталей машин

При виборі поверхонь, які будуть служити базовими при обробці деталей бажано сполучити технологічні і вимірювальні бази з основними базами деталі, здійснюючи принцип єдності баз. Коли це вдається, створюються сприятливі умови для досягнення необхідної точності при мінімальних витратах живої та упредметненої праці. Однак внаслідок великої розмаїтості корпусних деталей не завжди вдається здійснити ці тенденції і приходиться допускати зміну баз і розбіжність технологічних і основних баз у процесі обробки, що приводить до зниження точності обробки. При виборі базових поверхонь, у кожному конкретному випадку проектування технологічного процесу виготовлення корпусної деталі необхідно враховувати її конструктивні особливості (конфігурацію, розміри, вагу, твердість, характер оброблюваних поверхонь, точність їх відносного розташування тощо). У більшості випадків можна намітити кілька різних варіантів базування деталі на основних операціях технологічного процесу.

У цих випадках необхідно проаналізувати кожен варіант із погляду придатності його для досягнення необхідної точності по основних параметрах. У машинобудуванні широко використовуються базування по трьох взаємно перпендикулярних площинах (рис. 7.4) і базування по площині і двох отворах (рис. 7.5), що звичайно дають можливість здійснити принцип єдності баз та залишити деталь шести степеней вільності.

Як установочні базові елементи використовують установочні пластини (рис. 7.2), установочні пальці з плоскою поверхнею, сферичною, рифленою чи ін. (рис. 7.3).

Перевагами способу базування по площині і двох пальцях є його простота і надійність. Застосовувані при цьому пристосування для установки деталей є не складними. Звичайно вони являють собою плиту з двома штирями, – циліндричним і зрізаним. Обробка при цьому способі базування забезпечує високу точність відносного положення оброблюваних поверхонь.

Наприклад, при обробці корпусу коробки передач чи блоку циліндрів автомобільного двигуна в масовому виробництві, похибка на міжцен-

трові відстані отворів виявляється у межах $\pm 0,035$, а на відстань від осей отворів до базової площини у межах $\pm 0,05$ мм [8].

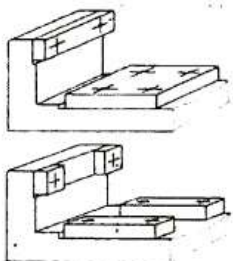


Рис. 7.2 – Установочні пластини

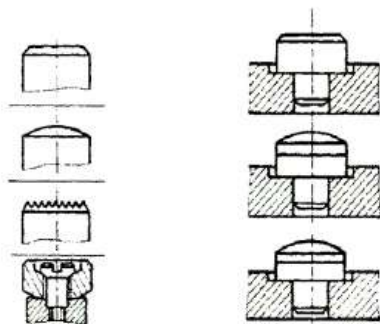


Рис. 7.3 – Установочні пальці

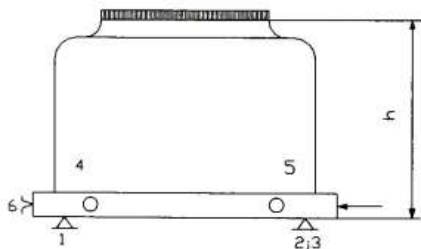


Рис. 7.4 – Базування за трьома взаємноперпендикулярними площинами

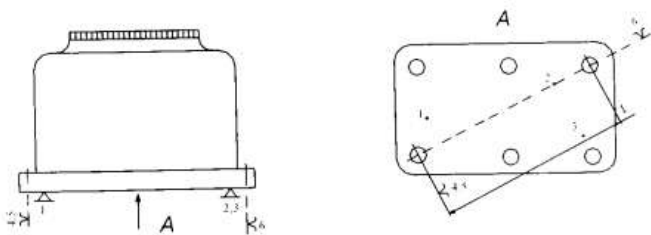


Рис. 7.5 – Базування по площині та двох отворах

Недоліком цього способу базування є швидкий знос установочних пальців, що в крупносерійному і масовому виробництві викликає необхідність періодичного контролю їх розмірів та у випадку потреби їх заміну. З метою збільшення терміну служби установочних пальців на Херсонському заводі карданних валів запропонували конструкцію пальців, у яких на бічній поверхні виконували 3–5 повздовжніх канавок (типу шпонкових, рис. 7.6), у які впаювалися титанові пластинки і шліфувалися до необхідного діаметру. Термін служби таких пальців збільшувався в кілька разів.

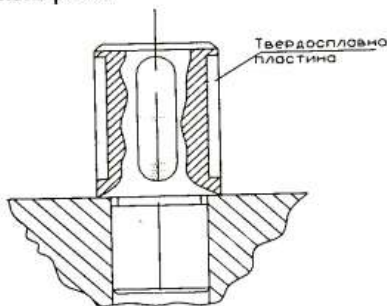


Рис. 7.6 – Установочний палець з титановими пластинками

Велике значення має вибір баз на першій операції. При їх виборі потрібно забезпечити рівномірний розподіл припусків на оброблюваних поверхнях і точність відносного положення оброблюваних поверхонь до тих, що не будуть оброблятися. У зв'язку з цим доцільно, як бази на першій операції брати поверхні, що не будуть оброблятися, чим і буде забезпечуватися необхідна точність відносного положення

оброблюваних і необроблюваних поверхонь. Якщо за бази приходиться брати поверхні, що підлягають обробці, то потрібно брати такі поверхні, які мають мінімальні припуски на обробку, або такі, до яких пред'являються найбільш високі вимоги точності. Тоді на наступних операціях, де будуть оброблятися взяті за базу на першій операції поверхні, припуски будуть розподілятися рівномірно та легше буде забезпечити необхідну точність поверхні, що обробляється.

При обробці корпусних деталей, у яких поверхні основних баз зношуються у процесі експлуатації (каретки, салазки, столи, повзуни та інші деталі металорізальних верстатів), їх доцільно брати як технологічні бази на першій операції. При цьому, на наступній операції, де будуть оброблятися основні бази, буде забезпечено рівномірний припуск і, отже, рівномірна підвищена твердість по всій довжині основних баз.

При обробці деталей, що мають дуже точні розміри основних отворів, за базу на першій операції доцільно взяти поверхню такого отвору і обробити основну базу деталі, витримуючи відстань від вісі отвору до базової площини. Звичайно це виконують за допомогою розтискної оправки, що центрується в отворі. Деталь із закріпленою в отворі оправкою встановлюють у пристосуванні. При цьому деталь на оправці позбавляється чотирьох ступеней вільності; залишаються два ступені вільності – поворот деталі відносно вісі оправки і переміщення уздовж вісі. Для повного базування можна використовувати інший основний отвір (якщо він є) або одну із зовнішніх поверхонь і торцеву площину. При цьому, коли будемо обробляти основний отвір при базуванні деталі по основних базах, в отворі буде забезпечений рівномірний припуск, що створює сприятливі умови досягнення необхідної точності обробки та рівномірних фізико-механічних властивостей поверхневого шару. Якщо деталь має кілька основних отворів, то для базування на першій операції можна взяти найбільш відповідальний отвір або отвір, що має найбільший діаметр.

7.2.7. Розмітка корпусних деталей машин

В умовах одиничного і дрібносерійного виробництва, а також при обробці великогабаритних та важких заготовок, процес механічної обробки корпусних деталей починається з розмітки. Розмітка є однією з найбільш відповідальних операцій. При розмітці вирішуються ті самі задачі, що у крупносерійному виробництві при виборі баз і побудові

першої операції. При застосуванні розмітки можна використовувати заготовки, що мають деякі дефекти. Перед розміткою заготовки перевіряють, покривають вапняним розчином або фарбою ті поверхні, на яких буде наноситися розмітка. Заготовки складної просторової форми можуть бути перевірені тільки при розмітці, після установки і вивірки їх на розміточній плиті.

Розмітку виконують у послідовності:

- 1) наносять центрові риси осей головних отворів;
- 2) від них наносять всі інші горизонтальні риси, що визначають контури деталі і відносні положення осей отворів;
- 3) наносять усі вертикальні риси, що визначають контури деталі і відносні положення осей отворів;

4) наносять усі похилі риси та кола отворів.

При нанесенні центрових рисок керуються наступними міркуваннями:

1) якщо обробляються не всі поверхні деталі, то за вихідні потрібно приймати поверхні, що залишаються необробленими;

2) якщо в деталі є стінки, товщину яких потрібно витримати, то розмітку починають з урахуванням цієї умови;

3) якщо зовнішні та внутрішні поверхні залишаються необробленими, то за вихідні приймають зовнішні поверхні;

4) якщо в заготовці є перекося, зсуви поверхонь чи інші дефекти, то центрові риси наносять з урахуванням цих недоліків, щоб можна було "викроїти" деталь із заготовки і виправити недоліки під час обробки;

5) якщо хоча би одна з поверхонь деталі оброблена начисто, (що буває при повторних розмітках), потрібно подальшу розмітку вести, приймаючи її як вихідну;

6) при розмітці всі розміри потрібно витримувати від однієї поверхні (принцип єдності баз); практично це здійснюється тому, що прийнявши за вихідну якусь поверхню, наносять основну центрову риску, а від неї уже відкладають всі інші розміри.

Установка корпусу по розмітці на верстаті, наприклад для обробки площини рознімання, виконується по рисках за допомогою рейсмаса. Установка деталі по розмітці на розточувальному верстаті виконується по осьових рисках і контуру отвору за допомогою чертилки, закріпленої в державці, що встановлена в шпindelь верстата. При обертанні шпінделя вістря чертилки повинне описувати коло, що збігається з розміченим контуром отвору.

7.2.8. Методи обробки зовнішніх поверхонь корпусних деталей машин

Найбільше поширення при обробці площин корпусних деталей одержав метод фрезерування. Залежно від характеру і розташування оброблюваних поверхонь застосовують наступні верстати: консольно-фрезерні, повздожно-фрезерні, з кількістю шпинделів 1–8 і більше, карусельно-фрезерні, барабанно-фрезерні тощо.

При виборі верстата для даної операції варто виходити з того, щоб на ньому можна було обробити всі зовнішні площини деталі при мінімальній кількості переустановок. При цьому легше забезпечити точність відносного положення оброблюваних поверхонь при високій продуктивності праці.

Для обробки площин невеликих деталей в одиничному і серійному виробництві можуть бути використані консольно-фрезерні верстати з поворотними столами, при цьому за одну установку можна обробити чотири площини деталі. Багато деталей типу кронштейнів, косинців, стійок можна обробляти на консольно-фрезерних верстатах. Обробка з використанням двухпозиційних поворотних пристосувань дає можливість скоротити допоміжний час.

При обробці на повздожно-фрезерних верстатах застосовується групова обробка деталей і одночасна обробка декількома інструментами. При цьому можливі наступні варіанти.

1. Установка деталей в один ряд (рис. 7.7, а).

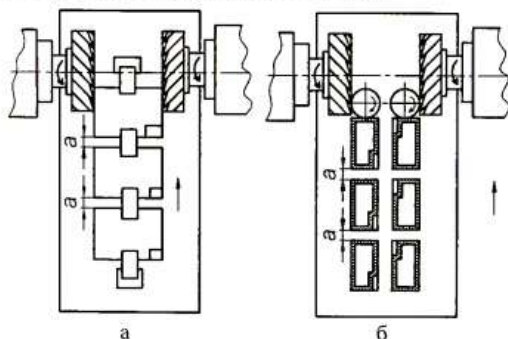


Рис. 7.7 – Групова установка деталей на повздожно-фрезерному верстаті: а – установка в один ряд; б – установка в два ряди

У даному випадку здійснюється послідовна обробка деталей одного найменування, при цьому перекриваються шляхи на врізання і вихід інструменту. Якщо проміжок між деталями менший ніж довжина шляху врізання інструменту, то одержимо скорочення машинного часу в порівнянні з обробкою цих деталей поштучно. Крім того, буде деяке скорочення допоміжного часу внаслідок економії часу на вмикання і вимикання верстата, підведення і відвід столу, виклик крана тощо. Час на установку деталей залишається таким же, як і при обробці деталей по одній штуці, за винятком випадків застосування групового пристосування з індивідуальним затиском кожної деталі. В останньому випадку установка виконується в процесі обробки раніше встановленої деталі.

2. Установка деталей у два ряди має ті ж переваги, а продуктивність роботи підвищується (рис. 7.7, б).

Остаточну обробку площин чавунних корпусних деталей часто виконують на плоскошліфувальних верстатах шліфуванням периферією круга, торцем чашкового круга і торцем збірного сегментного круга. Плоскошліфувальні верстати мають прямокутний чи круглий стіл, причому верстати з круглим столом більш продуктивні. На них, у випадку малих припусків, можна здійснювати безупинне шліфування. Плоске шліфування може бути як чернове, так і чистове. Плоске шліфування не чуттєве до ливарних кірок. Литі заготовки можна шліфувати без попередньої обробки та одержувати необхідну точність і чистоту поверхні. Виконання плоского шліфування з охолодженням зменшує деформації деталі внаслідок нагрівання і поліпшує умови роботи шліфувального круга.

Переваги плоского шліфування особливо відчутні при обробці переривчастих поверхонь, що мають складний контур. Фрезерування і стругання таких поверхонь виконується на знижених режимах, тому що зуб фрези або різець перетинають кілька разів ливарну кірку, що знижує стійкість інструмента.

У масовому виробництві широке поширення одержало протягування зовнішніх площин. Протягування, будучи самим продуктивним способом обробки, виконується на спеціальних потужних і швидкохідних протяжних верстатах, на яких обробка ведеться протяжками з зубами із твердих сплавів зі швидкістю різання, що досягає 60 м/хв (для деталей з чавуна). Протяжні верстати горизонтального і вертикального типів однопозиційні та багатопозиційні, вбудовуються і в автоматичні лінії.

Перевагами протягування, у порівнянні з фрезеруванням, є: 1) висока продуктивність, 2) висока точність, внаслідок простоти схеми обробки і раціонального розподілу припуску між різними ділянками протягування. 3) висока стійкість інструменту – частина, що калібрує, знімає незначний припуск і добре зберігає свою форму і розміри.

Недоліками протягування є: 1) висока собівартість інструменту – протяжок. 2) великі сили, що виникають при протягуванні, що не дозволяють обробляти деталі малої жорсткості.

Зовнішнє протягування можна застосовувати для чорнової та чистої обробки, а також для зачищення і калібрування, особливо комплексу поверхонь, високу точність відносного положення яких потрібно забезпечити. Характерним прикладом обробки є протягування зовнішніх площин і поверхонь блоку циліндрів автомобільного двигуна.

7.2.9. Методи обробки основних отворів корпусних деталей машин

Обробка основних отворів являє собою найбільш відповідальну і трудомістку частину технологічного процесу виготовлення корпусних деталей. Обробка отворів поділяється на чорнову, чистову та оздоблювальну.

При чорновій обробці отворів необхідно видалити основну кількість металу припуску, забезпечити точність відносного положення вісі отвору і рівномірний припуск для точної чистої обробки. У зв'язку з цим для чорнової обробки потрібно використовувати високопродуктивний інструмент і устаткування, що володіє високою жорсткістю та погужністю.

Чистова обробка повинна забезпечити точність розмірів, геометричної форми та відносного положення оброблюваного отвору; особливо важливо забезпечити точність положення і прямолінійність вісі отвору. Для чистої обробки потрібне точне та жорстке устаткування, різальний інструмент, що володіє високою стійкістю і забезпечує високу точність і чистоту поверхні.

У деяких випадках, з метою поступового наближення до необхідної точності по всіх параметрах, між чорною і чистою обробками отвору виконується напівчистова обробка різцями, зенкерами або чорновими розвіртками.

Оздоблювальна обробка застосовується у випадку потреби у підвищенні точності та чистоти оброблюваної поверхні.

Для обробки отворів застосовують наступні види інструментів: свердла, різці, зенкери, розвіртки, розточувальні головки, розточувальні пластини тощо. Оздоблювальна обробка отворів здійснюється також пластичним деформуванням за допомогою кулькових і роликів розточувань.

Свердла застосовують як попередній інструмент для свердління отворів у суцільному металі. Отвори великих діаметрів (30 мм і більше) свердлять у два або три переходи. Спочатку свердлять свердлами діаметром 10...15 мм, а потім більшими, що забезпечує зменшення осьових сил різання за рахунок виключення із процесу різання перемички свердла, яка розміщена на вершині свердла перпендикулярно вісі свердла і для великих свердла має довжину 3–5 мм. Точність свердління по кондуктору відповідає 10...11 квалітету точності.

Отвори, отримані у виливку одиничного і дрібносерійного виробництва, розточують різцям, при цьому досягається задане положення вісі отвору, точність розміру і форми, обробка різцями виправляє відхилення вісі отвору тощо. Різцями досягається точність отвору за 8-м квалітетом точності.

Різці є простими універсальними інструментами. Їх переваги особлив опомітні при обробці отворів нестандартних розмірів і отворів великого діаметру, для яких відсутні мірні інструменти.

Зенкери застосовують для чорнового розточування литих отворів, для напівчистового розточування отворів після свердління, чорнового зенкерування чи обробки різцем. Для отворів, точність яких не перевищує 8-го квалітету, зенкери можна застосовувати для остаточної обробки.

Насадні зенкери діаметром 60–175 мм зі вставними рифленими ножами з пластинками із твердих сплавів, при роботі з литого отвору дають точність 10-го квалітету, а на другому переході точність 9-го квалітету. Вони виправляють, але не усувають цілком скривлення вісі отвору.

Припуски, що знімаються зенкерами за один прохід, сягають 6 мм на діаметр. Чистота поверхні після зенкера може бути отримана за $Ra\ 6,3...3,2$.

Розточувальні головки, які оснащені твердосплавними пластинками (рис. 7.8), призначені для чорнової обробки литих отворів у корпусних

деталях. Головки діаметрами до 100 мм мають чотири ножі, а головки діаметрами від 100 до 245 мм мають вісім ножів (чотири з них розташовані на торці, а чотири на периферії). Розточувальні головки можуть зніматися на підвищених режимах великий нерівномірний припуск у литих отворах. Одночасна робота восьми ножів створює сталу роботу, без вібрацій. Режими роботи: $V = 15 \dots 25$ м/хв.; $S = 0,4 \dots 1 \dots 1,5$ мм/об. Такі розточувальні головки є самим продуктивним інструментом у порівнянні зі всіма іншими розточувальними інструментами.

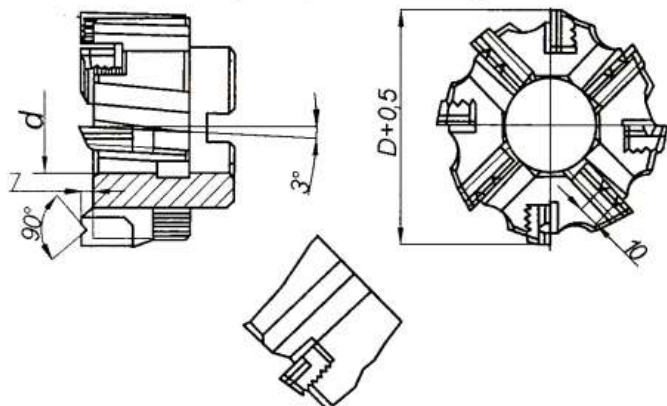


Рис. 7.8 – Розточувальна головка діаметром 100–245 мм

Основним методом чистової обробки отворів 6-го, 7-го та 8-го квалітетів точності діаметрами до 400 мм є розвертання.

Припуски під чорнове розвертання, для звичайних умов роботи, сягають 1 мм на діаметр; під чистові розвертання припуски коливаються у межах 0,02–0,3 мм.

Останнім часом застосовують розвіртки з твёрдосплавними пластинками, що підвищують стійкість розвірток приблизно у 10 разів порівняно з швидкорізальними. Окружний крок зубів таких розвірток виконується нерівномірним для зменшення вібрацій при підвищених режимах різання та хвилястості поверхні.

Для одержання отворів 8-го квалітету точності застосовують однократне розвертання; для одержання отворів 6-го квалітету точності – дворазове; під остаточне розвертання залишають припуск 0,05 мм і менше. При обробці отворів розвіртками можна одержати 5-й квалітет

точності при дотриманні наступних умов: леза розвірок доведені, розвертання здійснюється вручну (тому що при цьому важлива чутливість процесу роботи), застосовується мастильно-охолоджуюча рідина (гас – для деталей з чавуну чи машинна олія з гасом – для деталей зі сталі). Чистота оброблених поверхонь у чавунних деталях досягається за Ra 1,6. При розвертанні розвіртками з доведеними лезами отворів у деталях із твердого чавуну з застосуванням гасу, можна одержати чистоту Ra 0,8.

Максимальні швидкості різання рекомендуються в [2; 21; 25] – тільки для менших діаметрів розвірок (до 100 мм). Для розвірок діаметром 150 мм і більше варто застосовувати меншу з зазначених швидкостей і найбільшу подачу. Стійкість розвірок при цьому буде не менше 300–500 отворів у чавунних деталях і 80–100 отворів у сталевих деталях (при отворах діаметром і довжиною порядку 100 мм).

Конструктивні особливості розвірок такі, що вони в процесі роботи сприймають великі радіальні і незначні осьові навантаження. Внаслідок цього розвіртки не забезпечують точності напрямку вісі отвору, а прагнуть самі установитися за отвором з напрямком вісі отриманим на попередніх переходах.

Для досягнення необхідної якості деталі необхідно перед розвертанням забезпечити точність напрямку вісі отвору. Це досягається розточуванням різцем або іншими інструментами (різцевою чи розточувальною головкою, зенкером, розточувальним блоком тощо) із примусовим центруванням і надійним напрямком. Закріплення розвірок повинне бути таким, щоб вона під час роботи могла вільно встановлюватися за отвором чи мала надійний напрямок. Це забезпечується застосуванням спеціальних патронів, що плавають, і оправок що дають можливість розвіртці переміщуватися в радіальних напрямках без перекосу, або застосуванням направляючих втулок пристосування

Недоліком розвірок є те, що при розвертанні точних отворів з горизонтально розташованою віссю, внаслідок підвищеного тиску на різальні кромки, викликаного вагою розвіртки і нежорсткої оправки, виникає овальність отвору. Тому при розвертанні доцільне переважно вертикальне розташування вісі оброблюваного отвору.

При розвертанні виділяється велика кількість тепла, що приводить до нагрівання деталі та внаслідок цього до зміни геометричної форми поверхні, наприклад, конусності оброблюваного отвору. Тому точність

розмірів отвору буде вище при розвертанні на великих подачах з рясним охолодженням.

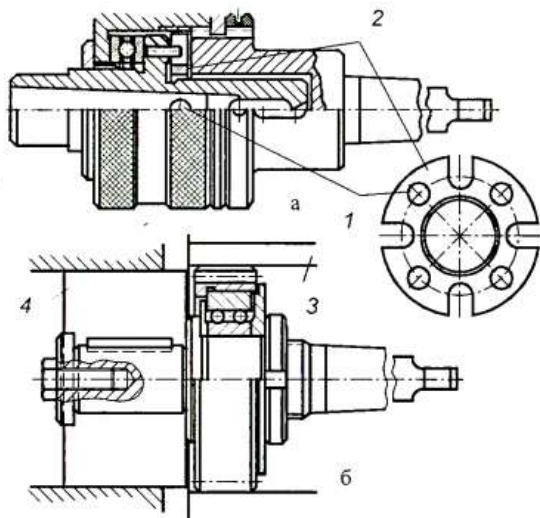


Рис. 7.9 – Допоміжний інструмент для закріплення розвірток:
1 – кулька; 2 – повідець; 3 – направляюча втулка; 4 – розвіртка

Розвернення звичайно не застосовують для обробки великих отворів, коротких, глухих і з переривчастими поверхнями.

У серійному та масовому виробництві широко застосовують розточувальні блоки і пластини, що плавають, для обробки отворів діаметром 50...600 мм.

Блоки, що плавають, і пластини за своїм призначенням і характеру роботи аналогічні розвірткам та можуть їх замінити.

Розточування пластинами, що плавають, чи блоками забезпечує 6-ий квалітет точності і чистоту поверхні за $Ra\ 2...1,25$.

Розточування консольними оправками виконується при загальному вильоті інструменту (довжина оправки від торця шпинделя і довжина виступаючої частини шпинделя), рівному $(5-6)d$, де d – діаметр оправки.

При розточуванні консольним оправками з подачею шпинделем виліт інструмента безупинно збільшується, а жорсткість оправки

зменшується (рис. 7.10) і, отже, збільшується пружне переміщення (прогин) інструмента; крім того, при великих вильотах починає відбуватися "провисання" інструмента і шпинделя під своєю вагою.

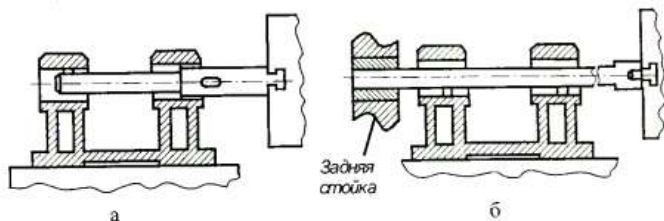


Рис. 7.10 – Схеми основних способів розточування на горизонтально-розточувальних верстатах

Усе це приводить до появи похибок форми і розміру отвору, що розточується. Тому цей спосіб варто застосовувати при розточуванні коротких отворів, використанні жорстких оправок і незначному загальному вильоті інструмента.

Розточування консольним оправками з подачею, здійснюваною столом, виконують при незмінному вильоті інструмента, тоді похибки розточування будуть значно менші. Вони можуть виникнути внаслідок непрямолінійності руху столу за напрямними станини, що приведе до зміни напрямку вісі отвору.

Розточування корпусних деталей можна виконувати в одній позиції, якщо деталь має відповідальні отвори, розташовані в одній зовнішній стінці, чи коли співвісні отвори знаходяться в близько розташованих протилежних стінках і мають діаметри, що зменшуються за ходом інструмента. У цьому випадку може бути отримана найбільш висока точність напрямку осей отворів (співвісність, паралельність, розташування щодо основних баз). В інших випадках розточування співвісних отворів можна виконувати в двох позиціях при одній установці деталі, з поворотом столу на 180°, при цьому, після повороту, для забезпечення співвісності отворів, перед розточуванням отвору потрібно знаходити положення вісі шпинделя, співвісне з раніше розточеним отвором.

При розточуванні корпусних деталей з двох установок виникають похибки установки, у результаті чого значно збільшується допоміжний час і погіршується точність обробки. Спосіб цей застосовується тільки

при обробці великих деталей, які установлюють безпосередньо на плиті верстака з рухомою колоною.

Для зменшення похибок від пружних деформацій при розточуванні варто застосовувати різці з кутом у плані $\phi = 90^\circ$. При великій довжині оброблюваного отвору, коли виліт інструмента більше $5d$ (де d – діаметр отвору) розточування під zenкерування необхідно робити за два проходи, залишаючи на другий прохід малий припуск для виправлення непрямолінійності вісі отвору.

Розточування борштангами з використанням опори задньої стійки (рис. 7.10. б) застосовують при обробці великих важких деталей, що мають отвори у протилежних стінках, чи при обробці отворів, що мають довжину, що значно перевищує їхній діаметр. У цьому випадку опора задньої стійки і шпindel повинні бути співвісні. Після установки деталі в оброблювані отвори вводять борштангу, вона встановлюється в опорі задньої стійки та з'єднується зі шпindelом. Після цього вивіряють правильність відносного положення борштанги у вертикальній і горизонтальній площинах, встановлюють інструменти та виконують розточування.

Цей спосіб обробки в порівнянні з консольним розточуванням має деякі труднощі у частині введення борштанги в отвори, незручності виміру оброблюваних отворів, необхідності точного сполучення вісі шпинделя і втулки в люнеті задньої стійки.

Усе це приводить до значного збільшення допоміжного і машинного часу.

При розточуванні борштангою точність геометричної форми отворів і розмірів в основному залежить від точності борштанги та втулки задньої стійки, що по своїх параметрах менш точний, ніж шпindel.

Цей спосіб обробки малопродуктивний і неекономічний, тому що собівартість борштанг значно вище собівартості консольних оправок.

У серійному виробництві широко використовують розточування в спеціальних пристосуваннях – кондукторах. Кондуктори можуть мати однобічні передні чи задні направляючі для інструменту або оправки, а також передню і задню направляючу по одній вісі або подвійну передню направляючу (рис. 7.11).

У першому випадку направляючий елемент пристосування не забезпечує (при звичайному співвідношенні розмірів) досить надійного напрямку інструмента і тому інструмент або оправка повинні з'єдну-

ватися зі шпинделем жорстко. При цьому необхідно забезпечити точне відносне положення направляючого елемента і шпинделя за допомогою центрошукача.

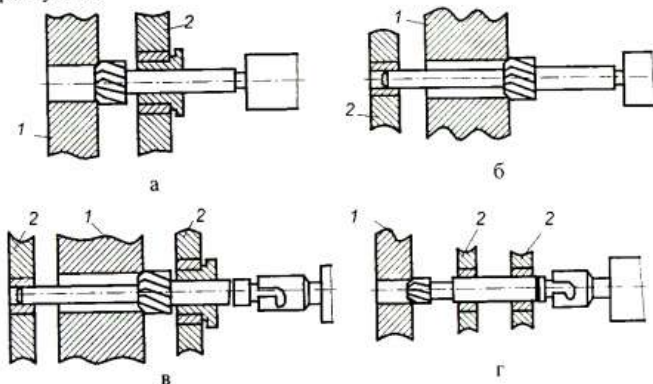


Рис. 7.11 – Принципові схеми направляючих елементів розточувальних кондукторів: а – передня направляюча, б – задня направляюча; в – передня і задня направляючі; г – подвійні передні направляючі; 1 – оброблювана деталь; 2 – кондуктор

7.2.10. Методи оздоблюваної обробки основних отворів корпусних деталей машин

Оздоблювальними операціями обробки основних отворів є тонке розточування, планетарне шліфування, хонінгування, розкочування роликками.

Тонке (алмазне) розточування застосовується для одержання високої точності розмірів, геометричної форми, напрямку і прямолінійності вісі отвору. Характерним для тонкого розточування є робота з високими швидкостями і малими подачами та глибинами різання. Швидкості різання при обробці деталей з чавуну звичайно приймають у межах 100...200 м/хв, зі сталі – 120...250 м/хв, з кольорових сплавів – до 800 м/хв. Подачі при обробці деталей з чавуну 0,03...0,15 мм/об, зі сталі – 0,02...0,12 мм/об, з кольорових сплавів – 0,02...0,10 мм/об. Глибини різання відповідно 0,1...0,35 мм; 0,1...0,3 мм; 0,05...0,4 мм. Охолодження, як правило, не застосовується.

Верстати для тонкого розточування – одношпиндельні і багатошпиндельні, вертикальні та горизонтальні – мають високу жорсткість і вібростійкість, а багатошпиндельні верстати, як правило, спеціальні. Вертикальні верстати вітчизняного виробництва допускають обробку отворів діаметром 50...200 мм і довжиною 75...200 мм. Число обертів шпинделів цих верстатів знаходиться в межах 2000...5000 об/хв. Горизонтальні верстати однобічні і двосторонні застосовуються для обробки отворів менших розмірів.

Різальними інструментами є однолезові різці з пластинками з твердих сплавів. Для розточування деталей з кольорових сплавів застосовують також алмазні різці. При обробці сталей і чавунів алмазні різці не застосовуються в зв'язку з тим, що при точінні сталей може виникати температура в зоні різання 1000 і більше градусів, а алмази при температурі 850...900 °С згоряють, перетворюючись в графіт. У заготовках з чавуну в процесі лиття утворюються раковини, потрапляючи в які різальний інструмент сприймає ударні навантаження і може крошиться. Різці закріплюють у консольних, жорстких, сталевих оправках. Відношення довжини до діаметра таких оправок звичайно не перевищує 7. Якщо жорсткість розточувальних оправок обмежується розмірами отворів, то оправки виконують із твердих сплавів, що підвищує їх жорсткість у 2–3 рази в порівнянні зі сталевими. Крім того, більша питома вага твердого сплаву підвищує вібростійкість і, отже, стійкість інструмента. Застосовують також спеціальні оправки з віброгасінням.

Однолезове розточування на високих швидкостях, при малих подачах і глибинах, обумовлює поява незначних сил, що при великій жорсткості системи забезпечує високу точність обробки. При вертикальному розташуванні шпинделів відсутні прогини під дією власної ваги і створюються сприятливі умови для відводу стружки і зменшення впливу температурних деформацій.

За діаметральними розмірами при тонкому розточуванні одержують 6–5-й квалітети точності, похибки форми (овальність, конусність) при розточуванні оправками з твердих сплавів можуть бути отримані в межах 3...4 мк, чистота поверхонь за Ra 1,25...0,32. Тонке розточування застосовується для обробки точних гладких отворів діаметром до 200 мм у деталях середніх і невеликих розмірів.

Застосування двосторонніх горизонтальних верстатів дає можливість одержати високу точність за співвісністю двох отворів, розташованих у протилежних стінках корпусної деталі.

Внутрішнє планетарне шліфування (рис. 7.12) застосовується для обробки великих отворів діаметром більше 150 мм. Заготовку встановлюють на столі верстата.

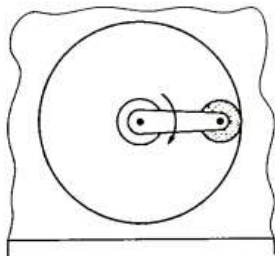


Рис. 7.12 – Планетарне шліфування отворів корпусних деталей

Шліфувальний круг, обертаючись відносно вісі шпинделя, робить планетарний рух, тобто обертання відносно вісі отвору, який шліфується. Повздовжня подача здійснюється зворотно-поступальним рухом заготовки, поперечна – переміщенням шліфувального круга. При цьому досягаються висока точність діаметральних розмірів (до 5-го квалітету включно), геометричної форми отворів і відносного положення вісі; чистота поверхні досягається за Ra 1,25...0,63. Недоліком цього методу є низька продуктивність.

Хонінгування – процес чистової обробки отворів абразивними брусками. Основним призначенням цього виду обробки є одержання високої точності геометричної форми отвору і високої чистоти поверхні. Хонінгування не виправляє положення вісі отвору.

Процес здійснюється на спеціальних одношпиндельних і багатошпиндельних хонінгувальних верстатах (частіше вертикальних). Одношпиндельні верстати є більш універсальними. Абразивні бруски встановлюють у хонінгувальній головці (рис. 7.13).

Кількість брусків приймають кратним трьом (6, 9, 12 тощо), для малих отворів застосовують головки з одним бруском. Конструкція головки забезпечує установку брусків на необхідний діаметральний розмір зведенням або розведенням брусків за рахунок зміщення конусів в осьовому напрямку при обертанні штанги, на якій під одним конусом нарізана ліва різьба, а під другим права різьба.

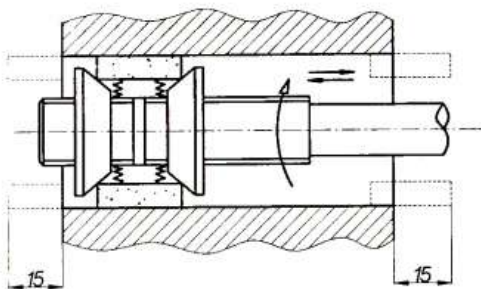


Рис. 7.13 – Схема хонінгувальної головки

У процесі роботи хонінгувальної головки забезпечується два рухи: обертальний навколо вісі оброблюваного отвору і зворотно-поступальний уздовж цієї вісі. При такій комбінації рухів оброблювана поверхня покривається густою сіткою тонких рисок – слідів абразивних зерен. Кругова швидкість інструменту при хонінгуванні складає при обробці деталей: з чавуну 60...75 м/хв; зі сталі – 45...60 м/хв і з кольорових сплавів – 70...90 м/хв. Швидкість поступального руху головки знаходиться у межах 10...20 м/хв.

Звичайне відношення числа оборотів шпинделя до числа його подвійних ходів беруть у межах 1...3,5. Для одержання високої точності отвору по всій довжині необхідно, щоб бруски виходили з оброблюваного отвору на 15...20 мм у кожную сторону.

Хонінгування виконується з рясним охолодженням. При обробці деталей з чавуну для охолодження застосовують гас, при обробці деталей зі сталі – гас з домішкою парафіну. Хонінгувальна головка встановлюється по отвору деталі, тому вона шарнірно з'єднується зі шпинделем верстата. У зв'язку з цим хонінгуванню повинна передувати обробка отвору, що забезпечує точне положення вісі отвору і її прямолінійність. Звичайно це забезпечують розточуванням. Величина припуску на хонінгування залежить від діаметра отвору, матеріалу деталі і характеру попередньої обробки. Після розточування припуск на хонінгування повинний бути в межах 0,05...0,08 мм на діаметр; після розвертання – 0,02...0,04 мм і після шліфування 0,01...0,02 мм.

Хонінгуванням обробляють отвори діаметром 15...200 мм і більше, при цьому одержують 5-й квалітет точності та чистоту поверхонь Ra 0,1...0,05. Хонінгувальні головки з брусками, що примусово роз-

тискаються, дозволяють виправляти конусність і овальність отвору та одержувати високу точність геометричної форми отвору; при обробці отворів діаметром 80...100 мм, овальність та конусність можуть бути витримані у межах 3...5 мк.

Хонінгування доцільно застосовувати при обробці високоточних отворів, що мають довжину більше діаметра, у серійному і масовому виробництвах. В особливо відповідальних випадках доцільно застосовувати хонінгування після попереднього тонкого розточування; ці процеси доповнюють один одного та разом забезпечують найкращий результат відносно точності.

Хонінгуванням обробляють циліндри автомобільних і тракторних двигунів, отвори під пінолі задніх бабок, отвори гідроциліндрів і інші отвори, точність і чистота обробки яких повинна бути вище, ніж можуть забезпечити інші методи обробки.

Розкочування отворів – це метод пластичного деформування, який широко використовують для обробки відповідальних отворів великої довжини в сталевих корпусних деталях (корпуси поршневих, плунжерних, гвинтових насосів, корпуси гідроциліндрів, пневмоциліндрів тощо). Цей метод застосовується також для обробки деталей з будь-яких матеріалів, здатних пластично деформуватися у холодному стані, твердість яких не перевищує HRC 35...40 (рис. 7.14).

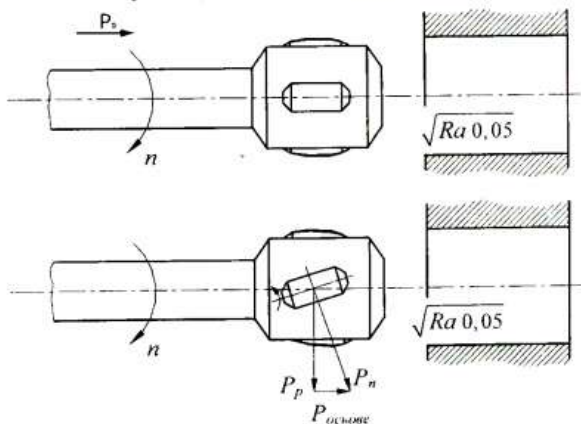


Рис.7.14 – Схема розкочування отворів корпусних деталей

Розкочуванням одержують чистоту поверхонь Ra 0,1...0,05, при цьому твердість поверхневого шару зростає приблизно на 20 %, а продуктивність у порівнянні з хонінгуванням збільшується у 5 разів.

Оскільки розкочувальна головка при обробці встановлюється по отвору, то розкочуванню повинна передувати операція механічної обробки, що забезпечує необхідну точність отвору і його відносного положення. Розкочування можна здійснювати на свердлильних, токарних і інших верстатах. Розміщення розкатних роликів може бути паралельним вісі або під кутом. У першому випадку при розкочуванні необхідно прикладати осьову силу P , а в другому випадку розточна головка сама затягується в отвір за рахунок обкочування роликів по гвинтовій лінії.

В одиничному та дрібносерійному виробництвах для досягнення більш високої точності широко використовують притирання з застосуванням м'яких і твердих абразивних матеріалів. Притирання не вимагає застосування складних, дорогих верстатів, його можна виконувати на токарних, свердлильних і інших верстатах, а також вручну. Притиранням можна одержувати будь-який клас чистоти за ГОСТ 2789-73. Точність відносного положення та форма повинні бути забезпечені попередньою обробкою.

7.2.11. Контроль корпусних деталей

Вимірювання плоских поверхонь корпусних деталей виконують контрольною лінійкою, звичайно "на фарбу" або за допомогою пристосувань з індикаторними головками.

Найбільш типовими для корпусних деталей є виміри розмірів отворів і точності їх відносного положення. Для виміру діаметрів отворів залежно від конкретних виробничих умов застосовують як універсальні вимірювальні засоби, так і різні калібри-пробки. Універсальними вимірювальними засобами є індикаторні нутроміри, мікрометричні штихмаси, спеціалізовані штангенциркулі тощо. Для вимірів отворів діаметром до 500 мм широко використовують жорсткі граничні калібри. Для отворів діаметром більш 500 мм основними засобами виміру є мікрометричні та індикаторні штихмаси різних типів.

Для забезпечення належного контролю необхідно правильно вибрати засоби і спосіб контролю. При цьому потрібно, щоб вимірювальні засоби відповідали вимогам, пропонованим до точності оброблюваних деталей. На підставі досвіду роботи промисловості можна вважати, що гранична похибка вимірювального засобу повинна складати 10-20 %

допуску вимірюваної величини. В окремих випадках, коли допуск за-
надто малий, гранична похибка може складати до 30 % допуску.

В особливо відповідальних випадках потрібно установити виробни-
чий (технологічний) допуск, який дорівнює допуску на розмір, змен-
шеному на подвоєну граничну похибку методу виміру. У більшості ж
випадків можна вважати, що величина виходу розмірів за межі поля до-
пуску, пов'язана з похибкою методу виміру, незначна в порівнянні з по-
лем допуску і не може істотно впливати на експлуатаційні властивості
деталей. Тому всі виміри виконуються при незмінному стандартному
допуску на розмір.

Простим та надійним засобом контролю отворів є граничні калібри.
Для можливості перевірки похибок форми їх варто робити з повною
прохідною і неповною непрохідною стороною.

На автомобільних заводах широко застосовують пневматичні ме-
тоди контролю, які дають можливість здійснювати безконтактні виміри
з великими передаточними відношеннями, і які дозволяють вести відлік
долей мікрона.

Пневматичні методи контролю можна використовувати для виміру
(рис. 7.15):

- діаметральних розмірів від 5–6 мм і вище з точністю до 0.001 мм;
- похибок форми отворів;
- у важкодоступних місцях, за багатьма параметрами одночасно;
- з усередненням розмірів тощо.

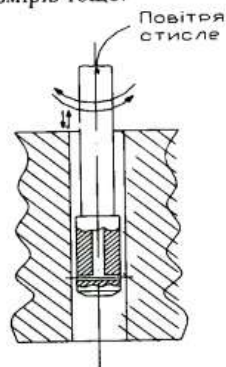


Рис. 7.15 – Пневматичний контроль конусності, овальності,
бочковидності, розміру

Пневматичні методи дають можливість порівняно просто і надійно автоматизувати процес контролю. Тому пневматичні методи варто вважати прогресивними методами контролю.

Похибки форми отворів у поперечному перерізі (еліптичність, огранювання) визначаються вимірами у різних радіальних напрямках. Похибки форми в поздовжньому перетині (конусність, бочкообразність тощо) визначаються за результатами вимірів у різних поперечних перерізах. Для виміру довжин отворів використовують штангенглибини, шаблони, калібри.

Для контролю точності відносного положення отворів переважно використовуються контрольні оправки. Їх виконують сталевими і загартованими (твердість HRC 48...52); зовнішня циліндрична поверхня виконується за 5-м квалітетом точності, чистота поверхні за $Ra\ 0,8\ \dots\ 0,2$. При контролі невеликих отворів (діаметром до 50 мм), оправки встановлюють безпосередньо в отвори, а при великих діаметрах отворів – через контрольні втулки (див. рис. 7.16, а).

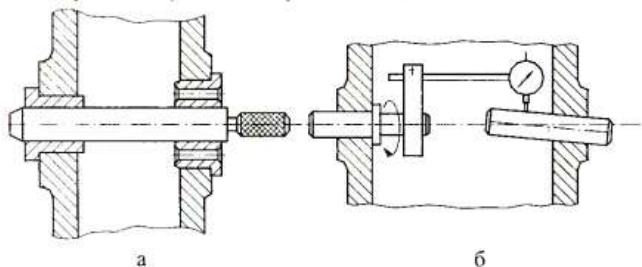


Рис. 7.16 – Перевірка співвісності отворів

Щоб уникнути великої кількості контрольних оправок, для отворів діаметром більше 50 мм оправки виконують трьох розмірів по діаметру 30; 50 і 80 мм. Для отворів діаметром до 120 мм застосовують сталеві загартовані втулки, а для отворів великих діаметрів – чавунні втулки з виточеннями чи отворами в стінках для зменшення ваги. Зовнішня поверхня втулки має відхилення, які відповідають рухомій чи нерухомій посадці 5-го квалітету точності. Контрольні оправки в отворах втулок встановлюють по посадці $H6/h5$. Довжина сполучення оправки з втулкою повинна бути не менше 1,5–2 діаметри оправки.

Співвісність отворів звичайно перевіряють контрольними оправками, а якщо деталь і оправки досить жорсткі, індикаторними прис-

тосуваннями (рис. 7.16. б). Для перевірки співвісності отворів можуть бути використані також оптичні, пневматичні та інші методи контролю. Перевірка оправками, однак, не виявляє характер неспіввісності (рівнобіжний зсув, відносний або схрещування осей у просторі) і кількісної величини похибки.

