

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПЕРВОМАЙСЬКА ФІЛІЯ
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА

В.Я. ОШОВСЬКИЙ

ТЕХНОЛОГІЯ ЕНЕРГОМАШИНОБУДУВАННЯ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ (ч. 1)

*Рекомендовано науково-методичною радою ПФ НУК
як навчальний посібник*

ПЕРВОМАЙСЬК
2019

УДК 621.01. (075.8)
ББК 34.5
О-96

Рецензент С.М. Доценко, канд. техн. наук, доцент

Кафедра теплоенергетики та технологій машинобудування ПФ НУК

*Рекомендовано Науково-методичною радою ПФ НУК,
протокол №6 від 27.02.2019 р.*

Ошовський В.Я.

О-96 Технологія енергомашинобудування: конспект лекцій (ч. 1). –
Первомайськ: ПФ НУК, 2019. – 108 с.

Конспект лекцій розроблений відповідно до програми курсу “Технологія енергомашинобудування” та навчального плану підготовки бакалаврів за освітньою програмою «Холодильні машини і установки та системи кондиціонування» спеціальності 142 – Енергетичне машинобудування. В кожній темі приведені питання до вивчення, література та питання і завдання для самоконтролю.

Матеріал посібника призначений для самостійної підготовки студентів з теоретичного курсу і для поглибленого вивчення дисципліни.

Посібник також може бути використаний студентами інших напрямів підготовки з дисциплін, пов’язаних з технологіями машинобудування.

УДК 621.01 (075.8)
ББК 34.5

© Ошовський В.Я., 2019
© Первомайська філія
Національного
університету
кораблебудування, 2019

Тема 1. Характеристика енергомашинобудівного виробництва

Питання до вивчення

- 1.1. Вступ. Суть і зміст дисципліни.
- 1.2. Об'єкти машинобудівного виробництва та їх елементи.
- 1.3. Виробничий та технологічний процеси.
- 1.4. Типи виробництв, їх характеристики та методи визначення.
- 1.5. Основні принципи організації виробничих процесів.

1.1. Вступ. Суть і зміст дисципліни.

Дисципліна “Технологія енергомашинобудування” вивчає *технології* виробництва деталей, машин і апаратів, які використовуються в енергетичній галузі. Слово “*технологія*” складається з двох грецьких слів: перше – “*техно*”, що в перекладі означає наука, ремесло, майстерність, вміння; друге – “*логос*” – вчення, поняття, слово. Тобто технологія – це наука, яка систематизує сукупність знань про способи і засоби обробки (переробки) матеріалів за допомогою відповідного устаткування з метою отримання готових виробів.

В технології енергомашинобудування розглядаються такі об'єкти дослідження і розробок:

- види заготовок деталей машин і апаратів;
- припуски на механічну обробку;
- базування заготовок і деталей;
- точність і якість оброблюваних поверхонь;
- методи механічної обробки поверхонь різної форми;
- технології виготовлення типових деталей;
- технології складання машин і апаратів;
- принципи проектування технологічних процесів та технологічна документація.

Технології енергомашинобудування не відрізняються від технологій машинобудування. Відзнака дисципліни у вивченні не тільки технологій виготовлення типових деталей машин, а й спеціальних деталей ДВЗ, компресорів, теплообмінних апаратів, інших та складання з них виробів.

1.2. Об'єкти машинобудівного виробництва та їх елементи

Об'єктом машинобудівного виробництва є виріб. *Виробом* називається продукт кінцевої стадії виробництва. Ним може бути будь-який предмет або набір предметів виробництва, які підлягають виготовленню або виготовлені на підприємстві, наприклад, зібрана машина або складова частина машини, приладу чи обладнання, що є на даному підприємстві продуктом кінцевої праці. Так, для тракторного заводу виробом є трактор, для карбюраторного - карбюратор, для автоматичного заводу поршнів - поршень. Залежно від призначення розрізняють вироби *основного і допоміжного* виробництва.

До виробів *основного* виробництва належать ті, що призначені для реалізації, *допоміжного* виробництва — ті, які виготовляються тільки для власних потреб підприємства. Вироби, призначені для реалізації і водночас для власних потреб, належать до виробів основного виробництва.

Вироби *основного* виробництва поділяються на такі *категорії*: виготовлені в основному виробництві, отримані в готовому вигляді по кооперації, куповані. ГОСТ 2.101—68 встановлює такі види виробів: деталі, складальні одиниці, комплекси та комплекти (рис. 1.1). Залежно від складових частин вироби поділяють на неспецифіковані (деталі) та специфіковані (складальні одиниці, комплекси, комплекти).

Деталь — виріб, виготовлений на даному підприємстві без складальних операцій, наприклад валик з одного шматка металу, литий корпус, пластина з біметалевого листа, друкована плата, маховичок з пластмаси (без арматури), відрізок кабелю або дроту заданої довжини. До деталей належать також усі вищезазначені вироби, піддані покриттю, незалежно від його виду, товщини і призначення або виготовлені зварюванням, паянням, зшиванням тощо, наприклад хромований гвинт; трубка, спаяна або зварена з одного шматка листового матеріалу; коробка, склеєна з одного шматка картону.

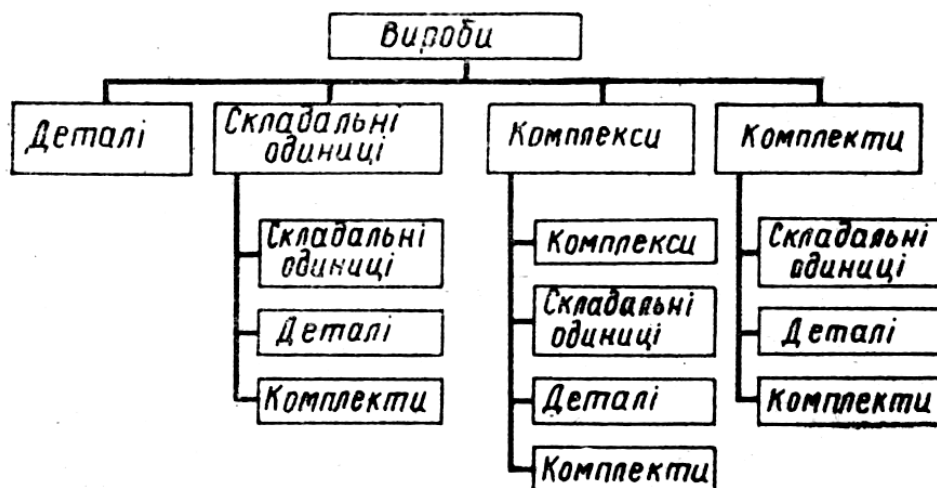


Рис. 1.1. Види виробів та їхня структура

Складальна одиниця (вузол)—виріб, складові частини якого з'єднуються між собою на підприємстві-виготовлювачі за допомогою складальних операцій (згвинчування, клепаання, зварювання, паяння, опресування, розвальцювання, склеювання, зшивання, укладання тощо), наприклад автомобіль, верстат, редуктор, зварний корпус, маховичок з пластмаси з металевою арматурою. До складальних одиниць також належать: вироби, для яких підприємством-виготовлювачем передбачено розбирання на складові частини для зручності упакування та транспортування; сукупність складальних одиниць і деталей, які мають спільне функціональне призначення

і сумісно встановлюються на підприємстві-виготовлювачі в іншій складальній одиниці, наприклад електрообладнання верстата, автомобіля, літака; комплект складових частин врізного замка; сукупність складальних одиниць і деталей, які мають спільне функціональне призначення, сумісно укладених на підприємстві-виготовлювачі в тару (футляр, коробку тощо) і які передбачено використовувати разом із укладеними в ній виробами, наприклад готувальня, комплект кінцевих плоскопаралельних мір довжини.

Комплекс — два чи більше специфікованих виробів, які не з'єднані на підприємстві-виготовлювачі складальними операціями і призначені для виконання взаємозв'язаних експлуатаційних функцій. Кожний виріб, що входить до комплексу, виконує одну або кілька основних функцій, установлених для комплексу в цілому, наприклад цех-автомат, завод-автомат, автоматична телефонна станція, бурильна установка, виріб, що складається пускової установки і засобів управління; корабель. До комплексу, крім виробів, що виконують основні функції, можуть входити деталі, складальні одиниці і комплекти, які виконують допоміжні функції, наприклад деталі і складальні одиниці, призначені для монтажу комплексу на місці його експлуатації; комплект запасних частин, укладальних засобів тари та ін.

Комплект — два вироби та більше, не з'єднані на підприємстві-виготовлювачі складальними операціями, що є набором виробів, які мають спільне експлуатаційне призначення допоміжного характеру, наприклад комплекти запасних частин, інструменту та приладдя, вимірювальної апаратури, пакувальної тари тощо. До комплектів належать також складальні одиниці та деталі, які поставляються разом з набором інших складальних одиниць і деталей, що виконують допоміжні функції при експлуатації цієї складальної одиниці або деталі, наприклад осцилограф у комплекті з укладальним ящиком, запасними частинами, монтажним інструментом, змінними частинами.

У виробничих процесах використовують ряд термінів відповідно до ГОСТ 3.1109—82, які мають безпосереднє відношення до об'єкта виробництва.

Напівфабрикат — виріб підприємства-постачальника, що підлягає додатковій обробці або складанню. Напівфабрикати використовуються при здійсненні принципу кооперації. Після незначної доробки напівфабрикат перетворюється на готовий виріб.

Заготовка - предмет виробництва, з якого зміною форм, розмірів, шорсткості поверхні та якості матеріалу виготовляють деталь або нерознімну складальну одиницю.

Початкова заготовка — заготовка перед першою технологічною операцією. Матеріал, з якого її виготовляють, називають *основним*. Матеріал, який використовують при здійсненні технологічного процесу додатково до основного, називають *допоміжним*. Допоміжними можуть бути матеріали, що

використовують, наприклад, при нанесенні покриттів, просочуванні, зварюванні, паянні, гартуванні.

Комплектуючий виріб — виріб підприємства-постачальника, що є складовою частиною виробу, який випускається іншим підприємством. Виріб, що належить до групи близьких за конструкцією виробів і має найбільшу кількість конструктивних і технологічних ознак цієї групи, називається типовим.

Типовий виріб — об'єкт для розробки типового технологічного процесу, до якого вдаються тоді, коли розробка одиничного технологічного процесу для всіх представників групи економічно недоцільна.

Група складальних частин (деталей), яку необхідно подати на робоче місце для складання виробу або його складової частини, називається *складальним комплектом*.

1.3. Виробничий та технологічний процеси

Продуктом машинобудівного виробництва є виріб.

Виробничим процесом називають сукупність всіх дій людей та машин для перетворення сировини і матеріалів у виріб або для ремонту виробу.

У виробничий процес входить цілий ряд робіт: доставка матеріалів на підприємство; організація їх складування і збереження; виготовлення заготовок з матеріалів; обробка заготовок на верстатах; термічна обробка; складання виробів з деталей; фарбування та упаковка виробів; контроль якості, збереження, захист від корозії та транспортування деталей на різних стадіях виробництва; організація постачання і обслуговування робочих місць.

Технологічний процес являє частину виробничого процесу, безпосередньо пов'язану зі зміною розмірів, форми, зовнішнього вигляду або внутрішніх властивостей предмету виробництва (ГОСТ 3.1109-82).

У машинобудуванні використовуються такі технологічні процеси: формоутворення; лиття; формування; гальванопластики; обробки різанням; обробки тиском; термічної обробки; електрофізичної обробки; електрохімічної обробки; нанесення покриттів; складання; зварювання; паяння; клепаання; склеювання; складання складальних одиниць; загального складання; ремонту; контролю якості продукції.

Засобами виконання технологічного процесу є: технологічне обладнання; технологічна оснастка; наладка і підналадка.

Види технологічних процесів: проектний; робочий; одиничний; типовий; стандартний; тимчасовий; перспективний; маршрутний; операційний; маршрутно-операційний.

Технологічний процес обробки різанням на верстатах звичайно поділяється на *технологічні операції*.

Під *технологічною операцією* розуміють закінчену частину технологічного процесу, що виконується на одному робочому місці (ГОСТ

3.1109-82). Заготовка може бути переставлена в патроні для обробки з другої сторони. Але всі дії з цією заготовкою до обробки іншої заготовки будуть відноситися до однієї операції. Якщо всі деталі даної партії обточують з одної сторони, а потім всі – з другої сторони, то обробка деталей ведеться в дві операції.

Робочим місцем називають частину виробничої площі, закріпленої за одним або декількома виконавцями роботи. На робочому місці певний час знаходяться предмети виробництва. Робоче місце оснащується: обладнанням (верстат, верстак, ванна); технологічною оснасткою (пристосування, інструмент); допоміжними засобами (тара, інвентар, пристрої для забезпечення безпеки праці). Бувають і виключення. При роботі на автоматі операція є, але нема робітника, а є наладчик; при старінні нема ні верстата ні робітника, а операція лишається.

Технологічна операція є основним елементом виробничого планування та обліку дій обладнання і робітника. Норму часу, що призначається робітнику встановлюють на операцію.

Технологічну операцію поділяють на *установи, позиції, технологічні і допоміжні переходи та на робочий і допоміжний ходи*.

В процесі обробки заготовки приходится змінювати її положення. Частина операції, що виконується при незмінному закріпленні заготовки, що обробляється, називається *установ*.

Позиція – фіксоване положення, яке займає заготовка відносно інструменту для виконання певної частини операції.

Технологічний перехід – закінчена частина технологічної операції, що характеризується одними і тими ж інструментом та поверхнею, що обробляється.

Допоміжний перехід – закінчена частина технологічної операції, що не супроводжується обробкою заготовки – установка заготовки, зміна інструменту, яка необхідна для виконання технологічного переходу.

Робочий хід – закінчена частина технологічного переходу, яка складається з однократного переміщення інструменту відносно заготовки і супроводжується зміною форми, розмірів, шорсткості поверхні або властивостей заготовки.

Допоміжний хід - закінчена частина технологічного переходу, яка складається з однократного переміщення інструменту відносно заготовки і не супроводжується зміною форми, розмірів, шорсткості поверхні або властивостей заготовки, але необхідна для виконання робочого ходу.

1.4. Типи виробництва, їх характеристики та методи визначення

Тип виробництва, як найбільш загальна організаційно-технічна характеристика виробництва, визначається рівнем спеціалізації робочих місць, номенклатурою об'єктів виробництва, формою переміщення виробів по робочих місцях. Рівень спеціалізації робочих місць характеризується коефіцієнтом закріплення операцій, тобто кількістю різних операцій, що виконуються на одному робочому місці протягом місяця. Згідно з ГОСТ 3.1121-84 коефіцієнт закріплення операцій для групи робочих місць визначається за формулою

$$K_{з.о} = O/P, \quad (1.1)$$

де O — кількість різних операцій, які виконуються на робочих місцях дільниці чи цеху; P — кількість робочих місць на дільниці чи в цеху.

Якщо за робочим місцем, незалежно від завантаження, закріплено тільки одну операцію, то $K_{з.о}=1$, що відповідає масовому виробництву.

При $1 < K_{з.о} < 10$ виробництво великосерійне,

при $10 < K_{з.о} < 20$ — середньосерійне,

при $20 < K_{з.о} < 40$ — малосерійне,

при $K_{з.о} > 40$ — одиничне.

Приклад. На дільниці з 15 робочих місць протягом місяця на 1, 2, 3, 7, 10 та 13-му робочих місцях виконувалась одна операція; на 4, 5 і 12-му — дві, на 6, 8, 9 і 11-му — три і на 14-му та 15-му — чотири.

$$K_{з.о} = \frac{1 \times 6 + 2 \times 3 + 3 \times 4 + 4 \times 2}{15} = 2,1$$

Отже, виробництво на дільниці великосерійне, тому що $1 < K_{з.о} < 10$.

Якщо визначити коефіцієнт закріплення операцій неможливо або важко (при проектуванні нових дільниць і цехів), тип виробництва орієнтовно може бути визначений за річною програмою випуску залежно від маси виробу за таблицями приведеними в літературі з технологій машинобудування.

Серійне виробництво є основним типом машинобудівного виробництва. Приблизно 80% усієї продукції машинобудування країн світу виготовляється на заводах серійного виробництва (виробництво верстатів, пресів, деревообробних верстатів, текстильних машин, насосів, вентиляторів і т.д.). У серійному виробництві машини виготовляють серіями, а заготовки обробляють партіями.

У серійному виробництві процес виготовлення деталей побудований за принципом диференціації операцій. Окремі операції закріплені за визначеним робочим місцем. Тому виробництво цього типу характеризується необхідністю переналагодження технологічного устаткування при переході на виготовлення деталей іншої партії. Для виконання різних операцій використовують універсальні металорізальні верстати, оснащені як універсальними, так і універсально-збірними і спеціальними пристосуваннями. Знаходять застосування також спеціалізовані, спеціальні автоматизовані, агрегатні верстати. Досить широко використовують верстати

з числовим програмним керуванням, у тому числі багатоцільові; одержують поширення гнучкі виробничі системи. Доцільне застосування спеціального різального інструмента, а також застосування спеціальних мірних інструментів і вимірювальних приладів.

При необхідності вибір технологічного устаткування й оснащення повинний бути обґрунтований відповідними техніко-економічними розрахунками. Устаткування може бути розташоване за груповою ознакою чи у вигляді потоку (у крупносерійному виробництві).

У серійному виробництві середня кваліфікація робітників нижча, ніж в одиничному виробництві.

Масове виробництво характеризується великим обсягом випуску виробів, що безперервно виготовляються чи ремонтуються тривалий час, протягом якого на більшості робочих місць виконується одна робоча операція. Для масового виробництва, як правило, $K_{з.о} = 1$.

У масовому виробництві застосовують високопродуктивне устаткування: спеціальні, спеціалізовані й агрегатні верстати, верстати для безперервної обробки, багатошпиндельні автомати і напівавтомати, автоматизовані виробничі системи, керовані від ЕОМ, автоматичні лінії. Знаходять також обмежене застосування верстати з ЧПК. Широко застосовується багатолезовий і спеціальний різальний інструмент, швидкодіючі, автоматичні і механізовані пристосування, вимірювальні інструменти і прилади. Для технологічних процесів характерний високий рівень використання засобів автоматизації і комплексної механізації. Типовим прикладом масового виробництва є підприємства, на яких виготовляються автомобілі, трактори, мотоцикли, підшипники кочення, велосипеди, швейні машини і т.д.

У крупносерійному і масовому виробництві широко застосовують поточкову організацію виробництва. Вона характеризується розташуванням засобів технологічного оснащення в послідовності виконання операцій технологічного процесу з визначеним інтервалом випуску виробів.

Основним елементом поточкового виробництва є поточкова лінія, на якій розташовані робочі місця. Для передачі предмета праці з одного робочого місця на інше застосовують спеціальні транспортні засоби.

Існують дві форми організації поточкового виробництва: безперервно-поточкова і перервно-поточкова (прямоточна).

У безперервно-поточковому виробництві робочі місця розташовують у порядку виконання технологічного процесу, утворюючи поточкову лінію; кожна операція закріплена за визначеним робочим місцем. Предмет праці переміщається безупинно з одного робочого місця на інше, не затримуючись. Норми часу на виконання операцій повинні бути рівні чи кратні такту (ритму).

У перервно-поточковому виробництві робочі місця розташовують так само, як у безперервно-поточковому. Однак тривалість виконання різних

операцій не дорівнює і не кратна такту (ритму). Тому, природно, рух предметів при виконанні деяких операцій відбувається перервно. Неминучі або залежування предметів праці, або простій робітників на місцях. Ці лінії організують у тих випадках, коли не вдається зробити синхронізацію операцій, тобто домогтися рівності чи кратності тривалості часу виконання операції.

Подальше вдосконалення потокового виробництва привело до створення *автоматичних ліній*, на яких всі операції виконують із установленим тактом на робочих місцях, оснащених автоматичним устаткуванням. Транспортування предметів праці на таких лініях здійснюється також автоматично.

Вищою формою розвитку автоматизованого виробництва є *гнучкі виробничі системи (ГВС)*. Ці системи складаються із автоматизованих верстатів типу оброблюваних центрів, спеціальних транспортних засобів, керованих від ЕОМ, і автоматизованих складів. У цих виробництвах перехід на випуск іншої продукції проходить шляхом зміни виду заготовки і комп'ютерних програм для її обробки.

Одиничне виробництво відзначається виготовленням широкої номенклатури виробів в одиничних кількостях, що повторюються через невизначені проміжки часу або взагалі не повторюються. Робочі місця при цьому не мають визначеної спеціалізації, а робітники повинні мати високу кваліфікацію.

1.5. Основні принципи організації виробничих процесів

Від правильної організації виробничого процесу залежать результати господарської діяльності підприємства, економічні показники його роботи: собівартість продукції, прибуток і рентабельність виробництва. До основних принципів раціональної організації виробничого процесу належать такі.

Спеціалізація — одна з форм поділу праці, яка полягає в тому, що підприємство в цілому і його окремі підрозділи повинні виготовляти продукцію обмеженої номенклатури і здійснювати невелику кількість технологічних процесів. Скорочення номенклатури продукції на кожному робочому місці, дільниці, в цеху та на заводі призводить до збільшення випуску однойменної продукції, до поліпшення економічних показників за рахунок використання спеціального і більш продуктивного обладнання, підвищення рівня механізації та автоматизації усіх процесів, набуття робітниками навичок у роботі, поліпшення організації праці, організації потокового виробництва тощо. Зменшенню номенклатури продукції, яка випускається, сприяє стандартизація, нормалізація та уніфікація виробів і їх складових частин. Дотримання принципу спеціалізації істотно впливає на інші принципи раціональної організації виробничого процесу.

Пропорційність — можливість випуску заданої кількості продукції за одиницю часу в усіх частинах виробничого процесу, яка досягається тим, що визначена для виконання окремих процесів кількість робочих місць і обладнання пропорційна трудомісткості цих процесів. Підвищення рівня пропорційності збільшує безперервність і паралельність технологічних процесів.

Безперервність — якість технологічного процесу, яка полягає в тому, що кожна наступна операція повинна починатися відразу після закінчення попередньої без перерв у часі. При цьому забезпечується безперервна робота обладнання і робітників, відпадає потреба в міжопераційних заділах, спрощується проблема, міжопераційного транспорту, скорочується цикл виробництва.

Паралельність — одночасна обробка кількох заготовок одних і тих же деталей на різних робочих місцях або різних заготовок на одних і тих же робочих місцях. Паралельність обробки чи складання скорочує тривалість виробничого циклу.

Прямоточність — прямолінійне і найкоротше переміщення кожної заготовки, деталі чи складальної одиниці по робочих місцях, дільницях і цехах без зворотних і зустрічних переміщень. Прямоточність досягається розташуванням цехів, дільниць і робочих місць по ходу технологічного процесу.

Автоматичність — усі технологічні процеси і виробничий процес у цілому виконуються машинами або механізмами під контролем людини. Підвищення рівня пропорційності і прямоточності сприяє автоматичності виробничих процесів; автоматичність підвищує безперервність і паралельність.

Ритмічність — усі технологічні процеси і виробничий процес у цілому повторюються через точно встановлені проміжки часу. Найвищий рівень ритмічності досягається при дотриманні перелічених принципів раціональної організації виробничого процесу.

Тема 2. Матеріали для заготовок деталей машин

Питання до вивчення

- 2.1. Принципи вибору матеріалу для заготовки.
- 2.2. Вимоги до матеріалів заготовок.
- 2.3. Марки матеріалів заготовок.
- 2.4. Умовні позначення матеріалів.
- 2.5. Використання чавунів.
- 2.6. Використання сталей.
- 2.7. Використання кольорових сплавів.

2.1. Принципи вибіру матеріалу для заготовки

У процесі вибору матеріалу заготовки враховують його експлуатаційні та технологічні властивості, а також економічну ефективність використання. Матеріал заготовки практично визначає можливість виконання функцій деталі, яка буде виготовлена з цієї заготовки, а також виготовлення деталі з найменшими виробничими витратами.

Розробляючи конструкцію деталі, конструктор разом з технологом передбачають конструктивну форму та розміри заготовки, з якої будуть виготовляти деталь, добирають спосіб формування заготовки, визначають точність її форми та розмірів, а також можливі технологічні процеси її обробки. Поради щодо добору матеріалів і способів отримання заготовок для деталей машинобудування наведено в довідковій та спеціальній літературі.

Часто вибір матеріалу однозначно зумовлює й вибір способу виготовлення заготовки. Це стосується таких матеріалів, які мають явно виражені технологічні властивості (рідкотекучість, здатність до пластичного деформування тощо). Так, вибір чавуну, окремих марок латуней чи бронз зумовлює одночасно вибір виливка як заготовки, а вибір як матеріалу деталі кераміки чи пластмаси зумовлює одночасний добір способу виготовлення заготовки пресуванням з порошкових матеріалів і відповідного термічного оброблення.

Для попередньої оцінки економічності матеріалу заготовки визначають дефіцитність і вартість вибраного матеріалу. Техніко-економічне обґрунтування виконують на основі розрахунків.

У машинобудівних цехах для формування заготовок застосовують продукцію металургійної, металодобувальної та металообробної промисловості. Так, у машинобудівних цехах для виготовлення заготовок широко використовують сортовий прокат, шихтові та порошкові матеріали, металобрухт тощо.

Для формування виливків вихідним матеріалом може бути металева шихта, металобрухт, чушковий метал і, навіть, виливки та прокат. Для утворення кованих і штампованих заготовок вихідними заготовками можуть бути виливки та прокат, які попередньо обробляють механічно (зачищенням, розтинанням, виправлянням). Часто вихідними заготовками для кованок є

заготовки, виготовлені іншими способами. У таких випадках процес формування заготовки складається з двох стадій - виготовлення вихідної та остаточної заготовок. В окремих випадках кількість стадій виробництва заготовок може бути ще більшою. Наприклад, для виготовлення складних деталей у машинобудуванні часто використовують такі технологічні схеми: виливок-прокат-кованка; виливок-прокат-кованка-штамповка; виливок-штамповка-карбування; виливок-прокат-вальцювання; виливок-прокат-вальцювання-штампування-карбування тощо.

2.2. Вимоги до матеріалів заготовок

Якість і надійність деталей у машинобудуванні значно залежать від конструкційних матеріалів, з яких вони виготовлені. З одного боку правильний добір матеріалу заготовки сприяє виготовленню деталі з найменшими виробничими витратами, а з другого - забезпечує задані її якість, довговічність і ремонтпридатність.

Добираючи конструкційний матеріал, слід враховувати його експлуатаційні, технологічні властивості та економічну ефективність. Від *експлуатаційних властивостей матеріалу* залежить виконання деталлю заданих функцій. *Технологічні властивості* дають змогу ефективно обробляти матеріал доступними технологічними методами чи способами. Часто технологічні властивості конструкційного матеріалу заздалегідь визначають спосіб формування заготовки та технологічний процес її подальшого оброблення. Наприклад, чавун допускає тільки лиття заготовок, не вимагає температурного оброблення, не обробляється тиском, погано зварюється тощо.

Економічна ефективність конструкційного матеріалу визначається його вартістю, дефіцитністю та технологічними властивостями, від яких залежить економічність методів отримання заготовок та їх подальшої обробки. Залежно від призначення заготовки та способу виготовлення до її матеріалу можуть висуватися різні вимоги. Їх можна поділити на дві групи: загальні, що стосуються матеріалів усіх заготовок, і часткові — до матеріалу заготовки заданого способу виготовлення.

Розглянемо групу загальних вимог:

- 1) хімічний склад і структура матеріалу мають забезпечити стабільні протягом усього строку оброблення та експлуатації заготовки фізико-механічні та фізико-хімічні властивості;
- 2) матеріал повинен мати задані технологічні властивості залежно від способу виготовлення заготовки (литтям, куванням, різанням, зварюванням);
- 3) виробництво та обробка матеріалу не мають супроводжуватись виділенням токсичних і шкідливих для життя речовин, погіршувати екологію довкілля;

4) для виготовлення матеріалу слід застосовувати дешеві та недефіцитні складові;

5) виготовлення та обробка матеріалу повинні бути економічно доцільними.

2.3. Марки матеріалів заготовок

Серед передбачених у стандартах для виготовлення та використання у виробництві заготовок матеріалів найбільш широко застосовують такі сплави:

- вуглецеві сталі звичайної якості (Ст0, Ст1кп, ... Ст3пс, ... Ст6сп;
- сталі конструкційні підвищеної та високої оброблюваності різанням (А12, А20, ... А40Г);
- вуглецеві якісні конструкційні сталі (08, 15, 20, ... , 85, 60Г, 65Г, 70Г);
- шарикопідшипникові сталі (ШХ15, ШХ15СГ);
- леговані конструкційні сталі (20Х, ... , 50Х, 30ХМА, 35ХМ, 18ХГ, 18ХГТ, 30ХН3А тощо);
- інструментальні вуглецеві сталі (У7, У8, ..., У13, У7А, ... , У13А, У8ГА);

2.8. сталь зносостійка за умов абразивного тертя (110Г13Л);

- сталі з особливими тепловими властивостями (Н36, Н42);
- сталі теплостійкі (12МХ, 20Х1М1Ф1БР, 12Х8ВФ тощо);
- сталі корозійностійкі, жаростійкі та жароміцні (20Х13, 12Х13, 12Х18Н10Т, 20Х17Н2 тощо);
- сталі ливарні вуглецеві конструкційні (15Л, 20Л, ... , 55Л);
- сталі ливарні леговані та високолеговані (20ГЛ, 35ГЛ, 30ГСЛ, 20ГІФЛ, 20ФЛ, 30ХГСФЛ, 45ФЛ, ХЛ, 110Г13Л) тощо;
- сталі ливарні холодностійкі та зносостійкі (15ЛС, 10Х18Н9МЛС, 30ХМЛС);
- сталі ливарні корозійностійкі (15Х13Л, 20Х13Л, 25Х5МЛ, 10Х14НДЛ);
- сталі ливарні жароміцні (40Х21Н46В8Л, 12Х18Н12М3ТЛ, 08Х17Н34В5Т3Ю2Л);
- сталі ливарні жаростійкі (40Х9С2Л, 20Х25Н19С2Л, 45Х17ПЗН3ЮЛ);
- сталі ливарні кислотостійкі (12Х18Н9ТЛ, 14Х18Н4Т4Л, 12Х25Н5ТМФЛ);
- чавуни сірі (СЧ00, СЧ12, ..., СЧ44);
- чавуни високоміцні (ВЧ350-2, ВЧ400-2, ..., ВЧ120-1);
- чавуни жаростійкі (ЖЧХ2, ..., ЖЧХ30, ЖЧС5Ш тощо);
- чавуни антифрикційні (АЧС-4, АЧС-6, АЧК-1, АЧК-2);
- чавуни модифіковані та леговані (ЧХ1, ЧХ2, ЧЮЧШ тощо);
- бронзи олов'янофосфорні (БрОФ10-1);
- бронзи олов'яні деформівні (БрОФ7-0,2; БрОФ6,5-0,4; БрОФ6,5-0,15; БрОЦ4-3; БрОЦС4-4-2,5 тощо);
- бронзи безолов'яні деформівні (БрА5, БрАМц9-2 тощо);

- латуні ливарні (ЛА67-2,5; ЛАЖМц66-6-3-2; ЛС69-1Л тощо);
- латуні деформівні (Л68, Л63, ЛО62-1 тощо);
- алюмінієві сплави ливарні (АЛ-2, АЛ-4, АЛ-9, . . . , АЛ-30);
- алюмінієві деформівні сплави (АМц, АМг-6, Д16, Д18, АК4, АК6, АК8);
- титанові ливарні сплави (ВТ5, ВТ5-1, ОТ4-0, ВТ6, ВТ8, ВТ9 тощо);
- магнієві деформівні сплави (МА1, МА2, МА5, МА11, МА13, ВМ65, ВМД1).

