

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

В.М.ПЛЕСКАЧ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни «Технологія виробництва заготовок та контроль якості
продукції» для студентів спеціальності G8 Матеріалознавство

спеціалізації Композиційні та порошкові матеріали, покриття
усіх форми навчання

Конспект лекцій з дисципліни «Технологія виробництва заготовок та контроль якості продукції» для студентів спеціальності G8 Матеріалознавство спеціалізації Композиційні та порошкові матеріали, покриття усіх форми навчання / Укл.: В.М.Плескач – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка, 2026. - 94 с.

Укладач: В.М.Плескач, доц., к.т.н.

Рецензент: О.А.Мітяєв, проф., д.т.н.

Відповідальний за випуск: В.М.Плескач, доц., к.т.н.

Затверджено на засіданні
кафедри композиційних
матеріалів, хімії та технологій,
протокол № 2 від 25.08.2025 р.

Рекомендовано до видання НМК
факультету БАД,
протокол № 1 від 11.09.2025 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Точність виготовлення деталей машин.....	5
2 Шорсткість поверхні деталей машин.....	9
3 Поняття основних відхилень і поля допуску.....	14
4 Посадки. Види і використання посадок.....	17
5 Заготовка, її види і характеристики.....	24
6 Напуски, припуски; номінальний розмір заготовки.....	27
7 Технологічні особливості основних способів лиття.....	30
8 Проектування литої заготовки.....	34
9 Основні методи виробництва заготовок обробленням тиском. Технологічні особливості різних видів обладнання.	45
10 Виготовлення кованих і штампованих заготовок.....	51
11 Проектування штампованих заготовок.....	57
12 Основні способи виготовлення зварних і комбінованих заготовок.....	66
13 Чинники, що впливають на вибір методу виготовлення заготовок.....	73
14 Методи техніко-економічного аналізу.....	79
15 Якість продукції. Показники якості.....	84
16 Методи контролю якості продукції.....	88
Перелік джерел посилань.....	92
Додаток А. Формули розрахунку допусків.....	94

ВСТУП

Вивчення студентами дисципліни «Технологія виготовлення заготовок та контроль якості продукції» сприяє розширенню фахових знань та практичних навичок студентів щодо використання різних технологій отримання заготовок, порівняннях їх та обґрунтування вибору оптимальної технології; знайомить з правилами забезпечення точності та якості виробів.

На підставі засвоєного лекційного матеріалу студенти готуються до практичної діяльності, набуваючи такі компетенції як:

- здатність здійснювати оптимальний вибір технологічного обладнання, комплектацію технічних комплексів, мати базові уявлення про правила їх експлуатації;
- здатність оцінювати можливості основних методів виробництва заготовок та їхній вплив на властивості і якість заготовок;
- здатність виконувати технічні вимірювання, аналізувати одержані результати вимірювань;
- аналізувати якість отриманої продукції.

Сьогодні, в умовах ринкової економіки і світової глобалізації суспільство не може існувати без технічного законодавства та нормативних документів, які регламентують правила, процеси, методи виготовлення та контролю якості продукції. Кожен інженерно-технічний працівник повинен чітко усвідомлювати значення економічно обґрунтованого вибору способу виготовлення заготовок з метою забезпечення їх заданих якісних характеристик, знати, які показники характеризують якість продукції, та основні методи її контролю.

1 ТОЧНІСТЬ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

В умовах сучасного серійного виробництва підприємству доводиться виготовляти або купувати велику кількість однотипних деталей, які потім використовуються при складанні вузлів, приладів, та інших різноманітних машин і механізмів. Запорукою зручного, якісного і швидкого складання є можливість використання будь-якої з партії виготовлених деталей без додаткової підготовки чи оброблення. Така їхня властивість називається *взаємозамінністю* [1].

Під взаємозамінністю розуміють властивість незалежно виготовлених деталей і вузлів, що сполучаються при складанні, займати своє положення без додаткових операцій регулювання або припасування. Взаємозамінність ґрунтується на виготовленні деталей із заданим ступенем точності.

Номінальний розмір деталі визначається конструктором, виходячи з розрахунку на міцність, жорсткість або виходячи з інших показників згідно з функціональним призначенням деталі. Він зафіксований у технічній документації на деталь. Виготовити всі деталі партії одного точного розміру неможливо. Залежно від передбаченого для деталі класу точності допускаються певні відхилення від розміру, визначеного конструктором. Вони у свою чергу визначають граничні розміри (максимальний і мінімальний) деталей у партії, що виготовляється. Діапазон між максимальними і мінімальними граничними розмірами деталей у партії утворює поле допустимих відхилень розмірів, або *допуск* на номінальний розмір деталі.

Терміни, визначення числових значень і позначення допусків і посадок установлює система стандартів «Єдина система допусків та посадок» (ЄСДП). Основні терміни та визначення з'єднань та їх елементів наведено у ДСТУ 2500-94 [2]. Стандарт ДСТУ ISO 286-1-2002 [3] наводить основи системи допусків і посадок, узгоджені з ISO, разом з розрахованими значеннями стандартних допусків і основних відхилів.

Обидва стандарти представляють всесвітньо прийняту систему допусків і посадок. Для спрощення у них розглянуті лише терміни, допуски і відхили циліндричних деталей круглого перерізу. Але на цих термінах базуються поняття про допуски та посадки не тільки гладких

елементів (циліндричних і обмежених паралельними площинами), а й будь-яких інших (конічних, різбових тощо).

Згідно зі стандартом **розміром** називається числове значення лінійної величини (діаметра, довжини тощо) у вибраних одиницях вимірювання. У машинобудуванні розміри деталей задаються у міліметрах [1, 3].

На практиці розрізняють розміри валу і отвору. Термін **вал** застосовується для позначення всіх *зовнішніх* елементів деталей, включаючи і нециліндричні елементи, а термін **отвір** – аналогічно для позначення відповідно *внутрішніх* елементів деталей. Іншими словами, під терміном «вал» розуміють будь-яку поверхню, яка у сполученні охоплюється іншою, а під терміном «отвір» – поверхня, яка охоплює сполучену з нею поверхню (наприклад, вал і підшипник ковзання, шпонка і паз, в який вона входить).

Лінія, що на кресленні відповідає номінальному значенню розміру, називається **нульовою**. Якщо нульова лінія розташована горизонтально, то додатні відхилення відкладаються вгору від неї, а від’ємні – вниз (рис. 1.1).

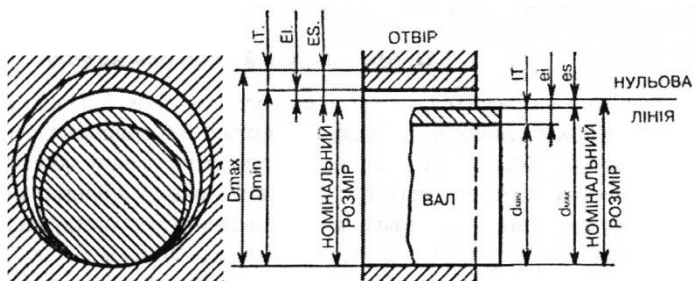


Рисунок 1.1 - Розташування допусків і граничних відхилень отвору і валу відносно нульової лінії

Точність виготовлення визначається допуском на номінальний розмір. **Стандартним допуском IT** (International Toleranz) називається різниця між найбільшим D_{max} і найменшим D_{min} граничними розмірами, встановленими чинною системою стандартів допусків і посадок:

$$IT = D_{\max} - D_{\min}. \quad (1.1)$$

Величина допуску залежить від номінального розміру деталі і міри її точності – квалітету. **Квалітетом** називається сукупність допусків, що розглядаються як відповідні одному рівню точності для всіх номінальних розмірів. Стандартом установлені квалітети 01, 0, 1, 2, 3, 4, 5, ... 17, 18. Найбільшій точності відповідають квалітети 01, 0; найменшій – 17, 18. Найточніші квалітети (01, 0, 1, 2, 3, 4), як правило, застосовуються при виготовленні зразкових мір і калібрів. Квалітети від 5-го до 11-го застосовуються для сполучуваних елементів деталей, а квалітети від 12-го до 18-го – для не сполучуваних [1, 3].

Допуск **IT** розраховується за формулою

$$IT = k \cdot i, \quad (1.2)$$

де **k** – кількість одиниць допуску, установлена для кожного квалітету, **i** – одиниця допуску, яка залежить лише від розміру (додаток А).

На кресленнях та інших технічних документах прийнято наводити один спільний розмір для вала та отвору – номінальний розмір **D** – і вказувати граничні відхилення від нього. **Граничні відхилення** – це алгебраїчна різниця між гранично допустимими і номінальними розмірами. Згідно зі стандартами у таблицях і текстах граничні відхилення та інші позначення для отворів пишуться великими латинськими буквами, а для валів – малими.

Верхнє відхилення ES, es становить алгебраїчну різницю між найбільшим граничним і відповідним номінальним розмірами:

$$ES = D_{\max} - D; \quad es = d_{\max} - D. \quad (1.3)$$

Нижнє відхилення EI, ei знаходиться як алгебраїчна різниця між найменшим граничним і відповідним номінальним розмірами:

$$EI = D_{\min} - D; \quad ei = d_{\min} - D. \quad (1.4)$$

Позначення ES, EI відносяться до граничних віхилень отвору, а es, ei – до відповідних відхилень валу.

Скорочено допуск за визначеним квалітетом позначається сполученням великих латинських літер **IT** з порядковим номером квалітету. Наприклад, **IT9** означає допуск за дев'ятим квалітетом.

Для певних квалітетів та в інтервалі більшості номінальних розмірів значення допуску є постійним для розмірів будь-яких елементів (валів, отворів, пазів, уступів тощо) і у будь-яких полях допусків. Іншою особливістю допусків за системою ЄСДП є те, що, починаючи з п'ятого квалітету, допуск під час переходу до наступного, грубішого квалітету збільшується на 60%. Тобто через кожні п'ять квалітетів допуск збільшується приблизно у 10 разів.

Числові значення допусків (граничних відхилень) для різних, основних відхилень і квалітетів наведені у ДСТУ ISO 286-2-2002 [4].

Допуск є мірою точності розміру. Чим точнішою має бути деталь, тим меншими допускаються відхилення від визначеного номінального розміру. Допуск безпосередньо впливає на трудомісткість виготовлення і собівартість деталей. Оскільки кожний наявний метод оброблення може дати свою досяжну точність виготовлення, визначений конструктором квалітет точності певного розміру поверхні дозволяє орієнтовно обрати спосіб її оброблення.

При виборі (призначенні) квалітетів необхідно враховувати низку чинників.

Техніко-економічні чинники. Вищі квалітети підвищують якість виробу, але це ускладнює процес виготовлення і різко збільшує вартість виробів. Тому потрібно призначати таку точність, яка при найменших витратах забезпечить задану працездатність.

Технологічні можливості досягнення заданої точності. Можливість досягнення заданої точності залежить від наявних у виробника технологій, обладнання та його стану.

Середній рівень точності, який забезпечує працездатність виробу за заданих умов експлуатації. Він визначається за досвідом виготовлення і експлуатації подібних виробів.

Можливість перевірки наміченої точності розмірів. Для цього потрібно, щоб досяжна точність наявних засобів вимірювання відповідала необхідній точності виготовлення виробу.

2 ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Поряд з точністю шорсткість поверхні виготовленої деталі дуже важлива з точки зору забезпечення тривалої і надійної її експлуатації. Основні терміни, визначення понять та інші характеристики структури поверхонь визначаються ДСТУ ISO 4287:2012 [5].

Шорсткість поверхні – це сукупність мікронерівностей поверхні з відносно малими кроками, виділена за допомогою базової довжини. Графічне зображення реального профілю, отримане у площині, перпендикулярній до поверхні під час вимірювання шорсткості, називається *профілограмою* (рис. 2.1).

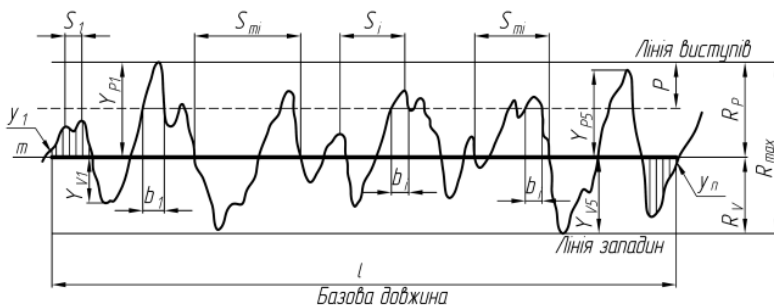


Рисунок 2.1 – Профілограма та основні параметри шорсткості поверхні

Профілограма відображає стан базової поверхні. **Базова поверхня** має форму номінальної поверхні, а її положення відповідає загальному напрямку реальної поверхні у просторі.

Аналіз шорсткості поверхонь базується на системі середньої лінії профілю - системі відліку, основою якою для оцінювання параметрів шорсткості поверхні вибрана середня лінія профілю.

Середня лінія профілю m – базова лінія, яка має форму номінального профілю та ділить реальний профіль так, що в межах базової довжини сума квадратів відхилень профілю від цієї лінії є мінімальна (рис. 2.1). Профілограму розглядають на середній лінії профілю на ділянці базової довжини l .

Базова довжина l - довжина середньої лінії профілю, що використовується для відокремлення нерівностей, які характеризують шорсткість поверхні.

На профілограмі відхилення профілю від середньої лінії розглядаються як виступи і западини. **Виступом профілю** називається частина реального профілю, що з'єднує дві сусідні точки перерізу його середньою лінією профілю і направлена *із тіла*. **Западиною профілю** називається частина реального профілю, що з'єднує дві сусідні точки перерізу його середньою лінією профілю та направлена *в тіло*.

Кількісною характеристикою відхилення будь-якої точки профілю є **відхилення профілю** y_i – відстань між точкою реального профілю та середньою лінією.

Величини виступів і западин обмежуються на профілограмі лініями виступів і западин профілю. **Лінією виступів профілю** називається лінія, що еквідистантна середній лінії та проходить через *найвищу точку* профілю в межах базової довжини. **Лінією западини профілю** називається лінія, що еквідистантна середній лінії та проходить через *найнижчу точку* профілю в межах базової довжини.

Чинний стандарт встановлює перелік нормованих параметрів мікронерівностей, які повинні застосовуватися при встановленні вимог та при контролі шорсткості поверхні, числові значення параметрів та загальні вказівки стосовно вимог до шорсткості поверхні. Цей стандарт поширюється на шорсткість поверхонь виробів незалежно від їх матеріалу та способу виготовлення (отримання поверхні).

Кількісно шорсткість поверхонь оцінюється такими основними параметрами [6].

Середнє арифметичне відхилення профілю Ra - середнє арифметичне абсолютних значень відхилень профілю у межах базової довжини:

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|, \quad (2.1)$$

де y_i – відхилення профілю - відстань між будь-якою точкою профілю і середньою лінією, яка виміряна по нормалі, що проведена до середньої лінії через цю точку профілю;

n – кількість дискретних відхилень профілю;

l – базова довжина.

Висота нерівностей профілю по десяти точках Rz – сума середніх абсолютних значень висот п'яти найбільших виступів профілю та глибин п'яти найбільших западин профілю у межах базової довжини:

$$Rz = \frac{1}{5} \left[\sum_{i=1}^5 |y_{p_i}| + \sum_{i=1}^5 |y_{v_i}| \right], \quad (2.2)$$

де y_{p_i} – висота i -го найбільшого виступу профілю;

y_{v_i} – глибина i -ої найбільшої западини профілю (рис. 2.1).

Найбільша висота нерівностей профілю R_{max} – відстань між лінією виступів і лінією западин профілю в межах базової довжини (рис. 2.1).

Параметри Ra та Rz характеризують усереднену висоту нерівностей, дублюючи один одного. Обидва ці параметри є певною мірою умовними, і жоден з них не має переваг перед іншими при оцінюванні шорсткості поверхні. Проте вважається, що параметр Ra є кращим тому, що він забезпечений надійнішими засобами вимірювань.

За необхідності, додатково до параметрів шорсткості поверхні встановлюються вимоги до напрямку нерівностей поверхні, до способу або послідовності способів отримання поверхні.

Шорсткість поверхні на кресленнях позначається такими знаками (рис. 2.2):

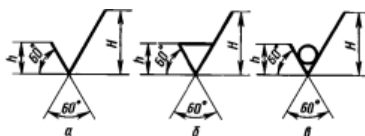


Рисунок 2.2– Знаки для позначення шорсткості

Знак, наведений на рис. 2.2 а, встановлюється на поверхні, для якої спосіб оброблення не визначений конструктором. Знак, наведений на рис. 2.2 б, передбачає обов'язкове видалення шару матеріалу тим чи іншим способом, наприклад, точінням, шліфуванням, травленням тощо. Знак, наведений на рис. 2.2 в, показує, що поверхня може бути одержана без зняття шару металу, наприклад, литтям, штампуванням, наплавленням тощо.