При перевірці неспіввісності індикаторними пристосуваннями визначають радіальне биття, рівне подвоєній неспіввісності. Якщо вісі отворів нерівнобіжні, перевірку потрібно проводити в різних поперечних перерізах, тому що при однократній перевірці, коли крапка перетинання осей буде знаходитися в площині обертання індикатора, похибка може бути не виявлена. Для забезпечення високої якості деталі необхідно, щоб максимальна неспіввісність (максимальна відстань між осями отворів у межах габаритних розмірів деталі), знаходилася у межах допуску. Максимальну неспіввісність можна визначити розрахунком, знаючи неспіввісності в окремих перетинах, розміри деталі і місце перетинання осей

Звичайно неспіввісність при вимірі в двох поперечних перерізах, що знаходяться на зазначеній відстані один від одного, не повинна перевищувати допуску.

Перевірка неперпендикулярності торцевої площини щодо вісі отворів може бути виконана за допомогою індикаторного пристосування (рис. 7.17, а) або спеціального калібру (рис. 7.17, б). У першому випадку неперпендикулярність торця на діаметрі D до вісі отвору визначається як різниця показань індикатора при обертанні відносно вісі отворів, при цьому потрібно забезпечити нерухомість індикатора вздовж вісі.

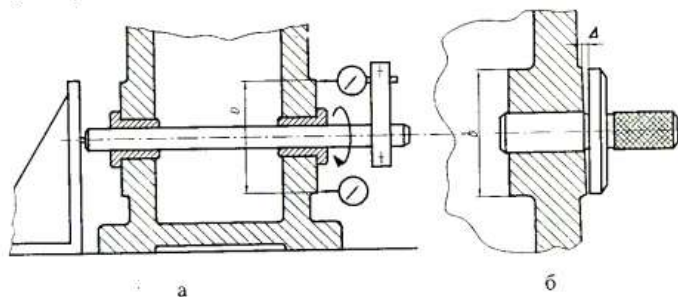


Рис. 7.17 – Перевірка неперпендикулярності торцевої площини

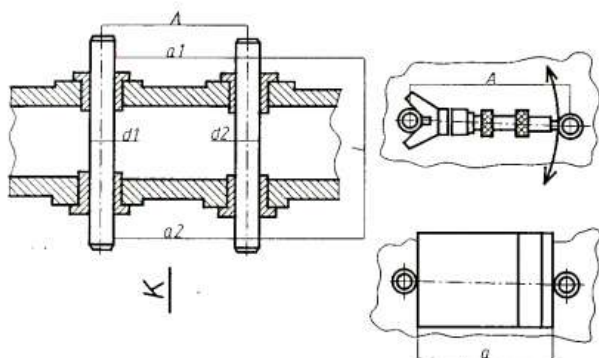


Рис. 7.18 – Визначення міжосьової відстані і паралельності вісей

У другому випадку перевірка виконується “по фарбі” чи виміром зазорів у двох протилежних крапках по периферії диска. Визначення міжцентрової відстані і непаралельності осей виконується виміром відстаней між внутрішніми утворюючими контрольних оправок за допомогою блоків плоскопаралельних кінцевих мір, штихмаса або індикаторного нутроміра або виміром відстаней між зовнішніми утворюючими контрольних оправок за допомогою мікрометра, штангенциркуля або іншого вимірювального пристрою (рис. 7.18).

Міжцентрова відстань визначається розрахунком за результатами виміру:

$$A = \frac{a1 + a2}{2} + \frac{d1 + d2}{2}, \text{ мм};$$

Непаралельність визначається як різниця розмірів $a1 - a2$, віднесена до довжини L .

Визначення характеристик точності відносного положення поверхонь можна здійснювати за допомогою пневматичних і оптичних методів контролю [1]. У масовому виробництві економічне застосування спеціальних контрольних приладів для комплексної перевірки деталей за багатьма параметрами точності.

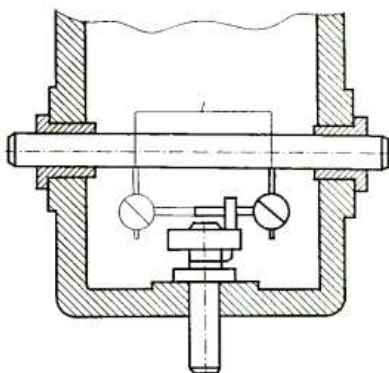


Рис. 7.19 – Перевірка неперпендикулярності осей отворів

7.3. Технологія обробки валів

7.3.1. Призначення і класифікація валів

До деталей класу валів відносяться: вали, вісі, пальці, цапфи тощо. Вони утворюються зовнішньою поверхнею обертання (циліндричної або конічної), декількома торцевими поверхнями. Вали для устаткування машинобудівної та легкої промисловості працюють при усіляких швидкостях – від одного-двох обертів за хвилину до декількох тисяч. Залежно від виду машин вони сприймають дуже незначні навантаження, або навантаження які обчислюються тисячами кілограмів. На підприємствах швейної, трикотажної і взуттєвої промисловості вали працюють в умовах атмосферної корозії; у цехах шкіряної і хутряної промисловості на них впливають різко агресивні середовища. На окремих типах машин вони працюють в умовах високих температур.

Вали цих машин різні за розмірами і вагою. Шийки валів мають шпонкові пази чи різьблення для закріплення сполучених деталей від осьового переміщення. У вузлах устаткування шкіряної та хутряної промисловості більш раціональним є кріплення деталей за допомогою конусної затяжної втулки. Таке кріплення виключає виготовлення шпонкового паза на валу, значно полегшує монтаж і демонтаж деталей, зменшує їхнє биття при установці на вал і забезпечує беззасторожне з'єднання з валом.

При переході від однієї ступіні до іншої в ступінчастих валах проточують канавки чи галтелі, які зменшують концентрації напружень на переходах від одного уступа до другого. Обробка галтелі більш складна, тому переважніше, де це припустимо, передбачати канавки. Якщо вони не передбачені, то ступінь обточують підрізними різцями з радіусом заокруглення при вершині 0,2...0,5 мм. Торці вала доцільно виготовляти з фасками.

Вали, в яких відношення довжини до діаметра не перевищує дванадцяти ($l < 12$), вважають жорсткими; при відношенні $l/d > 12$ їх відносять до нежорстких та обробка ведеться за допомогою люнети (рухливого або нерухомого).

7.3.2. Конструктивні види валів

В залежності від службового призначення вали можуть бути дуже різноманітні за конструктивною формою, розмірами і матеріалом. Незважаючи на це, технологу при розробці технологічного процесу виготовлення валів приходиться вирішувати багато однотипних задач. Тому доцільно користуватися типовими процесами виготовлення валів, що створені на основі проведеної класифікації.

Загалом, в машинобудуванні зустрічаються вали безступінчасті і ступінчасті, цільні і пустотілі, гладкі і шліцеві, вали-шестірні, а також комбіновані вали в різноманітному сполученні з приведених вище груп. За формою геометричної вісі вали можуть бути прямими, колінчастими, кривошипними і ексцентрикними (кулачковими) (рис. 7.20).

Найбільше поширення в машинобудуванні, у тому числі і верстатобудуванні, одержали різні ступінчасті вали середніх розмірів, серед яких переважають гладкі вали. Понад 85 % від загальної кількості типорозмірів ступінчастих валів у машинобудуванні складають вали довжиною 150...1000 мм.

Шліцеві вали можуть бути з наскрізними і закритими шліцами. Останні складають близько 65 % від загальної кількості типорозмірів. По конструкції шліци на валах можуть бути прямобочними і евольвентними. На сьогодні переважають прямобочні (приблизно 85–90 % від загальної кількості застосовуваних у машинобудуванні типорозмірів шліцевих валів), хоча з технологічної точки зору евольвентні шліци мають ряд переваг і в найближчому майбутньому вони повинні знайти більше поширення.

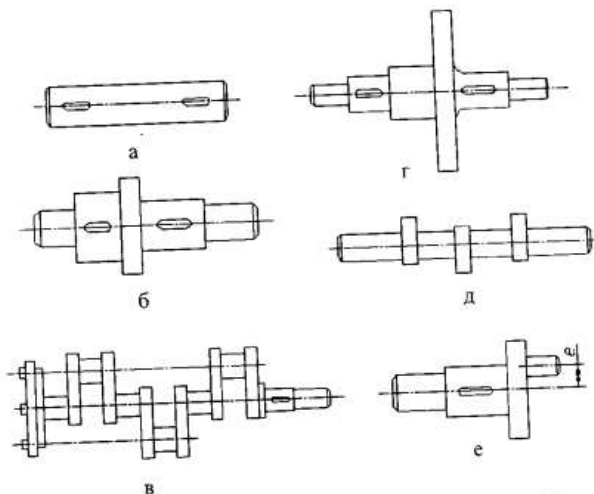


Рис. 7.20 – Конструктивні види валів: а – гладкий вал; б – ступінчастий вал; в – колінчастий вал; г – дисковий вал; д – кулачковий вал; е – кривошипний вал

7.3.3. Технічні умови виготовлення деталей типу валів

Технічні умови характеризуються наступними даними. Діаметральні розміри шліфованих посадкових шийок витримують за 7–8-м квалітетами. Овальність і конусність гладких циліндричних валів і циліндричних шийок ступінчастих валів повинні знаходитися в межах 0,25–0,5 допуску на діаметральні розміри. Биття посадочних шийок щодо базових не повинно перевищувати 10–30 мкм. Відхилення від паралельності шпонкових канавок чи шліців до вісі вала не перевищує 0,1 мкм на 1 мм довжини.

Допуски на довжину шийок знаходяться у межах 50–200 мкм, а шорсткість, поверхні посадочних шийок – у межах Ra 1,25...0,16 мкм, торців і уступів – Rz 40...20 мкм.

7.3.4. Матеріал і способи одержання заготовок ступінчастих валів

Вали в основному виготовляють з конструкційних і легованих сталей, до яких пред'являються вимоги високої міцності, хорошої оброб-

люваності, малої чутливості до концентрації напруг, а також високої зносостійкості, здатності піддаватися термічній обробці. Перерахованим вимогам найбільш повно відповідають сталі наступних марок: 35, 40, 45, 40Г, 50Г, 40Х тощо.

Застосування легованих сталей у порівнянні з конструкційними трохи обмежено через більш високу їх собівартість, а також підвищену чутливість до концентрації напруг.

Продуктивність механічної обробки валів багато у чому залежить від виду заготовки, її матеріалу, розміру і конфігурації, а також від характеру виробництва. Заготовки одержують відрізкою від горячекатаних або холоднотягнутих нормалізованих прутків і безпосередньо піддають механічній обробці. Заготовки такого виду застосовують в основному в дрібносерійному та одиничному виробництвах, а також при виготовленні валів з невеликою кількістю уступів і незначних перепадів їх діаметрів.

У середньосерійному і крупносерійному виробництві, а також при виготовленні валів більш складної конфігурації з великою кількістю уступів, що значно відрізняються по діаметру, заготовки доцільно одержувати методом пластичної деформації (куванням, штампуванням, періодичним прокатом, обтисненням на ротаційно-кувальних машинах, електровисадкою тощо). Ці методи дозволяють одержувати заготовки, за формою і розмірами близькими до готової деталі, що значно скорочує обсяг механічної обробки і знижує витрати матеріалу на одиницю виробу, що характеризується коефіцієнтом використання металу $K_{вм}$, тобто відношенням ваги деталі до ваги заготовки.

При механічній обробці валів на налаштованих і автоматизованих верстатах має велике значення точність заготовки. Заготовки, отримані методом ротаційного кування, відрізняються малими величинами припусків і високою точністю. Сутність методу полягає в періодичному обтисненні і витягуванні по уступах, відрізаної від прутка заготовки, шляхом великої кількості послідовних і швидких (приблизно через 0,01 с ударів) декількома спеціальними матрицями.

Внаслідок таких обтиснень матеріал пластично деформується і тече в осьовому напрямку, зменшуючи поперечний переріз заготовки, додаючи їй потрібної форми. Ротаційне кування заготовки виконується як у гарячому, так і в холодному стані. За даними закордонної практики після ротаційного кування у холодному стані можуть бути отримані за-

готовки, залежно від діаметра, з точністю $\pm 0,02 \dots 0,20$ мм та чистотою поверхні у межах $Ra 0,8 \dots 0,4$ [35]. При ротаційному куванні заготовок у гарячому стані точність знижується до $\pm 0,3$ мм, а по довжині до ± 1 мм (за винятком загальної довжини, де похибка сягає 10 мм і більше). Коефіцієнт використання металу в заготовках, отриманих цим способом, складає $0,85 \dots 0,95$. Процес дуже продуктивний, тривалість операції 40...70 с. Крім того, значно знижується трудомісткість наступної механічної обробки заготовок, тому що відпадає необхідність чорнових і напівчистових токарних операцій, а у ряді випадків заготовки можна відразу шліфувати.

7.3.5. Обробка ступінчастих валів

Розробка технологічного процесу виготовлення вала починається з детального вивчення його службового призначення в машині і усіх вимог технічних умов, яким він повинний відповідати. Для цього необхідно вивчити складальні креслення машини або тієї складальної одиниці, у яку як одну з взаємозалежних ланок входить оброблюваний вал, проаналізувати технічні умови, норми точності та вимоги технології збирання. Вивчення це повинне супроводжуватися критичним аналізом робочого креслення вала, технічних умов і вимог технологічного процесу збирання, яким повинна відповідати готова деталь. Цей аналіз дає можливість установити взаємозв'язок між поверхнями, що повинні бути забезпечені у результаті обробки вала. Установити взаємозв'язок вала з іншими деталями, правильно проставити розміри і допуски, намітити послідовність обробки окремих поверхонь деталі, розрахувати міжопераційні розміри і допуски допомагають виявлені схеми розмірних ланцюгів.

Так, установка вала з підшипниками в редукторі, електродвигуні чи генераторі виконується з зазором між торцем одного із підшипників і однією кришкою редуктора чи генератора з метою компенсації величини переміщення підшипника за рахунок нагрівання вала під час роботи. Такий підшипник називається плаваючим тому, що він може зміщуватись в осьовому напрямку при видовженні вала за рахунок нагрівання.

Розміри вала з припустимими відхиленнями можна правильно визначити лише виходячи зі службового призначення і вимог технічних умов. Ця задача вирішується за допомогою розмірних ланцюгів.

Обробка валів, як і обробка інших деталей, починається з підготовки базових поверхонь. Тому маршрут обробки починається з обробки базових поверхонь. На перших операціях технологічними базами можуть бути необроблені поверхні, а далі оброблені зовнішні і внутрішні поверхні. Найбільш висока точність досягається при використанні основних базових поверхонь, тобто опорних шийок вала, але їх можна використовувати тільки після їх остаточної обробки. Тому найбільш зручними є допоміжні бази – центрові отвори, що можуть бути базами від початку до кінця обробки, забезпечуючи принцип постійності баз. У ряді випадків при обробці точних пустотілих валів обробка ведеться на спеціальних зацентрованих пробках (базою служать точно оброблені центрові отвори пробки). Таке базування принципово не відрізняється від установки в центрах, тому що базування виконується по центрових отворах пробок. Технологія обробки валів, як і вибір устаткування, залежить від конфігурації, розмірів і жорсткості деталей, а також від заданої програми випуску.

У серійному виробництві фрезерування і центрування торців заготовок виконуються на фрезерно-центрувальних верстатах, у масовому – на фрезерно-центрувальних напівавтоматах. Виконують і роздільне фрезерування торців на повздовжно-фрезерних, а центрування – на двосторонніх чи односторонніх верстатах. Фрезерування торців виконують з установкою в призмах з базуванням заготовки в осьовому напрямку. І базою служить уступ, розташований посередині заготовки, чи торець. Так забезпечуються рівні припуски на обробку для кожного торця. Розміри центрових отворів призначають за ГОСТ 14034–74 в залежності від діаметра заготовки і навантаження на центр. Стандарт установлює вісім форм центрових отворів (рис. 7.21).

З восьми різновидів (типів) з кутом конуса 60, 75 і 120° найбільш поширені форми центрових отворів L та C , що застосовують у випадках, коли після обробки необхідність у центрових отворах відпадає чи коли незмінність їх у процесі експлуатації гарантується відповідною термообробкою.

Форми B і E застосовують у випадках, коли центрові отвори є базою для багаторазового використання, а також при збереженні їх у готових виробах. Форма B забезпечена додатковою конічною фаскою для запобігання центрових отворів від ушкодження, а також для здійснення можливості підрізування торця. При підвищеній точності обробки застосовуються центрові отвори форми R з дугоподібною утворюючою.

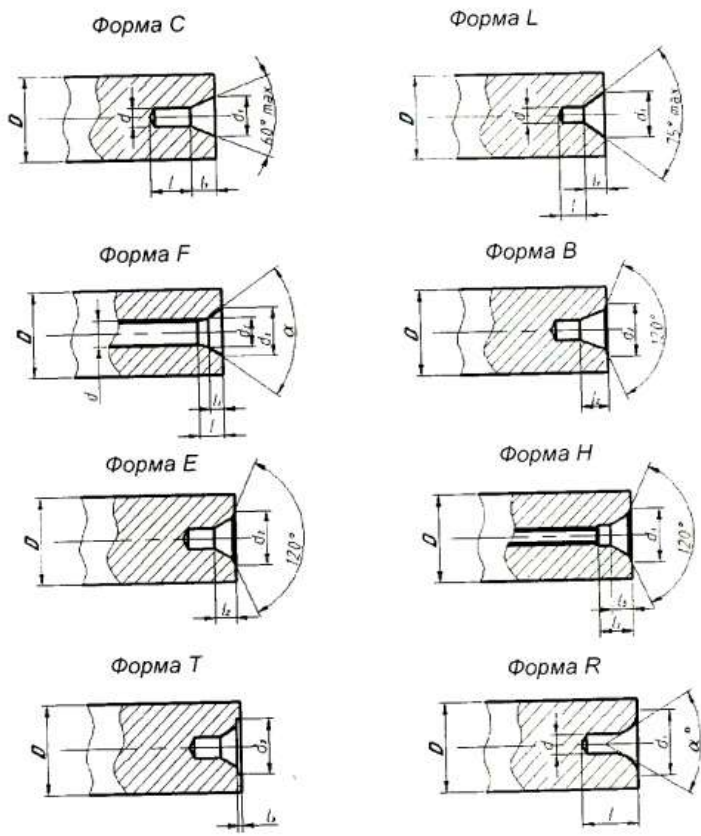


Рис. 7.21 – Види центрових отворів

Центрові отвори типів F і H застосовуються при необхідності виконання монтажних робіт, транспортування, чи збереження виконання термообробки у вертикальному положенні. Крім запобіжної фаски такі отвори забезпечуються різьбленням, призначеної для різьбових пробок, що вгвинчуються в центрові отвори при транспортуванні деталей. Форма T застосовується тільки для оправок і калібрів-пробок.

Базування валів на центрах верстата не забезпечує стабільності їх положення в осьовому напрямку, тому що глибина центрових отворів може бути різною за рахунок появи похибки зацентровки. З метою зменшення цієї похибки приміняють зацентровку з упором у торець.

Для обертання заготовки використовують повідковий центр і хомутик, застосування яких пов'язано з рядом недоліків. До них відносяться: великий допоміжний час на установку і зняття хомутика, неможливість обробки деталі по всій довжині без її переустановки; труднощі забезпечення безпечних умов роботи через виступаючі частини у хомутика і повідкового патрона.

Зазначених недоліків не мають швидкодіючі повідкові пристрої сучасних конструкцій, що забезпечують як правильне базування деталі, так і передачу моменту без використання хомутика. Застосовуються вони при обробці невеликих валів з однієї установки на прохід по всій довжині.

При обробці довгих (нежорстких) валів, коли відношення довжини деталі до її найбільшого діаметра складає більше 12, застосовують люнети. Вони бувають рухомими і нерухомими. Нерухомий люнет встановлюють і закріплюють на станині верстата.

Люнети встановлюються на попередньо оброблені поверхні. Тому при обробці заготовок спочатку обточують (з малими швидкостями і подачами) шийки під люнет або надягають на заготовку спеціальну муфту під люнет. На рис. 7.22 представлена схема обробки вала в нерухомому люнеті. Так обробляють ступінчасті нежорсткі та особливо важкі вали.

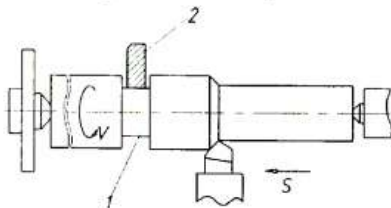


Рис. 7.22 – Обробка вала за допомогою нерухомого люнета

При обробці гладких нежорстких циліндричних деталей на верстаті з висотою центрів менше 500 мм застосовують рухомий люнет, що встановлюється і закріплюється на супорті і при роботі переміщується разом з ним. При обробці деталі з рухомих люнетом шийку проточу-

вати не треба, тому що базою для установки кулачків може служити оброблена поверхня, по якій вони переміщуються. Основна технологічна задача при обробці ступінчастих валів – забезпечення розташування осей всіх оброблюваних ступіней вала на одній геометричній лінії для зменшення радіального биття.

У загальному випадку обробку валів можна розділити на чорнову, чистову і оздоблювальну. Їх можна обробляти по принципах диференціації чи концентрації операцій.

Чорнова та чистова обробки валів виконуються за різними схемами. Наприклад, для чорнкової обробки вала з прокату застосовують схеми, зображені на рис. 7.23. При використанні першої за кожен прохід послідовно обточують ступіні *A*, *Б*, *B*. При використанні другої схеми ступінь *A* обточують за два проходи (через велику кількість металу, що знімається), потім за один прохід – ступіні *Б* та *B*. Третя схема називається комбінованою. Вона передбачає обточування ступіні *B* за перший прохід. Починаючи з торця, перша ступінь *A* обточється за другий прохід, друга ступінь *Б* – за третій.

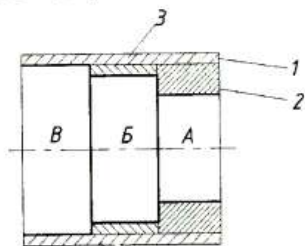
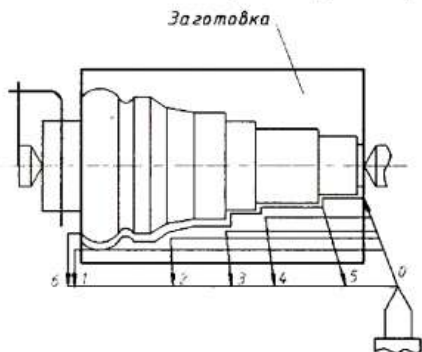


Рис. 7.23 – Схема обробки вала

На заводах дрібносерійного виробництва обробку валів виконують на верстатах із програмним керуванням. Токарні верстати з числовим програмним керуванням (16K20Ф3, 1Б732Ф3, 1713Ф3, 1М63Ф306 тощо) оснащують одним чи двома супортами з поворотними різцетримачами, револьверною голівкою і супортом. Залежно від обраної схеми можлива послідовна, рівнобіжна і паралельно-послідовна обробка. При виборі схеми обробки варто враховувати особливості конструкції верстатів із ЧПК. На цих верстатах звичайно по програмі змінюється лише подача; частота обертання шпинделя в більшості випадків не ре-

гулюється, і при проектуванні операцій обробки її встановлюють по діаметру середньої шийки вала.

Токарні верстати з ЧПК вигідно застосовувати при обробці складних багатоступінчастих заготовок, особливо з криволінійними поверхнями. Схема обточування ступінчастого вала на токарному верстаті з ЧПК приведена на рис. 7.24. Заготовкою служить круглий прокат.



**Рис. 7.24 – Схема обточування вала на токарному верстаті з ЧПК:
1 – 6 – траєкторія руху різця при попередніх і
чистовому робочих ходах**

Попередня обробка виконується за п'ять послідовно виконуваних робочих ходів (1–5), а чистова (6) за один робочий хід супорта по остаточному контуру деталі. Прохідний різець оснащений пластинкою твердого сплаву, що не переточується але забезпечує високу стійкість при великому сумарному шляху різання. Час обробки на верстатах із ЧПК в порівнянні з часом обробки на звичайних верстатах зменшується у 1,5–2 рази у результаті значного скорочення допоміжного часу; при цьому кваліфікація обслуговуючих робітників може бути нижча і зменшується імовірність одержання браку.

Отвори свердлять на одношпindelних чи багатшпindelних верстатах. Тип верстата і схема установки залежать від конструкції вала і розташування отворів. Різьблення на шейках, що гартуються, нарізають до термічної обробки, а на тих що не гартуються – після їх остаточного шліфування, чим зменшується небезпека ушкодження різьблення при транспортуванні заготовок. Метод утворення різьблення залежить від її

класу точності. Для валів з різьбленням 2-го класу точності в масовому і крупносерійному виробництві застосовують різьботокарні напівавтомати 1920 і 1921. Нарізування різьблення здійснюють інструментом із твердого сплаву по автоматичному циклі. Для утворення різьблень 3-го класу точності застосовують різьбонакатні (5A932 та 5A936) і різьбофрезерні (КТ-45, КТ-43, КТ-86) верстати. У серійному і дрібносерійному виробництві різьблення 2-го класу точності одержують на токарно-гвинторізних верстатах звичайним чи вихровим методом. Різьблення 3-го класу точності нарізають на універсальних токарних, а в окремих випадках на болторізних верстатах. Більш точним і продуктивним є нарізування різьблення на верстатах із програмним керуванням, особливо для середньо- і дрібносерійного виробництва. При нарізуванні різьблення на зовнішній поверхні вала, щоб полегшити роботу, варто передбачати канавки для виходу інструменту або збігу різі. Діаметри шийок під нарізування різьблення виконують за 3-м класом точності для гладких поверхонь.

Термічну обробку виконують шляхом поверхневого загартування шийок з нагріванням в індукторі за допомогою ТВЧ, використовують також цементацію з наступним загартуванням шийок або загальне загартування вала. Шийки валів шліфують за дві операції – попередню і чистову, а вали – на круглошліфувальних верстатах методом повздовжньої або поперечної подачі з установкою заготовки в центрах: гладкі та ступінчасті вали шліфують також на бесцентрово-шліфувальних верстатах. Шліфування з поперечною подачею (врізне шліфування) відрізняється високою продуктивністю, особливо при обробці набором кругів, коли одночасно шліфують кілька шийок вала. Загальна ширина круга досягає при цьому 300 мм.

При врізному шліфуванні обробка шийок вала часто ведеться в автоматичному циклі. Одночасне шліфування шийки і торця уступу виконують на торцешліфувальних верстатах ЗТ16Е с нахилом круга. На верстатах цього типу можна більш точно витримати лінійний розмір від базового торця, застосовуючи установку на плаваючий передній центр. Шийки і торці уступів можна обробити також на звичайному круглошліфувальному верстаті, застосовуючи круг з піднутрінням на торці. Для підвищення продуктивності праці на шліфувальних операціях передбачають пристрої для контролю розмірів у процесі обробки і вимикання подачі при досягненні заданого розміру.

Для умов одиничного, дрібносерійного і серійного виробництва знаходять усе більше застосування круглошліфувальні верстати з ЧПК. Верстат ЗА151У призначений для врізного і повздовжнього шліфування. У ньому передбачена аналогова вимірювальна система керування з числовим введенням координат. У систему входять прилад активного контролю; прилади, що контролюють переміщення шліфувальної бабки і столу верстата; прилад для початкової осьової орієнтації заготовки; командно-відліковий пристрій для завдання розмірів і відліку відпрацьованих координат. Це дозволяє скоротити час обробки в 1,5–2 рази в порівнянні з обробкою на верстаті з ручним керуванням. Продуктивність шліфування підвищують також шляхом використання верстатів, що працюють за принципом силового шліфування зі швидкостями різання 50–80 м/с.

Точність форми шийок вала після шліфування залежить від стану центрових гнізд; тому перед чистовим шліфуванням центрові гнізда виправляють за допомогою конусного абразивного круга або притирання. При шліфуванні шийок передбачають канавки для виходу шліфувального круга. Для полегшення обробки шийки вала, що мають той самий розмір, але різні посадки, розмежують канавками. Безцентрове шліфування здійснюють при наскрізній подачі (на прохід) чи поперечній подачі врізанням. Жорсткість технологічної системи при безцентровому шліфуванні у 1,5–2 рази вища жорсткості системи при круглому шліфуванні; тому при безцентровому шліфуванні режими різання підвищують у 1,5–2 рази; у той самий час полегшується задача обробки нежорстких валів. Однак при шліфуванні на центрах можна одержати більш круглі шийки і їх точну співвісність. Безцентрові верстати легко автоматизуються і вбудовуються в автоматичні лінії.

Гладкі вали виготовляють з каліброваної сталі 8–10-го квалітетів точності по визначеному маршруту:

- відрізка заготовки по довжині на відрізних автоматах чи на токарних відрізних верстатах у залежності від заданої програми;
- попереднє шліфування заготовки на безцентрово-шліфувальному верстаті з наскрізною подачею;
- фрезерування закритих шпонкових пазів на шпоночно-фрезерних або горизонтально-фрезерних верстатах;
- свердління поперечних отворів, якщо вони передбачені конструкцією;

- термічна чи хіміко-термічна обробка (якщо передбачена);
- чистове шліфування після термічної обробки на безцентрово-шліфувальних верстатах.

Довгі вали, виконувані з горячекатаної сталі, попередньо обточують на безцентрових верстатах (9330А), а потім шліфують на безцентрово-шліфувальних верстатах або обкатують роликами на правильно-полірувальних верстатах. До обточування, якщо прутки мають викривлення, їх правлять і калібрують на правильно-калібрувальних верстатах. Виправлення обточених заготовок після відрізки виконують також на пресах.

Вали з центральними отворами одержують із суцільних заготовок, а отвір свердлять після попереднього обточування в центрах зовнішніх поверхонь вала і підготовки шийок під затиск у патроні і під люнет. Наскрізні отвори одержують свердлами для глибокого свердління однібічного чи двостороннього різання залежно від діаметра отвору. При діаметрі отвору більше 80 мм застосовують головки для кільцевого свердління. Для чистової обробки центрального отвору використовують зенкери і розвіртки чи розточувальні головки в залежності від пропонувананих вимог і діаметра отвору. Наступну обробку зовнішніх поверхонь виконують за допомогою пробок з центровими гніздами, що вставляються в отвір вала. Для досягнення найбільшої концентричності зовнішніх поверхонь щодо отвору рекомендується наступні операції обробки робити без зміни пробок.

Важкі вали це такі, які мають діаметр більше 200 мм і масу більше 1 т. Їх конструктивні різновиди і технічні умови на виготовлення ті самі, що і звичайних валів. Важкі вали в більшості випадків мають центральні отвори для зменшення маси і контролю якості матеріалу заготовки, а також для розміщення всередині вала керуючих пристроїв машини.

Заготовки для важких валів одержують куванням на пресах і молотах; вихідним матеріалом для заготовки є злиток. Після кування заготовки піддають відпалу для зняття внутрішніх залишкових напруг і нормалізації. Заготовки пустотілих валів фланцевого типу одержують електрошлаковим зварюванням з попередньо підготовлених елементів. При цьому варіанті досягається економія матеріалу і значне зниження трудомісткості наступної обробки різанням. Після термічної обробки від кінців поковки відрізають проби для визначення вмісту окремих хімічних елементів у металі.

У пустотілих валів глибоке свердління виконують після попереднього обточування зовнішніх поверхонь, що використовують як установочні бази на операції глибокого свердління. При розрахунку припуску на наступну обробку зовнішніх поверхонь з базуванням по отвору необхідно враховувати відхилення вісі цього отвору при глибокому свердлінні. При установці в чотирьохкулачковому патроні з підтискуванням заднім центром перевіряють заготовку на биття з боку патрона. Остаточну обробку шийок валів 6–8-го квалітетів точності діаметром до 300 мм виконують на круглошліфувальних верстатах. Шийки більш великих валів обробляють широким різцем, що забезпечує чистоту поверхні $Ra\ 2,5\ \dots\ 0,63\ \mu\text{м}$.

7.3.6. Обробка шліців і шпонкових пазів на валах

Шліцеві з'єднання валів і втулок служать для передачі обертальних рухів і крутних моментів. Шліци, виконані з валом за одне ціле, підвищують жорсткість останнього і забезпечують необхідний напрямок і легкість переміщення установлених на ньому зубчастих коліс, муфт, втулок тощо. По конструкції шліци можуть бути прямобічними і евольвентними. Шліцеве з'єднання з прямобічними шліцами може здійснюватися з центруванням втулки по внутрішньому і зовнішньому діаметрах вала. При евольвентних шліцах центрують по їх профілю. У розмірних ланцюгах машини або вузла шліцевий вал бере участь багатьма своїми розмірами і у першу чергу розмірами, що зв'язують поверхні допоміжних баз з основними, а також їх діаметральними і лінійними розмірами. Виходячи з цього і з загальних технічних умов на ступінчасті вали, якість вала визначається багатьма параметрами: точністю діаметральних розмірів поверхні опорних і центровочних шийок, неперпендикулярністю опорних торців до вісі або опорної шийки, неспіввісністю поверхонь опорних і центровочних шийок, точністю ширини шліців; точністю кроку шліців; непаралельністю бічних площин шліців до вісі вала; відхиленням від перпендикулярності поверхні допоміжних баз до вісі вала; твердістю і шорсткістю поверхонь основних і допоміжних баз.

На всі перераховані елементи, в залежності від кінцевого ступеня точності механізму, у який входить ланкою шліцевий вал, повинні бути встановлені належні норми точності і технічні умови. Припустимі відхилення залежно від класу точності з'єднання досить жорсткі. На-

приклад, допустиме відхилення на нерівномірність кроку шліців не повинне перевищувати 0,02 мм; допустимий зсув будь-якого шліца щодо вісі – не більш 0,02 мм тощо. Величини граничних відхилень поверхонь від паралельності і перпендикулярності залежно від розміру і ступеня точності наведені у ГОСТ 10356–63.

Нарізування шліців виконується фрезеруванням (рис. 7.28), струганням, протягуванням (рис. 7.29) і холодним накочуванням (рис. 7.30), в основному евольвентних шліців. Технологічний процес обробки шліців залежить від методу центрування шлицевого з'єднання і наявності термообробки. У неавтоматизованому серійному виробництві нарізування шліців звичайно виконується на шлицефрезерних чи зубофрезерних верстатах черв'ячною фрезою методом обкатування. Метод досить трудомісткий, тому що здійснюється при порівняно невисоких режимах різання ($V = 20 \dots 30$ м/хв та $S = 20$ мм/хв). Нарізування може виконуватись в один чи два проходи, залежно від необхідної точності. У цьому випадку можна застосовувати багатозахідну черв'ячну фрезу для чорнового фрезерування, що збільшує продуктивність, але необхідної точності чистового фрезерування не дає.

Як технологічні бази звичайно використовуються поверхні центрових отворів. Однак вали з короткими опорними шийками, до яких безпосередньо виходять шліци, не можна встановлювати в центрах з хомутиком, що не дає можливості виходу черв'ячній фрезі. У цьому випадку валик з боку шпинделя базується по шліфованій опорній шийці в спеціальному оправленні зі зворотним конусом (рис. 7.25).

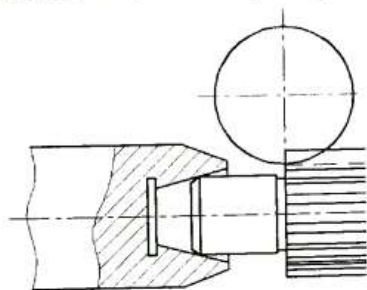


Рис. 7.25 – Схема наскрізного фрезерування шліців із застосуванням оправки зі зворотним конусом

Фрезерування шліців:

– на валах, що гартуються і центруються по зовнішній поверхні:

- 1) попереднє шліфування зовнішньої поверхні;
- 2) фрезерування шліців із припуском під шліфування бічних поверхонь;

3) термообробка;

4) чорнове і чистове шліфування зовнішньої поверхні;

5) чорнове і чистове шліфування бічних поверхонь;

– на валах, що гартуються і центруються по внутрішньому діаметрі:

1) попереднє шліфування зовнішньої поверхні;

2) фрезерування шліців із припуском під шліфування бічної поверхні і внутрішнього діаметра;

3) фрезерування канавок для виходу круга при шліфуванні поверхні внутрішнього діаметра;

4) термообробка;

5) чорнове та чистове шліфування бічної поверхні і поверхні внутрішнього діаметра;

– на валах, що не гартуються:

1) чорнове шліфування зовнішньої поверхні;

2) чистове шліфування зовнішньої поверхні;

3) чорнове і чистове фрезерування канавок.

Останнім часом з'явилися більш сучасні методи фрезерування шліців на валах. Так, наприклад, розроблений процес нарізування прямобічних шліців попереднім фрезеруванням фасонними дисковими фрезами і чистовим фрезеруванням бічних поверхонь шліців торцевими фрезами, оснащеними пластинками з твердого сплаву (рис. 7.26).

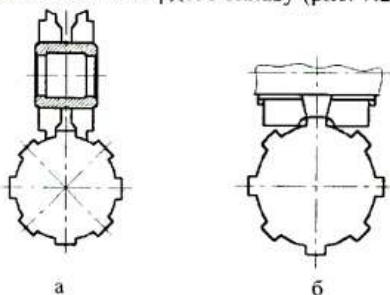


Рис. 7.26 – Фрезерування шліців фасонними фрезами: а – попередня обробка; б – чистова обробка бічних поверхонь шліців

Режими різання при обробці валів із середньовуглецевої сталі мають такі значення: для попереднього фрезерування $V = 30 \dots 35$ м/хв та $S = 190$ мм/хв, а для чистового фрезерування $V = 180$ м/хв та $S = 0,55$ мм/зуб. Обробка здійснюється на горизонтальних повздовжньо-фрезерних верстатах із застосуванням дільних пристосувань. Такий метод нарізання шліців у 3–4 рази продуктивніший, ніж обробка на шліцефрезерних верстатах. Більш прогресивним процесом утворення шліців методом зняття стружки є контурне шліцестругання і шліцепротягування.

Більш продуктивним є метод протягування. Швидкість протягування складає 30 м/хв, штучний час у кілька разів менше, ніж при обробці на зубофрезерному верстаті, а собівартість операції приблизно у 12 разів менше собівартості операції при шліцефрезеруванні. По продуктивності протягування у 5–10 разів перевищує шліцефрезерування.

Протягування виконується двома блоковими протяжками одночасно двох діаметрально протилежних впадин на валу з наступним поворотом вала на визначений кут після кожного ходу протягування. Блок

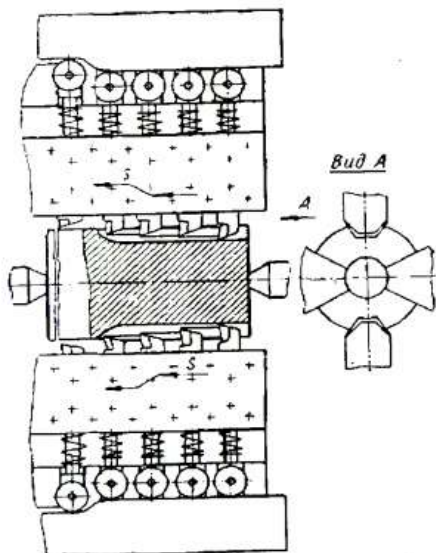


Рис. 7.27 – Схеми протягування шліців на валах

протягування складається з набору різців-зубів, що мають незалежне радіальне переміщення (рис. 7.27). Різці заточуються комплектно і встановлюються в блоки в спеціальному пристосуванні. Цей метод дозволяє обробляти наскрізні та ненаскрізні шліці. Копіювальна лінійка дає можливість протягувати ненаскрізні шліці по заданій траєкторії. Умовою, що обмежує обробку валів з ненаскрізними шліцами, є різниця перепадів діаметрів ступіней, що не повинна перевищувати 25–30 мм.

Великі перспективи має процес холодного на-
кочування шліців, при

якому шліці утворюються пластичним деформуванням без зняття стружки. Накатка здійснюється роликми, рейками і багатороликовими профільними головками (рис. 7.28).

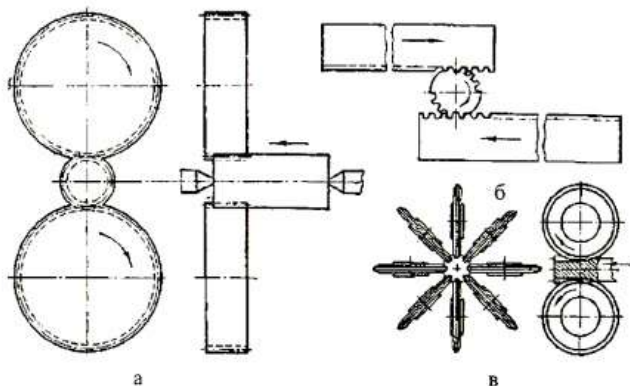


Рис. 7.28 – Принципова схема накручування шліців: а – круглими роликми; б – рейками; в – багатороликовою головкою

Ущільнення шару металу при накручуванні підвищує міцність шліцевих валів. За даними ЕНІМСА накручені шліці при скручуванні на 10–20 % міцніші фрезерованих.

У ряді випадків холодне накручування дозволяє відмовитися від термообробки валів і подальшої механічної обробки шліців. Холодній накатці в основному піддаються евольвентні шліці, тому що для прямобочних шліців значно ускладнюється профіль робочих поверхонь накатних роликів, що вимагає спеціального устаткування для їх виготовлення. Шліці евольвентного профілю з модулем до 2,5 мм одержують холодним накручуванням двома чи трьома роликми. Їх установлюють по ділянці кола попередньо обробленої заготовки з урахуванням пружних деформацій системи ВПД. Діаметр заготовки при накручуванні менше зовнішнього діаметра готової деталі і по точності діаметр під накручування значно точніший, ніж діаметр під шліцефрезерування. Так, для валів діаметром 30–50 мм допустиме відхилення зовнішньої поверхні складає не більше 0,05–0,07 мм; допустиме відхилення по биттю відносно вісі центрів не більше 0,06 мм.

Ролики виготовляють з високолегованих сталей марок Х12ФН або Х6ВФ. Тим самим роликом визначеного модуля можна обробити вали з різним числом шліців. Режими накочування, що рекомендуються: окружна швидкість роликів 15–20 м/хв при діаметрі початкового кола 200 мм; величина осьової подачі 150–200 мм/хв. Накочуванню піддають заготовки з твердістю не більше НВ 220. Одержувана точність по кроку лежить у межах 0,03 мм; накопичена помилка по кроку 0,05–0,1 мм; чистота поверхні за Ra 0,63...0,32.

Залежно від довжини шліців продуктивність при накочуванні приблизно у 10 разів вище, ніж продуктивність при шліцефрезеруванні. Більш сприятливим є накочування валів з великою кількістю шліців (не менше 18), тому що в цьому випадку більш плавно протікає процес.

Холодне накочування шліців можна здійснювати і рейками. Накочування шліців рейками за один прохід на всю довжину продуктивніше, ніж накочування роликами, але внаслідок появи великих сил при накочуванні, воно не рекомендується для накочування шліців довжиною більш 80–100 мм. Область доцільного застосування холодного накочування евольвентних шліців обмежується модулем, що не перевищує 2,5 мм.

7.3.7. Нарізування різьблення на валах

У конструкціях валів нерідко передбачаються зовнішні і внутрішні гострокутні кріпильні різьблення (рис. 6.3). Внутрішні різьблення можуть бути і глухими, тому отвори під них сверляться на трохи більшу глибину, ніж вимагає довжина нарізки. Внутрішнє різьблення на валах звичайно нарізають машинними мітчиками на різьбонарізних, свердлильних, револьверних, а також на агрегатних верстатах напівавтоматах і автоматах, в залежності від масштабу виробництва і наявного устаткування. Верстати повинні мати швидкодіючий реверс шпинделів для швидкої зміни напрямку робочого обертання на зворотне, коли різьблення буде нарізане до необхідної довжини. При нарізуванні глухих різьблень для здійснення точної зупинки подачі та обертання мітчика застосовують спеціальні патрони, що самі виключають процес обробки.

Зовнішні гострокутні різьблення на валах залежно від вимог технічних умов, масштабу випуску і наявного устаткування нарізаються плашками різних конструкцій, різьбонарізними головками, різьбовими різцями, гребінками і груповими різьбовими фрезами.

Звичайними круглими плашками нарізають різьблення невисокого класу точності (7-го квалітету та нижче). Плашками з доведеними різьбильними крайками до високого ступеня точності можна калібрувати різьблення 6-го та навіть 5-го квалітетів.

Плашки в головці можуть бути плоскими і круглими гребінчастими. Останні більш довговічні.

У машинобудуванні широке поширення знайшло нарізування коротких гострокутних різьблень на валах гребінчастими груповими фрезами. Групова фреза являє собою як би кілька дискових різьбових фрез, складених торцями. Довжина групових фрез береться на дві – три нитки більше довжини різьблення і нарізування здійснюється за 1,25 оберту вала. Додаткова величина в 0,25 оберту передбачається для перекриття місця врізання фрези. Для утворення різьблення деталь або фреза повинна переміститися в осьовому напрямку на один крок різьблення.

Цей спосіб особливо часто застосовується у тих випадках, коли різьблення близько примикає до торця ступіні вала більшого діаметра. Він забезпечує одержання різьблення не вище 6 і 7-го квалітетів.

7.4. Технологія виготовлення зубчастих коліс

7.4.1. Службове призначення і точність зубчастих коліс

Циліндричні зубчасті колеса з прямим і косим зубом служать в основному для передачі крутного моменту, від одного вала до іншого при рівнобіжному розташуванні осей валів (рис. 7.29, а). Тільки в окремих випадках при осях валів, що перетинаються в просторі під прямим кутом, застосовують косозубі колеса (рис. 7.29, б).