Метали та сплави, які виготовляються промисловістю, можуть відрізнятися одні від одних:

- кількістю нормованих параметрів (групи А, Б і В у вуглецевих сталей);
- фізичним станом рідкої фази, з якого вони виготовлені (кп - кипляча, пс - напівспокійна, сп - спокійна);
- способом прокатування (гк - гарячокатана, хк - холоднокатана, к - кована);
- видом термічного оброблення (т - термічнооброблена, н - нагартована без термічного оброблення);
- механічними властивостями (групи 1, 2, 3, 4, 5; А - високоякісна, Ш - особливоякісна, а - для гарячого оброблення, б - для механічного оброблення, в - для волочіння, л - для лиття);
- способом механічного оброблення поверхні (сріблянка - шліфований круглий прокат).

Із чавуну всіх марок формують тільки виливки.

Практично всі марки сталей так чи інакше надаються для оброблення тиском та виливанням. Для визначення марки сталі потрібно враховувати її механічні, фізичні та технологічні властивості, наведені у відповідних стандартах, довідниках, а також керуватись результатами спеціальних досліджень.

Алюмінієві сплави поділяють на дві групи: технічний алюміній та термічно зміцнювані сплави. Сплави першої групи відзначаються високою пластичністю, але мають гірші характеристики міцності.

З мідних сплавів найбільше розповсюджені бронзи та латуні. Латуні характеризуються ліпшими ливарними властивостями, меншим усіданням і схильністю до окислення, ніж бронзи. Бронзи відрізняються високими механічними та антифрикційними властивостями. Для виготовлення виливків застосовують олов'яні, безолов'яні бронзи та латуні на основі цинку. Для виготовлення кованок здебільшого використовують алюмінієві, кремнієві та олов'яні бронзи.

Титанові сплави мають задовільну пластичність, високу міцність, але низьку оброблюваність різанням. Для ОМТ придатні титанові сплави марок ОТ4-1, ВТ14, ВТ3-1 тощо.

Магнієві деформовні сплави застосовують для ОМТ. Для виготовлення виливків використовують сплави марок МЛ5, МЛ6, МЛ8. Магнієві сплави

порівняно з алюмінієвими мають більшу усадку, гіршу рідкотекучість, схильність до самозаймання в рідкому стані.

До тугоплавких сплавів належать сплави на основі титану, вольфраму, молібдену, ванадію, ніобію. Температура плавлення деяких з них сягає 3000... 3500 °С, вони відрізняються високою міцністю в умовах високих температур.

Легкоплавкими вважають сплави на основі олова, свинцю, вісмуту та кадмію.

2.4. Умовні позначення матеріалів

Умовні позначення, що обов'язкові для вживання в технічній документації, подані в стандартах на кожний з матеріалів (сортамент, технічні вимоги) або в технічних вимогах щодо їх випуску чи виготовлення.

Наведемо приклади позначень матеріалів.

Сталь гарячекатана звичайної точності прокатування В, діаметром 50 мм, марки 30, другої категорії, підгрупи б - без термічного оброблення:

$$Круг \frac{B = 50 ГОСТ 2591 - 71}{30 - 2б ГОСТ 1050 - 74}.$$

Сталь калібрована, діаметром 10 мм, класу точності 4, за ГОСТ 7417-75, марки 35, нагартрована – Н, 5-ї категорії якості поверхні, за групою Б:

$$Круг \frac{10 - 4 ГОСТ 7417 - 75}{35 - Н - 5 - Б ГОСТ 1050 - 74}$$

Сталь гарячекатана звичайної точності прокатування товщиною 20 мм, шириною 75 мм, якісна марки 20ХНМ, для холодного механічного оброблення (підгрупа б) без термооброблення:

$$Штаба \frac{20 \cdot 75 ГОСТ 103 - 76}{20 ХНМ - б - ГОСТ 4543 - 71}$$

Гарячекатаний лист зі сталі ст. 3, розміром 2,0×1000×2000 з допуском на товщину за класом В, 3-ї категорії III групи якості поверхні

$$Лист \frac{В 2,0 \cdot 1000 \cdot 2000 ГОСТ 19903 - 74}{3 - III - Ст 3 ГОСТ 16523 - 70}.$$

Куток рівнобічний 120×120×5 зі сталі марки ВСт3кп2 за ГОСТ 380-88:

$$Куток \frac{120 \cdot 120 \cdot 5 ГОСТ 19771 - 74}{ВСт3кп2 ГОСТ 11474 - 76}.$$

Виливок II групи зі сталі марки 25Л:

Виливок 25Л-II ГОСТ 977-75.

Те ж III групи зі сталі марки 35ХГСЛ:

Виливок 35ХГСЛ-III ГОСТ 977-75.

2.5. Використання чавунів

У машинобудуванні маркують і використовують чавуни з вмістом вуглецю 2,4...3,8%С, у структурі яких вуглець знаходиться у вигляді графіту.

Залежно від форми графіту чавун має назву – “сірий”, “з вермикулярним графітом”, “ковкий”, “високоміцний”(табл. 2.1). Чавуни маркують за назвою та механічними властивостями згідно міждержавних стандартів - ГОСТ (“Государственный стандарт») та Державних стандартів України – ДСТУ.

Приклади розшифровки марок чавуну:

СЧ 25 - сірий чавун (СЧ);

25 – границя міцності при розтягуванні, $\sigma_{\text{с}} = 250 \text{ МПа}$ (25 кгс/мм²);

ЧВГ 400-4 - чавун з вермикулярним графітом (ЧВГ);

400 – границя міцності при розтягуванні, $\sigma_{\text{с}} = 400 \text{ МПа}$;

4 – відносне подовження, $\delta = 4\%$.

КЧ 35-10 - ковкий чавун (КЧ);

35 - границя міцності при розтягуванні, $\sigma_{\text{с}} = 350 \text{ МПа}$ (35 кгс/мм²);

10 – відносне подовження, $\delta = 10\%$;

ВЧ 800-2 - високоміцний чавун (ВЧ);

800 - границя міцності при розтягуванні, $\sigma_{\text{с}} = 800 \text{ МПа}$;

2 - відносне подовження, $\delta = 2\%$.

Для підвищення стійкості проти корозії та міцності при високих температурах чавуни легують.

Леговані чавуни поділяють на корозієстійкі, жаростійкі і жароміцні.

До жаростійких належать чавуни, леговані силіцієм (ЧС13, ЧС15, ЧС17) і хром (ЧХ22, ЧХ28, ЧХ32). Вони досить стійкі в сірчані, азотній і багатьох органічних кислотах.

Для підвищення корозійної стійкості кременисті чавуни додатково легують молібденом (ЧС15М4, ЧС17М3). У лугах високу корозійну стійкість мають нікелеві чавуни, наприклад аустенітний чавун ЧН15Д7.

Жаростійкість чавунів підвищують легуванням силіцієм (ЧС4) або хромом (ЧХ32). Високу жаростійкість мають аустенітні чавуни – сірий ЧН15Д7 і з круглястим графітом ЧН15Д3Ш.

Як жароміцні використовують аустенітні чавуни з кулястим графітом ЧН19Х3Ш і ЧН11Г7Ш.

Використання деяких поширених чавунів наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Використання чавунів

Марка	Вироби
СЧ15, СЧ20, СЧ25	Впускні та выпускні трубопроводи двигунів, блоки циліндрів, маховики, натискні диски зчеплень, корпуси та кришки картерів і коробок передач, насосів, компресорів, гільзи циліндрів, гальмівні барабани, циліндри гідрогальм і зчеплень
Леговані чавуни	Гільзи циліндрів, гнізда клапанів, розподільні вали двигунів, поршневі кільця, диски зчеплень
ВЧ45, ВЧ50, ВЧ60	Поршневі кільця, коромисла клапанів, колінчасті та розподільні вали, картери коробок передач, маточини коліс, гальмівні барабани, кронштейни
КЧ35, КЧ37	Картери головних передач, задніх мостів, механізмів керування, маточини коліс, корпуси диференціалів, педалі, кронштейни

2.6. Використання сталей

Використання сталей загального призначення (звичайної якості).

Сталь вуглецева звичайної якості (ДСТУ 2651—94) виготовляють семи марок з номерами - 0...6 (чим більше число, тим сталь твердіша, але більш крихка) і трьох груп:

А - що поставляються за механічними властивостями. Марки: СтО, Ст1кп, Ст1пс, Ст1сп, Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп, ..., Ст6пс, Ст6сп.

Із збільшенням номера сталі підвищується її міцність і твердість, але знижується пластичність. Із сталей звичайної якості виготовляють рядовий прокат (прутки, балки, швелери), а також листи, труби. Ці сталі широко застосовують у будівництві для, клепаних та болтових конструкцій.

Б - за хімічним складом,

В - за механічними властивостями та хімічним складом.

Сталі всіх марок і груп, крім марки 0, залежно від ступеня розкислення виплавляють киплячою (кп), напівспокійною (пс) і спокійною (сп).

Приклади позначення:

Ст3пс ДСТУ 2651-94 - сталь групи А (не показують), 3 - номер марки, категорія 1 (не показують), пс - напівспокійна;

БСт5кп3 ДСТУ 2651-94 - Б - група сталі, 5 - номер марки, кп - кипляча, 3 - категорія.

Позначення без зазначення групи, ступеня розкислення та категорії застосовують тоді, коли умови не вимагають якісної характеристики сталі. Із сталі марок 0 і 1 виготовляють малонавантажувані деталі (кожухи, труби); із сталі Ст3 - прокат, гайки, шайби; із сталі Ст5 та Ст6 - деталі, що витримують

велике навантаження. Використання деяких сталей загального призначення приведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. Використання сталей загального призначення

Марка	Вироби
Ст.0, Ст1кп, Ст1пс, Ст1сп	Огорожі, арматура, анкерні балки, зварювані маловідповідальні з'єднання
Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст4кп, Ст4пс,	Маловідповідальні гвинти, прогоничі, гайки, заклепки, зварювані конструкції, арматура
Ст5пс; Ст6пс	Шпонки, клини, тяги, осі, вали, заклепки, зубчасті колеса

Використання сталей підвищеної та високої оброблюваності різанням (за ГОСТ 1414-75)

Автоматні сталі. Вони відрізняються тим, що мають добру оброблюваність різанням завдяки підвищеному вмісту сірки і фосфору і призначені для виготовлення деталей масового виробництва на верстатах-автоматах. Сталі маркують літерою А (автоматна) і цифрами, що показують середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка.

Їх використовують для кріпильних і дрібних слабонавантажених деталей машин і приладів.

Останнім часом, як автоматні, застосовують якісні вуглецеві і леговані сталі з добавками свинцю (0,15...0,30%): АС11, АС12НХ, АС20ХГНМ, АС40 (тут "С" – присутність свинцю) і інші, які по оброблюваності перевищують сірчано-фосфористі сталі. Введення свинцю дозволяє збільшити швидкість різання сталей до 2 разів, але утрудняє їх гарячу обробку тиском.

Використання сталей підвищеної та високої оброблюваності різанням приведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3. Марки та використання сталей підвищеної та високої оброблюваності різанням

Марка	Вироби
A11, A12, A20, A30, A35, A40Г, АС40	Гвинти, прогоничі, затички, сухарі, ролики, валики, ходові гвинти металорізальних верстатів
АС14, С35Г2, АС45Г2	Шестерні, вали механізму керування автомобілів, важелі перемикання передач, поршні
АС12ХН, АС14ХГН, АС19ХГН, АС30ХМ, АС40ХГНМ	Муфти, гайки, храповики, важелі, осі, пальці, вали, шестерні, стопорні кільця, ролики, шнеки

Використання конструкційних вуглецевих сталей (табл. 2.4)

Сталі якісні конструкційні (ГОСТ 1050-88) відрізняються меншою масовою часткою сірки та фосфору ($< 0,04\%$), обмеженим вмістом інших елементів, неметалевих домішок. Вони призначені для виготовлення виробів, які піддають термічній обробці, тому стандарт регламентує їхній хімічний склад.

Маркують ці сталі числом, яке вказує на вміст вуглецю в сотих частках процента (08; 10; 15; ...; 60). У марці деяких з цих сталей також зазначають ступінь розкислення сталі (крім сталі спокійної) - 10кп, 10пс, 10.

Приклад позначення: Сталь 45 ГОСТ 1050-88.

Із сталі марок 10,15,20 виготовляють болти, гвинти, гайки; із сталі марок 45...60 - вали, шестерні та інші важливі деталі.

Ливарні сталі поділяють на три групи (ГОСТ977-88): I - звичайного призначення; II - відповідального призначення; III - особливо відповідального призначення.

Приклад позначення: Сталь 25 Л-II ГОСТ 977-88.

Таблиця 2.4. Вуглецеві сталі та їх використання (за ГОСТ 1050-88)

Марка	Вироби
08, 08кп, 10	Деталі кабін і кузовів автомобілів та їх вузлів, вкрути, деталі технологічних пристроїв, нестандартного устаткування
15, 15кп	Диски автомобільних коліс, пальці, осі, гайки, прогоничі, вилки, важелі
20, 20кп, 25	Вали, шнеки, троси, бампери, важелі, хомути, траверси, тяги, кронштейни, карданні вали, вилки, маховики, циліндри, станини верстатів
30, 35	Фланці, шестерні, гільзи, гаки, вилки, кріпильні деталі для автомобільних коліс, циліндри пресів, шпинделі, вали турбін і редукторів, ротори, станини верстатів
40, 45	Колінчасті та розподільні вали, шестерні та зубчасті колеса, прокатні валки, плунжери pomp і гідроциліндрів, поршневі пальці, осі коліс автомобілів і редукторів, муфти, вилки, втулки, вінці маховиків, кулаки гальм
50, 60	Шнеки, штовхачі, прокатні вали, поршневі кільця, ведені диски зчеплення

Використання легованих конструкційних сталей (2.5)

Конструкційні сталі призначені для виготовлення деталей машин і конструкцій. Від них вимагають високої міцності, в'язкості, пружності.

Легуючі елементи позначають такими літерами: А (в середині марки) - азот, Б - ніобій, В - вольфрам, Г - манган, Д - мідь, К - кобальт, М - молібден, Н - нікель, П - фосфор, Р - бор, С - силіцій, Т - титан, Ф - ванадій, Х - хром, Ц - цирконій, Ю - алюміній.

Літери в кінці марки означають таке: А - високоякісна сталь; Ш - особливо високоякісна; СШ - оброблена синтетичним шлаком; Л - сталь, призначена для одержання виливків.

Літери на початку марки означають: Ш - шарикопідшипникова; Е - магнітна; А – автоматна (з підвищеною оброблюваністю різанням).

Наприклад, марка 35Х2МА означає сталь із середнім вмістом таких елементів: “35” - 0,35%С; “Х2” - 2%Сг; “М” - 1%Мо. В кінці марки літера “А” – сталь високоякісна.

Конструкційні сталі поділяють на такі групи.

Будівельні низьколеговані сталі (до 0,2%С, низьколеговані). Наприклад, сталі 09Г2, 10Г2СІ, 15Г2СФ, 10НДП. Їх використовують у будівництві та машинобудуванні в основному без термічної обробки.

Покращувальні сталі призначені для виготовлення деталей машин (вали, шестерні, шатуни тощо). Їх піддають покращанню - гартуванню і високому відпусканню. До них належать низьколеговані сталі з масовою часткою 0,3...0,5 % С, наприклад: 30Х, 40ХН, 30ХГСА, 38ХНЗМФ.

Цементуючі сталі містять 0,15...0,25%С. Їх піддають цементації, гартуванню і низькому відпусканню.

Таблиця 2.5. Використання легованих конструкційних сталей (ГОСТ 4343-71)

Марка сталі	Використання
40Г, 50Г, 45Г2, 47ГТ	Шатуни, осі автомобільних коліс, колінчасті вали
15Х, 20Х	Штовхачі, поршневі пальці, хрестовини, розподільчі вали
30Х, 35Х, 40Х, 45Х, 20ХГНР, 15ХГН2ТА	Вали-шестерні редукторів, балки передніх осей, поворотні цапфи, важелі керування, хрестовини, коромисла, кришки корінних і шатунних підшипників
18ХГТ, 30ХГТ, 25ХГМ, 25ХГТ	Шкворні, розподільчі вали, шестерні, хрестовини
12ХН2, 12ХН3А, 20ХН3А, 30ХН2ВА, 40ХН, 20ХНЗМ	Поршневі пальці, хрестовини карданів, вали керівних механізмів, шестерні-сателіти, ротори, шнеки, шліцеві вали, шпонки
40ХФА	Пружини клапанів, торсіони, шатуни, колінчасті вали
45Х, 30ХРА	Кривошипи, клапани впускні, ключі гайкові, корби
30ХМ, 30ХМА	Деталі, що працюють при температурі до 480 °С
40МФА	Колінчасті вали, нецементовані шестерні,

	шатуни силові, шпильки, пальці
38ХНЗМФА	Найбільш відповідальні деталі турбін, двигунів, компресорів
38Х2М10А	Азотовані деталі: штоки, клапани, гільзи, втулки

Ресорно-пружинні сталі легують Si, Mn, Cr, V, Ni у кількості 1,5...2,8% та O, 10...0,25%С. Більш поширені кременисті сталі: 50С2, 60С2А, 70С3А. Високонавантажені пружини і ресори виготовляють із сталей 60С2ХФА, 65С2ВА, 60С2Н2А; клапанні пружини - із сталей 50ХФА, 50ХГФА.

Шарикопідшипникові сталі застосовують для виготовлення кульок, роликів і кілець підшипників кочення. До них належать сталі ШХ6, ШХ9, ШХ15СГ, які містять близько 1% С і відповідно 0,6; 0,9 і 1,5% Cr.

Зносостійкі сталі. Для роботи в умовах ударно-абразивного зношування призначені литі сталі аустенітного класу 110Г13Л і 60Х5Г10Л, а в умовах кавітаційно-ерозійного зношування (деталі відцентрових насосів, лопатки гідротурбін) - сталі 30Х10Г10, 0Х14Г12М, 0Х14АГ12М та ін.

Корозієстійкі сталі поділяють на дві групи:

хромисті і хромонікелеві (2.6).

Хромисті сталі містять 13% і більше хрому. За структурою вони поділяються на сталі феритного (08Х13, 15Х25Т), феритно-мартенситного (12Х13) і мартенситного (20Х13, 30Х13, 95Х18) класів.

Більшість *хромонікелевих сталей* належать до аустенітного класу: 12Х18Н9, 12Х18Н12Т, 10Х14Г14Н4Т та ін. Поряд з ними існують сталі аустенітно-феритного (наприклад, 08Х21Н6М2Т) і аустенітно-мартенситного (09Х15Н8Ю) класів.

Жаростійкі сталі призначені для роботи при високих температурах у газових середовищах. Жаростійкість (окалиностійкість) визначається не структурою, а складом сталі і в основному залежить від вмісту хрому. Введення в сталь 5...8% хрому підвищує її жаростійкість до 700...750°С, а при 25%Cr - до 1100°С. Поряд з хромом ці сталі легують Si, Al, Ni (15Х5, 40Х9С2, І5ХІ8СЮ, 20Х23Н13 та ін.).

Жароміцні сталі здатні тривало працювати під навантаженням при високих температурах. Їх поділяють на три класи: перлітний, мартенситний і аустенітний.

До сталей *перлітного* класу, призначених для роботи при температурі 450...580°С, належать котельні (15К, І8К, 22К) та теплостійкі (12МХ, 25Х1МФ, 20Х3МВФ та ін.) сталі.

Сталі *мартенситного* класу (І5Х5М, І2Х8ВФ, 40Х10С2М) здатні працювати при температурі 450...600°С.

Для роботи при температурі 650...700°С використовують сталі *аустенітного* класу (10Х18Н12Т, 08Х15Н24В4ТР, 45Х14Н14В2М).

Таблиця 2.6. Використання високолегованих, корозійностійких, жаростійких та жароміцних сталей (за ГОСТ 5632-72)

Марка сталі	Використання
13X11H2B24Ф	Диски компресорів, лопатки турбін
20X13	Деталі з підвищеною пластичністю, предмети домашнього вжитку
30X13, 40X13	Різальний, вимірювальний, хірургічний інструмент, пружини, предмети домашнього вжитку
14X17H2	Важконавантажені деталі, що працюють в агресивних середовищах, в умовах ударних навантажень і стирання
12X17	Деталі, що працюють в азотнокислих середовищах, предмети домашнього вжитку
15X11МФ	Робочі та напрямні лопаті парових турбін
12X18H9Т, 12X18H10	Зварювана апаратура для хімічної промисловості
20X23H18	Деталі для газових турбін, двигунів внутрішнього згоряння
ХН77ТЮР	Деталі турбін і реактивних двигунів, що працюють при високих температурах

2.7. Використання кольорових сплавів (табл. 2.7; 2.8; 2.9; 2.10)

Мідні сплави. *Латунями* називають сплави міді з цинком.

Деформівні латуні маркують літерою Л і цифрами, які вказують на масову частку міді в сплаві, наприклад марка Л80 означає латунь з 80%Cu, решта – Zn (ГОСТ 15527-70). У марці складних латуней перші дві цифри за літерами вказують середній вміст міді, а наступні - вміст інших елементів (решта - Zn), наприклад: марка ЛЖС58-1 -1 позначає латунь з масовою часткою 58% Cu, 1% Fe і 1% Pb, решта - Zn.

Марки *ливарних латуней* (ГОСТ 17711-80) відрізняються від розглянутих. Так, марка ЛЦ40МцЗЖ позначає латунь з масовою часткою 40%Zn, 3%Mn, 1%Fe, решта - Cu.

Бронзами називають сплави міді з оловом, алюмінієм, берилієм та іншими елементами, крім цинку, як основного компонента. Бронзи, як і латуні, бувають *простими і складними*. За хімічним складом бронзи поділяють на *олов'яні та безолов'яні*.

Марки *олов'яних деформівних бронз* (ГОСТ 5017-74) починаються літерами Бр, за якими йдуть літери, що позначають легуючі елементи, а за ними в такому самому порядку цифри, які вказують на вміст цих елементів (решта - Cu). Наприклад, до складу бронзи марки БрОЦС-4-4-4 входить по 4% Sn, Zn і Pb, решта - Си. У марках *олов'яних ливарних бронз* (ГОСТ 613-79)

вміст елементів вказують безпосередньо після їх позначення. Наприклад, БрО8Н4Ц2 (8% Sn, 4% Ni, 2% Zn, решта - Си).

Бронзи безолов'яні, які деформуються, позначаються відповідно до ГОСТ 18175-78.

Марки: БрА5; БрАМц9-2, БрАЖ9-4, БрАЖН10-4-4, БрКН1-3, БрБ2 та ін. Особливе місце серед них належить берилієвої бронзі БрБ2, яка містить близько 2 % Ве. Після гартування від температури 780°C і старіння при 300°C вона має міцність $\sigma_m = 1300$ МПа, твердість 370 НВ, високу пружність і добру корозійну стійкість. Це дає змогу застосовувати її для виготовлення таких виробів, як пружини, мембрани тощо.

Таблиця 2.7. Використання ливарних латуней

Марка латуні	Використання
ЛЦ40С	Фасне лиття, лиття під тиском
ЛЦ40Мц1,5	Арматура, втулки
ЛЦ23А6Ж3Мц2	Вінці шнекових коліс, гвинти, гайки, деталі, що працюють в умовах знакозмінних навантажень
ЛЦ40Мц3Ж, ЛЦ40Мц3А, ЛЦ38Мц2С2, ЛЦ30А3	Нескладні за формою деталі (втулки, штуцери,) корозійностійкі деталі
ЛЦ16К4	Складні деталі, що працюють при температурі до 250 °C і у морській воді

Таблиця 2.8. Використання деформівних латуней (за ГОСТ 15527-70)

Марка латуні	Використання
Л90, Л96, Л85, Л80, ЛН65-2	Листи, стрічки, труби, радіатори
Л70, Л68, Л63, Л60	Втулки генераторів, баки радіаторів, клапани, деталі пневмосистем, заклепки
ЛА77-2	Арматура радіаторів
ЛМц58-2, ЛО70-1, ЛО60-1	Прутки та дрід для газового зварювання, стрічки
ЛС63-3, ЛС74-3, ЛС64-2, ЛС59-1, ЛС59-1В	Стрічки, листи, труби, прутки, кутки, трійники, штовхачі, жиклери, затички, втулки
ЛК80-3,	Ковані та штамповані заготовки, труби

Таблиця 2.9. Використання деформівних бронз (за ГОСТ 5017-74)

Марка бронзи	Використання
БрОФ8,0-0,3, БрОФ7-0,2, БрОФ6,5-0,4, БрОФ6,5-0,15, БрОФ4-0,25	Дріт для сіток і пружин, стрічки, труби
БрОФ2-0,25	Прогоничі, стрічки, дріт для зварювання
БрОЦ4-3, БрОЦС4-4-2,5, БрОЦС4-4-4	Дріт для пружин, штуцери, втулки, тяги, підшипники

Таблиця 2.10. Використання безолов'яних бронз (за ГОСТ 18175-78)

Марка бронзи	Використання
БрА5, БрА7	Контакти, хімічностійкі деталі
БрАМц9-2, БрАЖ39-4	Підшипники, гвинти, вали, гайки, зносостійкі деталі
БрАМц10-2	Фасонні виливки
БрАЖМц10-3-1,5, БрАЖН10-4-4	Корозійно- і вогнестійкі деталі
БрБ2, БрБНТ1,7, БрБНТ1,9МГ	Пружини, втулки зносостійкі
БрКМц3-1, БрАЖНМц9-4-4-1	Хімічностійкі деталі
БрМц5	Деталі, що працюють при температурі до 250 °С
БрМц0,3	Колектори електродвигунів

Алюмінієві сплави.

Деформівні алюмінієві сплави поділяють на *незміцнювані та зміцнювані* термічною обробкою. В основу цього поділу покладено границю розчинності легуючих елементів при кімнатній температурі.

До *незміцнюваних* термообробкою належать сплави типу АМц і АМг. У сплавах АМц міститься до 1,5 % Mn, а в АМг - до 7 % Mg і 0,8 Мп. Для підвищення міцності в них додатково вводять до 2 % V, 0,1 % Ti, 0,005 % Be. Ці сплави мають високу пластичність, добре зварюються, корозієстійкі, $\sigma_{\text{в}} = 200 \dots 300$ МПа. З них виготовляють штамповані і зварні ємкості, баки тощо.

До сплавів, що *зміцнюються* термообробкою, належать дуралюміні. Вони містять 2...5 % Cu, до 1,5 % Mg, 1 % Mn. Позначають дуралюміні літерою Д і умовними номерами, наприклад Д1, Д16.

Термічна обробка дуралюмініу полягає в гартуванні його від температури, близької до 500 °С, і наступному природному старінні при кімнатній температурі протягом 5...7 діб або штучному при температурі 100.

..150 °С. Після такої обробки властивості дуралюміну становлять $\sigma_B = 420 \dots 470$ МПа. 90...100 НВ, $\delta = 18 \dots 20\%$.

Ливарні алюмінієві сплави містять підвищену кількість Si, Mg, Zn. За складом (ДСТУ 2839-94, 38 марок) їх поділяють на п'ять груп:

1) Al-Si-Mg (силуміни, Si = 6...13 %, Mg = 0,2...0,5 %); позначення - АК7, АК9, АК12 тощо (А – алюмінієвий, К – кремній, число після К – середня масова частка кремнію). Мають високі ливарні властивості, використовуються для виготовлення мало- і середньонавантажених деталей часто складної конфігурації;

2) Al-Si-Cu (мідні силуміни, Si = 3,5... 11 %, Cu = 1...8 %); позначення - АК5М, АК5М7, АК8М3, АК12М2МгН (М2 – 2% Cu, Мг – 1%Mn, Н - 1%Ni) тощо. Мають гірші ливарні властивості, але кращі механічні. АК8М3 – зміцнюється при ТО, має корозійну тривкість, добре зварюється;

3) Al-Cu (Cu = 4,5...5,3 %, Cd = 0,07...0,25 %); позначення - АМ5, АМ4,5Кд тощо. Серед ливарних сплавів мають найвищу міцність, легко обробляються різанням, але виявляють малу корозійну тривкість й низькі ливарні властивості;

4) Al-Mg (магнелії, 4,5...13 Mg %, 0,8...1,7 Si %); позначення - АМг4К1, 5М, АМг5К тощо. Легко обробляються різанням, тривкі до корозії, задовільно міцні та пластичні, їх ливарні властивості погані, жароміцність до 300⁰С;

5) Al - інші компоненти (Zn = 3,5...12 %, Mg = 1,5...2 %, Si = 6...10 %); позначення - АК7Ц9, АЦ4Мг та ін.

У марках алюмінієвих, як і в інших кольорових, сплавів компоненти позначають початковими літерами їх назви: А - алюміній, К – кремній, Ц – цинк, О - олово, М -мідь, Мц - манган, Мг - магній, Кд - кадмій та ін. За ними подають цифри, які вказують на вміст цих елементів. Наприклад, марка АМ4,5Кд позначає сплав з вмістом 4,5 % Cu, близько 1 % Cd, решта - алюміній.

Таблиця 2.11. Використання алюмінієвих ливарних сплавів (ГОСТ 2685-75)

Марка сплаву	Використання
АЛ2, АЛ4, АЛ9, АЛ34, АК9, АК7	Головки циліндрів двигунів, картери, поршні, корпуси, трубопроводи
АЛ3, АК5, АК6, АЛ32, АК5М2, АК5М7, АК7М2, АК4М4	Корпуси карбюраторів, паливних pomp, арматура, кришки, патрубки, ненавантажені деталі
АЛ7, АЛ19, АЛ33	Арматура, кронштейни
АЛ8, АЛ13, АЛ22, АЛ23, АЛ27	Декоративні деталі
АЛ1, АЛ11, АЛ21, АК21М2,5Н2,5, АК4М2ЦВ	Поршні двигунів внутрішнього згорання

Тема 3. Технології виготовлення заготовок деталей

Питання до вивчення

- 3.1. Загальні відомості про виготовлення виливків.
- 3.2. Технології виробництва литих заготовок.
- 3.3. Технології виробництва литих заготовок.
- 3.4. Особливості конструювання виливків.

3.1. Загальні відомості про виготовлення виливків

Застосування виливків у енергомашинобудуванні.

Виливки широко застосовують у енергомашинобудуванні. Литтям отримують як готові вироби, так і заготовки від дуже великих за розмірами та масою до малих та тонкостінних. Корпусні деталі, що вимагають високої жорсткості, міцності та часто є основою, на яку встановлюють і закріплюють цілі механізми, агрегати та окремі деталі, виготовляють із виливків зі сірого чи ковкого чавуну, сталі та алюмінієвих сплавів.

У багатосерійному та масовому виробництві литтям виробляють, корпуси машин, турбін, двигунів, генераторів, pomp, редукторів, маточини коліс транспортних машин, блоки циліндрів, головки двигунів, кронштейни вузлів та агрегатів, великі колінчасті вали двигунів внутрішнього згоряння, колеса турбін, шків, шестерні, фланці, втулки, гільзи, диски, поршні, поршневі кільця компресорів, двигунів внутрішнього згоряння, пневмо- та гідроциліндрів, захисні кожухи тощо.

Корпусні деталі, як правило, мають складну конфігурацію, отвори, розташовані у різних площинах, фасонні внутрішні порожнини, канали, ребра, перегородки тощо. До корпусних деталей часто висувають високі вимоги щодо точності їх розмірів, форми та взаємного розміщення поверхонь, їх шорсткості, герметичності стінок тощо.