Числові значення параметрів Ra, Rz, Rmax задаються у мікрометрах. Вони можуть бути також призначені найбільшим допустимим значенням параметра, наприклад, $\sqrt{Ra\ 6,3}$ або найменшим допустимим значенням параметра, наприклад, $\sqrt{Rz50min}$.

Вибір числових значень параметрів шорсткості повинен проводитися відповідно до умов роботи виробу та вимог експлуатації нормованої поверхні. Шорсткість поверхні може бути призначена за одним із способів:

- за рекомендаціями з вибору числових значень параметрів для найтипівіших видів поверхонь, наведених у довідковій літературі;
- за стандартами на деталі та вироби, а також на поверхні, з якими вони з'єднуються, наприклад, вимоги до шорсткості поверхонь під підшипники кочення;
- за відсутності рекомендацій з визначення параметрів шорсткості їх вибір пов'язують з допусками розмірів і форми поверхонь, хоч однозначного зв'язку між цими параметрами немає.

Для вимірювання шорсткості застосовуються прилади – профілометри і профілографи [6].

Існують контактні та безконтактні *профілометри*. У контактних приладах як щуп застосовується алмазна голка, що переміщається по певній лінії вздовж поверхні. Нерівності викликають механічні коливання голки, внаслідок чого формується електричний сигнал, пропорційний розмірам нерівностей. До безконтактних відносяться оптичні профілометри, що використовують методи тіньової проекції, світлового перерізу та інтерференції, та лазерні, які використовують метод зсуву частоти випромінювання. Покази профілометрів виводяться на дисплей приладу і дають уявлення про характер нерівностей досліджуваної поверхні - їх висоту та глибину.

Профілограф - це прилад, який також призначається для контролю параметрів шорсткості поверхні, однак у профілографі результати вимірів представляються у вигляді кривої - профілограми, що визначає і хвилястість, і шорсткість поверхні. Оброблення результатів проводиться графоаналітичним методом.

Крім перелічених пристроїв: профілометрів та профілографів - існують комбіновані прилади, які називаються *профілографи-профілометри*. Це прилади, призначені для запису вимірюваних

параметрів мікронерівностей поверхні (профілограми) на паперовий носій і одночасного спостереження в режимі реального часу за результатами вимірювань, які проводяться за допомогою пристрою, що показує, - цифрового або аналогового.

3 ПОНЯТТЯ ОСНОВНИХ ВІДХИЛЕНЬ І ПОЛЯ ДОПУСКУ

Конструктор визначає номінальний розмір деталі і граничні відхилення. Поле, обмежене найбільшим і найменшим граничними розмірами, яке визначається величиною допуску і його положенням відносно номінального розміру (графічно – відносно нульової лінії), називається **полем допуску**. Поле допуску – поняття, ширше за допуск; оскільки воно характеризується своєю і величиною і його розміщенням відносно розміру (нульової лінії).

При утворенні складальних з'єднань велику роль відіграє саме положення поля допуску відносно нульової лінії, яке визначається основними відхиленнями. **Основним відхиленням називається одне з двох граничних відхилень (верхнє чи нижнє), що визначає положення поля допуску відносно нульової лінії.** Таким відхиленням є, як правило, найближче до нульової лінії відхилення.

ДСТУ ISO 286-1-2002 [3] передбачає 28 основних відхилень, які позначаються для отворів буквами **A, B, C, CD, D, ..., Y, Z, ZA, ZB, ZC**, а для валів – **a, b, c, cd, d, ..., y, z, za, zb, zc**. Значення основних відхилень валів і отворів не залежить від обраного квалітету.

Для **отворів** основні відхилення, позначені буквами **A...H**, знаходяться **над** нульовою лінією і задаються лише нижнім відхиленням **EI**. Основні відхилення, позначені буквами **J...ZC**, знаходяться **під** нульовою лінією; вони у свою чергу задані верхнім відхиленням **ES**. Для **валів** основні відхилення, позначені буквами **a...h**, знаходяться **під** нульовою лінією і задаються верхніми відхиленнями **es**, а основні відхилення, позначені буквами **j...zc** – **над** нею. Вони задаються нижніми відхиленнями **ei** (рис. 3.1).

Інакше кажучи, буквами **A...H (a...h)** позначають відхилення «**в тіло**» отвору або валу (тобто спрямоване на збільшення можливого зазору), а буквами **J...ZC (j...zc)** – відхилення у протилежному напрямку.

Особливий випадок: якщо основне відхилення позначається буквами **H (h)**, воно є **дотичним до нульової лінії**.

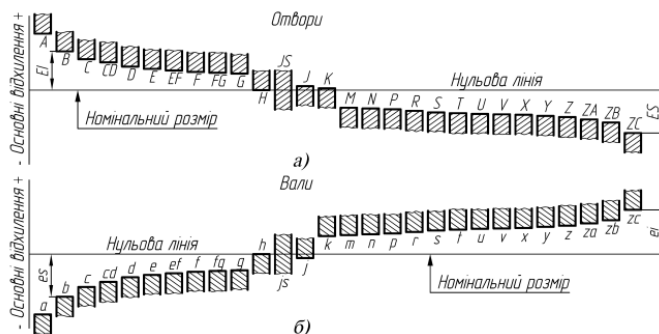


Рисунок 3.1 - Схема розташування полів допусків отворів (а) та валів (б) відносно нульової лінії

Для кожного поля допуску основне відхилення власне можна розглядати як координату, яка визначає відстань даного поля допуску від нульової лінії. Друге відхилення можна розрахувати, додаючи або віднімаючи допуск **IT**, який для даного номінального розміру залежить від обраного квалітету:

$$EI = ES - IT, \text{ або } ES = EI + IT. \quad (3.1)$$

$$ei = es - IT, \text{ або } es = ei + IT; \quad (3.2)$$

На практиці робити розрахунки не треба. У ДСТУ ISO 286-2-2002 [4] наведені значення нижніх і верхніх граничних відхилень для всіх розмірів, основних відхилень і квалітетів.

У діапазоні розмірів від 1 до 500 мм ДСТУ ISO 286-2-2002 [4] розділяє поля допусків на основні і додаткові. З основних полів виділена вужча низка полів для переважального застосування. При виборі полів допусків у першу чергу застосовуються *переважаючі поля допусків*. У випадках, коли за рахунок переважальних допусків неможливо забезпечити конструктивні і технологічні вимоги, застосовують *основні поля допусків*, і лише в окремих випадках – *додаткові поля допусків*.

Величина поля допуску однакова і для валів, і для отворів. Поле допуску позначається сполученням літери (літер) основного відхилення і порядкового номера квалітету: **g6, d7, H8, N10, FG11**.

Позначення поля допуску вказується після номінального розміру елемента: 40***g*6**, 35***H*7**.

4 ПОСАДКИ. ВИДИ І ВИКОРИСТАННЯ ПОСАДОК

При виготовленні виробу завжди виникає необхідність сполучення двох або більше деталей. Кожне окреме сполучення утворює посадку.

Посадкою називається характер з'єднання двох деталей, визначений різницею їх розмірів до складання [2].

Вид посадки визначається величиною і взаємним розташуванням полів допусків сполучуваних деталей. Посадка характеризує більшу або меншу свободу відносного переміщення або ступінь опору взаємному зсувненню з'єднаних деталей, тобто наявність і величину отриманого у сполученні зазору чи натягу. Згідно з [2, 3] **зазором** називається додатна різниця між розміром отвору і валу до складання, коли розмір отвору більший за розмір валу, а **натягом** – від'ємна різниця між розміром отвору і валу до складання, коли розмір отвору менший за розмір валу.

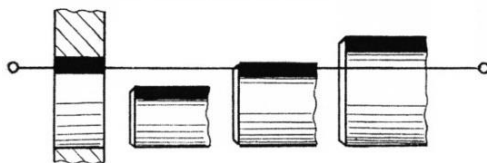
Згідно зі стандартами системи ЄСДП однакові посадки можна отримати і у системі отвору, і у системі валу [1, 3, 7].

Посадка у системі отвору – це така посадка, в якій необхідні зазори і натяги утворюються сполученням різних полів допусків валів з полем допуску *основного отвору*. Основний отвір - це отвір, нижнє відхилення якого ЕІ дорівнює нулю, залишається незмінним, а різні посадки отримують за рахунок зміни граничних розмірів валів, які з цим отвором сполучаються.

Посадка у системі валу – це така посадка, в якій необхідні зазори і натяги утворюються сполученням різних полів допусків отворів з полем допуску *основного вала*. Основний вал – це вал, верхнє відхилення якого еs дорівнює нулю, залишається незмінним, а різні посадки отримують за рахунок зміни граничних розмірів отворів, які з цим валом сполучаються (рис. 4.1).

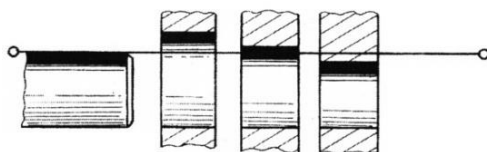
Формально обидві системи посадок рівноправні, але практично майже завжди посадки у системі отвору економічніші за посадки у системі валу. Це пояснюється тим, що трудомісткість виготовлення точних отворів значно вище ніж точних валів. При застосуванні посадок у системі отвору кількість типорозмірів обладнання та інструментів зменшується, і відповідно зменшуються витрати на їх виготовлення і експлуатацію.

Посадки: з зазором, перехідна, з натягом



a

Посадки: з зазором, перехідна, з натягом



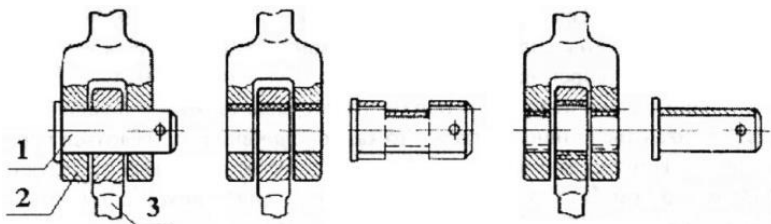
б

a – система отвору; *б* – система валу

Рисунок 4.1 - Системи посадок

Систему валу вигідно використовувати тоді, коли осі, валики, штифти і т.п. можуть бути виготовлені з точних холоднотягнутих прутків і використовуються при складанні без додаткового механічного оброблення зовнішньої поверхні. Зокрема, посадки у системі валу застосовують при сполученні підшипників з корпусними деталями, тому що підшипники перед складанням нема сенсу переточувати.

Доцільність використання системи валу наведена на рис. 4.2.



a – складений вузол; *б* – у системі отвору; *в* – у системі валу;
1 – валик; 2 – вилка; 3 – тяга

Рисунок 4.2 - Шарнірне з'єднання вилки з тягою

У шарнірному з'єднанні (рис. 4.2, а) повинна бути забезпечена рухома посадка валика 1 відносно тяги 3 і нерухома відносно вилки 2. Якщо цей вузол виготовити у системі отвору, то валик доведеться робити східчастим (рис. 4.2, б), причому бічні частини валика мають бути більшого діаметра, ніж середня. Монтаж такого вузла утруднений, він може погіршити умови експлуатації. Якщо використати посадку у системі валу, валик 1 виготовлятиметься циліндричним (рис. 4.2, в), що забезпечить доцільність виготовлення і експлуатації вузла.

Отже, для утворення посадок можна застосовувати будь-яку комбінацію полів допусків, установлену стандартом. Посадки повинні призначатися або у системі отвору, або у системі валу, причому система отвору є переважаючою. При виборі характеру посадки конкретного з'єднання залежно від умов його роботи треба також враховувати рекомендації з доцільності призначення того чи іншого квалітету точності. Приклади умовних позначень полів допусків і граничних відхилень на кресленнях наведені у табл. 4.1[7].

Таблиця 4.1 - Позначення полів допусків і граничних відхилень на кресленнях

Позначення у випадку:	Граничні відхилення, призначені для:		
	валу	отвору	посадки
Умовне позначення полів допусків	$\text{Ø}64\text{k}6$	$\text{Ø}64\text{H}7$	$\text{Ø}64 \frac{\text{H}7}{\text{k}6}$
Позначення числових значень граничних відхилень	$\text{Ø}64 \begin{smallmatrix} +0,021 \\ +0,002 \end{smallmatrix}$	$\text{Ø}64 \begin{smallmatrix} +0,030 \end{smallmatrix}$	$\text{Ø}64 \begin{smallmatrix} +0,030 \\ +0,021 \\ +0,002 \end{smallmatrix}$
Умовне позначення полів допусків із зазначенням їх числових значень	$\text{Ø}64\text{k}6 \begin{smallmatrix} (+0,021) \\ (+0,002) \end{smallmatrix}$	$\text{Ø}64\text{H}7 \begin{smallmatrix} (+0,030) \end{smallmatrix}$	$\text{Ø}64 \frac{\text{H}7 \begin{smallmatrix} (+0,030) \end{smallmatrix}}{\text{k}6 \begin{smallmatrix} (+0,021) \\ (+0,002) \end{smallmatrix}}$

Види з'єднань деталей машин дуже різноманітні. Їх класифікують залежно від форми сполучуваних поверхонь, характеру контакту і ступеня свободи взаємного переміщення [1, 7].

Наприклад, розрізняють з'єднання гладкі циліндричні і конічні; гвинтові, зубчасті, шліцові, сферичні і плоскі; рухомі під час роботи механізму і нерухомі, нерознімні чи рознімні тощо.

Всі з'єднання відрізняються одне від одного характером сполучення, тобто посадкою. За характером **використання** посадки поділяються на посадки із зазором, перехідні та з натягом [1, 7].

***Посадкою з зазором** називається посадка, за якою у з'єднанні завжди утворюється зазор, тобто найменший граничний розмір отвору більший за найбільший граничний розмір валу або дорівнює йому.* Максимальну і мінімальну величину зазору можна розрахувати за формулою:

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei; \quad (4.1)$$

$$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es. \quad (4.2)$$

Посадки з зазором призначаються для рухомих і нерухомих з'єднань. У рухомих з'єднаннях наявність зазору забезпечує свободу переміщення, розміщення шару мастилу, компенсацію температурних деформацій і відхилень форми, розташування поверхонь, помилок складання тощо. Для важливих з'єднань (типу сполучень валу з підшипником ковзання), які повинні працювати в умовах рідинного тертя, зазори розраховуються на основі гідродинамічної теорії змащування.

У нерухомих з'єднаннях посадки з зазором застосовуються для виконання безперешкодного складання змінних деталей, відносна нерухомість яких забезпечується шпонками, болтами, штифтами і т.п.

Посадки з зазором утворюють пари «отвір – вал», в яких одне з основних відхилень має позначення від «**A**» до «**H**».

Так, наприклад, якщо пара виготовляється у системі отвору, то посадки групи **H/h** мають мінімальний зазор, який дорівнює нулю, Їх використовують переважно для забезпечення високої точності центрування і поступального переміщення деталей.

Посадки групи **H/g** характеризуються мінімальним, у порівнянні з іншими посадками, гарантованим мінімальним зазором ($S_{\min}$).

Застосовуються для плавних, найчастіше зворотньо-поступальних переміщень; допускають повільне обертання за малих навантажень

З переходом до посадок груп **H/f**, **H/e** гарантований зазор збільшується, забезпечується вільне обертання при високих швидкостях і значних навантаженнях за наявності рідинного змащування. Звичайно це підшипники ковзання великих машин: турбогенераторів, електродвигунів великої потужності і т.п.

Посадки групи **H/d** компенсують значні відхилення розташування сполучуваних поверхонь і температурні деформації, забезпечують вільне переміщення, регулювання і складання деталей; вони характеризуються великими гарантованими зазорами.

Чим ближче основне відхилення до позначення «A», тим більше зазор. Посадки групи **H/c**, **H/b**, , **H/a**, характеризуються значними гарантованими зазорами; їх найчастіше застосовують для з'єднання з невисокими вимогами точності в основному у грубих квалітетах там, де треба компенсувати значні відхилення розташування сполучуваних поверхонь або температурні зміни розмірів деталей, а також для сполучень, які працюють в умовах забруднення.

***Перехідною посадкою** називається посадка, за якою можливе отримання як зазору, так і натягу у з'єднанні у залежності від дійсних розмірів отвору та валу. До них відносяться посадки груп від **H/js** і до **H/m**.*

Перехідні посадки часто застосовують, якщо під час центрування допускаються невеликі зазори або потрібно забезпечити легке складання, наприклад, для змінних деталей. Натяги у перехідних посадках відносно малі і не вимагають перевірки деталей на міцність.