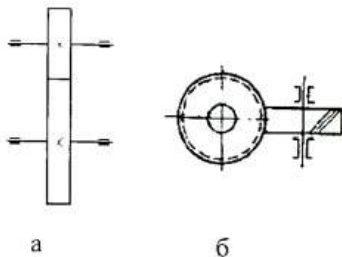


Рис. 7.29 – Циліндрична зубчаста передача: а – з рівнобіжними вісями; б – з перпендикулярними зміщеними вісями

Конструкція коліс залежить від їхнього службового призначення.

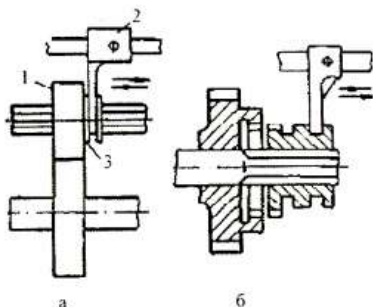


Рис. 7.30 – Циліндрична зубчаста передача з рівнобіжними вісями і ковзною зубцюватою кареткою: а – для включення коліс із прямими зубами та кареткою; б – для включення коліс з косими зубами

Якщо вмикання і вимикання передачі здійснюється за допомогою осьового переміщення зубчастого колеса уздовж вала, то зубчасте колесо 1 (каретка, рис. 7.30, а) повинне мати канавку 2, у яку входить перемикаюча вилка 3, а зуб колеса повинний бути закруглений з торця, розміщеного з боку вмикання передачі. Вмикання та вимикання косозубих коліс здійснюється за допомогою спеціальної ковзної каретки, що зчіплюється з внутрішніми прямозубими вінцями коліс (рис. 7.30, б), що ускладнює їх конструкцію.

Однак у косозубих коліс є переваги, основними з яких є висока плавність передачі, тому що коефіцієнт перекриття в косозубих передачах вище, ніж у прямозубих, і дотик робочих поверхонь зубів здійснюється по похилих контактних лініях, у результаті чого одночасно в зачепленні знаходяться мікроповерхні, що належать різним ділянкам профілів.

У швидкохідних механізмах косозубі колеса забезпечують менший шум роботи в порівнянні з прямозубими. Для правильного зачеплення прямого зуба необхідно, щоб дотик по профілю зуба (пляма контакту) здійснювався по всій його довжині на 60–80 % довжини зуба в середній частині. Щоб забезпечити дотик по такій плямі, яка задається технічними умовами, зуби зубчастих коліс виконують бочкообразними

(рис. 7.31). До торців зуб робиться вужчим на 0,02–0,05 мм, ніж на середині при довжині зуба 25–30 мм. Бочкообразність компенсує неточність розташування осей валів коробок передач.

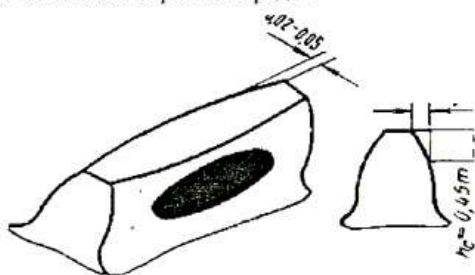
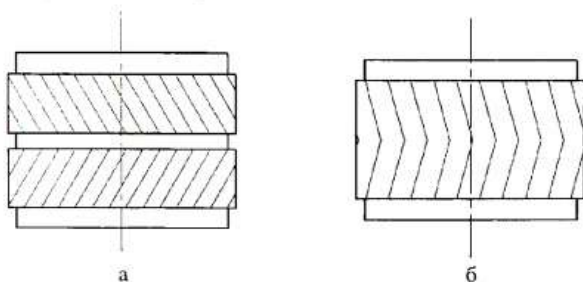


Рис. 7.31 – Пляма контакту при бочкообразній формі зуба

Наряду з позитивними сторонами косозубі колеса мають і негативні, такі як виникнення осьових сил, які стараються зміщувати вал і підшипники в осьовому напрямку, що приводить до ускладнення конструкції редуктора.

Щоб не збільшувати розміри редукторів, при передачі великих крутних моментів і потужностей застосовують колеса із шевронним зубом (рис. 7.32) замість коліс із прямим або косим зубом. Такі колеса мають два вінці, у яких нахил зубів виконаний у різних напрямках, що приводить до виникнення осьових зусиль направлених у протилежні сторони, які компенсують одна одну.



**Рис. 7.32 – Шевронне зубчасте колесо:
а – з канавкою між зубами; б – без канавки**

Аналіз конструкцій зубчастих коліс в технології їх виготовлення виконується з метою порівняння складності конструкції і складності виконання технології їх виготовлення. Ускладнення конструкції деталі часто призводить до досягнення значних позитивних факторів у конструкції машини, але таке ускладнення веде до ускладнення технології їх виготовлення, що демонструють (див. рис. 7.29 та 7.30).

Циліндричні зубчасті колеса залежно від їх службового призначення, також можуть розрізнятися між собою:

1. За габаритними розмірами: у машинобудуванні залежно від призначення, можна зустріти зубчасті колеса діаметром до 6300 мм та більше з шириною зубчатого вінця до 1250 мм. Зубофрезерні верстати виготовляються для обробки зубчастих коліс діаметром до 12000 мм. Розмірний ряд коліс, для яких установлюються допуски ГОСТ 1643–81, включає розміри коліс діаметром до 5000 мм.

2. За величиною модуля: у приладах і годинникових механізмах найменше значення модуля 0,1...0,2 мм. У важкому машинобудуванні найбільше значення модуля 50 мм. ГОСТ 1643–81 на циліндричні колеса передбачає зубчасті колеса з модулем 1...50 мм.

3. За точністю та класом чистоти обробки: відповідно до ГОСТ 1643–81 визначені ступені точності, що розташовуються в порядку зниження точності 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 та 12. Для ступені точності 1; 2 і 3 допуски і граничні відхилення в стандарті не передбачені через дуже високу точність. Ці ступені передбачені для майбутнього розвитку техніки. Для кожної ступені точності зубчастих коліс і передач встановлені норми: кінематичної точності, плавності роботи та контакту зубів зубчастих коліс.

4. У першу чергу точність пов'язана зі швидкістю. Чим більше швидкість обертання, тим точніше повинні бути виконані зубчасті колеса (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Вплив окружної швидкості коліс на ступінь точності і клас чистоти поверхні

Окружна швидкість, м/с	Прямозубі колеса		Косозубі колеса	
	ступінь точності	клас чистоти поверхні	ступінь точності	клас чистоти поверхні
до 2,5	8	6		–
від 2,5...6	7	7	8	6
6...16	6	7	7	7
16...40	–		6	7

Згідно ГОСТ 1643–81 встановлено шість видів спряжень зубчастих коліс у передачах: *A, B, C, D, E, H* та вісім видів допуску на боковий зазор – *x, y, z, a, b, c, d, h*. Позначення подані в порядку зменшення величини бокового зазору і допуску на нього ($A = 1 \dots H = 0$).

Приклад умовного позначення точності циліндричної передачі: 8-7-6 В а. ГОСТ 1643–81, де 8 – восьма степінь норми кінематичної точності; 7 – сьома степінь норми плавності зачеплення; 6 – шоста степінь норми контакту зубів; В – вид спряження; а – вид допуску на боковий зазор.

Примітка: У випадку коли на одну із норм не задається степінь точності, замість відповідної цифри вказується буква N, наприклад: 8-N-6 В а ГОСТ 1643–81.

7.4.2. Матеріал і термічна обробка зубчастих коліс

Залежно від службового призначення більшість зубчастих коліс виготовляють з вуглецевих чи легуваних сталей з відповідною термічною обробкою:

– *сталь 20X* – застосовується для зубчастих коліс середніх розмірів, що працюють на високих швидкостях. У них повинна бути тверда зносостійка поверхня при міцній і в'язкій серцевині. Вид термообробки – цементация, загартування та відпуск. Поверхнева твердість HRC 56...62;

– *сталь 18ХГТ* – для зубчастих коліс, що працюють при великих швидкостях, середніх і високих питомих тисках. Вимоги – висока поверхнева твердість і зносостійкість при більш високій міцності і в'язкості, ніж у сталі 20X. Термообробка – цементация, загартування та відпуск. Поверхнева твердість HRC 58...62;

– *сталь 45* – для зубчастих коліс середніх і великих розмірів при високій поверхневій твердості і невеликій деформації. Термообробка – загартування з індукційним нагріванням т. в. ч., HRC 48...60;

– *сталь 40X* – для зубчастих коліс, що працюють при середніх швидкостях і питомих тисках, потрібна загальна підвищена міцність. Термообробка – загартування та високий відпуск, HB 230...280;

– *сталь 45X* – для великогабаритних зубчастих коліс, що працюють при середніх швидкостях і питомих тисках, потрібна загальна підвищена міцність. Термообробка – загартування і високий відпуск, HB 230...280;

– *сталь 45X* – для великогабаритних зубчастих коліс з модулем вище 5 мм, яким пред'являється висока поверхнева твердість і зносостійкість. Термообробка – загартування з індукційним нагріванням т. в. ч. та відпуск, HRC 58...62;

– *сталь 40XГ* – для великогабаритних зубчастих коліс при незначній деформації, поверхневій твердості та зносостійкості. Термообробка – загартування з індукційним нагріванням т. в. ч. та відпуск, HRC 48...56;

– *сталь 35ХМ* – для зубчастих коліс точних передач із забезпеченням високої точності і загальної підвищеної міцності. Термообробка – загартування та високий відпуск, HB 280...300.

Леговані сталі звичайно допускають велике (по глибині) прогрівання і меншу деформацію в порівнянні з вуглецевими сталями.

При низьких вимогах до зубчастих передач зубчасті колеса виготовляють з чавуну марок СЧ 15 та СЧ 21.

В останні роки знаходять застосування зубчасті колеса, виготовлені з пластичних мас. Оскільки такі колеса краще задовільняють вимогам безшумності при високих швидкостях, то їх застосовують навіть при швидкостях 40–50 м/с. Ці зубчасті колеса працюють у парі зі сталевими загартованими або чавунними колесами.

Точність при термічній обробці знижується в середньому на одну степінь, а в окремих випадках – на 0,5 або 1,5 степені, тому при механічній обробці поверхонь, які будуть термічно оброблятися необхідно досягати точність на одну степінь вище.

Досвідами встановлено, що найбільше покороблення дає цементация і менше – загартування, тому оздоблювальну операцію – шевінгування – застосовують на ряді заводів не до цементации, а між цементацией і загартуванням.

Наклеп, що отримується при грубій обробці зуба колеса, викликає значно більше покороблення при термічній обробці, ніж при тонкій обробці зуба. Тому, наприклад, чистова обробка зуба зменшує наклеп і деформацію у 2,5 рази порівняно з чорною обробкою. Шевінгувальний процес зменшує деформацію у 3–3,5 рази порівняно з нарізуванням зубів в один прохід. Не рекомендується знімати великі стружки перед термічною обробкою.

Леговані сталі забезпечують, як правило, менше покороблення при термічній обробці у порівнянні з вуглецевими.

7.4.3. Конструктивні типи і розмірні ряди зубчастих коліс

Залежно від службового призначення змінюється і конструктивна форма циліндричних зубчастих коліс (рис. 7.33).

Розрізняють колеса:

а) одновінцеві, вони можуть бути зі шліцами, шпонковими канавками, чи з гладким отвором. Для зменшення ваги і витрат металу в зубчастих колесах (рис. 7.33-I, г і 7.33-III, б) часто у торцях штампують кільцеві канавки Н;

б) багатовінцеві (рис. 7.33-II); їх виконують у вигляді блоку (для зменшення габаритів коробки швидкостей) зі шліцевими, шпонковими або гладкими отворами;

в) типу дисків (рис. 7.33-III);

г) типу вінців (рис. 7.33-IV);

д) вали-шестірні (рис. 7.33-V).

Зазначені типи коліс не охоплюють усю розмаїтість, але їх можна вважати найбільш часто застосовуваними в машинобудуванні.

За технологічними ознаками розбивка на типи може бути зроблена в основному за способом базування зубчастих коліс при обробці:

- колеса типу I–II з маточиною і з відношенням $l/d > 1$ мають установочну технологічну базу – подвійну направляючу поверхню отвору, і опорну базу – поверхню торця;
- колеса типу III–IV з відношенням $l/d < 1$ мають установочну технологічну базу – бічну поверхню і подвійну опорну базу – зовнішню поверхню колеса або поверхню отвору;
- зубчасті колеса-вали типу V мають технологічну базу – поверхні центрових отворів на токарних операціях і поверхні шийок або центрових отворів у наступних операціях.

7.4.4. Технічні умови на виготовлення зубчастих коліс і на заготовки до нарізування зубів

Технічні умови на зубчасті колеса встановлюються залежно від їх службового призначення за ГОСТ 1643–81.

Крім технічних умов і норм точності на готові зубчасті колеса, від яких залежить технологічний процес, необхідно установити технічні умови на обробку заготовки колеса до нарізування зубів. Ці технічні умови вибирають по нормативах.

Отвори для коліс 5-ї степені точності повинні бути виконані за 5-м квалітетом точності, а для коліс 6, 7, 8-ї степеней – за 6-м квалітетом точності, що досягається протягуванням або розвертанням отворів. Отвори за 5-м квалітетом точності досягаються у результаті алмазного розточування, шліфування або хонінгування.

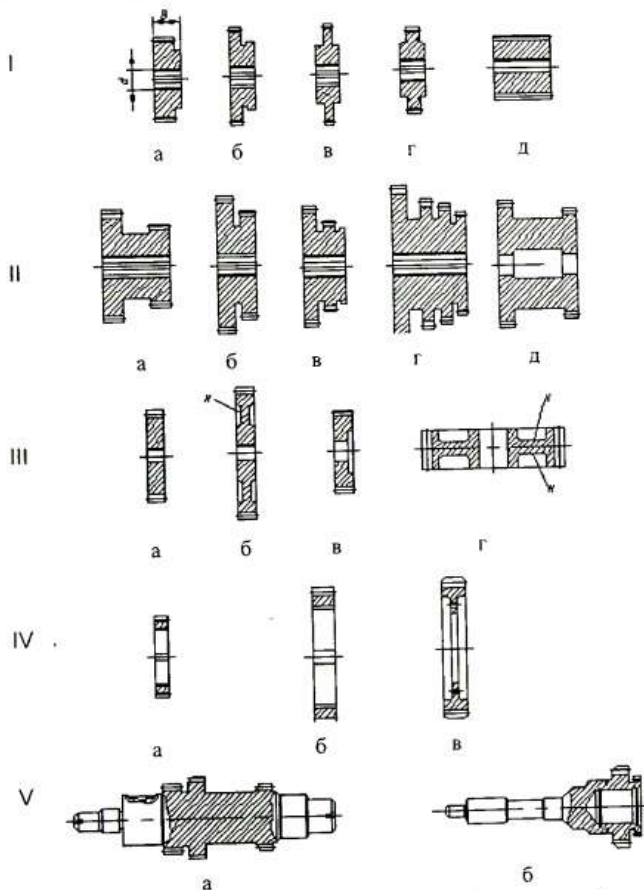


Рис. 7.33 – Різні типи циліндричних зубчастих коліс:
I...V – типи; а...д – конструктивні різновиди кожного типу

7.4.5. Характеристика заготовок і способи їх одержання

Розрізняють такі основні види заготовок зубчастих коліс:

- заготовки з прокату;
- заготовки, виконані вільним куванням на кувальному молоті (рис. 7.34-I, а; 7.34-II, а);
- штампована заготовка в підкладних штампах, виконана на молотах або пресах (рис. 7.34-I, б, 7.34-II, б);
- штампована заготовка в закріплених штампах, виконана на молотах або пресах (рис. 7.34-I, в; 7.34-II, в);
- штампована заготовка в закріплених штампах, виконана на горизонтально-кувальних машинах (рис. 7.34-II, г).

Заготовки з круглого горячекатаного прокату одержують відрізкою дисковою пилкою частини металу на одну чи кілька деталей. Такий спосіб виготовлення заготовок застосовують в основному в індивідуальному і дрібносерійному виробництвах у тих випадках, коли застосування штампів недоцільно.

Поковки, які виконуються вільним куванням на молотах, не відповідають формі готової деталі, але структура металу, завдяки куванню, поліпшується порівняно з заготовкою, відрізаною пилкою.

Штампкування заготовок у підкладних штампах здійснюється на кувальних молотах, а може бути виконано також на фрикційних і гідравлічних пресах або на механічних кувальних пресах.

Штампкування заготовок у закріплених штампах на штампувальних молотах і кувальних пресах здійснюється як у відкритих з облоєм, так і в закритих штампах без облоя.

Штампкування заготовок у закритих штампах має ряд переваг: зменшення витрат металу внаслідок відсутності облоя і наближення форми заготовки до готової деталі, усунення обрізних штампів, зниження собівартості. Економія металу складає від 10 до 30 %. Штампкування на пресах мають велику перевагу перед молотами.

Внаслідок великої потужності пресів і постійного ходу повзуна виходить точна штампована заготовка, припуски і напуски менше на 30 %, у порівнянні зі штампкуванням на молоті, а конфігурація заготовки наближається до готової деталі.

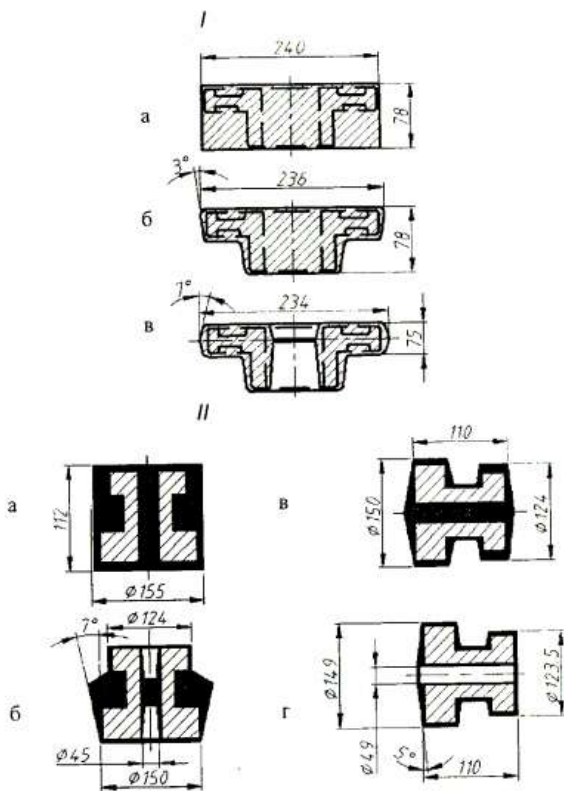


Рис. 7.34 – Способи виготовлення:

I – заготовки одновінцевого циліндричного зубчастого колеса з маточиною: а – кування, б – штампована заготовка в підкладному штампі, в – штампована заготовка з закріпленому штампі;

II – двохвінцевого циліндричного зубчастого колеса:

а – кування, б – штампована заготовка на молоті в торець,

в – штампована заготовка на молоті уздовж вісі,

г – штампована заготовка на горизонтальній кувальній машині з прошитим отвором

Продуктивність штампування на пресах вище, ніж на молотах у 1,5–2 рази; робота відбувається без ударів. На пресах можна штампувати з прошиванням отвору. При роботі пресів відсутні ударні навантаження, вібрації і струси, що діють на фундаменти, стіни, підлоги і роботу сусідніх машин.

У останні роки штампувальні преси витісняють з масового і крупносерійного виробництва штампувальні молоти. Штампуванням на горизонтально-кувальних машинах виготовляють заготовки зубчастих коліс (рис. 7.35) із хвостовиком (група I) або з отвором (група II).

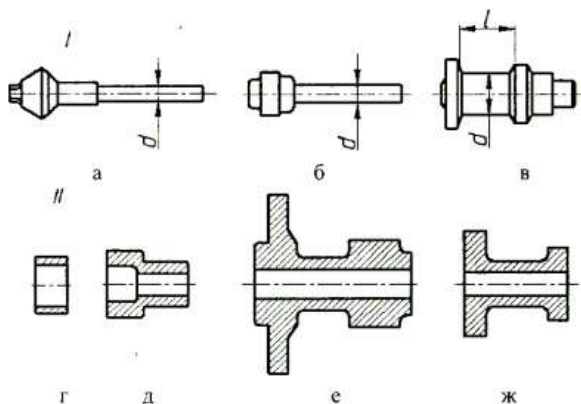


Рис. 7.35— Номенклатура заготовок зубчастих коліс, які штампуються на горизонтально кувальних машинах: I група: а – конічне зубчасте колесо-вал, б – циліндричне зубчасте колесо-вал, в – двухвінцеве зубчасте колесо; II група: г – вінець, д – зубчасте колесо з маточиною і отвором, е – зубчасте колесо з фланцем і отвором, ж – двухвінцеве зубчасте колесо з отвором

При виборі заготовки в основному враховуються наступні фактори: службове призначення зубчастого колеса, його конструкція, розмір, матеріал, технічні умови; масштаб і серійність випуску; точність методу виготовлення заготовки і економічність. Точність різних методів виготовлення заготовок зазначена в табл. 7.2.

Таблиця 7.2 – Точність різних методів виготовлення заготовок зубчастих коліс

Метод виготовлення	Якість поверхні	Відхилення розмірів поковок, мм
1	2	3
Вільне кування	дуже груба	2...10
Штапування: – на кувальному молоті у підкладних штампах	груба	1,5...3,5
– на штапувальному молоті у закріплених штампах	груба	0,5...3,0
– на вертикально-штапувальному механічному пресі	менш груба	0,4...2,0
– на горизонтально-кувальній машині	менш груба	0,41...2,5
Гаряче калібрування на пресі	гладка	0,1...0,4
Чеканка на чеканочному пресі	дуже гладка	0,05...0,1

7.4.6. Вибір баз і розробка варіантів техмаршруту

При вивченні всіх груп коліс по рис. 7.33 можна бачити, що у групах I–II, що включає колеса з маточиною, де $1/d > 1$ і розміри зовнішнього діаметра не перевищують 200–300 мм, оброблена поверхня отвору може служити технологічною базою при наступній обробці зубчастого колеса на оправці і за допомогою цієї поверхні можна позбавити колесо чотирьох степеней волі. Звідси впливає і послідовність операцій маршруту. Зубчасте колесо запресовується на оправці і при цьому витримується розмір від торця до центрального отвору в оправці. Якщо в штапованій заготовці найбільшим буде розмір торцевої поверхні, то як основною базою на першій операції може служити торець деталі.

Якщо $1/d < 1$ то зовнішня утворююча поверхня заготовки буде служити подвійною направляючою базою, що позбавляє заготовку чотирьох степеней волі, а торець буде тільки опорною базою.

У колесах плоского типу (групи III–IV) і вінцях з відношенням $1/d < 1$ (поверхня отвору не може служити як подвійна направляюча базової поверхні. У цих деталях із сильно розвинутими торцевими поверхнями одна із них може служити установочною технологічною базою, залишаючи деталь трьох степеней волі. Поверхня отвору виконує роль подвійної опорної бази.

У групі V зубчасті колеса-вали можуть мати технологічними базами, як і звичайні ступінчасті вали, поверхні центрових отворів, а при пружинному (плаваючому) центрі ще і поверхню обробленого торця.

Для деталей V групи спочатку треба забезпечити обробку торцевих поверхонь і поверхонь центрових отворів, на базі яких надалі будуть виконуватися токарні, шліфувальні й інші операції. При обробці центрових отворів на фрезерно-центрувальному верстаті установка виконується в призмах, як у випадку установки ступінчастого вала; в осьовому напрямку колесо базується по торцю маточини.

Розглядаючи маршрут обробки для зубчастих коліс першої і другої груп і маршрут для деталей третьої і четвертої груп, бачимо, що весь хід маршруту такий, що на початкових операціях (1, 2, 3) обробляється отвір з доведенням точності його до 6-го квалітету протягуванням або розточуванням, виготовленням шпонкового паза, а потім на базі отвору виконуються інші операції: точіння, нарізування зубів, шевінгування.

Якщо на початку виконувати чорнове та чистове обточування деталі по зовнішніх поверхнях, потім розточування і протягування отвору і нарізування зуба, то така зміна маршруту не буде забезпечувати потрібної точності деталі: при протягуванні отвір може бути зміщений щодо раніше обточених торцевих і зовнішніх поверхонь деталі. У результаті торцеві та інші поверхні будуть мати биття щодо отвору більше, ніж 0,03, а це погіршить точність деталі.

Розглянемо типові маршрути обробки зубчастих коліс усіх груп, виходячи з того, що заготовки виконані штампуванням на механічних пресах чи горизонтально-кувальних машинах.

Виготовлення зубчастих коліс складається з декількох етапів, таких як:

- ☞ обробка всіх циліндричних і торцевих поверхонь на токарних верстатах;
- ☞ нарізання зубів зубчастих коліс;
- ☞ термічна обробка, якщо вона передбачена технологією;
- ☞ доведення зубів зубчастих коліс до заданої точності і якості.

Обробка на першому етапі починається з підготовки базових поверхонь, які визначаються по аналізу конструкції деталі та умов роботи деталі у вузлі чи машині. Надалі, використовуючи технологічні бази, нарізають зуби на вінцях або використовують методи пластичної деформації для їх отримання, а потім виконують чистові методи обробки такі як шевінгування, шліфування, обкатка, хонінгування та інші.

Шевінгування краще усуває похибки попередньої обробки зубів, коли похибки розосереджені по всіх зубах колеса, що має місце при зубофрезеруванні. Крім того, при зубофрезеруванні утворюється хвилеподібна поверхня зуба, при якій шевер краще знімає похибки попередньої обробки. Тому в маршруті переважніше застосовувати зубофрезерування, яке продуктивніше від зубодовбання на 15–20 %. У тих випадках, коли немає достатнього виходу для черв'ячної фрези, варто застосовувати зубодовбання. Це відноситься в першу чергу до двох- і трьохвінцевих коліс.

Можна дати наступні обґрунтування вибору того чи іншого маршруту по обробці зубів коліс.

Якщо треба виготовляти зубчасте колесо 8-ї степені точності та його не потрібно піддавати термічній обробці, то шевінгування не обов'язкове, тому що необхідна точність забезпечується чистовою обробкою зубів на зубофрезерних верстатах черв'ячними фрезами зі шліфованими зубами.

Якщо колесо треба гартувати, то при термічній обробці можна отримати деформування зуба і втрату однієї степені точності. У цьому випадку необхідно ввести операцію шевінгування до термічної обробки та обробляти деталь до 7-ї степені точності перед термічною обробкою, для того щоб після неї гарантувати одержання 8-ї степені точності.

Колеса 7-й і навіть 6-й степені точності в остаточному виді після термічної обробки можуть бути забезпечені, якщо деформування зубів буде у межах 0,04–0,06 мм та до термічної обробки зуби будуть оброблені на шевінгувальному верстаті на одну степінь точності вище, ніж потрібно в остаточному виді.

Якщо деформування зуба буде більше 0,06 мм, то шевінгування до термічної обробки мало допоможе і замість нього треба вводити зубошліфування після термічної обробки.

Зубчасті колеса 6-ї степені точності, термічно оброблені, одержати за допомогою одного шевінгування вдається тільки в окремих випадках. У більшості випадків потрібно вводити маршрут шліфування зубів.

При більш високих точностях вводять подвійне зубошліфування (чорнове і чистове). Процес зубошліфування дорогий і у порівнянні з іншими операціями – малопродуктивний. Тому його треба вводити у випадках неможливості забезпечити стабільну точність шевінгуванням.

Наступні операції після термічної обробки, наприклад, калібрування отвору, обумовлюються тим, що при термічній обробці не тільки деформується зуб, але і змінюється форма отвору, який стає конусним або овальним до 0,05 мм, а іноді і вище.

Зубофрезерування при малих модулях (до $m = 3$ мм) здійснюється в один прохід. При $m > 3$ мм операцію розбивають на чорнову і чистову. При чистовому зубофрезеруванні фрезою зі шліфованим зубом досягається на нових верстатах 7-а степінь точності коліс і чистота Ra 2,5. При застосуванні двухзахідної фрези продуктивність підвищується приблизно у 1,5 рази але зменшується точність.

У масовому виробництві застосовують також багаторізцеве зубодовбання, при якому спеціальною багаторізцевою головкою утворюють усі впадини між зубами відразу на спеціальних верстатах типу 5120.

Накочування коліс з одержанням цих степенів виконують на верстатах Харківського тракторного заводу і верстатах інституту "Оргстанкинпром" при виготовленні тракторних зубчастих коліс. Накочування забезпечує економію металу, підвищення продуктивності та міцності поверхневого шару зубів. Порядок послідовності обробки таких деталей трохи змінюється.

Нарізування коліс із внутрішнім зубом виконується в основному на зубодовбальних верстатах вертикального типу, що працюють також по методу обкочування.

Нарізування коліс із шевронним зубом може бути виконано:

- на звичайних зубофрезерних верстатах, якщо колеса мають прорізану канавку між зубами із шириною, достатньою для виходу модульної фрези;
- на спеціальних горизонтальних двухшлindelьних зубодовбальних верстатах. Довбач виконують зворотно-поступальний рух уздовж горизонтальної вісі. Коли правий довбач робить робочий хід, лівий повертається у вихідне положення (неробочий хід). Після цього напрямку руху змінюється. За час повздовжнього переміщення довбач повертається навколо своєї вісі.

Шевінгування зубів виконується круглим шевером на спеціальних шевінгувальних верстатах.

Круглий шевер 1 (рис. 7.36, а) знаходиться в зачепленні з оброблюваним зубчастим колесом 2, закріпленим на оправці, затиснутій у центрах на столі 3, яка разом з деталлю обертається від шевера.

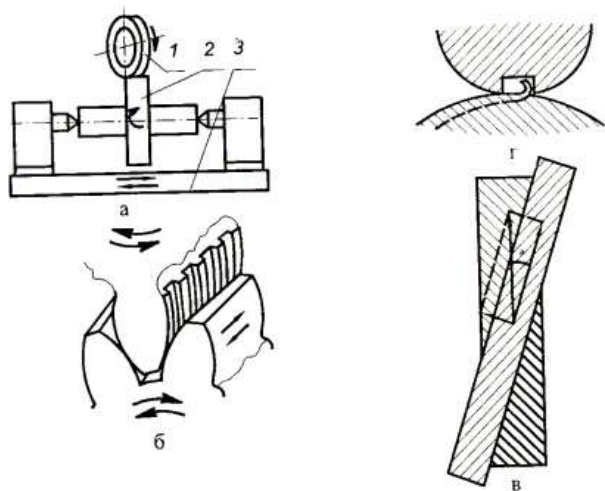


Рис. 7.36 – Схема шевінгування зубчастих коліс:
а – схема установки деталі на столі при шевінгуванні шевером;
б – напрямки рухів інструмента і деталі; **в** – кут схрещування осей; **г** – форма стружки

Стіл має поступально-поворотні переміщення, які забезпечують отримання бочкообразної форми зуба. По закінченні подвійного ходу стіл з подається в сторону деталі на 0,02–0,04 мм за подвійний хід. Припуск під шевінгування 0,1–0,2 мм знімається за 5–10 ходів. Крайки, що ріжуть, на шевері утворені канавками на профілі зуба шевера (рис. 7.36, б).

Шевер і деталь установлюються зі схрещеними осями (рис. 7.36, в) під кутом нахилу зуба шевера при шевінгуванні прямозубих коліс і під кутом нахилу зуба косозубого колеса при шевінгуванні прямозубим шевером, щоб було ковзання крайок шевера, що ріжуть, щодо поверхні зуба для зняття стружки (рис. 7.36, г). Час обробки 1,5–2,5 с. на один зуб. Діаметр шевера 150–170 мм, ширина 19 мм.

Норми точності коліс після шевінгування наступні: радіальне биття – 0,02 мм; нерівномірність окружного кроку 0,015 мм, накопичена помилка кроку 0,04 мм, відхилення по напрямку зуба 0,015 мм.

Перед операцією шевінгування зуби повинні бути ретельно оброблені черв'ячною фрезою зі шліфованими зубами. Грубо нарізані зубчасті колеса погано виправляються шевером.

Шліфування зубів коліс виконують після термічної обробки. Ця операція вводитьься при виготовленні точних коліс (6-ї та 5-ї степені точності). Деформація зуба при термічній обробці більше 0,05 мм та биття діляльного кола більше 0,1 мм також викликає необхідність шліфування зубів, тому що при таких відхиленнях зубів притирання не може виправити похибок.

Верстати для шліфування зубів працюють по одному з трьох способів:

а) копіюванням, при якому шліфують впадину між зубами, копіюючи профіль шліфувального круга; цей спосіб називають також способом розподілу на відміну від способів обкочування (рис. 7.37, а). Після чорнового шліфування всіх впадин за декілька обертів деталі шліфувальний круг автоматично правиться за профілем трьома алмазними карандашами (рис. 7.37, б). За час чистового шліфування зубчасте колесо може зробити кілька обертів;

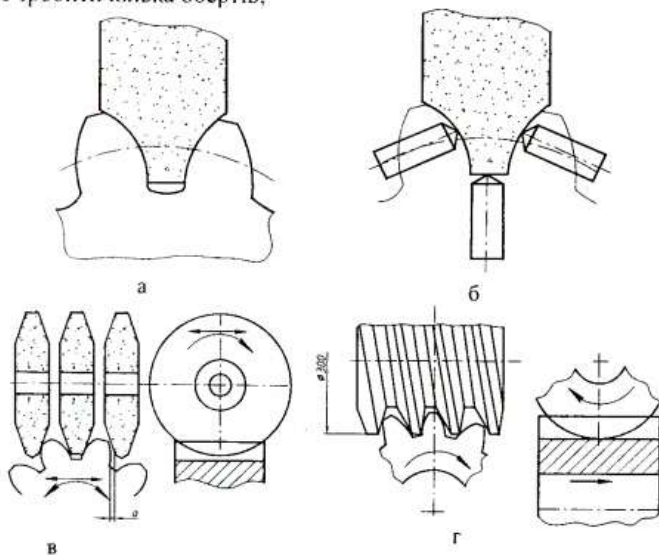


Рис. 7.37 – Схеми зубошліфування

б) обкочуванням зуба дисковими шліфувальними кругами, що мають прямолінійні бічні сторони профілю рейки (рис. 7.37, в): два крайніх круги виконують попередню, а середній чистову обробку; розмір a відповідає припуску на чистове шліфування. У більшості випадків ці верстати працюють з одним, середнім кругом, внаслідок труднощів заточування трьох кругів; після шліфування зубчасті колеса мають 5–6-у ступінь точності. Продуктивність у 3–5 разів нижче способу копіювання;

в) обкочуванням зуба черв'ячним кругом (рис. 7.37, г): принцип дії аналогічний принципу зубофрезерування, але замість фрези встановлено черв'ячний шліфувальний круг. Колеса мають 5–6-у ступінь точності; продуктивність цього способу в 5 разів вище способу шліфування обкочуванням. На верстатах заводу "Комсомолец" можна шліфувати зуб з модулем до 4 мм. При модулі 1 мм зуб вишліфовується з цілої заготовки без попередньої нарізки. Виправлення (правка) профільного круга (до модуля 2 мм) виконується різьбовим роликом. Витрати часу при різних способах обробки на один зуб при модулі 2–3 мм складають:

Таблиця 7.3 – Витрати часу при різних способах обробки

Спосіб обробки	Час, с
Копіюванням	30–40
Обкатуванням з одиничним розподілом	70–90
Безупинним обкатуванням черв'ячним кругом	16

Останнім часом застосовують новий метод оздоблювальної обробки зубів хонінгуванням. Зубчастий хон типу зубчастого колеса зроблений з особливої суміші з абразивним порошком. Процес хонінгування виконується при зачепленні колеса з хоном із приторможуванням інструмента або деталі на верстаті типу шевінгувального, але без радіальної подачі. При хонінгуванні колесо робить обертальний примусовий реверсивний рух та зворотно-поступальний уздовж своєї вісі. Хонінгування починає застосовуватися для коліс з модулем $m > 6$ мм. Припуск не повинний перевищувати 0,02–0,05 мм.

7.4.7. Методи контролю зубчастих коліс

При контролі зубчастих коліс перевіряють наступні параметри:

а) биття базового торця (до нарізування зубів) перевіряють індикатором;

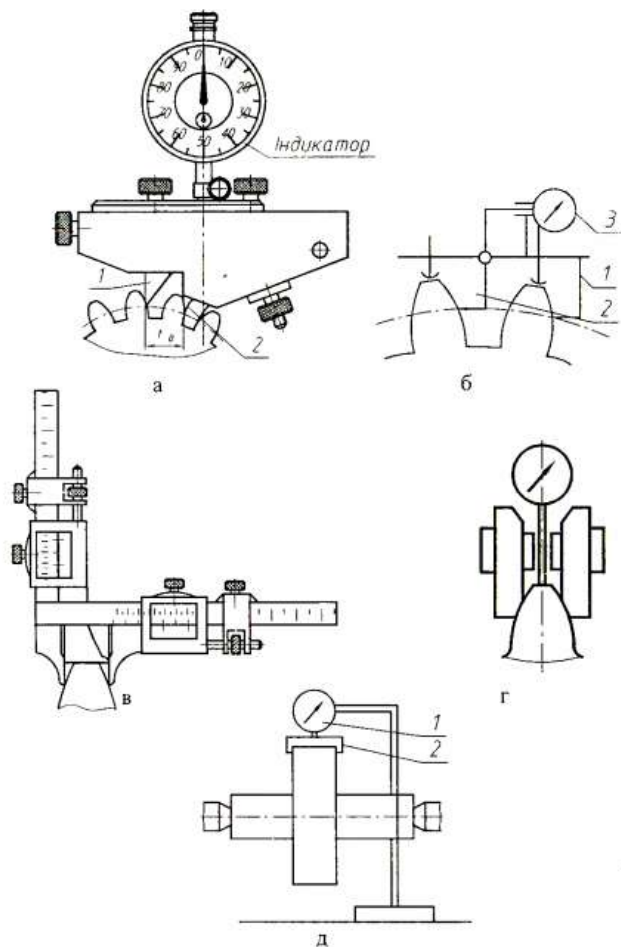


Рис. 7.38 – Контроль зубчастих коліс: а, б – контроль кроку зубів; в – контроль товщини зуба по початковій лінії за допомогою штангензубоміра; г – контроль товщини зуба по початковій лінії за допомогою індикаторного пристрою; д – контроль радіального биття зубчастого вінця

б) відхилення основного кроку перевіряють крокоміром по різниці дійсної і номінальної відстаней між рівнобіжними дотичними до двох сусідніх однойменних профілів зубів (рис. 7.38, а). Жорсткий упор 1 і рухомий упор 2 мають дві рівнобіжні площини, що відтворюють обкат колеса з рейкою. Ціна поділки індикатора 5 мкм. У лабораторіях основний крок може бути перевірений також на стаціонарних приладах:

в) різниця окружних кроків перевіряється за допомогою приладу за різницею відстаней між будь-якими окружними кроками по одній окружності колеса (рис. 7.38, б). На приладі один упор 1 – жорсткий, інші – 2 рухливі та пов'язані з індикатором 3;

г) накопичена похибка окружного кроку визначається виміром окружних кроків послідовно по всіх зубах і подальших підрахунках за відомими формулами, що є в довідниках;

д) похибка профілю перевіряється порівнянням дійсного профілю по евольвентоміру з теоретичною евольвентою;

е) товщина зуба коліс, перевіряється кромочним штангензубоміром (рис. 7.38, в);

ж) зміщення вихідного контуру перевіряється тангенціальним зубоміром як радіальне положення вихідного контуру відносно окружності виступів (рис. 7.38, г);

з) радіальне биття зубчастого вінця перевіряють на приладі виміром відхилення показань індикатора 1 по ролику 2, що вставляється до впадини зубів (рис. 7.38, д).

Довжина L , загальної нормалі перевіряється індикаторною чи жорсткою плоскопаралельною скобою.

У цехових умовах крупносерійного і масового виробництва користуються в основному приладом для комплексної перевірки в щільному зачепленні з еталонним зубчастим колесом (двохпрофільна перевірка).

7.5. Виготовлення втулок

У машинах легкої промисловості широке застосування одержали деталі, що представляють тіла обертання. Їх умовно поділяють на три класи: вали, втулки та диски. У цьому підрозділі ми розглянемо обробку втулок.

Ці деталі характеризують внутрішні циліндричні поверхні, а довжина, як правило, дорівнює або менше двох діаметрів (рис. 7.39).

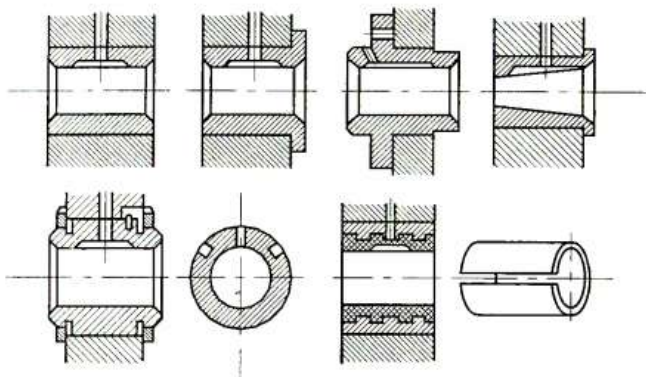


Рис. 7.39 – Конструктивні різновиди підшипникових втулок

Призначення втулок – підтримувати у визначеному постійному положенні деталі циліндричної форми в корпусних деталях, оскільки валики, вісі мають обертальне або поступальне переміщення по внутрішній поверхні втулки.

Робочі поверхні втулок мають мастильну канавку і поперечний отвір для підведення мастила. Втулки виготовляють з таких матеріалів як сталь, сірий або ковкий чавун (антифрикційний), латуні, бронзи, спеціальні сплави, металокераміка і пластмаси.

Види заготовок. Для втулок з діаметром отвору до 20 мм заготовкою служать калібровані чи горячекатані прутки, а також литі стрижні. Для втулок з діаметром отвору більше 20 мм застосовують суцільнотягнуті труби чи порожні виливки, при цьому здійснюють лиття: у піщані форми (машинне формування), у постійні металеві форми, відцентрове лиття і під тиском.

Згорнуті тонкостінні втулки з відкритим швом одержують з латунного або бронзового смугового матеріалу, а також з біметалічних стрічок.

Заготовки з металокерамічних матеріалів одержують пресуванням з наступним спіканням. Заготовки з пластмас – пресуванням.

Технічні умови на виготовлення втулок. Діаметри зовнішніх поверхонь втулок виконують за 6-м або 7-м квалітетом точності; отвори – за 6-м, рідше за 7-м, а для відповідальних сполучень – за 5-м квалітетом точності.

Отвори остаточно обробляються після запресовування втулок, тому що після запресовування вони деформуються.

Неперпендикулярність торцевих площин до вісі отворів допускається до 0,2 мм на 100 мм довжини радіуса; при осьовому навантаженні на торці неперпендикулярність не повинна перевищувати 0,02...0,03 мм.

Чистота для зовнішніх поверхонь обертання відповідає $Ra\ 2,5...1,25$; для отворів – $Ra\ 2,5...0,16$; для торцевих поверхонь $Ra\ 10...5$, а для торцевих поверхонь, що сприймають осьові навантаження – за $Ra\ 2,5...0,63$.

Технологічні задачі обробки втулок полягають у досягненні концентричності зовнішніх поверхонь щодо отвору і перпендикулярності торців до вісі отвору. Для тонкостінних втулок виникає додаткова задача закріплення заготовки при обробці без відчутних для неї деформацій. Також при виготовленні втулок виникають задачі:

- одержання правильної геометричної форми і розмірів зовнішніх, внутрішніх і торцевих поверхонь.
- одержання концентричності зовнішніх поверхонь щодо отвору і перпендикулярності торцевих поверхонь до вісі отвору можна вирішити трьома способами:
- обробкою зовнішніх поверхонь, отвору і торців за одну установку, обробкою всіх поверхонь;
- обробкою отвору і торців за два установи або за дві операції з базуванням (при остаточній обробці отвору) по зовнішній поверхні;
- обробкою всіх поверхонь за два установи або дві операції з базуванням (при остаточній обробці зовнішньої поверхні) по отвору.

При обробці заготовки за одну установку з прутка (чи за два установи з базуванням при остаточній обробці отвору по зовнішній поверхні) базовою є зовнішня поверхня. Зовнішніми поверхнями деталі кріпляться в цангових, 3-х або 4-х кулачкових патронах. Це пристосування, установлені на шпинделі верстата і призначені для закріплення коротких заготовок ручним або механізованим приводом. Механізований привід може бути пневматичним, гідравлічним, електромеханічним.

По конструкції елементів, що закріплюють заготовку, патрони бувають кулачковими, цанговими, мембранними з пружною оболонкою тощо. Патрони з розсувними кулачками універсальні і можуть закріплювати заготовки втулок по внутрішній поверхні. Вони поділяються по кількості кулачків на двох-, трьох- і чотирьохкулачкові; можуть бути

такими, що самоцентруються і з незалежним переміщенням кулачків, універсальними і спеціальними. Патрони, що самоцентруються, при закріпленні сполучають геометричну вісь заготовки з геометричною віссю шпинделя верстата. Найбільш поширені трьохкулачкові патрони, призначені для кріплення циліндричних заготовок. Двохкулачкові патрони використовують для закріплення несиметричних або фасонних заготовок. Чотирьохкулачкові патрони мають незалежне переміщення кожного кулачка і застосовуються для обробки деталей складної конфігурації, несиметричних, ексцентричних (вилівки, кування).