Для виготовлення виливків корпусних деталей здебільшого застосовують лиття в земляні форми з використанням металевих моделей та значної кількості стрижнів; для утворення сталевих виливків відповідальних деталей — лиття в оболонкові форми та лиття за виплавлюваними моделями, а для формування виливків корпусних деталей із алюмінієвих сплавів — лиття в кокіль, під тиском (високим і низьким) і рідше — в земляні форми. Якісні виливки, в порівняно чистих в екологічному відношенні умовах праці, в серійному виробництві отримують литтям у кокілі та під тиском.

Виливки корпусних деталей часто виготовляють зі сірого чавуну марок СЧ21, СЧ28, сталі - 20Л, 30Л, силуміну - АЛ-4, АЛ-5, АЛ-9. Складні за конфігурацією та великогабаритні корпусні деталі роблять зі складених заготовок.

В компресоро- та двигунобудуванні з виливків отримують дискові та тронкові поршні. Найбільш розповсюдженим матеріалом для їх виготовлення

є сірий чавун марок СЧ21, СЧ24 та СЧ28. Добір його в основному пояснюється тим, що сірий чавун має добрі антифрикційні властивості та створює сприятливі умови роботи пар циліндр—поршень і поршневе кільце - поршень, характеризується достатньою міцністю, твердістю, щільністю, зносостійкістю, що забезпечує високі експлуатаційні характеристики відповідальних вузлів машин. Чавун, окрім цього, має високі ливарні властивості та є одним із найдешевших матеріалів. Для виготовлення поршнів менших розмірів використовують також силуміни та сталь.

Дискові поршні низького тиску, а також поршні швидкохідних компресорів виготовляють з легких алюмінієвих сплавів марок АЛ1, АЛ10В тощо. Ці виливки отримують литтям у кокіль. До відповідальних деталей двигунів та компресорів належать гільзи. Особливістю їх конструкцій є відносно малі товщини стінок, значні діаметри та довжини. Матеріалом для гільз служить сірий чавун марок СЧ21, СЧ24, СЧ28, СЧ32 та легований чавун.

Виливки для гільз отримують литтям у піщані форми з машинним формуванням за металевими моделями чи відцентровим литтям. Відцентрове лиття забезпечує вищу якість матеріалу гільз, ліпші умови праці та нижчу вартість заготовок. Сталеві гільзи здебільшого виготовляють із катаних труб.

Щільність з'єднання пари поршень—гільза з одночасним забезпеченням мінімального проміжку, необхідного для руху поршня в гільзі, досягають за допомогою поршневих кілець. Належний ефект отримують за рахунок щільного прилягання кілець до дзеркала циліндра, малих проміжків між кільцями та стінками виточень поршня та лабіринтної дії (дроселювання тиску) набору кілець. На один поршень звичайно ставлять декілька кілець.

Матеріалом для поршневих кілець служить сірий чавун СЧ18, СЧ21, СЧ24, а також легований чавун з пластинчастим чи кулястим графітом. Виливки для декількох заготовок (маслоти) — це порожнисті циліндри з потовщенням (фланцем) з одного боку, що запобігає спотворенню форми під час її закріплення в пристроях для оброблення різанням. Маслоти для поршневих кілець виготовляють здебільшого відцентровим литтям і застосовують у серійному виробництві.

У багатосерійному та масовому виробництві заготовки поршневих кілець формують як окремі виливки для кожного кільця за допомогою багатопозиційних форм. У цьому разі малий перетин виливка забезпечує потрібну структуру матеріалу та його пружні властивості. Виливок має овальну форму, що близька до форми кільця у його вільному стані, з урахуванням припусків на оброблення різанням.

Литтям також виготовляють і такі відповідальні деталі, як колінчасті, кулачкові та східчасті вали для великих двигунів внутрішнього згоряння та компресорів. Такі вали отримують, як правило, із модифікованого легованого чи високоміцного чавуну з кулястим графітом.

Виливки для великих валів виготовляють у земляних формах. Шийки валів роблять порожнистими, що дає змогу забезпечити належну рівномірність товщини стінок виливка. Заготовки для валів менших розмірів виливають за допомогою земляних чи оболонкових форм.

Порівняно з вільним куванням, яке часто використовується для отримання заготовок валів різної конфігурації та валів значних розмірів і мас, лиття дає змогу значно зменшити припуски на оброблення різанням, підвищити коефіцієнт використання матеріалу, зменшити вартість валів. Литтям формують заготовки складних за конфігурацією деталей та громіздких конструкцій, що сприяє зниженню вартості та трудомісткості їх виготовлення. В умовах серійного та масового виробництва виливають заготовки робочих коліс компресорів, pomp, турбін, вентиляторів, центрифуг тощо.

Вимоги до технологічних властивостей матеріалів виливків.

Матеріали для одержання виливків повинні мати такі технологічні властивості, основними з яких є рідкотекучість, усадка, схильність до ліквідації і газопоглинання.

Рідкотекучість - здатність рідкого металу цілком заповнювати щілиновидні порожнини ливарної форми і чітко відтворювати контури виливка. При достатній рідкотекучості метал заповнює всю порожнину форми, якою складною вона б не була; при недостатній - частково, створюючи недоливи у вузьких перетинах виливка. Рідкотекучість залежить від хімічного складу і температури сплаву, що заливається у форму. Фосфор, кремній і вуглець покращують її, а сірка погіршує. Сірий чавун має кращу рідкотекучість. Підвищення температури рідкого металу поліпшує рідкотекучість, тому чим більшою є температура металу, тим більш тонкостінний виливок можна одержати.

Розраховуючи при проектуванні товщину стінки виливка, треба враховувати рідкотекучість сплаву при оптимальній температурі заливання форми. Мінімальна допустима товщина стінки виливка для різних ливарних сплавів неоднакова і становить для виливків із сірого чавуну: дрібних - 3...4 мм, середніх - 8...10 мм, великих - 12...15 мм; для виливків із сталі - відповідно 5...7 мм, 10...12 мм та 15...20 мм.

Усадка - зменшення об'єму металу і лінійних розмірів виливків процесі кристалізації металу і охолодження у твердому стані. Розрізняють об'ємну і лінійну усадки.

Об'ємна усадка супроводжується зменшенням об'єму металу при кристалізації, і тому в масивному перетині виливка може утворитися усадочна рихлота або усадочна раковина, тому що осередок масивного перетину кристалізується останнім і в цьому перетині не вистачає металу.

Аби уникнути усадочних раковин у виливках (особливо сталевих), слід у ливарній формі створити умови безперервного живлення масивних

перерізів виливка рідким металом у процесі кристалізації. Для цього над масивним перерізом виливка утворюють порожнину більшого перерізу. Таку порожнину називають *додатком 2* (рис. 3.2, б). Додаток має тверднути останнім, тоді усадочна раковина утворюватиметься в додатку і відрізатиметься разом з ним від виливка. Щоб забезпечити безперервне живлення виливка рідким металом, твердіння його має бути спрямованим від тонких перерізів до товстих і закінчуватись у додатку. Тому тонкі стінки виливка у ливарній формі розташовують унизу, а більш масивні - угорі, під додатком.

Тоді рідкий метал з додатка буде перетікати у виливок під дією власної ваги, а якщо в додаток закласти крейдарний патрон, то під тиском крейди розкладається й виділяє вуглекислий газ, який тисне на метал і видавлює його з додатка у виливок, що дає змогу зменшити об'єм додатка.

Для зрівняння швидкості охолодження тонких і товстих перерізів, у формі встановлюють холодильники - металеві вставки для прискорення кристалізації товстих перерізів стінок виливка. Холодильники бувають зовнішні, які встановлюють у стінках ливарної форми для відтворення її зовнішніх обрисів, і внутрішні, які встановлюють безпосередньо в порожнині ливарної форми і потім заливають металом. Холодильники у вигляді шпильок встановлюють у товстих перерізах порожнини ливарної форми, їхня маса становить 5... 10% від маси металу в певній частині виливка. Зовнішні холодильники виготовляють з чавуну або сталі, їхній переріз залежить від перерізу виливка.

Лінійна усадка супроводжується зменшенням лінійних розмірів при охолодженні затверділого виливка. Елементи конструкції ливарної форми чинять опір лінійній усадці металу, в результаті чого виникають внутрішні напруження, що можуть привести до коробління та утворення тріщин. На усадку сплаву впливають його склад і температура, а також умови, які супроводжують лиття: конструкція виливка (з якою пов'язане нерівномірне охолодження, що призводить до виникнення напружень і деформацій); швидкість охолодження (з якою пов'язаний розподіл усадки по об'єму виливка); опір ливарної форми скороченню довжини виливка. Щоб уникнути напружень у виливку, при його конструюванні слід враховувати такі вимоги: відсутність місцевого скупчення металу; правильне співвідношення товщин стінок; поступовий перехід від одного перерізу до іншого.

Ліквация - неоднорідність хімічного складу металу виливка за перерізом. Ліквация негативно впливає на механічні властивості виливка. Розрізняють дендритну (внутрішньокристалітну), зональну та ліквацию за питомою вагою.

Дендритна ліквация є наслідком того, що сплави тверднуть в інтервалі температур, тому склад кристалів, які утворилися першими, і тих, що утворюються пізніше, буде різним, а дифузія не встигає за браком часу. Цю ліквацию можна усунути дифузійним відпалюванням.

Зональна ліквіація виникає внаслідок розподілу ліквіаційних елементів по перерізу стінки виливка в умовах повільного твердіння при недостатній швидкості охолодження. Так, тонкі стінки виливка будуть чисті й однорідні за складом, у той час як товсті стінки (особливо середина перерізу) будуть мати ліквіацію. У виливках із сталі та чавуну найбільше лікві-рують сірка, фосфор і вуглець. У крупних виливках із сталі різниця вмісту цих елементів (порівняно з аналізом рідкого металу) становить: сірка 500 %, фосфор і вуглець по 300 %, що дуже позначається на міцністних властивостях. Зональну ліквіацію не можна усунути термічною обробкою, тому, якщо немає можливості зробити виливок рівностінним, то слід застосовувати спрямоване затверднення виливка.

Ліквіація за питомою вагою трапляється у виливках із сплавів кольорових металів (свинцевиста бронза, мідно-алюмінієві сплави) і особливо при повільному охолодженні й недостатньому перемішуванні компонентів під час плавки та заливання форми.

Газопоглинання - здатність ливарних сплавів у рідкому стані розчиняти кисень, азот і водень. У ливарній формі газонасичений розчин проохолоджується, знижується розчинність газів, і вони, виділяючись із металу, можуть утворити в виливку газові раковини.

Отже, технологічні ливарні сплави повинні мати гарну рідкотекучість, малу усадку і не бути схильними до ліквіації.

3.2. Технології виробництва литих заготовок

Для отримання виливків застосовують наступні способи

- лиття в піщано-глинисті форми;
- лиття в оболонкові форми;
- лиття по моделях, що виплавляються;
- лиття по моделях, що випалюються;
- лиття у металеві форми (кокіль);
- відцентрове лиття;
- лиття під тиском;
- електрошлакове лиття;
- рідке штампування.

Лиття в піщано-глиняні форми. Послідовність виготовлення виливків приведена на рис. 3.1, а формування на рис. 3.2. Цим методом виготовляють 75...80% виливків. Форма і маса заготовки не обмежені. Точність – низька; шорсткість – висока; припуски – великі; вартість заготовки – найменша, але вартість механічної обробки – найбільша. Виливають сталь, чавун, рідко кольорові сплави. Застосовують в одиночному і серійному виробництвах.

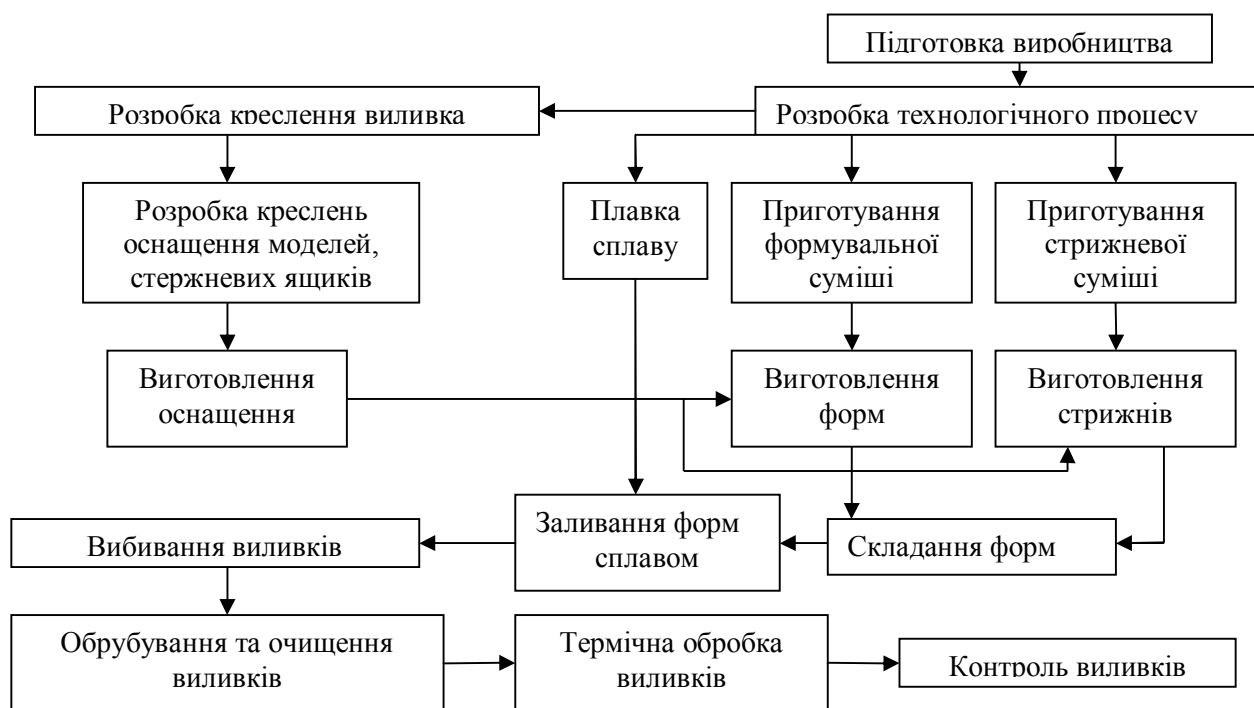


Рис. 3.1. Схема послідовності виготовлення виливків в піщаній формі

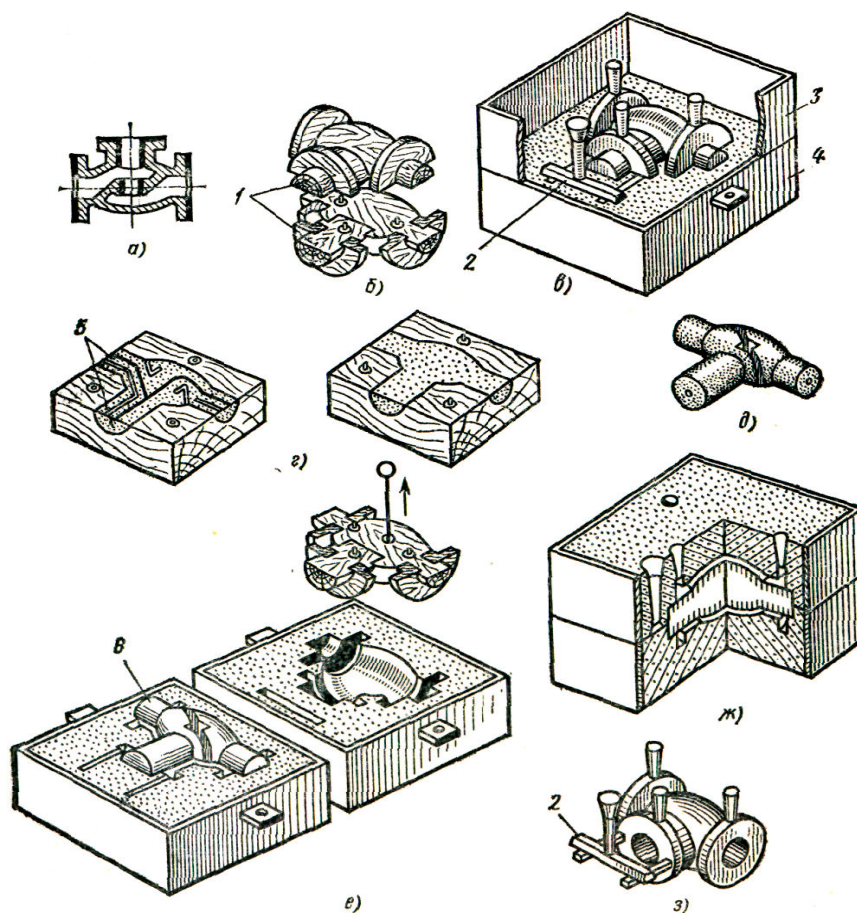


Рис. 3.2. Деталь (а), виготовлення форми (б-ж), виливок (з)

Лиття в оболонкові форми. Лиття в оболонкові форми (рис. 3.3) - спосіб виробництва точних виливок, при якому форма виконується у вигляді оболонок. Такі форми для дрібних виливок виготовляють із дрібного кварцевого піску, що є наповнювачем. В якості сполучного матеріалу використовуються фенольні термореактивні смоли.

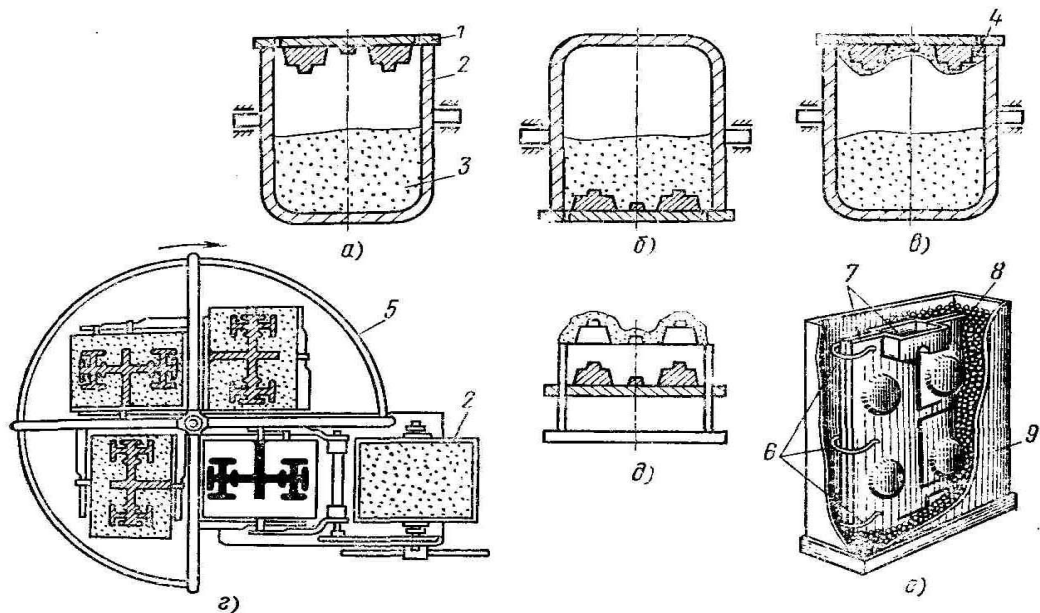


Рис. 3.3. Послідовність виготовлення оболонкових форм

Виготовлення оболонкової форми виключає потребу в опоках, різко знижує витрати формувальної суміші, легко механізується й автоматизується.

Використання формувальної суміші, що складається з 92...95 % дрібного кварцевого, магнезитового або цирконієвого піску і 4...6 % термореактивних фенолформальдегідних смол, забезпечує малу шорсткість поверхні і більш високу точність виливків (5...8 класу), в порівнянні з виготовленими у піщано-глинистих формах, тому що оболонка твердіє на моделі і зберігає її розміри.

Литво в оболонкові форми застосовують у крупносерійному і масовому виробництвах при одержанні відповідальних фасонних дрібних і середніх виливків із різних сплавів.

Технологія виготовлення оболонкової форми починається з нанесення пульверизатором на металеву модельну плиту розділювальної суміші, що полегшує зняття оболонки. Потім модельну плиту нагрівають в електричній печі до температури 200...220 °С, установлюють над бункером і закріплюють моделлю вниз. Бункер перевертають на 180°, і формувальна суміш падає на нагріту модельну плиту. При витримці протягом 20...30 с смола плавиться і, обволікаючи тонкою плівкою дрібні зерна піску, утворює оболонку товщиною 6...8 мм. Бункер повертають у вихідне положення, і формувальна суміш, що залишилась, падає на його дно. Зняту з бункера модельну плиту з неміцною оболонкою відправляють в електричну піч з температурою біля 350°С. Тут

смола протягом 90...180 с. полімеризується і незворотно твердіє, створюючи міцну оболонкову напівформу.

Форма складається з двох напівформи товщиною 6...20 мм з формувальної суміші на фенолформальдегідній зв'язці; після складання засипається піском (дробом); точність висока (12 квалітет); шорсткість мала ($R_z=10\ldots20$ мкм); витрати металу менше на 30-50%; механічної обробки менше на 40...50%; процес легко механізується; оснастка металева; виготовляють дрібні і середні виливки, тонкостінні з чавуну, вуглецевої і легованої сталі, кольорових металів.

Лиття по моделях, що виплавляються. Суть методу полягає в тому, що спочатку виготовляється модель із легкоплавкого матеріалу, яка покривається тонкою керамічною оболонкою. Далі модель виплавляється, а порожнина, що утворилася, заливається рідким металом. Отримані виливки настільки точні, що об'єм механічної обробки зменшується на 80...100% та в 1,5...2 рази скорочуються витрати рідкого металу.

Технологія одержання виливків литвом по моделях, що виплавляються, включає наступні етапи: а) виготовлення пресформи для відливки моделі; б) одержання легкоплавкої моделі у пресформі; в) виготовлення нероз'ємної разової форми по легкоплавких моделях; г) виплавляння моделей із форми; д) випал форми; е) заливання форми металом і вибивка готових виливків.

Для виготовлення пресформи для моделі виконують еталон відливки із латуні або сталі. Еталон запресовується в легкоплавкий сплав, після видалення еталона отримують пресформу із двох половин, в яких вирізають литникову систему.

У пресформу під тиском заливають легкоплавку суміш парафіну і стеарину, також використовується віск, церезин, каніфоль. Після охолодження модель видаляють. Легкоплавка модель на відміну від звичайної є точною копією виготовленої деталі: вона нероз'ємна, має усі внутрішні порожнини, отвори, різьблення і не має стрижневих знаків.

Моделі живильниками «припаюють» до загального легкоплавкого стояка, і в результаті одержують блок моделей.

Потім на блок наносять методом занурення тонкими шарами суміш із вогнетривких матеріалів, таких, як молотий маршалит із содовим рідким склом або етилсілікатом товщиною 2,5...3 мм.

Для виготовлення ливарної форми, готовий блок моделей занурюють у вогнетривку суміш, що представляє собою суспензію маршалиту (60...70 %) у гідролізованім етилсілікаті (30...40 %) для утворення тонкої вогнетривкої плівки суміші. Ця ж суміш заповнює всі порожнини й отвори в моделях, створюючи стрижні. Для зміцнення вогнетривкої плівки блок моделей посипають дрібним сухим кварцовим піском. Прилипаючи до сирової плівки, пісок утворює вогнетривкий шар, який висують на повітрі, або в аміачній камері для прискореного хімічного сушіння. Коли шар висихає, операції

занурення, посипання піском і сушіння повторюють від 3 до 5 разів. Після сушіння останнього вогнетривкого шару одержують форму у вигляді багат шарової оболонки з заформованими легкоплавкими моделями. Форму поміщають у сушильну шафу і витримують при температурі більш 100 °С або занурюють у гарячу воду. Моделі й елементи ливникової системи (стояк і живильники) плавляться і випливають із форми. Для виплавлення залишків модельної суміші з порожнини, а також для зміцнення оболонки отриману ливарну форму в металевій шухляді 6 засипають металевим дробом і поміщають у термічну піч, де обпалюють при температурі 800... 900 °С. Заливку металу роблять у гарячу форму, що дає можливість одержувати тонкостінні виливки складної конфігурації. Вибивку виливків і відділення ливників здійснюють на віброустановках.

Виготовлення виливків литтям по моделях, що випаляються. Для виготовлення випаляваних моделей використовують пінополістирол, що у 50... 100 разів легше деревини, легко ріжеться гарячим дротом і легко склеюється. Склеюванням можна одержати полістиролові випалявані моделі самої складної конфігурації. Цей метод відрізняється великою точністю й економією металу через відсутність формувальних ухилів.

Модель із ливниковою системою заформовують піщано-глинистою сумішшю металевому ящику. Під час заливання модель із ливниковою системою залишається у формі і рідкий метал випаляє її і одночасно заповнює порожнину форми.

Лиття у металеві форми (кокілі). Метод полягає в тому, замість разової піщано-глинистої форми використовується металева форма (кокілі). Кокілі виготовляють із сірого чавуну, сталі, а також із кольорових сплавів. В порівнянні з піщано-глинистими формами кокілі мають приблизно в 60 разів більш високу теплопровідність, що забезпечує дрібнозернисту структуру виливків, а, відповідно, і міцність.

При кокільному литві відпадає необхідність у модельно-опочної оснащенні, у формувальних і стрижневих сумішах, що не тільки дає велику економію, але і знижує кількість пилу і поліпшує санітарні умови праці; підвищується точність і чистота поверхні виливка; обслуговування кокілей не вимагає робітників високої кваліфікації; значно підвищується продуктивність і зменшуються необхідні виробничі площі. Технологічний процес кокільного литва можна легко механізувати.

Поряд із перевагами в кокільного литва є і недоліки: висока вартість кокілей дозволяє використовувати їх тільки в серійному і масовому виробництвах; у виливках можуть утворюватись тріщини через невіддатливість металевих кокілей; поверхня чавунних виливків втрачає вуглець (вібліюється), тому необхідно проводити тривалу термічну обробку (відпалення). Що удорожчує виробництво.

Конструкції кокілю приведені на рис. 3.4.

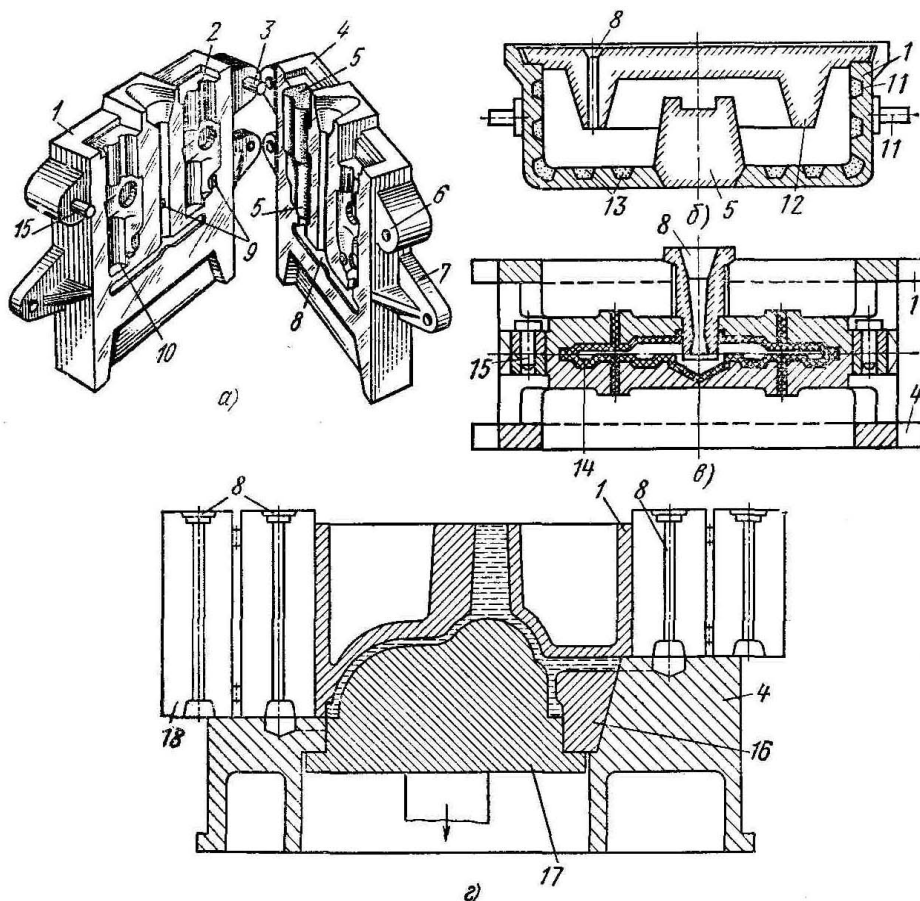


Рис. 3.4. Конструкції коків:

а – з вертикальною лінією роз'єму; б – нероз'ємний; в – з горизонтальною лінією роз'єму; г – з комбінованим роз'ємом

По конструкції розрізняють кокилі нероз'ємні витряхні, роз'ємні із горизонтальним і вертикальним роз'ємами. Їх використовуються багатократно (50...800 виливків і більше). Одержують виливки високої точності. В металевих формах дуже велика швидкість кристалізації, тому не можна одержати складну форму; форма неподатлива, не пропускає гази. Забезпечує вищі механічні властивості виливків, витрати металу зменшуються на 10...20% за рахунок скорочення ливникових систем. Трудомісткість механічної обробки менше у 1,5...2 рази, але кокилі коштують дорого. Застосовують для дрібних і середніх виливок з потребою не менше 300...500 шт. на рік. Собівартість знижується на 30%, продуктивність підвищується в 4...6 разів.

Виготовлення виливків відцентровим литтям. Сутність методу полягає в тому, що рідкий метал заливають в ливарну форму, що обертається із визначеною швидкістю протягом усього часу кристалізації металу виливка. При цьому метал відцентровою силою притискається до стінок форми, що забезпечує одержання щільних, із підвищеною міцністю виливків, тому що

гази і шлак, що мають меншу щільність, в результаті сепарації витискаються у внутрішні порожнини виливка і потім їх видаляють при механічній обробці.

Вісь обертання форми може бути горизонтальною, вертикальною і похилою. Якщо діаметр виливка значно менше її довжини (труби, гільзи, втулки), то вісь обертання форми розміщують горизонтально. Якщо ж діаметр виливка більше, ніж її висота (колеса, шків, шестірні), то вісь обертання розташовують вертикально. В обох випадках вісь виливка збігається з віссю обертання форми. Внутрішня порожнина утворюється без стрижнів, а товщина стінки виливка визначається кількістю металу, що заливається. Цей спосіб використовують при виготовленні виливків, що мають форму тіл обертання. При виготовленні дрібних фасонних виливків вісь обертання форми може не збігатися з віссю виливка. У цьому випадку внутрішні порожнини утворюють за допомогою стрижнів, а метал заливають у центральний загальний ливник, із якого по радіально розташованих живильниках він потрапляє в порожнину форми.

Використання високопродуктивних відцентрових установок, відсутність стрижнів і робіт, зв'язаних із їхнім виробництвом, набагато підвищує продуктивність праці, а відсутність ливникової системи і прибутків значно заощаджує метал.

Відцентрове литво застосовують у масовому, серійному й одиничному виробництві виливків із різних сплавів. Цим способом відливають труби, втулки циліндрів, гільзи двигунів і компресорів, заготовки поршневих кілець, шестерні, шків, а також одержують двошарові (біметалічні) виливки, по черзі заливаючи форму різними сплавами.

Лиття під тиском. Тиск забезпечує швидке і краще заповнення металевої форми, надає високу точність і малу шорсткість поверхні виливка. Примусове заповнення виливка рідким металом виключає можливість утворення усадочних раковин і не вимагає встановлення додатків; прискорена кристалізація металу в металевій прес-формі під тиском обумовлює утворення дрібнозернистої структури. Виливки, отримані цим методом, як правило, не мають припусків на механічну обробку і після видалення з форми є готовими деталями.