Посадки групи **H/k** є найпоширенішими з перехідних посадок. Ймовірність отримання зазорів та натягів в цих посадках є приблизно однаковою. Такі посадки забезпечують високу точність центрування, і одночасно з'єднання досить легко розбирається під час ремонтів.

Посадки групи **H/n**, **N/m** практично завжди утворюють натяг. Для складання необхідні значні зусилля або застосування термічних методів. Розбираються такі з'єднання лише під час капітальних ремонтів. Посадки застосовують для забезпечення високої точності центрування в умовах дії значних зусиль, ударів, вібрації.

Посадкою з гарантованим натягом називається посадка, за якою у з'єднанні завжди утворюється натяг, тобто найбільший граничний розмір отвору менший за найменший розмір валу або дорівнює йому. Величина максимального і мінімального натягів розраховується за формулами:

$$N_{\max} = d_{\max} - D_{\min} = es - EI; \quad (4.3)$$

$$N_{\min} = d_{\min} - D_{\max} = ei - ES. \quad (4.4)$$

Посадки з гарантованим натягом застосовуються для створення нерухомих і нерознімних з'єднань. Відносна нерухомість сполучуваних деталей забезпечується завдяки пружним деформаціям, які виникають при з'єднанні валу з отвором. без додаткових засобів кріплення, що спрощує конфігурацію деталей та їх складання.

Посадки **H/p** характеризуються нормальним гарантованим натягом; застосовується для з'єднання тонкостінних деталей або деталей, які зазнають невеликі навантаження.

Посадки **H/r, H/s, H/t** характеризуються помірним натягом і є переважними у цій групі посадок. Вони допускають передачу навантажень середньої величини без додаткового кріплення.

Посадки **H/u, H/x, H/z** характеризуються великим гарантованим натягом, тому можуть передавати великі та динамічні навантаження без додаткового кріплення, наприклад, для закріплення вагонних коліс на осях, втулок підшипників ковзання у важкому машинобудуванні, при насаджуванні вінців черв'ячних коліс, маховиків і т.п.

Вибір посадок може провадитися декількома методами [1, 6, 8].

Методом прецедентів, або **аналогів**, полягає у тому, що посадка обирається за аналогією з відомою посадкою, яка надійно працює у вузлі подібної конструкції. Складність методу полягає у правильній оцінці та співставленні умов праці посадки у вузлі, що проектується, і в аналога.

Метод подібності – це розвиток методу прецедентів. Посадки обираються на підставі рекомендацій галузевих технічних документів або літературних джерел. Недолік методу полягає у відсутності точних кількісних оцінок умов роботи сполучення.

Розрахунковий метод є найбільш обґрунтованим. Проте формули, емпіричні залежності відомі не для всіх видів посадок та й не завжди точно відбивають характер фізичних явищ у сполученні.

Правильний вибір посадок значною мірою залежить від кваліфікації конструктора і завжди може бути підкоригований за досвідом дослідної експлуатації.

5 ЗАГОТОВКА, ЇЇ ВИДИ І ХАРАКТЕРИСТИКИ

Заготовкою називається предмет праці, з якого зміною форми, розмірів, властивостей поверхні і (або) матеріалу виготовляють деталь [9].

Розрізняють три основні види заготовок: машинобудівні профілі, штучні та комбіновані. *Машинобудівні профілі* виготовляють постійного перерізу (наприклад, круглі, квадратні, шестигранні прутки або труби) або періодичного перерізу порівняно великої довжини. *Штучні* заготовки виготовляють для кожної деталі окремо литтям, куванням, штампуванням, зварюванням, методами порошкової металургії та ін. *Комбіновані заготовки* - це складні заготовки, виготовлені з'єднанням (наприклад, зварюванням) окремих простіших елементів. У цьому випадку можна знизити масу заготовки, а для більш навантажених елементів використати найпридатніші матеріали.

Найважливішими характеристиками заготовки є наступні.

Форма і розміри заготовки – це перше, на що звертають увагу при виборі способу її виготовлення. Спочатку розглядається зовнішня конфігурація. Найскладнішу *зовнішню конфігурацію* дозволяє отримати лиття у разові ливарні форми, кування. Металева ливарна форма або штамп вимагають задуматися, чи можна буде заготовку такої конфігурації вийняти з форми (штампа). Якщо заготовка має форму східчастого вала з невеликою різницею діаметрів (розмірів поперечного перерізу), то можна орієнтуватися на машинобудівний профіль як на заготовку.

У певних випадках проблему може створювати *внутрішня конфігурація*. При литті отвір (порожнина) створюється стрижнем. Стрижень на піщаній основі дозволяє відтворити будь-яку конфігурацію порожнини. Металевий стрижень має бути прямолінійним з певною конусністю, щоб його можна було потім вийняти із заготовки. У машинобудівних профілей порожнини завжди прямолінійні. При куванні і штампуванні виготовити отвір можна лише у напрямку руху робочого органу обладнання. Тобто ці методи дозволяють отримувати у заготовках отвори (порожнини) лише простої конфігурації.

Розміри (маса) заготовки також визначають можливі методи її виробництва. Теоретично не обмежують розміри заготовки лише кування та лиття у піщані форми. Спеціальні способи лиття мають обмеження, пов'язані з конкретною технологією лиття. Штампуванням виготовляють заготовки масою не більше 400...450 кг. Маса машинобудівних профілей залежить від довжини виготовленого профіля, як правило, не дуже великої.

Конструкційний матеріал суттєво впливає на вибір технології виготовлення заготовки. При виборі конструкційного матеріалу необхідно враховувати його експлуатаційні, технологічні і економічні властивості.

Експлуатаційні властивості матеріалу повинні забезпечити деталі надійне виконання своїх функцій. З цього погляду вибір матеріалу робиться на основі розрахунків, експериментів або досвіду експлуатації аналогічних деталей.

Технологічні властивості (технологічна пластичність, ливарні властивості, зварність, придатність до оброблення різанням та ін.) – важливий фактор, який визначає можливість і ефективність обраної технології. Технологічні властивості матеріалу можуть заздалегідь визначити подальшу технологію виготовлення заготовок. Наприклад, заготовки з чавуну можна виготовляти лише литтям. У сталевих заготовках можливості використання технологій, пов'язаних з пластичним деформуванням або зварюванням, обмежується вмістом вуглецю і легувальних елементів.

Економічна ефективність конструкційного матеріалу може бути оцінена за його вартістю і дефіцитністю. Сучасні тенденції розглядають все ширше застосовування якісніших, а отже, й дорожчих матеріалів, використання яких впливає на зниження маси та собівартості деталі в цілому, на збільшення строку її експлуатації та ремонтпридатності.

Найважливішими характеристиками якості заготовки є її точність та якість поверхневого шару.

Під ***точністю заготовки*** розуміють її відповідність до вимог креслення і технічних умов на її виготовлення. Точність заготовки характеризується як геометричними параметрами, так і фізико-механічними властивостями. До першої групи відносяться відхилення

форми і розмірів поверхонь заготовок, а також їх взаємного розташування; до другої – відповідність механічних властивостей (міцності, твердості, пластичності та ін.) заданим кресленням, стабільність хімічного складу і структури матеріалу заготовок в усій виготовленій партії.

Якість поверхневого шару заготовки – це сукупність усіх службових властивостей поверхневого шару, яка формується в результаті впливу на нього одного або кількох послідовно застосованих технологічних процесів. Поверхневий шар заготовки якісно відрізняється від матеріалу осердя заготовки. Якість поверхневого шару характеризують дві групи параметрів: геометричні (хвилястість, шорсткість, сумбікронерівність) та фізико-механічні (хімічний склад; мікроструктура; мікротвердість; величина, знак і глибина поширення залишкових напружень тощо).

Якість поверхневого шару визначається властивостями матеріалу і технологією виготовлення заготовки. Наприклад, внаслідок гарячого штампування на поверхні заготовки з'являється окалина. Шорсткість поверхні заготовки, виготовленої холодним штампуванням, значно нижча, ніж заготовки, виготовленої гарячим штампуванням, але її поверхневий шар має наклеп. Якщо заготовка піддавалася хіміко-термічному обробленню, її поверхневий шар має інший хімічний склад і структуру, ніж осердя.

6 НАПУСКИ, ПРИПУСКИ; НОМІНАЛЬНИЙ РОЗМІР ЗАГОТОВКИ

Заготовка ані за формою, ані за розмірами ніколи точно не співпадає з готовою деталлю. Способи виготовлення заготовки не можуть забезпечити потрібні за кресленням деталі точність розмірів і якість поверхневого шару. Тому заготовка завжди відрізняється від готової деталі за рахунок припусків і напусків.

Припуск на механічне оброблення - це додатковий шар металу, який додається у склад заготовки з метою забезпечення необхідної точності та якості поверхневого шару готової деталі. Він містить різні дефекти, неприпустимі за умовами її службового призначення. Припуски призначають тільки на поверхні, які обробляються різанням, і обов'язково видаляються при наступному механічному обробленні.

На величину припуску впливають: матеріал і розміри деталі, вид заготовки і спосіб її отримання, точність розмірів і чистота поверхонь деталі, а також передбачена технологія механічного оброблення їх, наявність (або відсутність) термічного оброблення, тип виробництва та ін. Припуск вимірюється по нормалі до поверхні, яка розглядається.

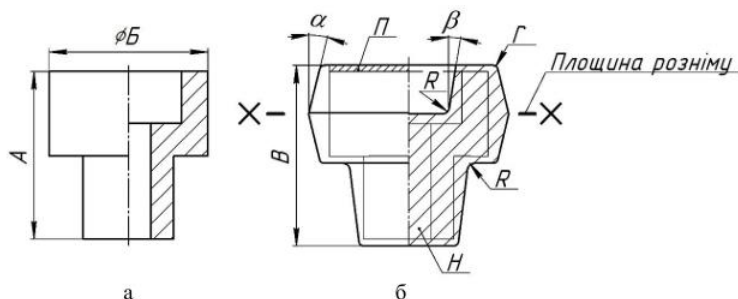
Величина припуску істотно впливає на собівартість виготовлення деталі. Завищений припуск збільшує витрати праці, матеріалу, різального інструменту і електроенергії. Занижений припуск вимагає застосування коштовніших способів виготовлення заготовки, вимагає вищої кваліфікації робітників. Тому призначений припуск повинен бути оптимальним для даних умов виробництва.

Оптимальний припуск може бути визначений розрахунково аналітичним методом, який розглядається в курсі "Технологія машинобудування". В умовах заготівельних цехів, коли ще не відома технологія наступного механічного оброблення, припуски на оброблення різних видів заготовок обирають табличним способом за чинними стандартами або довідниками.

Напуск - це надлишок металу на поверхні заготовки (понад припуск), обумовлений технологічними вимогами спростити конфігурацію заготовки для полегшення умов її виготовлення. Залежно від конкретного способу виготовлення заготовки та конфігурації деталі напуск може визначатися за досвідом, за допомогою довідників або розрахунком. У більшості випадків напуск видаляється механічним

обробленням, рідше залишається у виробі (штампувальні нахили, збільшені радіуси заокруглень та ін.).

На рис. 6.1 показаний приклад можливого розташування напуску (на отвір) та припусків (на зовнішні поверхні деталі) для заготовки-поковки.



А, Б – розміри деталі; В – розмір поковки; П – припуск на механічне оброблення; Н – напуск; α і β – кути зовнішніх та внутрішніх штампувальних нахилів; R і r – внутрішні і зовнішні радіуси заокруглення

Рисунок 6.1 – Креслення деталі (а) і заготовки (б)

Новий номінальний розмір заготовки визначається залежно від розміру деталі, припусків та взаємного розташування поверхонь, які зв'язує той чи інший розмір. Припуск z_0 звичайно призначається на бік деталі. Тому якщо йдеться про зовнішній (охоплюваний) номінальний розмір симетричної поверхні деталі (наприклад, $d_{д1}$, $l_{д1}$, рис 6.2), то розмір відповідних поверхонь заготовки ($d_{з1}$, $l_{з1}$) збільшується:

$$d_{з1} = d_{д1} + 2z_0; \quad (6.1)$$

$$l_{з1} = l_{д1} + 2z_0. \quad (6.2)$$

Номінальний розмір внутрішньої (охоплюючої) симетричної поверхні заготовки за рахунок припуску зменшується:

$$d_{з2} = d_{д2} - 2z_0. \quad (1.3)$$

Можливий випадок, коли припуск призначається на одну з поверхонь, зв'язаних розміром. Тоді розмір заготовки змінюється лише на z_0 .

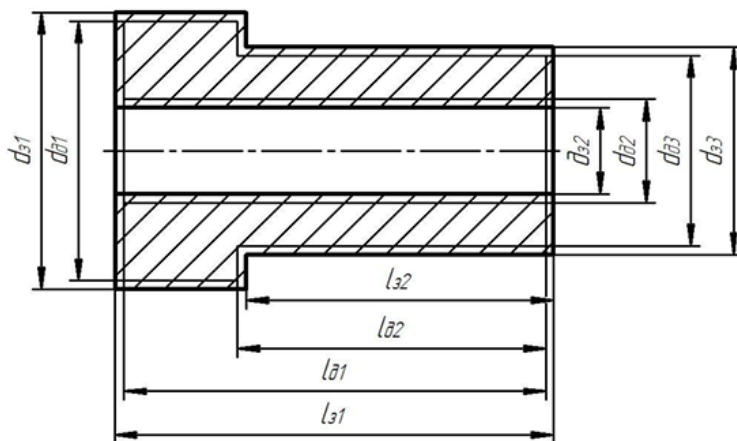


Рисунок 6.2 - Взаємне розташування поверхонь і номінальних розмірів деталі $d_{д1}$, $l_{д1}$ та заготовки $d_{з1}$, $l_{з1}$

У деяких випадках розмір визначає відстань між уступами – двома паралельними поверхнями деталі, оберненими в один бік. Призначені на них припуски практично не змінюють розмір ($l_{з2} \approx l_{д2}$, рис. 6.2), оскільки припуски лише зміщують відповідні поверхні заготовки в один бік.

7 ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ОСНОВНИХ СПОСОБІВ ЛИТТЯ

При виготовленні литих заготовок найчастіше використовуються такі способи лиття:

- лиття у піщані форми;
- лиття в оболонкові форми;
- лиття за витоплюваними моделями;
- кокільне лиття;
- відцентрове лиття;
- лиття під тиском.

Використання того чи іншого способу лиття пов'язане з такими особливостями. По-перше, матеріал ливарної форми. Перші три методи мають *разові* форми. Вони, як і стрижні, виготовляються з піщаної вогнетривкої основи та певної зв'язки і руйнуються при видалення виливка. Це дозволяє виготовити і зовнішню, і внутрішню поверхні будь-якої складності без обмежень. Три останні методи мають *багаторазові* металеві форми, у кожній з яких можна виготовити тисячі виливків. Металева ливарна форма дозволяє отримати зовнішню поверхню заготовки високої точності з низькою шорсткістю. Але існує обмеження складності зовнішньої поверхні: вона повинна дозволити легко видалити виливок з металевої ливарної форми.

Внутрішню поверхню при литті під тиском можна отримати за рахунок металевого стрижня, при відцентровому литті – лише за рахунок відцентрових сил. При кокільному литті можна використовувати і металеві, і піщані стрижні. Щоб металевий стрижень можна було вийняти з отвору, він має бути прямолінійним з певною конусністю. Тобто отвір у цьому випадку має форму усіченого конусу. При кокільному литті тип стрижня обирається залежно від складності конфігурації отвору (порожнини).

Лиття у піщані форми вважається універсальним, їм можна відлити заготовки будь-якої маси і складності. Одночасно це найдешевший спосіб лиття; його можна використовувати при невеликих партіях (при одиничному і дрібносерійному виробництвах). Решта методів лиття – спеціальні, вони мають деякі обмеження за конфігурацією, масою, матеріалом і вартістю виливка. Найдешевше

серед спеціальних методів лиття – це кокільне, найдорожче – лиття за витоплюваними моделями.

Метал, що заливається у металеві форми, швидше охолоджується, і його рідиноплинність суттєво знижується, тому у них важче отримати тонкі стінки, ніж у разових формах.

Лиття у піщані форми - найпоширеніший спосіб лиття. У машинобудуванні ним виготовляють 75...80% виливків (за масою). Залежно від розмірів виливка і типу виробництва застосовують ручне і машинне формування, а також формування у стрижнях. У піщаних формах можна виготовити виливок найскладнішої конфігурації і масою від декількох грамів до сотень тонн.

Одержувані заготовки характеризуються низькою точністю, високими параметрами шорсткості і великими припусками на механічне оброблення, особливо при використанні ручного формування. Вартість виготовлення виливків мінімальна, але вартість їх механічного оброблення більша, ніж заготовок, одержуваних іншими способами лиття.

Лиття в оболонкові форми полягає у тому, що виготовляють дві півформи товщиною 6...20 мм з формувальної суміші, яка складається з піску і фенолформальдегідних смол як зв'язувальної речовини. Аналогічно можна виготовляти оболонкові стрижні.