Токарні кулачкові патрони розрізняються і по конструкції механізму, що переміщує кулачки патронів, що самоцентруються, на: клинові, важільно-клинові, спірально-рейкові, гвинтові тощо. Установка деталі по отвору найчастіше виконується за допомогою оправок. Оправки бувають із затисками, що самоцентрують, тобто одночасно центрують і закріплюють заготовку по центральному отвору. У конфігураціях деяких оправок центральний отвір заготовки використовується тільки для центрування, а закріплення здійснюється по торцях. За способом установки на верстаті оправки поділяють на центрові, фланцеві і консольні (або шпindelні). Центрові оправки встановлюються в центрах верстата, фланцеві кріпляться до планшайби, шпindelні встановлюють у корпусі шпинделя по внутрішньому конусу Морзе. Центрові оправки в порівнянні з фланцевими, і шпindelними відрізняються більшою жорсткістю, тому можуть застосовуватися при обробці порівняно довгих заготовок (звичайне відношення довжини заготовки до діаметру $l/d > 1$). Їх поділяють на жорсткі, що центрують (затискні механізми яких мають постійні або практично постійні діаметри) і розтискні, у яких діаметральні розміри затискного механізму, що центрує, істотно збільшуються.

До жорстких відносяться оправки: конічні, для установки заготовок з гарантованим натягом, для установки заготовок з гарантованим зазором, різьбові, шлицеві і зі сферичними базовими елементами. Конічні оправки (конусність $1/1500 - 1/2000$), що фіксують деталь в осьовому напрямку застосовуються в одиничному і серійному виробництвах, оправки, на які оброблювану заготовку садять з натягом, забезпечує точне центрування, але установка і зняття деталі дуже трудомісткі. Охолоджувані оправки – різновид оправок для установки заготовок з гарантованим натягом. На відміну від звичайних охолоджувані оправки за-

стосовується для обробки тонкостінних заготовок великого діаметру. Зовнішній діаметр оправки обробляється по максимальному розміру отворів оброблюваної заготовки з гарантованим натягом 0,01 мм. Перед установкою заготовки оправки охолоджують рідким азотом, при цьому діаметр оправки зменшується. Після вільної установки заготовки, оправки нагріваються до чавколишньої температури, збільшуються в розмірі діаметра і заготовка закріплюється.

Циліндричні ступінчасті центрові оправки призначені для установки деталей при точній обробці їх на токарних, шліфувальних і інших металорізальних верстатах, а також для контролю деталей на радіальне биття. Розтискні оправки поділяють на дві групи – із жорсткими і пружними затискними елементами, що центрують. До розтискних оправок із жорсткими елементами, що центрують, відносяться: грибокві, кулачкові, із гвинтами, що самогальмують.

До розтискних оправок із пружними затискними елементами, що центрують, відносяться цангові з:

- тарілчастими пружинами;
- пружними розтискними шайбами;
- розрізною оболонкою;
- розрізними конічними кільцями;
- розрізними конічними втулками;
- гумовими кільцями;
- роликовою втулкою;
- тонкостінною оболонкою і гідропластовим або з рідким наповнювачем;
- гофрованими втулками.

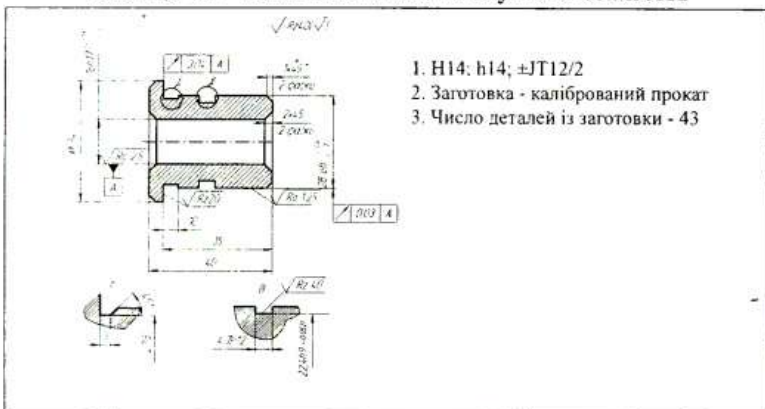
Оправки з розрізною втулкою використовуються для обробки заготовок типу втулок і гільз на токарних і круглошліфувальних верстатах. Заготовку встановлюють на розрізну втулку з гарантованим зазором. При тиску по торцю оправки розрізна втулка разом із заготовкою переміщується уздовж конічної ділянки вала, розрізна втулка розширюється і закріплює заготовку. Оброблена заготовка легко знімається при ударі по правому торцю оправки. Оправки зручні в роботі, але не забезпечують фіксованого положення заготовки уздовж вісі.

Гідропластові оправки з пружною гільзою використовуються на фінішних операціях обробки точних зубчастих коліс, кілець, втулок, гільз (у тому числі тонкостінних). Базові отвори заготовок повинні мати циліндричну форму не менше 28 мм по діаметру.

Найбільш надійно працюють гідропластові оправки при обробці заготовок з діаметром базового отвору 40 мм і більше.

В оправках використовується гідропластмаса марки СМ, що передає тиск на значні відстані за законом Паскаля і являє собою речовину, що володіють "структурною в'язкістю", тобто здатністю зберігати просторову структуру, усуваючи властивості плинності при зазорах менш 0,05 мм.

Таблиця 7.4 – План виготовлення втулки зі сталі А12



Номер операції	Назва і зміст операції	Верстат і пристрій
1	2	3
010	<i>Правильна.</i> Правити пруток	Прес И5526
020	<i>Відрізна.</i> Відрізати групову заготовку Ø34h11 у розмір 2000	Абразивно-відрізний 8Б242
030	<i>Токарно-гвинторізна.</i> Заправити кінці прутка фасками під кутом 20°	Токарно-гвинторізний 16Б16; патрон трикулачковий
040	<i>Токарно-автоматна.</i> Підрізати торець, центрувати отвір під свердління з утворенням фаски 1,5 × 45°, свердлити і зенкерувати отвір Ø 16H7 до 15,79H11 під розвертання, точити поверхню Ø 28e8 до Ø 28,4h11 під шліфування, точити дві канавки і фаску 1 × 45°, відрізати деталь у розмір 40,5h16	Токарно-револьверний прутковий автомат 1Е140; патрон цанговий з вкладкою Ø 34

Продовження табл. 7.4

050	Токарно-револьверна. Підрізати другий торець у розмір 40h14, точити і розточити 2 фаски, розвернути отвір Ø 16H7 остаточно	Токарно-револьверний 1M340ПЦ; патрон цанговий з вкладкою Ø 28.4
060	Круглошліфувальна. Шліфувати Ø 28e8 остаточно	Круглошліфувальний 3M153; оправки, центри, хомутки, прилад активного контролю
070	Мийна. Промити деталь	Мийна машина
080	Контрольна	Стіл контролера
090	Антикорозійна. Нанести антикорозійне мастило	

Поряд з гідропластмасовими знаходять застосування оправки з рідким наповнювачем, у якості якого найчастіше використовують машинну олію.

Оправки з гофрованими втулками відносяться до найбільш точних. Гофрована втулка – це пружна деталь зі сполучених ділянок у виді кілець і тонкостінних циліндричних оболонок.

Під дією осьової стискаючої сили навантажена гофрована втулка пружно деформується. Її зовнішній діаметр збільшується, а внутрішній – зменшується. По внутрішньому діаметру втулка центрується і закріплюється на валу оправки, по зовнішньому – точно центрує і закріплює заготовку.

Технологічний процес механічної обробки багато в чому залежить і від типу виробництва. На токарних верстатах зручно робити зовнішнє обточування або внутрішнє розточування різцем, але такі переходи, як свердління, зенкерування і розгортання, тут виконуються у край не вигідних умовах, тому що приходиться закріплювати інструмент у задній бабці з ручною подачею.

Така обробка “втулок” і “дисків” на токарних верстатах може бути виправдана тільки в індивідуальних виробництвах і ремонтних цехах.

Багато деталей типу “втулок” і “дисків” обробляють на револьверних верстатах: розточування та обточування. Іноді вигідно отвір обробити на свердлильному верстаті, а обточування зробити на токарному верстаті, установивши оброблювану деталь на оправку.

У табл. 7.3 приведений технологічний процес обробки втулки зі сталі А12.

7.6. Технологія виготовлення важелів

До деталей даного класу відносяться власне важелі, тяги, серги, вилки, балансири. Особливу групу деталей представляють шатуни. Конструктивні різновиди важелів показані на рис. 7.40.

Деталі класу важелів мають два отвори чи більше, вісі яких розташовані паралельно чи під прямим кутом. Тіло важелів являє собою стрижень, що не володіє достатньою жорсткістю. У деталях цього класу крім основних отворів обробці піддають шпонкові чи шлицеві канавки, кріпильні отвори і прорізи в головках.

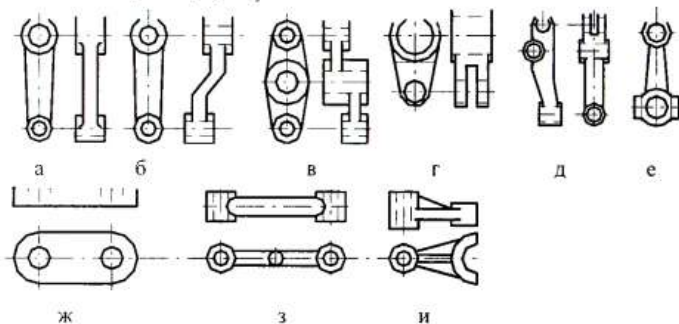


Рис. 7.40 – Конструктивні різновиди важелів: а – прямий; б – вигнутий; в – з центральним отвором; г – вильчатий; д – з пересічними вісями; е – з різною головкою; ж – серга; з – тяга; и – вилка перемикачя

Торці основних отворів і стрижні шатунів часто не обробляють. Матеріалом для виготовлення важелів служить сталь 35, ковкий чавун і рідше сірій. Особливо відповідальні важелі виконують з легованої сталі.

Основні технічні умови на виготовлення важелів:

– забезпечення правильної геометричної форми основних отворів і їх торців;

– забезпечення заданих розмірів, з яких головними є діаметри основних отворів, відстані між їхніми осями і відстані між торцями головок; діаметри основних отворів виконують за 6...8-м квалітетом точності; відстані між їх осями з точністю 0,05...0,2 мм, відстані між торцями головок за 9...10-м і шпонкові пази за 8-м квалітетами точності;

– забезпечення взаємного розташування поверхонь: паралельність осей основних отворів витримують у межах 0,05...0,25 мм на 100 мм довжини; перпендикулярність торцевих поверхонь головок до осей основних отворів 0,1...0,3 мм на 100 мм радіуса; паралельність торцевих поверхонь головок між собою у межах 0,05...0,25 мм на 100 мм довжини; у вилку забезпечують перпендикулярність торців лапи і торців головки до вісі основного отвору у межах 0,1...0,3 мм на 100 мм довжини; неспіввісність основних отворів зовнішньої поверхні головок з умов міцності головок тяг, серг та інших деталей, підданих осьовому навантаженню, не більш 0,5...1 мм;

– шорсткість поверхні основних отворів витримують у межах Ra 2,5...0,5 мкм, а для торців головок Ra 3,2 мкм. Для усунення можливого скривлення важелі зі сталі і ковкого чавуна часто піддають виправленню до та у процесі обробки.

При виготовленні заготовок важелів куванням бажані прості форми, обкреслені плоскими та циліндричними поверхнями. Варто уникати складних перетинань і ребристих перетинів. При виготовленні заготовок штампуванням обрана поверхня рознімання повинна забезпечувати легку виїмку заготовки зі штампа і достатнє заповнення його рельєфу металом. Краща симетрична форма заготовки щодо поверхні рознімання і роз'єднання штампа по плоскій поверхні (а не по криволінійній). Це полегшує процес штампування і спрощує виготовлення штампів. Необхідно прагнути до можливо меншої різниці площ поперечних перерізів деталі по її довжині і до відсутності тонких стінок, високих ребер, довгих і тонких відростків.

У масовому виробництві заготовки важелів одержують поперечно-гвинтовою прокаткою і куванням на кувальних вальцах. Ці методи високопродуктивні при високому коефіцієнті використання матеріалу. Плоскі важелі (типу серг) штамнують з листа відповідної товщини.

При виготовленні заготовок литтям переважніше прямолінійна форма важеля замість криволінійної. Це спрощує виготовлення моделі і форми, тому що допускає рознімання в одній площині. Конфігурація деталі повинна виключати необхідність підрізування поверхні рознімання і застосування окремих частин моделі для видалення її з форми. Заготовки важелів звичайно відливають у піщані форми. Заготовки сталевих важелів невеликих розмірів одержують литтям за виплавляємими моделями.

У масовому і серійному виробництвах обробку виконують у спеціальних пристосуваннях, забезпечуючи взаємне положення поверхонь важеля, відстаней між осями його основних отворів і торцями головок. Точність основних отворів досягають застосуванням мірного різального інструменту, а торцеві поверхні фрезерують, цекують чи шліфують.

Маршрут обробки різанням важелів наступний:

- ↳ послідовна або одночасна обробка торцевих поверхонь головок (у заготовок, що пройшли чеканку, що обробку часто не виконують);
- ↳ обробка основних отворів;
- ↳ обробка шпонкових пазів або шлицевих поверхонь в основних отворах;
- ↳ обробка допоміжних отворів, включаючи нарізування в них різьблень (якщо потрібно).

Застосовують також варіанти цього маршруту, у яких перша і друга операції змінюють місцями або поєднують в одну.

Для забезпечення регламентованого розподілу маси (для шатунів швидкохідних двигунів) наприкінці маршруту вводять операцію по зняттю необхідної кількості металу з невідповідальних частин заготовки. Ця операція супроводжується контролем на спеціальній установці. На окремих етапах обробки використовують різні технологічні бази. При фрезеруванні торцевих поверхонь головок за базу приймають поверхні стрижня важеля або поверхні головок; при їх шліфуванні за базу приймають протилежні поверхні головок, опираючи їх на поверхню магнітного столу. Для обробки основних отворів як базу вибирають оброблені поверхні головок і їх зовнішні поверхні, у результаті чого забезпечується рівна товщина стінок головок. Наступні заключні етапи обробки виконують на базі одного або двох основних отворів з використанням опорного торця головки.

Принцип сталості баз може бути цілком витриманий при обробці в пристосуваннях-супутниках на автоматичних лініях. У цьому випадку важелі базують і закріплюють за їхній стрижень. Аналогічна схема зустрічається при обробці невеликих важелів у поворотних пристосуваннях в умовах потокового виробництва. Всі операції обробки, включаючи цекування торців головок, виконують на вертикальних або радіально-свердлильних верстатах.

Поверхні головок доцільно фрезерувати одночасно з двох сторін на горизонтально-фрезерному верстаті набором фрез з установкою заго-

товки 1 у пристосування (рис. 7.41). Для підвищення продуктивності на столі верстата можуть бути встановлені два пристосування 3, і обробку заготовок 2 набором фрез 1 виконують з маятниковою подачею столу 4 (рис. 7.42) або пристосування 3 установлюють на поворотний стіл.

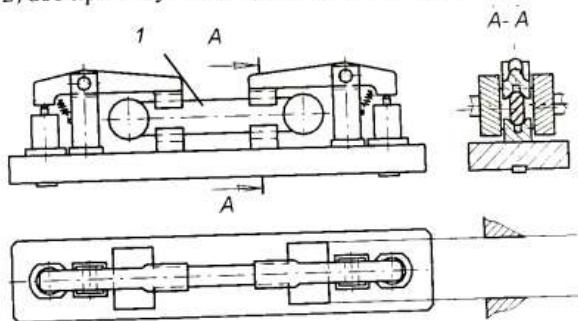


Рис. 7.41 – Схема фрезерування торців головок важелів

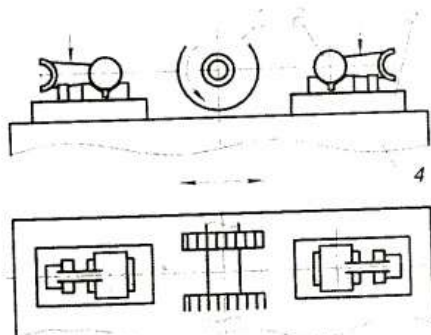


Рис. 7.42 – Схема маятникового фрезерування поверхнь головок

Заготовку 2 встановлюють у пристосування за час обробки набором фрез 1 іншої заготовки в другому пристосуванні. Найбільш технологічні такі конструкції шатунів, у яких поверхні головок з кожної сторони розташовані на одному рівні; це дозволяє вести їх обробку за один робочий хід. Характерним просторовим відхиленням заготовки, яке необхідно враховувати при розрахунку припусків на торцеві поверхні головок, є покороблення.

При груповій обробці застосовують спеціальні багатомісні пристосування (рис. 7.43) та багатоінструментальні налагодження.

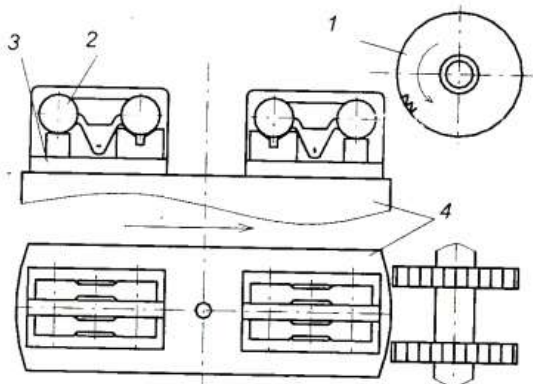


Рис. 7.43 – Схема багатомісного фрезерування поверхнь головок

У масовому і крупносерійному виробництві обробку основних отворів виконують на агрегатних багатошпindelних одно- і багатопозиційних верстатах, на вертикально-свердильних верстатах із застосуванням багатошпindelних головок, а також на протяжних верстатах. У серійному виробництві основні отвори обробляють на радіально- і вертикально-свердильних верстатах зі зміною інструмента в одній операції і швидкозмінних втулок у кондукторах.

Основні отвори обробляють по маршруту: свердління, зенкерування, одне- або дворазове розгортання. Застосовують також маршрут: свердління, протягування чи прошивання. Для досягнення точності 5-го квалітету і шорсткості $Ra < 0,32$ мкм здійснюють тонке розточування і хонінгування. Отвори діаметром більше 30 мм одержують прошиванням або литтям (у невеликих важелях, одержуваних точним литтям, можна одержувати отвори і меншого діаметра). У цьому випадку в маршрут включають замість свердління попереднє зенкерування і наступні чистові методи обробки.

Найбільша паралельність осей отворів досягається при одночасній їх обробці декількома інструментами на багатошпindelних верстатах; трохи менша точність забезпечується при послідовній обробці, але при одному закріпленні заготовки (обробку здійснюють з переміщенням

столу розточувального верстата чи на радіально-свердлильному верстаті); найменшу точність отримують при послідовній обробці отворів на різних верстатах і у різних пристосуваннях. Для досягнення паралельності осей отворів стрижень важеля при закріпленні не повинний піддаватися вигину від прикладання затискних сил до головок важеля (рис. 7.44).

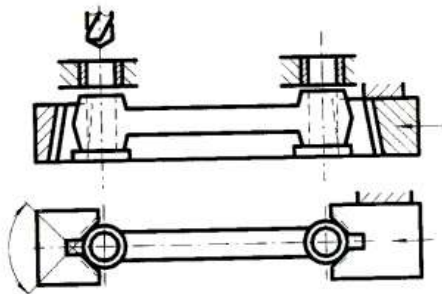


Рис. 7.44 – Схема свердління отвору в головці важеля з базуванням її по контуру

Непаралельність осей отворів усувають холодним виправленням важелів під пресом або вручну в спеціальних пристосуваннях з наступним контролем.

В одиничному і дрібносерійному виробництві важелі обробляють за розміткою без пристосувань чи з використанням пристосувань переналагоджуваних типів. Основні отвори та торці обробляють на вертикально-розточувальних верстатах, а у важелях малих розмірів і на токарних. При обробці на вертикально-розточувальних верстатах без пристосувань заготовку встановлюють з вивіркою по рисках, розмітці і з кріпленням її прихватами. При одній установці намагаються обробити найбільшу кількість поверхонь заготовки, переміщуючи стіл у поперечному і повздовжньому напрямках. Точність отворів досягається застосуванням мірного різального інструмента, чи чистовим розточуванням по методу пробних робочих ходів і вимірів. Міжосьові відстані забезпечуються координатним методом розточування, відстані між торцями головок – методом пробних робочих ходів (рис. 7.45). Обробку виконують за два установи; при першому установі обробляють торці головок з одного боку, при другому – торці головок з іншої сторони і основні от-

вори важеля: у наступних операціях обробляють інші поверхні (шпонкові пази, дрібні отвори тощо) на фрезерних і свердлильних верстатах з використанням вже оброблених поверхонь, як бази для установки і вивірки. У масовому і крупносерійному виробництві важелі контролюють за допомогою пристосувань, а у виробництвах інших видів за допомогою універсальних вимірювальних засобів.

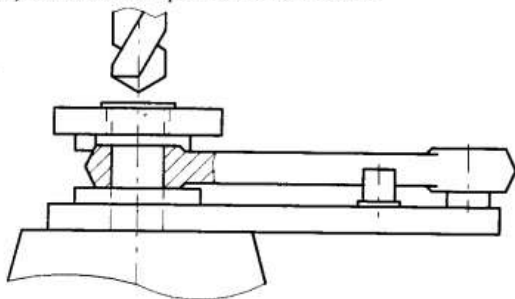


Рис. 7.45 – Схема свердління отвору в головці важеля з базуванням по отвору в другій головці

Неплоскощинність торців головок перевіряють на контрольній плиті щупом. Відстань між всіма отворами вимірюють, вставляючи в них гладкі контрольні оправки, а також вимірюючи мікрометром або скобою відстань між оправками. Відстань між всіма дорівнює обмірюваному за винятком радіусів оправок. Співвісність розташування отворів у вильчатих важелів визначають гладким контрольним валиком, що повинний без заїдань входити в оба отвори. Непаралельність осей отворів перевіряють у такий спосіб. В отвори важеля вставляють контрольні валики (рис. 7.46).

Важіль встановлюють у вертикальне положення на призми. При погойдуванні важеля на нижнім оправленні визначаються показання двох індикаторів 1 і 2, розташованих на однакових відстанях a від торців верхньої головки. Різниця показань цих індикаторів вказує на непаралельність осей отворів. Різниця показань двох горизонтально розташованих індикаторів, які торкаються поверхонь 3 і 4 виявляє перехрещування осей отворів важеля в просторі, доведеного до упора 5. Перпендикулярність торців головок до осей основних отворів перевіряють індикатором при установці важеля на контрольному оправленні у

центрах (рис. 7.47) або за допомогою щупа, використовуючи контрольний валик.

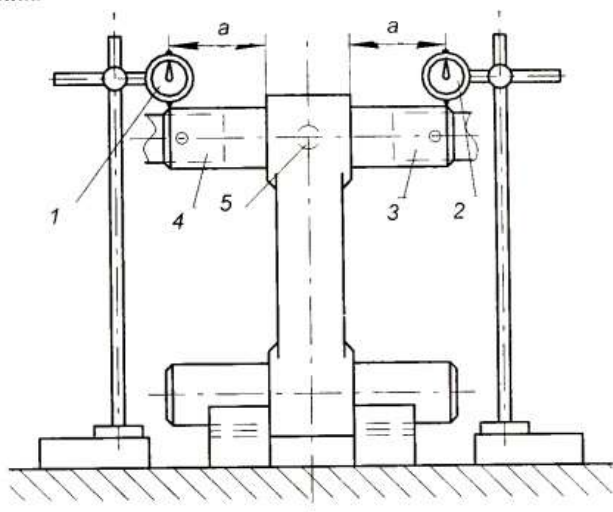


Рис. 7.46 – Схема контролю паралельності отворів у голівках важелів

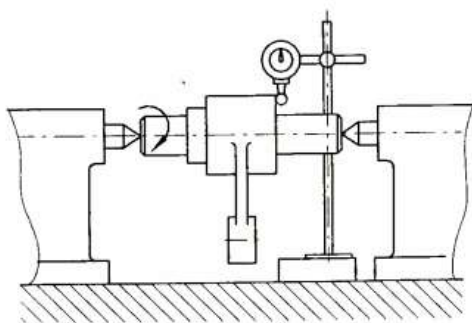
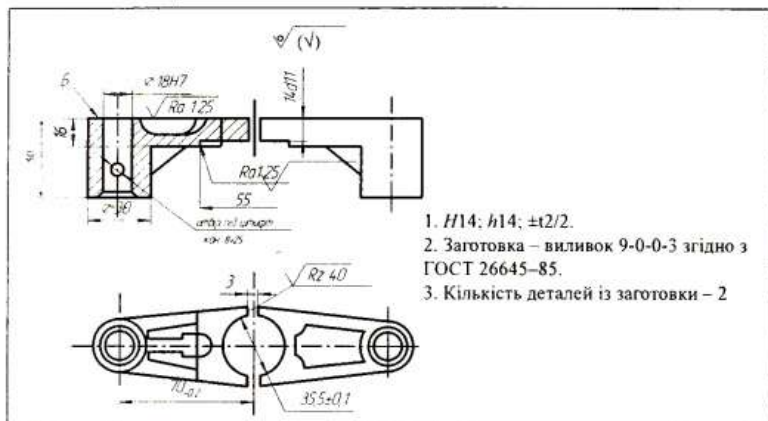


Рис. 7.47 – Схема контролю перпендикулярності торця до вісі

Таблиця 7.5 – План виготовлення вилки зі сталі 40Л



1. H14; h14; ±t2/2.
2. Заготовка – вилков 9-0-0-3 згідно з ГОСТ 26645–85.
3. Кількість деталей із заготовки – 2

Номер операції 1	Назва і зміст операції 2	Верстат і пристрій 3
010	Заготовочна. Лиття, обрубка та очищення заготовки	
020	Термічна. Штучне старіння	
030	Фарбувальна. Покриття усіх поверхонь заготовки грунтом	
040	Вертикально-фрезерна з ЧПК. 1-а позиція: фрезерувати площину Б з припуском під шліфування, свердлити, розвернути 2 отв. Ø 18H7, розточити отв. Ø 35,5 ± 0,1; 2-а позиція: фрезерувати щічки у розмір 14,2 з припуском під шліфування, зенкувати фаски 1 × 45°	Вертикально-фрезерний з ЧПК та інструментальним магазином на 12 інструментів ГФ2171; налагодження ВЗПО двопозиційна чотирімісна
050	Вертикально-свердлильна. Свердлити 2 отв. Ø 8 під штифти	Вертикально-свердлильний 2Н118; кондуктор
060	Термічна. Гартувати щічки до 44...48...48 HRCe	Установка СВЧ
070	Шліфувальна. Шліфувати площину Б	Плоскошліфувальний 3П722ДВ; пристрій спеціальний

Продовження табл. 7.5

080	<i>Шліфувальна</i> . Шліфувати інший бік щічки у розмір $14d_{11}$	Ті самі та магнітна плита
090	<i>Розрізна</i> . Розрізати заготовку на дві деталі	Абразивно-відрізний 8Б262; пристрій спеціальний
100	<i>Зачисна</i> . Зачистити задирки, пригупити гострі краї	Машина для зняття задирок
110	<i>Мийна</i> . Промити деталь	Мийна машина
120	<i>Контрольна</i>	Стіл контролера
130	<i>Антикорозійна</i> . Нанести антикорозійне мастило	

7.7. Технологія виготовлення голок для швейних, взуттєвих і трикотажних машин

У швейній, взуттєвій, швейно-трикотажній, трикотажній, шкіряній і інших галузях легкої промисловості широко застосовуються різні машини, преси, апарати, у яких використовуються як робочі інструменти усілякі види і типи голок, різаків, фрез і ножів. У більшості випадків голки для швейних і взуттєвих машин являють собою сталевий стрижень (або прямий вигнутий) постійного чи перемінного перетину, загострений на одному кінці. Потовщена частина 1 голки (рис. 7.48) називається колбою.

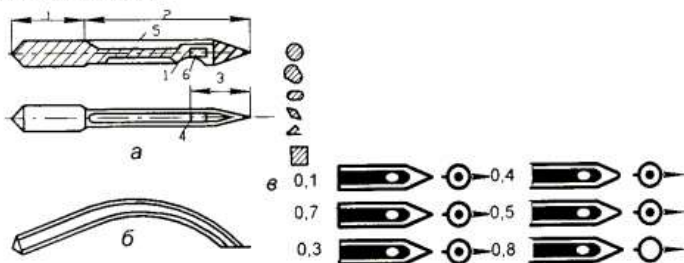


Рис. 7.48 – Машинні голки і форми заточення їх вістря:
а – пряма голка; б – крива голка; в – форми заточення;
г – варіанти круглого заточення вістря голок

Вона призначена для закріплення голки в голководії. Нижче колби розташовується стрижень 2 з вістря 3 на кінці. Біля вістря знаходиться вушко 4 голки. Стрижень голки має два канали (жолобки) – довгий 5 та

короткий б. У довгому жолобку міститься нитка при проколі матеріалу.

Цей жолобок захищає нитку від перетирання. Короткий жолобок вміщує нитку тільки на початку проколу матеріалу. При подальшому русі і зворотному ході голки нитка притискається стрижнем до стінки отвору проколу. З боку короткого жолобка, над вушком, голка має виїмку для кращого захоплення петлі верхньої нитки човником.

Для машин ланцюгового стібка, у яких голка зтягує стібки, голки виготовляють із двома довгими жолобками: глибоким і неглибоким (рис. 7.48, а). На машинах потайного стібка застосовують голки вигнутої форми (рис. 7.48, б). Голки, використовувані при обробці виробів із різних матеріалів, мають різну форму заточення вістря: круглу, овальну, лопаткою, ромбовидну, тригранну і квадратну (рис. 7.48, в). Для з'єднання тканин і трикотажу застосовують голки з круглим конусним заточенням вістря. Вони не розрізають волокон пряжі, а розсовують їх бічною поверхнею свого вістря. Голки інших форм заточення вістря використовують для обробки виробів з натуральної і штучної шкіри. ГОСТ 22249–82Е передбачає кілька варіантів круглої форми заточення вістря, з яких шість, позначених цифрами 01–05 та 08 (рис. 7.48 г), призначені для виготовлення одягу з тканини і трикотажної полотнини. Цим же ГОСТ 22249–82Е голки підрозділяються на типи і на варіанти залежно від форми стрижня і заточення вістря, діаметра і довжини колби, довжини всієї голки і номера залежно від діаметра стрижня. Різні варіанти голок позначаються числом від 0,005 до 0,876. Кожен варіант виготовляється різних номерів (діаметр стрижня, помножений на 100), всього 26 номерів (з 60 по 400).

До голок пред'являються дуже жорсткі вимоги по точності і якості обробки. Кількість їх, споживана швейною і взуттєвою промисловістю, величезна. Так, наприклад, одна тільки фабрика "Скороход" для безперебійної роботи в рік витрачає близько 1,5 млн голок. Відповідно до технічних вимог поверхня леза готової голки повинна бути гладкою, однорідною по кольору, блискучою, що не допускає вм'ятин, рисок, раковин, слідів іржі, подряпин. Шорсткість поверхні елементів голки повинна бути не нижче: лезо, вістря та місця їх переходу від вушка до жолобка $Ra\ 0,16...0,08$ мкм; дно жолобка $Ra\ 0,63...0,32$ мкм; стінки $Ra\ 1,25...0,63$ мкм; колба $Ra\ 2,5...1,25$ мкм.

Швейні голки під час проколу матеріалів сприймають великі динамічні навантаження, вібрації і двосторонній знос через зіткнення з металевими частинами, тканинами і шкірою.

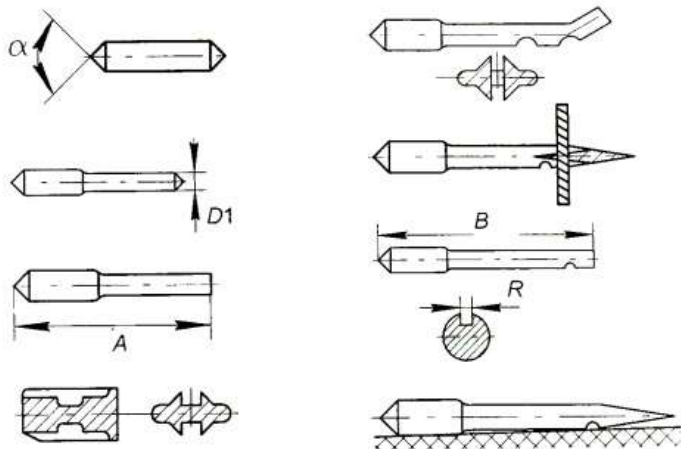


Рис.7.49 – Графічна технологія виготовлення голки

Голка повинна бути гострою. Радіус заокруглення кінця голки не повинний перевищувати 0,05 мм. Середня лінія вушка і жолобка повинна збігатися з віссю голки. Биття вістря щодо колби для голок з діаметром леза до 1,3 мм не повинно перевищувати 0,1 діаметра леза; для голок з діаметром леза понад 1,3 мм – 0,05. Для прямих голок допускається стріла прогину, регламентована в залежності від діаметра леза. Наприклад, для голок з діаметром леза 1,3 мм; 1,31...2,5 мм і більше 2,5 мм стріла прогину в частинах діаметра леза повинна бути відповідно не більше: 0,2; 0,1 та 0,05.

Голки повинні виготовлятися нікельованими, хромованими чи полірованими. Наприклад, товщина шару покриття нікелю повинна бути не менше 5 мкм. Покриття наносяться з метою захисту від корозії і підвищення якості поверхонь голок. Матеріал і режим термічної обробки сталей, з яких виготовляють голки, мають важливе значення. Для виготовлення швейних голок (і спеціальних) звичайно застосовують точно калібрований дріт зі сталі марки ІЗ класу А.

При виготовленні голок особливу увагу необхідно приділяти термообробці, тому що неправильне загартування може бути причиною масового браку, (голки ламаються, або гнуться).

Дріт для виготовлення голок може вважатися якісним, якщо він не має поверхневого обезвуглерожування, неметалічних включень, карбідних скупчень (структура металу повинна бути однорідною, із дрібними, рівномірно розподіленими зернами карбиду), внутрішніх і поверхневих тріщин, різких змін хімічного складу по довжині.

Голки, стрижні яких не піддаються витяжці, при виготовленні зі зневуглецьованого дроту, зберігають цей дефект і у готовому вигляді. Такі голки погано шліфуються і поліруються, а при роботі швидко виходять з ладу, тому що їх м'яка поверхня одержує подряпини, напливи і стає шорсткуватою. При цьому може відбуватися відшаровування металу з поверхні стрижня, а при пробиванні вушка – тріщини по вісі голки. Виготовляють швейні голки двома методами: штампуванням і фрезеруванням.

Штампування найбільш поширене, тому що дозволяє одержувати голки більш точних розмірів і підвищує зносостійкість поверхневого шару. Такі голки характеризує пряме лезо з виїмкою (лезо скорочене, тобто витягнуте), із двома жолобками (з яких один довгий, а другий короткий) і вістрям з конусним заточенням. Твердість леза голки HRC 54–60, колби – не менше HRC 25.

Технологічний процес виготовлення голок фрезеруванням мало чим відрізняється від розглянутого вище і застосовується для голок малих номерів. Устаткування, різальний інструмент, пристосування і вимірювальний інструмент такі самі, як і при виготовленні голок штампуванням. Відмінна риса виготовлення голок фрезеруванням – чорнове і чистове фрезерування жолобків, тоді як при штампуванні їх формоутворення відбувається обробкою тиском.

При виготовленні голок з вушком існуючими методами не завжди витримуються основні розміри, необхідна форма, шорсткість поверхні. Це приводить до дефектів, що знижують їх якість.

Найбільш характерні дефекти мають місце у наступних елементах голок: вістря, вушка, жолобків, стрижня. До дефектів вістря голки (рис. 7.50) відносяться: тупе вістря (рис. 7.50, а), криве вістря голки (рис. 7.50, б), дуже тонке вістря (рис. 7.50, в), що при роботі легко може скривитися і притупитися. До дефектів вушка голки відносяться: нестандартні розміри і форма вушка, грушоподібна форма вушка, гострі грані та задирки, малі радіуси заокруглення граней вушка, погане полірування.

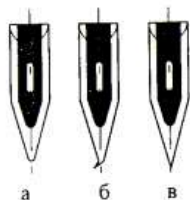


Рис. 7.50 – Дефекти вістря голок

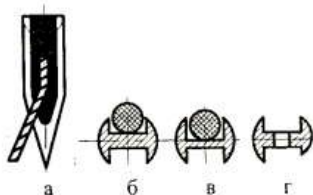


Рис. 7.51 – Дефекти жолобків голок

До дефектів жолобків (рис. 7.51) відносяться: гострі грані сходу короткого жолобка (рис. 7.51, а), мала глибина жолобка з боку (довгого) жолобка (рис. 7.51, б), що підводить нитку, велика глибина жолобка (рис. 7.51, в), зсув жолобків щодо вушка (рис. 7.51, г). До дефектів стрижня відносяться: вигин стрижня, нестандартність розміру від колби до вушка голки. Перераховані дефекти голок приводять до частих обривів нитки, пропуску стібків, що позначається на якості виробів і продуктивності праці.

Виготовлення голок з гачком виконують з тієї ж сталі, що і з вушком. Існують особливості, обумовлені конструкцією голки. Після виправлення і рубання заточують тільки одну сторону заготовки під кутом β (рис. 7.52, а). Потім виконують витяжку для голок з колбою і заточують інший кінець заготовки під кутом $P2$ (рис. 7.52, б). Потім таврують і фрезерують два жолобки і наскрізне вушко (рис. 7.52, в) і притупляють гострі грані по контуру. Для одержання вигнутих голок їхні стрижні згинають по необхідному радіусу R (рис. 7.52, г).

Наступними операціями є: термообробка, рихтування колби і вістря, фрезерування жолобків і наскрізного вушка, шліфування, полірування вушка, нікелювання, полірування та остаточне рихтування.

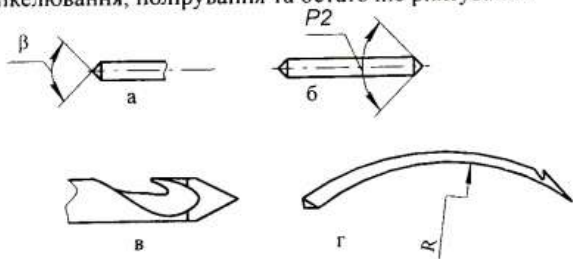


Рис 7.52 – Голка з гачком після заточення

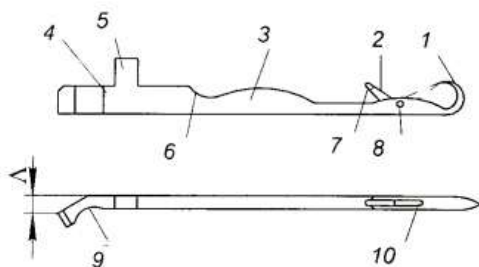


Рис. 7.53 – Язичкова голка

Голки перевіряються на твердість, мікроструктуру, збіг середньої лінії вушка і жолобка з віссю, відсутність задирок, шорсткість. Випробують голку на відповідному устаткуванні. Зовнішньому огляду без збільшувальних приладів піддають 2 % голок від партії, але не менше 20 шт. Партія не перевищує 10 тис. шт. По інших видах перевірки – 0,2 % голок від партії, але не менш 5 шт. кожного номера. Зовнішнім оглядом установлюють дефекти: іржу, засміченості тощо.

Після зовнішнього огляду голки обміряють. Форма і розміри повинні відповідати кресленням з урахуванням установлених допусків. Основними перевірочними розмірами є: загальна довжина, діаметр стрижня і колби, ширина жолобків, довжина вістря, кривизни вигнутих голок, а також форма заточення вістря голок. На відміну від голок, застосовуваних у швейному і взуттєвому виробництвах, трикотажні голки для трикотажних машин мають більш складну конструкцію (рис. 7.56). Трикотажна голка – найточніший петлеутворюючий інструмент, що являє собою пластинку довжиною 21...190 мм і товщиною 0,34...3 мм. На грудці голки фрезерується спеціальний паз для вставки клапана язичка, закріпленого на вісі, що при роботі відкриває і закриває гачок на кінці голки. Голки виготовляються з дроту і стрічки. Дротові вимагають великої кількості операцій, а штамповані одержують у розмір зі стрічки потрібної товщини. І дротові, і штамповані голки проходять той самий технологічний процес, що складається приблизно з 40 операцій, у тому числі таких, як холодне кування, фрезерування, шліфування, збирання, термообробка, полірування тощо. Усі вони виконуються на багатоопераційних і спеціальних автоматах, про точність яких можна судити по технічних вимогах до язичкової голки. Язичок голки, (він важить 2–

3 мг) повинний міцно утримуватися в повздовжній канавці, мати вільне коливання від власної ваги і не мати поперечного люфту.

На Кунцевському голко-платиновому заводі до впровадження автоматичних ліній більше 70 різновидів язичкових голок робили на різних верстатах. Обробка голок складалася з 29 операцій, кожна голка проходила через руки 25 робітників, 15 разів попадала в проміжний склад і, переміщуючись від операції до операції, робила шлях, рівний майже 2 км. Такий кругообіг не дозволяв домагатися однорідної продукції по розмірах, пружності, чистоті обробки і інших параметрах. А будь-яке відхилення дуже впливає на якість і обсяг випуску трикотажних виробів. Якщо врахувати, що в трикотажній машині нерідко одночасно працюють до 1000 голок і досить однієї з них бути коротшою чи довшою від інших на соті долі міліметра, мати інші, ніж в інших, пружні властивості чи відрізнятись шорсткістю поверхні від інших на один чи два класи, то це може викликати брак.

Впровадження автоматичної лінії, що синхронно виконує 22 операції, під спостереженням одного наладчика-оператора, дозволило одержувати однорідну продукцію гарної якості. При невеликих розмірах окремих частин голок (більшість розмірів не перевищує 1 мм) до них пред'являють дуже високі вимоги по точності, міцності, пружності, прямолінійності. При створенні автоматичних ліній особлива увага приділяється високій якості голок. З цією метою в існуючий технологічний процес ввели чотири додаткові операції: відпал кінців голок, обтиск повздовжнього паза, фрезерування канавки під язичок і шліфування язичка.

На Кунцевському голко-платиновому заводі в безупинний технологічний потік включили фрезерування повздовжнього паза. У практиці закордонного голкового виробництва цього немає, там фрезерування дотепер виконується на спеціальних верстатах продуктивністю шість голок за хвилину. Задачу вирішив фрезерний блок, що складається з чотирьох кінематично пов'язаних і одночасно працюючих фрезерних головок. Продуктивність блоку – 24 голки за хвилину. В агрегатній лінії оригінально вирішене питання термічної обробки (відпал) кінців голок. Для цього в систему вбудована муфельна електропіч з механізмом подачі голок. Такий відпал цілком знімає внутрішні напруження на кінцях голок, що пройшли механічну обробку, що виключило поломки при загині гачка.

Високі вимоги пред'являються і до механічних властивостей голки. При термообробці вони деформувалися, тому при старому технологічному процесі їх правили вручну. Ця операція вимагала великої професійної навички робітників і віднімала багато часу. На заводі впровадили новий технологічний процес виправлення – терморихтовку, застосування якої значно скоротило трудомісткість даної операції. Сутність терморихтовки полягає в наступному: загартовані голки набираються щільно друг до друга в спеціальних пристосуваннях і затискаються в них по площині і по ребру. Тут вони нагріваються до заданої температури, витримуються і охолоджуються. Нагрівання виконується в масляних ваннах або в шахтних електropечах із примусовою циркуляцією повітря. Впровадження нового технологічного процесу ліквідувало деформації, поліпшило механічні властивості та дозволило досягти однорідності виробів.

Питання для самоконтролю

1. Що називають комплексним технологічним процесом і планом виготовлення деталі?
2. Назвіть основні рекомендації до формування плану виготовлення деталей?
3. У чому суть і переваги типізації технологічних процесів?
4. Назвіть основні відмінності в конструкції та технології виготовлення ротаційних і неротаційних деталей, валів і втулок (дисків).
5. Поясніть, як впливає тип виробництва на план виготовлення типових деталей.
6. Поясніть переваги малоопераційної технології та принципу концентрації операцій.

Основи проектування технологічних процесів механічної обробки

8.1. Вихідні дані для проектування

Основою для проектування технологічних процесів механічної обробки є виробнича програма, робочі креслення машин, деталей і технічні умови на їх виготовлення.

Прийнято розрізняти три види технологічних процесів (ТП): одиничний, типовий і груповий. Кожен ТП розробляється при підготовці виробництва виробів, конструкції яких відпрацьовані на технологічність. Технологічний процес розробляється для виготовлення нового виробу чи удосконалювання виробу, що випускається – відповідно до досягнень науки і техніки.

Технологічний процес, який розробляється, повинний забезпечувати підвищення продуктивності праці і якості виробу: скорочення трудових і матеріальних витрат; зменшення шкідливих впливів на навколишнє середовище; реалізацію значень базових показників технологічності конструкції даного виробу.

Основою для нового ТП звичайно служить наявний типовий чи груповий технологічний процес. Якщо такі відсутні, то за основу беруть діючі одиничні технологічні процеси виготовлення аналогічних виробів.