Лиття під тиском здійснюють на компресорних та поршневих машинах високої продуктивності, що дають 200...400 виливків за годину.

Застосовують, в основному, для алюмінієвих, магнієвих та інших сплавів. Відливки одержуються щільними, точними, з чистою поверхнею і високими механічними властивостями.

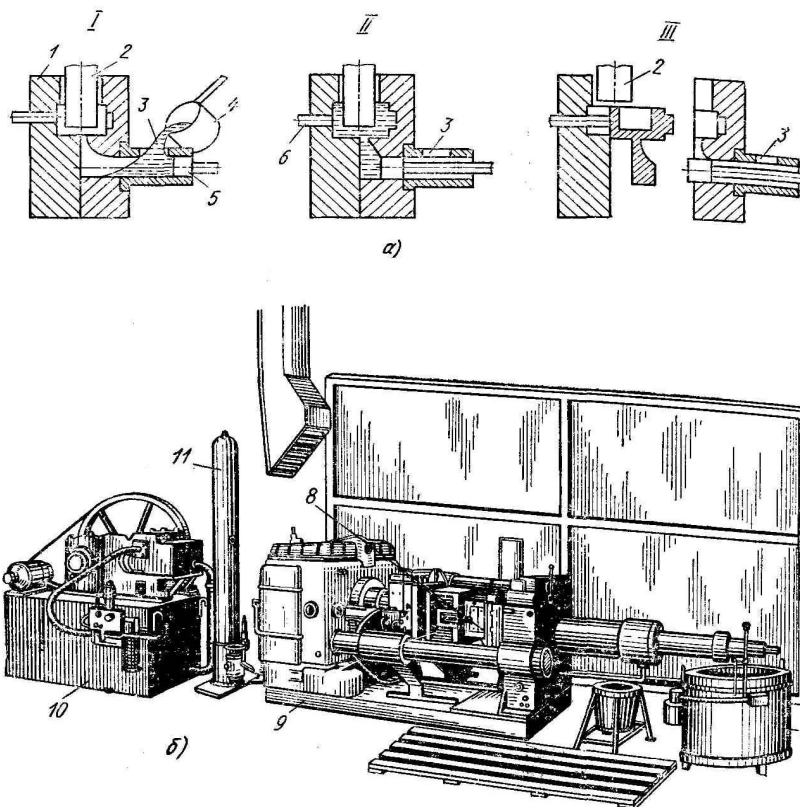


Рис. 3.5. Схема лиття під тиском в машині з холодною камерою:
а – заповнення прес-форми; б – машина лиття під тиском

Електрошлакове лиття. На сучасному етапі в ливарному виробництві, у всьому світі, міцно зайняло місце електрошлакове лиття (розроблене вченими з інституту електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України).

Електрошлакове лиття поділяється на: лиття у кристалізатори, кокільне лиття і відцентрове лиття. Відливки, одержані електрошлаковим способом, високої чистоти, з дрібнозернистою структурою і високими механічними властивостями, які прирівнюються до деформованих сплавів.

Послідовність конструювання виливків. Виготовлення машин завжди починається з виробництва заготовок.

Конструювання литих заготовок виконується у наступній послідовності:

- аналіз вихідних даних, що необхідні для конструювання виливка;
- визначення конфігурації і товщини стінок;
- вибір роз'єму порожнини форми;
- визначення допусків і припусків на розміри; конструювання внутрішньої порожнини;
- встановлення ливарних ухилів; визначення радіусів закруглень, висот приливів, мінімальних діаметрів отворів, що виливаються.

Креслення виливків виконуються з дотримання вимог ЄСКД, ГОСТ та ДСТУ.

Вихідними даними для проектування заготовки є:

- креслення готової деталі;
- габаритні розміри та конфігурація деталі;
- відомості про річну програму випуску (тип виробництва);
- матеріал та призначення деталі;
- маса деталі.

Вимоги до конфігурації і конструкції виливків. При проектуванні виливків необхідно прагнути до виконання таких вимог:

- виливки повинні мати простий зовнішній вигляд із мінімальним числом ребер, виступів і внутрішніх порожнин;
- конструкція виливка повинна забезпечувати високий рівень її службових характеристик (міцність, твердість, герметичність і т.д.) при заданій масі й точності конфігурації;
- конструкція виливка повинна враховувати таку взаємодію виливка з формою щоб забезпечити правильне формування та необхідні характеристики виливка, тобто щільність, структуру, механічні властивості, стабільність розмірів і параметри шорсткості поверхні;
- конструкція виливка повинна бути досить технологічною, тобто зручною для виготовлення обраним способом лиття;
- конструкція виливка повинна забезпечувати мінімальну кількість і тривалість місць обрубки й очищення, зручність здійснення обрубки й очищення, мінімальний обсяг наступної механічної обробки;
- базові поверхні виливка повинні бути зручними для обробки різанням;
- матеріал виливка повинен бути досить технологічним і економічним при заданому способі лиття;
- конструкція виливка за даних умов виготовлення повинна передбачати мінімальну витрату металу;
- виливок повинен бути компактним.

3.3. Загальні відомості про виготовлення заготовок пластичним деформуванням.

У сучасній металообробній промисловості ОМТ є одним з основних способів формоутворення заготовок деталей машин. Зараз понад 90 відсотків усієї виплавленої сталі та більше половини кольорових металів і сплавів піддають ОМТ. ОМТ суттєво відрізняється від інших способів обробки, оскільки в процесі пластичного деформування метал отримує не тільки нову форму, але й змінює свою структуру та фізико-механічні властивості.

Всі процеси ОМТ поділяють на дві групи - процеси металургійного та машинобудівного виробництва. До першої групи належать прокатування, пресування, волочіння, тобто технологічні процеси, в основу яких покладено принцип безперервності. Продукцією металургійного виробництва є сортовий (круг, квадрат, шестигранник, штаба, лист, стрічка, куток, швелер, двотавр,

дріт, труба) та періодичний (зі змінним перетином за довжиною) прокат. Його використовують як заготовки для створення різних конструкцій, вузлів і деталей, а також як початкову заготовку в ковальсько-штампувальному виробництві для виготовлення заготовок шляхом кування, штампування та спеціальними способами ОМТ.

Виготовлення заготовок ОМТ має такі переваги: менша витрата матеріалів, висока якість матеріалу та поверхонь заготовки, точність форми та розмірів, висока продуктивність праці, можливість механізації та автоматизації виробничих процесів. ОМТ створює можливість для організації маловідходних та енергоощадних виробництв, підвищення безпеки та поліпшення умов праці.

3.4. Основні способи ОМТ.

Способи ОМТ класифікують за температурою, швидкістю деформування металу, за формою вихідної заготовки, типом основного устаткування, штампів тощо. Залежно від температури розрізняють *холодне*, *напівгаряче* та *гаряче* ОМТ.

Температурний інтервал ОМТ залежить від марки матеріалу, структури технологічного процесу, швидкості та ступеня деформування, схеми напруженого стану та маси заготовки. Для одного й того ж матеріалу може мати різні значення, оскільки кування виконується кількома ударами, а штампування - за один хід, також. Під час кування та штампування відбуваються різні процеси деформування та втрат тепла. Чим складніший хімічний склад сплаву, тим вужчий температурний інтервал гарячої ОМТ. Для великих значень швидкості та ступеня деформування потрібно враховувати можливість перегрівання металу теплом, виділеним у процесі деформування.

При холодному деформуванні відбувається тільки процес зміцнення (наклепу) та зменшується пластичність. При гарячому - утворюється волокниста структура і відповідна анізотропія механічних властивостей металу та одночасно відбуваються два процеси: наклеп (зміцнення) та рекристалізація (ослаблення).

Розрізняють такі способи ОМТ (рис. 6.1): прокатування (1, 2, 3) та вальцювання; пресування (10, 11, 12) та витискання (7, 8, 9); кування (4) та об'ємне штампування (5, 6); волочіння (14, 15), штампування та гнуття прокату (13); накатування тощо.

Прокатування (повздожнє, поперечне, поперечно-гвинтове) - це обтискування нагрітих литих металевих заготовок валками, що обертаються. Під час поперечно-гвинтового прокатування у гвинтових калібрах валків відбувається безперервне формоутворення шляхом переміщення довгої циліндричної заготовки між валками, що обертаються, в напрямку їх осей обертання. Таким способом виготовляють заготовки шарів, шпінделів, валів,

осей, коліс тощо. Заготовки прокату відрізняються найвищою якістю матеріалу та економічністю виготовлення.

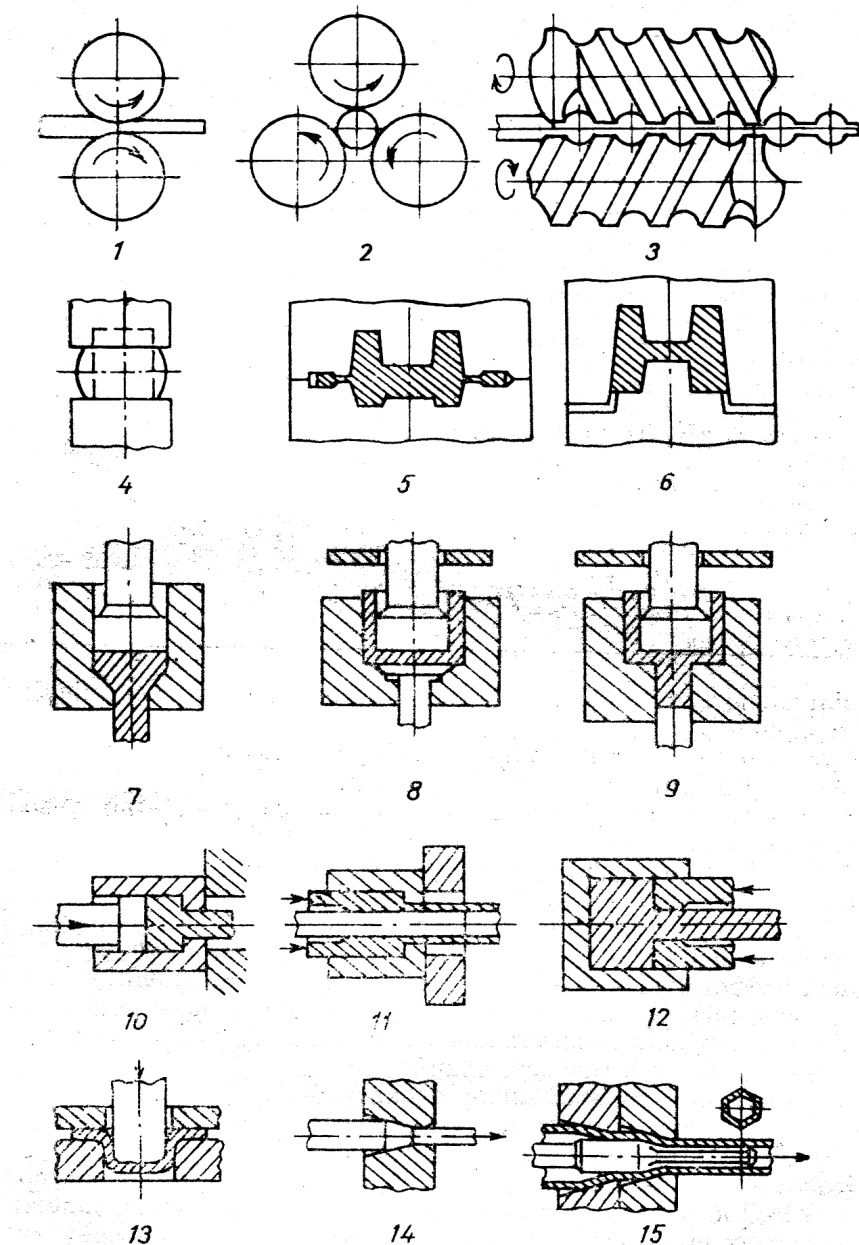


Рис. 3.6. Схеми основних видів обробки металів тиском: 1, 2, 3 – повздовжнє, поперечне та періодичне прокатування; 4 – кування; 5, 6 – відкрите та закрите штампування (карбування); 7, 8, 9 – пряме, зворотне та комбіноване витискання; 10, 11 – пряме пресування; 12 – зворотне пресування; 13 – листове штампування; 14, 15 – волочіння дроту та трубки

Пресування та витискання - це витискування матеріалу з замкнутого об'єму через отвір у матриці.

Волочіння - це протягування заготовки через отвір у волочильній матриці.

Кування - це деформування нагрітої заготовки між бойками молота або преса. В процесі кування матеріал тече в напрямку, що перпендикулярний до руху деформуючого інструменту.

Об'ємне штампування, калібрування та карбування — це одночасне деформування всієї заготовки в спеціальному інструменті (штампі).

Штампування та вигинання прокату - це отримання заготовок з сортового прокату за допомогою штампів на штампувальному устаткуванні.

Добір способу виготовлення заготовок ОМТ залежить від багатьох факторів.

Прості за формою заготовки доцільно кувати, а складні — штампувати. Кованки середньої складності доцільно кувати за умови виготовлення невеликої їх кількості. Коротку характеристику різних способів ОМТ наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Характеристика способів виготовлення заготовок ОМТ

Назва способу ОМТ	Максимально допустимі значення	
	Маса, кг	Розмір, мм
Кування на молотах і пресах	25000	
Кування на молотах у підставних штампах	100	
Кування на радіально-кувальних машинах		ø150
Штампування у відкритих штампах	400	
Штампування у закритих штампах	100	
Штампування на ГKM	30	
Штампування на КГШП	150	
Вальцювання	50	
Штампування витискуванням, прошиванням і пресуванням	75	ø200
Вигинання та штампування прокату		ø200
Прокатування на поперечно-гвинтових і спеціальних станах	250	ø100
Калібрування та карбування	15	
Волочіння дроту		0,005...25
Холодне висаджування на автоматах		1...30
Розкатування		ø70...700
Накатування зубців		m10 ø600

Загальна характеристика та технологічні операції кування

Кування - це процес деформування нагрітої заготовки між верхнім і нижнім бойками молота або преса за допомогою універсального інструменту.

Ковані заготовки для наступної обробки називають поковками, маса яких становить від 0,1 кг до 300 т. Великі поковки (масою понад 1,5 т) виготовляють із злиwkів тільки куванням. Менші поковки можна виготовляти також штампуванням. Однак через складність інструменту штампування

застосовують тільки в масовому і великосерійному виробництві. Для кування невеликих поковок (до 150 кг) підвищеної точності на кувальних молотах і пресах у серійному виробництві (при партіях 50...250 шт.) часто використовують підкладні штампи. Дрібні й середні поковки кують з сортового прокату або блюмів.

Найбільш складну поковку можна виготовити, виконуючи в певній послідовності основні *операції кування*: протягування, осадку, прошивання, згинання, закручування, рубання.

При куванні *використовують універсальні інструменти і устаткування поворотно-поступальної періодичної дії*. Процес кування складається з ряду самостійних операцій, що послідовно чергуються, в загальному випадку супроводжуються подовжніми переміщеннями і поворотами заготовки навколо осі. Різноманітні і численні операції кування дозволяють одержувати поковки різних простих і складних форм. Тільки куванням виготовляють крупні заготовки для роторів і дисків турбін, котлів високого тиску, колон гідравлічних пресів, валів блюмінгів і інших великогабаритних відповідальних деталей.

У одиничному і дрібносерійному виробництві раціональне виготовлення куванням дрібних (масою 0,2...20 кг) і середніх (масою 20...350 кг) поковок.

Процес кування складається з декількох етапів: нагріву металу; виконання ковальських операцій (як правило, на одному пресі або молоті); первинної термічної обробки поковки (відпал, нормалізація і т. п.). Складні поковки вимагають збільшеного числа операцій, серед яких однойменні можуть повторюватися два і більше разів. Напівфабрикат поковки поступає в піч на додатковий підігрів (один або більше разів, залежно від складності поковки).

Кування виконують на кувальних молотах і гідравлічних пресах. Фасонні поковки масою понад 100 кг і прості поковки масою понад 750 кг переважно виготовляти на гідравлічних пресах.

При партіях поковок одного найменування більше 30...50 штук застосовують відкриті або закриті підкладні штампи. Це дозволяє одержувати поковки щодо складної форми без напуску з припусками і допусками на 15...20 % менше, ніж при куванні універсальним інструментом. Підкладні штампи застосовують для отримання поковок масою до 150 кг, по переважно до 10...15 кг.

Поковки класифікуються за формою поперечного перетину і зміною їх за довжиною, наявністю або відсутності отворів, прямолінійністю або зігнутістю головної осі заготовки. З цієї точки зору всі поковки діляться на 7 груп і 24 підгрупи.

Відповідно до прийнятої класифікації для кожної групи поковок рекомендуються певні кувальні операції, послідовність яких вибирається по таблицях довідкових даних.

Вибір технологічного обладнання для кування. Для кування використовують таке обладнання.

Кувальні молоти. Молоти створюють динамічну (ударну) дію інструмента (верхнього бойка) на заготовку. Тривалість деформування при куванні на молотах становить близько 10^{-3} с, а швидкість деформування - 6,0...6,5 м/с. Найбільш поширені пароповітряні і приводні молоти.

Пароповітряні молоти виготовляють з масою падаючих частин 1...8 т.

З *приводних молотів* найбільш поширені пневматичні. В них піднімання та опускання поршня, шток якого одночасно є бабою молота і до якого кріпиться верхній боек, відбуваються за рахунок стисненого повітря тиском 0,2...0,3 МПа. Стиснене повітря надходить у робочий циліндр від поршневого компресора, який за допомогою кривошипно-шатунного механізму отримує рух від окремого електропривода. Робочий і компресорний циліндри розміщені на одній станині. Пневматичні молоти мають масу падаючих частин 50... 1000 кг і застосовуються для кування дрібних поковок (до 20 кг).

Гідравлічні преси. Преси відрізняються від молотів тим, що діють на заготовку статично. Тривалість деформування може становити десятки секунд, а швидкість деформування 0,3...0,5 м/с.

Гідравлічні преси виготовляють з максимальним зусиллям 5...150 МН. Вони використовуються для кування великих поковок, а також при обробці малопластичних легованих сталей і сплавів кольорових металів. Є також преси парогідравлічні, в яких замість приводної нагнітальної насосної станції використовується паровий насос (мультиплікатор), який створює тиск рідини 30...60 МПа.

Особливості складання креслень поковок та вибору операцій кування. Креслення поковки складають на основі креслення готової деталі з урахуванням допусків на поковку, припусків на механічну обробку і напусків (рис. 3.7, а). Для деталей складної форми (з фланцями, виступами, заглибленнями), якщо довжина чи діаметр виступів менші, ніж розміри суміжних частин деталі, форма поковки спрощується. Збільшений в такому випадку припуск називається *напуском*.

При складанні креслення поковки слід забезпечити її технологічність. Форма поковки має бути найпростішою (циліндричною або плоскою), слід уникати конічних і клинових поверхонь, ребер, бобишок, виступів. При куванні потрібно забезпечити правильне розташування волокон, вони не повинні перерізуватись.

Розміри вихідної заготовки для поковки передбачають з урахуванням відходів на вигар, додаток, обрубкування і потрібну величину уковування.

На рис. 3.7, б наведено схему технологічного процесу кування важеля звилкою, який складається з операцій протягування (рис. 3.7, г, д, є, ж), надрубкування (рис. 3.7, в, з, є) та згинання (рис. 3.7, є).

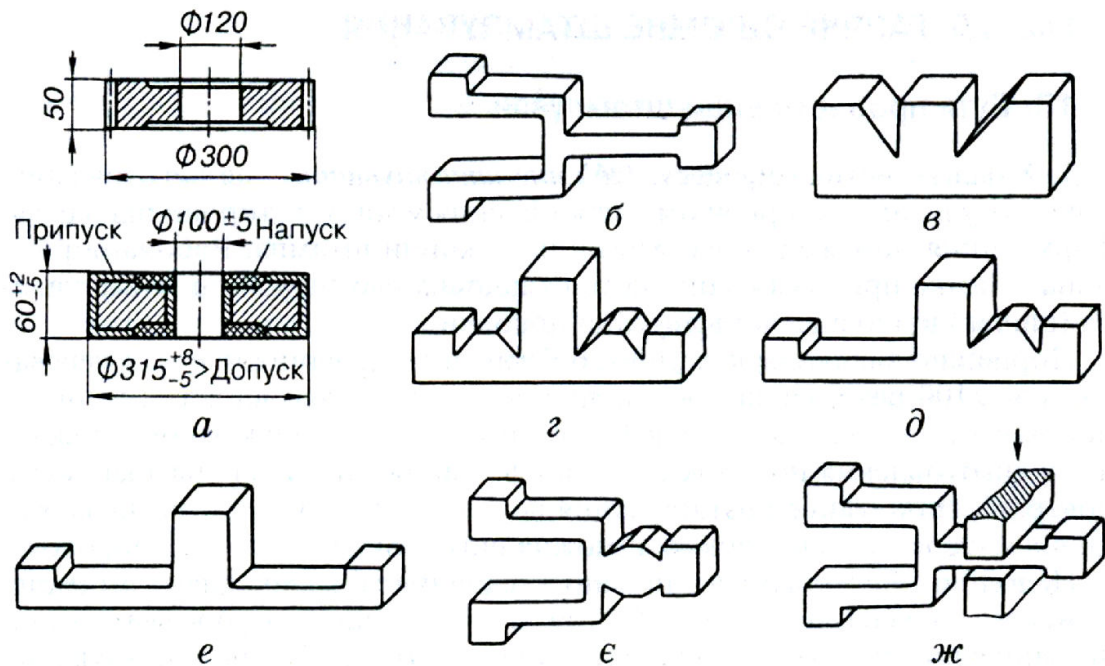


Рис. 3.7. Креслення поковки шестерні і схеми технологічного процесу кування важеля з вилкою

Правила конструювання кованої заготовки; призначення напуску, припусків і допусків. Початковий документ для розробки креслення поковки - креслення готової деталі. Поковкам надають просту форму, обмежену плоскими або циліндровими поверхнями. Небажані конічні і клинові форми поковок, перетин декількох циліндрових елементів і призматичних з циліндровими. Односторонні виступи переважні до двосторонніх. Не можна виконувати куванням ребер жорсткості і платиків. Заготовки із значною різницею поперечних перетинів, а також складної форми доцільно виконувати зварними з декількох поковок або з поковок і відливок.

Якщо розміри або виїмки малі, на ці ділянки поковки призначається напуск (рис. 3.8). Для невеликого числа поковок виготовлення спеціального інструменту часто обходиться дорожче, ніж втрати металу на напуск і на збільшення об'єму механічної обробки.

Припуск і допуск залежать від конфігурації поковки, її розмірів, матеріалу і способу виготовлення. Для поковок з вуглецевої і легованої сталей круглого або квадратного перетину з уступами і виїмками, що виготовляються куванням на молотах, згідно ГОСТ 7829-70 спочатку *призначають основні припуски і граничні відхилення на діаметри, на загальну довжину і розміри від базового перетину до відповідних виступів, уступів і западин*. За базовий перетин приймають торець ділянки з найбільшим діаметром, що не є торцем поковки. Потім для компенсації неспівісності ступенів *на діаметри всіх перетинів*, окрім основного, призначають додатковий припуск залежно від різниць діаметрів основного і даного перетину деталі.

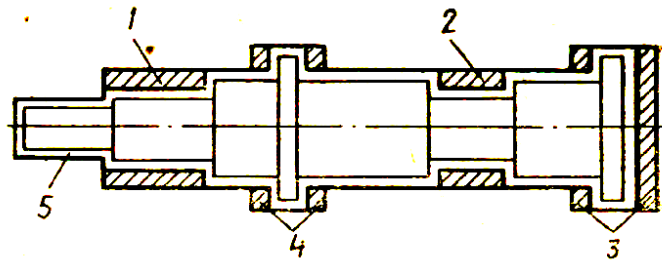


Рис. 3.8. Схема нанесення припусків (5) на поковку типа “Вал” і напусків (1 - 4): 1 - на уступ; 2 - на виїмку; 3 - на фланець; 4 - на борт

Вибирають відхилення на розміри необроблених поверхонь, а припуск приймають рівним 0. Скоси між уступами, перекіс рубя на торцях, ухили призначаються не більш 10° .

При оформленні креслення поковки керуються ГОСТ 7829-70 і ГОСТ 7062-79. Креслення поковки, як правило, виконується в тому ж масштабі, що і креслення деталі. При цьому контур деталі наноситься тонкою штрихпунктирною лінією з двома крапками. Після оцінки можливості виготовлення уступів і виїмок наносять напуск на відповідні поверхні. Встановивши припуски, визначають номінальні розміри поковки. Розміри проставляються з вказівкою граничних відхилень (рис. 3.8).

На кресленні завжди проставляється загальна довжина поковки. У поковках типа “Вал” довжину елемента, який кують останнім (на рис. 6.8 елемент діаметром 380 ± 9 мм), не проставляють, а визначають розрахунковим шляхом. Розміри поковок типу валу з уступами проставляють від базового перетину (правий торець ділянки діаметром 740 ± 11 мм).

Вище розмірній лінії вказуються розміри, що відносяться до поковки. Під розмірами поковки в круглих дужках допускається вказувати розміри готової деталі або заготовки після обдирання. В цьому випадку граничні відхилення вказуються тільки для розмірів поковки.

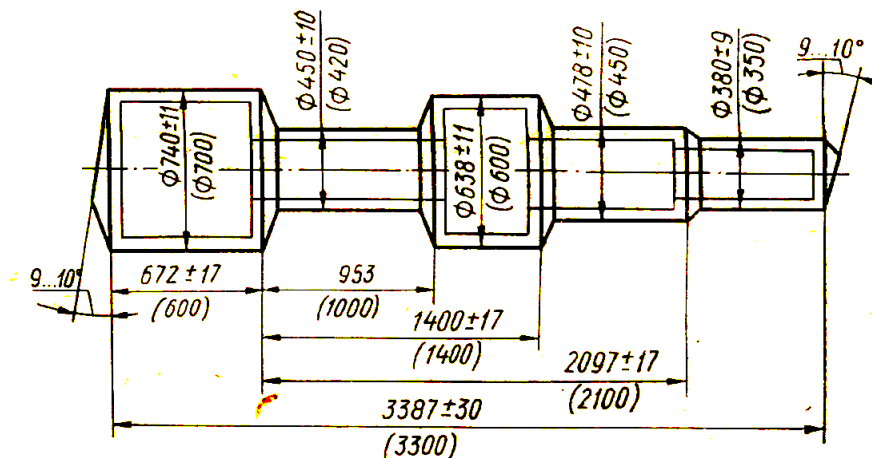


Рис. 3.8. Приклад оформлення креслення поковки, одержаної куванням на пресі

У технічних умовах креслення обмовляються наступні відомості: допустимі відхилення форми і розмірів поковки, не вказані на кресленні; види, розміри і кількість дефектів, що допускаються; вид термообробки; твердість заготовки, спосіб і місце її виміру; місце і умови відбору технологічних проб; вимоги до мікро- і макроструктурі поковки.

Технологічні процеси та способи об'ємного штампування заготовок

У процесі об'ємного штампування відбувається вимушений перерозподіл металу в штампі молота, преса чи машини. Гаряче об'ємне штампування звичайно застосовують у серійному та масовому виробництві для виготовлення кованок масою до 100 кг (для важкого машинобудування — 400 кг і більше). Об'ємне штампування ефективне для виготовлення кованок із малопластичних у холодному стані сталей та сплавів, особливо з тих матеріалів, що погано обробляються іншими способами.

Перевагами штампування порівняно з вільним куванням є більша точність форми, розмірів і якість поверхонь кованок, можливість виготовлення складних за формою заготовок, вищі коефіцієнт використання матеріалу та продуктивність праці, нижчі вимоги до кваліфікації робітників, ліпша придатність до механізації та автоматизації виробничих процесів тощо.

Недоліками об'ємного штампування є складність і висока вартість технологічного спорядження, потреба в устаткуванні великої потужності, обмеження маси та габаритів виготовлюваних кованок, наявність облою, задирок тощо.

Залежно від складності форми та розмірів кованок застосовують однорівчачове, багаторівчачове, розділене та комбіноване штампування.

За конструкцією використовуваних штампів розрізняють відкрите, закрите та штампування витискуванням. *Відкрите* штампування здійснюють у штампах, у яких між обома частинами передбачають спеціальну облойну канавку навколо порожнини штампа, що створює опір витіканню металу, чим забезпечує сприятливі умови для заповнення остаточного рівчака штампа. Облой залежно від складності форми кованки може становити 10...40% її маси. *Закрите* штампування виконують у штампах, між частинами яких є тільки такий проміжок, що забезпечує відносний їх рух для деформування металу без можливості його витікання з порожнини штампа та утворення облою.

Відсутність облою зменшує витрати металу, дає змогу уникнути операції його відрізування, але вимагає точного дозування маси вихідних заготовок. Закрите штампування придатне для отримання порівняно нескладних за формою кованок.

Значно ефективніше *штампування витискуванням*, яким отримують високоякісні заготовки з пластичних матеріалів. Недоліком цього способу є

порівняно низька стійкість штамів, вищі енерговитрати та потреба в спеціальних мастилах.

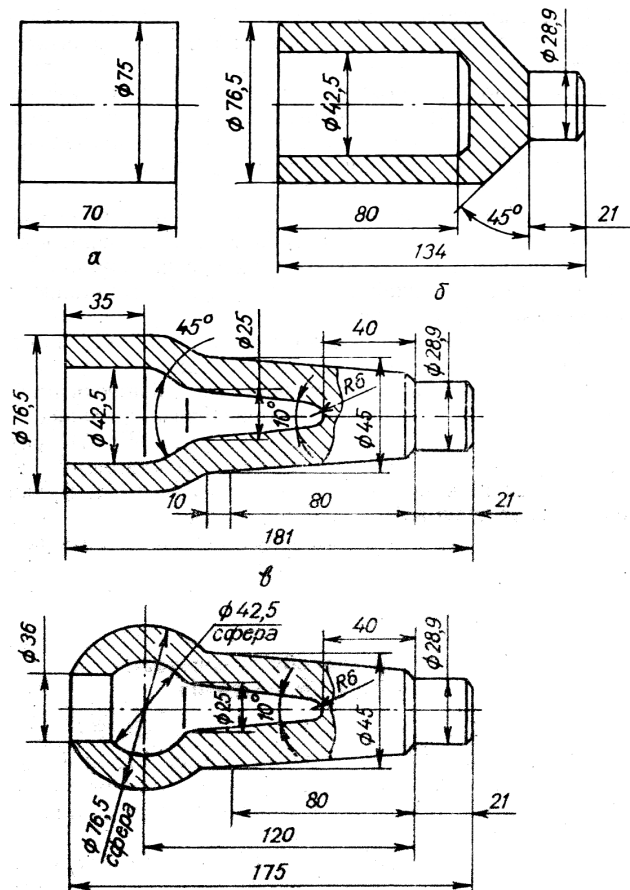
За типом використаного устаткування розрізняють штампування на молотах, кривошипно-гарячештампувальних пресах (КГШП), горизонтально-кувальних машинах (ГКМ), ротаційно-кувальних машинах (РКМ), радіально-кувальних машинах (РДКМ), швидкісних молотах (ШМ), гідравлічних, фрикційних і гвинтових пресах, спеціальних машинах тощо.

За робочою температурою штампування поділяють на гаряче, напівгаряче та холодне.

Добір способу та кількості переходів штампування

Добір способу штампування визначається складністю форми, розмірами та масою виготовлених кованок, маркою матеріалу та вимогами, що ставляться до його фізико-механічних властивостей, умовами виробництва тощо.

На рис. 3.9 зображений приклад ескізів проміжних заготовок штампування пальця для трьох технологічних переходів.