Піщано-смоляна формувальна суміш містить дрібнозернистий пісок. Формування здійснюється по металевій моделі. Під час заливання рідкого металу між виливком і формою утворюється тонка газова сорочка, яка запобігає утворенню пригару формувальної суміші на поверхні виливка. Внаслідок цього можуть бути досягнуті точність розмірів за 12-м квалітетом і параметр шорсткості поверхні Ra до 8 мкм.

Лиття за витоплюваними моделями застосовується для виготовлення складних і точних заготовок практично з будь-яких сплавів. Для кожного виливка виготовляється разова модель з елементами ливникової системи з легкоплавкої модельної маси (на основі парафіну, стеарину, церезину та інших матеріалів). Формувальна суміш у вигляді рідкої суспензії наноситься у декілька (до 12) шарів з сушінням кожного шару на повітрі протягом 2...4 годин.

Після витоПЛення моделей і прожарювання одержують міцну тонкостінну оболонку товщиною 1,5...4,0 мм.

Виготовлена форма не має рознімів і знакових частин. Це дає високу точність розмірів (до 11-го квалітету) і взаємного розташування поверхонь виливка. Як вогнетривкий складник у формувальній суміші використовується пилоподібний кварц, завдяки чому можна досягнути параметр шорсткості поверхні Ra до 2,5 мкм. Заливання металу провадиться найчастіше зразу після прожарювання, тобто у форми, нагріті до 900°C, що створює сприятливі умови для заповнення форми і живлення виливка під час кристалізації.

Механічне оброблення виготовлених цим способом заготовок зводиться до мінімуму або може повністю виключатися. У той же час це найскладніший, тривалий і трудомісткий, а отже, й найдорожчий спосіб лиття.

Кокільне лиття – найдешевший серед спеціальних способів лиття. Його головна особливість полягає у багаторазовому використанні металевої форми – кокіля. Стійкість чавунних кокілів становить при виготовленні сталевого литва – 50...500, чавунного – 400...8000 штук, а литва з кольорових сплавів – тисячі й десятки тисяч виливків.

Кокілі дозволяють отримувати виливки зі стабільними і точними розмірами (до 12-го квалітету). Параметр шорсткості може досягати Ra = 5 мкм. У зв'язку з великою теплопровідністю матеріалу форми швидкість кристалізації дуже велика. Це підвищує механічні властивості виливка (за рахунок одержання дрібнозернистої структури) на 10... 15%, але водночас утруднює виготовлення виливків з тонкими стінками.

Відцентрове лиття полягає у заливанні рідкого металу у металеву форму (виливницю), яка обертається навколо осі до закінчення кристалізації металу. У цьому разі, як і при кокільному литті, одержують високу точність розмірів і аналогічний параметр шорсткості поверхні, яка контактує з виливницею.

За рахунок обертання форми досягається висока щільність структури виливка, збільшується рідкоплинність, практично відсутні витрати на виготовлення стрижнів. При цьому способі лиття значно знижуються витрати металу, оскільки відсутня або дуже мала ливникова система. За рахунок відцентрових сил домішки, неметалеві

включення збираються на внутрішній поверхні виливка і можуть бути видалені механічним обробленням.

Лиття під тиском полягає у тому, що рідкий метал з великою швидкістю заповнює порожнину металевої прес-форми і кристалізується під тиском. Лиття здійснюється на поршневих (1000...3600 заливок за годину) і компресійних (60...500 заливок за годину) машинах. Головні особливості процесу: всі елементи прес-форми (включаючи й стрижні) металеві через високий тиск на рідкий метал. У зв'язку з цим можна одержати заготовки з товщиною стінок до 0,5 мм, точністю розмірів до 9-го квалітету і параметром шорсткості поверхні $Ra = 10 \dots 2,5$ мкм.

Литтям під тиском одержують складні, близькі за конфігурацією до готових деталей тонкостінні заготовки масою від декількох грамів до декількох десятків кілограмів з цинкових, алюмінієвих, магнієвих, мідних та інших кольорових сплавів.

8 ПРОЄКТУВАННЯ ЛИТОЇ ЗАГОТОВКИ

Вихідними даними для проєктування литої заготовки є завдання на проєктування, отримане від викладача: креслення деталі-завдання і обсяг виробничої партії (замовлення), шт. За кресленням встановлюється матеріал і маса деталі, кг. Креслення деталі студент отримує з альбому «Індивідуальні завдання» [9].

Виходячи з конфігурації, розмірів і матеріалу деталі, а також з типу виробництва, необхідно вибрати технологічний метод виробництва литої заготовки. Тип виробництва залежно від маси виливка і обсягу виробничої партії орієнтовно можна визначити за таблицею у підручнику (табл. 3.4 [10]) або у методичному посібнику (табл.1.1 [11]). Необхідну для цього орієнтовну масу виливка на етапі проєктування можна визначити, збільшивши масу деталі приблизно на 40...50%. Вибираючи спосіб лиття, слід враховувати, що при масовому і крупносерійному виробництві можна використовувати дорожчі способи лиття (наприклад, лиття в оболонкові форми), а при одиничному і дрібносерійному – дешеві (наприклад, лиття у піщані форми).

Проаналізувавши можливості різних методів виробництва литих заготовок та вимоги до заготовки, що проєктується, треба обґрунтовано остаточно обрати спосіб лиття. Якщо обране лиття у піщані форми, треба вказати: використовується ручне чи машинне формування, при обранні кокільного лиття - вказати тип стрижня (металевий чи піщаний), що буде використовуватися для виготовлення отвору (порожнини).

Наступний етап – визначення характеристик виливка: групу технологічної складності, клас точності та ряд припусків.

За *технологічною складністю* виливки поділяються на 6 груп. Група складності виливка залежить від способу лиття, конфігурації литих поверхонь, розмірів (маси) виливка, товщини основних стінок, кількості та складності стрижнів та інших чинників. Наприклад, до першої групи складності відносяться виливки плоскі, циліндричні, багатогранні, але без отворів; у другій групі – такі ж виливки, але з прямолінійними отворами. У третій ускладнюється зовнішня і внутрішня конфігурації і розмір виливків має перевищувати 1 м. У четвертій і п'ятій групах розглядаються виливки коробчастої та

сферичної конфігурації з приливами або іншими додатковими елементами. Шоста група складності призначається в особливих випадках лише на основі домовленості між замовником і виробником.

Стандарт передбачає 22 *класи точності* розмірів (від 1 до 16; перед деякими класами є класи підвищеної точності – 3т, 5т та ін.) виливків. Чим вище номер розмірної точності, тим нижче точність виливка. Визначальними для призначення класу розмірної точності є у першу чергу спосіб лиття, у другу – максимальний габаритний розмір виливка і у третю – ливарний сплав деталі (а отже, його ливарні властивості). Класи точності розмірів виливків наведені у додатку 3 [10] та у табл. 1.2 [11].

Необхідне значення *ряду припусків* на механічне оброблення залежить від типу виробництва та шорсткості, що вказана на деталі, і обирається за таблицями, що й для класу розмірної точності, залежно від способу лиття, габаритного розміру і ливарного сплаву деталі.

Дуже важливим моментом проєктування виливка є визначення його положення у ливарній формі та розташування її площини розніму, яке повинно забезпечити зручне видалення виливка (або моделі) з форми.

При виборі *положення виливка у ливарній формі* слід керуватися наступними міркуваннями:

- виливок повинен розташовуватися таким чином, щоб забезпечити спрямовану кристалізацію знизу вгору. У цьому випадку усадкові раковини, домішки, неметалеві включення виводяться у верхню частину виливка та видаляються у подальшому при обрублюванні та очищуванні. Тому відповідальні частини заготовки треба розташовувати у нижній частині форми, у крайньому разі – вертикально;

- найвідповідальніші частини виливка, а також поверхні, зв'язані між собою точними розмірами, рекомендується розташувати в одній частині форми (бажано у нижній), щоб не виникало похибок, пов'язаних із зміщенням півформ при складанні ливарної форми;

- виливок рекомендується розташовувати у формі так, щоб загальна висота ливарної форми була мінімальною. Виливки, що мають видовжені поздовжні розміри, слід розташувати так, щоб їх найбільший габарит знаходився у горизонтальній площині;

- частини виливка з малою і рівномірною товщиною стінок слід розташовувати вертикально або похило, щоб уникнути утворення в них газових раковин.

Рекомендовані положення виливка у формі наведені у табл. 1.3 [11].

Поверхня розніму ливарної форми:

- повинна проходити по найбільшому розміру виливка, щоб забезпечити можливість видалення моделі (або виливка) з форми;
- не рекомендується криволінійний рознім форми, тому що це суттєво утруднює виготовлення моделі і форми;
- не бажано, щоб поверхня розніму ливарної форми перетинала ливарні бази виливка.

Одним з центральних моментів під час проектування литих заготовок є встановлення *мінімальної товщини стінок*, яку можна отримати обраним способом лиття. Від неї залежить як міцність конструкції виливка, так і можливість заповнення найтонших елементів форми внаслідок наявної рідиноплинності металу та особливостей технології лиття.

Якщо виливок виготовляється *литтям у піщані форми*, або *кокілним литтям*, мінімальну товщину стінки $S_{\min}$ визначають у залежності від зведеного габариту заготовки, який визначають за формулою:

$$N = \frac{2l + b + h}{3}, \quad (8.1)$$

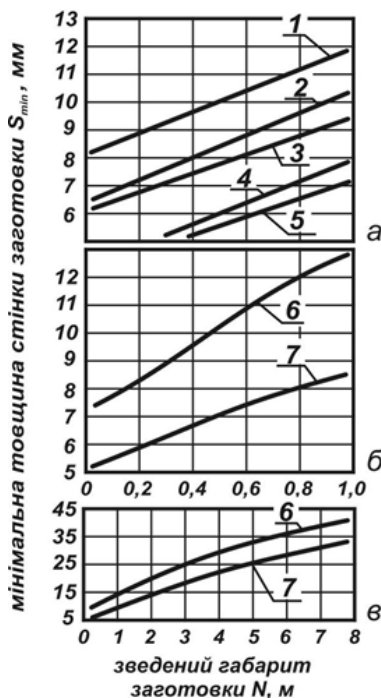
де l , b , h – відповідно габаритні довжина, ширина та висота заготовки, у тому положенні, в якому вона буде розташована у формі, м.

У залежності від зведеного габариту N , матеріалу і способу лиття мінімальну товщину стінки визначають за графіками (рис. 8.1).

При *литті в оболонкові форми* мінімальна товщина стінки $S_{\min}$ становить для дрібного лиття (масою до 2 кг) 2,0...2,5 мм і для середнього (масою до 50 кг) - 3...4 мм. Оптимальна товщина стінок лежить у межах 2...8 мм.

При *литті за витоплюваними моделями* мінімально можлива товщина стінки $S_{\min}$ для більшості сплавів становить 1,5...2,0 мм при довжині стінки до 50 мм. При більшій довжині мінімальну товщину стінки слід збільшити на 0,5...2,0 мм. Максимальна товщина стінок виливка при цьому способі лиття становить 6 мм, оскільки при більшій

товщині та недостатньому живленні виливка рідким металом можуть з'явитися усадкові та газові раковини й пористість.



1 – вуглецеві сталі; 2 – безолов'яністі мідні сплави; 3 – сірі чавуни; 4 – олов'яні мідні сплави; 5 – алюмінієві сплави; 6 – вуглецеві сталі; 7 – сірі чавуни

Рисунок 8.1 - Графіки визначення мінімальної товщини стінок виливків, виготовлених кокильним литтям (а) та литтям у піщані форми (б, в)

При *відцентровому литті* залежно від методу відцентрового лиття мінімальну товщину стінки виливка S_{min} отримують у межах 3...5 мм. Проте треба враховувати, що якість внутрішньої поверхні виливка (за розмірною точністю, шорсткістю поверхні) завжди невисока, і після механічного оброблення її товщина стінки може виявитися ще меншою.

Лиття під тиском використовується для виготовлення виливків з кольорових сплавів. Залежно від типу ливарної машини та тиску, який вона може розвинути, литтям під тиском виготовляють деталі з товщиною стінок 2...6 мм.

Отримане значення $S_{\min}$ треба порівняти з товщиною найтоншої стінки деталі (наприклад, з середньою товщиною зубів зубчастих вінців деталі). При цьому необхідно врахувати можливе збільшення товщини цієї стінки за рахунок припусків на механічне оброблення. Якщо товщина цієї стінки більше $S_{\min}$, обраний спосіб лиття можна використати для виготовлення заготовки. Якщо виявиться, що найтонша стінка (з урахуванням припусків) за товщиною менша визначеної величини $S_{\min}$, то її товщину треба збільшити до знайденої величини $S_{\min}$ або призначити напуски на сусідні елементи виливка (наприклад, на западини зубчастих вінців), або обрати інший спосіб лиття.

Перед визначенням розмірів заготовки треба призначити напуски на елементи виливка, які важко виготовити обраним способом лиття.

Напуски призначаються на ті ділянки виливка (отвори, канавки, заглиблення, шліци, пази і т.п.), які отримати обраним способом лиття важко або неможливо. Напуски призначаються на основі досвіду, методу "тіней" або розрахунків. *За досвідом* призначають напуски на дрібні елементи деталі (наприклад, канавки для виходу інструменту, шпонкові пази, дрібні отвори тощо), які нема сенсу виготовляти литтям. Метод "тіней" полягає у тому, що уявний потік паралельних променів спрямовують перпендикулярно до поверхні різної форми. Напуски призначають на ділянки, які опиняються у "тіні" [10].

Якщо на кресленні деталі є отвори (порожнини), які виготовляються за допомогою стрижнів, то для всіх отворів і порожнин необхідно визначити мінімально можливий діаметр стрижня $d_{\min}$.

Якщо за обраним способом лиття для отримання отворів застосовують стрижні з піщано-глинястих, термореактивних, рідких самотвердіючих сумішей, то розраховується мінімальний діаметр стрижня $d_{\min}$, який не зруйнується при заповненні форми металом:

$$d_{\min} = d_0 + 0,1S, \quad (8.2)$$

де d_0 - вихідний діаметр, мм (для сталей $d_0 = 10$, для чавунів та алюмінієвих сплавів - 5 мм);

S - товщина стінки, через яку проходить отвір (тобто довжина стрижня), мм.

Якщо за обраним способом лиття використовується металевий стрижень, його форма і граничні розміри визначаються мінімальним діаметром $d_{\min}$, конусністю та глибиною отвору h залежно від відношенням h/d (табл. 8.1).

Таблиця 8.1 - Граничні розміри отворів у стінках виливків, які виготовляються за допомогою металевих стрижнів

Тип сплаву	Мінімальний діаметр отвору $d_{\min}$, мм, у виливках			Максимальне відношення глибини отвору до його діаметра h/d для отворів		Конусність стрижня, град
	дрібних (масою до 2 кг)	середніх (масою від 2 до 50 кг)	крупних (масою понад 50 кг)	глухих	наскрізних	
Алюмінієві	8	10	12	2	2...3	1,5
Чавуни	10	15	20	1,5...2,0	2...3	2...3
Мідні	10	13	14	1,5...2,0	2...3	1,5
Сталі	20	30	40	1,5...2,0	2...3	4...5

Якщо розмір механічно оброблюваного отвору з урахуванням передбачуваного припуску менше $d_{\min}$, отриманого розрахунком або з табл. 8.1, отвір литтям не виготовляється, і на нього призначається напуск.

Перевірка на можливість виготовлення литтям проводиться для всіх отворів деталі, і у кожному випадку необхідно зробити висновок: чи можна даний отвір виготовити литтям, чи на нього треба призначити напуск.

Для розрахунку розмірів заготовки треба визначити допуски на всі її розміри та припуски на поверхні, які обробляються різанням.

Допуски на лінійні розміри конструктивних елементів виливка залежать від визначеного раніше класу розмірної точності виливка та від номінального розміру конструктивного елемента. Номінальний розмір виливка дорівнює номінальному розміру деталі для необроблюваних поверхонь і сумі фактичного розміру деталі та загального припуску на оброблення – для оброблюваних поверхонь.

Величина допуску для кожного розміру визначається за додатком 5 [10] або табл.1.6 [11].

Перед призначенням *припусків* необхідно проаналізувати, чи може обраний спосіб лиття забезпечити розмірну точність і якість поверхонь, що задані на кресленні деталі, без оброблення різанням.

При оцінюванні можливості обраного способу лиття треба пам'ятати, що класи точності поверхонь, оброблених різанням, (IT + номер квалітету) за ДСТУ ISO 286-1-2002 не співпадають з класами точності виливків, встановленими чинними стандартами. Зокрема, поверхня виливка, виготовлена за 7 класом точності, відповідає поверхні деталі, обробленій за класом точності IT14. На оброблені поверхні з вищими вимогами точності (наприклад, IT7...IT12) при 7 і грубішому класах точності виливка треба призначати припуски.