ТП повинний відповідати вимогам техніки безпеки і промислової санітарії по системі стандартів безпеки праці (ССБТ), інструкцій і інших нормативних документів.

Правила застосування засобів обчислювальної техніки при проектуванні технологічних процесів передбачають оформлення документації відповідно до вимог стандартів Єдиної системи технологічної документації (ЕСТД). Вихідну інформацію для розробки ТП поділяють на базову, керівну і довідкову.

Базова інформація включає дані, що містяться в конструкторській документації на виріб і програму його випуску.

Керівна інформація містить вимоги галузевих стандартів до технологічних процесів і методів керування ними, а також стандартів на

устаткування й оснащення, документації на діючі одиничні типові і групові ТП, класифікаторів техніко-економічної інформації, виробничих інструкцій, матеріалів на вибір технологічних нормативів (режимів обробки, припусків, норм витрати матеріалів, тощо), документації по техніці безпеки і промислової санітарії.

Довідкова інформація має своїм джерелом технологічну документацію опитного виробництва, опису прогресивних методів виготовлення, каталоги, паспорти, довідники, альбоми компонувань прогресивних засобів технологічного оснащення, планування виробничих ділянок і методичні матеріали по керуванню ТП.

8.2. Форми організації техпроцесів та їх розробка

Форма організації ТП виготовлення виробу залежить від установленого порядку виконання операцій, розташування технологічного устаткування, числа виробів і напрямку їхнього руху в процесі виготовлення.

Існують дві форми організації ТП – групова та потокова.

Групова форма організації ТП характеризується однорідністю конструктивно-технологічних ознак заготовок, єдністю засобів технологічного оснащення однієї чи декількох технологічних операцій і спеціалізацією робочих місць. Групи заготовок для обробки у визначеному структурному підрозділі (цеху, ділянці тощо) повинні встановлюватися з урахуванням трудомісткості обробки та обсягу випуску.

Остаточно номенклатуру груп заготовок, що підлягають обробці на конкретній ділянці (в цеху), варто встановлювати після розрахунку завантаження устаткування.

Потокову форму відрізняє спеціалізація кожного робочого місця на визначеній операції, погоджене і ритмічне виконання всіх операцій технологічного процесу на основі сталості такту випуску і розміщення робочих місць у послідовності, що строго відповідає ТП.

Фактори, що визначають форму організації ТП і відповідають їй характеристики, розглядаються в наступному порядку. Спочатку визначають види виробів. Потім їх групують по спільності конструктивно-технологічних ознак, що дозволяє у кожному окремому випадку установити тип виробництва виробів і їхніх складових частин.

З огляду на задану програму випуску кожного виробу, намічають календарні терміни виконання завдань на основі тривалості виробничих

процесів. Одночасно визначають необхідне устаткування, коефіцієнт його завантаження, а також показник відносної трудомісткості.

Організація ТП повинна забезпечити ритмічний випуск виробів за умови їхнього проходження по всіх операціях з найменшими перервами, тобто максимально наблизитися до потокової форми. Потокову форму організації ТП у залежності від номенклатури одночасно оброблюваних заготовок варто підрозділити на однономенклатурну і багатноменклатурну потокові лінії. Перша потокова лінія характеризується обробкою заготовок одного найменування по закріпленому ТП протягом тривалого періоду часу. У залежності від числа одночасно оброблюваних заготовок одного найменування лінії поділяють на однопотокову (один об'єкт) і багатопотокову (два і більш об'єкти).

8.3. Основні етапи розробки технологічних процесів

Проектування починається з аналізу вихідних даних для розробки ТП. Необхідно за наявними відомостями про програму випуску і конструкторської документації на виріб ознайомитися з призначенням і конструкцією виробу, з вимогами до його виготовлення й експлуатації.

Потім послідовно вибирають діючий типовий, груповий ТП чи аналог одиничного процесу. Формують технологічний код виробу по технологічному класифікатору, оброблюваний виріб відноситься до відповідної класифікаційної групи на основі коду і до діючого типового чи одиничного процесу.

По класифікатору заготовок, методиці розрахунку і техніко-економічної оцінки вибору заготовок, стандартах і технічних умовах на заготовку і основний матеріал вибирають вихідну заготовку і методи її виготовлення, дають техніко-економічне обґрунтування вибору заготовки.

Вибирають технологічні бази, виконують оцінку точності і надійності базування залежно від виду технологічного процесу (використовують класифікатори способів базування та існуючу методику вибору технологічних баз).

По документації типового, групового чи одиничного ТП складають технологічний маршрут обробки, визначають послідовність технологічних операцій і склад технологічного оснащення.

Важливим етапом є розробка технологічних операцій і розрахунок режимів обробки. На підставі документації типових групових чи

одиничних технологічних операцій і класифікатора технологічних операцій складають послідовність переходів в операції, вибирають засоби технологічного оснащення (ЗТО), у тому числі засоби контролю і випробувань з урахуванням метрологічного забезпечення (використовують стандарти, каталоги, альбоми і картотеки на ЗТО).

На цьому ж етапі вибирають засоби механізації й автоматизації елементів процесу і внутріцехові засоби транспортування. Призначають і розраховують режими обробки на підставі технологічних нормативів, виконують нормування ТП.

Окремий етап складає забезпечення вимог техніки безпеки і виробничої санітарії. Необхідно строго виконувати вимоги стандартів системи безпеки праці, інструкцій.

За методикою розрахунку економічної ефективності процесів (програмується кілька варіантів) вибирають оптимальний ТП.

На заключному етапі ТП на підставі стандартів ЕСТД оформляється документація і виробляється норма-контроль технологічної документації.

8.4. Рекомендації та приклади розробки техпроцесів механічної обробки деталей машин

У цьому підрозділі розглядаються деякі приклади розробки типових техпроцесів, які виконуються як на виробництві так і в учбовому процесі. запропоновані найбільш раціональні підходи до рішення тих чи інших технологічних задач та даються приклади їх рішення.

8.4.1. Аналіз конструкції деталі та технічних умов на її виготовлення

На початковому етапі розробки технологічного процесу вивчають робоче креслення деталі, аналізують точність і правильність конструкторського виконання, визначають її призначення. Виходячи з аналізу точності і якості обробки окремих поверхонь, визначають найбільш відповідальні поверхні, які визначають функції деталі в машині чи вузлі. Визначається клас до якого відноситься деталь: клас валів, дисків, корпусних деталей тощо. Вивчаючи конструкцію деталі необхідно обумовити точні вимоги до вільних розмірів, виявити причини, які обмежують допустиму величину похибки форми та взаємного розміщення

обробляємих поверхонь: овальність, конусність, непаралельність тощо.

Допуски на розміри поверхонь, які в зібраному вузлі будуть мати рухоме чи нерухоме з'єднання, вказуються на кресленні, точність відносного положення поверхонь вказується або над штампом або в окремих рамках при позначенні розмірів поверхонь, а на розміри, на які не вказані допуски, в технічних умовах виконується запис над штампом, наприклад: розміри без допусків виконуються по $H14; h14; IT 14/2$.

Креслення заготовки викреслюється на окремому листі з нанесенням розмірів, які враховують величину припусків на поверхні, які будуть оброблятися.

У цьому ж підрозділі слід приводити дані про матеріал деталі по:

- хімічному складу;
- механічних властивостях до і після термічної обробки.

Ці дані заносяться в таблицю 8.1.

Таблиця 8.1 – Хімічний склад сталі 45 (ГОСТ 1050 – 88)

C, %	Si, %	Mn, %	S, %	P, %	Ni, %	Cr, %
			не більше			
0,40...0,50	0,17...0,37	0,50...0,80	0,045	0,045	0,30	0,30

Необхідно також занести у таблицю 8.2 механічні властивості матеріалу деталі

Таблиця 8.2 – Механічні властивості сталі 45

σ_m , кг/мм ²	σ_n , кг/мм ²	δ_9 , %	Ψ , %	a_n , кг/см ²	HB (не більше)	
					горяче-катаної	відпаленої
не менше						
36	61	16	40	5	241	197

Крім того розглядається можливість заміни матеріалу, з відміткою своїх міркувань відносно правильності вибору матеріалу для даних умов роботи деталі у вузлі і доцільність його заміни іншими матеріалами, які по механічних властивостях не поступаються заданим в кресленні та узгодити це з проектними підрозділами.

8.4.2. Аналіз технологічності конструкції деталі

В процесі розробки технологічного процесу люба конструкція (машини, вузла, деталі) повина бути самим старанним чином проаналізо-

вана. Мета такого аналізу – виявлення недоліків конструкції по даних, які містяться в кресленнях і технічних вимогах, а також можливе покращення технологічності конструкції, яка розглядається.

Робочі креслення обробляємих деталей повинні містити всі необхідні дані, які дають повну уяву про деталь, тобто повинні бути всі необхідні проєкції, розрізи січення, які абсолютно чітко і однозначно пояснюють її конфігурацію і можливі способи отримання заготовки.

На кресленні повинні бути вказані всі розміри з необхідними допусками, класи чистоти обробляємих поверхонь, допустимі відхилення від правильних геометричних форм, а також взаємного положення поверхонь. На кресленні повинні бути вказані відомості про матеріал, види термообробки, твердість поверхонь, покриття поверхонь, вага деталі, масштаб, правильні виноси розрізів і видів.

Такий аналіз забезпечує покращення техніко-економічних показників розробляемого технологічного процесу.

При аналізі конструкції, а надалі і при розробці технологічного процесу обробки, виборі базових поверхонь виникає необхідність посилення до тих чи інших поверхонь, які не мають конкретних назв чи номерів, що визиває відповідні труднощі.

З метою зменшення цих труднощів пропонується виконати ескіз деталі з позначенням кожної поверхні заголовною буквою алфавіту, наприклад (рис. 8.1):

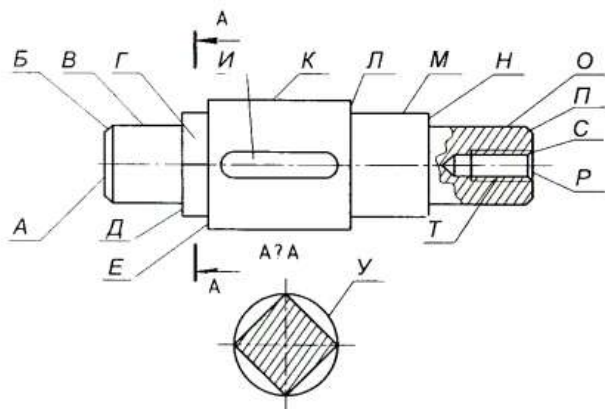


Рис. 8.1 – Ескіз деталі вал

Після позначення на ескізі поверхонь досить зручно пояснювати, яка поверхня обробляється, яка поверхня вибирається за базову тощо.

Основні задачі, які вирішуються при аналізі технологічності конструкції деталі, зводяться до можливого зменшення трудомісткості і металоємності, можливості обробки деталі високопродуктивними методами. При аналізі любого креслення на яке даються технічні вимоги можливі випадки невідповідності точності обробки і шорсткості оброблених поверхонь. Але можливі випадки обробки поверхонь за 8...10 квалітетом, а шорсткість призначається, наприклад, за R_a 0,8. Це означає, що допуск на розмір дається великий при умові отримання поверхні високої чистоти (полірованої чи іншого чистового виду обробки) поверхні, наприклад, для поверхонь валів, які проходять через кришки з сальниковими ущільненнями, штоки гідро- і пневмоциліндрів, які при грубій чистоті поверхні швидко будуть зношувати сальникові ущільнення. Аналіз технологічності конструкцій чи деталей доцільно проводити у визначеній послідовності. Особливу увагу при аналізі необхідно звернути на можливість обробки поверхонь деталей стандартними інструментами, на вільний підхід до обробляємих поверхонь, на обробку партії деталей з однієї настройки, що дає можливість отримувати високу продуктивність при високій точності обробки.

Прикладів нетехнологічності можна привести багато, ось деякі із них (рис. 8.2).

При аналізі обробки деталі (рис. 8.2, а) видно, що для отримання розмірів A ; B ; B необхідно три рази настроювати інструмент на кожен із розмірів A ; B ; B для кожної деталі окремо. Якщо розглянути варіант розміщення обробляємих поверхонь на одному рівні в розмір G (рис. 8.2, б), то в цьому випадку інструмент настроюється один раз на партію обробляємих деталей і відпадають похибки настройки, необхідність витрат часу на настройку інструмента на розміри A ; B ; B що в цілому підвищує продуктивність і точність обробки.

У випадку обробки деталі (рис. 8.2, в) отвори різних діаметрів розміщені так, що неможливо їх обробляти з однієї настройки, тому що по краях менші діаметри, а посередині більший що вимагає витрат додаткового часу на настройку інструмента на обробку більшого діаметра після введення розточної оправки. Розміщення отворів в послідовності від більшого до меншого дозволяє один раз настроїти розточну оправку на обробку трьох діаметрів і не переналагоджувати при переході від

обробки однієї деталі до іншої. При свердлінні отвору на криволінійній поверхні (рис. 8.2, е) необхідно попередньо обробити поверхню перпендикулярну до отвору, що забезпечить надійне і точне розміщення отвору, але з додатковою операцією, а при свердлінні отвору на криволінійній поверхні (рис. 8.2, д) свердло буде відхилятися від вертикалі і ковзати по поверхні, що не дасть можливості просвердлити отвір.

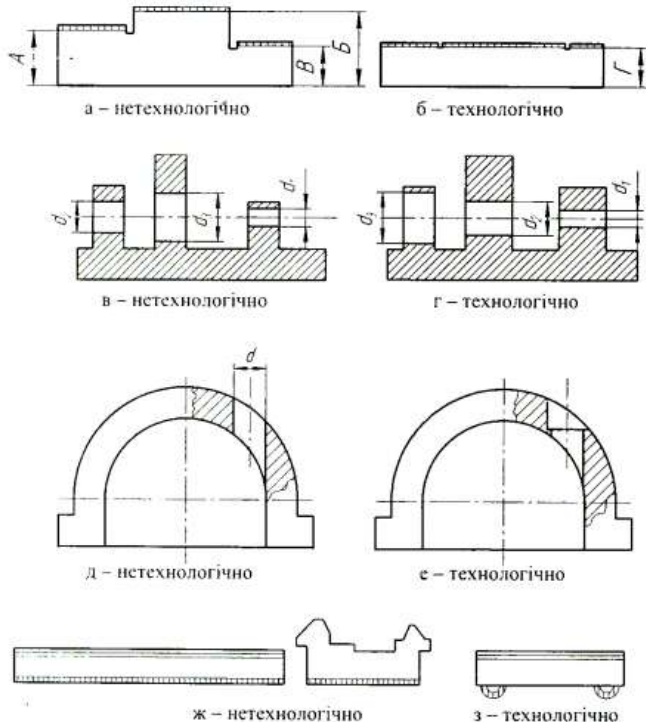


Рис. 8.2 – Приклади нетехнологічності конструкції деталей

Останній варіант (рис. 8.2, ж), коли необхідно підготувати додаткову базову поверхню (у нашому випадку для станини) необхідно було б обробити велику площу поверхні з великою витратою часу, інструменту, електроенергії, матеріалу тощо. З метою зведення до мінімуму цих витрат на базовій поверхні попередньо у заготовки передбачають три

напівсферичних виступи, які надалі обробляють, отримуючи тим самим ідеальну площину (три точки), яку приймаємо за базову (рис. 8.2. з). Об'єм обробки трьох точок значно менший в порівнянні з попереднім хоча потребує спецінструменту, але витрати на спецінструмент швидко окупляться при обробці партії деталей. Три напівсферичних виступи можуть бути замінені трьома установочними пальцями запресованими в попередньо підготовлені отвори на необробленій базовій поверхні.

Вказані вище зауваження і приклади дають уяву про напрямок в аналізі технологічності конструкції деталі.

8.4.3. Визначення типу та організаційної форми виробництва

Однією із основних характеристик типу виробництва, у відповідності з ГОСТ 3.1108-74, є коефіцієнт закріплення операцій K_{zo} , який показує відношення кількості всіх різноманітних операцій, які виконуються на дільниці на протязі місяця, до кількості робочих місць, на яких виконуються операції обробки деталі.

$$K_{zo} = \frac{O}{P}, \quad (8.1)$$

де O – кількість різноманітних операцій, які виконуються на дільниці протягом одного місяця;

P – кількість робочих місць, на яких виконуються ці операції.

При виконанні учбових робіт (курскових проектів і курсових робіт) студенти не мають таких даних як кількість операцій, які будуть виконуватись на дільниці протягом місяця. Тому при виконанні учбових робіт можна вважати, що тип виробництва залежить від двох факторів, а саме: заданої програми випуску деталей і трудомісткості виготовлення виробу. На основі заданої програми розраховується такт випуску виробів – t_s , а трудомісткість визначається середнім штучним (або штучно-калькуляційним) часом $T_{шт(шт.к)}$ за операціями діючого на виробництві чи аналогічного техпроцесу. Відношення цих величин прийнято називати коефіцієнтом серійності:

$$K_s = \frac{t_s}{T_{шт(шт.к)}}. \quad (8.2)$$

При значеннях:

$K_s = 1 \dots 2$ – масове виробництво;

$K = 2 \dots 10$ – крупно-серійне виробництво;
 $K = 10 \dots 20$ – середньосерійне виробництво;
 $K = 20 \dots 40$ – дрібносерійне виробництво;
 $K > 40$ – одиничне виробництво.

Величина такту випуску розраховується за формулою:

$$t_k = \frac{F_o \cdot 60}{N}, \text{ хв / шт.}, \quad (8.3)$$

де F_o – дійсний річний фонд часу роботи обладнання, год.; [3], табл. 2.1;

N – програма випуску деталей, шт.

Для визначення штучного чи штучно-калькуляційного часу за операціями можна скористатись нормувальними даними із існуючого на виробництві техпроцесу по аналогічній деталі або, що більше підходить до учбової курсової роботи чи проекту, виконати укрупнене нормування технологічного процесу обробки деталі за методикою наведеною в [3], с. 146. У цьому випадку визначення $T_{шт}$ – слід брати по основних операціях, упускаючи обробку фасок, канавок, коротких торців. Формула для розрахунку середнього штучно-калькуляційного часу має вид:

$$T_{шт\text{ ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{шт\text{ к } i}}{n}, \text{ хв.}, \quad (8.4)$$

де $T_{шт\text{ к } i}$ – штучно-калькуляційний час за кожною операцією, хв;
 n – кількість операцій.

За [3] с. 146 визначається основний час T_o на токарні, свердлильні, розточні, фрезерувальні, шліфувальні та інші операції, а штучно-калькуляційний час визначається як:

$$T_{шт\text{ к}} = T_o \cdot \phi_k, \quad (8.5)$$

де T_o – основний час на обробку окремого переходу;

ϕ_k – коефіцієнт, який вибирається за [3], с. 146.

Основний час визначається за приведеною формулою, наприклад, для чорнового точіння за один прохід:

$$T_o = 0,00017d \cdot l, \text{ хв.}, \quad (8.6)$$

де d – діаметр оброблюємої поверхні, мм;

l – довжина оброблюємої поверхні, мм.

Таким чином, визначивши для всіх переходів основних поверхонь основний час, визначасмо середнє значення штучно-калькуляційного часу за формулою 8.5.

При серійному виробництві, розраховуємо кількість деталей в партії запуску за формулою:

$$n_3 = \frac{N \cdot a}{F}, \text{ шт.}, \quad (8.7)$$

де N – програма (річна) випуску деталей, шт.;

a – кількість днів, на які необхідно мати запас деталей (краще $a = 2$; 5; 10);

F – кількість робочих днів у році, $F = 254$ дні.

Значення n_3 – використовується у подальшій розробці технологічного процесу обробки деталі.

Після визначення типу виробництва визначають форму організації виробництва, вибирають обладнання, яке буде використовуватися у цьому виді виробництва, пристрої, різальний та вимірювальний інструменти.

8.4.4. Вибір заготовки та техніко-економічне обґрунтування методу її отримання

Метод виконання заготовок для деталей машин визначається призначенням і конструкцією деталі, матеріалом, технічними вимогами, масштабом і серійністю випуску, а також економічністю виготовлення. Вибрати заготовку – це означає установити спосіб її отримання, намітити допуски на обробку кожної поверхні, розрахувати розміри і вказати допуски на точність виготовлення. Припуски призначаються на ті поверхні, які будуть обробляться. При виборі способу отримання заготовок необхідно прагнути до максимального наближення форми і розмірів заготовки до параметрів готової деталі і до зниження трудомісткості заготовчих операцій.

Ознайомившись з кресленням, виданим для розробки технологічного процесу необхідно визначити декілька варіантів можливого отримання заготовки, із якої надалі можна виготовити деталь. Після усного аналізу вибраних варіантів, необхідно вибрати два варіанти найбільш ефективні і виконати техніко-економічне обґрунтування вартості заготовок по цих варіантах. Той варіант, який має меншу вартість заготовки приймається для подальшої розробки технологічного процесу. Методика економічного розрахунку вартості подробно розглянута в [3]. с. 29–39.

При виборі заготовки звернути увагу на матеріал деталі в кресленні. Можливий випадок, коли заготовку доцільніше і дешевше відлити, а вона виготовляється із матеріалу який погано відливається. Тоді треба подумати про заміну матеріалу при умові, що фізико-механічні властивості нового матеріалу не будуть поступатися перед заданим в кресленні.

Основним показником, який характеризує економічність обраного методу виготовлення заготовки наряду з приведеними вище є коефіцієнт використання матеріалу який визначається, як:

$$K_{\text{м.в}} = \frac{Q_d}{Q_z}, \quad (8.8)$$

де Q_d – маса деталі, кг;

Q_z – маса заготовки з врахуванням припусків і напусків на обробку поверхонь.

Коефіцієнт використання матеріалу може мати значення $K_{\text{м.в}} = 0,3 \dots 0,95$; найкраще значення $K_{\text{м.в}}$ – коли він наближається до одиниці.

8.4.5. Вибір технологічних баз

Залежно від службового призначення всі поверхні деталі поділяються за ГОСТ 21495–76 на основні, допоміжні, виконавчі і вільні.

Під основними розуміють поверхні, за допомогою яких визначають положення даної деталі у виробі.

Надавання заготовці або виробу необхідного положення відносно вибраної системи координат називають базуванням. Поверхні деталі, які використовуються для її установки у пристрої при механічній обробці називають базами [12, 7].

Вибір базових поверхонь залежить від конструкції деталі і технічних умов на виготовлення деталі. Конструктор при розробці конструкції деталі і виконанні креслення намічає базові поверхні і задає умови точності їх відносного положення. Тому перед вибором баз необхідно досконало вивчити деталь і при розробці технологічних процесів, на базі аналізу технологічності конструкції деталі, вибираємо поверхні, які будуть призначені як базові при обробці тієї чи іншої поверхні деталі.

Розглянемо вибір баз на прикладі деталі зображеної схематично на рис. 8.1.

У першу чергу аналізуємо креслення і вибираємо поверхні, які будуть служити як установочні на протязі технологічного процесу обробки деталі.

При обробці деталі (див. рис. 8.1), яка відноситься до класу валів визначаємо, що для цього класу деталей основними установочними базами є опорні поверхні (шийки під підшипники), але їх можна використовувати тільки після їх остаточної обробки, тобто на фінішних чистових видах обробки, а на перших операціях обробки найбільш зручними і простими є допоміжні базові поверхні центрових отворів, які необхідно обробити в першу чергу.

Використовуючи надалі їх як установочні, ми зможемо обробляти всі інші поверхні дотримуючись принципу постійності та суміщення баз.

При розробці технологічного маршруту і виборі базових поверхонь, для наглядності, необхідно звести в таблицю 8.3 всі поверхні і призначити базові поверхні при їх обробці.

Таблиця 8.3 – Поверхні і бази при обробці деталі

№ п/п	Поверхня	Вид обробки	Базова поверхня
1	<i>A, P, C</i>	Фрезерування (точіння) і центрування	<i>K</i> – чорнова, <i>P</i> і <i>A</i>
2	<i>L, M, H, O, П, T</i> різьба	Точіння	<i>K</i> – чорнова, <i>C</i> – центровий отвір
3	<i>K, У, В, Б, Д, Е</i>	Точіння	<i>M, H, A</i> – центровий отвір
4	<i>Г</i> – чотиригранник	Фрезерування	Центровий отвір <i>A, M</i>
5	<i>И</i> – шпон, лаз	Фрезерування	<i>K</i> і <i>E</i> – у призмі
6	<i>B, K, M</i>	Шліфування	Центровий отвір, <i>O</i> – хомутик

8.4.6. Вибір технологічного маршруту обробки поверхонь деталей

Перед розробкою технологічного процесу механічної обробки деталі проводимо аналіз обробки кожної поверхні з встановленням методів обробки. Результати аналізу зводимо в таблицю 8.4. Розробка тех-

нологічного процесу, як така, складається з комплексу взаємозалежних робіт, передбачених Єдиною системою технологічної підготовки виробництва (ЕСТПП).

Залежно від річного обсягу випуску виробів і прийнятого типу виробництва рішення технологічних задач здійснюється по-різному. Для дрібносерійного виробництва розробляється одиничний технологічний процес, що дає можливість скорочувати час на підготовку виробництва, ефективно застосовувати універсальне устаткування й універсально-налагоджувальні пристосування.

Для середньо- і крупносерійного виробництва варто прагнути будувати технологічний процес, зорієнтований на використання змінно-потоккових ліній, коли послідовно виготовляються партії деталей одних найменувань та розмірів, чи групових потоккових ліній, коли паралельно виготовляються партії деталей різних найменувань.

Для масового виробництва необхідно передбачати можливість організації безупинної потокової обробки з використанням спеціальних і агрегатних верстатів, спеціального переналагоджуваного технологічного оснащення і при максимальній механізації та автоматизації виробничих процесів.

Таблиця 8.4 – Результати аналізу обробки кожної поверхні з призначенням методів обробки

Позначення поверхні	Шорсткість по Ra	Квалітет точності	Метод обробки
Ø 25h8	1,6	8(h8)	Чорнове і чистове точіння, шліфування
Ø 30g14	6,36	14(h14)	Одноразове точіння
M16	3,2	8(g8)	Чорнове і чистове точіння, нарізання різьби
Торці	6,3	14(h14)	Одноразове підрізання
Лиски у р-р 27	6,3	14(h14)	Фрезерування
Ø 4H14	6,3	14(h14)	Свердлування
M6	6,3	8(H8)	Свердлування, нарізання різьби
Паз R3 мм	6,3	14(H14)	Фрезерування
Фаски 2 × 45	6,3	14	Одноразове точіння
Центрові отвори	6,3	14	Свердлування

При розробці технологічного процесу керуються наступним:

- ↳ у першу чергу обробляють ті поверхні, що є базовими при подальшій обробці;
- ↳ після цього обробляють поверхні з найбільшим припуском;
- ↳ далі виконують обробку поверхонь, зняття металу з яких у найменшій степені впливає на твердість поверхні заготовки.

На початок технологічного процесу варто відносити ті операції, на яких можна очікувати появу браку через приховані дефекти металу (тріщини, раковини, тощо). Поверхні, обробка яких пов'язана з точністю і допусками відносного розташування поверхонь (співвісності, перпендикулярності, паралельності тощо), виготовляють при одній установці. Поєднання чорнової (попередньої) і чистової (остаточної) обробок в одній операції і на тому ж устаткуванні небажано – таке поєднання допускається при обробці жорстких заготовок з невеликими припусками.

При виборі установочних (технологічних) баз варто прагнути до дотримання двох основних умов: поєднання *технологічних баз* з конструкторськими (наприклад, отвір у корпусі насадної циліндричної фрези одночасно служить посадочним місцем для оправки в процесі експлуатації і базою для більшості операцій); *постійності баз*, тобто вибору такої бази, орієнтуючись на яку можна провести всю чи майже всю обробку (наприклад, центрові отвори вала, чи вісі хвостовика різального інструменту).

Принцип базування заготовок повинен строго відповідати ГОСТ 21495–76.

Попередня розробка технологічного процесу обробки заданої деталі закінчується складанням і оформленням комплекту документів технологічного процесу за ГОСТ 3.1118–82 та ГОСТ 3.1121–84.

Перед розробкою технологічного маршруту визначається серійність виробництва з метою прийняття правильного рішення по вибору організації виробництва, вибору обладнання, пристроїв та інструментів, а потім на основі ознайомлення з типовими технологіями обробки аналогічних деталей [16] намічають можливі технологічні маршрути і вибирають найбільш раціональний із них.

При розробці технологічного процесу необхідно проаналізувати два варіанти технологічного маршруту. Рішення про вибір того або іншого варіанту приймають після їхнього техніко-економічного порівняння, що проводять за операціями, які відрізняються.

Критерієм оптимальності є найменше значення сумарної технологічної собівартості обробки (мінімум приведених витрат на одиницю продукції).

При виборі варіанту технологічного маршруту приведені витрати можуть бути визначені у виді приведених витрат на 1 год. роботи устаткування ($C_{n,r}$, коп./год.), довідникові значення яких для більшості верстатів приведені в [3].

Для наочності розробленого маршруту необхідно давати ескізи і вказувати поверхні, які будуть оброблятися (наводити їх жирними лініями), вказувати базування і розміри, які необхідно витримувати. Для цього необхідно розробити таблицю де буде заноситись номер операції, найменування операції і переходів, модель верстата і базування (ескіз). В кінці підрозділу буде розглянуто приклад по рис. 8.1.

При розробці технологічного маршруту в першу чергу вибирається метод обробки і базування заготовки при обробці поверхонь, які надалі будуть служити базами. Це дуже важливий етап, тому, що від нього буде залежати досягнення необхідної (заданої) точності деталі.

Вибір базових поверхонь на першій операції має дуже важливе значення і до вибору цих баз необхідно підходити з великою відповідальністю.

При виборі в якості установочних баз чорних, необроблених поверхонь необхідно керуватись такими міркуваннями:

- бажано, щоб чорнова база поверхня була простої форми і достатніх розмірів для стійкого положення заготовки, яка обробляється;
- повинен витримуватись принцип суміщення баз;
- установочна поверхня повинна знаходитись на мінімальній відстані від поверхні, що обробляється;
- заготовка не повинна деформуватись при закріпленні;
- як чорнові бази бажано приймати поверхні, які не підлягають подальшій обробці, якщо такі є.

Сучасні способи механічної обробки і велика різноманітність верстатів, а також нові методи електрохімічної, електроерозійної, ультразвукової та іншої обробки металів і матеріалів, отримання заготовок методами точної відливки, точної штамповки, порошкової металургії – все це дозволяє створювати різноманітні варіанти технології, які повністю будуть відповідати вимогам креслення.

Намічаючи технологічний маршрут обробки деталі необхідно дотримуватись наступних правил:

- з метою економії праці та часу використовувати типові процеси обробки деталей [16];
- використовувати по можливості тільки стандартні різальний і вимірвальний інструменти;
- намагатися застосовувати найбільш сучасні форми організації виробництва (групові поточні лінії, групові техпроцеси);
- обробляти з однієї установки найбільшу кількість поверхонь.

Розглянемо приклад розробки маршруту обробки деталі класу валів (див. рис. 8.1).

Залежно від типу виробництва маршрут обробки, вибір заготовки і обладнання можуть бути різними. Так при одиничному виді виробництва вала заготовка може бути прийнята із круглого прокату, діаметр якого повинен бути більшим від максимального діаметра уступа (пов. *K*) на величину мінімального припуску, і по довжині перевищувати на величину припуску з двох сторін по торцю (пов. *P*) і (пов. *A*).

Для серійного виробництва заготовка вибирається більш близькою по розмірах до готової деталі і може бути прийнята у виді прутка із якого можна виготовити 10 і більше деталей. У цьому випадку довжина такого прутка буде залежати від типу верстата. Довжина прутка підраховується і буде рівна сумі довжин деталей, ширини прорізів між деталями та величині припусків на торці деталей.

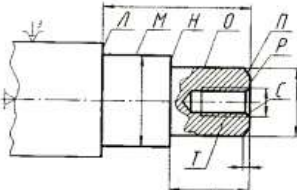
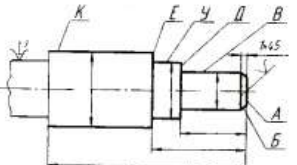
Такий варіант вибору заготовки годиться для коротких деталей до 150 мм, які є жорсткими і можуть оброблятися на токарних верстатах з одного установу.

Заготовки більшої довжини можуть готуватись поштучними і маршрут дещо змінюється. У цьому випадку необхідно в першу чергу підготувати базові поверхні, а потім обробляти всі інші поверхні.

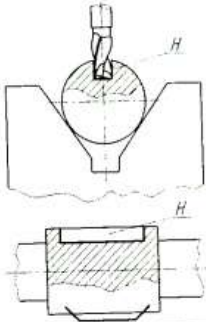
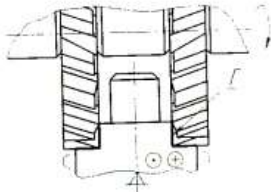
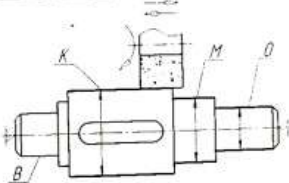
У крупносерійному та масовому виробництві доцільно виготовляти штамповані заготовки, у яких будуть забезпечені менші витрати металу і більша міцність деталей. У цих видах виробництва, якщо отримання штампованої заготовки зменшує витрати металу на 5 % то доцільно переходити від круглого прокату до штампованої заготовки.

У нашому випадку ми розглянемо приклад обробки деталі у серійному виробництві, як найбільш розповсюдженому. Складаємо таблицю 8.5.

Таблиця 8.5 – Маршрут обробки деталі вал

Номер операції	Найменування операції і переходів	Модель верстата	Ескіз обробки та базування
1	2	3	4
005	<p>Токарна, заготовка поштучна із круглого прокату.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Точити торець <i>Р</i>. 2. Центрувати торець <i>Р</i>. 3. Точити пов. <i>М</i> начорно і начисто до діаметра <i>d</i> на довжину <i>l</i> (по кресленню) 4. Точити торець <i>Л</i> витримуючи розмір. 5. Точити пов. <i>О</i>; <i>Н</i> до діаметра <i>d</i> на довжину <i>l</i> начорно і начисто. 6. Точити фаску <i>П</i> $1 \times 45^\circ$. 7. Свердлити отвір під різьбу (пов. <i>Т</i>). 8. Нарізати різьбу (пов. <i>Т</i>). 	16К20	 <p>The drawing shows a shaft with several distinct diameters. From left to right: a chamfered end, a section of diameter <i>L</i>, a section of diameter <i>M</i>, a section of diameter <i>N</i>, a section of diameter <i>O</i>, a section of diameter <i>P</i> with a chamfer, and a threaded section of diameter <i>T</i> with length <i>I</i>.</p>
010	<p>Токарна. Точити торець <i>А</i> і центрувати.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Точити пов. <i>К</i> начорно і начисто до діаметра <i>d</i>. 2. Точити пов. <i>У</i>; <i>Е</i> начорно до діаметра <i>d</i> на довжину <i>l</i>. 3. Точити пов. <i>В</i> і <i>Д</i> до діаметра <i>d</i> на довжину <i>l</i> начорно і начисто. 4. Зняти фаску <i>Б</i> $1 \times 45^\circ$. 	16К20	 <p>The drawing shows a shaft with several diameters. From left to right: a chamfered end, a section of diameter <i>K</i>, a section of diameter <i>E</i>, a section of diameter <i>У</i>, a section of diameter <i>Д</i>, and a section of diameter <i>В</i> with a chamfer <i>Б</i>. A diameter <i>А</i> is also indicated on the right side.</p>

Продовження табл. 8.5

1	2	3	4
015	<p>Фрезерна (шпоночно-фрезерний верстат)</p> <p>1. Фрезерувати шпоночний паз <i>H</i>, витримуючи розміри згідно креслення</p>	692M	
020	<p>Горизонтально-фрезерна</p> <p>1. Фрезерувати дві протилежні поверхні Γ в розмір.</p> <p>2. Змінити позицію поворотом на 90°.</p> <p>3. Фрезерувати інші дві протилежні поверхні Γ, отримуючи квадрат</p>	6P80	
025	<p>Шліфувальна (круглошліфувальний верстат)</p> <p>1. Шліфувати поверхні <i>K</i>; <i>M</i>; <i>O</i> начорно і начисто.</p> <p>2. Переустановити.</p> <p>3. Шліфувати поверхню <i>B</i> начорно і начисто.</p>	3M150	
030	<p>Контрольна</p> <p>1. Контролювати основні розміри.</p>	Контрольний стіл	

Обробка токарних операцій може виконуватись і на токарних верстатах з ЧПК, в залежності від виду виробництва (при дрібно-серійному або середньо-серійному, а у крупно-серійному і масовому їх недоцільно приміняти для обробки конструктивно нескладних деталей).

8.4.7. Вибір верстатів

Для техпроцесу, який розробляється, вибір верстатів виконується після того, як намічено види обробки поверхонь та їх послідовність, тобто після розробки маршруту обробки деталі. Це означає, що уже вибрано чи визначено:

- ↳ метод обробки поверхні чи сукупності поверхонь (точіння, фрезерування, свердління тощо);
- ↳ точність і класи чистоти поверхонь після їх обробки;
- ↳ припуск на обробку (загальний);
- ↳ різальний інструмент (залежно від обробляемого матеріалу);
- ↳ такт випуску і тип виробництва.

У першу чергу верстат вибирається залежно від:
виду обробки;

- габаритів деталей;
- точності, яку він забезпечує;
- продуктивності обробки;
- потужності верстата.

Встановленим вимогам звичайно задовільняють верстати декількох моделей даного типорозміру. Віддають перевагу моделі з більшим запасом потужності і більшим ступенем автоматизації робочого циклу.

Вибір обладнання виконують по основному параметру, який найкраще виявляє його функціональне значення та технічні можливості. Фізична величина, яка характеризує головний параметр, встановлює взаємозв'язок обладнання з розмірами виробу, який виготовляється.

При виборі варіантів обладнання враховують також мінімальний об'єм приведених витрат на виконання технологічного процесу при максимальному скороченні періоду викупу витрат на механізацію та автоматизацію. Річна потреба в обладнанні визначається із річного об'єму робіт, установлених статистичним аналізом витрат коштів та часу на виготовлення виробів. Річні приведені витрати на використання обладнання визначаються розмірами витрат на його експлуатацію та виготовлення. Продуктивність обладнання визначають на основі аналізу часу виготовлення виробу заданої якості.

Застосування верстатів з ЧПК доцільно для трудомістких операцій:

- при виробництві складних деталей малими партіями;
- для обробки деталей з великою кількістю розмірів, що мають високі вимоги до точності розмірів поверхонь та їх взаємного розміщення;

- при обробці деталей, що потребують високоточної оснастки; коли вартість оснастки складає значну частину вартості обробки.

При виборі моделі верстата з ЧПК в основному керуються тими ж правилами, що і при виборі звичайних верстатів.

Необхідні дані, для вибору верстатів, приведені в [16, 19].

8.4.8. Вибір технологічного оснащення

Вибір технологічного оснащення передбачає проведення комплексу робіт:

- ✎ аналіз конструктивних характеристик виробу, який виготовляється (габаритні розміри, матеріал, точність, геометрія, шорсткість поверхонь тощо); організаційних та технологічних умов виготовлення виробів (схеми базування, виду технологічної операції, організаційної форми процесу виготовлення тощо);
- ✎ групування технологічних операцій для того, щоб визначити найбільш доцільну систему технологічного оснащення та підвищити коефіцієнт її використання;
- ✎ визначення вихідних вимог до технологічного оснащення;
- ✎ відбір номенклатури оснащення, яке відповідає установленим вимогам;
- ✎ визначення вихідних розрахункових даних для проектування та виготовлення нових конструкцій оснащення;
- ✎ видачу технічних завдань на розробку та виготовлення технологічного оснащення.

Пристрої для технологічних операцій вибирають на основі: габаритних розмірів виробів; виду заготовок; матеріалу виробів; точності обробки, якості поверхні; конфігурації виробу; схем базування і закріплення; характеристик устаткування; типу виробництва. По можливості варто застосовувати універсальні, переналагоджувальні і швидкодіючі пристрої. Застосування спеціальних пристроїв повинно бути економічно виправданим.

Різальний інструмент вибирають із врахуванням:

максимального застосування нормалізованого і стандартного інструменту;

- методу обробки;
- розмірів оброблюваних поверхонь;
- точності обробки і якості поверхні;

- проміжних розмірів і допусків на ці розміри;
- стійкості інструменту, його різальних властивостей і міцності;
- стадії обробки (чорнової, чистової, оздоблювальної);
- типу виробництва.

Розміри мірного інструменту визначають виходячи з проміжних розмірів обробки (зенкерів, розверток, протяжок тощо), розміри інших інструментів (різців, розточувальних борштанг тощо) – із розрахунку на міцність і жорсткість. Рекомендації по вибору інструменту приведені в [25,19].

8.4.9. Розрахунок припусків на механічну обробку

Припуск – це шар металу (матеріалу), який видаляється з поверхні заготовки з метою досягнення заданих властивостей поверхні деталі, яка обробляється і точності розміру. Існують два методи визначення величини припуску це: табличний чи опитно-статистичний і розрахунково-аналітичний.

Табличний метод дозволяє призначати припуск незалежно від технологічного процесу обробки деталі і умов його виконання і тому в загальному випадку є завищеним. Завищені припуски призводять до перевитрат матеріалу, різального інструменту, який використовується на зрізування завищеного шару металу, збільшення часу на обробку деталі та в цілому підвищується собівартість оброблених деталей. Розглянемо такий приклад: при обробці циліндричної заготовки діаметром 100 мм та довжиною 1000 мм збільшення припуску на один міліметр на сторону або два на діаметр призводить до перевитрат матеріалу на 2,56 кг на кожній заготовці, що у масовому виробництві призводить до перевитрат десятків і сотень тон металу.

Занижені припуски не забезпечують можливості видалення дефектних шарів металу та отримання необхідної точності і шорсткості оброблених поверхонь, а у окремих випадках створюють неприємливі технологічні умови для роботи різального інструменту коли його вершина попадає в зону твердого ливарного шару чи окалини.

Розрахунково-аналітичний метод визначення припусків на обробку, розроблений професором В.М. Кованом, базується на аналізі факторів, які впливають на величину припуску, як на даному так і на попередньому переходах. До таких факторів відносяться: чистота оброблюваної поверхні; глибина дефектного шару; просторові відхилення поверхонь та похибка установки заготовки в пристрої.

В технології машинобудування існують методи автоматичного та індивідуального отримання розмірів.

Мінімальні припуски на обробку при методі автоматичного отримання розмірів розраховують таким чином:

1) мінімальний припуск при послідовній обробці протилежних поверхонь (односторонній припуск) розраховується за формулою:

$$Z_{i \min} = R_{Z_{i-1}} + h_{i-1} + \rho_{i-1} + \epsilon_i; \quad (8.9)$$

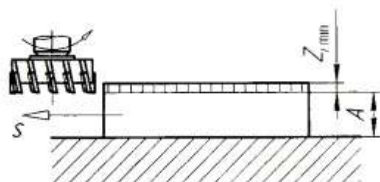


Рис. 8.3 – Ескіз обробки одностороннього припуску

2) мінімальний припуск при паралельній обробці протилежних поверхонь (двосторонній припуск):

$$2Z_{i \min} = 2(R_{Z_{i-1}} + h_{i-1} + \rho_{i-1} + \epsilon_i); \quad (8.10)$$

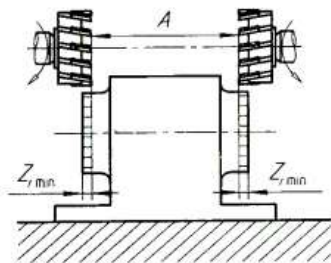


Рис. 8.4 – Ескіз обробки двостороннього припуску

3) мінімальний припуск при обробці зовнішніх і внутрішніх поверхонь обертання (двосторонній припуск), при базуванні в трикулачковому патроні:

$$2Z_{i-1} = 2(R_{Z_{i-1}} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \epsilon_i^2}); \quad (8.11)$$

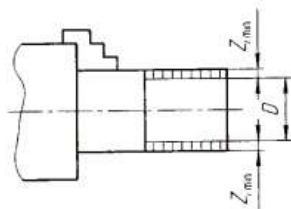


Рис. 8.5 – Ескіз обробки консольно закріпленої заготовки

4) мінімальний припуск при обробці зовнішніх поверхонь обертання (двосторонній припуск), при базуванні в центрах (похибка установки прирівнюється до нуля і тоді формула приймає вид):

$$2Z_{i \min} = 2(R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \rho_{i-1}); \quad (8.12)$$

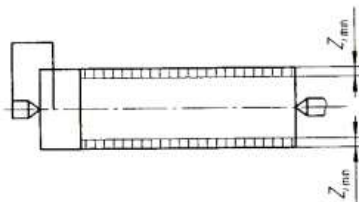


Рис. 8.6 – Ескіз обробки заготовки, закріпленої в центрах

При установці деталі в центрах похибка установки має дуже мале значення і тому прирівнюється до нуля.

У всіх формулах:

$R_{z_{i-1}}$ – висота нерівностей профілю, яка отримана на попередньому переході, мкм; [18], с. 180–190, табл. 1–7, 10; 11; 12; 24; 25; 27;

h_{i-1} – глибина дефектного поверхневого шару, яка отримана на попередньому переході, мкм; [18], с. 180–190, табл. 1–7, 10; 11; 12; 24; 25; 27;

ρ_{i-1} – сумарне значення просторових відхилень поверхонь заготовки, які отримані на попередньому переході, мкм; (розраховується за методикою даною в прикладі). [18], с. 178, табл. 8; 9; 15–23], [3], с. 66–69, табл. 4.7];

ϵ_i – похибка установки, яка отримана на даному переході, мкм; [3], с. 73–83.