2

Рис. 3.9. Проміжні заготовки штампування пальця: а – вихідна заготовка; б – заготовка після комбінованого витискування; в, г – заготовка після обтискування стержня та головки

Кількість технологічних переходів штампування визначається складністю форми кованки, заданою її якістю, властивостями матеріалу, можливостями наявного устаткування, обсягом замовлення тощо. Вдалий добір кількості технологічних переходів зумовлює ефективність виготовлення кованок. Здебільшого для штампування простих за формою кованок достатньо одного-трьох переходів, а для штампування складних кованок потрібна більша їх кількість.

Для штампування кованок у відкритих штампах використовують рівчаки трьох груп. До першої групи належать попередній (*чорновий*) та остаточний (*чистовий*) штампувальні рівчаки. Порожнину остаточного рівчака виконують за формою та розмірами готової кованки з урахуванням усідання та температурного розширення металу. Для виходу зайвого металу, створення належного опору цьому виходові з метою ліпшого заповнення порожнини рівчака вздовж його периметра виконують облойну канавку. Попередній рівчак також має форму близьку до форми кованки, та не має облойної канавки. До *другої групи* належать *заготівельні рівчаки*, призначені для попереднього деформування вихідної заготовки та отримання придатної форми проміжної кованки для подальшого деформування її у штампувальних рівчаках. Заготівельні рівчаки, залежно від застосовуваного способу штампування, поділяють на рівчаки зі штампуванням плазом (поперек осі заготовки) та осаджуванням у торець (вздовж осі заготовки).

Заготівельні рівчаки зі штампуванням плазом - це формувальні, підкатні (відкритий та закритий), протягувальні (відкритий та закритий), перетискні та вигинальні.

До заготівельних рівчаків зі штампуванням осаджуванням в торець належать спеціальний формувальний і сплющувальний рівчаки. До обох типів відносять такі заготівельні рівчаки, як висаджувальний та спеціальний протягувальний.

Третя група представлена відрубувальними рівчаками, що використовуються для відокремлення заготовки від прутка, штаби чи іншої вихідної заготовки у разі виготовлення з неї кількох кованок.

Штампування на молотах. Штампування кованок виконують за допомогою підкладних і стаціонарно закріплених до бойків молота штампів за 3...5 ударів. Для штампування кованок використовують такі молоти: пневматичні, пароповітряні, фрикційні, гвинтові, гідравлічні, безшаботні з рухомою нижньою бабою тощо. Маса падаючих частин штампувальних молотів звичайно в 500...1000 разів більша від маси кованки та визначається залежно від потрібної потужності на виконання роботи деформування металу кованки. Виготовляють молоти з масою падаючих частин від 630 до 2500 кг.

Штампування на молотах дає змогу регулювати енергію ударів та їх частоту, деформувати кованки в кожному окремому рівчаку за один чи декілька ударів та забезпечує (порівняно зі штампуванням на пресах) ліпші

умови заповнення порожнини рівчаків штампів, що пояснюється великою швидкістю деформування металу. Недоліками штампування на молотах є малий коефіцієнт корисної дії, низька продуктивність праці, складність механізації та автоматизації виготовлення кованок, швидке зношування штампів, недопустимість використання складаних штампів, підвищені витрати металу порівняно з іншими способами штампування, невисока точність форми та розмірів кованок, труднощі з використанням закритих штампів і штампів для висаджування. Крім цього, штампувальні молоти вимагають для їх установаження громіздких фундаментів, наявності котельних чи компресорних станцій, створюють сильний шум у процесі їх роботи тощо.

Штампування на молотах малих і середніх кованок часто не економічне, тому їх виготовляють по дві, три та більше в одному штампі. На молотах здійснюють штампування кованок з прутка з одночасним їх відрізуванням.

Для фасонування кованок на молотах застосовують багаторівчаківі штампи. Та їх використання не завжди доцільне, оскільки виконання підготовчих переходів у заготівельних рівчаках молотових штампів малоефективне. Більш раціональним є виконання на молотах переходів фасонування заготовок, попередньо отриманих іншими способами (вальцюванням, прокатуванням, вільним куванням тощо).

Кількість і послідовність переходів штампування кованок на молотах в основному визначається складністю їх форми. За конструктивно-технологічною складністю форми гарячоштамповані кованки поділяють на чотири групи за зростанням їх складності.

На молотах виготовляють кованки тільки перших трьох груп.

Кованки *першої групи* штампують у багаторівчаківих штампах протягуванням, підкатуванням, вигинанням, попереднім та остаточним штампуванням. Кованки *другої групи* штампують за один - три переходи осаджуванням, витискуванням і прошиванням.

Кованки *третьої групи* штампують осаджуванням, перетискуванням, попереднім і остаточним штампуванням. Якщо кованку не можна чітко віднести до однієї з груп, то штампувальні переходи комбінують для двох суміжних груп.

Штампування на КГШП. Особливістю кінематичної схеми кривошипно-гарячоштампувальних пресів (КГШП), що забезпечує жорсткий зв'язок між приводом і повзуном, є можливість створення великих зусиль штампування у нижній позиції повзуна від незначного крутного моменту приводу. Ця обставина сприяє процесу штампування, в якому найбільший опір деформуванню металу виникає також у нижчій позиції верхньої половини штампа, коли досягає максимального значення об'єм металу, що одночасно деформується. КГШП широко застосовують у штампувальному виробництві.

Переваги цього способу - висока точність форми та розмірів кованок, коефіцієнт використання матеріалу, продуктивність праці, коефіцієнт корисної дії основного устаткування, менша вартість кованок, відсутність ударних навантажень, ліпші умови праці, менші навантаження на виробничі будівлі, можливість використання складаних (універсальних) штампів замість суцільних, придатність до механізації та автоматизації виробничих процесів.

Використання виштовхувачів в обох частинах штампів дає змогу зменшити штампувальні нахили, припуски на оброблення різанням.

Штампування на КГШП виконують за один хід у кожному рівчаку. КГШП, які випускає промисловість, мають 35...95 робочих ходів за хвилину, робочі зусилля від 6,3 до 100 МН і потужність від 20 до 500 кВт.

Недоліками штампування на КГШП є висока вартість пресів, менша, ніж у молотів, швидкість деформування металу, що інколи погіршує умови заповнювання порожнини штампа, небезпека заклинювання та ламання преса у нижній позиції штампа у разі переохолодження металу кованки, необхідність у регулярному очищенні проміжних заготовок від циндри, менша універсальність, складніша конструкція, потреба точного регулювання, неможливість штампування однієї кованки за кілька робочих ходів тощо. На КГШП часто виконують такі операції штампування: осаджування, перетискування, вигинання, попереднє та остаточне штампування у відкритих і закритих штампах, штампування витискуванням, калібрування, відрубування тощо.

На КГШП звичайно виготовляють кованки шатунів, важелів, цапф, клапанів, стаканів, колінчастих валів, зірок, зубчастих коліс, шківів тощо.

Штампування кованок на гідравлічних пресах. Гідравлічні преси відрізняються тихохідністю, практично необмеженою довжиною робочого ходу та значною потужністю. За потужністю — це найбільше ковальсько-штампувальне устаткування (зусилля до 750 МН). Швидкість руху робочої траверси 0,1... 0,2 м/с. Особливістю гідравлічних пресів є можливість забезпечити стабільне зусилля штампування протягом тривалого відрізка часу незалежно від деформування. Гідравлічні преси обладнують автоматичними виштовхувачами, що значно розширює номенклатуру кованок. На гідравлічних пресах виконують штампування витискуванням, відкрите та закрите штампування, прошивання, протягування, багаторівчакове штампування складних за формою та великих за масою й розмірами кованок, а також кованок з важкодеформовних матеріалів.

Недоліком гідравлічних пресів є порівняно низька стійкість штампів, зумовлена довготривалим контактом з гарячим металом кованки. Для підвищення стійкості штампів преси обладнують водяним охолодженням, змащують робочі поверхні пуансонів і матриць, а масивні деталі штампів роблять порожнистими. Кованки, то штамнуються на гідравлічних пресах,

поділяють на чотири групи: перша — гільзи та стакани, друга — диски та фланці третя — хрестовини, четверта — панелі тощо.

Штампуння кованок на горизонтально-кувальних машинах.

Особливістю горизонтально-кувальних машин (ГКМ) є використання в їх конструкціях кривошипно-шатунних механізмів і наявність двох площин рознімання штамп: однієї — в самій матриці, другої — між матрицею та пуансоном (рис. 6). У рознімній матриці можна затискати вихідні заготовки різної форми, що дає змогу відмовитись від штампувальних нахилів та облою.

На ГКМ виготовляють кованки за один чи декілька переходів з прокату або окремих вихідних заготовок. У разі потреби отримують потовщення з обох боків кованки.

Штампи для ГКМ складаються з матриці та пуансона. Затискним рівчакам надають овального перетину чи роблять їхні поверхні рифленими, що забезпечує надійне закріплення заготовок під час їх штампуння. За призначенням пуансони можуть бути формувальними, пробивальними, прошивальними та обрізувальними, а за конструкцією — суцільними та складаними.

Перевагами ГКМ є висока продуктивність устаткування, можливість виготовлення кованок з отворами без перетинок, без штампувальних нахилів, порівняно складної форми, висока придатність до механізації та автоматизації виробничих процесів штампуння кованок тощо. Наприклад, ГКМ з горизонтальною площиною рознімання матриці добре узгоджуються з автоматичними маніпуляторами, що дає змогу використовувати їх для створення гнучких автоматизованих виробничих систем.

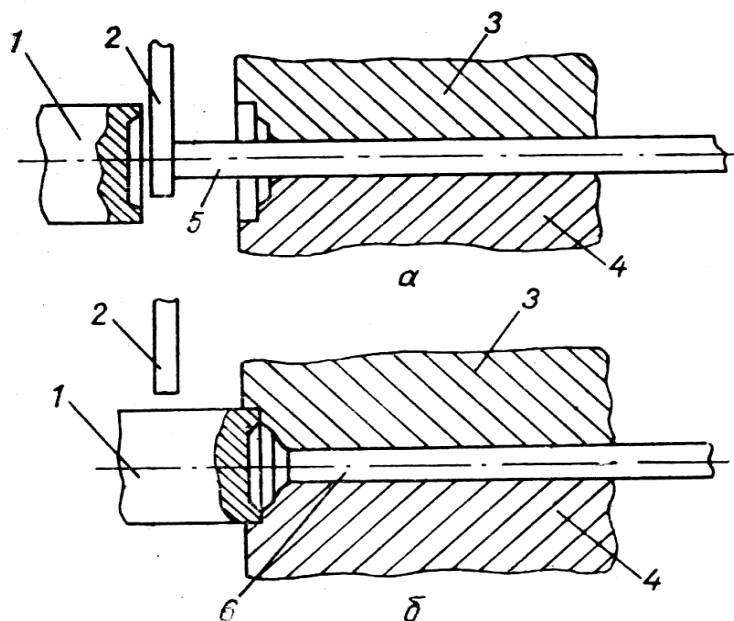


Рис. 3.10. Стадії виготовлення (а, б) заготовок клапанів на ГKM: 1 — пуансон; 2 — упор; 3, 4 — частини рознімної матриці; 5 — вихідна заготовка; 6 — кованка

Недоліками штампування кованок на ГKM є обмежена кількість їх форм (здебільшого — це тіла обертання) та потреба у використанні як вихідних заготовок точного прокату, а також підвищені витрати матеріалу за рахунок хвостовиків для закріплення заготовок у матриці. Максимальні зусилля штампування на ГKM - 5...125 МН, найбільший діаметр оброблюваних прутків - до 270 мм, робочий хід повзуна - 200...700 мм, кількість робочих ходів за хвилину - 20...95.

Послідовність проектування штамповок (поковок отриманих штампуванням):

- вибір способу штампування;
- вибір положення поверхні рознімання штампу;
- призначення припусків, допусків, напусків;
- визначення маси і коефіцієнту використання матеріалу;
- призначення штампувальних ухилів;
- призначення радіусів закруглень;
- проектування позначки отвору (при необхідності).

Вальцювання

Штампувальне вальцювання кованок виконують на кувальних вальцях шляхом повздовжнього прокатування заготовки в рівчаках секторних штамів, що називаються калібрами. На відміну від звичайного повздовжнього прокатування, внаслідок вальцювання отримують кованки зі змінним поперечним перетином. Схематично процес вальцювання зображено на рис. 3.11.

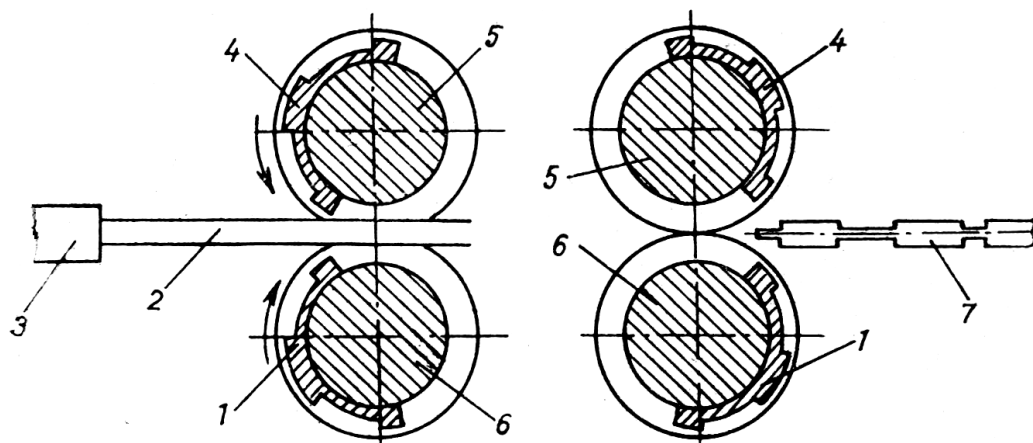


Рис. 6.7. Початкова (а) та кінцева (б) стадії вальцювання: 1, 4 — половинки секторного штампа; 2 — вихідна заготовка; 3 — упор; 5, 6 — вальці; 7 — кованка

На початковій стадії (рис. 6.7, а) заготовка 2 вільно між вальцями 5 і 6 подається до упора 3. У процесі робочого ходу вальці 5 і 6, повертаючись навколо своїх осей в протилежних напрямках, захоплюють вихідну заготовку половинками штампів 1 і 4 та формують у їх порожнинах кованку. На кінцевій стадії (рис. 6.7, б) готова кованка 7 звільняється від половинок штампів.

Штампи можуть бути одно- та багаторівчакові. У багаторівчакових штампах рівчаки звичайно розташовані паралельно один до одного вздовж осі валків. Одну пару вальцювальних валків називають кліттю. Вальці для виготовлення складних за формою кованок можуть мати дві та більше клітей, що розміщені послідовно одна за одною вздовж шляху проходження заготовки. Кліті розташовуються під кутом одна до одної, тобто повернені на різні кути навколо осі руху заготовки.

На одноклітьових вальцях здебільшого виготовляють кованки простої форми (гайкові ключі, важелі, тяги, планки, скоби тощо) та заготовки для подальшого штампування на іншому устаткуванні (шатуни, кривошипи, щоки ланцюгів тощо).

Широко застосовуються у вальцюванні двоопорні та консольні вальці. Двоопорні вальці використовують для формувального та штампувального вальцювання, а консольні (одно-, дво- та триклітьові) - звичайно для заготівельного та формувального вальцювання кованок, що призначені для остаточного оброблення на іншому штампувальному устаткуванні (КГШП, ГKM тощо).

Профіль, що утворюється порожнинами рівчаків у парі секторних штампів, називають (як і для прокатних станів) калібром. Як і штампи, калібри є відкриті та закриті.

Періодичним вальцюванням виготовляють штучні заготованим, що з'єднані між собою стрічкою з облою, та фасоновані прутки. періодично повторюваними ділянками. Штампувальне вальцювання кованок застосовують у серійному та масовому виробництві для отримання остаточних заготовок, що не підлягають подальшому обробленню тиском, а оздоблювальне - для виготовлення високоякісних кованок, наприклад, лопаток турбін.

Кувальні вальці мають високу продуктивність (швидкість вальцювання 1...2 м/с), прості в експлуатації, порівняно малошумні, легко піддаються механізації та автоматизації тощо. Перевагою вальцювання кованок над їх штампуванням є малі зусилля, що необхідні для деформування заготовок, оскільки деформується щомиті під час вальцювання тільки її частина, а не вся кованка, як при штампуванні.

Використання вальцювання кованок для подальшого оброблення тисненням дає змогу економити 10...20% металу, підвищує продуктивність праці на 50...150%, знижує вартість кованок на 15...25%.

Штапування на електровисаджувальних машинах

На електровисаджувальних машинах висаджування кованок виконують з одночасним контактним електричним нагріванням вихідної заготовки, якою часто є сортовий прокат.

Застосовують дві схеми висаджування: вільне та закрите в матрицю. Вільним електровисаджуванням звичайно виготовляють кованки з головками (прогоничі, гвинти, заклепки, цвяхи, пальці тощо), а закритим — кованки з потовщеннями в будь-якому місці. Номенклатура виготовлених цим способом кованок невелика. Це здебільшого стержньові та трубчасті кованки з потовщеннями на кінцях, східчасті осі, тяги, шкворні, важелі тощо.

Потужність електровисаджувальних машин - до 800 кВт, найбільший діаметр суцільної заготовки - 75 мм, порожнистої - 150 мм, продуктивність машин - до 750 кг/год, зусилля штапування - до 15 МН. Електровисаджувальні машини мають вертикальне та горизонтальне конструктивне виконання, обладнані автоматичними системами керування процесом виготовлення кованок. Вони легко вписуються у гнучкі автоматизовані виробничі системи.

Накатування спеціальних поверхонь

ТП накатування застосовують для виготовлення зубчастих коліс, зірок, шліцевих валів, деталей з різьми тощо. Накатування здійснюють як кінцеву операцію виготовлення деталей невисокої точності та як заготівельну операцію перед чистовим обробленням. Накатування дає змогу зміцнювати поверхневі шари, економити матеріали, знижувати трудомісткість виготовлення та вартість кованок, підвищувати продуктивність праці тощо.

Нагрівання заготовок для накатування роблять тільки місцеве, тому для цього здебільшого застосовують устаткування зі струмами високої частоти.

Накатування поверхонь вихідних заготовок виконують як у гарячому, так і в холодному стані.

Холодне накатування економічніше, після нього звичайно зникає необхідність оброблення різанням, термічного та хімічного оброблення. Накатані поверхні більш міцні, зносостійкі тощо.

Накатувальні стани здійснюють накатування поверхонь зубчастих коліс, зірок і шліцевих валів з модулями до 15 мм і діаметром до 1000 мм для гарячого та з модулем до 3 мм і діаметром до 6000 мм для холодного накатування.

Процес накатування відбувається за допомогою накатувальних валків циліндричної форми та плоских інструментів. Останні здебільшого застосовують для накатування порівняно дрібних профілів.

Завершальні операції виробництва штампованих кованок

Обрізання облою та пробивання перемичок. Обрізання облою та пробивання перемичок виконують як у гарячому, так і в холодному стані кованок. Холодне обрізання облою та пробивання перемичок порівняно легко піддається механізації та автоматизації, високопродуктивне, забезпечує вищу якість заготовок, однак вимагає в три -шість разів більшого зусилля, ніж гаряче. Тому холодне оброблення використовують для виготовлення малих і середніх, а гаряче - для формування великих кованок. Гаряче обрізання виконують безпосередньо після штампування, що дає змогу економити енергію, й застосовують для кованок з легованих і високовуглецевих сталей.

Виправлення та калібрування кованок. У процесі кування та штампування кованки викривляються та жолобляться. Жолоблення кованок відбувається також під час обрізання облою, пробивання перемичок, знімання кованок із пуансонів за допомогою виштовхувачів, виштовхування їх із чистових ривчаків штампів, у процесі транспортування, галтування та термічного оброблення. Кованки виправляють у випадках, коли значення жолоблення перевищує допустимі за кресленням. Виправлення виконують як у гарячому, так і в холодному стані на карбувальних кривошипно-шатунних і гвинтових пресах.

Очищення кованок Для забезпечення високої якості поверхонь кованок їх потрібно очищувати як перед, так і після нагрівання, кування та штампування від поверхневих дефектів, циндри, іржі та забруднень. Залежно від технічних вимог до якості поверхонь кованки застосовують різні способи та засоби для їх очищення.

Механічне очищення кованок виконують на обдирально-шліфувальних верстатах, переносними шліфувальними машинами, щітками, зубилами, молотками, роликами, скребачками тощо.

Гідравлічне очищення кованок здійснюють за допомогою гідроапаратів, *пневматичне* струминно-абразивне — піскоструминними машинами; *гідроабразивне* — ручними моніторами, барабанами, контейнерними механізмами. Енергоносієм для пневматичного та гідравлічного очищення є стиснене повітря тиском 0,2 ... 0,5 МПа, яке спрямовує сухий абразивний матеріал чи абразивну рідину на оброблювану поверхню зі швидкістю 30 ... 60 м/с. Сухе пневмоабразивне очищення обмежене у використанні через підвищену концентрацію пилу на робочому місці.

Віброабразивне очищення здійснюється частинками абразивного середовища під час їхнього коливання в контейнері, що з'єднаний з вібраційним приводом. Залежно від складності форми кованок за абразивне середовище вибирають крихти абразивних кругів, порцелянові дрібки, зірочки з відбіленого чавуну та електрокорунду, дрібні штамповані кованки тощо. У разі мокрого способу очищення крім абразивного наповнювача в контейнер наливають активні розчини лугів з інгібіторами.

Галтування у барабанах виконують двома способами: мокрим, коли разом з кованками в барабан завантажують абразивні матеріали (пісок, граніт, порцеляну, чавунні зірочки, сталеві кульки тощо) з додаванням водного розчину мила або соди та сухим, коли кованки завантажують в барабан з абразивними частинками чи без них, але без водних розчинів, мила чи соди. Сухим галтуванням усувають задирки та досягають шорсткості поверхонь кованок до 10 мкм за параметром Ra, а мокрим — до 0,63 мкм, Галтуванням очищають здебільшого дрібні кованки.

Шротометний та *шротоструминний* способи очищення кованок виконують у спеціальних апаратах з обертовими барабанами, столами та камерами періодичної чи безперервної дії за допомогою чавунного та сталевго шроту. Використання цього способу очищення кованок дає змогу одночасно підвищувати твердість і зносостійкість оброблюваних поверхонь. Цими способами звичайно очищають дрібні та середні кованки складної форми.

Хімічне витравлювання використовують для очищення кованок, що пройшли попереднє та остаточне ТО. Хімічний склад витравлювального розчину призначають залежно від марки матеріалу кованок. Цей спосіб застосовують для складних за формою кованок. Використання його обмежене вимогами екологічної чистоти виробництва.

Тема 4. Припуски на механічну обробку, допуски і напуски

Питання до вивчення

- 4.1. Загальні відомості про припуски на обробку заготовок різанням.
- 4.2. Техніко-економічне значення припусків та методи їх визначення.
- 4.3. Фактори, які впливають на величину припуску.
- 4.4. Розрахунково-аналітичний метод визначення розмірів заготовок.

4.1. Загальні відомості про припуски на обробку заготовок різанням

Припуск на обробку – це шар матеріалу, який знімають з поверхні заготовки для досягнення потрібних *розмірів* та *якості* оброблюваної поверхні. Припуски призначають тільки для поверхонь заготовки, точність форм і розмірів яких не можуть бути забезпечені вибраним способом отримання заготовки. Вимірюють припуск у напрямку нормалі до поверхні, для якої він призначений.

Припуски поділяють на *загальні* та *міжопераційні*.

Розмір *загального припуску* визначають як різницю між розміром заготовки і розміром деталі за робочим кресленням. Припуск задається на одну сторону. Тобто загальний припуск знімається з поверхні протягом всього технологічного процесу обробки поверхні.

Міжопераційний припуск визначається як різниця розмірів до і після попередньої операції.

На рис. 4.1 показано заготовку шестерні, для якої поверхні розмірів A_3 ,

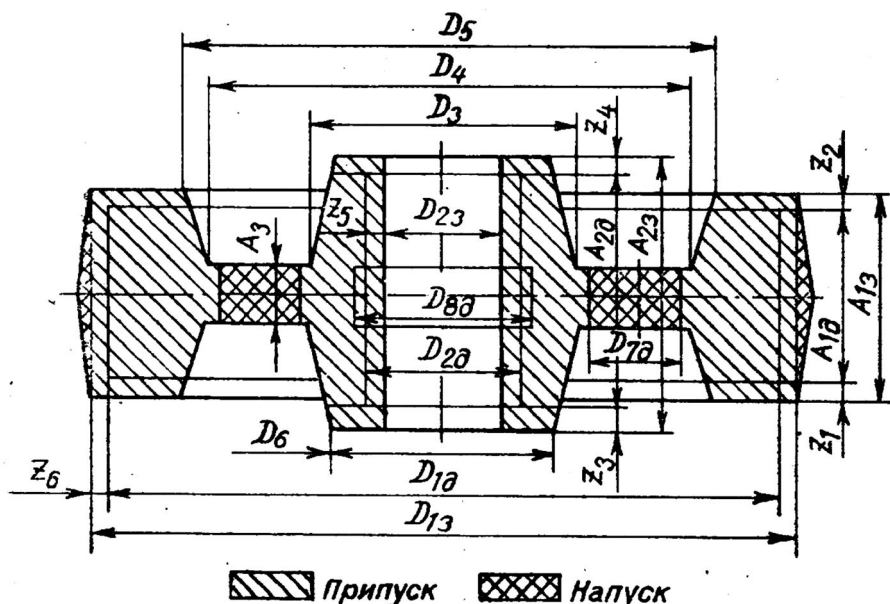


Рис. 4.1. Заготовка шестерні. Розміри, напуски та припуски на обробку різанням

ДЗ, Д4, Д5, Д6 не підлягають механічній обробці різанням, а поверхні розмірів A_{13} , A_{23} , D_{13} , D_{23} обробляють різанням і тому на них є відповідні припуски Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6, після зняття яких отримують поверхні деталі $A_{1д}$, $A_{2д}$, $D_{1д}$, $D_{2д}$. Поверхні деталі розмірів $D_{7д}$ і $D_{8д}$ утворюються після зняття відповідних напусків.

Напуском називають надлишок матеріалу на поверхні заготовки, зумовлений технологічними вимогами спрощення конфігурації заготовки для поліпшення умов її виготовлення. Здебільшого напуск знімають з поверхні в процесі її механічної обробки, а деколи залишають в деталі (ливарні та штампувальні нахили, радіуси заокруглень тощо).

4.2. Техніко-економічне значення припусків та методи їх визначення

Значення припуску суттєво впливає на вартість виготовлення деталі.

Зі збільшенням припуску зростають витрати праці, матеріалів, різальних інструментів, енергії.

Зменшення припуску вимагає використання нових, більш точних способів отримання заготовки, але значно зменшує вартість подальшої обробки. Не в міру занижені припуски можуть стати причиною появи бракованих деталей, особливо в умовах автоматизованого виробництва.

Тому призначений припуск повинен бути оптимальним для заданих умов виробництва. Розміри припуску залежать від марки матеріалу, конфігурації та розмірів заготовки, способу її формування, товщини дефектного шару тощо. Наприклад, виливки можуть мати значний дефектний поверхневий шар з неметалевими вкрапленнями, порожнини, відбілений шар (для чавуну); кованки – вигоранку, задирки, облой, знеуглецьований шар тощо.

Є два методи визначення припусків. Перший - за довідковими таблицями, незалежно від технологічного процесу механічної обробки та умов його виконання. Другий - розрахунково-аналітичний, з урахуванням факторів, що впливають на величину припуску. Розрахунковий метод вимагає розробки структури технологічного процесу, вибору основного устаткування та спорядження, врахування всіх факторів, що впливають на значення припусків на всіх технологічних переходах обробки кожної з поверхонь.

Табличний метод дає більші значення припусків, тому що припускає різні процеси послідувочої обробки. Розрахунковий метод більш трудомісткий, але дає змогу призначати мінімальні припуски на механічну обробку, що має важливе значення для серійного та, особливо, масового виробництва. За цим методом припуски розраховують послідовно для всіх технологічних переходів обробки поверхні, після чого, підсумовуючи всі проміжні припуски, визначають розміри заготовки. Тому табличним способом користуються здебільшого для одиничного та дрібносерійного виробництва, а розрахунковим — для серійного та масового.

Мінімальним вважають припуск, достатній для усунення похибок і дефектів обробки, отриманих на попередньому переході, а також компенсації похибок на виконуваному переході. У припусках також враховують напуски, нахили, прибутки, заокруглення тощо.

Припуск дуже впливає на економічність обробки. Чим більший припуск, тим більше число робочих ходів потрібно для зняття шару металу, що призводить до підвищення трудомісткості процесу, витрат електроенергії, зносу ріжучого інструменту та збільшує відходи металу що перетворюються в стружку. Завищені припуски призводять до збільшення парку обладнання і виробничих площин, необхідних для його розміщення.

Розмір припуску забезпечується точністю виготовлення заготовок, однак підвищення вимог до точності в ряді випадків збільшує собівартість їх виготовлення в заготівельних цехах, тому припуск слід вибирати оптимальним, тобто такий, який забезпечує якість обробленої поверхні при найменшій собівартості обробки в механічних і заготівельних цехах.

4.3. Фактори, які впливають на величину припуску

Розмір припуску залежить від товщини пошкодженого шару, тобто від товщини корки для литих заготовок, знеуглецюваного шару для прокату, глибини поверхневих нерівностей, раковин, тріщин тощо, а також від виробничих і технологічних погрішностей. Ці погрішності є сукупністю погрішностей заготовки і погрішностей, що виникають при виконанні окремих технологічних операцій. Для їх компенсації потрібен припуск, розмір якого може забезпечити відповідну якість даної заготовки на останній операції обробки.

Виробничі погрішності характеризуються відхиленнями розмірів, геометричними порушеннями форми і відхиленнями взаємопов'язаних поверхонь, поверхневими мікронерівностями, глибиною дефектного шару.

Геометричні погрішності форми (овальність, огранка, конусність, випуклість, увігнутість та ін.) повинні бути в границях поля допуску на розмір. Мікронерівності при розрахунку припусків ураховують для кожної технологічної операції. Глибина дефектного поверхневого шару залежить від способу виготовлення заготовок. Наприклад, виливків з сірого чавуну дефектний поверхневий шар у вигляді перлітної корки видаляють для збереження ріжучих властивостей інструменту при послідуєчій обробці підкоркового шару; знеуглецюваний поверхневий шар прокату, що зменшує міцність, видаляють для підвищення міцності матеріалу деталі. Видаляють також зону “наклепу”, яка виникає при обробці прокату.

Окремо слід враховувати погрішності, які не пов'язані з погрішностями розмірів (відхилення від паралельності і перпендикулярності осей і поверхонь, ексцентриситет отворів та ін.).

Наряду з перерахованими відхиленнями в процесі обробки виникають погрішності установки, які також повинні компенсуватись збільшенням припуску.

Зменшення припусків для обробки різанням заготовок дає змогу економити матеріал, різальний інструмент, енергоресурси, зменшувати трудомісткість виготовлення та вартість виробів.

Мінімальний припуск визначають як

$$Z_{\min} = Rz + F + \bar{\rho} + \bar{\varepsilon}, \quad (4.1)$$

де Rz - висота нерівностей поверхні заготовки перед операційним переходом, мм;

F - товщина дефектного шару заготовки, мм;

$\bar{\rho}$ - сумарні похибки форми оброблюваної поверхні та її розташування відносно поверхні заготовки, що є базовою перед обробкою за операційним переходом, мм;

$\bar{\varepsilon}$ - сумарна похибка встановлення заготовки для її обробки, мм.