У випадках, коли для даної поверхні, необхідну точність і шорсткість можна отримати лише обробленням різанням литої заготовки, то на цю поверхню призначають загальний припуск. Загальні припуски на механічне оброблення (на бік) обирають з додатку 6 [10] або з табл. 1.8 [11] у залежності від допуску на відповідний номінальний розмір виливка та ряду припусків. При визначенні припуску на механічне оброблення якоїсь поверхні стандарт передбачає необхідність попередньо оцінити, яка операція наступного механічного оброблення може забезпечити їй заданий рівень точності і шорсткості: чорнова, напівчистова, чистова чи тонке оброблення.

З інтервалу значень припусків, указаних у відповідних таблицях, менші значення обирають при грубіших квалітетах розмірної точності обробленої деталі, коли достатньо, наприклад, чорнового оброблення, а більші – при точніших квалітетах, коли потрібні наступні якісніші операції оброблення поверхні. Рекомендується для кожного розміру

обрати таке значення припуску, щоб при розрахунках фактичного розміру було отримане кругле його значення.

Нахили призначаються на поверхні, вздовж яких рухається модель (або виливок) при видаленні з ливарної форми - тобто на поверхні, перпендикулярні до поверхні розліву форми.

Для способів лиття у разові форми величину нахилу призначають у залежності від діаметра (ширини) заглиблення у площині розліву ливарної форми d та висоти відповідної формотвірної поверхні h , вздовж якої рухається модель, а також способу лиття та типу модельного комплексу. (див. табл.3.11 [10] або табл.1.9 [11]).

Для кокільного лиття нахил стінок форми у бік її розліву обирають у межах $0,5...1,5^\circ$.

Величини нахилів при відцентровому литті залежать від конструкції форми. Якщо це металева форма, то нахили відповідають вимогам до форм кокільного лиття. Якщо форма має піщану або керамічну вставку, нахили обирають згідно з вимогами відповідного способу лиття.

На оброблюваних поверхнях виливка формувальні нахили встановлюють "в плюс" (за рахунок збільшення розмірів).

Зважаючи на конструкцію деталі та її роль у виробі, на необроблювані поверхні виливка формувальні нахили призначають "в мінус" (за рахунок зменшення розмірів), якщо вони сполучаються з іншими деталями, і в "плюс-мінус", якщо не сполучаються з жодною при складанні.

Переходи між окремими стінками виливка і гострі кромки оформлюються радіусами заокруглень. Радіуси заокруглень поділяються на внутрішні та зовнішні.

Внутрішні радіуси заокруглень $R_{вн}$, які сполучають дві стінки, вали та стовщення (або диски) на них, стінки та дно отворів і т.п., призначають у залежності від матеріалу виливка, товщини стінок або радіуса вала та кута, утвореного між ними. При куті між елементами виливка, що сполучуються, від 50 до 135° $R_{вн}$ визначають за формулою:

$$R_{вн} = 0,5 k \cdot (S_1 + S_2), \quad (8.3)$$

де k - коефіцієнт, який дорівнює $0,3...0,5$ для сталевих і мідних виливків та $0,25...0,40$ для виливків з чавунів, алюмінієвих та магнієвих сплавів;

S_1 та S_2 - товщина елементів (стінок, ребер жорсткості і т.п.), що сполучуються цим радіусом, мм.

Товщина елементів береться з урахуванням припуску. Якщо зі стінкою (диском, стовщенням тощо) сполучується вал, за його товщину S_i береться радіус вала (рис. 8.2).

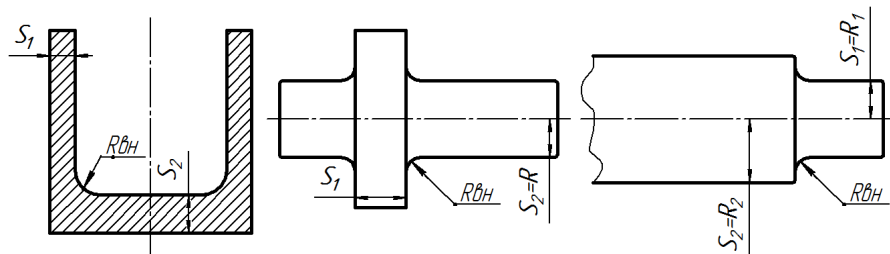


Рисунок 8.2 - Приклади визначення товщини S_i для елементів виливка, що сполучаються

Зовнішні радіуси заокруглень R_z призначені для притуплення зовнішніх гострих кромek. Їх величина залежить від кута між поверхнями, що сполучаються та найменшого габаритного розміру h поверхні, перпендикулярної до поверхні заокруглення (рис. 8.3).

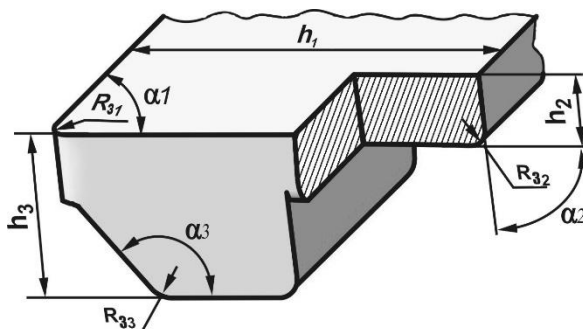


Рисунок 8.3 - Правило визначення найменших габаритних розмірів h_i та кута між сполучуваними поверхнями α_i

Радіуси заокруглень R_z визначаються за табл. 8.2.

З метою уніфікації на одному виливку всі однотипні заокруглення доцільно виконувати радіусом однієї величини.

Креслення виливка можна виготовляти як вручну, так і з використанням спеціальних програм. Креслення виливка з урахуванням всіх напусків, припусків за своїми фактичними розмірами виконується *товстими суцільними лініями*. На нього *тонкими суцільними лініями* наносять контур оброблюваних поверхонь, а також отворів, заглиблень і виточок, що не виконуються литтям і відтворюють фактично контур готової деталі.

Таблиця 8.2 - Мінімальний зовнішній радіус заокруглення гострих кутів, мм

Найменший габаритний розмір поверхні, перпендикулярної до поверхні заокруглення h, мм (див. рис. 8.3)	Кут між сполучуваними поверхнями α , град. (див. рис. 8.3)			
	50...70	75...105	105...135	136...165
до 25	2	2	4	6
25...50	4	4	6	10
51...250	4	6	8	16
251...400	8	10	16	25
401...600	8	12	18	32

Одночасно на кресленні показують поверхню розніму ливарної форми тонкою штрих-пунктирною лінією, яка позначається хрестиками на кінцях.

На кресленні мають бути проставлені всі розміри, необхідні для виготовлення і контролю виливка, відповідно до виконаних розрахунків. Проставлені розміри виливка повинні бути узгоджені з відповідними розмірами на кресленні деталі. При цьому бажано зв'язати між собою розмірами певні необроблювані та оброблювані поверхні. Не слід проставляти розміри ланцюжком.

У технічних умовах креслення записують визначені на початку проєктування групу складності, клас точності розмірів, ряд припусків на механічне оброблення; незазначені на кресленні кути нахилів та радіуси заокруглень; основні дані про ливарний сплав, встановлені

границі твердості та інше. При необхідності указують відомості про сплав-замінник матеріалу заготовки, про вид, кількість, розміри й місця розташування допустимих ливарних дефектів (усадкова пористість, тріщини, раковини тощо), метод і місце вимірювання твердості та інші відомості

9 ОСНОВНІ МЕТОДИ ВИРОБНИЦТВА ЗАГОТОВОК ОБРОБЛЕННЯМ ТИСКОМ. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РІЗНИХ ВИДІВ ОБЛАДНАННЯ

Оброблення металів тиском (ОМТ) – це сукупність технологічних процесів формозмінювання заготовки за рахунок пластичного її деформування під дією зовнішнього механічного навантаження. При цьому заготовка набуває форми без порушення своєї суцільності, а деформування супроводжується змінням структури та механічних властивостей металу.

На даний час оброблення тиском є одним з головних способів формоутворення заготовок деталей машин. При цьому існує близько 400 способів об'ємного формоутворення, за допомогою яких оброблюють понад 90% усієї виплавленої сталі і більше половини усіх кольорових металів.

До головних *переваг* процесів ОМТ відносяться: висока продуктивність праці; порівняно невеликі відходи металу; у більшості випадків висока точність форми та розмірів заготовок; поліпшення мікро- і макроструктури металу; підвищення фізико-механічних властивостей деформованого металу; відносно легка механізація та автоматизація процесів; можливість усунення ливарних дефектів (газова пористість, усадкові раковини та ін.).

Недоліками процесів ОМТ є: можливість оброблення лише металів та сплавів, які мають необхідний запас пластичності; висока вартість обладнання для ОМТ; великі витрати енергії на нагрівання металу перед обробленням.

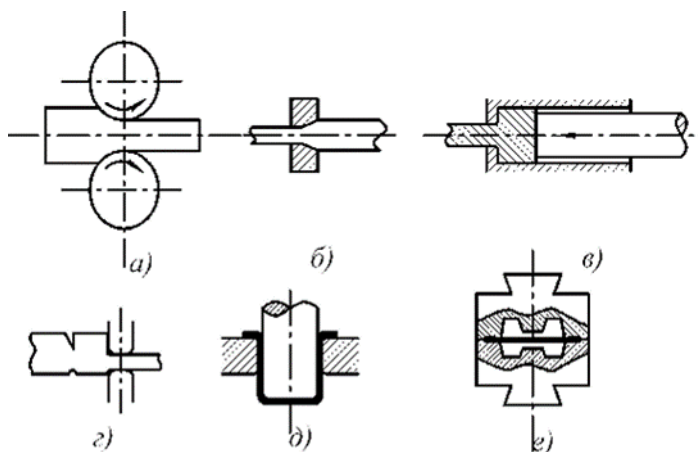
ОМТ можливо лише тоді, коли оброблюваний метал має достатню *пластичність*, тобто здатність незворотно змінювати свою форму без руйнування під дією зовнішніх сил. Пластичність будь-якого матеріалу не безмежна і у найбільшому ступені залежить від механічної схеми деформування (зокрема, від схеми напруженого стану), хімічного складу сплаву, температури і швидкості деформування тощо.

Залежно від температури деформування розрізняють холодне і гаряче оброблення металів тиском.

Холодне деформування здійснюється при температурах, нижчих температури рекристалізації ($T_{\text{рек}} = (0,4 \dots 0,6) T_{\text{пл}}$, К) даного металу. Воно супроводжується видовженням зерен, підвищенням міцності і твердості, зменшенням пластичності, а також підвищує точність розмірів і якість поверхні виробів.

Гаряче деформування здійснюється при температурах, вищих температури рекристалізації. Воно дещо знеміцнює метал, погіршує якісні характеристики заготовки, але суттєво зменшує зусилля деформування.

Основними способами ОМТ є: прокатування, волочіння, пресування, кування і штампування (рис. 9.1).



а – прокатування; б – волочіння; в – пресування; г – кування; д – листове штампування; е – об'ємне штампування

Рисунок 9.1 – Схеми основних способів оброблення тиском

Прокатування – процес деформування металу валками, що обертаються назустріч один одному. Вали при цьому здійснюють як саме деформування, так і подавання заготовки у поздовжньому напрямку. Прокатуванням, як правило, отримують вироби з однаковим по довжині поперечним перерізом (прутки, рейки, труби, дріт діаметром понад 6 мм тощо).

Основне обладнання при прокатуванні – прокатні стани. За кількістю валків стани поділяються на двовалкові (дуостани), чотиривалкові (квадростани) і багатовалкові.

При будь-якій кількості валків робочими є лише два валки, які власне деформують метал; решта підсилюють тиск та сприяють утримувannya робочих валків у заданому положенні. Робочі валки, як правило, малого діаметра, скільки при цьому витрачається менше енергії для досягнення заданого ступеня деформації. Багатовалкові стани використовуються для прокатування тонких листів і фольги у холодному стані.

За призначенням прокатні стани поділяються на обтискні, сортові, листові, трубопрокатні та інші.

Обтискні стани прокатують щойно отримані зливки у гарячому стані для отримання напівфабрикатів – блюмів і слябів. Сортівні стани формують заданий профіль, пропускаючи заготовку через робочі кліті, розташовані послідовно одна за одною. Швидкість прокатування зі збільшенням довжини виробу зростає і досягає в останній кліті 40 м/с.

При *пресуванні* метал витискається через отвір у матриці. Розміри і форма поперечного перерізу одержаних виробів при цьому відповідають розмірам і формі отвору у матриці. Завдяки всебічному стисканню метал при пресуванні має високу технологічну пластичність, тому цей метод доречно використовувати для пресування малопластичних сплавів. Пресуванням виготовляють різноманітні профілі, у тому числі й складні, зі сталі і кольорових металів. Пресування може проводитися як у гарячому, так і у холодному стані.

Основне обладнання – вертикальні і горизонтальні гідравлічні преси.

Волочіння - це процес протягування заготовки через інструмент (волоку) з метою зменшення її поперечного перерізу. Воно здійснюється, як правило, у холодному стані, що забезпечує низьку шорсткість поверхні та високу розмірну точність виробів. Волочіння можна використовувати для калібрування (уточнення) форми і розмірів поперечного перерізу заготовки, одержаної попередньо іншим способом. Це єдиний метод, який дає можливість виготовляти тонкі (капілярні) труби та дуже тонкий дріт діаметром до 0,002 мм.

Основне обладнання – волочильні стани; вони поділяються на барабанні та ланцюгові.

Барабанні стани багаторазового волочіння неперервної дії використовуються для головним чином для отримання дроту. Готовий продукт наприкінці стану намотується на приймальний барабан. Швидкість дроту в останніх волоках сягає 50...60 м/с.

Ланцюгові стани – стани періодичної дії. Їх застосовують для волочіння й калібрування прутків, фасонних виробів, труб діаметром до 600 мм і довжиною до 8 м.

При куванні необхідні форма і розміри можуть бути досягнуті внаслідок ударів або тиснення плоских бойків. При необхідності можуть використовуватися додаткові ковальські інструменти. Кування вимагає великої частки ручної праці, має низьку продуктивність, дозволяє одержувати заготовки з невисокою розмірною точністю. Проте цим методом можна виготовляти різноманітні складні фасонні поковки масою від декількох грамів до 200...300 т.

Технологія кування складається з чергування у певній послідовності тих чи інших ковальських операцій: осаджування, протягування, гнуття, прошивання отворів, кручення і відрубання.

При куванні використовуються кувальні молоти і преси.

Найпоширеніші молоти – пневматичні і пароповітряні.

Особливість *пневматичного* молота полягає у тому, що він має два циліндри: робочий і компресійний. У компресійному циліндрі створюється стиснене повітря, яке через золотники спрямовується або у верхню, або у нижню частину робочого циліндра. Тим самим або наноситься удар по заготовці, або бойок піднімається вгору. Маса частин, що падає, у пневматичних молотів – до 100 кг.

Пароповітряні молоти працюють від заводської мережі стисненого повітря або пари; мають один робочий циліндр. баба пересувається по напрямним. Нижній бойок знаходиться на шаботі, маса якого звичайно у 10...15 разів більше маси частин, що падають. У сучасних пароповітряних молотів маса частин, що падають, досягає 0,5...5 т, що дозволяє обробляти поковки масою до 2...2,5 т.

Гідравлічний прес деформує поковку статично, використовується для кування середніх і важких заготовок. Деформування триває від кількох до десятків секунд. Порівняно з

молотом не вимагає масивного фундаменту, під час роботи не струшує навколишній ґрунт і не шумить. Зусилля преса може досягати 150 МН.

Штампування – технологічний процес деформування заготовки, при якому деформування здійснюється спеціальним робочим інструментом – штампом, який задає конфігурацію і розміри виробу. Якщо при деформуванні відбувається перерозподіл товщини металу по довжині заготовки, таке штампування називається *об'ємним*. Якщо при деформуванні товщина заготовки залишається постійною, таке штампування називається *листовим*.

Штамп переважно складається з двох частин, які мають спільну порожнину. Вона утворюється заглибленнями на робочій поверхні штампа – рівчакми. Штамп може бути одно- і багаторівчакковим, відкритим і закритим.

Основне обладнання при штампуванні: пароповітряні штампувальні молоти, кривошипні гарячештампвальні преси (КГШП), горизонтально-кувальні машини (ГКМ) і гідравлічні штампувальні преси.