Максимальний припуск на обробку поверхонь:

а) плоских (односторонній припуск):

$$Z_{i,\max} = Z_{i,\min} + T_{i-1} - T_i; \quad (8.13)$$

б) Циліндричних (двосторонній припуск):

$$2Z_{i,\max} = 2Z_{i,\min} + T_{D_{i-1}} - T_{D_i}, \quad (8.14)$$

де T_{i-1} та $T_{D_{i-1}}$ – допуск на лінійний і діаметральний розмір, отриманий на попередньому переході T_i і T_{D_i} – допуск на лінійний і діаметральний розміри, отримані на даному переході.

Максимальний припуск приймають в якості глибини різання при визначенні режимів різання (подачі, швидкості різання) та вибору обладнання по потужності [18], с. 175–196.

Номінальний припуск на обробку поверхонь визначається за формулами:

а) для зовнішніх поверхонь односторонній припуск:

$$Z_{H_i} = Z_{i,\min} + H_{i-1} - H_i; \quad (8.15)$$

б) Для зовнішніх циліндричних поверхонь, двосторонній припуск:

$$2Z_{H_i} = 2Z_{i,\min} + H_{D_{i-1}} - H_{D_i}; \quad (8.16)$$

в) при обробці внутрішніх поверхонь, двосторонній припуск:

$$2Z_{H_i} = 2Z_{i,\min} + B_{i-1} - B_i; \quad (8.17)$$

г) при обробці внутрішніх циліндричних поверхонь, двосторонній припуск:

$$2Z_{H_i} = 2Z_{i,\min} + B_{D_{i-1}} - B_{D_i}, \quad (8.18)$$

де H_{i-1} ; H_i – нижнє відхилення лінійних розмірів, відповідно на попередньому і даному переходах;

$H_{D_{i-1}}$; H_{D_i} – нижнє відхилення розмірів діаметральних, відповідно на попередньому і даному переходах;

$B_{D_{i-1}}$; B_{D_i} – верхнє відхилення діаметральних розмірів, відповідно отриманих на попередньому і даному переходах;

B_{i-1} ; B_i – верхнє відхилення лінійних розмірів відповідно на попередньому і даному переходах.

Розглянемо приклади розрахунку припусків на внутрішню і зовнішню циліндричні поверхні на прикладах деталей кронштейна та вала (див. рис. 8.1).

8.4.10. Аналітичний розрахунок припусків на розточування отвору $\varnothing 70H8$

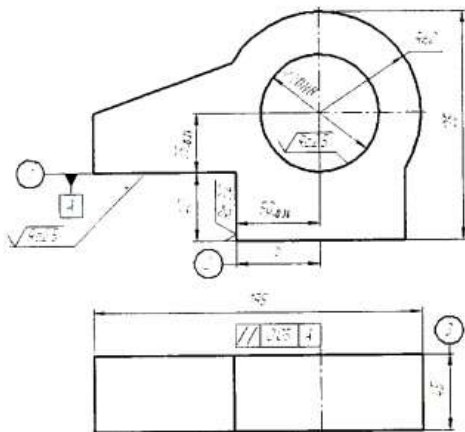


Рис. 8.7 – Ескіз кронштейна

Приклад 1. Розрахувати припуск на обробку отвору $\varnothing 70H8$. Розрахунок припусків починається із запису маршруту обробки поверхні, який необхідно взяти із попередньо розробленого маршруту обробки деталі. Для деталі “Кронштейн” маршрут обробки отвору $\varnothing 70H8$ складається із чорнового, чистового і точного розточування. Обробка виконується на розточному верстаті 2М615 за допомогою розточної оправки.

При розточуванні поверхні заготовки, установлені в пневмоприсрої на столі верстата використовуємо формулу (8.11) для розрахунку припусків $2Z_{\min}$ при обробці циліндричної поверхні, яка має вид:

$$2Z_{\min} = 2 \left(R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \sqrt{\varepsilon_i^2 + \rho_{i-1}^2} \right)$$

де $R_{z_{i-1}}$, h_{i-1} , ρ_{i-1} – висота мікронерівностей, глибина дефектного шару та сумарне значення просторових відхилень, які отримані на попередньому переході, мкм;

ε_i – похибка установки, яка отримана на даному переході, мкм.

Заготовка деталі (кронштейн) виготовляється із сталі 45Л методом відливки (машинна формовка).

Значення R_{z-1} та h_{z-1} вибираємо по [18], с. 182. табл. 6, сума їх значень дорівнює $(R_z + h) = 500$ мкм.

В [3], табл. 4.7, с. 66, даються розрахункові формули для визначення сумарного значення просторових відхилень, тобто відхилень від правильної геометричної форми поверхонь та їх взаємного розташування для різноманітних видів заготовок при їх обробці на першій операції, з урахуванням методів базування заготовок, які впливають на величину просторових відхилень.

Сумарне значення просторових відхилень для заготовки (кронштейн) визначаємо за формулою (дивись приклад [3], с. 83):

$$\rho = \sqrt{\rho_{\text{кор}}^2 + \rho_{\text{зв}}^2}, \quad (8.19)$$

де $\rho_{\text{кор}}$ – величина покособлення отвору, мкм, $\rho_{\text{зв}}$ – сумарне зміщення отвору у відливці, мкм.

Величину покособлення отвору слід враховувати як в діаметральному так і в осьовому його січенні, тому:

$$\rho_{\text{кор}} = \sqrt{(\Delta_x \cdot d)^2 + (\Delta_x \cdot l)^2}, \quad (8.20)$$

де Δ_x – питоме значення просторових відхилень отвору, в мкм на 1 мм довжини, $\Delta_x = 0,7 \dots 1$ – для відливок корпусів [3], с. 71, табл. 4.8;

d – діаметр отвору, $d = 70$ мм;

l – довжина отвору, $l = 35$ мм.

Підставивши значення отримаємо:

$$\rho_{\text{кор}} = \sqrt{(\Delta_x \cdot d)^2 + (\Delta_x \cdot l)^2} = 54,8 \text{ мкм.}$$

При визначенні $\rho_{\text{зв}}$ у даному випадку необхідно приймати до уваги точність розміщення базових поверхонь, які використовуються у прийнятій схемі установки, відносно поверхні, і які обробляються при цій установці.

Так при обробці отвору деталі (кронштейн) (рис. 8.7) якщо за базові вибирати поверхні ①, ②, ③ то у цьому випадку витримується принцип суміщення баз і похибка базування дорівнює нулю. При обробці отвору координати розміщення вісі отвору задаються від поверхонь ①, ②, які є як установочними так і вимірювальними базами, тому в даному випадку витримується принцип суміщення баз.

Сумарне зміщення отвору у відливці відносно зовнішньої поверхні ①, ② являє собою геометричну суму у двох взаємно перпендикулярних площинах:

$$\rho_{\text{ср}} = \sqrt{\left(\frac{ITB}{2}\right)^2 + \left(\frac{ITB}{2}\right)^2} = \sqrt{0,0144 + 0,029} = 0,21 \text{ мм} = 210 \text{ мкм.}$$

Сумарне значення просторового відхилення заготовки складає:

$$\rho_3 = \sqrt{(54,8)^2 + (210)^2} = 217 \text{ мкм.}$$

Після чорнової обробки сумарне значення зменшується, але ще має місце залишкове значення, яке визначається як:

$$\rho_1 = \rho_3 \cdot 0,05 = 217 \cdot 0,05 = 10,85 \text{ мкм.}$$

після чистового розточування:

$$\rho_2 = \rho_1 \cdot 0,04 = 217 \cdot 0,04 = 8,68 \text{ мкм.}$$

Похибка установки ϵ_i на переході, що виконується при визначенні проміжного припуску, характеризується величиною зміщення оброблюємої поверхні, яка повинна компенсуватися додатковою складовою проміжного припуску.

$$\epsilon_y = \sqrt{\epsilon_o^2 + \epsilon_z^2 + \epsilon_{np}^2}, \quad (8.21)$$

де ϵ_o – похибка базування, ϵ_z – похибка закріплення, ϵ_{np} – похибка положення заготовки.

Всі складові похибки установки являють собою поля розсіювання випадкових величин, тому сумуються в загальному випадку по правилу геометричного складання.

Похибка базування в нашому випадку дорівнює нулю $\epsilon_o = 0$, тому що співпадають установочні і вимірювальні бази. Похибка закріплення виникає в результаті зміщення оброблюємих поверхонь заготовок від дії сил кріплення. Таке зміщення може бути врахованим настройкою верстата, якщо воно і велике але має постійне значення. При використанні пристроїв з ручним кріплення похибка закріплення завжди має місце, а при використанні пристроїв з пневмо- і гідроприводами, коли величина сили кріплення завжди постійна її можна прийняти рівною нулю і виключити з розрахунків.

Похибка положення заготовки ϵ_{np} є наслідком неточності виготовлення верстатного пристрою і зносу його установочних елементів, а також похибка установки самого пристрою на верстаті. Сюди ж відноситься також похибка індексації – повороту затискних пристроїв при обробці заготовок на багатопозиційних верстатах, яка в більшості ви-

падків приймається рівною 0,05 мм. З урахуванням сказаного, для однопозиційної обробки формула (8.21) приймає вигляд:

$$\epsilon_y = \sqrt{\epsilon_n^2 + \epsilon_i^2}. \quad (8.22)$$

Похибка закріплення ϵ , вибирається по [3] табл. 4.10–4.13, с. 75–82).

При установці деталі у пристрої має місце похибка настройки ϵ_n , яка залежить від точності розміщення осей отворів при розточуванні [18], с. 15, табл. 6.

При настройці інструменту по шкалі з ноніусом $\epsilon_n = 200 \dots 400$ мкм, приймаємо $\epsilon_n = 300$ мкм. Похибка закріплення вибирається по [3], табл. 4.10, с. 75 при закріпленні деталі в пневмопристрої і дорівнює $\epsilon_i = 120$ мкм, тоді $\epsilon_y = \sqrt{\epsilon_n^2 + \epsilon_i^2} = \sqrt{300^2 + 120^2} = 323$ мкм. Залишкові значення після чорнового розточування $\epsilon_y = 0,05 \cdot 323 = 16,15$ мкм.

Після цього приступаємо до визначення мінімального припуску за формулою (8.11) по переходах, підставляючи отримані значення елементів припуску.

Визначаємо мінімальний припуск при чорновому розточуванні:

$$2Z_{1, \text{min}} = 2 \left(500 + \sqrt{210^2 + 323^2} \right) = 2 \cdot 885 \text{ мкм.}$$

Мінімальний припуск при чистовому розточуванні: [18], с. 185, табл. 10.

$$Rz_{r-1} = 100 \text{ мкм, } h_{r-1} = 100 \text{ мкм, } \rho_{r-1} = 10,85 \text{ мкм, } \epsilon_r = 16,5 \text{ мкм.}$$

$$2Z_{2, \text{min}} = 2(100 + 100 + \sqrt{10,85^2 + 16,5^2}) = 2 \cdot 220 = 0,440 \text{ мм.}$$

Мінімальний припуск при тонкому розточуванні [18], с. 185, табл. 10.

$$Rz_{r-1} = 15 \text{ мкм, } h_{r-1} = 20 \text{ мкм, } \rho_{r-1} = 8,68 \text{ мкм, } \epsilon_r = 323 \cdot 0,04 = 12,9 \text{ мкм.}$$

$$2Z_{3, \text{min}} = 2 \left(15 + 20 + \sqrt{8,68^2 + 12,4^2} \right) = 2 \cdot 51 \text{ мкм} = 0,102 \text{ мм.}$$

Результат розрахунків заносимо в таблицю 8.6.

Графа "Розрахунковий розмір" заповнюється починаючи з кінцевого (для отвору – максимального, тобто розмір плюс допуск в "мінус") послідовним відношенням розрахункового мінімального припуску на кожному технологічному переході

– після тонкого розточування отримаємо розмір $\text{O}70-0,046$;

– після чистового розточування:

$$d_{p1} = d_{\min} - 2Z_{3\min} = 70,046 - 0,102 = 69,94 \text{ мм};$$

– після чорного розточування:

$$d_{p2} = d_{p1} - 2Z_{2\min} = 69,94 - 0,440 = 69,50 \text{ мм};$$

– після відливки:

$$d_{p3} = d_{p2} - 2Z_{3\min} = 69,50 - 1,77 = 67,73 \text{ мм}.$$

У графі “Допуск” вибираємо і заносимо в таблицю значення допуску для розміру $\varnothing 70$ за таблицями допусків і посадок з врахуванням що після відливки отримуємо точність розміру по 14 кв, $IT_{D4} = 460$ мкм:

- після чорного розточування отримуємо 10...11 кв, $IT_{I3} = 190$ мкм;
- після чистового розточування отримуємо 9 кв, $IT_{I2} = 120$ мкм;
- після тонкого розточування отримуємо 8 кв, $IT_{D1} = 46$ мкм [18], с. 185, табл. 10.

У графі “Граничний розмір” найбільше значення d_{\max} отримуємо шляхом заокруглення розрахункових розмірів до точності допуску на відповідних переходах, а найменше значення d_{\min} – шляхом віднімання допусків на відповідних переходах від найбільших граничних розмірів так:

$$d_{\min1} = d_{\max1} - IT_{D1} = 70,046 - 0,046 = 70,0 \text{ мм};$$

$$d_{\min2} = d_{\max2} - IT_{I2} = 69,94 - 0,12 = 69,82 \text{ мм};$$

$$d_{\min3} = d_{\max3} - IT_{D3} = 69,50 - 0,19 = 69,37 \text{ мм};$$

$$d_{\min4} = d_{\max4} - IT_{D4} = 67,73 - 0,46 = 67,27 \text{ мм}.$$

Мінімальні граничні значення припусків $2Z_{\min}$ являють собою різницю найбільших граничних розмірів, отриманих на переході, що виконується і на попередньому переході $2Z_{1\min}$ дорівнює різниці максимальних розмірів після чорного точіння і відливки:

$$2Z_{3\min} = d_{\max3} - d_{\max4} = 69,50 - 67,73 = 1,77 \text{ мм};$$

$$2Z_{2\min} = d_{\max2} - d_{\max3} = 69,94 - 69,50 = 0,44 \text{ мм};$$

$$2Z_{1\min} = d_{\max1} - d_{\max2} = 70,046 - 69,94 = 0,106 \text{ мм}.$$

Таблиця 8.6 – Результати розрахунків припусків на розточування отвору Ø70H8 (Ø70–46)

Технологічні переходи обробки отвору Ø70H8, мм	Елементи припуску, мкм			Rz _{min} , МКМ	Розрахунковий розмір d _p , мм	Допуск, IT _p , МКМ	Граничний розмір, мм		Граничний припуск, мм			
	Rz _{i-1}	h _{i-1}	p _{i-1}				ε _i	d _{min}		d _{max}	2Z _{min}	2Z _{max}
Відливка	500	500	210		67,73	460	67,27	67,73				
Розточування:												
– чорнове;	100	100	10,85	323	2×885	190	69,37	69,50	1,77	2,04		
– чистове;	15	20	8,68	16,15	2×220	120	69,82	69,94	0,44	0,51		
– тонке	10	10	4,9	12,9	2×51	46	70	70,046	0,106	0,18		

Максимальні граничні значення припусків визначаються за формулою:

$$Z_{1\max} = Z_{1\min} + IT_{D4} - IT_{D3} = 1,77 + 0,46 - 0,19 = 2,04 \text{ мм};$$

$$Z_{2\max} = Z_{2\min} + IT_{D3} - IT_{D2} = 0,44 + 0,19 - 0,12 = 0,51 \text{ мм};$$

$$Z_{1\min} = Z_{1\min} + IT_{D2} - IT_{D1} = 0,106 + 0,12 - 0,046 = 0,18 \text{ мм}.$$

На основі виконаних розрахунків та таблиці 8.6 будемо схему розміщення полів допусків та припусків.

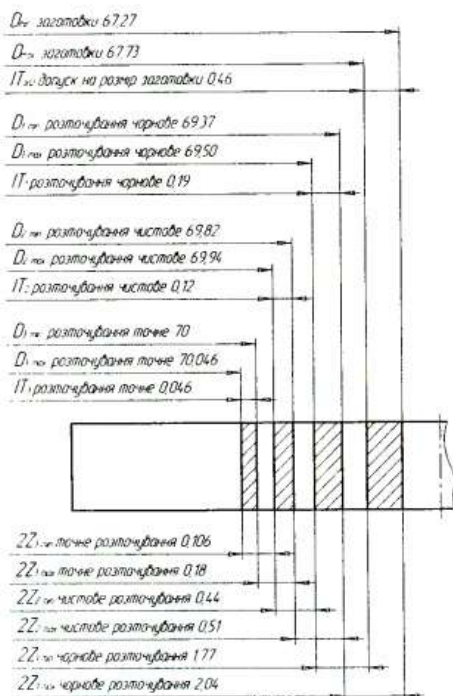


Рис. 8.8 – Схема графічного розміщення припусків та допусків на обробку отвору $\text{Ø } 70\text{H}8$

Приклад 2. Виконати розрахунок припусків і проміжних граничних розмірів на обробку поверхні вала $\varnothing 50^{+0,027}_{-0,009}$ рис. 8.9.

Маршрут обробки поверхні $\varnothing 50^{+0,027}_{-0,009}$ складається з точіння чорнового і чистового, шліфування чорнового і чистового. Точіння виконується на токарному верстаті 16К20, а шліфування на круглошліфувальному верстаті 3М150. Заготовка отримана відрізкою заготовки діаметром $\varnothing 75$ дисковою фрезою.

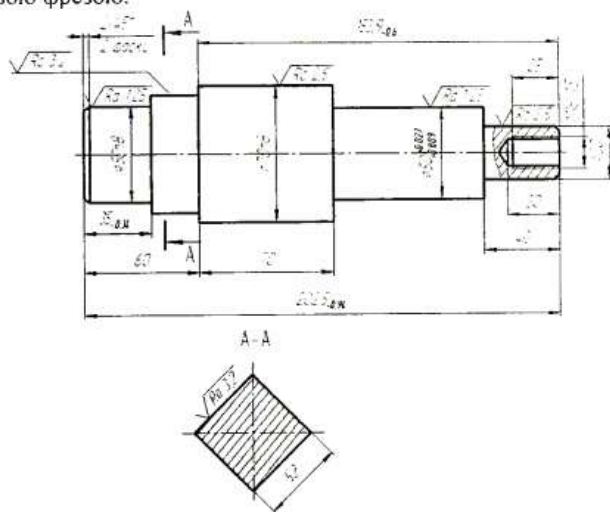


Рис. 8.9 – Креслення вала

Довжина заготовки підраховується таким чином, щоб об'єм заготовки відрізаної із прокату дорівнював об'єму заготовки – штамповки на ГКМ. Матеріал деталі – сталь 45.

При точінні поверхні заготовки, установлені в трьохкулачковому патроні з однієї сторони та з підтримкою центром задньої бабки з другої сторони для розрахунку припуску $2Z_{\min}$ використовуємо формулу (8.11) при обробці циліндричної поверхні, яка має вид:

$$2Z_{\min} = 2 \left(R_{r-1} + h_{r-1} + \sqrt{\epsilon_r^2 + \rho_{r-1}^2} \right)$$

де R_{r-1} , h_{r-1} , ρ_{r-1} – висота мікронерівностей, глибина дефектного шару та сумарне значення просторових відхилень, які отримані на попередньому переході, мкм;

ϵ_i – похибка установки, яка отримана на даному переході, мкм.

Заготовка деталі (вал) виготовляється із прокату сталі 45. Значення $R_{z,1}$ та $h_{r,1}$ вибираємо по [18], с. 182, табл. 6. $R_{z,1} = 200$ мкм; $h_{r,1} = 250$ мкм.

Сумарне значення просторових відхилень для заготовки (вал) визначаємо за формулою (див. приклад 4.2, [3], с. 88).

За результатами розрахунків значення просторових відхилень $\rho = 1630$ мкм.

Після кожного переходу механічної обробки має місце залишкове значення просторових відхилень, так:

– після попереднього точіння:

$$\rho_1 = 0,06 \cdot \rho_3 = 0,06 \cdot 1630 = 98 \text{ мкм};$$

– після чистового точіння:

$$\rho_2 = 0,04 \cdot \rho_3 = 0,04 \cdot 1630 = 65 \text{ мкм};$$

– після попереднього шліфування:

$$\rho_3 = 0,02 \cdot \rho_3 = 0,02 \cdot 1630 = 32 \text{ мкм}.$$

Похибка установки ϵ_i при закріпленні заготовки в трьохкулачковому патроні та в пінолі задньої бабки верстата 16К20 має найбільше значення:

– в шпинделі передньої бабки – 100 мкм;

– в пінолі задньої бабки – 130 мкм. [18], с. 29, табл. 11.

В цілому:

$$\epsilon_i = \sqrt{\epsilon_n^2 + \epsilon_3^2} = \sqrt{100^2 + 130^2} = 164 \text{ мкм};$$

– після попереднього точіння залишкове значення:

$$\epsilon_1 = 0,06 \cdot \epsilon_i = 0,06 \cdot 164 = 9,8 \text{ мкм};$$

– після чистого точіння:

$$\epsilon_2 = 0,04 \cdot \epsilon_i = 0,04 \cdot 164 = 6,56 \text{ мкм}.$$

На шліфувальних операціях базування виконується в центрах тому похибка установки ϵ_i прирівнюється до нуля.

Маючи всі значення елементів припуску заносимо їх в таблицю 8.7 і далі розраховуємо мінімальний припуск за переходами, граничні розміри і припуски за переходами.

Таблиця 8.7 – Результати розрахунків припусків на точіння
зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 50^{+0,027}_{-0,009}$

Технологічні переходи обробки отвору $\varnothing 50$, мм	Елементи припуску, мкм				$2Z_{\min}$, мкм	Розрахунковий розмір d_p , мм	Допуск, IT _p мкм	Граничний розмір, мм		Граничний припуск, мм	
	Rz_{r-1}	h_{r-1}	ρ_{r-1}	ϵ_r				d_{\min}	d_{\max}	$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$
Заготовка	200	250	1630	—	—	54,935	2400	54,935	57,335	—	—
Точіння: – попереднє; – чистове	50	50	98	164	2*	50,759	400	50,759	51,159	4,176	6,176
	25	25	65	9,8	2088	50,363	120	50,363	50,483	0,396	0,676
Шліфування: – попереднє; – чистове	15	15	32	6,6	2*	50,133	60	50,13	50,19	0,23	0,29
	5	5	—	—	115	50,009	18	50,009	50,027	0,124	0,166
					2* 62						

Обчисливши всі елементи формули визначення мінімального припуску приступаємо до його обчислення за формулою (8.11).

Визначаємо мінімальний припуск при чорновому точінні:

$$2Z_{1\text{min}} = 2\left(R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \epsilon_i^2}\right) = \\ = 2\left(200 + 250 + \sqrt{1630^2 + 164^2}\right) = 2(450 + 1638) = 2 \cdot 2088 \text{ мкм.}$$

Мінімальний припуск при чистовому точінні:

$$2Z_{2\text{min}} = 2\left(50 + 50 + \sqrt{98^2 + 9,8^2}\right) = 2(100 + 98 \cdot 49) = 2 \cdot 198 \text{ мкм.}$$

Мінімальний припуск при попередньому шліфуванні:

$$2Z_{3\text{min}} = 2\left(25 + 25 + \sqrt{65^2 + 6,6^2}\right) = 2(50 + 65,4) = 2 \cdot 115 \text{ мкм.}$$

Мінімальний припуск при чистовому шліфуванні:

$$2Z_{4\text{min}} = 2(15 + 15 + 32) = 2 \cdot 62 \text{ мкм.}$$

Графа таблиці 8.7 “Розрахунковий розмір” заповнюється, починаючи з кінцевого (заданого на кресленні) найменшого значення розміру, шляхом послідовного додавання розрахункового мінімального припуску кожного технологічного переходу:

– після чистого шліфування отримуємо кінцевий розмір $\varnothing 50,009$ мм;

– після попереднього шліфування отримуємо розмір додаванням до його найменшого значення припуск на шліфування $2Z_{4\text{min}}$:

$$d_{p1} = 50,009 + 2 \cdot 62 = 50,009 + 0,124 = 50,133 \text{ мм;}$$

– після чистого точіння отримуємо розмір додаванням до d_{p1} припуску $2Z_{3\text{min}}$:

$$d_{p2} = d_{p1} + 2Z_{3\text{min}} + 50,133 + 2 \cdot 115 = 50,133 + 0,23 = 50,363 \text{ мм;}$$

– після попереднього точіння отримуємо розмір додаванням до d_{p2} припуску $2Z_{2\text{min}}$:

$$d_{p3} = d_{p2} + 2Z_{2\text{min}} + 50,363 + 2 \cdot 198 = 50,363 + 0,396 = 50,759 \text{ мм;}$$

– розмір заготовки отримуємо додаванням до d_{p3} припуску $2Z_{1\text{min}}$:

$$d_{p0} = d_{p3} + 2Z_{1\text{min}} + 50,759 + 2 \cdot 1088 = 50,759 + 4,176 = 54,935 \text{ мм.}$$

“Найменший граничний розмір” d_{min} дорівнює заокругленому розрахунковому розміру в більшу сторону до того знаку з яким заданий допуск на кресленні (у нашому випадку $\varnothing 50,009$).

Графу “Допуск” заповнюємо залежно від точності обробки на відповідних переходах.

“Найбільші граничні розміри” визначаємо додаванням допуску до “Найменших граничних”.

$$d_{\max_4} = 50,009 + 0,018 = 50,027 \text{ мм};$$

$$d_{\max_3} = 50,133 + 0,060 = 50,193 \text{ мм};$$

$$d_{\max_2} = 50,363 + 0,120 = 50,483 \text{ мм};$$

$$d_{\max_1} = 50,759 + 0,400 = 51,159 \text{ мм};$$

$$d_{\max_0} = 54,935 + 2,400 = 57,335 \text{ мм}.$$

Граничні значення максимальних припусків $2Z_{\max}^{zp}$ визначаються як різниця найбільших граничних розмірів сусідніх переходів

$$2Z_{\max_0}^{zp} = d_{\max_0} - d_{\max_1} = 57,335 - 51,159 = 6,176 \text{ мм};$$

$$2Z_{\max_1}^{zp} = d_{\max_1} - d_{\max_2} = 51,159 - 50,483 = 0,676 \text{ мм};$$

$$2Z_{\max_2}^{zp} = d_{\max_2} - d_{\max_3} = 50,483 - 50,193 = 0,29 \text{ мм};$$

$$2Z_{\max_3}^{zp} = d_{\max_3} - d_{\max_4} = 50,193 - 50,027 = 0,166 \text{ мм}.$$

Граничні значення мінімальних припусків $2Z_{\min}^{zp}$ визначаються як різниця найменших граничних розмірів сусідніх переходів:

$$2Z_{\min_0}^{zp} = d_{\min_0} - d_{\min_1} = 54,935 - 50,759 = 4,176 \text{ мм};$$

$$2Z_{\min_1}^{zp} = d_{\min_1} - d_{\min_2} = 50,759 - 50,363 = 0,396 \text{ мм};$$

$$2Z_{\min_2}^{zp} = d_{\min_2} - d_{\min_3} = 50,363 - 50,133 = 0,23 \text{ мм};$$

$$2Z_{\min_3}^{zp} = d_{\min_3} - d_{\min_4} = 50,133 - 50,009 = 0,124 \text{ мм}.$$

Після виконання всіх розрахунків необхідно перевірити наскільки правильно вони виконані, співставляючи різницю припусків і допусків за формулами:

$$Z_{i,\max} - Z_{i,\min} = IT_{j-1} - IT_i; \quad (8.23)$$

$$2Z_{i,\max} - 2Z_{i,\min} = IT_{D_{i-1}} - IT_{D_i}. \quad (8.24)$$

При правильних розрахунках ліва сторона формули дорівнює правій.

Маючи всі значення елементів припуску, допусків по переходах, граничних максимальних і мінімальних припусків будемо схему графічного розміщення припусків і допусків на обробку вала $\varnothing 50_{+0,027}^{+0,009}$.

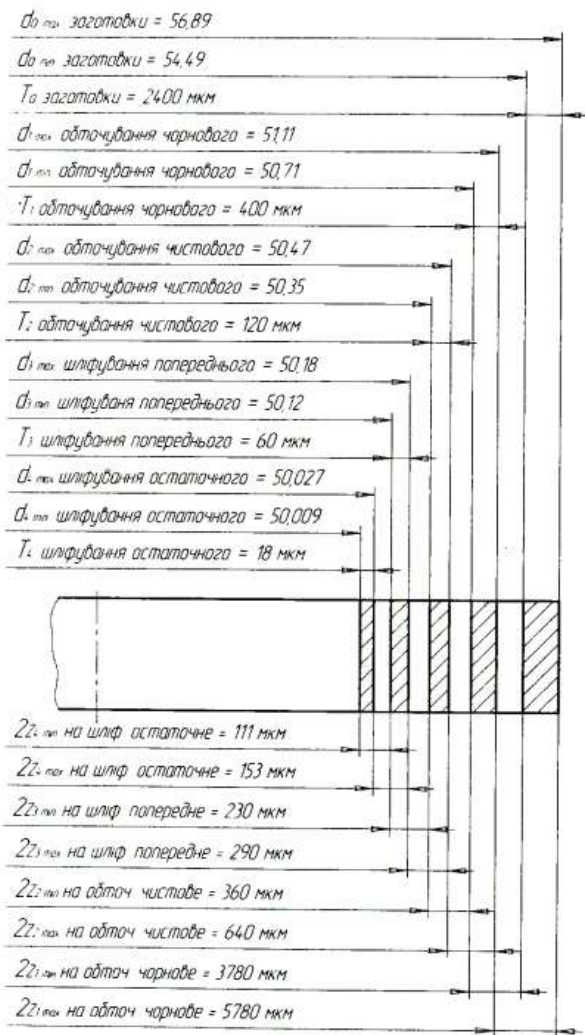


Рис. 8.10 – Схема графічного розміщення припусків і допусків на обробку вала $\varnothing 50^{+0,027}_{+0,009}$

На всі інші обробляємі поверхні вала (як і “Кронштейна”) призначають припуски і допуски [11] і заносять в таблицю 8.8.

Таблиця 8.8 – Припуски і допуски на обробляємі поверхні вала

Поверхня	Розмір, мм	Припуск, мкм		Заготовка		
		табличний	розрахунковий	допуск	квалітет	
1	A	$\varnothing 50^{+0,027}_{+0,009}$	-	6,176	± 2.8	7
2	B	$\varnothing 70 \pm 0,05$	3,6	-	± 3.2	8
3	B					11
4	Г					9
5	Д					14
				Середнє значення допуску 10		

8.4.11. Розрахунок та вибір режимів різання

Режим різання визначається наступними основними параметрами:

- ↳ глибиною різання, t мм;
- ↳ подачею інструмента чи заготовки, S мм/об; мм/хв.; мм/зуб; мм/подв. хід;
- ↳ швидкістю різання, V м/с; м/хв.

Режими різання вибирають такими, щоб була забезпечена найбільша продуктивність праці при найменшій собівартості даної технологічної операції. Ці умови можна виконати при роботі інструментом відповідної конструкції, найвигіднішої геометрії різальної частини з максимальним використанням всіх експлуатаційних можливостей верстата.

Аналитичний розрахунок режимів різання по емпіричних формулах з врахуванням всіх поправочних коефіцієнтів виконується для 2–3 переходів різних операцій, наприклад, чорнове точіння чи розточування, свердління, чорнове фрезерування, чистові види обробки та інше. Для всіх інших операцій режими різання вибираються по таблицях нормативних довідників [16; 1; 3] і заносяться в таблиці.

Елементи режиму різання визначають в послідовності вказаній нижче.

Глибина різання t мм: при чорновій (попередній) обробці призначають по можливості максимальну глибину різання t , рівну припуску на обробку.

При чистовій (кінечній) обробці глибина різання призначається залежно від вимог точності розмірів та шорсткості поверхні, яка обробляється та залежно від жорсткості деталі, яка обробляється.

Подача S : при чорновій обробці вибирають максимально можливу подачу, виходячи з жорсткості і міцності системи ВПД, потужності приводу верстата, міцності твердосплавної пластинки та інших факторів.

При чистовій обробці – залежно від вимог до степені точності і шорсткості поверхні, яка обробляється [1]; [19].

Швидкість різання V розраховують за емпіричними формулами, встановленими для кожного виду обробки, які мають загальний вид:

$$V_{10} = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \quad (8.25)$$

Значення показників C_v і показників степені, які містяться у цих формулах, так само як і період стійкості T інструмента приводяться у відповідних таблицях для кожного виду обробки [19].

Для більш детального ознайомлення з розрахунками режимів різання розглянемо приклади розрахунків, де будуть вказані література і таблиці, звідки беруться ті чи інші значення елементів формул.

Приклад 1. Аналітичний розрахунок режимів різання на чорнове розточування отвору $\varnothing 70H8$ корпусної деталі.

Чорнове розточування виконується на основі наступних даних:

- робота виконується з охолодженням;
- матеріал, що обробляється - чавун СЧ 14;
- різець розточний ВК6, ГОСТ 9795–84;
- подача $S = 0,3$ мм/об [19], табл. 12, с. 267;
- глибина різання $t = 1,35$ – дорівнює величині припуску на чорнове розточування;
- чистота поверхні $R_a = 12,5$ мкм.

Швидкість різання при точінні і розточуванні визначається за формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v, \text{ м / хв, м / с,} \quad (8.26)$$

де C_v – коефіцієнт, який враховує властивості матеріалів деталі та різального інструменту, $C_v = 292$ [19], с. 270, табл. 17 (згідно “Примітки” п.1 с.270 при обробці внутрішніх поверхонь C_v визначається з поправочним коефіцієнтом 0,9, тобто $C_v = 292 \cdot 0,9 = 263$);

T – стійкість інструменту, $T=60$ хв.; [19], с. 268;

t – глибина різання – максимальний припуск, мм;

S – подача, мм/об, $S = 0,3$ мм/об;

K_v – загальний коефіцієнт на швидкість різання: [19], с. 268;

$$K_v = K_{M_t} \cdot K_n \cdot K_{n_v}, \quad (8.27)$$

де K_{M_t} – коефіцієнт, який враховує вплив матеріалу заготовки, [19], с. 261–263, табл. 1–4;

K_n – коефіцієнт, який враховує стан поверхні [19], с. 263, табл. 5;

K_{n_v} – коефіцієнт, який враховує матеріал інструменту [19], с. 263, табл. 6.

$$K_{M_t} = 0,8; K_n = 0,9; K_{n_v} = 1,0.$$

Показники степені: $m = 0,2$; $k = 0,15$; $y = 0,2$ [19], с. 270, табл. 17. Тоді $K_v = 0,8 \cdot 0,9 \cdot 1,0 = 0,72$.

Підставивши всі знайдені значення у формулу (8.26) отримаємо швидкість різання при чорновому розточуванні:

$$V = \frac{263}{60^{0,2} \cdot 1,35^{0,15} \cdot 0,3^{0,2}} \cdot 0,72 = \frac{263 \cdot 0,72}{2,27 \cdot 1,05 \cdot 0,79} = 100,58 \text{ м / хв}; (1,676 \text{ м / с}).$$

Визначаємо частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot 100,58}{3,14 \cdot 70} = 457 \text{ об / хв.}$$

У розточного верстата обертається розточна оправка, частоту обертання якої приймаємо по паспорту верстата, $n = 400$ об/хв.

Фактична швидкість різання:

$$V_{sp} = \frac{\pi dn}{1000} = \frac{3,14 \cdot 70 \cdot 400}{1000} = 87,92 \text{ м / хв.}$$

Розраховуємо силу різання при розточуванні за формулою:

$$P_z = 10 \cdot C_{P_z} \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p, \quad (8.28)$$

де $C_{P_z} = 92$; $x = 1,0$; $y = 0,75$; $n = 0$; [19], с. 273, табл. 22:

K_p – поправочний коефіцієнт, який є добутком ряду коефіцієнтів:

$$K_p = K_{M_p} \cdot K_{\phi_p} \cdot K_{\gamma_p} \cdot K_{\lambda_p} \cdot K_{r_p}, \quad (8.29)$$

де K_{M_p} – коефіцієнт, який враховує вплив фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу на швидкість різання.

$$K_{M_p} = \left(\frac{HB}{190} \right)^n; HB = 190; n = 0,4; \quad (8.30)$$

$$K_{M_r} = \left(\frac{190}{190} \right)^{0,4} = 1^{0,4} = 1; K_{\varphi_r} = 1, \text{ при } \varphi=45^\circ; K_{\gamma_r} = 1, \text{ при } \gamma=10^\circ;$$

$K_{\lambda_r} = 1,25$ при $\lambda = 5^\circ$; $K_{r_r} = 0,93$ при $r = 1$ мм; [19], с. 275, табл. 23.

Тоді $K_r = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,25 \cdot 0,93 \cdot 1,0 = 1,16$.

$$P_z = 10 \cdot 92 \cdot 1,35^{1,0} \cdot 0,3^{0,75} \cdot 87,92^0 \cdot 1,16 = 584 \text{ Н.}$$

Потужність різання, кВт:

$$N_i = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{584 \cdot 87,92}{1020 \cdot 60} = 0,84 \text{ кВт.}$$

Потужність верстата 2М615 – 6,7 кВт, що забезпечує обробку. Основний час (машинний):

$$T_M = \frac{L \cdot i}{n \cdot S}, \quad (8.31)$$

де L – довжина робочого ходу; i – кількість проходів;

$$L = l + y + \Delta,$$

де l – довжина обробки; y – величина врізання; Δ – величина перебігу.

$$y = t \cdot \text{ctg} \alpha; \quad (8.32)$$

$y = 1,35 \cdot \text{ctg} 45^\circ = 1,35$; ; $\Delta = 2 \dots 3$ мм.

8.4.12. Призначення режимів обробки на всі інші переходи табличним методом

Режим різання на всі інші переходи операцій технологічного процесу приймаємо за таблицями [1; 3; 19; 25]. Результати прийнятих значень заносимо в таблицю 8.10. Прийняті табличні значення не завжди приймаються один до одного, а потребують деяких нескладних розрахунків, які показані нижче.

Приклад визначення режимів обробки: фрезерувати квадрат $52 \times 52 \text{ h} 14$ (див. рис. 8.4). Приймаємо фрезу торцеву Т5К10, $D = 100$ мм:

а) глибина різання $t = 2$ мм.;

б) подача $S_z = 0,2$ мм/зуб [19] с. 282;

в) швидкість різання:

$$V_p = V_{\text{табл}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (8.33)$$

де $V_{\text{табл}}$ – таблична швидкість різання, $V_{\text{табл}} = 110$ м/хв, [25], с. 88;

K_1 – коефіцієнт від оброблюваного матеріалу, $K_1 = 1,1$ [25], с. 88;

K_2 – коефіцієнт від стійкості інструмента, $K_2 = 0,7$ [25], с. 91;
 K_3 – коефіцієнт від виду обробки, $K_3 = 1,2$ [25], с. 91.

$$V = 110 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 1,2 = 102 \text{ м/хв.}$$

г) кількість обертів:

$$n = \frac{1000 \cdot 102}{3,14 \cdot 100} = 324 \text{ об / хв.}$$

коректуємо по паспорту верстату $n = 400$ об/хв.

д) дійсна швидкість різання:

$$V = \frac{3,14 \cdot 100 \cdot 400}{1000} = 125,6 \text{ м / хв.}$$

е) потужність:

$$N = E \cdot \frac{V \cdot t \cdot Z_u}{1000} K_1 \cdot K_2, \quad (8.34)$$

де E – таблична величина, $E = 1,7$, [25], с. 102;

Z_u – кількість зубців фрези;

K_1, K_2 – коефіцієнти, $K_1 = 1,4$; $K_2 = 1,2$, [25], с. 103.

$$N = 1,7 \frac{102 \cdot 2 \cdot 8}{1000} \cdot 1,4 \cdot 1,2 = 4,6 \text{ кВт.}$$

ж) машинний час:

$$T_v = \frac{L}{S_v} \cdot i, \text{ хв.} \quad (8.34)$$

де L – довжина різання, мм:

$$L = l + q + \Delta, \quad (8.35)$$

де l – довжина обробки, мм;

q – величина вривання, $q = 0,3D$, мм;

Δ – величина перебігу, $\Delta = 2 \dots 3$ мм, приймаємо $\Delta = 3$ мм;

i – кількість проходів, $i = 4$.

$$L = 52 + (0,3 \cdot 100) + 3 = 85 \text{ мм.}$$

$$T_v = \frac{85}{500} \cdot 4 = 0,68 \text{ хв.}$$

Приклад. Нарізати різьбу М8. Матеріал заготовки сталь 40Х.
Приймаємо мітчик М8, Р6М5.

1) глибина різання: $t = 0,5$ (мм);

2) подача $S = 1$ (мм/об), [25], с. 23;

3) швидкість різання, [25]:

$$V_p = V_{\text{табл}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (8.36)$$

де: $V_{\text{табл}}$ – таблична швидкість різання;

K_1 – коефіцієнт, який залежить від оброблюваного матеріалу;

K_2 – коефіцієнт, який залежить від стійкості інструмента;

K_3 – коефіцієнт, який залежить від виду обробки.

$V_{\text{табл}} = 10$ м/хв. [25], с. 30; $K_1 = 0,85$ [25], с. 32; $K_2 = 1,0$ [25], с. 33;
 $K_3 = 1,0$ [25], с. 34, $V_p = 10 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 1 = 8,5$ м/хв.

4) кількість обертів:

$$n = \frac{1000 \cdot 8,5}{3,14 \cdot 8} = 338 \text{ об / хв.}$$

Коректуємо за паспортом верстата, $n = 250$ об/хв.

5) дійсна швидкість різання:

$$V = \frac{3,14 \cdot 8 \cdot 250}{1000} = 6,28 \text{ м / хв.}$$

6) машинний час:

$$T_w = \frac{1}{A_c}, \quad (8.37)$$

де A_c – продуктивність.

$$A_c = \frac{S \cdot n}{L_{\text{рз}} \cdot l_{\text{дон}}}, \quad (8.38)$$

де L – довжина різання, $L = 25$ мм, $L_{\text{дон}}$ – додаткова частина мітчика, $L_{\text{дон}} = 2$.

$$A_c = \frac{1 \cdot 250}{25 + 2} = 9,2 \text{ хв}; \quad T = \frac{1}{9,26} = 0,108 \text{ хв};$$

Приклад. Шліфувати $\varnothing 40 \times 6$.

Обробку ведемо на круглошліфувальному верстаті мод. 3М131 методом повздовжньої подачі.

Вибираємо шліфувальний круг ПВД 24А40НСМ 25К8 35 м/с.

Призначаємо режими різання:

а) глибина різання $t = 0,2$ мм;

б) швидкість шліфувального круга $V_k = 35$ м/с;

в) окружна швидкість заготовки $V_s = 15 \dots 55$ м/хв.

Приймаємо $V_s = 35$ м/хв.

$$n_3 = \frac{1000 \cdot V_3}{\pi \cdot D_3} = \frac{1000 \cdot 35}{3,14 \cdot 40} = 278 \text{ об / хв.}$$

г) глибина шліфування: поперечна подача $t = 0,005 \dots 0,015$ мм/хід.
Приймаємо $t = 0,005$ мм/хід.

д) повздовжня подача:

$$S = S_d \cdot B_K \quad (8.39)$$

$S_d = 0,3$ мм/об, $B_K = 63$ – ширина круга, тоді $S = 0,3 \cdot 63 = 18,9$ мм/об;

е) швидкість повздовжнього ходу:

$$V_{\text{повзд}} = \frac{S \cdot n_3}{1000} = \frac{18,9 \cdot 278}{1000} = 5,25 \text{ м / хв.}$$

ж) потужність різання:

$$N_p = C_N \cdot V^r \cdot t^x \cdot S^y \cdot d^g, \text{ кВт.} \quad (8.40)$$

$$C_N = 2,65; r = 0,5; x = 0,5; y = 0,55; g = 0.$$

$$N_p = 2,65 \cdot 35^{0,5} \cdot 0,005^{0,5} \cdot 18,9^{0,55} \cdot 40^0 = 5,5 \text{ кВт.}$$

Перевіряємо чи достатньо потужності верстата:

$$N_{\text{шт}} = N_{\text{дв}} \cdot S = 4,5 \cdot 0,8 = 3,6 \text{ кВт; } 3,6 \leq 5,5.$$

Обробка неможлива, необхідно коректувати режими різання, зменшити глибину різання і подачу.

з) машинний час:

$$T_M = \frac{L \cdot h}{n_3 \cdot S_T} \cdot K, \quad (8.41)$$

де L – довжина ходу; $L = 18$ мм; $h = 0,2$ мм; $K = 1,4$;

$$T_M = \frac{30 \cdot 0,1}{275 \cdot 18,9 \cdot 0,005} \cdot 1,4 = 0,161 \text{ хв.}$$

Результати розрахунків та вибору режимів різання зводимо в таблицю 8.9.