Перші три складові частини (4.1) Rz , F та ρ оброблюваної поверхні належать до попереднього технологічного переходу, а четверта частина ε , як і мінімальне значення припуску $Z_{\min}$, - до виконуваного технологічного переходу. Коли напрямки векторів $\bar{\rho}$ і $\bar{\varepsilon}$ визначити неможливо, мінімальний припуск вираховують як

$$Z_{\min} = R_z + F + \sqrt{\rho^2 + \varepsilon^2}. \quad (4.2)$$

Складові елементи операційного припуску приведені на рис. 4.2, а схема розмірів готової деталі, проміжної та початкової заготовки, а також припуски на механічну обробку для випадку однобічної обробки призматичної заготовки за двома операційними переходами приведена на рис. 4.3.

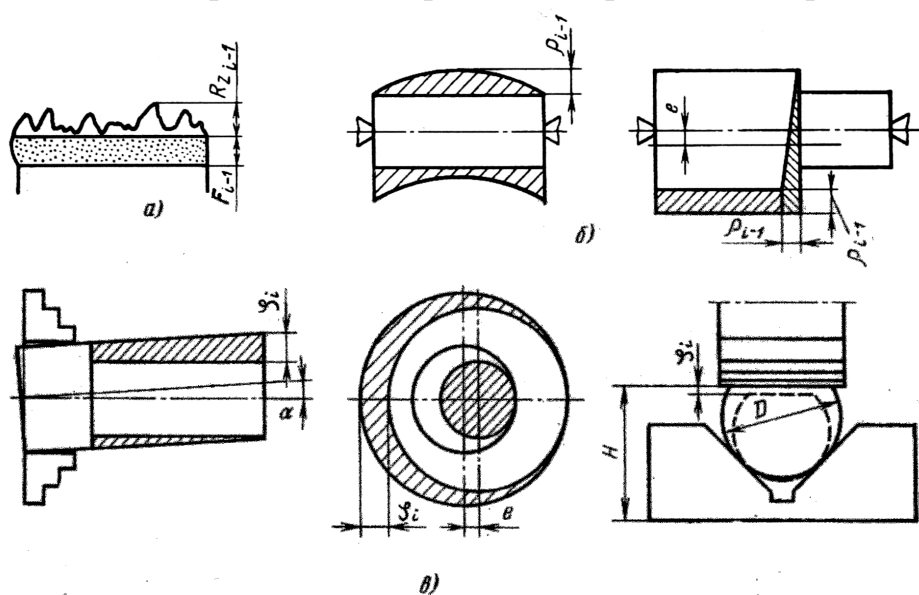


Рис. 4.2. Схеми складових операційного припуску: Rz_{i-1} , F_{i-1} , ρ_{i-1} , ε_i (ζ_i)

На схемах (рис. 4.2) Індекси i , $i-1$ означають значення припуску відповідно для готової деталі (позначення переходу відсутнє, бо $j=0$), до першого операційного (технологічного) переходу ($j=1$).

У формулі (4.1) можуть бути і відсутніми деякі складові. Наприклад глибина дефектного поверхневого шару F , яка враховується тільки для заготовки. При встановленні заготовки на плиту (суміщення установчої та виміральної баз) виключається величина ε .

4.4. Розрахунково-аналітичний метод визначення розмірів заготовок

Зменшення припусків для обробки різанням заготовок дає змогу економити матеріал, різальний інструмент, енергоресурси, зменшувати трудомісткість виготовлення та вартість виробів.

Мінімальний припуск визначають як

$$Z_{\min} = a \times (R_z + F + \bar{\rho} + \bar{\varepsilon}), \quad (4.1)$$

де a - кількість шарів припуску для заданого розміру заготовки, $a = 1$ для механічної обробки поверхні з одного боку (наприклад, плоскої поверхні) та $a = 2$ для механічної обробки з двох боків (наприклад, круглої поверхні);

R_z - висота нерівностей поверхні заготовки перед операційним переходом,

мм;

F - товщина дефектного шару заготовки, мм;

$\bar{\rho}$ - сумарні похибки форми оброблюваної поверхні та її розташування відносно поверхні заготовки, що є базовою перед обробкою за операційним переходом, мм;

$\bar{\varepsilon}$ - сумарна похибка встановлення заготовки для її обробки, мм.

Перші три складові частини (4.1) R_z , F та ρ оброблюваної поверхні належать до попереднього технологічного переходу, а четверта частина ε , як і мінімальне значення припуску $Z_{\min}$, - до виконуваного технологічного переходу. Коли напрямки векторів $\bar{\rho}$ і $\bar{\varepsilon}$ визначити неможливо, мінімальний припуск вираховують як

$$Z_{\min} = a \times \left(R_z + F + \sqrt{\rho^2 + \varepsilon^2} \right) \quad (4.2)$$

На схемі (рис. 4.1) A_i , $A_{i \min}$, $A_{i \max}$ і T_i - відповідно номінальний, найменший та найбільший допустимі розміри і допуск розміру готової деталі; A_{i-1} , $A_{i-1 \min}$, $A_{i-1 \max}$ і T_{i-1} - те ж для проміжного розміру заготовки ($j=1$ - номер технологічного переходу); A_{i-2} , $A_{i-2 \min}$, $A_{i-2 \max}$ і T_{i-2} - те ж для початкового розміру заготовки ($j=2$). Індекси i , $i-1$, $i-2$ означають значення розміру, припуску або допуску відповідно для готової деталі (позначення переходу відсутнє, бо $j=0$), до першого операційного (технологічного) переходу ($j=1$) та початкового стану заготовки, тобто до другого операційного переходу ($j=2$).

Враховуючи це, можна записати вирази (1) і (2) таким чином

$$Z_{i-(j-1)\min} = a \times (Rz_{i-j} + F_{i-j} + \bar{\rho}_{i-j} + \bar{\varepsilon}_{i-(j-1)}), \quad (4.3)$$

$$Z_{i-(j-1)\min} = a \times (Rz_{i-j} + F_{i-j} + \sqrt{\rho_{i-j}^2 + \varepsilon_{i-(j-1)}^2}), \quad (4.4)$$

де j – номер технологічного переходу механічної обробки заданої поверхні; переходи нумеруються у зворотному напрямку їх виконання; знак після “ i ” – не мінус, а тире, після якого ставиться номер переходу.

Найменший припуск на кожному технологічному переході є різницею між мінімальним розміром заготовки, що є вихідною для заданого технологічного переходу і максимального розміру заготовки чи деталі яку отримують в результаті виконання цього технологічного переходу.

Найменші припуски є основою для визначення проміжних та вихідного розмірів заготовки, а також максимальних і номінальних значень припусків.

Найбільші припуски використовують при визначенні глибини різання та потужності верстатів.

Номінальні припуски і розміри проміжних і початкової заготовок використовують для встановлення розмірів формоутворювальних частин інструменту (штампів, матриць, прес-форм тощо).

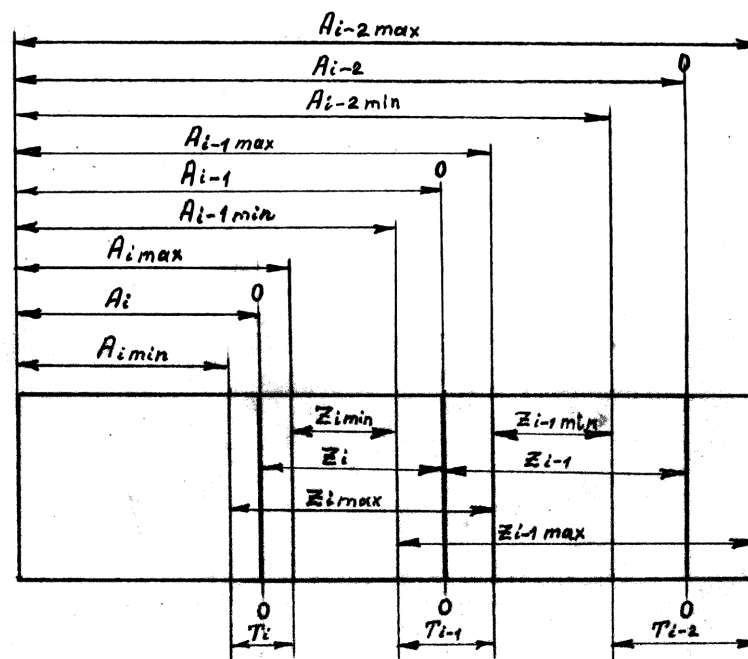


Рис. 4.3. Схема розмірів, припусків і допусків заготовки до операційних переходів та розмірів і допусків готової деталі:

A_i, A_{i-1}, A_{i-2} - номінальний розмір i деталі, заготовки до першого ($j=1$) технологічного переходу, заготовки до другого ($j=2$) технологічного переходу;
 Z_i, Z_{i-1} - номінальний припуск для отримання розміру i деталі та розміру $i-1$ заготовки відповідно першим та другим технологічними переходами;
 $\min, \max$ – найменший і найбільший розмір або припуск;
 T_i, T_{i-1}, T_{i-2} - допуски розмірів відповідно A_i, A_{i-1}, A_{i-2}

Найбільший припуск для обробки в заданому технологічному переході

$$Z_{i-(j-1)max} = Z_{i-(j-1)min} + T_{i-(j-1)} + T_{i-j}. \quad (4.5)$$

Сумарне значення мінімального припуску на механічну обробку для кожного розміру в n технологічних переходах

$$Z_{\sum min} = \sum_{j=1}^n Z_{i-(j-1)min}, \quad (4.6)$$

де n - кількість технологічних переходів механічної обробки.

Найбільший розмір зовнішньої поверхні заготовки є сумою найбільшого розміру деталі та сумами мінімальних значень припусків і допусків розмірів проміжних заготовок на всіх технологічних переходах разом з допуском початкової заготовки, тобто

$$A_{i-jmax} = A_{imax} + \sum_{j=1}^n Z_{i-(j-1)min} + \sum_{j=1}^n T_{i-j}. \quad (4.7)$$

Найменший розмір внутрішньої поверхні заготовки є різниця між найменшим розміром деталі та сумами мінімальних припусків і допусків на всіх технологічних переходах разом з допуском початкової заготовки

$$A_{i-jmax} = A_{imax} - (\sum_{j=1}^n Z_{i-(j-1)min} + \sum_{j=1}^n T_{i-j}). \quad (4.8)$$

Номінальний розмір заготовки є сума номінального розміру готової деталі та номінальних значень припусків на механічну обробку для всіх технологічних переходів

$$A_{i-j} = A_i \pm \sum_{j=1}^n Z_{i-(j-1)} \quad (4.9)$$

Номінальні припуски для обробки різанням

$$Z_{i-(j-1)} = Z_{i-(j-1)} + esA_{i-(j-1)} + eiA_{i-j}, \quad (4.10)$$

де $esA_{i-(j-1)}$ та eiA_{i-j} - відповідно верхнє та нижнє відхилення розмірів $A_{i-(j-1)}$ та A_{i-j} .

Номінальні розміри початкової заготовки заокруглюють відповідно стандартів для заданого способу її отримання. Усі розміри заокруглюють у бік збільшення припусків на механічну обробку.

Для випадку, приведеного на рис. 4.1, маємо два технологічних переходи, які нумеруються в порядку, зворотному до їх виконання. Перший технологічний перехід – останній при обробці, тобто коли отримують готову деталь. Для цього переходу, підставляємо $j=1$ у формули (3), (5) і (7) і отримаємо, відповідно *найменший припуск*

$$Z_{imin} = Rz_{i-1} + F_{i-1} + \bar{\rho}_{i-1} + \bar{\varepsilon}_i,$$

найбільший припуск

$$Z_{imax} = Z_{imin} + T_i + T_{i-1},$$

найбільший розмір проміжної заготовки

$$A_{i-1max} = A_{imax} + Z_{imin} + T_{i-1},$$

де Rz_{i-1} – шорсткість поверхні проміжної заготовки;

F_{i-1} – глибина її дефектного шару;

ρ_{i-1} - нерівності її форми;

ε_i - похибка встановлення проміжної заготовки у пристрої верстата;

T_i - допуск розміру деталі згідно з кресленням;

T_{i-1} - допуск на розмір проміжної заготовки, який призначають залежно від способу її виготовлення;

$Z_{i \min}$ і $Z_{i \max}$ - відповідно найменший і найбільший розрахунковий припуск для встановлення розміру проміжної заготовки;

$A_{i \max}$, $A_{i-1 \max}$ – відповідно найбільші значення розмірів деталі згідно з кресленням та проміжної заготовки (за розрахунком).

Аналогічно для другого технологічного переходу, тобто при $j = 2$

$$Z_{i-1 \min} = Rz_{i-2} + F_{i-2} + \bar{\rho}_{i-2} + \bar{\varepsilon}_{i-1},$$

$$Z_{i-1 \max} = Z_{i-1 \min} + T_{i-1} + T_{i-2},$$

$$A_{i-2 \max} = A_{i \max} + Z_{i \min} + Z_{i-1 \min} + T_{i-1} + T_{i-2},$$

де Rz_{i-2} – шорсткість поверхні початкової заготовки;

F_{i-2} – глибина її дефектного шару;

ρ_{i-2} - нерівності її форми;

ε_{i-1} - похибка встановлення її у пристрої верстата;

T_{i-2} - допуск на розмір початкової заготовки, який призначають залежно від способу її виготовлення;

$Z_{i-1 \min}$ і $Z_{i-1 \max}$ - відповідно найменший і найбільший розрахунковий припуск для встановлення розміру початкової заготовки;

$A_{i-2 \max}$ – найбільше розрахункове значення початкової заготовки.

Розміри заготовок визначають з урахуванням особливостей їх геометричної форми та результатів аналізу розмірних ланцюгів.

Лекція 5. Базування і бази в машинобудуванні

Питання до вивчення

- 5.1. Основні поняття про бази.
- 5.2. Вибір баз.
- 5.3. Точність механічної обробки поверхонь деталей.
- 5.4. Фактори, які визначають точність обробки та причини відхилень.
- 5.5. Якість поверхонь деталей машин.

5.1. Основні поняття про бази

Великі похибки форми і розташування поверхонь, які можуть виникати при виготовленні деталі, значно впливають на роботоздатність деталі і залежать від установки і базування заготовки.

Класифікація поверхонь. Залежно від призначення всі поверхні підрозділяються за ГОСТ 21495-76 на основні, допоміжні, виконавчі та вільні.

Основними називають поверхні, які визначають положення деталі у виробі.

Допоміжними називають поверхні, які визначають положення приєднаних деталей відносно даної.

Виконавчими називають поверхні, які мають службове призначення.

Вільними називають поверхні, які не з'єднуються з поверхнями інших деталей.

Класифікація баз. *Базою* називають поверхню, сукупність поверхонь, ось, точку деталі, відносно якої орієнтуються інші поверхні, які обробляються, або інші деталі, які складаються, на даній операції.

Залежно від характеру призначення (конструювання, виготовлення, вимірювання, складання механізмів і машин) *баз* підрозділяються на *конструкторські, технологічні і вимірювальні*.

Конструкторською називають базу, що використовується для визначення положення деталі у виробі. Конструкторські бази бувають основні та допоміжні. *Основні* – визначають положення самої деталі у виробі. *Допоміжні* – визначають положення приєднаних деталей відносно даної.

Технологічною називають базу, що використовується для визначення положення заготовки в процесі її обробки.

Вимірювальна база призначена для визначення відносного положення вимірюваної поверхні та відліку розмірів.

Правило шести точок. Положення тіла відносно системи координат *Oxyz* характеризується шістьма степенями свободи, які визначають можливість її переміщення вздовж і обертання навколо трьох координатних осей. Якщо тіло буде позбавлене цих трьох повздовжніх переміщень і трьох обертань, то воно буде нерухомим.

В практичних умовах тіло може контактувати з поверхнями, що визначають його положення, які можна умовно вважати точками контакту. Шість зв'язків, що позбавляють тіло рухатися в шести напрямках, можуть бути створені контактом приєднаних тіл в шести точках. Це визначає правило шести точок в технології машинобудування (рис. 5.1).

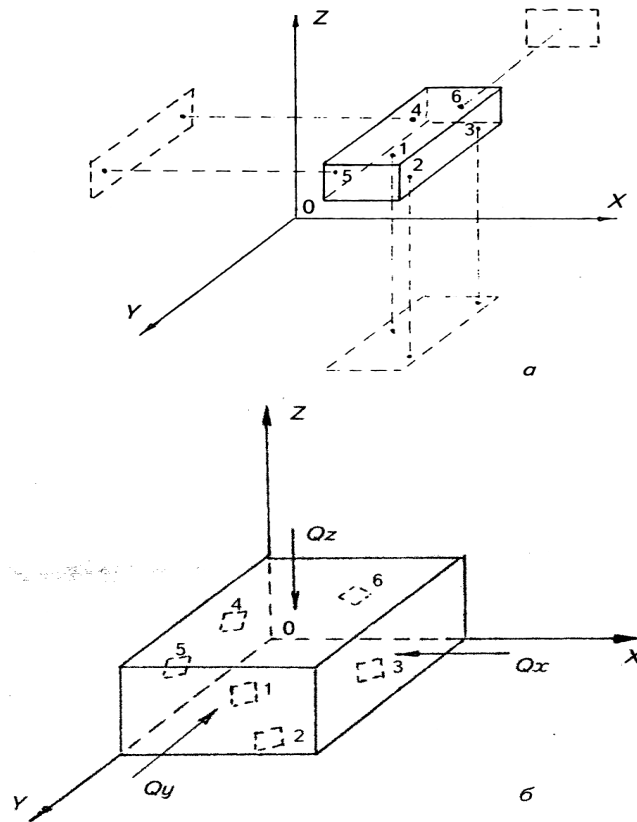


Рис. 5.1. Схема базування призматичної заготовки: *а* - положення заготовки у системі координат; *б* – положення заготовки у технологічному пристрої

На рис. 5.1 для базування призматичної заготовки три зв'язки поверхні заготовки з площиною XOY визначають відстані між трьома точками цієї поверхні (1, 2, 3), що позбавляють заготовку трьох ступенів свободи – можливості переміщення вздовж осі OZ та обертання навколо осей OX і OY . Два зв'язки (4 і 5) іншої поверхні заготовки відносно координатної площини YOZ одночасно позбавляють її можливості переміщення вздовж осі OX та обертання навколо OZ , позбавляючи заготовку ще двох ступенів свободи. Шостий зв'язок (6) третьої поверхні заготовки відносно координатної площини XOZ позбавляє її останнього ступеня свободи – переміщення вздовж осі OY .

Таким чином для визначення положення заготовки у верстаті чи пристрої достатньо шести опорних точок. При кількості опорних точок більше

шести базування не буде однозначним, оскільки невідомо, якими точками заготовка буде контактувати з установчими елементами пристрою.

Розташування опорних точок на базах називають *схемою базування*. Найбільш поширені *схеми базування* можуть бути виконані за допомогою трьох плоских поверхонь, плоскої торцевої та зовнішньої циліндричної поверхонь, торцевої та внутрішньої циліндричної поверхонь, торцевої та внутрішньої конусної поверхонь, поверхонь центрових отворів, плоскої та двох зовнішніх циліндричних поверхонь, плоскої та двох внутрішніх циліндричних поверхонь.

За ступенями свободи, що позбавляються, технологічні бази ділять на установчі, направляючі та опорні.

Установчі бази позбавляють заготовку трьох ступенів свободи – переміщення вздовж однієї координатної осі та повороту кругом двох інших осей. Наприклад при базуванні заготовки однією базовою поверхнею на поверхню магнітної плити обмежується рух заготовки вздовж осі Z і поворот навколо осей X та Y .

Направляюча база позбавляє заготовку двох ступенів свободи - переміщення вздовж однієї координатної осі та повороту кругом другої осі.

Опорна база позбавляє заготовку однієї ступені свободи – переміщення вздовж однієї координатної осі або повороту кругом осі.

5.2. Вибір баз

Принципи постійності та суміщення баз

Принцип постійності баз. На кожній технологічній операції механічної обробки виникає похибка. При використанні в операціях різних баз похибки збільшуються і можуть перевищити допустимі значення.

За принципом постійності бази треба при якомога більшому числі операцій використовувати одну і ту ж базу. Це виключає появу на послідовних операціях погрешностей розташування технологічних баз і підвищує таким чином точність обробки.

За принципом суміщення баз треба як технологічні бази використовувати конструкторські та вимірювальні бази. Це виключає вплив погрешності взаємного розташування технологічних та конструкторських або вимірювальних баз на точність виготовлення деталі.

Принципи постійності та суміщення баз сприяють зменшенню погрешності при обробці.

Вибір баз. Правильний вибір баз повинен забезпечувати високу точність деталей при достатньо високій продуктивності процесу обробки різанням. Вибрані бази повинні забезпечувати потрібне положення заготовки при обробці, жорстке і надійне її закріплення з урахуванням діючих сил і

моментів різання, вільний доступ ріжучого інструменту до оброблюваної поверхні та можливість виконання необхідних вимірювань.

Вибір баз для першої та послідуєчих технологічних операцій. Технологічні бази залежно від стану поверхні заготовки поділяють на *чорнові* і *чистові*.

Чорновими базами називають необроблені поверхні заготовки, які використовують *при виконанні першої операції*. Їх використовують тільки один раз, щоб не було великої погрішності при повторному їх використанні. За чорнову базу краще брати поверхні, які в готової деталі не обробляються, або з яких знімається найменший шар металу.

Після виконання першої технологічної операції використовують *чистові бази* – поверхні оброблені на першій (другій, третій) операції.

Способи базування деталей при обробці. При виборі баз необхідно використовувати правило шести точок, принцип постійності баз та принцип суміщення баз.

При обробці валів найбільш точне базування досягається центровими отворами на торцях валу.

При обробці втулок, дисків, зубчастих коліс, шківів використовують циліндричні поверхні основних отворів, причому установку і закріплення заготовки на верстаті виконують за допомогою оправки.

При базуванні корпусних деталей необхідна наявність плоскості та двох точно оброблених отворів. За установчу технологічну базу приймають плоскість найбільшої довжини, яка є і конструкторською базою. Лінійну і кутову орієнтацію заготовки в цій плоскості виконують за допомогою двох пальців (циліндричного і ромбічного), закріплених на установчій плиті, які входять в технологічні отвори при установці заготовки.

Похибки базування та закріплення заготовок. Сумарна погрішність розмірів і форми заготовки або деталі складається з первинних погрішностей, які утворюють установка заготовки, настройка верстата та самої обробки.

Погрішність установки заготовки виникає при установці заготовки у верстаті або в пристосуванні і складається з погрішностей *базування* і *погрішності закріплення*.

Погрішність *базування* виникає внаслідок не суміщення установчої технологічної бази з вимірювальною і дорівнює різниці граничних відхилень між вимірювальною і установчою поверхнями. При суміщенні баз з конструкторською такі погрішності не виникають. Погрішності базування виникають також під дією сил стискання, контактних деформацій заготовки і пружних деформацій пристосувань.

Погрішність закріплення. На верстатах ріжучий інструмент та упори встановлюють на розмір від установчих базових поверхонь до прикладання сили. В процесі обробки під дією сил установчі бази здвигаются, що призводить до погрішностей закріплення. Їх визначають розрахунком або з

досвіду для кожного конкретного способу закріплення заготовок (значення приводять в довідкових таблицях).

5.3. Точність механічної обробки поверхонь деталей

Поняття про точність обробки. Одним із факторів, який визначає експлуатаційну надійність деталей машин є точність їх виготовлення за геометричними параметрами. Необхідну точність обробки конструктор вказує на кресленні деталі у вигляді допустимих відхилень її геометричних параметрів від номінальних значень.

Точність обробки – це ступінь відповідності виготовленої деталі заданим геометричним характеристикам та вимогам.

До геометричних характеристик точності обробки відносяться:

- точність розмірів поверхонь деталей;
- точність форми, тобто відповідність геометрії поверхонь деталі тим геометричним тілам з якими вони є тотожними;
- точність взаємного розташування поверхонь.

Точність розмірів задається на кресленні деталі позначенням номінальних розмірів в мм з приписом позначення поля допуску, наприклад:

$$12e8\left(\begin{matrix}-0,032 \\ -0,059\end{matrix}\right); 12e8; 12\begin{matrix}-0,032 \\ -0,059\end{matrix}; \varnothing 18H7\left(\begin{matrix}+0,018 \\ 0\end{matrix}\right); \varnothing 18H7; \varnothing 40\pm 0,2$$

де 12, 18, 40 – номінальні розміри в мм;

e – основне (найближче до номінального розміру) відхилення поля допуску валу (за ЄСТД), в даному випадку це верхнє відхилення поля допуску валу, $es=-0,032$ мм;

H – основне відхилення поля допуску отвору $\varnothing 18H7$, в даному випадку нижнє відхилення отвору в системі отвору, $EI=0$; при цьому верхнє відхилення $ES=0,018$ мм

8, 7 – квалітети точності, кожен з яких в заданому інтервалі розмірів визначає величину поля допуску.

Відхилення форми поверхні деталі або реального її профілю від номінального (за кресленням) оцінюється найбільшою відстанню точок реального профілю до прилягаючого номінального профілю по нормалі до нього. Основними видами відхилень форми є (рис. 5.2, а, б, в, г):

- відхилення від прямолінійності та плоскостності (випуклість, увігнутість);
- відхилення від круглості (овальність, огранка);
- відхилення профілю повздовжнього перетину (рис.5.3 - конусоподібність, бочкоподібність, сідлоподібність).

Вимірюють відхилення форми індикаторними головками, мікрометрами, щупами з використанням повірочних лінійок та відповідних пристосувань (призм, центрів, контрольних оправок). Контролюють допустимість відхилень калібрами, шаблонами та спеціальними приладами.

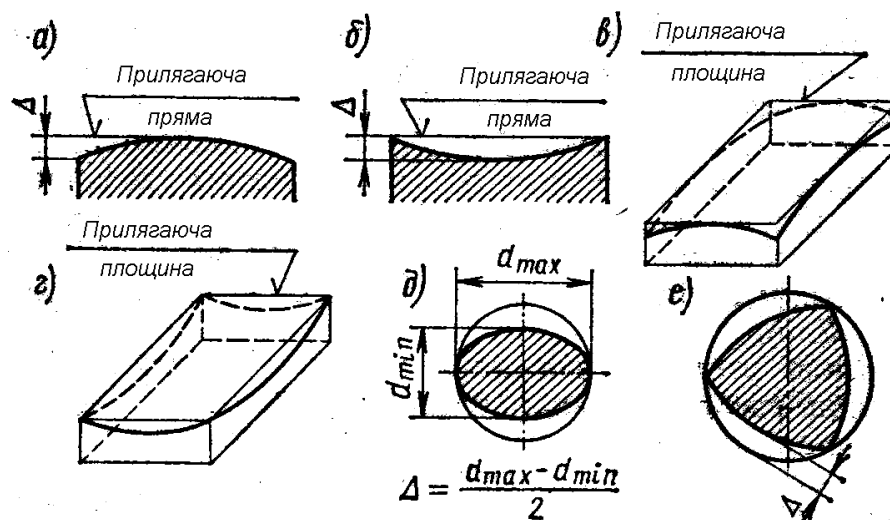


Рис. 5.2. Відхилення форми: а, б – відхилення від прямолінійності, а – випуклість, б – увігнутість; в, г – відхилення від площинності; д, е – відхилення від круглості, д – овальність, е – огранка

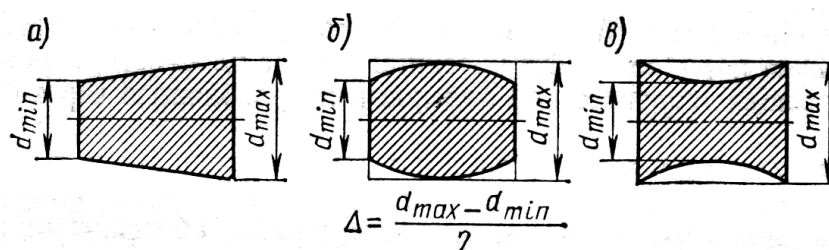


Рис. 5.3. Відхилення профілю поздовжнього перетину: а – конусність; б – бочкоподібність; в – сідлоподібність

Відхилення розташування (рис. 5.4) характеризують відхилення реального розташування поверхонь, ліній, точок від їх номінального розташування. До них відносяться:

- відхилення від паралельності плоскостей (рис. 5.4, а);
- відхилення від паралельності прямих в плоскості (рис. 5.4, б);
- відхилення від паралельності осей поверхонь обертання (рис. 5.4, в);
- перекіс осей (рис. 5.4, г);
- відхилення від паралельності осі поверхні обертання і плоскості (рис. 5.4, з);
- відхилення від перпендикулярності плоскостей, осей або осі і плоскості (рис. 5.4, д);
- торцеве биття (рис. 5.4, е), радіальне биття (рис. 5.4, и);
- відхилення від співвісності відносно базової поверхні (рис. 5.4, ж);
- відхилення від співвісності відносно загальної осі (рис. 5.4, з);
- відхилення від перетину (рис. 5.4, к);
- відхилення від симетричності (рис. 5.4, л);

- зміщення осі (рис. 5.4, м).

5.4. Фактори, які визначають точність обробки та причини

відхилень

До факторів, які визначають точність обробки відносяться:

- точність верстатів, інструменту та пристосувань;
- жорсткість технологічної системи верстат – пристосування – інструмент – заготовка;
- температура ланок технологічної системи;
- знос інструменту;
- внутрішні напруження матеріалу заготовки та ін.

В процесі механічної обробки відхилення геометричних параметрів виникають за такими причинами:

- неточність виготовлення, тобто похибки обробки;
- знос верстату та пристосувань;
- неточність виготовлення та знос інструменту;
- пружні деформації в системі верстат – пристосування – інструмент – деталь;
- температурні деформації;
- деформації під впливом внутрішніх напружень;
- копіювання погрешностей попередньої обробки;
- похибки встановлення інструменту та налагодження верстату на розмір;
- похибки вимірювання;
- неточність установки і базування заготовки.

Слід відзначити, що великі похибки форми і розташування поверхонь значно впливають на роботоздатність деталі і залежать від установки і базування заготовки.

Похибки обробки. *Похибки, які виникають від неточності роботи верстатів* можна розглядати при роботі верстата без навантаження і при навантаженні. *Без навантаження* похибки виникають з-за неточності виготовлення деталей верстата та його складання. Ці похибки піддаються контролю і не повинні перевищувати стандартних норм точності.

Похибки, які виникають при роботі верстата в навантаженому стані залежать від багатьох причин не пов'язаних між собою, а тому піддаються дослідженню тільки методами математичної статистики. Наприклад, при обробці в центрах можуть виникати конусоподібність, бочкоподібність.

Похибки, які виникають внаслідок пружної деформації системи ВПД. Система деформується під дією сил різання, сил затиску. В результаті виникає розсіювання розмірів в партії деталей, хвилястість поверхонь. Це має місце навіть на нових шліфувальних верстатах. Тому виконують декілька робочих ходів без подачі шліфувального круга.

Похибки геометричної форми, які виникають під дією сил різання. Основною причиною виникнення такої похибки є недостатня жорсткість оброблюваних деталей.

Температурні похибки, тобто зміна розмірів і форми деталі під дією температури.

Похибки від напружень. При видаленні шару металу з литих та кованих заготовок внутрішні напруження перерозподіляються, що впливає на форму і розміри деталей. Для зменшення впливу напружень механічну обробку поділяють на чорнову і чистову. Точні деталі підлягають старінню.

Похибки від сил затиску виникають у вигляді деформації як самої деталі, так і поверхневого шару металу (деталі складної форми, втулки та ін.).

Види точності та методи їх розрахунку

При обробці на металорізальних верстатах розглядають два види точності:

- *точність, яка може бути досягнута*, тобто без обмежень часу робітником високої кваліфікації, що значно підвищує собівартість обробки;
- *економічна точність при заданому методі обробки*, яка отримується в нормальних виробничих умовах (справне обладнання, стандартний інструмент, відповідна кваліфікація робітника) при забезпеченні високої продуктивності праці, і вартості, яка не перевищує вартість при інших зіставлених способах.