Пароповітряні штампувальні молоти принципово не відрізняються від кувальних. З метою забезпечення точного співпадіння половинок штампа в момент удару вони мають такі конструктивні особливості: точні напрямні для переміщення баби з верхньою половиною штампа, напрямні встановлені безпосередньо на шабот (а не на фундамент), маса шабота перевищує масу частин, що падають, у 20...30 разів. Звичайна маса частин, що падають, становить від 0,63...25 т. до 63...25 т.

Кривошипні гарячештампвальні преси (КГШП) мають кривошипно-шатунний механізм, який перетворює обертання кривошипного вала у зворотно-поступальний рух повзуна. Прес характеризується високими жорсткістю і продуктивністю. Не вимагає масивного фундаменту, проте вартість КГШП значно більша, ніж молота.

Горизонтально-кувальна машина (ГКМ) – це кривошипний прес, який працює і горизонтальному напрямку. Її особливість полягає у тому, що її штамп на відміну від інших пресів має дві площини розніму: горизонтальну – між двома половинками матриці і вертикальну – між матрицями і пуансоном. Тому штампування відбувається у два етапи. Спочатку половинки матриці затискають заготовку і можливо дещо

деформують її поверхню, а потім пуансон замикає порожнину між матрицями і пуансоном і деформує ту частину заготовки, яка залишилася у ній. ГKM відрізняється високою продуктивністю, як KГШП, але забезпечує нижчу точність поковки, як молоти.

Гідравлічні штампувальні преси використовуються для виготовлення дуже великих поковок або для кування поковок з малопластичних металів, які треба деформувати з малою швидкістю. Або для операцій, що вимагають великого ходу інструмента. Ці преси принципово не відрізняються від кувальних. Їх зусилля – до 750 МН. Порівняно з кувальними пресами мають виштовхувачі, жорсткішу конструкцію і трохи більшу швидкість деформування. Порівняно з KГШП гідравлічні преси тихохідніші та дорожчі.

10 ВИГОТОВЛЕННЯ КОВАНИХ І ШТАМПОВАНИХ ЗАГОТОВОК

Кування – один з найстаріших способів оброблення металів, напевне старіший за ливарне виробництво й металургію. Недаремно коваль був шанованою людиною і у місті, і у селі принаймні до кінця XIX століття. Його майстерня мала просте обладнання: горн для нагрівання металу, ковадло, молот і набір деяких додаткових інструментів. Працювали дві людини – коваль і молотобоець (рис. 10.1).



Рисунок 10.1 – Середньовічна кузня

Головну роль відігравав майстер – коваль. Він тримав у руці молоток – ручник і ним вказував, куди бити. А роль молотобійця зводилася до того, щоб бити молотом з усієї сили.

Сучасне виробництво кованих заготовок принципово не відрізняється від середньовічного: вихідна заготовка знаходиться на нижньому плоскому бойку, удари наносяться верхнім плоским боком за допомогою сучасного обладнання (молоти, преси) замість молотобійця. А головна відповідальність все одно лежить на ковалі – лише від нього залежить точність форми і розмірів поковки [12].

Задана конфігурація і розміри заготовки створюються за допомогою наступних кувальних операцій: протягування на плоскому бойку (рис. 10.2, а) або на фігурному (рис. 10.2, б), розкочування (розгонка) кілець для збільшення діаметра заготовки (рис. 10.2, в),

осаджування (рис. 10.2, г), прошивання для отримання у заготовці отвору (рис. 10.2, д), гнуття (рис. 10.2, е), закручування (рис. 10.2, є), рубання заготовки на частини за допомогою сокири (рис. 10.2, ж).

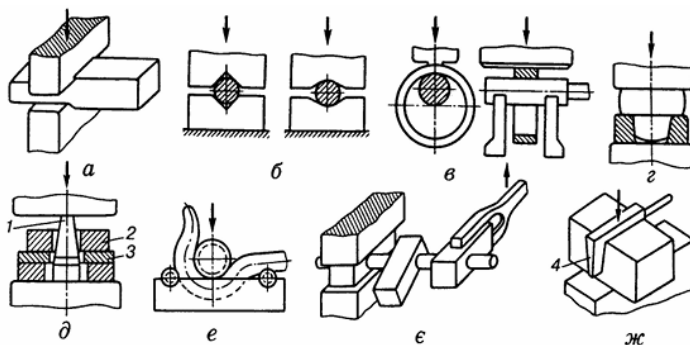


Рисунок 10.2 - Схеми основних операцій кування

Дрібні поковки масою до 250 кг кувають на пневматичних молотах з масою частин, що падають, від 50 до 1000 кг. Залежно від складності форми поковок їхня продуктивність становить від 40 до 460 кг/год. Середні поковки (масою до 750 кг) кувають на пароповітряних молотах з масою частин, що падають, від 1 до 50 т. Крупні поковки обробляють на гідравлічних кувальних пресах. Найбільші преси із зусиллям деформування 100 МН можуть кувати поковки масою до 250 т з продуктивністю 0,7...4,5 т/год.

Параметр шорсткості поверхні кованих поковок становить $Ra = 80 \dots 20$ мкм, а при використанні підкладних штампів – $Ra = 20 \dots 10$ мкм. Коефіцієнт вагової точності поковок не перевищує 0,3...0,4, що вимагає великий обсяг механічного оброблення. Тому в умовах дрібносерійного виробництва рекомендується застосовувати нескладні підкладні штампи, групове чи секційне штампування.

При партіях поковок одного найменування понад 30..50 штук застосовують відкриті чи закриті підкладні штампи (рис. 10.3). Це дозволяє одержати поковки відносно складної форми без напусків з припусками та допусками на 15...20% менше, ніж при куванні універсальним інструментом.

Підкладні штампи застосовують для виготовлення поковок масою до 150 кг, але переважно до 10...15 кг.

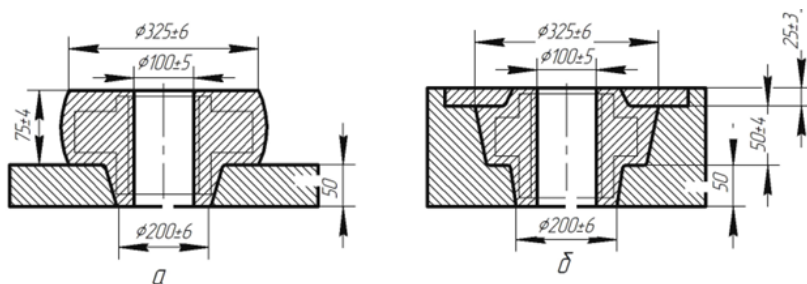


Рисунок 10.3 – Поковки, отримані звичайним куванням (а) і у підкладних штампах (б)

Перевагами виробництва заготовок куванням є висока якість металу, універсальність обладнання та інструменту, можливість виготовлення заготовок значних розмірів і мас на малопотужному обладнанні.

До *недоліків* кування належить порівняно низька продуктивність праці, велика трудомісткість; невисока точність форми та розмірів заготовок, підвищені витрати металу на напуски, угар, збільшені напуски на механічне оброблення; потреба у високій кваліфікації робітників, важкі умови праці, труднощі з механізацією і автоматизацією виробничих процесів.

Об'ємне штампування може здійснюватися у гарячому і холодному стані. Найчастіше використовується гаряче об'ємне штампування. Його звичайно застосовують у серійному та масовому виробництві для виготовлення різноманітних поковок масою від декількох грамів до 400 кг. Воно особливо ефективне для виготовлення поковок з малопластичних сталей і сплавів.

Залежно від типу штампа розрізняють об'ємне штампування у відкритих (рис.10.4, а) і закритих штампах (рис.10.4, б).

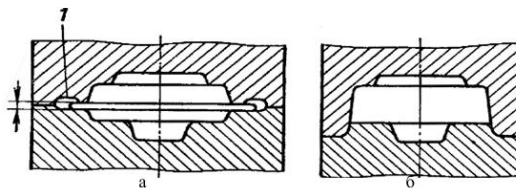


Рисунок 10.4 - Відкритий (а) і закритий (б) штампи

Наявність у відкритому штампі облойної канавки (поз.1. рис. 10.4, а) для входу зайвого металу відіграє двояку роль. З одного боку, це зайва операція по зрізанню облою, а з іншого – опір канавки витіканню матеріалу в процесі деформування створює сприятливі умови для якісного заповнення металом всіх рівчаків штампа.

Закритий штамп вимагає точного розрахунку об'єму вихідного металу, але немає операції обрізання облою. Закриті штампи використовуються для виготовлення невеликих заготовок простої конфігурації.

Молоти різних конструкцій застосовують для гарячого штампування переважно у відкритих штампах. Молоти виготовляють з масою частин, що падають, від 630 до 2500 кг. Найпоширеніші пароповітряні молоти подвійної дії. При штампуванні на молотах можливе регулювання енергії та частоти ударів. Деформування поковки в одному рівчаку за кілька ударів забезпечує кращі умови заповнення порожнини рівчака (у порівнянні з штампуванням на пресах).

Штампування на молоті застосовують при серійному виробництві поковок масою 0,01...1000 кг. Воно характеризується невисокою продуктивністю праці, низькою точністю розмірів поковок (допуск досягає кількох міліметрів), великими витратами металу на напуски від штампувальних нахилів внаслідок обмеженого застосування виштовхувачів.

Кривошипні гарячештампувальні преси (КГШП) розповсюджені у багатосерійному і масовому при виробництві поковок складної форми масою до кількох сотен кілограмів. Вони відзначаються більшою вартістю, але пристосовані для високоомеханізованого і автоматизованого виробництва поковок.

Нерегульований кінець робочого ходу КГШП не дозволяє деформувати заготовку в одному рівчаку за кілька ходів. Кількість

робочих ходів цих пресів 35...95 за хвилину; швидкість у момент початку деформування не перевищує 0,6...0,8 м/с; робоче зусилля становить 6,2...120 МН.

До числа основних недоліків КГШП відносяться: їх висока вартість (приблизно у 3...4 рази вища, ніж у молотів); менша універсальність; гірше заповнення глибоких порожнин через малу швидкість деформування; складніша конструкція, регулювання та експлуатація штампів.

Штампкування на *гідравлічних пресах* має неударний характер. Робочий хід його повзуна здійснюється при дуже невеликій, але постійній швидкості, звичайно до 0,15...0,2 м/сек. Штампувальні гідравлічні преси виготовляють зусиллям до 750 МН. Гідравлічний штампувальний прес значно дорожчий, тихохідніший та менш продуктивний, ніж штампувальний молот з еквівалентною масою частин, що падають.

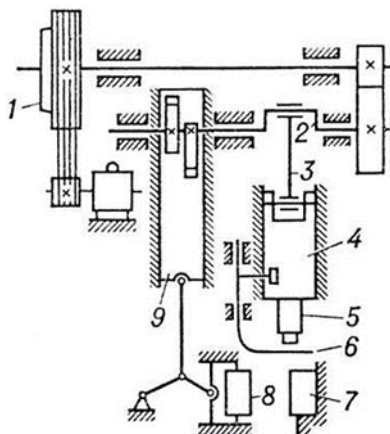
На гідравлічних пресах штампують поковки з чорних і кольорових металів з площиною проекції до 2,5 м² чи масою більше 350 кг; при штампуванні заготовок з малопластичних металів, які не допускають великих швидкостей деформування (титанові сплави, деякі жароміцні сталі і сплави), у тих випадках, коли необхідний дуже великий робочий хід пуансона.

Штампкування на *горизонтально-кувальних машинах* (ГКМ) здійснюється з зусиллями 6,3...125 МН. Основною відмінністю ГКМ є наявність штампів з двома взаємно перпендикулярними рознімами: один – між верхньою і нижньою частинами матриці, другий – між матрицею та пуансоном (рис.10.5).

На ГКМ штампують у відкритих, закритих штампах і в штампах для витискання. Типовим процесом є багаторівчакове висаджування у закритих дворознімних штампах. Максимальне зусилля штампкування на ГКМ – 5...125 МН, найбільший діаметр оброблюваних вихідних заготовок – до 270 мм, робочий хід повзуна – 200...700 мм, кількість робочих ходів – 20...95 за хвилину.

Поковки, що виготовляються на ГКМ, звичайно мають форму тіл обертання з прямою віссю, спрямованою по осі вихідної заготовки, якою може бути пруток або труба. ГКМ часто застосовують для виготовлення заготовок, що не вимагають деформування по всій

довжині або для виконання кінцевої операції типу висаджування фланця чи потовщення з обох кінців заготовки. Поковки, що виготовляються на ГKM, за припусками і допусками ближчі до молотових поковок, ніж до поковок, що виготовляються на КГШП. Продуктивність цих машин приблизно однакова.



1 -маховик; 2 – кривошип; 3 – шатун; 4 – повзун; 5 – пуансон;
6 – упор; 7 – нерухома матриця; 8 – рухома матриця; 9 – бічний повзун

Рисунок 10.5 – Схема горизонтально-кувальної машини

Недоліками штампування на ГKM є: обмежені форма і маса (до 150 кг) штампованих поковок, необхідність використання як вихідного матеріалу точного, а іноді каліброваного прокату, підвищені витрати металу за рахунок хвостовиків (для закріплення прокату у матриці).

11 ПРОЄКТУВАННЯ ШТАМПОВАНИХ ЗАГОТОВОК

Вихідною інформацією для проєктування штампованої заготовки є: креслення деталі з зазначеними на ньому розмірами, гранично допустимими відхиленнями розмірів, шорсткістю поверхонь; маса і марка матеріалу; програма випуску деталей (розмір замовлення) і тип виробництва; умови експлуатації деталі та інше. Якщо матеріал деталі непридатний для пластичного деформування (наприклад, чавун), його треба замінити на сталь, близьку за механічними властивостями.

На початку проєктування визначають *спосіб штампування*, який може суттєво вплинути на конструкцію, розміри і точність поковки. Його вибір суттєво залежить від типу виробництва. Тип виробництва обирається залежно від маси поковки і кількості заготовок у замовленні. Для визначення орієнтовної маси поковки на етапі проєктування треба збільшити масу деталі приблизно на 50%.

Проаналізувавши можливості різних методів виробництва штампованої заготовки та вимоги до заготовки, що проєктується, тип виробництва для даної заготовки орієнтовно обирається за допомогою таблиць 4.7 [10] або 2.1 [11].

На наступному етапі необхідно провести *класифікацію заготовки*, що проєктується.

Штамовані поковки класифікуються за ознаками: точність виготовлення, група сталі, ступінь складності, конфігурація поверхні розніму штампа.

Клас точності виготовлення встановлюється залежно від виду обладнання (обраного технологічного процесу) за табл. 11.1. З п'яти класів точності клас точності Т1 відповідає найвищій точності, клас Т5 – найнижчій.

Групу сталі поковки визначають за вмістом вуглецю і за сумарною масовою часткою легувальних елементів. Чинний стандарт поділяє сталі за масовою часткою вуглецю і сумарною масовою часткою легувальних елементів на такі групи:

М1 – вуглецю до 0,35% і легувальних елементів до 2% включно;

М2 – вуглецю понад 0,35% до 0,65% або легувальних елементів понад 2 до 5% включно;

МЗ – вуглецю понад 0,65% або легувальних елементів понад 5%. При визначенні групи сталі треба пам'ятати, що збільшення кількості вуглецю та легувальних елементів у сталі, як правило, погіршує її пластичність. Тому навіть при невеликій кількості вуглецю, але значній кількості легувальних елементів або навпаки сталь може перейти у вищу групу сталі.

Таблиця 11.1 - Класифікація поковок за точністю

Деформувальне обладнання (технологічний процес)		Клас точності				
		T1	T2	T3	T4	T5
Преси штампувальні (гвинтові, гідравлічні); штампувальні молоти, горизонтально-кувальні машини (ГКМ)					+	+
Преси криво-шипні	-відкрите штампування				+	+
	-штампування витисканням		+	+		
	-закрите штампування		+	+		
Автомати гарячештампувальні			+	+		
Калібрування об'ємне		+	+			
Калібрування плоске		+				
Штампування прецизійне		+				

Ступінь складності поковки С визначають шляхом обчислювання відношення:

$$C = M_{п.р}/M_{ф}, \quad (11.1)$$

де $M_{п.р}$ – розрахункова маса поковки;

$M_{ф}$ – маса геометричної фігури мінімального об'єму, в яку вписується поковка (рис. 11.1).

При попередніх розрахунках масу поковки $M_{п.р}$ можна визначити через масу деталі $M_{д}$:

$$M_{п.р} = K_p M_{д}, \quad (11.2)$$

де K_p – розрахунковий коефіцієнт, який можна прийняти у межах 1,4...1,5. Чим складніше конфігурація, тим більше величина K_p .

При визначенні маси геометричної фігури, в яку вписується поковка, M_{ϕ} спочатку визначають її об'єм. При розрахунку об'єму габаритні лінійні розміри деталі (d , l , b , h), які відповідають розмірам оброблених поверхонь, треба збільшити на 3...5%. За густину сталевих поковок слід брати $\rho = 7,85 \text{ г/см}^3$.