Таблиця 8.9 – Зведені результати режимів різання по всіх переходах

Операція та її зміст	Верстат	L, мм	D, мм	f	t _c , мм	V _c , м/хв	S _{ср} , мм/хв	S _{ср} , мм/об	n _c , об/хв	V _c , м/хв	T _{ср} , хв
005 Фрезерно-центрувальна	МР-71	67	100	1	1,5		200	–	630	197	0,445 0,335
1. Фрезерувати торці											
2. Свердлити центрові отвори		15,9	3	1	1,5		–	0,28	1000	9,42	0,114 0,456
010Токарна з ЧПК	16К20Ф3										
1. Точити Ø13h14 начорно		117,8	13	1	1,0			0,4	800	32,65	0,368
2. Точити Ø11,2h14 начорно		20	11,2	1	1,4			0,4	800	28,13	0,063
3. Точити фаску 7 начорно		8	13	1	5			0,4	800	32,6	0,025 0,215
015 Токарна з ЧПК	16К20Ф3										
1. Точити Ø11,2h14 начорно		35	11,2	1	1,4			0,4	800	28	0,11
2. Точити Ø9,2h14 начорно		25	9,2	1	1			0,4	800	23	0,08
3. Точити фаску 7 начорно		8	11,2	1	5			0,4	800	23	0,025

Таблиця 8.10 – Режими різання на механічну обробку (вала, кронштейна, корпусу тощо)

Номер операції	Зміст операції і переходів	Модель верстата	Глибина різання	Розрахункові значення			Прийняті значення	
				Подача S, мм/об, мм/хв	Швидкість різання V, м/хв	Частота обертання шпинделя n, об/хв	Подача S, мм/об, мм/хв	V, м/хв
005	Фрезерна							
	1. Фрезерувати пов. 1	6P12						
	– начорно:		2			300	118	300
	– начисто		0.5			150	151	400
010	2. Фрезерувати пов. 2							
	– начорно:		2		118			
	– начисто		0.5		151			
	Токарна	16X20						

8.4.13. Розрахунок технічної норми часу

У масовому виробництві норма штучного часу визначається за формулою:

$$t_{шт-к} = t_o + t_o' + t_{обс} + t_{відп}, \text{ хв.} \quad (8.42)$$

У серійному виробництві визначається норма штучно-калькуляційного часу, хв:

$$t_{шт-к} = t_o + t_o' + t_{обс} + t_{відп} + \frac{T_{n-г}}{n}, \quad (8.43)$$

де t_o – основний (машинний) час, хв; $t_o = l_{рх} / S_{хв}$;

$l_{рх}$ – довжина робочого ходу інструменту, мм;

$S_{хв}$ – хвилинна подача, мм/хв;

t_o' – допоміжний час, хв;

$t_{обс}$ – час на обслуговування робочого місця, хв;

$t_{відп}$ – час на відпочинок і особисті потреби робітника, хв;

$T_{n-г}$ – підготовчо-заклучний час на партію деталей, хв;

n – розмір партії деталей.

Розраховані норми часу представляють у формі таблиці 8.11.

Таблиця 8.11 – Зведена таблиця технічних норм часу за операціями, хв.

Номер і найменування операції	t_o	t_o'			$t_{відп}$	$t_{обс}$		$t_{відп}$	$t_{шт}$	$T_{n-г}$	n шт	$t_{шт-к}$
		$t_{уц}$	$t_{уш}$	$t_{виц}$		$t_{мсх}$	$t_{орв}$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Примітка. t_o – основний час; t_o' – допоміжний час; $t_{уц}$ – час на установку і знімання деталі; $t_{уш}$ – час на управління верстатом; $t_{виц}$ – час на вимірювання деталей; $t_{відп} = t_o + t_o'$ – оперативний час; $t_{мсх}$ – час на технічне обслуговування робочого місця; $t_{орв}$ – час на організаційне обслуговування робочого місця; $t_{відп}$ – час на відпочинок і особисті потреби робітника; $t_{шт}$ – штучний час на операцію; $T_{n-г}$ – підготовчо-заклучний час; n – розмір партії деталей; $t_{шт-к}$ – штучно-калькуляційний час.

Приклад виконання розрахунку технічної норми часу в умовах серійного виробництва. Технічне нормування відіграє важливу роль в підвищенні продуктивності праці, дозволяє встановлювати вірну нау-

ково-обґрунтовану міру витрат праці на одиницю продукції. Всі ці заходи необхідні для того, щоб стимулювати ріст продуктивності праці. Технічно обґрунтована норма часу – це час, встановлений працівникові, для виконання конкретної операції в найбільш раціональних організаційно-технічних і господарських умовах.

Технічні норми часу в умовах серійного виробництва визначаються розрахунково-аналітичним методом за формулою (8.43):

$$t_{\text{шт-к}} = t_o + t_{\text{п}} + t_{\text{обс}} + t_{\text{оп}} + \frac{T_{\text{н-т}}}{n},$$

де t_o – основний час;

$T_{\text{п.т}}$ – підготовчо-заклучний час;

n – кількість деталей в розрахунковій партії;

$t_{\text{п}}$ – допоміжний час.

$$t_o = t_{\text{вст}} + t_{\text{впр}} + t_{\text{взм}} \quad (8.44)$$

де: $t_{\text{вст}}$ – час на встановлення і знімання заготовки;

$t_{\text{впр}}$ – час на керування верстатом;

$t_{\text{взм}}$ – час на вимірювання розмірів;

$t_{\text{обс}}$ – час на обслуговування робочого місця:

$$t_{\text{обс}} = t_{\text{тех}} + t_{\text{оп}}$$

де $t_{\text{тех}}$ – час на технологічне обслуговування;

$t_{\text{оп}}$ – час на організаційне обслуговування;

$t_{\text{вст}}$ – час на відпочинок.

Приклад розрахунку норм часу на операцію 005, [3], с. 197–216:

$$t_o = 1,985 \text{ хв}; t_{\text{вст}} = 0,08 \text{ хв},$$

Час на керування верстатом:

1. Ввімкнути, вимкнути верстат 0,02 хв.

2. Переміщення інструменту – 0,06 хв.

$$t_{\text{впр}} = 0,02 + 0,06 = 0,08 \text{ хв.}; t_{\text{взм}} = 0,17 \text{ хв.}; t_o = 0,08 + 0,08 + 0,17 = 0,33 \text{ хв.}$$

Оперативний час:

$$t_{\text{оп}} = t_o + t_{\text{в}} \quad (8.45)$$

$$t_{\text{оп}} = 1,985 + 0,33 = 2,315 \text{ хв.}$$

Час на технічне обслуговування:

$$t_{\text{тех}} = \frac{t_{\text{вст}} \cdot t_o}{T} \quad (8.46)$$

де $t_{\text{ув}}$ – час заміни інструменту; $t_{\text{ув}} = 1,3$ хв. T – стійкість інструменту, $T = 60$ хв.

$$t_{\text{мех}} = \frac{1,3 \cdot 1,985}{60} = 0,043 \text{ хв};$$

$$t_{\text{оп}} = 24\% \cdot t_{\text{мех}}, [5, \text{ с. 213}];$$

$$t_{\text{оп}} = \frac{2,4 \cdot 2,315}{100} = 0,055 \text{ хв};$$

$$t_{\text{ог}} = 0,043 + 0,056 = 0,099 \text{ хв};$$

$$t = 0,06 \cdot 2,315 = 0,138 \text{ хв};$$

$$t_{\text{м}} = t_{\text{ог}} + t_{\text{с}} + t_{\text{ог}} + t_{\text{ог}};$$

$$t_{\text{м}} = 1,985 + 0,33 + 0,099 + 0,139 = 2,548 \text{ хв};$$

$$T_{\text{н.з.}} = 6 \text{ хв}, n = 100,$$

$$t_{\text{м-к}} = 2,548 + \frac{6}{100} = 2,608 \text{ хв}.$$

На решту операцій робимо аналогічний розрахунок, а результати заносимо у таблицю 8.12.

8.4.14. Оформлення технологічної документації

Технологічний процес механічної обробки деталі оформляють такими документами ГОСТ 3.1129–93:

- ☞ титульним листом;
 - ☞ маршрутною картою (ГОСТ 3.1118–82 і ГОСТ 3.1103–82);
 - ☞ операційною картою (ГОСТ 3.1404–86 і ГОСТ 3.1702–79);
 - ☞ картою ескізів (ГОСТ 3.1105–84);
 - ☞ операційною картою технічного контролю (ГОСТ 3.1502–85).
- Технологічні документи оформляють відповідно до ГОСТ 3.1702–79.

Таблиця 8.12 – Технічні норми часу

Номер операції	Найменування операції	t_n , хв.	t_p , хв.			$t_{оп}$, хв.	$t_{обс}$, хв.		$t_{мин}$, хв.	$T_{п.з}$, хв.	$t_{мин.к}$, хв.	
			t_{yc}	$t_{зпр}$	$t_{пав}$		$t_{инст}$	$t_{опт}$				
												$t_{обс}$
005	Токарна	1,985	0,08	0,08	0,17	2,315	0,043	0,056	0,139	2,553	0,06	2,608
010	Токарна	0,762	0,024	0,09	0,19	1,066	0,0165	0,0256	0,0746	1,1827	0,06	1,243
015	Токарна	0,92	0,024	0,09	0,19	1,224	0,0199	0,0294	0,0857	1,359	0,08	1,439
020	Протяжна	0,25	0,24	0,11	0,17	0,77	0,0054	0,0185	0,0539	0,8478	0,08	0,928
025	Фрезерна	1,09	0,04	0,09	0,11	1,33	0,0709	0,0319	0,0931	1,5259	0,1	1,626
030	Свердлильна	0,526	0,12	0,04	0,17	0,856	0,0114	0,0205	0,0599	0,9479	0,06	1,008
035	Круглошліфувальна	0,407	0,1	0,04	0,11	0,657	0,0163	0,0092	0,0394	0,7219	0,08	0,802

Питання для самоконтролю

1. Як прийнято розрізняти, по видах, технологічні процеси (ТП) згідно ГОСТ 14.301-83?
2. Що є основою при розробці технологічного процесу?
3. Які правила й інструкції існують при проектуванні ТП?
4. З чого починається розробка ТП і які існують основні етапи розробки?
5. Для чого існують класифікатори способів базування, класифікатори технологічних операцій, методики вибору технологічних баз при розробці ТП?
6. Яким чином розраховуються режими обробки і які існують технологічні нормативи?
7. Яке значення стандартів і технічних умов при проектуванні ТП?
8. Які Ви знаєте методи розрахунку економічної ефективності ТП, стандарти, ЕСТД оформлення документації і проведення нормо-контролю?
9. По яких параметрах вибирається технологічне устаткування, технологічне оснащення, засоби контролю при розробці ТП.
10. Які існують форми організації і розробки технологічних процесів?
11. Для чого призначений груповий ТП і яке його визначення?
12. Які існують етапи розробки групових технологічних процесів?
13. Яким чином на основі аналізу безлічі ТП розробляються типові ТП?

Основи технології складальних процесів

Програма розвитку виробництва товарів народного споживання і сфер послуг передбачає крім збільшення обсягу продукції, що випускається підприємствами легкої промисловості, значне підвищення її якості і поліпшення асортименту. Це ставить перед машинобудівниками задачі по створенню і впровадженню нових високопродуктивних і автоматизованих машин, що володіють високою надійністю, довговічністю і ремонтпридатністю. У значній мірі якість цих машин та їх випуск у заданий термін залежать від складання – заключного і визначального етапу виробничого процесу.

На сьогодні складальні роботи в машинобудуванні по трудомісткості займають друге місце після механічної обробки, і складають 25–30 % загальних трудовитрат на виготовлення виробів. При цьому слід зазначити, що в складальних цехах машинобудівних заводів механізовано в середньому близько 25 % і автоматизовано близько 5 % складальних робіт. Тут переважає ручна праця, якою зайнято багато кваліфікованих, високооплачуваних робітників. Чисельність їх росте швидше, ніж в обробних цехах. У результаті собівартість складання нерідко сягає собівартості механічної обробки деталей.

Технологічний процес складання має свої особливості, що залежать від конструкції машини, що складається. Однак, незважаючи на розмаїтість устаткування легкої промисловості, основні питання технології його складання будуть загальними для всіх складальних цехів і дільниць машинобудівних заводів.

Слід зазначити, що складально-розбірні роботи широко застосовуються також при ремонті і модернізації устаткування. Тому використання прогресивних технологічних складальних процесів сприяє зниженню вартості ремонту і скороченню простоїв устаткування.

9.1. Основні поняття про технологічний процес складання

На машинобудівних заводах легкої промисловості виготовляються різноманітні вироби: ткацькі верстати, преси, швейні і взуттєві машини

тощо, а також окремі механізми та агрегати машин (двигуни, насоси, карбюратори тощо) або окремі деталі (голки, поршневі кільця, метало-вироби).

Виробом називають будь-який предмет або набір предметів основного виробництва, виготовлених на підприємстві.

Будь-яка машина складається з деталей і складальних одиниць.

Деталь – це первинний елемент виробу, виконаний з однорідного матеріалу без застосування складальних операцій, але з використанням, якщо це необхідно, захисних чи декоративних покриттів.

Складальна одиниця (вузол) – це елемент виробу, що складається з двох і більше складових частин (деталей), з'єднаних між собою складальними операціями (загвинчуванням, склеюванням, зварюванням, спаюванням, клепою, розвальцьовуванням тощо) на підприємстві-виготовлювачі, наприклад муфта, сулорт, редуктор.

Технологічний процес складання полягає в з'єднанні у визначеній послідовності деталей у складальні одиниці і складальних одиниць та окремих деталей – у механізми (агрегати) і в цілому в машину.

Технологічний процес складання складається з операцій, переходів і прийомів.

Операцією називають закінчену частину техпроцесу, виконану на одному робочому місці одним робітником або бригадою.

Технологічний перехід – це закінчена частина технологічної операції, яка характеризується сталістю застосовуваного інструменту і поверхонь, утворених обробкою чи таких які з'єднуються при складанні.

Прийом – частина технологічного переходу, що складається із ряду найпростіших робочих рухів, які виконуються одним робітником.

Розробку технологічного процесу починають зі складання схеми складальних елементів. Потім приступають до розробки головного технологічного документу складання – технологічної карти.

Кількість виробів, що випускаються, визначається типом виробництва і ступенем розчленованості технологічного процесу складання на окремі операції.

Складання поділяють на вузлове і загальне. Об'єктом вузлового складання є складальні елементи машини, об'єктом загального складання – машина.

Деталі надходять на складання після їх остаточного технічного контролю і, отже, повинні відповідати усім вимогам робочих креслень і технічних умов.

Процес складання складається з двох основних частин: підготовки деталей до складання і власне складальних операцій. До підготовчих робіт відносяться: різні слюсарно-приганняльні роботи (обпилювання, шабрування тощо); фарбування окремих деталей, наприклад корпусів; очищення і промивання деталей; змащування деталей, що сполучаються, якщо це необхідно по технічних умовах.

Безпосередньо до складальних робіт відноситься процес з'єднання деталей, що сполучаються, і вузлів (підвузлів) із забезпеченням правильного їх взаємного положення і визначеної посадки. До складальних процесів відноситься також балансування зібраних вузлів.

Зразкове співвідношення часу, який витрачається на окремі стадії складального процесу при складанні машин середніх розмірів в умовах серійного виробництва: слюсарна обробка деталей – до 10%; складання складальних одиниць (вузлів) – 50–60%; загальне складання машини – 40–30%.

Якщо вузол безпосередньо входить до складу машини, він називається *групою*, а якщо вузол входить у машину в складі групи, він називається *підгрупою*. Підгрупи можуть знаходитися в різному взаємозв'язку з групою: вузол, що входить безпосередньо в групу, називається підгрупою 1-го порядку; вузол, що входить безпосередньо в підгрупу 1-го порядку, – підгрупою 2-го порядку тощо.

Для наочності структуру машини як об'єкта складання можна представити у виді схеми, зображеної на рис. 9.1.

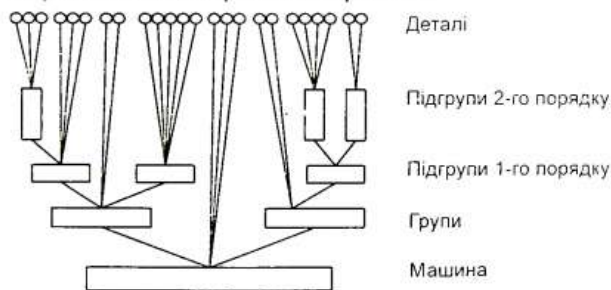


Рис. 9.1 – Структура машини як об'єкта складання

Складання вузла завжди починають з основної деталі, що називається базовою. За аналогією з базовою підгрупою називається основна підгрупа, з якої починають збирати дану групу, а базовою групою на-

зивається основна група, з якої починають збирати машину. Стосовно, наприклад, до вузла (групи) натяжного ролика (рис. 9.2) базовою деталлю є вісь ролика 1. У цьому вузлі (групі) ролик, зібраний із шарикопідшипником 3 (у зборі), є підгрупою 1-го порядку, а шарикопідшипник 7, запресований в ролик 2, – підгрупою 2-го порядку.

Послідовність складання вузлів так само, як і всієї машини, наочніше представляти технологічною схемою складання.

Технологічні схеми складають окремо для загального складання виробу і для складання кожного з його вузлів (підвузлів). Їх будують за наступним правилом. У лівій частині схеми, в рамці, вказують базовий елемент (базову деталь або базовий вузол, підвузол), а в кінцевій, правій частині схеми – виріб (вузол, підвузол) у зборі.

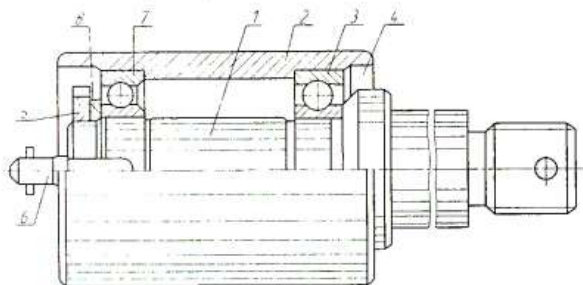


Рис. 9.2 – Вузол натяжного ролика

Ці дві частини з'єднують горизонтальною лінією. Вище цієї лінії прямокутниками позначають усі деталі в порядку послідовності складання. Нижче лінії вказують усі вузли, що входять безпосередньо у виріб. Технологічні схеми супроводжують написами, якщо вони не очевидні із самої схеми, наприклад, "запресувати", "зварити", "наживити", "контроль" і т.д. Складання технологічних схем значно спрощується при наявності зразка виробу.

Технологічні схеми складання одного і того ж виробу можуть бути розроблені в декількох варіантах з різною послідовністю складання. Оптимальний варіант вибирають з умови забезпечення заданої якості складання, економічності і продуктивності процесу при заданому масштабі випуску виробів.

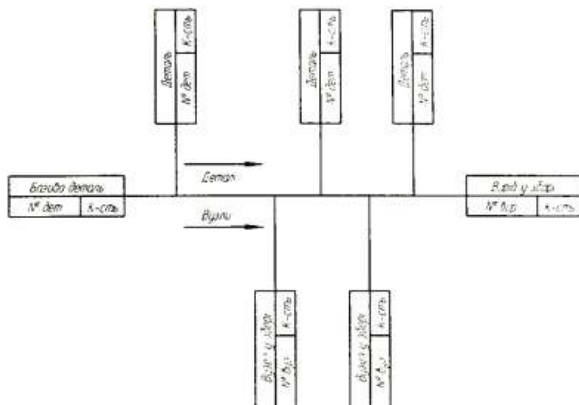


Рис. 9.3 – Схема складання, загальний вид

Складання технологічних схем доцільно при проектуванні складальних процесів для будь-якого типу виробництва. Технологічні схеми значно спрощують розробку складальних процесів і полегшують оцінку конструкції виробу з погляду її технологічності.

Складання машини починають з установки базової деталі. Це звичайно та деталь, щодо якої в процесі складання орієнтують інші деталі чи вузли відповідно до плану складання (рис. 9.3).

9.2. Основи проектування технологічних процесів складання

При проектуванні технологічних процесів складання вихідними даними служать складальні креслення виробу, специфікація деталей, які входять у вузол, технічні вимоги приймання виробу і вузлів, розмір виробничого завдання та термін його виконання, умови виконання складальних робіт.

У результаті вивчення складальних і робочих креслень, службового призначення виробу і розмірного аналізу складальних одиниць намічають, з урахуванням програми випуску виробу, основні етапи проектування складального процесу. Варто мати на увазі, що питання про метод забезпечення заданої точності замикаючих ланок складальних одиниць вирішує конструктор при розробці складальних креслень.

Ступінь деталізації проектування технологічного процесу залежить від масштабу випуску виробів. При великому масштабі випуску виробів технологічний процес розробляється детально з проектуванням операційної технології. У загальному випадку проектування технологічного процесу складання складається з розрахунку такту складання і вибору організаційних форм складального процесу, складання технологічних операцій, визначення складу контрольних операцій, розробки технологічного планування дільниць складального цеху.

Розрахунок такту складання. Такт складання визначають як частку від розподілу розрахункового фонду часу (за зміну, місяць чи інший період часу) на програму випуску виробів за той самий період часу:

$$t = \frac{\eta\theta}{n}, \text{ хв / шт}; \quad (9.1)$$

де θ – річний фонд часу при роботі в одну зміну, хв; η – коефіцієнт використання робочого часу; n – річний випуск виробів, шт.

Організаційні форми складання. Залежно від такту складання визначають організаційну форму складання виробів. Вибір організаційної форми складання визначається заданою програмою випуску виробів: при одиничному виробництві звичайно застосовують стаціонарне складання, при серійному та масовому – потокове.

Стаціонарне складання характеризується виконанням складальних операцій на постійному робочому місці, до якого подаються деталі і вузли (шідвузли) машини, що збирається. При такій формі організації потрібна висока кваліфікація робітників, а цикл складання відрізняється великою тривалістю.

Потокове складання буває двох видів: рухоме (на рухомих стендах) і нерухоме (на нерухомих стендах).

Потокове рухоме складання здійснюється переміщенням об'єкта, що збирається, одним з наступних способів: на конвеєрі, який безупинно рухається; на конвеєрі з періодичним переміщенням; з послідовною передачею об'єктів, що збираються, по операціях за допомогою механічних пристроїв; з передачею об'єктів складання вручну (по рольгангу, на візках, по лотку). Такий вид складання застосовується в серійному, крупносерійному та масовому виробництві.

Потокове нерухоме складання застосовується в серійному і дрібносерійному виробництві при значній тривалості окремих операцій, особливо у процесі складання виробів великої маси. У цьому випадку кожен

робітник (чи бригада робітників) виконує визначену операцію, переходячи від одного складального станда до іншого.

При потоковому складанні технологічний процес повинний бути розчленований на операції таким чином, щоб операційний час кожної операції був близький чи кратний такту складання. Це необхідно для досягнення синхронізації операцій, тобто для приведення операційного часу у відповідність з тактом складання. Якщо, наприклад, операційний час на одній з операцій перевищує такт складання у 2 рази, то робота на даній операції організується відповідно на двох рівнобіжних (паралельних) робочих місцях.

Потокове складання з застосуванням пристрою, що транспортує у вигляді конвеєра, може здійснюватися при безупинному чи при періодичному русі конвеєра. Швидкість конвеєра (м/хв) при безупинному його русі:

$$V = \frac{l}{\tau}, \text{ м / хв,} \quad (9.2)$$

де l – відстань між вісями двох робочих місць, м; τ – такт складання, хв/шт.

Кількість складальних місць (станцій) визначається числом складальних і контрольних операцій, а також числом резервних місць, передбачених проектом. Продуктивність складального місця:

$$N_c = \frac{TR}{t_{\text{ум}}}, \quad (9.3)$$

де N_c – число виробів (вузлів), що збираються за розрахунковий фонд часу, шт. чи зміну, шт./год;

T – розрахунковий фонд часу, хв;

R – число робітників на складальному місці;

$t_{\text{ум}}$ – штучний час виконання даної операції, хв.

Тривалість потокового складання, хв:

$$T_n = \eta_m \tau, \quad (9.4)$$

де η_m – число робочих місць (станцій) на лінії складання.

Коефіцієнт завантаження складального місця:

$$\eta_m = \frac{t_{\text{ум}}}{\tau R}. \quad (9.5)$$

Загальний коефіцієнт завантаження потокової лінії:

$$\eta_{\Sigma} = \frac{1}{nm} \sum_{i=1}^{nm} \eta_m. \quad (9.6)$$

При потоковому складанні в результаті диференціації процесу досягається краща спеціалізація робітників, підвищується продуктивність праці, внаслідок механізації складальних операцій, різко скорочується тривалість складання, знижується собівартість складальних робіт.

Однак слід зазначити, що при організації потокового рухливого складання потрібна чітка та злагоджена робота усіх суміжних і обслуговуючих потокову лінію ділянок (постачання заготовками, інструментом, технічне обслуговування устаткування тощо).

Проектування складальних операцій. Складальні операції проєктують на основі технологічних схем складання. При розробці змісту складальних операцій варто враховувати, що кожна операція повинна мати визначену технологічну закономірність, причому при потоковому методі трудомісткість операції повинна бути рівна або трохи менше такту складання або кратна йому.

Проектуючи складальну операцію, уточнюють зміст технологічних переходів і визначають схему базування і закріплення базового елемента (деталі, вузла), вибирають технологічне устаткування, пристосування, вимірювальний інструмент, установлюють режими роботи, норму часу і розряд роботи.

При проєктуванні складальних операцій виконують необхідні технологічні розрахунки, що дозволяють обґрунтувати вибір устаткування, технологічного оснащення і режимів роботи. В технологічні розрахунки входять: визначення сили запресовування для з'єднань з натягом, установлення режиму нагрівання чи охолодження при складанні деталей з тепловим впливом, розрахунок потрібної сили при клепці.

Оцінку розроблених варіантів технологічних процесів роблять, використовуючи абсолютні і відносні показники. Абсолютні показники – собівартість окремих операцій і процесу складання в цілому і трудомісткість складання вузлів і виробів. Відносні показники – коефіцієнт завантаження кожного складального місця η_m , коефіцієнт завантаження складальної лінії η_{Σ} , коефіцієнт трудомісткості складального процесу η_{mp} (відношення трудомісткості складання до трудомісткості виготовлення деталей, що входять у складальний елемент):

$$\eta_{mp} = \frac{T_{сд}}{C_{ндо}}. \quad (9.7)$$

Коефіцієнт $\eta_{\text{оп}}$ для одиничного і дрібносерійного виробництва складає приблизно 0,5; для серійного 0,3...0,4; для масового 0,25...0,3. Чим менше коефіцієнт, тим вище рівень механізації складальних робіт. З обліком того що підприємство, одержує в порядку кооперації ряд деталей з інших підприємств, більш об'єктивним буде не коефіцієнт $\eta_{\text{оп}}$, а коефіцієнт собівартості складального процесу $\eta_{\text{св}}$, який дорівнює відношенню собівартості складання до собівартості виготовлення виробу:

$$\eta_{\text{св}} = \frac{C_{\text{св}}}{C_{\text{вир}}}. \quad (9.8)$$

Технологічні заходи, що підвищують техніко-економічні показники процесу складання, – механізація та автоматизація операцій і досягнення синхронізації операцій ув'язуванням операційного часу до тактів складання.

Паралельно з розробкою технологічного процесу складання проектується необхідне технологічне устаткування і оснащення: стенди, пристосування, спеціальний робочий інструмент і спеціальні вимірні засоби, підйомно-транспортне устаткування тощо. Закінчується проектування складального процесу розробкою плану розташування на дільниці складання технологічного устаткування.

Головним технологічним документом складальних процесів є карта технологічного процесу складання. У технологічних картах розміщують необхідні дані для планування і виконання складальних операцій. Для одиничного і дрібносерійного виробництва складають маршрутну технологію складання вузлів і загального складання, для серійного виробництва – маршрутну карту складання комплектів і вузлів з більшою деталізацією процесів складання, в крупносерійному і масовому виробництві – операційні складальні карти.

9.3. Технологічні методи, що забезпечують точність складання

При виконанні складальних робіт можливі помилки у взаємному розташуванні деталей і вузлів, недотримання в сполученнях необхідних зазорів або натягів, підвищені деформації окремих деталей і вузлів. Причини похибок складання: відхилення розмірів, форми і розташування поверхонь деталей, що сполучаються; недотримання вимог до якості поверхонь деталей; неточна установка і фіксація елементів машини в

процесі її складання; низька якість пригону і регулювання деталей, що сполучаються: недотримання режиму складальної операції, наприклад, при затягуванні гвинтових з'єднань або при склеюванні; геометричні неточності складального устаткування і технологічного оснащення; неправильне настроювання складального устаткування.

Багато питань, пов'язані з досягненням необхідної точності складання, вирішують з використанням аналізу розмірних ланцюгів виробу, що збирається.

Точність складання може бути забезпечена методами повної і неповної (часткової) взаємозамінності, групової взаємозамінності, регулювання і пригону.

Складання методом повної взаємозамінності може бути здійснене, якщо допуск замикаючої ланки розраховується за граничним значенням допусків на розміри складових ланок.

Складання виробів з використанням цього методу дозволяє з'єднувати деталі, що сполучаються, і вузли без пригону, здійснювати складання за принципом потоку (відсутність приганяльних робіт спрощує організацію потокової лінії) і відкриває більш широкі можливості кооперації заводів з виготовлення деталей і вузлів. Застосування зазначеного методу дозволяє легко замінити деталі і вузли в машинах, що знаходяться в експлуатації, що дуже важливо при ремонті різних машин легкої промисловості.

Цей метод застосовується в серійному і масовому виробництві при коротких розмірних ланцюгах і відсутності жорстких допусків на розмір замикаючої ланки. Для багатоланкових розмірних ланцюгів метод економічно не вигідний, тому що приводить до необхідності призначення дуже жорстких допусків на розміри складових ланок.

Складання методом неповної взаємозамінності полягає у тому, що допуски на розміри деталей, що складають розмірний ланцюг, навмисно розширюють з метою здешевлення виробництва.

Метод заснований на положенні теорії імовірностей, відповідно до якого крайні значення похибок складових ланок розмірного ланцюга зустрічаються значно рідше, ніж деякі середні значення.

Розширення допусків на обробку деталей, що сполучаються, приводить до економії засобів і праці, що значно перевищує додаткові витрати, зв'язані з повторним складанням незначного відсотка зібраних вузлів.

Складання методом неповної взаємозамінності найбільш часто застосовується в серійному і масовому виробництві для багатоланкових розмірних ланцюгів.

Складання методом групової взаємозамінності полягає у тому, що деталі виготовляють з розширеними полями допусків, перед складанням деталі, що сполучаються, сортують за розмірними групами для забезпечення допуску посадки.

При складанні з'єднують між собою деталі однієї розмірної групи, причому точність деталей кожної групи відповідає конструктивним допускам та помічається краскою відповідного кольору.

Деталі сортують на розмірні групи за допомогою калібрів, а у масовому виробництві – за допомогою сортувальних автоматів.

Деталі кожної групи збирають по методу повної взаємозамінності.

Метод групової взаємозамінності використовують для досягнення найбільш високої точності складання малоланкових розмірних ланцюгів у шарикопідшипниковій промисловості, при складанні ряду вузлів деталей: блоку циліндрів з поршнями і штовхальниками, шатуна з поршневіми пальцями тощо. Складання цим методом вимагає чіткої організації сортування деталей, їх збереження та доставки на місце складання, а також ускладнює ремонт машин у зв'язку зі зростанням номенклатури запасних частин пропорційно кількості розмірних груп.

Складання методом регулювання полягає у тому, що необхідна точність розміру замикаючої ланки досягається зміною розміру заздалегідь обраної ланки, що компенсує.

На рис. 9.4,а показаний вузол, у якому необхідний розмір A_2 замикаючої ланки досягається переміщенням втулки 2 в осьовому напрямку. Після регулювання втулка, яка називається компенсатором, стопориться гвинтом 1. Для досягнення необхідного зазору в з'єднанні може використовуватися як компенсатор кільце визначеної товщини A_2 (рис. 9.4, б). Таке кільце збирач підбирає за результатами виміру фактичного розміру замикаючої ланки. Як компенсатори використовують також прокладки, регульовальні гвинти, втулки з різьбленням, клини, ексцентрики (при регулюванні гальмових колодок) тощо.

Переваги цього методу: універсальність (метод може застосовуватись незалежно від числа ланок у ланцюзі, допуску на замикаючу ланку і масштабу випуску деталей); простота складання при високій її точності; відсутність приганяльних робіт; можливість регулювання з'єднання і у процесі експлуатації машини.

Складання методом пригону полягає в досягненні заданої точності з'єднання зняттям з однієї з деталей необхідного шару матеріалу обпилюванням, шабруванням або притиранням будь-яким іншим способом. Заданий зазор A_z досягається пригоном по товщині деталі, при виготовленні якої заздалегідь залишають припуск z на приганяльні роботи (рис. 9.4. в).

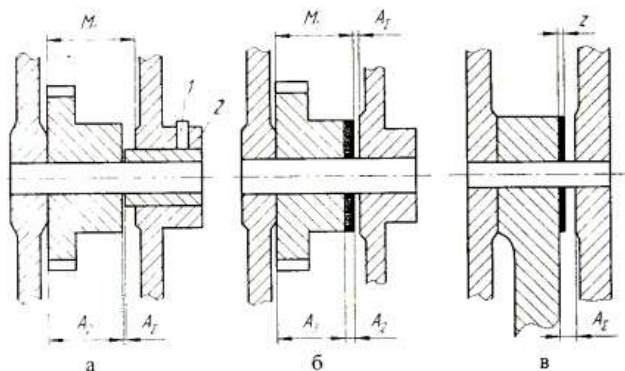


Рис. 9.4 – Досягнення заданої точності методом регулювання:
а, б – за допомогою компенсатора; в – методом пригону

Складання виробів методом пригону дуже трудомістке тому застосовується тільки в одиничному та дрібносерійному виробництві.

9.4. Підготовка деталей до складання

За останні роки на машинобудівних заводах, що випускають машини та устаткування для легкої промисловості, проведена велика робота з удосконалення складального процесу поліпшенням конструкцій, застосуванням рухливих компенсаторів тощо, у результаті чого трудомісткість приганяльних робіт значно скоротилася. Однак, незважаючи на ці міри, і у даний час на виконання таких приганяльних робіт як обпилювання, притирання, полірування, шабрування, свердління, протягування отворів, приходиться значна частка трудовитрат при виготовленні машин легкої промисловості.

9.5. Особливості технічного нормування складальних операцій

З основ технічного нормування відомо, що штучний час складається з чотирьох елементів: основного часу t_o , допоміжного часу t_{om} , часу на обслуговування робочого місця t_{om} та часу на перерви t_n . Однак у слюсарних і складальних операціях у більшості випадків чіткий поділ основного та допоміжного часу на тому чи іншому переході відсутній. Наприклад, при ручному різанні матеріалу ножівкою необхідно виконати наступне: відзначити довжину частини заготовки, що відрізається, взяти ножівку, установити ножівку до місця різ, відрізати заготовку, очистити полотно ножівки від стружки і покласти ножівку на відведене місце. Ці прийоми вимірюються у часі як єдиний комплекс робіт. Тому цей комплекс нормують цілком, визначаючи так званий *неповний оперативний час*. У розглянутому випадку неповний оперативний час залежить від діаметра і механічних властивостей заготовки, що розрізається, і зручності виконання різання. Допоміжні прийоми робіт, зв'язані з установкою і зняттям деталі, як більш тривалі і, які мають самостійне значення, нормують окремо.

Таким чином, формула штучного часу загалом, має наступний вид:

$$t_{шт} = t'_{om} + t_o + t_{ob} + t_n, \quad (9.9)$$

де t'_{om} – неповний оперативний час для виконання комплексу прийомів робіт з урахуванням конкретних умов і обсягу роботи;

t_o – допоміжний час на установку та зняття деталі (вузла);

t_{om} – час на організаційно-технічне обслуговування робочого місця;

t_n – час на регламентований відпочинок і природні потреби.

Елементи часу t_{ob} і t_n при нормуванні визначають сумарно у відсотках від повного оперативного часу.

При нормуванні в серійному виробництві для кожної складальної операції визначають по відповідних нормативах підготовчо-заклучний час t_{n-2} , що складає 3–6 хв для слюсарних робіт і 6–15 хв – для складальних. Час на складання партії чи вузлів виробів визначають за формулою:

$$t_{n-2} = nt_{шт} + t_{n-2}, \quad (9.10)$$

де n – розмір партії.

При розрахунку технічних норм одиничного і дрібносерійного виробництва використовують метод укрупненого нормування.

9.6. Складання типових з'єднань машин легкої промисловості

Усі з'єднання, які застосовуються при складанні, поділяють на два основних види: нерухомі і рухомі. Якщо за умовами експлуатації необхідне незмінне розташування однієї деталі щодо іншої чи однієї складальної одиниці щодо іншої, то таке з'єднання називають *нерухомим*. Залежно від конструкції та умов експлуатації нерухомі з'єднання можуть бути рознімні та нероз'ємні.

Нерухомими рознімними називають з'єднання, які можна розбирати без ушкодження сполучених чи кріпильних деталей (болтові, гвинтові, штифтові, шпонкові, клинові тощо).

Нерухомими нероз'ємними називають з'єднання, які не можна розібрати, не зашкодивши яку-небудь деталь, що входить у з'єднання. З'єднання можуть бути виконані зварюванням, пайкою, клепою, запресовуванням, склеюванням, заливанням пластмасами тощо.

Рухливими називають з'єднання, при яких необхідно одержати взаємне переміщення однієї деталі щодо іншої або однієї складальної одиниці щодо іншої. Такі з'єднання мають різні рухливі посадки.

9.6.1. Складання нерухомих рознімних з'єднань

Широке застосування *нарізних сполучень* у конструкціях сучасних машин і механізмів легкої промисловості відрізняється простотою і надійністю цього виду кріплень, зручністю регулювання затягувань, а також можливістю розбирання і повторного складання з'єднання без заміни деталі.

Поширено наступні різновиди нарізних сполучень:

- а) для забезпечення нерухомості і міцності деталей, що сполучаються;
- б) для забезпечення міцності і герметичності;
- в) для правильної установки деталей, що сполучаються;
- г) для регулювання взаємного положення деталей.

Кріпильні деталі нарізних сполучень – болт, гвинт, шпилька і гайка. Основні вимоги, які ставлять до нарізних сполучень: точність у межах установлених норм; міцність з'єднання і стійкість при перемінних навантаженнях і вібрації; стабільність службових властивостей з'єднання після багаторазових розбирань і зборок.

Розрізняють одне- і багатоболтові з'єднання. Болти заводять в отвір деталей, що з'єднуються, з різним зазором, тобто з різною посадкою. Найбільш розповсюджені болти – напівчисті та чисті – встановлюються в отвори деталей, що з'єднуються, з великим зазором. Такі з'єднання не здатні сприймати великі бічні зусилля і не забезпечують точного взаємного розташування деталей, що з'єднуються. Для запобігання таких болтів від зрізання і для більш точної фіксації деталей, що з'єднуються, встановлюють контрольні штифти (з'єднання стійки рукава з платформою машини 22-а кл. ПМЗ; кронштейна пускового важеля – з корпусом машини 225 кл. ПМЗ тощо).

Відповідальні нарізні сполучення, що сприймають великі бічні зусилля, збирають на чистих болтах з циліндричним чи з конічним стрижнем без голівки, що з натягом встановлюються в отвори деталей, які з'єднуються.

Після установки болтів на них нагвинчують гайки спочатку від руки, а потім ключем. Від ступеня і послідовності затягування болтів значною мірою залежать точність і довговічність з'єднання.

У багато болтових з'єднаннях гайки варто затягувати поступово: спочатку загвинтити до повного зіткнення з поверхнею деталі, що з'єднується, чи із шайбою, потім злегка затягти і після цього зробити повне затягування. Болти не слід затягувати підряд, тому що це може викликати перекося в з'єднанні, сильне перевантаження окремих болтів і навіть зрив різьблення. На рисунку 9.5 зображена схема послідовності затягування гайок болтових з'єднань деталей різної форми в послідовності номерів. Нарізні сполучення, що збираються на шпильках, повинні відповідати тим самим вимогам, що і болтові з'єднання. *Шпилькою* називають металевий стрижень, що має різьблення з обох кінців. Одним кінцем шпильку ввертають у тіло основної деталі до упора, а на іншій (вільній) – наворачують гайку, що кріпить яку-небудь деталь. Крок різьблення на шпильці нерідко роблять різним: на тім кінці шпильки, що ввертають у тіло деталі, роблять більший крок. Шпильки при складанні повинні бути щільно і строго перпендикулярно угвинчені в тіло основної деталі з'єднання, що збирається. Це досягається вибором відповідної посадки різьблення, конструкцією шпильок, гочністю виготовлення шпильок і обробки отворів, у які угвинчуються шпильки. При перекосях шпильок, угвинчених у отвір деталі, складання з'єднання практично неможлива. Шпильки угвинчуються електричним шпилько-

вертом або за допомогою спеціальних ключів. Після вгвинчування перевіряють косинцем перпендикулярність шпильки до площини деталі. У випадку перекосу чи слабкої посадки шпильки її необхідно замінити. Для механізації робіт із загвинчування гвинтів застосовують механічні, електричні та пневматичні викрутки, а також різне стаціонарне устаткування, спеціальні пристосування і установки, змонтовані на складальних столах, чи верстатах на підставках.

Електромеханічні та пневматичні викрутки при установці спеціального інструмента можуть бути використані за циклення дрібних шпильок, болтів і гайок. Викрутки забезпечуються спеціальними накопичувачами, що захоплюють гвинти та загвинчують їх без попереднього ручного вгвинчування.

Одним із напрямків автоматизації складання нарізних сполучень у масовому виробництві є створення різних пристосувань і верстатів, що забезпечують автоматичну подачу під інструмент. Як ручні машини для складання нарізних сполучень широко використовуються одне- і багатшпіндельні гайковерти.

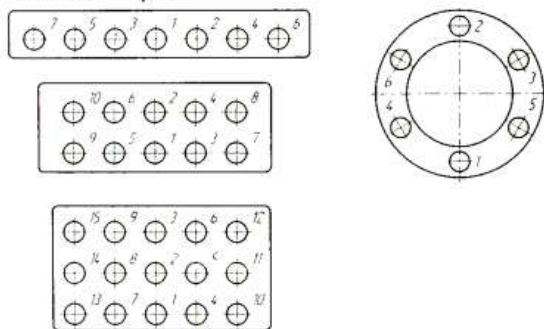


Рис. 9.5 – Послідовність затягування болтів

Застосування багатшпіндельних гайковертів на складанні дозволяє різко скоротити основний і допоміжний час при загвинчуванні болтів, гайок і гвинтів.

У нашій країні ведуться дослідження з застосування різноманітних методів складання нарізних сполучень. Розроблено оригінальні пристрої для автоматичної подачі та орієнтування різбових деталей, взаємного сполучення деталей з використанням вихрових потоків газів, електромагнітних полів, спрямованих вібрацій.

У процесі роботи машини, гайки, гвинти та інші кріпильні деталі можуть самовільно відгвинчуватися, внаслідок чого нарізне сполучення виявиться ослабленим. Для запобігання від самовідгвинчування кріпильні деталі стопорять. На рисунку 9.6 показані найбільш прості і розповсюджені методи стопоріння нарізних сполучень.

При використанні *шпонкових з'єднань* особливу увагу необхідно приділити правильному складанню, що значною мірою забезпечує працездатність і надійність роботи складальної одиниці. Велике значення має строге дотримання посадок у сполученнях шпонки з валом і деталлю. Ці посадки в пазах вала і маточини, як правило, різні та виконуються в системі вала.

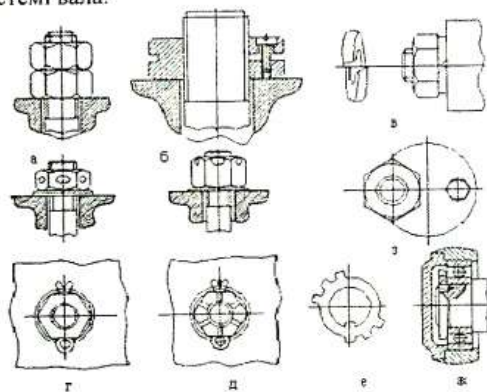


Рис. 9.6 – Методи стопоріння нарізних сполучень:

а – контргайкою; **б** – розрізаючою гайкою; **в** – пружинною шайбою;
г – розвідним шплінтом, вставленим у наскрізний отвір у гранях гайки; **д** – шплінтом у пазу корончатої гайки; **е, з** – фігурною плоскою пружинною шайбою, яка деформується; **ж** – круглою гайкою з пазами або отворами на торцях

При монтажі на вал деталі, що його охоплює, необхідно стежити, щоб між верхньою площиною шпонки і западиною паза втулки був достатній зазор, тобто щоб центрування виконувалось винятково на циліндричній або на конічній поверхні вала.

Установлюючи шпонку в паз вала, не слід користуватися молотком або іншими ударними пристосуваннями, тому що при цьому можли-

вий поперечний перекіс шпонки і врізання її крайки в тіло вала або навпаки. Для якісного складання шпонкових з'єднань варто використувати спеціальні пристрої – струбцини.

Шліцеві з'єднання деталей дозволяють забезпечити більш точне центрування, ніж при з'єднанні деталей зі шпонками, а також підвищену міцність. Поширено прямокутні, евольвентні та трикутні шліцеві циліндричні з'єднання. У прямокутному шліцевому з'єднанні деталь, що охоплює, може бути центрована по зовнішній поверхні вала, по поверхні западин чи по бічних сторонах шліців. У залежності від застосовуваної посадки шліцеві з'єднання діляться на тугороз'ємні, легкороз'ємні і рухливі. При складанні шліцевих з'єднань повна взаємозамінність звичайно не досягається через дуже малі зазори, що витримуються в сполученнях, по яких виконується центрування.