Для кожного способу обробки є певні границі точності, які обмежують доцільність його використання.

Методи розрахунку точності технологічних процесів обробки. Точність обробки залежить від цілого ряду факторів. При проектуванні технологічного процесу треба знати, яку точність буде забезпечувати той чи інший спосіб обробки. Існують два методи розрахунку точності.

Аналітичний метод, який потребує дослідження всіх первинних погрішностей обробки. З-за складності його використовують в окремих випадках.

Статистичний метод, який оснований на теорії ймовірності і математичної статистики, який дозволяє встановити закономірність погрішностей. За цим методом на основі практичних даних будують криву розподілу числа заготовок залежно від поля розсіювання розмірів. При впливі різних факторів можна отримати різні форми кривих, що характеризують закон розподілу розмірів по допуску. Визначають фактори, які звужують криву, що відповідає вищій точності більшої кількості деталей.

5.5. Якість поверхонь деталей машин

Експлуатаційна надійність і довговічність деталей машин залежить не тільки від точності їх обробки, а і від якості спряжених поверхонь. Якість поверхні визначається її *геометричними характеристиками* та *фізико-механічними властивостями* поверхневого шару.

На відміну від теоретичних поверхонь деталей, що зображаються на кресленнях, на реальних поверхнях в процесі обробки завжди виникають нерівності різної форми і висоти. Висота, форма, характер розташування і напрям нерівностей на поверхнях виготовлених деталей залежать від ряду причин: режиму обробки, умов охолодження і змащування ріжучого інструменту, хімічного складу і мікроструктури оброблюваного матеріалу, конструкції, геометрії і ріжучої спроможності інструменту, типу і стану устаткування, допоміжного інструменту і пристосувань.

Геометричні характеристики якості поверхонь. Шорсткість поверхні. На поверхнях деталей після обробки різанням (точіння, свердлування, фрезерування, шліфування та ін.) остаються сліди ріжучої кромки інструменту чи зерен шліфувального круга у вигляді мікронерівностей, які часто повторюються. Сукупність цих мікронерівностей (з відношенням шагу до висоти не менш 40) називають **шорсткістю** поверхні. Параметри нерівностей залежать від геометрії ріжучого інструменту, властивостей матеріалу деталі та інструменту а також від умов і режимів обробки.

Шорсткість і відхилення форми поверхні характеризують будову поверхні в подовжньому і поперечному напрямках і є сукупністю виступів і западин, різних за розмірами і формою. Хвилястість займає проміжне положення між шорсткістю і відхиленнями форми поверхні. Напрямок нерівностей (сліди обробки різанням) визначається сукупністю рухів ріжучого інструменту і заготовки.

Збільшення шорсткості поверхонь зменшує витрати на обробку, але погіршує якісні показники роботи спряжень деталей. У посадках з зазором передчасно зношуються поверхні, тому що виступи поверхонь стираються, змішуються з мастилом і прискорюють процес зносу поверхонь тертя. У посадках з натягом при з'єднанні виступи зминаються і зменшують натяг. Шорсткість також погіршує герметичність з'єднань та антикорозійну стійкість поверхонь.

Таким чином від вибраних конструктором параметрів шорсткості залежать як вартість деталей, так і їх якість та довговічність роботи.

ДСТУ 2409-94 встановлює шість параметрів для оцінки шорсткості:

R_a – середнє арифметичне відхилення профілю;

R_z – середня висота нерівностей по 10 точках;

R_{max} – найбільша висота нерівностей профілю;

S_m – середній шаг нерівностей;
 S – середній шаг виступів профілю;
 t_p – відносна опорна довжина профілю.

Числові значення шорсткості (мкм) визначають від **базової лінії**, за яку приймається *середня лінія профілю*, тобто лінія номінального профілю m (рис. 5.4).

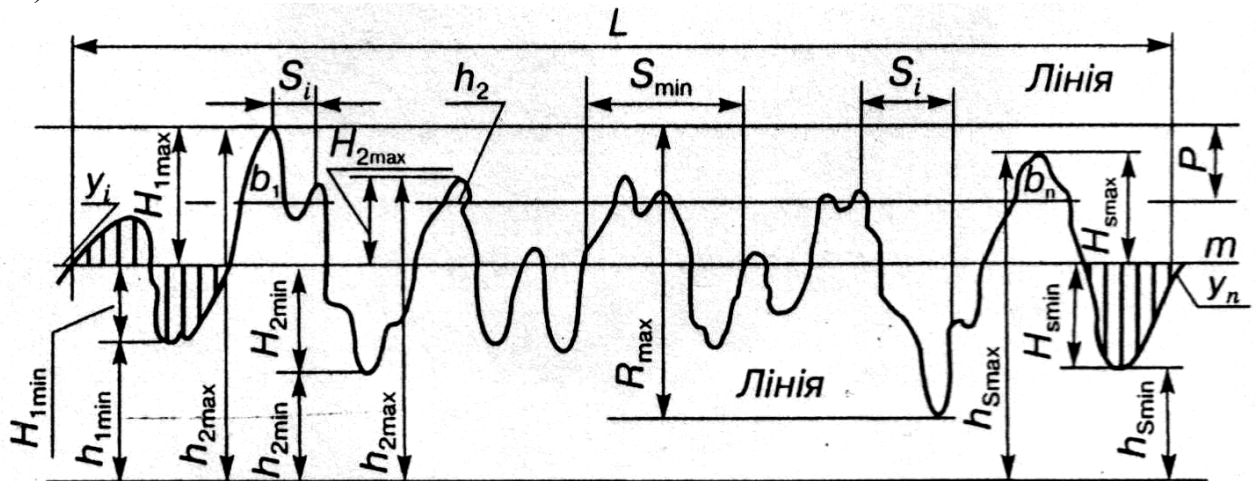


Рис. 5.4. Профіль шорсткості поверхні

Вимірювання ведуть в межах базової довжини L , тобто довжини ділянки поверхні, вибраної для вимірювання шорсткості без урахування інших видів нерівностей (наприклад, хвилястості), що мають більший крок.

Числові значення базової довжини вибирають з ряду 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8; 25 мм.

Основними параметрами шорсткості є R_a та R_z .

R_a визначається як середнє арифметичне з n абсолютних значень відхилень профілю y_i на базовій довжині L :

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|;$$

R_z визначається як сума середніх абсолютних значень висот п'яти найбільших виступів та глибин п'яти найбільших западин профілю в інтервалі базової довжини

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 H_{i \max} + \sum_{i=1}^5 H_{i \min} \right).$$

Значення параметрів шорсткості вибирають з рядів таблиці міждержавного стандарту ГОСТ 2789-73 і вказують з відповідним символом під поличкою умовного знака позначення шорсткості. На кресленнях найчастіше вказують R_a та R_z .

Вибір параметрів шорсткості поверхні залежить від конструкції деталі і функціонального призначення їх поверхонь. Наприклад, для поверхонь відповідальних деталей, що труться, встановлюють допустимі значення Ra (або Rz), R_{max} , t_p . Для невідповідальних поверхонь шорсткість визначається вимогами технічної естетики, корозійною стійкістю, санітарно-гігієнічними вимогами і технологією виготовлення.

Шорсткість поверхні залежить від способів обробки, а при одному і тому ж способі - від режимів різання (подачі, швидкості різання), властивостей і структури оброблюваного матеріалу, геометричних параметрів інструменту і стану його ріжучої частини, вібрації інструменту і деталі при обробці, жорсткості технологічної системи верстат-приспособування-інструмент-деталь (ВППД), характеру пластичної деформації в зоні різання та інших чинників.

Хвилястість поверхні. Хвилястість з'являється унаслідок вібрації, що виникає за певних умов в процесі механічної обробки на верстатах.

Хвилястість за висотою і кроком хвилі має вигляд, близький до синусоїдального. Найбільший вплив на експлуатаційні властивості має висота хвилі, тому вона повинна визначатися при великому збільшенні (1000...3000 разів і більше).

Напрям нерівностей відносно напрямку сил тертя є важливою геометричною характеристикою поверхні. Відповідно до ГОСТ 2789—73 існує шість напрямів нерівностей: паралельне, перпендикулярне, яке перехрещується, довільне, колоподібне, радіальне.

Фізико-механічні властивості поверхневого шару. При обробці заготовки в її поверхневому шарі відбуваються зміни: підвищується поверхнева твердість і виникають залишкові напруження.

Глибина і ступінь такого зміцнення (наклепу) поверхневого шару залежать від властивостей і структури металу деталей, способів, умов і режимів обробки. Ступінь наклепу є відношенням поверхневої твердості до твердості початкового металу.

Маловуглецеві сталі і інші пластичні і в'язкі метали, схильні до пластичної деформації, піддаються більшому наклепу, ніж високовуглецеві і леговані сталі з високою твердістю. При дуже тонкій обробці глибина наклепу складає 1...2 мкм, при грубій - до 0,1...1,0 мм. Для визначення ступені і глибини наклепу застосовують рентгеноструктурний метод, метод косих зрізів, пошарове хімічне травлення, електрополірування та ін. Найпростішим є метод косих зрізів, який полягає у тому, що досліджувану поверхню зразка зрізають під дуже малим кутом ($1^\circ \dots 2^\circ 30'$) притиранням на плиті і вимірюють мікротвердість за допомогою приладу ПМТ-3.

Після механічної обробки в поверхневому шарі виникають залишкові напруження, значення і знак яких залежать від способів і режимів обробки,

властивостей оброблюваного матеріалу, геометрії ріжучого інструменту і його затуплення.

Залишкові напруги виникають при сумісній дії силових і теплових чинників. Силкові чинники викликають пластичні деформації та утворення стискуючих напружень в поверхневому шарі, а теплові – напруження розтягу.

Вплив якості поверхні на експлуатаційні властивості деталей машин

Експлуатаційні властивості деталей залежать від геометричних характеристик поверхні і властивостей поверхневого шару.

У посадках із зазором шорсткість поверхні має значний вплив на зносостійкість. Поверхня з малою шорсткістю не завжди є найбільш зносостійкою, оскільки утримання мастила на поверхні деталей за різних умов тертя (залежно від навантаження, швидкості, матеріалу деталей, що сполучаються, і ін.) залежить від мікрорельєфу поверхонь. Тому залежно від конкретних умов тертя встановлюють оптимальну шорсткість поверхні.

На зносостійкість поверхні впливає опірність поверхневого шару руйнуванню. Виступи мікронерівностей можуть деформуватися - зминатися або навіть зрізатися. При роботі в необхідних умовах рідинного тертя вершини мікронерівностей можуть викликати розриви масляної плівки, і в місцях розривів створюється сухе тертя, яке сприяє перегріву поверхонь та їх швидкому зносу.

У багатьох випадках шорсткість поверхні впливає на міцність деталей. Встановлено, що наявність рисок, глибоких і гострих подряпин створює ділянки концентрації внутрішніх напружень, які надалі призводять до виникнення тріщин та руйнування деталі. Такими ділянками можуть бути також западини між гребінцями мікронерівностей. Але це не відноситься до деталей з чавуну і кольорових сплавів, в яких концентрація напруг виявляється у меншій мірі.

Нерівності, будучи концентраторами напруг, знижують втомну міцність деталей. У деталях з високоміцних легованих і термічно оброблених сталей втомна міцність знижується в більшій мірі, ніж в деталях з низьколегованих і вуглецевих сплавів, а також з чавунів і кольорових металів. Це пояснюється тим, що останні деталі менш чутливі до концентраторів напруг.

При відхиленні форми поверхні спостерігається нерівномірний знос окремих ділянок деталі. Наприклад, при бочкоподібній формі поверхні спочатку зношуються середні ділянки, при увігнутій формі — крайні.

Хвилястість приводить до збільшення питомого тиску, оскільки поверхні, що труться, стикаються виступами хвиль. Причому виступи мікронерівностей можуть деформуватися або навіть зрізатися при русі однієї поверхні, що третяся, відносно іншої. Вершини мікронерівностей або хвиль

можуть викликати розриви масляної плівки, унаслідок чого в місцях розривів створюється сухе тертя.

Міцність з'єднань з натягом також визначається висотою мікронерівностей; при запресуванні однієї деталі в іншу фактичний натяг менше натягу, який був би при запресуванні деталей тих же діаметрів з гладкими поверхнями.

Шорсткість поверхні сильно впливає і на корозійну стійкість.

Гладка поверхня менше дотикається до агресивного середовища, а тому і менший вплив середовища. Чим глибше западини мікронерівностей тим більше виявляється руйнуюча дія корозії, направлена углиб металу.

Корозія металу виникає і в місцях концентрації напруг, а виникаючи у декілька разів зменшує втомну міцність деталей.

Напрямок нерівностей на спряжених поверхнях впливає на коефіцієнт тертя. Особливо важливо регламентувати напрям нерівностей при сухому і граничному терті. Спряжені поверхні із співпадаючим напрямом нерівностей (наприклад, шліфувана шийка і вкладиш, оброблений тонким розточуванням) мають найбільший коефіцієнт тертя. Найменший коефіцієнт тертя досягається при з'єднанні поверхонь з напрямом нерівностей, що перехрещується (отримують хонінгуванням, суперфінішуванням).

Утворення в поверхневому шарі наклепу і стискуючих залишкових напруг, як правило, сприяє збільшенню довговічності деталей машин, оскільки зростає їх втомна міцність. Наклеп зменшує пластичність поверхонь, що труться, і схоплювання металів, що сприяє також зниженню зношування. Проте при більшому наклепі можливе і збільшення зносу та зменшення втомної міцності.

Забезпечення необхідних параметрів якості поверхонь

Шорсткість поверхонь призначається конструктором, виходячи з умов роботи деталі. При надмірно занижених параметрах шорсткості ускладнюється і дорожчає обробка і не завжди поліпшуються експлуатаційні властивості деталей, тому необхідно прагнути до забезпечення оптимальної шорсткості поверхні деталей.

Наприклад при обробці шийок валів під підшипники кочення звичайно призначають шорсткість поверхні $Ra = 0,63$ мкм, а при обробці отворів в корпусних деталях під зовнішні, кільця $Ra = 2,5$ мкм.

Для кожного способу обробки так само, як і для точності існує досяжна і економічна шорсткість поверхні.

Спосіб остаточної обробки залежить від технічних вимог, що пред'являються до готової деталі (точність розмірів, шорсткість поверхні, відхилення форми і взаємного розташування поверхонь, що допускаються, твердість поверхонь). З урахуванням цих вимог остаточним способом обробки може бути чорнова, чистова або фінішна обробка.

Чорною обробкою (точінням, свердленням, фрезеруванням) закінчується виготовлення поверхонь з шорсткістю $Rz = 80 \dots 20$ мкм і точністю обробки по 11...14-му квалітетам.

Чистову обробку (точіння, фрезерування, зенкування, розгортання, шліфування) застосовують для отримання поверхонь з шорсткістю $Ra = 2,5 \dots 0,8$ мкм при 6...9-у квалітетах точності.

При підвищених вимогах до точності і шорсткості поверхні після чистової обробки виконують фінішні операції (тонке шліфування, суперфінішування, хонінгування, полірування, притирання, вигладжування, накочення і розкатування).

Необхідні параметри якості поверхні деталі забезпечуються правильним вибором способу обробки, умов і режимів різання, геометрії інструменту, виду МОР та інших чинників. Управляючи процесом обробки різанням, можна одержати в поверхневому шарі необхідну глибину і ступінь наклепу, а також такі поверхневі напруги, які в сумі з виникаючими при експлуатації напругами сприятимуть збільшенню втомної міцності. При тонкій абразивній обробці - хонінгуванні, поліруванні і притиранні - в поверхневому шарі створюються переважно стискуючі напруги, тоді як при шліфуванні, особливо при грубих режимах, під впливом теплового чинника внутрішні напруги в основному розтягу.

Тема 6. Основні теоретичні відомості про процес різання. Технологічні операції обробки поверхонь деталей

Питання до вивчення

- 6.1. Основні відомості про ефективність обробки та металорізальні верстати.
- 6.2. Теоретичні відомості про процес різання.
- 6.3.
- 6.4. Елементи режиму різання при точінні.
- 6.5. Сили різання при точінні і потужність точіння.
- 6.6. Матеріали для ріжучих інструментів.

6.1. Основні відомості про ефективність обробки та металорізальні верстати

Основні характеристики ефективності обробки різанням. Різанням обробляють поверхні деталі, високі точність розмірів і якість яких неможливо отримати при виготовленні заготовки. Звичайно це поверхні, які з'єднуються з відповідними поверхнями інших деталей або поверхні деталей, які отримують обробкою різанням. Процес обробки доволі трудомісткий, а отже, й дорогий. Достатньо сказати, що вартість обробки різанням перевищує 30% вартості готової машини. Окрім того при обробці утворюються значні відходи металу у вигляді стружки, які в умовах масового виробництва досягають 10% маси заготовок, а в умовах дрібносерійного й одиничного виробництва зростають до 20...30%.

Важливими критеріями оцінки ефективності обробки металів різанням є *продуктивність* верстата, його *точність*, *надійність* і *гнучкість*. *Продуктивність* оцінюється здатністю верстата забезпечити обробку певної кількості деталей за одиницю часу. З метою скорочення часу обробки застосовують різальні інструменти підвищеної стійкості, запроваджують активний контроль розмірів оброблених поверхонь, автоматизацію заміни інструментів, транспортування і закріплювання заготовок та зняття оброблених виробів. *Гнучкість* характеризується можливістю верстата до швидкого переналагоджування з переходом на виготовлення іншої деталі.

Водночас з різанням розширюється обробка методами холодного пластичного деформування без зняття стружки (накочування різьб і зубчастих коліс, обкочування й розкочування циліндричних, конічних і фасонних поверхонь роликми або кульками, калібрування отворів жорсткими інструментами). Отже, технології виготовлення деталей різанням і холодною обробкою тиском часто конкурують між собою.

Для обробки сучасних високоміцних матеріалів успішно застосовують електрофізичні й електрохімічні методи (електроерозійні, анодного розчинення, ультразвукові, променеві тощо).

Класифікація металорізальних верстатів

Металорізальний верстат - це технологічна машина, призначена для формоутворення деталей обробкою різанням.

Металорізальні верстати класифікують за технологічним способом обробки, ступенем універсальності, точністю. Залежно від **технологічного способу обробки** металорізальні верстати прийнято поділяти на дев'ять груп.

До *першої групи* належать **токарні верстати**. На токарному верстаті заготовку обробляють різцем, рідше свердлом, зенкером, розверткою, мітчиком, плашкою тощо.

Характерною особливістю верстата є обертання заготовки довкола своєї осі (головний рух різання) та переміщення інструмента (рух подачі) паралельно до осі обертання заготовки при обробці циліндричної поверхні, перпендикулярно до осі обертання заготовки при обробці плоскої поверхні або під кутом до осі обертання заготовки при обробці конічної поверхні. Якщо рухи поздовжньої та поперечної подач виконувати одночасно, то можна отримати фасонну поверхню.

До *другої групи* належать **свердлильні** та **розточувальні** верстати, які призначені переважно для обробки отворів. Тут інструментами служать свердла, зенкери, розвертки, мітчики, рідше різці. Під час свердління інструмент одночасно виконує головний рух різання і рух подачі, а заготовка закріплена нерухомо.

До *третьої групи* належать **шліфувальні, полірувальні та викінчувальні верстати**. Різальними інструментами є шліфувальні круги, абразивні бруски та нанесені на круг абразивні порошки. Схеми обробки - різноманітні. У випадку зовнішнього круглого шліфування інструмент виконує головний рух різання і рух поперечної подачі, а заготовка - складний рух подачі (поздовжню і колову). Окрім циліндричних, на верстатах третьої групи обробляють конічні, плоскі та фасонні поверхні.

До *четвертої групи* належать **комбіновані верстати** та **верстати електрофізичної і електрохімічної обробки**. Комбіновані верстати призначені для декількох різних технологічних способів обробки (стругання та шліфування, фрезерування й шліфування тощо). У електрофізичних та електрохімічних способах обробки для відокремлювання від заготовки частинок матеріалу використовують електричний струм або фізичні явища, зумовлені електричним струмом.

П'ята група об'єднує **зубо- та різьбообробні верстати**. Інструментами служать модульні фрези, довбачі, зубонарізні гребінки та спеціальні різці.

До *шостої групи* належать **фрезерні верстати**. В них різальними інструментами є різні типи фрез. Головний рух різання - обертання фрези, а рух подачі - переміщення заготовки.

До сьомої групи належать **стругальні, довбальні та протягувальні верстати**. Різальними інструментами служать різці або протяжки.

Розрізні верстати восьмої групи призначені для розрізування металу на частини за допомогою тонких шліфувальних кругів, стрічкових або дискових пил тощо.

Дев'ята група об'єднує різні за технологічними можливостями верстати.

У свою чергу, кожна група металорізальних верстатів складається із різних *типів* (до дев'яти). Типи об'єднані *спільними технологічними ознаками та конструктивними особливостями*. Тип може складатись з кількох *моделей*. У кожній моделі втілено певне конструктивне виконання верстата конкретної групи й типорозміру.

Розглянута класифікація дає змогу присвоювати кожному верстатові, що випускається серійно, *індекс моделі* у вигляді трьох або чотирьох цифр, а також літер.

Перша цифра визначає номер групи верстата, друга - номер типу, третя або третя і четверта цифри разом — основний розмір верстата (висота центрів, розміри стола) або основний розмір заготовки (максимальний діаметр прутка або максимальний діаметр оброблюваної заготовки) чи розмір інструмента (наприклад, умовний діаметр свердла).

Наприклад, модель 1К62 означає: 1 - група токарних верстатів; К - модернізація верстата; 6 – гвинторізний; 2 – висота центрів 200 мм.

Модель верстата 2А135 означає: 2 - верстат свердлильної групи; 1 - тип верстата (вертикально-свердлильний); 35 — найбільший умовний діаметр свердління (мм); літера А свідчить про модернізацію базової моделі 2135.

У моделях верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) в кінці індексу записують букву Ф з цифрою: Ф1 — верстати з цифровою індикацією і попереднім набором координат; Ф2 — з позиційною системою керування, де переміщення по двох осях відбувається незалежно; Ф3 - з контурною системою. Наприклад, індекс 16К20Ф3 означає що: 1 - верстат токарної групи; 6 -тип (токарний або лобовий); 20 - висота центрів (200 мм); Ф3 -верстат, оснащений контурною системою керування, в якому взаємопов'язані переміщення супорта уздовж і впоперек осі обертання шпинделя.

За **ступенем універсальності** верстати поділяють на універсальні, спеціалізовані та спеціальні.

На *універсальних верстатах* загального призначення обробляють вироби різних назв і типорозмірів у певному діапазоні геометричних параметрів. У цих верстатах широкий діапазон величин головного руху різання і рухів подач, вони забезпечені механізмами швидких переміщень столів, супортів, бабок. До універсальних верстатів належать токарно-гвинторізні, вертикально-свердлильні, горизонтально-фрезерні тощо. Їх застосовують переважно в одиничному й дрібносерійному виробництвах.

Спеціалізовані верстати призначені для обробки конструктивно подібних виробів різних типорозмірів у певному діапазоні геометричних параметрів. До таких верстатів належать багато-різцеві токарні, токарні для обробки колінчастих валів та ін. Для них характерне швидке переналагоджування на обробку виробів інших розмірів. Ці верстати застосовують у середньо-і багатосерійному виробництві.

Спеціальні верстати служать для обробки одного виробу або для виконання однієї операції, наприклад розточування блока циліндрів в умовах багатосерійного й масового виробництва. Вони конструктивно прості, мають найвищу продуктивність, автоматизовані.

Верстатобудівні заводи випускають верстати **п'яти класів точності**: нормальної (Н), підвищеної (П), високої (В), особливо високої (А) і прецизійної (С). До верстатів *нормальної точності* належить більшість універсальних верстатів. Основні деталі верстатів *підвищеної точності* виготовлені з вищими вимогами порівняно з верстатами нормальної точності. У верстатах *високої точності* порівняно з базовою моделлю окремі деталі мають спеціальну конструкцію. Основні вузли й деталі верстатів *особливо високої точності* виготовлені точніше, ніж у верстатів високої точності. *Прецизійні* верстати характеризуються найвищою точністю. Клас точності верстата, крім нормального, проставляють в кінці індексу його моделі. Наприклад, модель 16K20В — токарно-гвинторізний верстат високої (В) точності.

Протягом останніх десятиліть у промислово розвинених країнах світу запроваджено у виробництво *багатоцільові верстати* ("обробні центри"), які не вписуються у наведену вище класифікацію металорізальних верстатів за технологічним способом обробки. Багатоцільові верстати здатні виконувати багато різноманітних технологічних способів обробки.

Характерною особливістю багатоцільового верстата є наявність у його конструкції пристрою числового програмного керування, одного або декількох робочих органів, магазину інструментів і механізму для автоматичної заміни інструментів. На цих верстатах можна обробляти багато поверхонь і є можливість переміщень окремих його частин по різних координатах. Ці верстати універсальні й не орієнтовані на обробку лише певної групи деталей. Ефективність роботи - в автоматизації допоміжних рухів. Обробні центри доцільно використовувати в одиничному й дрібносерійному виробництві.

6.2. Теоретичні відомості про процес різання

Фізичні основи процесу різання. До *фізичних явищ*, що супроводжують процес різання, належать деформації, тертя і виділення теплоти в зоні обробки, а також наріст, усадка стружки й спрацювання

різального інструмента. Без урахування цих явищ неможливо обґрунтовано вибрати матеріали для різальних інструментів і відповідні їм оптимальні режими різання, необхідні для забезпечення високої продуктивності праці та якості оброблених поверхонь.

Утворення стружки та її види. Різальний інструмент 2 (рис. 6.1, а), що має форму клина, рухаючись у напрямку стрілки *A*, деформує матеріал заготовки 1 спочатку пружно (зона *I*), далі пластично (зона *II*) і врешті відокремлює частину поверхневого шару у вигляді стружки. Елементарний об'єм майбутньої стружки *i*, що має в основі паралелограм, внаслідок пластичних деформацій набуває вигляду основи трапеції (рис. 6.1, б). Коли напруження, що діють у площині *0-0*, досягають границі міцності металу, елемент *i* починає пересуватись вздовж цієї площини (рис. 6.1, в). Аналогічно утворюються наступні елементи стружки. Площину *0-0* називають *площиною зсуву*, а кут β , утворений напрямком руху інструмента та цією площиною, - *кутом зсуву*. Для сталей середньої пластичності $\beta = 30^\circ$.

Окрім цього, з боку різця до поверхонь заготовки та стружки прикладені значні напруження стиснення, які в поєднанні з високою температурою призводять до сильних пластичних деформацій обробленої поверхні (зона *IV*) і прилеглої до різця поверхні стружки (зона *III*).

Залежно від властивостей оброблюваного металу, режиму різання, геометрії різального інструмента, а також наявності або відсутності мастильно-охолодної рідини створюються умови для утворення одного з *трьох видів стружки*: стрічкоподібної, відколюваної або надламаної.

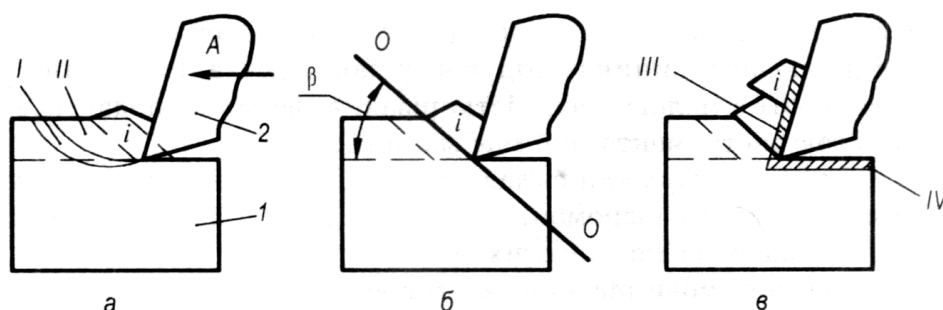


Рис. 6.1. послідовність переходу деформованого металу в стружку:

I - заготовка; 2 - різець; *I* - зона пружної деформації; *II* — зона пластичної деформації; *III* - зона поверхневої пластичної деформації стружки; *IV* - зона поверхневої пластичної деформації обробленої поверхні; *A* - напрямок руху різця; *0-0* - площина зсуву; β - кут зсуву; *i* - елемент стружки

Стрічкоподібна стружка має вигляд суцільної стрічки з гладкою поверхнею контакту з різцем (рис. 6.2, а). На протилежній поверхні видно значну кількість невеликих зазубрин - слідів виходу на вільну поверхню деяких елементів стружки. Чіткі границі між сусідніми елементами стружки не спостерігаються. Стрічкоподібна стружка утворюється під час різання пластичних металів, особливо в умовах великої швидкості різання, малої

подачі й при великому куті γ між передньою поверхнею різця та перпендикуляром до обробленої поверхні.

Стружка відколювана також суцільна й складається з добре видимих розмежованих елементів (рис. 6.2, б). З боку різця поверхня стружки гладка, а протилежна до неї поверхня має виразніші зазубрини, ніж стрічкоподібна стружка. Стружка відколювана виникає під час різання металів середньої пластичності з малою швидкістю різання, великою подачею за допомогою інструмента, що має малий кут γ .

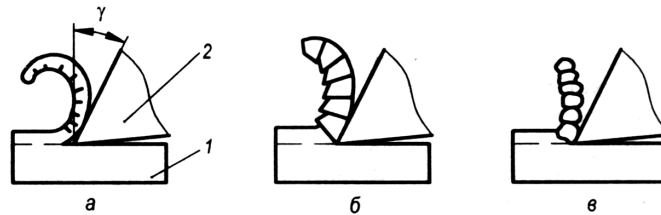


Рис. 6.2. Вид стружки: стрічкоподібна (а); відколювана (б); надламана (в); 1 - заготовка; 2 - різець; γ - передній кут різця

Надламана стружка складається з незв'язаних між собою окремих елементів різноманітної форми (рис. 9.2, в) і утворюється під час обробки крихких металів.

Змінюючи умови різання, можна впливати на пластичність оброблюваного матеріалу, а отже, і на перехід від одного виду стружки до іншого.

Вид стружки впливає на якість обробленої поверхні, спрацювання різального інструмента, сили різання й умови відведення стружки із зони обробки.

Теплові явища при різанні металів.

Механічна робота, що витрачається на відокремлювання стружки, майже повністю перетворюється у теплоту. Тут головними джерелами теплоти є: деформації в зоні утворення стружки; тертя стружки по передній поверхні інструмента; тертя між інструментом та заготовкою.

Утворена теплота відводиться зі стружкою, переходить у заготовку, інструмент і довкілля. На підставі сказаного можна записати рівняння теплового балансу різання:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4, \quad (6.1)$$

де Q_1 - кількість теплоти, що утворюється внаслідок пружних пластичних

деформацій оброблюваного матеріалу;

Q_2 - кількість теплоти, що виділяється внаслідок тертя стружки по передній поверхні інструмента;

Q_3 - кількість теплоти, що виділяється внаслідок тертя між головною задньою поверхнею інструмента й поверхнею різання заготовки;

- q_1 - кількість теплоти, що відводиться зі стружкою;
- q_2 - кількість теплоти, що переходить у заготовку;
- q_3 - кількість теплоти, що переходить в інструмент;
- q_4 - кількість теплоти, що переходить у довкілля.