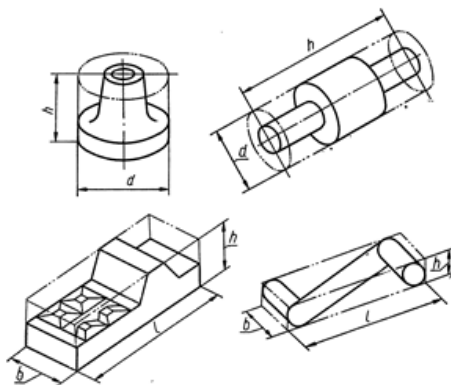


Рисунок 11.1 - Приклади поковок і геометричних фігур, в які можуть бути вписані поковки

Ступеням складності поковок відповідають такі числові значення відношення C :

Ступінь складності	Значення C
C1	понад 0,62
C2	понад 0,32...0,62 включно
C3	понад 0,16...0,32 включно
C4	до 0,16 включно

За конфігурацією поверхні розніму штампа, що використовується, розрізняють поковки з плоскою (П) і зігнутою поверхнею розніму; остання може бути симетричною ($З_{\text{с}}$) або несиметричною ($З_{\text{н}}$).

При встановленні *положення поковки у штампі* слід керуватися наступними рекомендаціями.

Необхідно враховувати необхідність легкого заповнення ривчаків штампа металом і легкого видалення з нього поковки. Для цього будь-які розміри окремих елементів поковки на поверхні розніму штампа повинні бути більшими розмірів інших її елементів у заглибленні. Найбільші габаритні розміри поковки бажано розташовувати у площині розніму штампа. Заглиблення, порожнини, отвори, ребра повинні розташовуватися лише у напрямку переміщення робочого органу молота або преса. Заповнення ривчаків штампа легше відбувається шляхом осаджування (ривчак ширше заготовки, ніж утискування (ривчак вужче заготовки)).

При виборі *положення поверхні розніму* штампа передусім передбачають можливість вільного виходу поковки з ривчаків штампа. Для цього площа будь-якого перерізу поковки вище і нижче поверхні розніму повинна зменшуватися у міру віддалення від цієї поверхні за рахунок відповідних природних скосів чи штампувальних нахилів.

По можливості поверхня розніму повинна проходити по осі симетрії деталі з тим, щоб в обох половинах штампа розташовувався приблизно однаковий об'єм металу. Елементи штампа, що важко заповнюються і формують тонкі високі ребра, бобишки і т. п., повинні розташовуватися у його верхній половині.

Лінія перетину поверхні розніму з поковкою повинна проходити *по тілу поковки*. У цьому випадку вже невелике зміщення однієї з половинок штампа відносно іншої легко виявити.

Бажано, щоб поверхня розніму штампа була плоскою, що забезпечує відносно просте виготовлення штампів і добрі умови обрізання облою. Ламана лінія розніму іноді знижує витрати металу за рахунок зменшення висоти нахилів, але ускладнює виготовлення штампів.

Для призначення основних припусків і допусків необхідно визначити *вихідний індекс поковки* I_v .

Для визначення вихідного індексу поковки I_v необхідно знати орієнтовну величину розрахункової маси поковки $M_{п.р}$ і її основні характеристики: клас точності, групу сталі та ступінь складності. Основні характеристики поковки визначені раніше, як і розрахункова маса поковки $M_{п.р}$, що знаходиться за формулою 11.2. Масу деталі M_d визначають за кресленням. Треба підкреслити, що розрахункова маса

поковки — величина допоміжна. Вона використовується під час проектування лише доти, поки нема креслення спроектованої поковки.

Вихідний індекс I_v визначається за допомогою номограми, поданої у додатку 10 [10] і додатку Г [11]. Там же наведений і порядок користування номограмою.

Технологічні напуски призначають на порожнини, западини, виїмки, отвори (діаметром до 30 мм), зубчасті вінці, шліци, шпоночні пази і т.п. елементи поковки, що є на кресленні деталі і які неможливо або недоцільно одержувати штампуванням через несприятливе розташування їх відносно поверхні розрізу штампа, малі розміри тощо.

Для розрахунку розмірів поковки спочатку треба визначити поверхні, які обробляються різанням, їх шорсткість і припуски на механічне оброблення.

Для штампованих поковок *повний припуск* складається з основного і додаткового припусків. *Основний припуск* призначається тоді, коли необхідну точність розмірів і шорсткість поверхні можна отримати лише обробленням різанням.

Додатковий припуск призначений компенсувати дефекти поковки: зміщення штампів по площині розрізу, зігнутість поковки або відхилення її від площинності та прямолінійності. Додаткові припуски призначаються не завжди, залежно від заданої точності заготовки додаткові припуски можуть не враховуватися.

Основні припуски (на бік) знаходять за додатком 11 [10] або табл. 2.4 [11] залежно від вихідного індексу I_v , лінійного розміру деталі (довжини, ширини, діаметра, товщини та ін.) і параметра шорсткості R_a оброблюваної поверхні, для якої призначається припуск.

При визначенні величини припуску на поверхню, положення якої визначається двома і більше розмірами поковки, приймають найбільше значення припуску для даної поверхні.

Визначивши припуски, необхідно провести розрахунок *фактичних розмірів* оброблюваних поверхонь заготовки шляхом додавання (віднімання) їх до відповідних розмірів деталі. Одержані розрахунком фактичні розміри необхідно округлити.

Допуски і допустимі граничні відхилення призначаються на всі лінійні розміри поковки (як для оброблюваних, так і необроблюваних

поверхонь) за додатком 14 [10] або табл. 2.5 [11] залежно від вихідного індексу I_v і відповідного фактичного розміру поковки.

Штампувальні нахили призначаються на поверхні, розташовані паралельно руху баби молота або повзуна преса і відповідно перпендикулярні площині розніму штампа. Нахили необхідні для полегшення заповнення порожнини штампа металом та видалення з неї поковки.

Штампувальні нахили поділяються на зовнішні та внутрішні. *Зовнішні нахили* призначаються на поверхні, по яким між поковкою і стінкою штампа утворюються зазори внаслідок усадки при остиганні поковки, а *внутрішні нахили* – на поверхні, які при остиганні щільно стискають виступи штампа.

Штампувальні нахили залежать від форми та розмірів порожнини штампа, її глибини, матеріалу поковки, способу штампування, наявності або відсутності виштовхувачів тощо. Рекомендовані значення нахилів наведено у табл. 11.2. Менші значення приймаються при малих відношеннях глибини до ширини (діаметра) порожнини штампа і навпаки.

Таблиця 11.2 - Штампувальні нахили

Штампувальне обладнання		Штампувальні нахили	
		зовнішні	внутрішні
Молоти		1...7	3...10
Кривошипні гаряче-штампувальні преси	без виштовхувачів	5...7	7...10
	з виштовхувачами	3...5	5...7
Гідравлічні преси		1...2	2...4
Горизонтально-кувальні машини	поверхні, що формуються пуансоном (горизонтальні)	0,25...1	0,25...3
	поверхні, що формуються матрицями (вертикальні)	0,5...5	1...7

Для деталей, в яких є порожнина або отвір і їхня вісь співпадає з напрямком руху робочого органу - молота чи преса, проектується *намітка отвору*. Для цього спочатку визначається діаметр основи отвору $d_{осн}$ (тобто фактичний діаметр отвору з урахуванням припуску) і його характер – наскрізний чи ненаскрізний.

Якщо діаметр основи отвору $d_{осн}$ менше 30 мм, такий отвір штампуванням не виготовляється, і на нього призначається напуск.

Якщо деталь має ненаскрізний отвір (порожнину), то проектується глуха однобічна намітка отвору. При невеликій глибині на дні такої намітки утворюється плоска ділянка, яка сполучується з бічними стінками внутрішнім радіусом заокруглень. При глибині глухої намітки $h > 1,7 d_{осн}$ на дні отвору не залишається плоскої ділянки, і вона закінчується сферичною поверхнею (рис. 11.2).

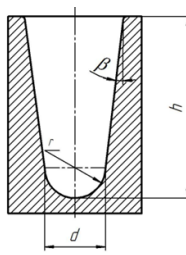


Рисунок 11.2 – Приклад глухої намітки отвору

Для наскрізного отвору з $d_{осн}$ більше 30мм розраховуються: діаметр основи отвору $d_{осн}$, глибина намітки отвору h , яку можна отримати штампуванням, та товщина перемички S при двобічній намітці отвору (рис. 11.3).

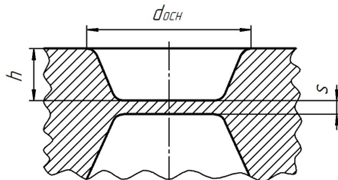


Рисунок 11.3 – Намітка отвору з плоскою пермичкою

Якщо діаметр основи отвору $d_{\text{осн}}$ більше або дорівнює висоті поковки h , виконуються наскрізні однобічні отвори.

Якщо довжина наскрізного отвору h більше діаметра $d_{\text{осн}}$, застосовують двобічну намітку отвору. При двобічній намітці отвору діаметром $d_{\text{осн}}$ верхня намітка, яка виготовляється верхнім знаком (виступом) штампа, робиться глибиною $h_v \leq d_{\text{осн}}$, а нижня, яка виготовляється нижнім знаком – глибиною $h_n \leq 0,8d_{\text{осн}}$.

Між намітками залишається перемичка, яка служить для того, щоб запобігти співударінню знаків штампа, зберегти їх стійкість. Вона потім легко видаляється у просічному штампі при обрізанні облою.

Плоска перемичка повинна мати товщину:

$$S = 0,45\sqrt{d_{\text{осн}} - 0,25h} - 5 + 0,6 \quad (11.3)$$

Якщо отримане значення S менше 5 мм, товщину перемички треба збільшити до 5 мм.

Радіус заокруглень *зовнішніх кутів* поковок R_3 вибирають за табл. 11.3 залежно від маси поковки і глибини порожнини рівчака штампа.

Радіуси заокруглень *внутрішніх сполучень* $R_{\text{вн}}$ беруться приблизно у три рази більше: $R_{\text{вн}} = 3 R_3$.

Таблиця 11.3 - Найменший радіус заокруглень зовнішніх кутів поковок R_3 мм

Маса поковки, кг	Найменші радіуси заокруглень при глибині рівчака штампа, мм			
	до 10	11...25	26...50	понад 50
до 1	1,0	1,6	2,0	3,0
понад 1 до 6	1,6	2,0	2,5	3,5
понад 6 до 16	2,0	2,5	3,0	4,0
понад 16 до 40	2,5	3,0	4,0	5,0

Креслення заготовки можна виготовляти як вручну, так і з використанням спеціальних програм (Компас, CorelDRAW та ін.). Згідно з чинними стандартами креслення штампованої поковка з

урахуванням всіх напусків, припусків за своїми фактичними розмірами виконується *товстими суцільними лініями*. На кресленні поковки *тонкою штрихпунктирною лінією з двома точками* наносять контур готової деталі, який можна трохи спростити. Одночасно на кресленні показують поверхню розніму штампа тонкою штрихпунктирною лінією, яка позначається хрестиками на кінцях.

На кресленні мають бути проставлені всі розміри, необхідні для виготовлення і контролю поковки, відповідно до виконаних розрахунків. Проставлені розміри поковки повинні бути узгоджені з відповідними розмірами на кресленні деталі. Слід уникати проставлення розмірів ланцюжком. Як замикальний розмір звичайно обирають товщину фланця, приливу або іншого невідповідального елемента.

У технічних умовах креслення зазначають: клас точності, групу складності, групу сталі, невказані штампувальні нахили і радіуси заокруглень, допуски на лінійні або кутові розміри, встановлені межі твердості та інше. При необхідності вказують допустимі залишки облою, види і розміри допустимих зовнішніх дефектів поковки тощо.

За отриманим кресленням визначають масу штампованої заготовки.

12 ОСНОВНІ СПОСОБИ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНИХ І КОМБІНОВАНИХ ЗАГОТОВОК

***Зварювання** – технологічний процес отримання нерознімного з'єднання встановленням міжатомних або міжмолекулярних зв'язків між частинами, що з'єднуються, при їх нагріванні або пластичному деформуванні, чи при спільній дії обох факторів.*

Переваги використання зварювання у машинобудівному виробництві: економія матеріалів до 30...60% за рахунок зменшення товщини стінок і спрощення конструкції виробу; зниження вартості виробів, зменшення трудомісткості та скорочення термінів їх виготовлення; висока продуктивність устаткування та якість виробів; можливість широкої механізації та автоматизації процесу.

Недоліки зварних заготовок: наявність у них залишкових напружень, які часто зумовлюють їх жолоблення, втрату точності форми та розмірів поверхонь; не всі матеріали відзначаються достатньою зварністю; складні за формою заготовки можуть відрізнитися у порівнянні з виливками більшою трудомісткістю виготовлення та нижчою продуктивністю праці.

Залежно від характерних особливостей роботи і конструктивних факторів виділяють такі типи конструкцій зварних елементів: балки, колони, оболонкові конструкції, корпусні транспортні конструкції і деталі машин та приладів.

Балки і колони - це конструктивні елементи, які працюють в основному на поперечне згинання або стискання. Вони складаються, головним чином, з листових елементів, що зварюються, як правило, автоматичним зварюванням під флюсом. Обробленню різанням після зварювання вони практично не підлягають.

Оболонкові конструкції становлять ємності, посудини, труби, до яких ставляться вимоги герметичності при надлишковому тиску. Крупні ємності: резервуари для зберігання нафтопродуктів, газгольдери, корпуси печей тощо - збираються на місці монтажу з листових полотнищ або секцій. Зварювання ведеться, як правило, зварювальними тракторами встик під флюсом.

До корпусних транспортних конструкцій відносять корпуси суден, вагонів, кузови автомобілів. Вони становлять просторову конструкцію з плоских або зігнутих листових елементів. Корпуси

вагонів та суден мають ґратчасту основу, до якої кріпиться листова обшивка. Для цієї групи заготовок у широких масштабах застосовується автоматичне дугове і контактне зварювання

Деталі машин і приладів мають різноманітні форми і розміри. Це можуть бути станини, вали і колеса, корпуси приладів, тяги, шатуни та ін. Елементи зварних заготовок деталей машин виготовляються з різноманітних матеріалів при товщині від десятих часток міліметра до 100 мм і більше.

Зварні заготовки виготовляють з листового прокату, фасонних і гнутих профілів, що забезпечує можливість одержання легких деталей підвищеної жорсткості і стійкості. До таких заготовок належать рами, станини, барабани, корпуси редукторів, зубчасті колеса, штанги, тяги, підшипникові опори різних систем тощо.

Прикладом використання зварювання для підвищення технологічності конструктивного рішення може служити рис. 12.1.

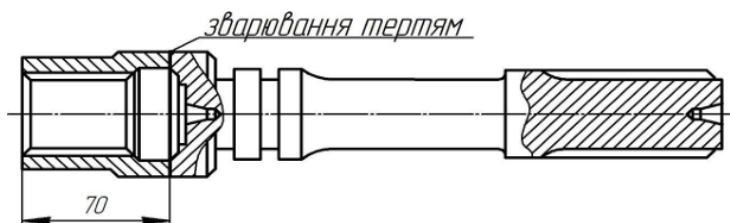


Рисунок 12.1 – Піввісь трактора

Комбіновані заготовки. У сучасному машинобудуванні тенденції при виготовленні крупних заготовок ведуть до заміни литих заготовок комбінованими, які одержують поєднанням кування і лиття зі зварюванням. Це дозволяє підійти диференційовано до різних частин деталі, зокрема, використовувати в одній конструкції різнорідні матеріали, які найбільше відповідають умовам роботи різних елементів, зменшити масу і металомісткість конструкцій. Комбіновані заготовки мають високу технологічність. Їх впровадження знижує строки освоєння виробництва, скорочує витрати на ливарне і штампувальне оснащення.

Найчастіше використовуються такі види комбінованих заготовок.

Зварно-литі заготовки виготовляють при виробництві станин пресів, прокатних станів, верстатів, корпусів редукторів, картерів тепловозних двигунів, товстостінних посудин, різних деталей вагонів тощо. Розділення крупногабаритних суцільнолитих заготовок дозволяє використати точніші способи лиття (кокільне, під тиском), застосування яких різко знижує обсяг механічного оброблення. Залежно від розмірів поперечного перерізу, типу зварного шва і матеріалу заготовки зварювання її елементів виконують різними видами дугового, контактного або електрошлакового зварювання.

Собівартість комбінованої заготовки у порівнянні з собівартістю литої заготовки однакових розмірів на 25...35% нижча. Економічна ефективність застосування комбінованої конструкції замість литої зростає зі збільшенням маси і габаритів заготовки.