Складання шліцевих з'єднань починають з огляду стану шліців обох деталей. Навіть незначні забоїни, задири не допускаються. При неправильному виконанні зовнішніх фасок і заокруглень внутрішніх кутів шліців можливе заїдання при складанні з'єднання. У тугороз'ємних і шліцевих з'єднаннях деталь, що охоплює, звичайно напресовують на вал за допомогою спеціального пристосування чи на пресі. При дуже тугих шліцевих з'єднаннях деталь, що охоплює, перед запресовуванням доцільно нагріти до 80–120 °С.

У легкороз'ємних і рухливих шліцевих з'єднаннях деталі, що охоплюють, установлюють на місце під дією невеликих зусиль і навіть від руки: при цьому деталі, що охоплюють, контролюють крім перевірки на бігтя ще і на переміщення по шліцах на колювання. У правильно зібраній складальній одиниці переміщення деталі, що охоплює, повинне бути легким, без заїдання. Колювання деталі, що охоплює, під впливом створюваного вручну крутного моменту припустима тільки у дуже обмежених межах, обумовлених технічними вимогами на складання.

9.7. Складання нерухомих нероз'ємних з'єднань

З'єднання з натягом відносяться до групи з'єднань, які найчастіше зустрічаються у різних вузлах і механізмах машин легкої промисловості. Міцність і відносна нерухомість нероз'ємних з'єднань з натягом забезпечується силами тертя, що залежать від тиску обумовленого натягом. Складання з'єднань з натягом може здійснюватися під дією осьової сили, створюваної пресом, чи з нагріванням деталі, що охоплює.

чи з охолодженням охоплюваної деталі. Застосовують також гідрпресове складання, при якому деформація деталей з'єднання досягається подачею в зону сполучення олії під високим тиском через спеціальні канавки при одночасній дії осьової сили.

На поверхнях деталей, що з'єднуються з натягом, не повинне бути задирок, забоїн і подряпин. З торців деталей повинні бути зняті фаски (в отворах під кутом 30–45°, а на валах – під кутом 7–10°). Це полегшує їх складання при механічному запресовуванні.

Для зменшення зусилля запресовування поверхонь, що з'єднуються, варто змащувати їх мінеральною олією. При запресовуванні деталей необхідно добре центрувати їх одна відносно другої, щоб запобігти перекосів. З цією метою застосовують різні центрувальні пристрої. Для запресовування у важкодоступних місцях використовується пристосування типу, показаного на рис. 9.7.

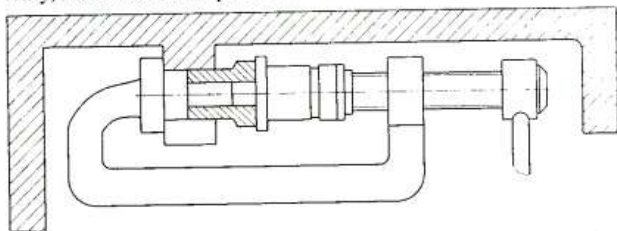


Рис. 9.7 – Пристосування для запресовування деталі у важкодоступному місці

Складання з'єднань з натягом із застосуванням нагрівання чи охолодження деталей, як показує виробничий досвід, дозволяє в 2–2.5 рази підвищити їх міцність у порівнянні із з'єднаннями, зібраними при механічному запресовуванні.

Температура нагрівання (охолодження), яка необхідна для одержання теплового складального зазору Δ у з'єднанні:

$$T = \frac{\delta + \Delta}{\alpha d} \pm T_0, \quad (9.11)$$

де δ – максимальний натяг у з'єднанні, мм;

$$\Delta = 0,01\sqrt{\alpha} \text{ мм}, \quad (9.12)$$

де α – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу, 1/°С;

d – номінальний діаметр з'єднання мм;

T_0 – температура навколишнього середовища, яку приймають зі знаком “+” при нагріванні і зі знаком “-” при охолодженні, °С.

За допомогою термодії збирають тонкостінні деталі, бандажі коліс, зубчасті вінці, диски турбін з валами та інші відповідальні з’єднання.

При складанні деталей з термодією міцність з’єднань підвищують застосуванням покрить посадочних поверхонь. Так, міцність може бути підвищена в 2,5–3 рази при використанні різнорідних гальванічних покриттів (цинк-мідь, кадмій-мідь), нанесених на поверхні деталей, що сполучаються. Нанесення антикорозійних полімерних плівок товщиною 10–20 мкм на поверхні, що сполучаються, збільшує статичну міцність з’єднань у 1,2–1,5 рази.

Підвищення міцності з’єднань при складанні з нагріванням досягається також застосуванням проміжних середовищ на основі легкоплавких металів (бабіту, олова, алюмінію), що при оплавленні заповнюють мікро-порожнечі поверхонь, що сполучаються і збільшують тим самим коефіцієнт тертя.

Складання з’єднань з нагріванням здійснюють, нагріваючи деталь, що охоплює, до температури не більш 320–350 °С, при якій зберігаються фізико-механічні властивості матеріалу. Залежно від виду виробництва деталі нагрівають у масляних ваннах, електropечках, індукційних установках і ін. У масляній ванні нагрівають деталі (до 130 °С), температура яких повинна бути витримана у вузькому діапазоні (наприклад, підшипники кочення). Для нагрівання різнотипних деталей використовують електричні печі опору та універсальні індукційні нагрівачі.

Складання з’єднань з *охолодженням* охоплюваної деталі забезпечує міцність з’єднання приблизно на 10–15 % більше ніж у з’єднань, зібраних з нагріванням деталі, що охоплює. Складання з охолодженням не змінює вихідну структуру і фізико-механічні властивості металу. Тому цей спосіб доцільно застосовувати для складання відповідальних вузлів, до яких пред’являються підвищені вимоги по експлуатаційній надійності.

Як холодоносії звичайно застосовують тверду вуглекислоту (сухий лід) і рідкий азот. Температура охолодження в рідкому азоті –195 °С, у ванні з денатурованим спиртом і сухим льодом – 78 °С.

Для збільшення КПД холодильних установок використовують суміш сухого льоду з ацетоном, денатурованим спиртом або бензином, що дозволяє зменшити витрату сухого льоду та інтенсифікувати охолодження завдяки поліпшенню умов тепловіддачі.

9.8. Складання з'єднань пайкою і склеюванням

При виготовленні окремих вузлів машин легкої промисловості широко використовуються сучасні методи пайки. *Пайкою* називається процес одержання нероз'ємного з'єднання матеріалів з нагріванням нижче температури їх плавлення за допомогою розплавленого проміжного металу, (припою), що плавиться при більш низькій температурі, ніж деталі, що з'єднуються. З'єднання матеріалів відбувається в результаті дифузії припою основного матеріалу змочуванням, розтіканням і заповненням зазору між ними розплавленим *припоси* та їх зчепленням при кристалізації шва.

Залежно від температури, в контакті матеріалів, пайка поділяється на низькотемпературну і високотемпературну. При першій температура нагрівання нижче 450 °С, а при другій – вище.

Як припої використовуються кольорові метали та їх сплави, які залежать від температури плавлення підходять на легкоплавкі та тугоплавкі.

Зазор між крайками деталей, що з'єднуються, при застосуванні легкоплавких і тугоплавких припоїв повинний бути відповідно не більш 0,2–0,4 та 0,04–0,08 мм.

Підготовлені поверхні покривають флюсом безпосередньо перед пайкою. Нагрівання здійснюється паяльником (або газовими пальниками) до температури плавлення припою. Як тільки шов прогріється до температури плавлення припою, останній розтікається і заповнює зазор між деталями, що з'єднуються. При охолодженні припій утворює щільне з'єднання шва. Місце пайки промивають у проточній воді з метою очищення його від залишків флюсу.

М'які припої виготовляють на олов'яній основі, а тверді – на мідній. Для запаявання двох деталей м'яким припосом поверхні ретельно очищають від окалини і мастильних речовин. Для цієї мети безпосередньо при паянні застосовують активні хімічні речовини (наприклад $Zn\ Se_2$), що називаються флюсами. Флюси також сприяють зниженню поверхневого напруження і поліпшенню розтікання рідкого припою.

Процес пайки містить у собі підготовку поверхонь, що сполучаються, під пайку, складання, нанесення флюсу і припою, нагрівання місця спаю, промивання і зачищення шва.

Складання нерухомих нероз'ємних з'єднань склеюванням одержала в останні роки більш широке поширення, тому що в промисловості

освоєна значна кількість нових клеїв, що володіють гарними експлуатаційними властивостями.

Клейові з'єднання металів і неметалічних матеріалів мають ряд переваг у порівнянні зі звареними і механічними з'єднаннями.

У тих конструкціях, де може відбутися розклеювання, варто застосовувати комбіновані клеєгвинтові, клеєболтові, клеєзаклепочні і клеєзварні з'єднання. Гвинти, болти і заклепки при цьому встановлюються по не отверділому клею.

В залежності від умов отвердіння розрізняють клеї: а) для холодного склеювання; б) для гарячого склеювання; в) як для холодного, так і для гарячого склеювання.

При склеюванні текстоліту, гетинаксу, склотекстоліту, шкіри та інших аналогічних матеріалів їх поверхні рекомендується зачищати шкуркою чи видаляти з них глянець циклюванням.

Деталі зі сталі, алюмінію, міді, титану і їх сплавів з хімічними або з електролітичними покриттями перед склеюванням абразивній обробці не піддають.

Сталеві деталі, що не мають хімічного або електролітичного покриття склеюють після гідропіскоструменевої обробки.

Деталі з пінопласту, деревини, картону, паперу, шкіри, тканини, повсті і брезенту перед склеюванням повинні бути обезпилені.

Усі роботи зі склеювання необхідно робити в чистому, сухому, світлому приміщенні при температурі повітря 25 ± 10 °С та відносній вологості 65 ± 15 %. Робочі місця повинні бути забезпечені витяжною вентиляцією.

Клей наносять кистю, шпателем, роликми, на клеєвальцях, а в окремих випадках – за допомогою пульверизаторів і методом занурення. Найбільш широко застосовуються кисті і клеєвальці.

Клей рекомендується наносити на обидві поверхні, що склеюються. Товщина клейового прошарку повинна бути 0,01–0,1 мм.

Складання і запресовування виробів, що склеюються, виконується на пресах або у затискних пристосуваннях.

9.9. Складання підшипників ковзання

Складання вузлів з підшипниками ковзання – одна з відповідальних операцій складання машини. Від старанності складання підшипникових вузлів, залежать точність і тривалість експлуатації машини. Опори ков-

зання, які монтуються в корпусі або в окремих вузлах машин, конструктивно оформляються у виді суцільних втулок чи рознімних вкладишів. У машинах взуттевого виробництва широко застосовуються вузли з підшипниками ковзання у вигляді суцільних втулок з антифрикційних матеріалів. Суцільні втулки найчастіше запресовують в отвір корпусу. При запресовуванні необхідно забезпечити складання втулок без перекосів. Оскільки при запресовуванні втулка деформується, то після запресовування її розвертають, розточують чи обробляють протягуванням. Для забезпечення співвісності підшипників часто застосовують метод спільного розвертання втулок. Складання втулок у корпус виконують запресовуванням з використанням зусиль преса або термічними методами (з нагріванням або з охолодженням деталей).

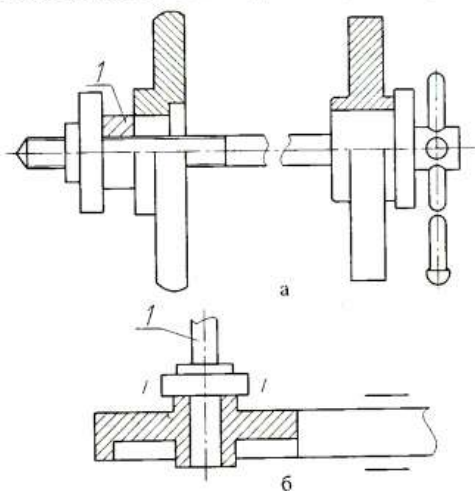


Рис. 9.8 Посадка втулок а – запресовування втулок; б – перевірка перпендикулярності торця до вісі корпусу.

Для забезпечення якісної посадки втулок широко використовують спеціальні пристосування. Схема одного з таких пристосувань показана на (рис. 9.8,а - втулка, яка запресовується позначена цифрою 1). Перед запресовуванням втулок перевіряють розміри, стан поверхні отвору в корпусі під запресовування, а також перпендикулярність торця до осі

отвору. Для цієї мети використовується калібр 1 ("грибок"), на поверхню 1-1 якого наноситься тонкий шар фарби (рис. 9.8, б). По рівномірності розташування фарби на поверхні торця, що перевіряється, судять про його перпендикулярність до осі отвору.

Після установки і вивірки підшипників приступають до остаточного пригону поверхонь тертя вкладишів шабруванням. Шабруванням домагаються рівномірного прилягання вала до вкладишів і легкості обертання вала.

Щоб забезпечити умови, рідинного тертя, верхній зазор між підшипником і валом у машинах з частотою обертання 3000 об/хв повинен дорівнювати 0,001–0,012 номінального діаметра вала.

Величину зазору в підшипниках ковзання визначають вимірюванням. Для внутрішніх діаметрів підшипників використовують індикатор або штихмаси, а зовнішні діаметри валів вимірюють мікрометром чи штангенциркулем.

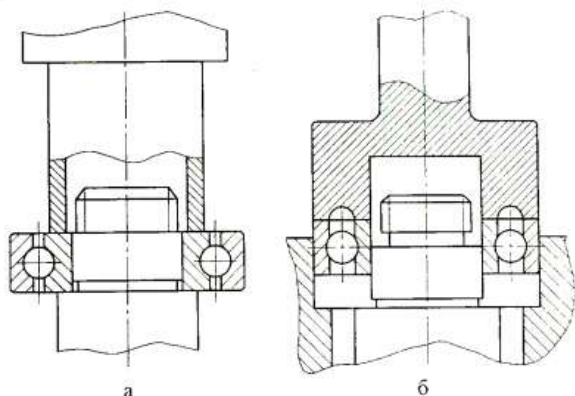
9.10. Складання підшипників кочення

Підшипники кочення мають найбільш високі конструктивні та експлуатаційні властивості, і тому, знаходять більш широке застосування в машинах легкої промисловості. Однак практика показує, що більш ніж половина випадків виходу з ладу підшипників кочення викликана їх неякісним складанням.

При складанні підшипників кочення створюються дві посадки: посадка внутрішнього кільця на валу і зовнішнього кільця в корпусі. Характер обох посадок, як правило, різний, тому що внутрішнє і зовнішнє кільця підшипників при постійно діючому навантаженні працюють у неоднакових умовах: в обертового кільця жолобок зношується рівномірно, а в нерухомого – інтенсивно на невеликій ділянці. Тому вибір посадок для кілець має велике значення. Характер посадки визначається значенням і напрямком навантаження, режимом роботи, його звичайно вказують у складальних кресленнях машини. Перед установкою підшипників перевіряють розміри посадочних місць, відсутність на них задирок, забоїв і корозії.

Кільця підшипників запресовують, як правило, за допомогою різних оправок. При цьому дуже істотно, щоб зусилля запресовування передавалося безпосередньо на торець зовнішнього кільця при запресовуванні в корпус чи на торець внутрішнього – при запресовуванні на вал, або

на обидва торці – при одночасній напресовці на вал і запресовуванні в корпус, рис. 9.9.



**Рис. 9.9 – Способи посадки подшипників: а – на вал;
б – на вал та в корпус одночасно**

Великогабаритні підшипники чи підшипники, які монтуються зі значними натягами, перед посадкою нагрівають в олії до температури 80–90 °С і в гарячому стані насаджують на вал. При посадці підшипника в корпус з натягом можна також застосовувати складання з нагріванням. Для цього корпус нагрівають у муфельній печі до температури 90–100 °С.

Після установки підшипників перевіряють правильність їх монтажу. Насамперед, виявляють щупом чи пригнаний підшипник упритул до торця вала. Наявність зазору свідчить про неправильність монтажу підшипника. Тут можуть бути зазори двох видів – кругові і місцеві. І в тому і в іншому випадку підшипники зібрані неякісно та потрібна їх перестановка.

Важлива умова якісного складання підшипників – неприпустимість попадання в підшипник пилу, бруду, піску. Для захисту підшипника від різного роду забруднень застосовують повстяні ущільнення, просочені спеціальною сумішшю. Повстяні ущільнення використовують при окружній швидкості, що не перевищує 4 м/с. Більш надійний вид ущільнення – сальники з манжетами зі шкіри або з маслостійкої гуми.

9.11. Складання шарнірних з'єднань плоских механізмів

Шарнірні з'єднання плоских механізмів являють собою кінематичні пари, що замикаються за допомогою циліндричних елементів: осей, пальців, втулок.

Складання шарнірного з'єднання починають з підготовки отвору під пальці. Якщо в отворі опор передбачені втулки, то їх запресовують і розвертають чистовими розв'іртками, якщо можливо, то призначають тонке розточування, яке забезпечує точний напрямок вісі отвору. Щоб уникнути неточностей при складанні і можливості виникнення при значних зазорах ударних навантажень допуски посадок підбирають у вузьких межах. Це досягається підбором і розвертанням втулок чи підбором індивідуальних пальців.

У шарнірних з'єднаннях не повинне бути перекосів опор під пальці, тому що може відбутися заклинювання останніх, що приводить до посиленого зносу деталей, а іноді і до їх поломки. У випадках, коли шарнірне з'єднання має обертальний рух у заданій площині і коливальне щодо цієї площини, наприклад з'єднання шатуна з кривошипом і качалкою в пресі для вирубання деталей верха взуття, необхідно перевірити вісі опор під пальці на перекіс. Якщо з'єднання має обертальні і поступальні рухи в різних площинах (наприклад, подвійний хрестовий шарнір включення преса), то необхідно тільки перевірити чи перпендикулярні вісі під пальці до площини вушка. Перед складанням перевіряють ширину вушка і товщину шипа з метою одержання необхідного бічного зазору в шарнірному з'єднанні.

9.12. Складання пасових передач

У машинах легкої промисловості широко застосовуються плоскі і клиноподібні пасові передачі. Незалежно від виду пасової передачі необхідно надійно забезпечувати передачу заданої потужності та обертання з заданим відношенням кутових швидкостей, спокійну, без поштовхів, роботу. Виконання цих вимог значною мірою залежить від якості складання, установки і вивірки шківів, а також якості ременя і способу з'єднання його кінців.

Шків, залежно від їх призначення, закріплюють на валах (рис. 9.10) призматичними, сегментними чи клиноподібними шпонками, розрізними чи конічними втулками вільно садять на вал (холості та направляючі шків).

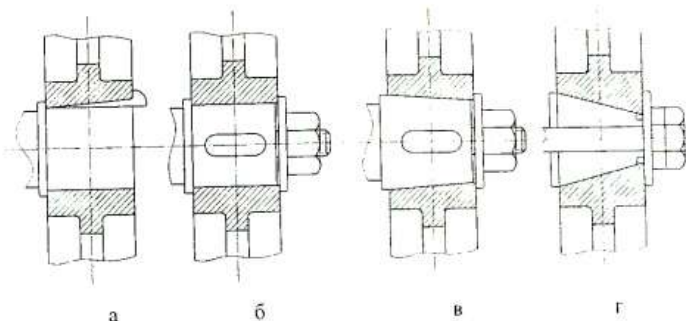


Рис. 9.10 – Способи кріплення шківів на валу

Робочі шківи, що закріплюються на шпонці, насаджують на вал з перехідною посадкою. Перед складанням шків перевіряють на торцеве і радіальне биття, а його посадковий отвір змащують машинною олією. У ряді випадків шківи на вал насаджують, ударяючи молотком або кувалдою по торцю маточини. Такий спосіб мало продуктивний, може викликати перекіс шківа і привести до вигину вала. Тому складання шківа на вал найкраще робити за допомогою спеціальних пристосувань. Складання шківа на конічний кінець вала (рис. 9.10, в) виконують без яких-небудь пристосувань, а необхідний натяг одержують затягуванням гайки.

Шків, встановлений і закріплений на валу, перевіряють за допомогою індикатора на торцеве і радіальне биття, які не повинні бути більше допусків, передбачених технічними умовами.

Зібрані з валами шківи встановлюються при остаточному складанні машини таким чином, щоб плоский ремінь, перекинтий через них, розташовувався посередині обода (рис. 9.11, а), а клиноподібний – у канавках (рис. 9.11, б). Шківи, встановлені в машині, повинні бути вивірені на правильність їх взаємного розташування. При вивірці шківів відкритої плоскоремінної передачі домагаються, щоб торці шківів з однаковою шириною обода були розташовані в одній площині, а з різною шириною обода – так, щоб середини ободів шківів знаходились в одній площині. В обох випадках середини ободків двох шківів повинні бути розташовані по одній нормалі, до осей валів на які ці шківи насажені. Якщо вали, на які насажені шківи, знаходяться один від одного на відстані, що не перевищує 1–1,5 м, установку і вивірку шківів роблять

по перевірочній лінійці. При більшій відстані використовують струну, натягнуту нормально до вісі валів. При однаковій ширині шківів струна повинна по прямій торкатися торців обох шківів.

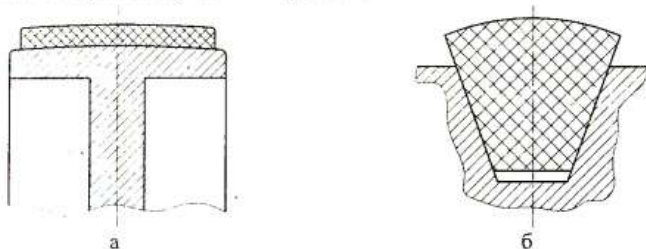


Рис. 9.11 – Установка ременів на шківях

Шківі для клиноподібної пасової передачі встановлюють таким чином, щоб їх канавки були розташовані по одній лінії. Вивірку роблять лінійками з трапецієподібним перетином або стрижнями круглого перетину. Дві лінійки або два стрижні, покладені в крайні канавки шківів, повинні бути рівнобіжні.

При установці шківів для напівперехресної пасової передачі потрібно мати на увазі, що натяг ремня розподіляється по його ширині B рівномірно. Тому, щоб послабити вплив нерівномірного натягу, відомий і ведучий шківі при установці зміщують (рис. 9.12, б) на величину e_2 і e_1 , відповідно рівну $0,5 \dots 0,6$ та $0,1 \dots 0,2$ ширини ремня B .

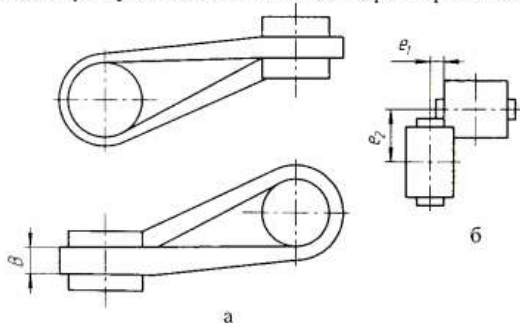


Рис. 9.12 – Вивірка положення шківів на рівнобіжних і перехресних валах

Величину зсуву заздалегідь установити точно неможливо через те, що на рівномірність натягу впливає безліч факторів, тому її остаточно визначають після декількох спробних пусків передачі.

9.13. Складання зубчастих передач

Зубчасті передачі є майже у всіх складальних одиницях устаткування легкої промисловості. За допомогою зубчастих коліс (циліндричних, конічних, черв'ячних) змінюють значення і напрямок швидкості частин, що рухаються, або передають від одного вала до іншого зусилля чи крутні моменти. У практиці менше зубчасте колесо прийняте називати шестірнею, а більше – колесом, а термін “зубчасте колесо” відноситься як до шестірні, так і до колеса. Точність виготовлення коліс і складання передач повинні відповідати Державному стандарту. Для циліндричних, конічних і черв'ячних зубчастих передач встановлено 12 ступенів точності (1-а найбільш точна, а 12-а найбільш груба). У машинах легкої промисловості найбільше застосування знаходять зубчасті передачі 8, 7 та 6-й ступенів точності.

Для коліс кожного ступеня точності встановлюють норми кінематичної точності, плавності роботи колеса і достатньої плями контакту зубів.

Норми кінематичної точності визначають величину повної похибки кута повороту зубчастих коліс за один оберт. Норми плавності роботи колеса визначають величину складових повної похибки кута повороту зубчастого колеса, що багаторазово повторюються за один оберт.

При *складанні зубчастих циліндричних передач* зубчасті колеса встановлюють на вали, а комплекти з зубчастими колесами – у корпус передачі. Способи установки і закріплення циліндричних зубчастих коліс на валах показані на рис. 9.13.

Після установки комплектів у корпус передачі перевіряють правильність зачеплення зубчастих коліс.

Розміри плями контакту по висоті і довжині зубів у передачах, найбільш часто застосовуваних у машинобудуванні в залежності від ступеня точності передачі, приведені далі. При 6, 7 і 8-й ступенях точності передачі пляма контакту (у відсотках) по висоті зуба дорівнює відповідно 50, 45, 40, а по довжині зуба – відповідно 70, 60, 50. Незалежно від ступеня точності коліс і передач встановлюють норми гаран-

гованого бічного зазору та допуски на міжцентрову відстань. Бічний зазор необхідний для того щоб при роботі передачі розширення зубчастих коліс при нагріванні не викликали їх заклинювання.

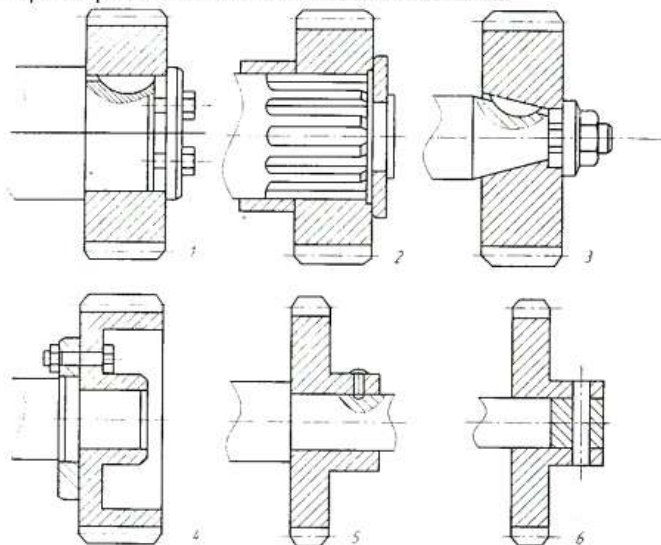


Рис. 9.13 – Способи установки і закріплення зубчастих коліс на валах: 1 – на циліндричній частині; 2 – на шлицевій частині; 3 – на конічній частині; 4 – на фланці; 5 – закріплення гвинтом; 6 – закріплення штифтом

Бічний зазор C_n визначають у перетині, перпендикулярному до вісі колеса, у площині, дотичній до основних циліндрів (рис. 9.14).

Сполучення різних зубчастих передач можуть мати нульовий – *C*, зменшений – *D*, нормальний – *X* і збільшений – *III* гарантовані бічні зазори.

Гарантований бічний зазор (мкм) для цих передач і відхилення міжцентрової відстані (при відстані 320–500 мм) для сполучень *C*, *D*, *X*, *III* буде відповідно дорівнює 0, 130, 260, 530, а допуск на міжцентрову відстань (мкм) буде відповідно +60, +100, +160, +250.

Величину бічного зазору перевіряють щупом (при відкритих торцях зубчастих коліс) або пропусканням між зубами свинцевого дроту. Тов-

щину сплюснених дротиків виміряють мікрометром або штангенциркулем. Існують також спеціальні пристосування для перевірки величини бічного зазору.

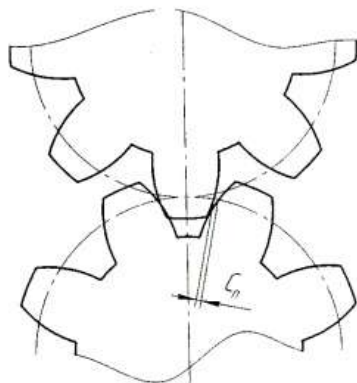
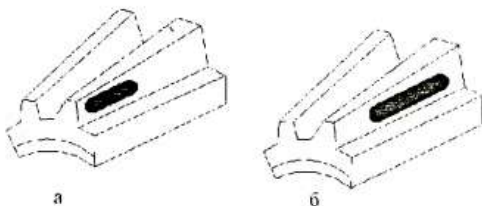


Рис. 9.14 – Зачеплення зубчастих коліс

Правильність зачеплення конічних зубчастих передач перевіряють також по площі плями контакту. Для ненавантаженої передачі пляма контакту на другому колесі повинна бути зміщена до вершини конуса (рис. 9.15). Під дією навантаження при роботі передачі колеса і опори трохи деформуються, та пляма контакту переміщується до середини зуба.



**Рис. 9.15 – Пляма контакту при конічній передачі:
а – ненавантаженої; б – навантаженої**

Величина плями контакту зубів (по висоті і довжині) у передачах, що найчастіше застосовуються в машинобудуванні, складає для 6, 7 та

8-й ступенів точності відповідно не менш 70, 60 і 50 % загальної площі зубів.

Гарантований бічний зазор визначають по нормалі до поверхні зубів у більшого торця ділильного конуса. Бічний зазор призначається залежно від довжини утворюючої ділильного конуса і для довжини у межах 50...80 мм, для сполучень *С, Д, Х, Ш* гарантований бічний зазор відповідно дорівнює 0, 50, 100 і 210 мкм. Слід зазначити, що через особливості форми конічних передач (утворюючі зубів розташовані по куту конуса і зуби мають перемінну товщину) правильність їх зачеплення досягти важче, ніж для передач з циліндричними колесами.

Необхідну величину бічного зазору і плями контакту досягають при складанні, переміщаючи одне колесо уздовж вала рухливим компенсатором чи підбираючи нерухомий компенсатор.

Черв'ячні зубчасті колеса встановлюють на валах і перевіряють так само, як і при складанні блокових циліндричних зубчастих коліс. Істотним при складанні черв'ячних передач є забезпечення правильного зачеплення черв'яка з зубами колеса. Для цього необхідно, щоб кут схрещування осей черв'яка і зубчастого колеса і міжцентрова відстань відповідали кресленню, середня площина колеса збігалася з віссю черв'яка, а бічний зазор у зачепленні відповідав технічним вимогам. Точність монтажу перевіряють по плямі контакту, що у залежності від ступеня точності передачі має різні значення по висоті і довжині зуба. Так, для 6, 7 та 8-й ступенів точності передачі пляма контакту (у відсотках до всієї площі зуба) повинна бути відповідно не меншою по висоті зуба 60, 60 і 50 та по довжині зуба 70, 66 та 60.

Гарантований бічний зазор визначають по нормалі до бічних поверхонь зубів. Так, для передач з міжосьовою відстанню 160...320 мм бічний зазор встановлюють у межах для сполучень *С, Д, Х* та *Ш* відповідно 0; 95; 190; 380 мкм.

Крім бічних зазорів, у зачепленні черв'яка з колесом повинна збігатися середня площина колеса і вісь черв'яка (рис. 9.16). Для передачі з міжосьовою відстанню 160–320 мм величина $\Delta = \pm 21$ мкм. Середню площину колеса з віссю черв'яка сполучають за допомогою рухомого або нерухомого компенсатора. Точність кута між вісями обертання черв'яка і колеса забезпечується розрахунком розмірних ланцюгів при проектуванні передачі. При складанні, внаслідок можливих несприятливих комбінацій похибок виготовлення, точність кута схрещування осей

може виходити за задані межі. Точність кута схрещування можна підвищити, регулюючи положення ексцентриситету кілець підшипників.

Правильність зачеплення колеса з черв'яком перевіряють по фарбі (рис. 9.16). При правильному зачепленні черв'яка фарба повинна покривати поверхню зуба черв'ячного колеса не менш ніж на 50–60 % по довжині та висоті.

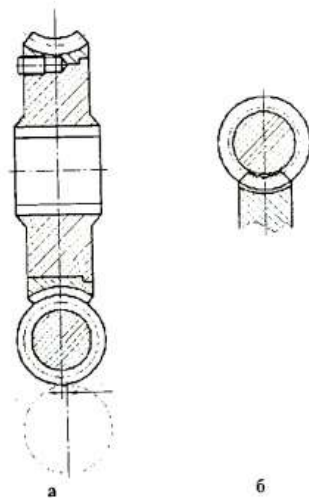


Рис. 9.16 – Зачеплення черв'ячної пари: а – зачеплення з можливим зсувом; б – нормальне зачеплення

9.14. Складання ланцюгової передачі

Складання ланцюгової передачі передбачає виконання наступних операцій: установку зірочок, перевірку їх положення, підготовку і надягання ланцюга, регулювання і перевірку роботи ланцюгової передачі у цілому. Зірочки на валах установлюються так само, як шестірні і шківни. Після установки і перевірки зірочок на них надягають ланцюг, вільні кінці якої скріплюють сполучною ланкою. Якщо опори однієї з зірочок зроблені рухомими (для регулювання натягу ланцюга під час експлуатації), то опори зближують, що значно спрощує з'єднання кінців ланцюга. Якщо опори не пересуваються, то для з'єднання ланцюга

використовуються спеціальні пристосування, за допомогою яких вона стягується та утримується у натягнутому стані під час складання сполучної ланки (рис. 9.17).

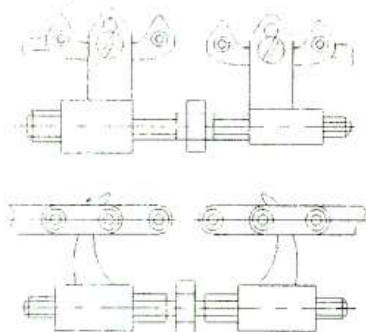


Рис. 9.17 – Схема пристосувань складання ланцюга

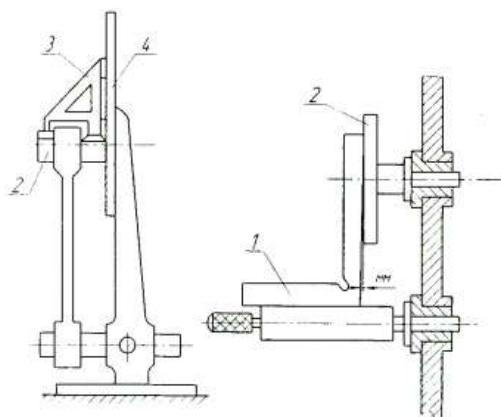


Рис. 9.18 – Пристосування для перевірки паралельності осей:
а – головки шатуна; б – отворів деталей

Для правильної роботи ланцюгової передачі необхідно забезпечувати постійний натяг ланцюга. Зміна натягу приведе до швидкого витягування, або зносу чи до обриву ланцюга.

Нормально натягнуті ланцюги повинні мати деяке провисання, що забезпечує плавність роботи ланцюгової передачі. Ланцюги перед уста-

новкою повинні бути змащені. Для цього їх на кілька годин поміщають у гарячу машинну олію.

Перед пуском ланцюгову передачу рекомендується обкатати вхолосту протягом 2–3 год. При використанні ланцюгової передачі з опорними роликами необхідно звернути увагу на вільне обертання роликів на вісі та прилягання їх до опорної поверхні направляючої.

Питання для самоконтролю

1. Який об'єм трудовитрат займає складання в порівнянні з механічною обробкою, чому саме так?
2. Що таке виріб та його складові частини?
3. Структура технологічного процесу складання виробу.
4. Структура виробу. З яких складових складається виріб?
5. Дати схему складання та пояснити які її позитивні сторони?
6. Які ви знаєте форми складання, дати їх характеристики?
7. Які ви знаєте методи забезпечення точності складання?
8. Дати приклади рухомих і нерухомих з'єднань.
9. Які ви знаєте напрямки підвищення продуктивності та точності складання у масовому виробництві?
10. Як вплине на роботу зубчастої пари відхилення від паралельності осей зубчастих коліс?

ЛІТЕРАТУРА

1. Бабук В.В. Дипломное проектирование по технологии машиностроения. – Минск: Высшая школа, 1979. – 464 с.
2. Гаврилов А.Н. Основы технологии приборостроения. Учебник для вузов. – М., Высш. школа. 1976. – 328 с., ил.
3. Горбачевич А.Ф. и др. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. – Минск: Высшая школа, 1975.
4. Добрыднев И.С. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. – М.: Машиностроение. 1985, 184 с.
5. Допуски и посадки. Справочник / Под ред. В.Д. Мягкова. – Л.: Машиностроение. 1978. – Ч.2. – 542–1032 с.
6. Дунаев Н.Ф. Размерные цепи. – М.: Машгиз, 1963. – 305 с.
7. Егоров М.Е. Технология машиностроения / М.Е. Егоров, В.И. Деметьев, В.Л. Дмитриев. – М.: Высшая школа, 1976. – 534 с.
8. Зенкин А.С. Технология машиностроения легкой промышленности / А.С. Зенкин, Л.М. Гулько, Л.Ф. Михайленко. – К.: Вища школа, 1985. – 222 с.
9. История техники / А.А. Зворыкин, Н.И. Осьмова, В.И. Чернышов и др. – М.: Соцэкгиз, 1962. – 772 с.
10. Ковшов А.Н. Технология машиностроения.: Учебник для машиностроительных специальностей вузов. – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с., ил.
11. Косилова А.Г. Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении. Справочник технолога / А.Г. Косилова, Р.К. Мещеряков, М.А. Калинин. – М.: Машиностроение, 1976. 288 с.
12. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л., 1985.
13. Медвідь М.В. Теоретичні основи технології машинобудування: Навч. посіб. / М.В. Медвідь, В.А. Шабайкович. – Львів: Вища школа, 1976. – 299 с.
14. Металлорежущий инструменты: Учебник для вузов по специальностям "Технология машиностроения", "Металлорежущие станки и инструменты" / Г.Н. Сахаров, О.Б. Арбузов, Ю.Л. Боровой и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.
15. Нефедов Н.А. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту: Учеб. пособ. / Н.А. Нефедов, К.А. Осипов. – М.: Машиностроение, 1984. – 400 с.

16. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / Под ред. А.А. Панова. – М.: Машиностроение, 1988. – 736 с.
17. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов / В.М. Кован, В.С. Корсаков, А.Г. Косилова и др. / Под ред. В.С. Корсакова. – М.: Машиностроение, 1977. – 416 с.
18. Справочник технолога-машиностроителя. / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – Т. 1 – 656 с.
19. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – Т. 2. – 496 с.
20. Сборка машин легкой промышленности / А.С. Зенкин, А.Л. Замша. – Учеб. пособ. – К.: КТИЛП, 1986. – 76 с.
21. Технология машиностроения (специальная часть): Учебник для машиностроительных специальностей вузов / А.А. Гусев, Е.Р. Ковальчук, И.М. Колесов и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 480 с., ил.
22. Технология машиностроения (специальная часть) / Б.Л. Беспалов, Л.А. Глейзер, И.М. Колесов и др.: Машиностроение, 1973, 416 с.
23. Технологія конструкційних матеріалів: Підручник / За ред. М.А. Сологуба. – К.: Вища школа, 1993. – 300 с.
24. Курсове та дипломне проектування з технології машинобудування та металорізальних верстатів: Навчальний посібник / А.І. Гордєєв, Є.А. Урбанюк, А.Є. Безносів, В.Г. Мігаль. – Хмельницький: ХНУ, 2005. – 294 с.
25. Режимы резания металлов: Справочник / Под ред. Ю.В. Барановского. – М.: Машиностроение, 1972.- 408 с.
26. Сторож Б.В., Мазур М.П., Карпик Р.Т., Каразей В.Д. Технологічні основи машинобудування. Навчальний посібник. Івано-Франківськ: Хмельницький: ТУП, 2003.- 153с.

ЗМІСТ

Вступ	3
1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ, ТЕРМІНИ І ВИЗНАЧЕННЯ	7
1.1. Технологічні особливості машинобудування легкої промисловості.....	7
1.2. Машинобудівний завод, його призначення і структура.....	9
1.3. Виріб і його елементи. Структура виробу	12
1.4. Характеристика машинобудівних виробництв.....	13
2. ТОЧНІСТЬ У МАШИНОБУДУВАННІ.....	30
2.1. Загальні поняття про точність	30
2.2. Методи забезпечення точності механічної обробки на верстатах.....	32
2.3. Сумарна (загальна) похибка при обробці на попередньо налагоджених верстатах.....	35
2.4. Визначення сумарної похибки механічної обробки	54
2.5. Аналіз точності на основі методів математичної статистики	56
3. ЯКІСТЬ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	69
3.1. Поняття якості поверхонь	69
3.2. Фактори, які впливають на шорсткість і хвилястість поверхонь	70
3.3. Критерії шорсткості і класи чистоти	72
3.4. Методи оцінки якості поверхонь.....	76
3.5. Позначення шорсткості на поверхнях деталі	81
3.6. Фактори, що впливають на якість обробленої поверхні.....	82
3.7. Вплив якості поверхні на експлуатаційні властивості деталей машин.....	87
4. ВИБІР ЗАГОТОВОК	89
4.1. Вибір матеріалів заготовок.....	89
4.2. Види і способи виготовлення заготовок	92
4.3. Основні вимоги до заготовок	103
5. ВІДОМОСТІ ПРО ПРОЦЕСИ РІЗАННЯ	106

5.1. Різання як технологічний спосіб обробки.....	106
5.2. Конструкційні метали, які оброблюються різанням, їх види та маркування.....	106
5.3. Групування конструкційних металів.....	107
5.4. Матеріал різальних інструментів.....	108
5.5. Різальний інструмент. Елементи різального клина і його геометричні параметри.....	112
5.6. Режими і силові параметри процесу різання.....	118
5.7. Теплові явища. Зношування і стійкість інструмента.....	
5.8. Вплив геометрії інструмента та умов різання на процес різання.....	120
5.9. Оброблюваність матеріалів різанням.....	122
5.10. Загальні відомості про процеси поверхневого пластичного деформування.....	123
6. СПОСОБИ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	128
6.1. Обробка на токарних верстатах.....	128
6.2. Обробка заготовок на фрезерних верстатах.....	139
6.3. Обробка на свердлильних і розточувальних верстатах.....	149
6.4. Обробка на шліфувальних верстатах.....	158
7. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ ТИПОВИХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	167
7.1. Класифікація деталей і типізація технологічних процесів.....	167
7.2. Технологія обробки корпусних деталей.....	172
7.3. Технологія обробки валів.....	205
7.4. Технологія виготовлення зубчастих коліс.....	224
7.5. Виготовлення втулок і дисків.....	243
7.6. Технологія виготовлення важелів.....	250
7.7. Технологія виготовлення голок для швейних, взуттєвих і трикотажних машин.....	259
8. ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ	267
8.1. Вихідні дані для проектування.....	267
8.2. Форми організації техпроцесів та їх розробка.....	268

8.3. Основні етапи розробки технологічних процесів	269
8.4. Рекомендації та приклади розробки техпроцесів механічної обробки деталей машин	270

9. ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ СКЛАДАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ.....319

9.1. Основні поняття про технологічний процес складання	319
9.2. Основи проектування технологічних процесів складання	323
9.3. Технологічні методи, що забезпечують точність складання.....	327
9.4. Підготовка деталей до складання	330
9.5. Особливості технічного нормування складальних операцій	331
9.6. Складання типових з'єднань машин легкої промисловості.....	332
9.7. Складання нерухомих нероз'ємних з'єднань.....	336
9.8. Складання з'єднань пайкою і склеюванням.....	339
9.9. Складання підшипників ковзання	340
9.10. Складання підшипників кочення	342
9.11. Складання шарнірних з'єднань плоских механізмів	344
9.12. Складання пасових передач	344
9.13. Складання зубчастих передач	347
9.14. Складання ланцюгової передачі.....	351

Література.....354

Горбатюк Є.О., Мазур М.П.,
Зенкін А.С., Каразей В.Д.

ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

Навчальний посібник

Підписано до друку з оригінал-макета 20.05.08 р.
Формат 60x84/32. Фіз. друк. арк. 11,18. Умовн. друк. арк. 10,39.
Гарнітура Таймс Нью-Роман. Тираж 400 прим. Замов № 67.

Видавництво ПП "Новий Світ-2000"
79026, Україна, м. Львів-26, вул. В. Великого, 4, кімн. 121
<http://www.ns2000.com.ua>

E-mail: novyisvit2000@lviv.farlep.net.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного
реєстру видавців і розповсюджувачів видавничої продукції:
серія ДК № 59 від 25.05.2000 р., видане Державним комітетом
інформаційної політики, телебачення та радіомовлення України.

Видавництво "Новий Світ-2000" пропонує:

- *гуртову і роздрібну торгівлю книжковою продукцією згідно з прайс-листом;*
- *свочасне постачання замовнику книг посылками, контейнерами та автотранспортом по Україні;*
- *можливість оплати книжок у міру реалізації;*
- *активний книгообмін;*
- *комплектування фондів бібліотек підручниками, навчальними посібниками, словниками і довідниками;*
- *відтермінування платежів для гуртових покупців;*
- *видавничі та поліграфічні послуги;*
- *помірні ціни і гнучку систему знижок (до 25 %).*

Наше видавництво готове до взаємовигідної співпраці з авторами. Ми розглянемо всі ваші пропозиції щодо видання книги, узгодимо умови співпраці. Гарантуємо авторам якісну підготовку видань до друку. Після виходу книги у світ роботу над нею не припиняємо. Разом з авторами ми доопрацьовуємо видання: враховуємо всі зауваження та побажання, що надходять після виходу праць.

Видавництво ПП "Новий Світ-2000 "
79053, м. Львів-53, а/с 5026
тел./факс: 295-41-46, 245-82-29
e-mail: novyisvit2000@lviv.farlep.net