Числові значення складових рівняння теплового балансу залежать від матеріалу заготовки, методу її обробки, режиму різання, матеріалу інструмента, його геометрії тощо. На розподіл теплоти найбільше впливає швидкість різання, зі зростанням якої значення q_1 може досягати 80% і більше. Найменша кількість теплоти переходить в інструмент ($q_3 = 2...8\%$) і в довкілля ($q_4 = 1\%$). Незважаючи на низьке значення q_3 , температура в деяких місцях інструмента досягає 800...1000°C з-за низької теплопровідності його матеріалу та постійного контакту під час різання зі стружкою і заготовкою. Висока температура інструмента є причиною швидкого його спрацювання. Нагрівання заготовки призводить до зміни її розмірів під час обробки. Це слід враховувати, вибираючи методи закріплення заготовки та контролюючи її розміри.

Утворення наросту при різанні. Під впливом високого тиску й температури тонкий шар стружки, що контактує з інструментом, сильно нагрівається і за сприятливих умов може відокремитись від основної її маси й приваритись до контактної поверхні інструмента у вигляді наросту.

Наріст непостійний за розмірами і не розташовується рівномірно вздовж різального вістря. Під дією сил різання деякі частинки наросту періодично викришуються і на їх місці з'являються нові. *Наріст* - це сильно zdeформований і зміцнений метал, його структура відрізняється від структури заготовки і стружки. Твердість наросту значно вища, ніж твердість заготовки. Тому наріст може брати участь у процесі різання. Перебуваючи на передній поверхні інструмента 3 (рис. 6.3), наріст 2 захищає її від непомірного спрацювання. Наріст зменшує кут загострення від β_n до β , чим зменшує силу різання. Водночас наріст погіршує якість обробленої поверхні, змінює її розміри, зумовлює вібрації під час обробки внаслідок коливання сили різання. Ось чому наріст - явище позитивне тільки для чорнової обробки, а у випадку чистової обробки наросту слід уникати.

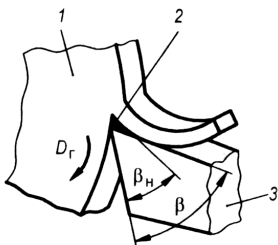


Рис. 6.3. Схема утворення наросту: 1 - заготовка; 2 - наріст; 3 - різець; D_r — головний рух різання; β_n , β - кут загострення

На утворення наросту впливають такі фактори, як пластичність оброблюваного металу, швидкість різання, геометрія різального інструмента, мастильно-охолодні рідини. Найсприятливіші умови

для утворення наросту створюються, коли швидкість різання $V = 20 \dots 30$ м/хв. Водночас, коли $V < 10$ м/хв і $V > 70$ м/хв, наріст не утворюється.

Щоб запобігти утворенню наросту, треба створити умови, за яких в зоні різання не виникають висока температура та великий тиск. До них належать застосування мастильно-охолодних рідин і полірування передньої поверхні інструмента.

Спрацювання і стійкість різальних інструментів. *Спрацювання* — це поступове руйнування поверхонь інструмента, що контактують зі стружкою й заготовкою і перебувають під дією високого тиску, тертя та температури. Розрізняють декілька механізмів спрацювання різальних інструментів: абразивне; адгезійне; дифузійне; теплове (оксидувальне).

Абразивне спрацювання відбувається внаслідок дряпання поверхні інструмента твердими частинками оброблюваного матеріалу (карбідами, оксидами, зернами піску, який є на поверхні виливків).

Адгезійне спрацювання тісно пов'язане з утворенням наросту та подальшим його руйнуванням, коли разом з наростом відокремлюються і виносяться стружкою частинки матеріалу різального інструмента.

Дифузійне спрацювання спричинене взаємною дифузією матеріалу заготовки й інструмента, внаслідок чого інструмент частково втрачає вуглець і легувальні елементи, що призводить до зниження його твердості, а відповідно й зносостійкості. Зростання температури в зоні різання підсилює дифузійне спрацювання.

Теплове спрацювання відбувається внаслідок утворення на поверхні інструмента оксидів, які мають підвищену крихкість і схильність до руйнування. Зруйновані оксиди виносяться стружкою. Інтенсивність теплового спрацювання залежить від температури й хімічного складу матеріалу інструмента. Особливо активно теплове спрацювання відбувається, коли температура перевищує $700 \dots 800^\circ\text{C}$. Для інструментальних і швидкорізальних сталей теплове спрацювання незначне і ним можна знехтувати.

Окрім перелічених вище механізмів спрацювання виникають також пошкодження різального вістря у вигляді сколів, зумовлених механічними й тепловими перевантаженнями. Такі сколи можна спостерігати в інструментах з підвищеною крихкістю (тверді сплави, керамічні матеріали).

Під час обробки металів різанням виявляються такі *види спрацювання*:

- переважно по задній поверхні (рис. 6.4, а);
- переважно по передній поверхні (рис. 6.4, б);
- по передній і задній поверхнях - змішаний вид (рис. 6.4, в).

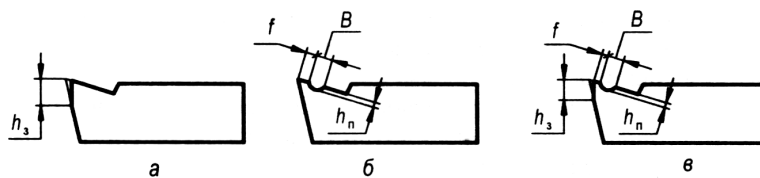


Рис. 6.4. Види спрацювання різців: переважно по задній поверхні (а); переважно по передній поверхні (б); змішане (в); h_z - висота смужки спрацювання; h_n - глибина і B - ширина спрацювання; f - ширина фаски

Спрацювання по задній поверхні характеризується висотою утвореної плоскої смужки h_z і виявляється у випадку обробки крихких матеріалів, а також пластичних матеріалів, якщо товщина зрізуваного шару a не перевищує 0,1 мм.

Спрацювання по передній поверхні характеризується глибиною h_n і шириною B заглибини й відбувається під час обробки пластичних металів за великих швидкостей різання й значної товщини зрізуваного шару $a > 0,5$ мм.

Змішаний вид спрацювання спостерігається під час обробки пластичних металів із середніми швидкостями різання, якщо товщина зрізу $a = 0,1...0,5$ мм.

Кількісний вираз допустимого значення спрацювання називається *критерієм затуплення інструмента*. У випадку спрацювання по задній поверхні інструмента, а також, якщо вид спрацювання змішаний, критерієм затуплення служить величина h_z . Для токарних різців із швидкорізальної сталі допустиме значення спрацювання $h_z = 1,5...2$ мм, для різців з пластинками з твердого сплаву $h_z = 0,8...1$ мм, для різців з пластинками з інструментального керамічного матеріалу $h_z = 0,5...0,8$ мм.

У разі спрацювання по передній поверхні критерієм затуплення є розміри заглибини (h_n і B) та значення f .

Допустимому значенню затуплення інструмента відповідає період його стійкості.

Періодом стійкості T різального інструмента називається час безперервної його роботи в хвилинах до моменту допустимого затуплення при певному режимі різання. Період стійкості токарних різців перебуває в межах 30...90 хв. Він залежить від властивостей матеріалу інструмента та заготовки, режиму різання, геометрії інструмента й умов обробки. Найбільший вплив на стійкість має швидкість різання.

Вплив геометрії інструмента та МОР на процес різання.

Передній кут γ (рис. 6.5) сильно впливає на стійкість інструмента та силові параметри різання. Чим *більший* кут, тим *менша сила різання*, але і одночасно *менша міцність* клиноподібного різального леза. Стійкість інструмента найвища при оптимальних значеннях кута. Передній кут γ вибирають у межах $+35...-15^\circ$. Інструмент з великим додатнім кутом

використовують для обробки м'яких матеріалів, а з великим від'ємним - для твердих та високоміцних.

Збільшення заднього кута α зменшує тертя по задній поверхні та підвищує якість обробленої поверхні, однак ослаблює різальне лезо. Задній кут вибирають у межах 6...15°. Більші значення рекомендують для обробки м'яких матеріалів з меншими товщинами зрізаного шару.

Кути в плані φ і φ_1 та радіус r при вершині кута загострення δ впливають на: стійкість інструмента (стійкість більша при менших φ і φ_1 , та більшому r); шорсткість обробленої поверхні (менша при більшому r і менших φ і φ_1). Однак збільшення r і зменшення φ і φ_1 збільшує сили різання, а тому може спричинити вібрації в технологічній системі, які знижують стійкість інструментів та точність і якість обробки.

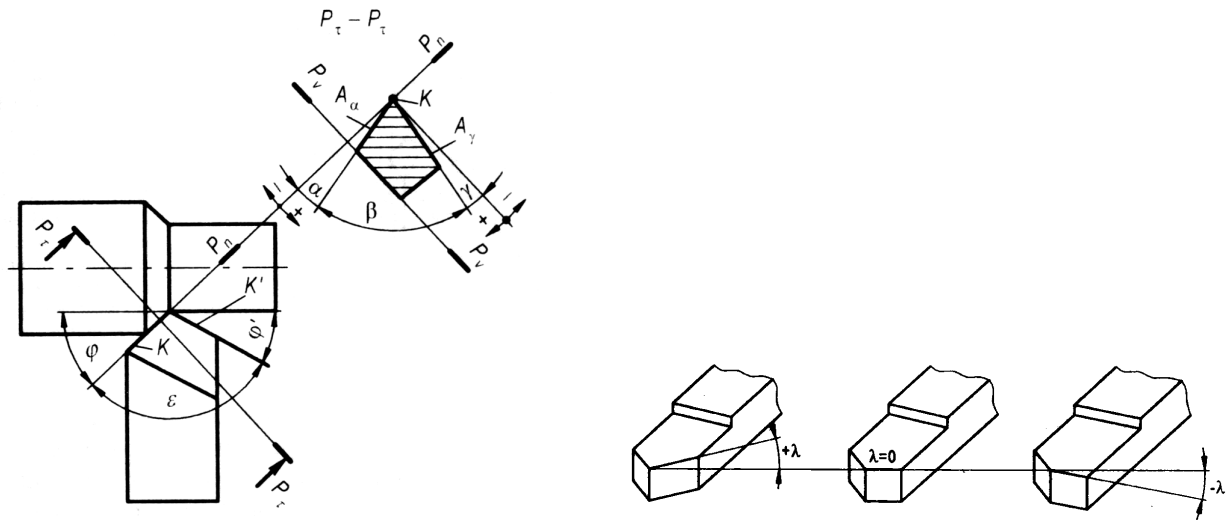


Рис. 6. 5. Кути і координатні площини токарного різця: P_V – основна площина; K – головна, а K' – допоміжна ріжуча кромка; A_γ – передня, а A_α – задня головні поверхні; γ – головний передній кут; α – головний задній кут; β – головний кут загострення; φ – головний кут у плані; φ' –

Мастильно-охолоджувальні рідини (МОР) дають можливість різко зменшити зношування інструмента, підвищити якість обробленої поверхні та застосовувати значно вищі режими різання, а таким чином підвищити продуктивність обробки. Усі МОР за хімічним складом прийнято поділяти на емульсійні, синтетичні і масляні.

Емульсійні МОР (5-10% розчин емульсолу у воді) – виготовляються з емульсолів, що включають: мінеральні масла, емульгатори, інгібітори корозії, соду, бактерицидні речовини, речовини зв'язки, антипінні 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.

Синтетичні і напівсинтетичні МОР. Поділяються на електроліти (водні розчини інгібіторів корозії: сода, бура, тринатрійфосфат, нітрит натрію) та водяні розчини полімерів і ПАВ. *Напівсинтетичні МОР* частково містять мінеральну олію і мають підвищені охолоджувальні властивості. Наприклад: Аквол 10-М, Аквол-11 (використовуються у вигляді 3-10% розчину у воді).

Масляні МОР - чисті мінеральні (60...95 %) або рослинні (дорогі) масла з присадками (антифрикційними, антизношувальними, антизадирними, антипінними, антитуманними) та інгібіторами корозії. Наприклад: МР1...6, ОСМ1, 3, 5; сульфофрезол.

Масляні МОР мають підвищені мастильні властивості. Їх застосовують для обробки сталей складними швидкорізальними інструментами, на токарних автоматах і т.п.

Допустима швидкість різання. У визначених умовах обробки між періодом стійкості інструмента T й швидкістю різання V існує залежність, що має вигляд степеневої функції

$$V = \frac{A}{T^m}, \quad (6.2)$$

де A - стала величина, яка залежить від матеріалу інструмента й заготовки, геометрії інструмента, глибини різання, подачі та мастильно-охолодної рідини;

m - показник відносної стійкості інструмента, який залежить від тих самих факторів, що й A , $m = 0,1...0,3$.

Рівняння (6.2.2) було отримане американським дослідником *Ф. Тейлором*. Якщо задані величина періоду стійкості та всі умови обробки, від яких залежать A і m , то числове значення V , обчислене за рівнянням (6.2.2), називається *допустимою швидкістю різання*, тобто такою, перевищувати яку не рекомендується, інакше період стійкості інструмента буде істотно знижений.

Елементи режиму різання при точінні і площа зрізуваного шару

Режим різання під час точіння складається з окремих елементів - глибини різання, подачі й швидкості різання.

Глибиною різання t (мм) (рис. 6.6) під час точіння називають відстань між оброблюваною й обробленою поверхнями, виміряну перпендикулярно до останньої:

$$t = \frac{D - d}{2}, \quad (6.3)$$

де D - діаметр оброблюваної поверхні, мм;

d - діаметр обробленої поверхні, мм.

Подачею S є переміщення головного різального ребра інструмента відносно обробленої поверхні в міліметрах за один оберт заготовки (мм/об).

Швидкістю різання V (м/хв) називається лінійна швидкість точки, розташованої на оброблюваній поверхні заготовки, відносно головного різального ребра

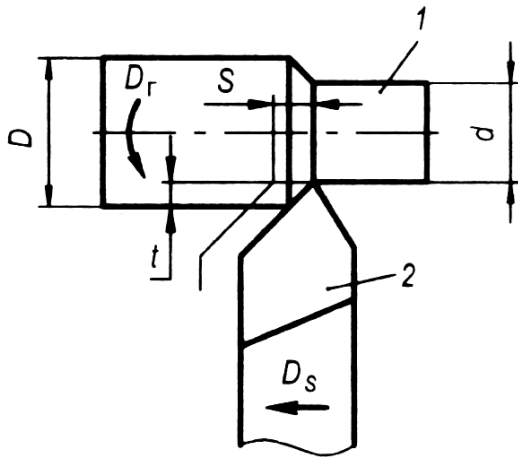


Рис. 6.6. Елементи режиму різання при точінні: 1 - заготовка; 2 - різець; D_r - головний рух різання; D_s - рух подачі; t - глибина різання; S - подача; D і d - діаметри оброблюваної та обробленої поверхонь

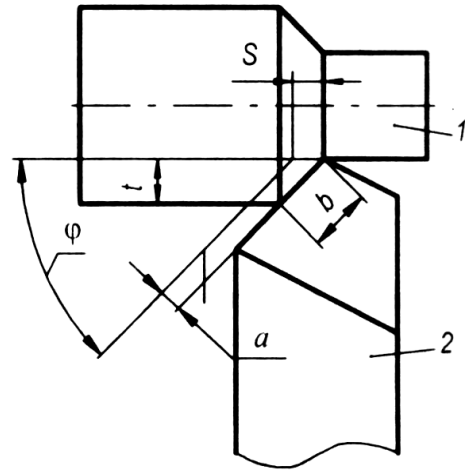


Рис. 6.7. Площа зрізуваного шару: 1 — заготовка; 2 — різець; a - товщина зрізуваного шару; b - ширина зрізуваного шару; S - подача; t - глибина різання; φ — головний кут у плані

$$V = \frac{\pi \times D \times n}{1000}, \quad (6.4)$$

де n - частота обертання заготовки, хв^{-1} .

Метою вибору оптимальних значень елементів режиму різання є забезпечення найбільшої продуктивності та необхідної якості обробленої поверхні.

При детальному аналізі процесу різання розглядають номінальну площу зрізуваного шару f (мм^2), яку обчислюють за формулою:

$$f = a \times b = t \times S, \quad (6.5)$$

де a - товщина зрізуваного шару (рис. 6.7), мм;

b - ширина зрізуваного шару, мм.

Сили різання при точінні і потужність точіння

Сила різання під час точіння, що діє на різець з боку заготовки, спричинена такими основними факторами:

- опором металу стружки й заготовки пластичній і пружній деформаціям;

- силою тертя стружки по передній поверхні різця;
- силою тертя між поверхнею різання та головною задньою поверхнею різця.

З достатньою для інженерних розрахунків точністю приймаємо, що сила різання під час точіння F (рис. 6.8) прикладена в точці O , яка є посередині тої частини різального ребра, що бере участь у різанні. Для зручності подальших наших міркувань силу F розглянемо в просторовій декартовій координатній системі x, y, z , початок якої сумістимо з точкою O . При цьому вісь x розташуємо паралельно до осі обертання заготовки, вісь y - перпендикулярно до осі обертання, а вісь z співпадає (при нехтуванні рухом подачі) з вектором лінійної швидкості точки O заготовки.

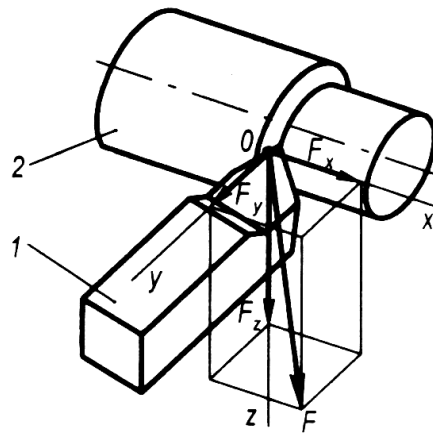


Рис. 6.8. Сила різання під час точіння F і її складові: F_z - головна складова сили різання; F_x - осьова складова; F_y — радіальна складова сили різання; 1 - різець; 2 - заготовка

Спроекуємо силу F на осі x, y, z . Проекцію сили F на вісь z називають осьовою складовою сили різання F_x . Значення цієї сили необхідно знати в розрахунках на міцність деталей механізмів подач верстата. Проекцію сили F на вісь y називають її радіальною складовою F_y . Сила F_y прогинає заготовку та стає особливо небезпечною у випадку обробки довгих заготовок малого діаметра. Вона спричинює вібрації, а також призводить до зниження точності розмірів обробленої поверхні. Проекцію сили F на вісь z називають її головною складовою F_z . За значенням F_z розраховують на міцність деталі механізмів коробки швидкостей. Окрім цього, за силами F_x, F_y, F_z вибирають поперечний переріз держака різця.

Силу F_z (Н) обчислюють за емпіричною формулою:

$$F_z = C \times t^x \times S^y \times V^z, \quad (6.6)$$

де C - коефіцієнт, що враховує механічні властивості оброблюваного

матеріалу, значення кутів різця тощо;

x, y, z - показники степенів відповідно при глибині різання t , подачі S та швидкості різання V .

Для конкретних умов обробки значення коефіцієнта C , а також показників степенів x, y, z можна знайти у відповідних довідниках.

Існують також формули для визначення сил F_x і F_y , аналогічні (6.6).

Значення сил F_x, F_y, F_z можна також виміряти під час різання динамометрами різних конструкцій.

Ефективна потужність N_e (кВт) - це та потужність, що витрачається на різання. У випадку точіння з поздовжньою подачею вона становить:

$$N_e = \frac{F_z \times V}{60 \times 10^3} + \frac{F_x \times S \times n}{60 \times 10^3 \times 10^3}, \quad (6.7)$$

де n - частота обертання заготовки, хв¹.

Потужність електродвигуна:

$$N_{el} = \frac{N_e}{\eta}, \quad (6.8)$$

де η - коефіцієнт корисної дії токарного верстата, $\eta = 0,7...0,8$.

6.3. Матеріали для різальних інструментів

Різальні інструменти для обробки металів працюють в умовах високого тиску, температури й тертя, а тому матеріали для них повинні мати високу твердість, теплостійкість і міцність.

Для виготовлення різальних інструментів використовують:

- інструментальні нелеговані (вуглецеві) сталі;
- інструментальні леговані сталі;
- швидкорізальні сталі;
- тверді сплави;
- безвольфрамові тверді сплави;
- інструментальні керамічні матеріали.

Інструментальні нелеговані (вуглецеві) сталі, що використовуються для виготовлення металообробних інструментів, містять у своєму складі 1,0...1,3 % вуглецю. Найліпшими серед них є сталі марок У10А, У12А. Під час гартування і низького відпускання вони забезпечують інструментам твердість 60...62 HRC і теплостійкість до 200...220 °С. Загартований інструмент легко шліфується, тому отримує добру гостроту різального вістря. Істотним недоліком нелегованих сталей є їх мала прогартовуваність і низька теплостійкість, тому з них виготовляють переважно інструменти для ручної праці.

Інструментальні низьколеговані сталі (9ХС, ХВГ, 12ХН3А, ...) порівняно з нелегованими сталями мають кращу прогартовуваність, тому з них виготовляють інструменти більшого розміру. Для них допустима швидкість різання - до $V = 15...20$ м/хв.

Швидкорізальні сталі (P18, P6M5, ...) належать до високолегованих інструментальних сталей. З них виготовляють інструменти, для яких допустима швидкість різання під час обробки сталей і чавунів – до $V = 35...40$ м/хв.

Тверді сплави (BK8, T15K6, T5K12, TT7K12...) - це інструментальні матеріали, які складаються із карбідів вольфраму (WC), титану (TiC) і танталу (TaC), а також зв'язувального металу - кобальту. Тверді сплави завдяки дуже високій твердості та великій теплостійкості допускають швидкість різання до $V = 150...300$ м/хв.

Безвольфрамкові тверді сплави мають у своєму складі карбід титану або карбонітрид титану та зв'язувальну речовину у вигляді сплаву нікелю з молібденом.

Інструментальні керамічні матеріали виготовляють на основі оксиду алюмінію Al_2O_3 .

Питання до самостійної роботи та підготовки до модульних контрольних робіт

1. Об'єкти машинобудівного виробництва та їх елементи.
2. Виробничий і технологічний процеси.
3. Типи виробництв, їх характеристики та методи визначення.
4. Основні принципи організації виробничих процесів.
5. Вибір матеріалу заготовки. Вимоги до матеріалів заготовок.
6. Марки матеріалів заготовок. Умовні позначення матеріалів.
7. Використання чавунів для заготовок деталей машин.
8. Сталі загального призначення. Сталі підвищеної та високої оброблюваності різанням. Конструкційні вуглецеві сталі.
9. Сталі леговані конструкційні.
10. Сталі високолеговані, корозійностійкі, жаростійкі та жароміцні.
11. Ливарні мідно-цинкові сплави (латуні). Деформівні латуні.
12. Деформівні бронзи. Бронзи безолов'яні.
13. Алюмінієві ливарні сплави.
14. Загальні відомості про припуски на обробку заготовок різанням. Техніко-економічне значення припусків та методи їх визначення.
15. Фактори, які впливають на величину припуску.
16. Розрахунково-аналітичний метод визначення припусків.
17. Визначення розмірів заготовок.
18. Застосування виливків у енергомашинобудуванні. Вимоги до технологічних властивостей матеріалів виливків.
19. Лиття в одноразові та напівсталі форми.
20. Виробництво виливків у металевих формах.
21. Спеціальні способи виробництва виливків.
22. Особливості конструювання виливків.
23. Заготовки із сортового і спеціального прокату. Виготовлення заготовок куванням.
24. Виготовлення заготовок штампуванням.
25. Штампування на спеціалізованих машинах. Завершальні операції виробництва штампованих заготовок.
26. Особливості конструювання кованок.
27. Основні поняття щодо баз. Класифікація баз по призначенню: технологічні, конструкторські та вимірні бази.
28. Правила вибору баз для першої та послідовних операцій механічної обробки деталей.
29. Принципи постійності баз та суміщення баз.
30. Правило шести крапок.

31. Похибки встановлення та закріплення деталей при механічній обробці. Способи встановлення деталей при обробці.
32. Умовні позначення при виконання схеми базування деталей при механічній обробці деталей машин.
33. Поняття про точність обробки. Фактори, які впливають на точність обробки.
34. Економічна точність обробки. Методи визначення точності обробки.
35. Поняття про якість поверхонь. Фактори, які впливають на якість поверхонь.
36. Шорсткість поверхонь. Відхилення форми і взаємного розташування поверхонь.
37. Основні характеристики ефективності обробки різанням. Класифікація металорізальних верстатів.
38. Фізичні основи процесу різання: утворення стружки та її види, теплові явища, наріст, спрацювання і стійкість різальних інструментів.
39. Елементи режиму різання при точінні.
40. Застосування МОР в процесах різання. Матеріали для різальних інструментів.

Рекомендована література

Базова

1. Боженко Л.І. Технологія машинобудування: проектування та виробництво заготовок: підручник /Л.І. Боженко. – Львів: Світ, 1996. – 368 с.
2. Горбатюк Є.О. Технологія машинобудування: навчальний посібник / Є.О.Горбатюк, М.П. Мазур, А.С. Зенкін, В.Д. Каразей. – Львів: «Новий світ – 2000», 2011. -358 с.
3. Данилевский В.В. Технология машиностроения / В.В. Данилевский. - М.: Высшая школа, 1984. – 416 с.
4. Егоров М.Е. Технология машиностроения / М.Е. Егоров и др. – М.: Высшая школа, 1976. – 534с.
5. Мосталыгин Г.П. Технология машиностроения / Г.П. Мосталыгин, М.М. Толмачевский. – М: Высшая школа, 1990.
6. Рохлин А.Г. Технология производства судовых дизелей / А.Г. Рохлин – Л.: Судостроение, 1968. – 343 с.
7. Свечков И.Н. Технология компрессоростроения / И.Н.Свечков, А.М. Ярославский. – М.: Машиностроение, 1978. – 200 с.
8. Соловьёв С.Н. Специальная технология судового машиностроения: учебник / С.Н.Соловьёв, М.М.Сисюкин, Д.Д.Шевченко, В.Н.Шапочников [2-е изд. перераб. и доп.]. – Л.: Судостроение, 1985. – 360 с.
9. Технология двигателестроения: Учебник /А.Л. Карунин, О.А. Дашенко, В.И. Гладков и др.; Под ред. А.И. Дашенко. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш шк., 2006. – 608 с.
10. Ястребова Н.А. Технология компрессоростроения: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Холодильные и компрессорные машины и установки» / Н.А.Ястребова, А.И.Кондаков, В.Д. Лубенец, А.Н.Виноградов. – М.: Машиностроение, 1987. – 336 с.

Додаткова

- 11.Афонькин М.Г. Производство заготовок в машиностроении /М.Г. Афонькин, В.Б. Звягин. – СПб.: Политехника, 2007. – 380 с.
- 12.Базров Б.М. Основы технологии машиностроения: учебник для вузов / Б.М. Базров. – М.: Машиностроение, 2005. – 736 с.
- 13.Бушуев М.Н. Технология производства турбин / М.Н.Бушуев. – М.: Машиностроение, 1966. – 416 с.
- 14.Воронцов И.А. Технология ремонта быстроходных дизелей (типа В2-300 и Д6) / И.А. Воронцов и др. – М.: Машиностроение, 1961. – 468 с.

15. Гельфгат Ю.М. Сборник задач и упражнений по технологии машиностроения / Ю.М. Гельфгат. - М.: Высшая школа. 1975.
16. Григурко І.О. Технологія обробки типових деталей: практикум / І.О. Григурко, М.Ф. Брендуля, С.М. Доценко. – Львів: «Новий світ - 2000», 2010. - 472 с.
17. Данилевский В.В., Гельфгат Ю.И. Лабораторные работы и практические занятия по технологии машиностроения / В.В. Данилевский, Ю.И. Гельфгат. – М.: Высш. шк., 1988. – 222 с.
18. Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование и расчёт на прочность поршневых и комбинированных двигателей / Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1984. – 384 с.
19. Косилова А.Г. Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении: справочник технолога / А.Г. Косилова. - М.: Машиностроение, 1973.
20. Кузмак Е.М. Основы технологии аппаратостроения / Е.М.Кузмак. – М.: Недра, 1967. – 468 с.
21. Міренський І.Г. Основи технології машинобудування: навчальний посібник / І.Г.Міренський. – Харків: ХНАМГ, 2007. – 275 с.
22. Новиков М.П. Основы технологии сборки машин и механизмов / М.П. Новиков. – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.
23. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні: Навч. посібник / П.О. Руденко. – К.: Вища шк., 1993. – 414 с.
24. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. Т.1 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 656 с.
25. Суслов А.Г. Технология машиностроения: учебник для студентов механических специальностей вузов. 2-е изд. перераб. и доп. / А.Г.Суслов. – М.: Машиностроение, 2007. – 430 с.
26. Галицкий Б.А. Технология компрессоростроения. 3-е изд. перераб. и доп. / Б.А.Галицкий, Б.И. Беляков. – М.: Машиностроение, 1961. – 526 с.
27. 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.
28. Технология металлов і конструкционные материалы / Б.А. Кузьмин, Ю.Е. Абраменко, М.А. Кудрявцев и др.; по общ. ред. Б.А. Кузьмина. – М.: Машиностроение, 1989. - 496 с.
29. Технология производства судовых энергетических установок: учебник / П.А.Дорошенко, А.Г.Рохлин, В.П.Булатов и др. – Л.: Судостроение, 1988.
30. Ягудин М.Л. Технология производства двигателей внутреннего сгорания / М.Л. Ягудин. - М.: Машиностроение, 1967. - 347с.

ЗМІСТ

Тема 1. Характеристика енергомашинобудівного виробництва	3
1.1. Вступ. Суть і зміст дисципліни.....	3
1.2. Об'єкти машинобудівного виробництва та їх елементи	3
1.3. Виробничий та технологічний процеси	6
1.4. Типи виробництв, їх характеристики та методи визначення	8
1.5. Основні принципи організації виробничих процесів	10
Тема 2. Матеріали для заготовок деталей машин.....	12
2.1. Принципи вибору матеріалу для заготовки.....	12
2.2. Вимоги до матеріалів заготовок	13
2.3. Марки матеріалів заготовок	14
2.4. Умовні позначення матеріалів	16
2.5. Використання чавунів	17
2.6. Використання сталей	18
2.7. Використання кольорових сплавів	23
Тема 3. Технології виготовлення заготовок деталей.....	27
3.1. Загальні відомості про виготовлення виливків	27
3.2. Технології виробництва литих заготовок	31
3.3. Загальні відомості про виготовлення заготовок пластичним деформуванням.....	39
3.4. Основні способи ОМТ	40
Тема 4. Припуски на механічну обробку, допуски і напуски.....	58
4.1. Загальні відомості про припуски на обробку заготовок різанням ...	58
4.2. Техніко-економічне значення припусків та методи їх визначення ..	59
4.3. Фактори, які впливають на величину припуску	60
4.4. Розрахунково-аналітичний метод визначення розмірів заготовок ...	62
Тема 5. Базування і бази в машинобудуванні.....	65
5.1. Основні поняття про бази	65
5.2. Вибір баз	68
5.3. Точність механічної обробки поверхонь деталей.....	70
5.4. Фактори, які визначають точність обробки та причини відхилень..	72
5.5. Якість поверхонь деталей машин.....	74
Тема 6. Основні теоретичні відомості про процес різання.....	80
6.1. Основні відомості про ефективність обробки та металорізальні верстати.....	80
6.2. Теоретичні відомості про процес різання.....	92
6.3. Матеріали для різальних інструментів.....	95
Питання до самостійної роботи та підготовки до модульних контрольних робіт	95
Література	97

Навчальне видання

ОШОВСЬКИЙ Віктор Якович

ТЕХНОЛОГІЯ ЕНЕРГОМАШИНОБУДУВАННЯ

Конспект лекцій

Відповідальний за випуск *Ошовський В.Я.*

Макетування *В.Я. Ошовський*

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 5,8. Тираж 10.