Штампо-зварні заготовки (рами, кожухи, ободи, шків, ємності та ін.) виготовляють з листового матеріалу. Вони дозволяють замінити литі або штамповані заготовки, які потребують у подальшому досить дорогого механічного оброблення. Конструкція штампо-зварної заготовки повинна одночасно відповідати умовам технологічності і листового штампування, і зварювання.

Штампо-зварні заготовки мають низку переваг: висока продуктивність і порівняно низька собівартість виготовлення; зменшення витрат матеріалу і зниження маси конструкції; простота одержання заготовок зі складними конструктивними формами. Штампо-зварні заготовки зварюють в основному контактними способами зварювання.

Зварно-ковано-литі заготовки виготовляють зварюванням литих елементів з поковками або заготовками з прокату. Такі конструкції часто застосовують у важкому і енергетичному машинобудуванні: ротори турбін, масивні вали, великі зубчасті колеса, рами тощо. Порівняно з литими (або кованими) зварно-ковано-литі заготовки мають такі переваги: значне зниження маси заготовки, спрощення ливарної і ковальської технології виготовлення відповідальних

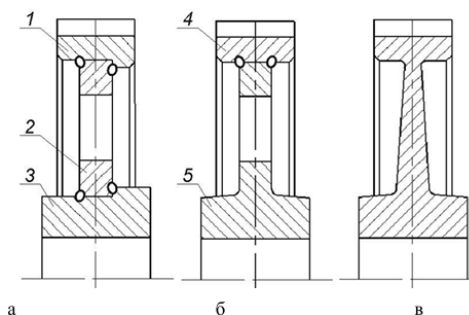
елементів, підвищення якості і точності виготовлення окремих елементів, скорочення виробничого циклу.

З'єднання елементів зварно-ковано-литих заготовок провадиться в основному електрошлаковим або контактним стиковим зварюванням і рідше – дуговими способами зварювання.

Переваги комбінованих зварних конструкцій, в яких використовуються одночасно вихідні заготовки, одержані різними способами (виливки, поковки, листовий і сортовий прокат). Це насамперед проявляються при виготовленні тонкостінних видовжених деталей.

Вибір виду зварної чи комбінованої конструкції заготовки здійснюється з урахуванням експлуатаційних вимог, які ставляться до готової деталі. При наявності декількох можливих варіантів питання вирішується на основі техніко-економічних розрахунків.

При оцінці різних варіантів у кожному конкретному випадку слід урахувати особливості даної конструкції, технологічні властивості матеріалу, тип виробництва, потрібну точність виготовлення та інші фактори. Як приклад нижче розглядається три варіанти виготовлення заготовки шестерні великого розміру (рис. 12.2).



а – зварно-кований; б – зварно-литий; в – литий;

1 – обід кований; 2 – ребро з листового прокату; 3 – маточина з товстостінної труби; 4 – обід катаний; 5 – маточина лита

Рисунок 12.2 – Конструктивні варіанти заготовки шестерні

Якщо перевага комбінованої (зварної) заготовки перед суцільною (ливою, кованою, штампованою) не очевидна, тобто якщо собівартість суцільної заготовки менше собівартості комбінованої, при техніко-економічному порівнянні можливих варіантів доцільно визначити критичний розмір партії N , що визначає ту максимальну кількість заготовок, для якої зварний варіант буде економічнішим. При більшому розмірі партії слід переходити до суцільної заготовки.

$$N = B_0 / (C_k - C_c), \quad (12.1)$$

де B_0 – вартість оснащення, необхідного для виготовлення суцільної заготовки (модельного комплекту, штампів та ін. пристроїв);

C_k – собівартість однієї комбінованої заготовки;

C_c – собівартість однієї суцільної заготовки.

Переваги комбінованих зварних конструкцій, перед усім проявляються при виготовленні тонкостінних видовжених деталей, коли з'являється можливість широкого використання прокату, поковок, виливків, які з'єднані в єдиний конструктивний блок за допомогою зварювання.

Технологічні особливості основних способів зварювання.

Дугове зварювання (ручне, механізоване і автоматичне) є найпоширенішим способом зварювання. Ручне зварювання застосовується для зварювання швів невеликого розміру; за один прохід без попереднього розкриття крайок воно дозволяє зварювати елементи заготовки товщиною 4...8 мм. Автоматичне зварювання може вестись одним або кількома електродами під шаром флюсу, у середовищі захисних газів (аргону, гелію, вуглекислого газу) або самозахисним зварювальним дротом. При цьому різко підвищується товщина зварюваних деталей (до 15 мм без розкриття крайок) і продуктивність зварювання (у 6...8 разів порівняно з ручним зварюванням). Зварювання у вуглекислому газі вуглецевих і низьколегованих сталей характеризується стабільністю режиму зварювання, добрим формуванням зварного шва, високою якістю з'єднання. Продуктивність механізованого зварювання приблизно у 2...4 рази вища, ніж ручного [13].

Контактне зварювання (стикове, точкове, шовне) відзначається високою продуктивністю і економічністю. Ним добре зварюються

вуглецеві, низьколеговані і деякі корозійностійкі сталі, а також алюміній, титан та їх сплави.

При стиковому зварюванні заготовки зварюються по всій поверхні їх дотику. Можна зварювати сталеві стрижні, рейки, прутки, труби, прокат перерізом до 10000 мм², а також прутки, труби, прокат, поковки з кольорових металів перерізом до 4000 мм². Точковим зварюванням з'єднують листові заготовки внапусток в окремих місцях (точками). Цим способом зварюють заготовки (листи, прутки, швелери, кутики тощо) однакової чи різної товщини від сотих часток міліметра до 12 мм. Шовним зварюванням зварюють внапусток листові заготовки безперервним щільноміцним швом (кузов автомобіля, герметичні ємності тощо) [14].

Електрошлакове зварювання при виробництві товстостінних (до 1 м і більше) зварних конструкцій у важкому машинобудуванні забезпечує високу економічну ефективність: зняття продукції з 1 м² виробничої площі збільшується у 2 рази, цикл виробництва зменшується у 1,5...2 рази, економиться метал, знижуються витрати електроенергії у 1,5...2 рази, а флюсу – у 20...40 разів, відпадає необхідність у попередньому розкритті крайок, знижується собівартість.

При *газовому зварюванні* плавлення металу у зоні зварювання відбувається за рахунок теплоти полум'я, яка виділяється при спалюванні горючих газів у суміші з киснем за допомогою спеціального пальника. Температура зварювального полум'я у 2,0...2,5 рази нижча за температуру електричної дуги. У зв'язку з цим головна технологічна особливість газового зварювання полягає у тому, що воно забезпечує плавне і повільне нагрівання металу. Проте повільне нагрівання порівняно великого об'єму металу навколо зварного шва викликає деформування виробів, що обмежує застосування газового зварювання. Тому воно використовується при виготовленні та при ремонті виробів з тонколистової сталі (до 8 мм завтовшки), при зварюванні чавуну, алюмінію, міді, латуні, при виправленні дефектів литва та ін.

При виготовленні зварних заготовок треба враховувати таку технологічну характеристику металу заготовки, як зварність.

Практично під доброю *зварністю* розуміють можливість при звичайній технології одержати зварне з'єднання, рівномірне з

основним металом, без тріщин і без зниження пластичності у наволошовній зоні. Встановити загальні критерії зварності для всіх металів і сплавів неможливо. У даний час класифікуються за зварністю тільки сталі. Залежно від вмісту вуглецю і легувальних елементів сталі поділяються на добре, задовільно, обмежено і погано зварювані.

Якість зварного шва суттєво залежить не лише від металу самого зварного шва. Небезпечною частиною шва в експлуатації може стати зона термічного впливу.

Зоною термічного впливу (ЗТВ) називається частина основного металу, яка межує з ділянкою неповного розплавлення металу та на яку поширюється тепловий вплив зварювальної ванни. У ЗТВ метал не плавиться, хімічний склад не змінюється, а відбувається лише зміна структури внаслідок нагрівання та наступного охолодження. Характер змін структури (а отже й властивостей) металу залежить від температури, до якої нагрівається ця ділянка зони, швидкості охолодження після зварювання та хімічного складу металу. Чим ближче до зварювальної ванни, тим більше зміни у розмірі зерен та структурі металу. При цьому механічні властивості металу у ЗТВ можуть помітно знижуватися. Величина зони термічного впливу залежить від способу та режиму зварювання, а також від хімічного складу сталі, що зварюється. При дуговому зварюванні маловуглецевих сталей величина ЗТВ становить 6...10 мм, при газовому досягає 25...30 мм.

13 ЧИННИКИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ВИБІР МЕТОДУ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАГОТОВОК

На вибір оптимального способу виготовлення заготовки впливають різноманітні чинники. Серед них найважливішими є наступні.

Форма і розміри заготовки. Найскладніші за конфігурацією заготовки можна виготовляти різними методами лиття. Лиття у піщані форми і за витоплюваними моделями дозволяє одержувати заготовки складної зовнішньої конфігурації з різноманітними за формою порожнинами і отворами. Тим часом деякі методи лиття у багаторазові форми (наприклад, лиття під тиском) висувають певні обмеження щодо зовнішньої форми виливка і отворів, а також умов його виготовлення. Заготовки, виготовлені куванням і штампуванням, повинні бути простішими за формою. Виготовлення отворів і порожнин при цьому у низці випадків ускладнене і можливе лише у напрямку руху робочого органу обладнання, а використання напусків різко збільшує обсяг подальшого механічного оброблення.

Для простих за конфігурацією деталей часто заготовкою є прокат (прутки, труби та інші профілі). Хоч у цьому випадку обсяг механічного оброблення зростає, така заготовка може бути досить економічною через порівняно низьку вартість прокату.

Розміри заготовки найчастіше визначаються її масою. Для лиття і кування розміри заготовки обмежуються тільки можливостями даного підприємства. Штампування і більшість спеціальних методів лиття обмежують масу заготовки (до кількох десятків або сотень кілограмів).

Форма (група складності) і розміри (маса) виливків і поковок впливають на їхню собівартість. Причому маса заготовки впливає активніше, оскільки з нею пов'язані витрати на обладнання, оснащення, нагрівання тощо. Значне зниження вартості виготовлення литих і штампованих заготовок має місце, наприклад, із збільшенням їхньої маси від 2 до 30 кг.

Вимоги до точності розмірів та якості поверхневого шару заготовок. Потрібна точність геометричних форм і розмірів заготовок істотно впливає на їх собівартість. Точність розмірів і якість поверхневого шару залежить від вибору обладнання, яке використовується для виготовлення заготовки. Чим вищі вимоги до

точності виливків, поковок та інших заготовок, тим вища вартість їх виготовлення. Це визначається головним чином збільшенням вартості формотвірного оснащення (моделі, штампи, прес-форми), зменшенням допуску на його спрацювання, використанням обладнання з вищими параметрами точності (а отже, й дорожчого), збільшенням витрат на його утримання і експлуатацію.

Якість поверхневого шару заготовки позначається на можливості її наступного оброблення і на експлуатаційних можливостях деталі (наприклад, втомна міцність, зносостійкість). Вона формується практично на всіх стадіях виготовлення заготовки. Технологічний процес визначає не тільки мікрогеометрію поверхні, але й фізико-механічні властивості поверхневого шару.

Технологічні властивості матеріалу заготовки. Кожний метод виробництва заготовок вимагає від матеріалу певного комплексу технологічних властивостей. Тому часто матеріал накладає обмеження на вибір способу виготовлення заготовки. Так, сірий чавун має прекрасні ливарні властивості, але не піддається обробленню тиском. Титанові сплави наділені високими антикорозійними властивостями, але виготовити з них виливки або поковки досить важко.

Якщо заготовки з одного й того ж матеріалу одержувати різними методами (лиття, оброблення тиском, зварювання), то вони матимуть неідентичні властивості, оскільки в процесі їх виготовлення відбувається зміна властивостей матеріалу. Так, литий метал характеризується відносно великим розміром зерен, неоднорідністю хімічного складу і механічних властивостей по перерізу вилівка, наявністю залишкових напружень тощо. Метал після оброблення тиском має дрібнозернисту структуру, певний напрямок розташування зерен (волокнистість). Після холодного оброблення тиском виникає наклеп. Холоднокатаний метал міцніший литого у 1,5...3,0 рази. Пластичне деформування металу призводить до анізотропії властивостей: міцність уздовж волокон приблизно на 10...15% вища, ніж у поперечному напрямку. Зварювання веде до створення неоднорідних структур у самому зварному шві та у наволошовній зоні. Неоднорідність залежить від властивостей зварюваного металу, способу і режиму зварювання. Найбільша відмінність властивостей зварного шва і основного металу спостерігається при ручному

дуговому зварюванні. Електрошлакове і автоматичне дугове зварювання дають найякісніший однорідний шов.

Розмір виробничої партії заготовок. Програма виробництва заготовок, тобто кількість виробів, які випускаються протягом певного часу (як правило, за рік), є одним з найважливіших чинників, що визначає вибір способу виробництва заготовок. Її вплив для кожного технологічного процесу легко простежити за собівартістю виробничої партії заготовок:

$$C_{\Pi} = a\Pi + b \quad (13.1)$$

і для однієї заготовки

$$C_1 = a + b/\Pi. \quad (13.2)$$

де a - поточні виграти (вартість використаного матеріалу, заробітна плата основних робітників, витрати на експлуатацію обладнання і інструменту тощо);

b - одноразові виграти (на придбання або виготовлення обладнання, інструменту; його амортизацію та ремонт); Π - розмір виробничої партії, шт.

Очевидно, що збільшення розміру партії веде до зниження собівартості заготовки. Проте таке зниження відбувається не однозначно. Збільшення виробничої партії понад критичне значення Π_i вимагає введення додаткового обладнання або технологічного оснащення. Залежність собівартості від розмірів партії набуває у цьому випадку складнішого (ступінчастого) характеру (рис. 13.1).

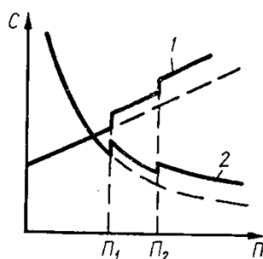


Рисунок 13.1 - Залежність собівартості C партії заготовок (1) і однієї заготовки (2) від розміру виробничої партії Π ; Π_1, Π_2 - критичне значення партії

Виробничі можливості підприємства. При організації нового виробництва заготовок, крім розроблення технологічних процесів, слід визначити необхідність нового обладнання, виробничих площ, кооперативних зв'язків, постачання матеріалів, електроенергії, води і т. ін. У цьому випадку вибір обладнання, оснащення і матеріалів робиться на основі попереднього техніко-економічного аналізу.

При проектуванні технологічного процесу для діючого підприємства треба зорієнтувати його на можливості цього підприємства. Для цього необхідно мати відомості про тип і кількість наявного обладнання, його завантаженість, виробничі площі, можливості ремонтної бази тощо. Слід також урахувати, що названі вище чинники взаємопов'язані. Наприклад, впровадження лиття у металеві форми (кокіль) дозволяє значно знизити потребу у виробничих площах у ливарному цеху (зменшуються габаритні розміри машин, знижується витрата формувальних матеріалів тощо). Але, з іншого боку, виготовлення та ремонт кокілей вимагає додаткових витрат в інструментальних і ремонтних цехах. Певний вплив на вибір способу виготовлення заготовки справляють також наявність та рівень кваліфікації робітників та інженерно-технічних працівників (ІТП). Чим нижча кваліфікація робітників і більша виробнича програма, тим детальніше необхідно розробляти технологічну документацію, тим більше навантаження на технологічні служби підприємства і вищі вимоги до кваліфікації ІТП.

Тривалість технологічної підготовки виробництва. У процесі технологічної підготовки виробництва вирішуються такі завдання: технологічне проектування (розроблення технологічних процесів, маршрутних карт і т. п.); технологічне нормування (розрахунок трудомісткості операцій і матеріаломісткості деталей, видів та кількості необхідних оснащення і робочої сили); проектування і виробництво спеціального обладнання і технологічного оснащення. Складність періоду технологічної підготовки виробництва полягає у тому, що всі роботи повинні вестись у найкоротші строки з мінімальною трудомісткістю і вартістю. Продовження періоду підготовки виробництва може призвести до морального старіння виробу і зниження фондовіддачі капіталовкладень. Тому технологічну підготовку бажано починати ще під час проектування виробу.

Обсяг і тривалість технологічної підготовки виробництва визначається складністю виробу, що виготовляється, характером технологічних процесів і типом виробництва. Чим більша кількість обладнання використовується, чим вища його складність, тим більші обсяг і тривалість технологічної підготовки виробництва. В умовах масового і серійного виробництва технологічна підготовка ведеться особливо ретельно. В одиничному виробництві вона обмежується розробленням мінімальних даних, необхідних для виробництва. Їх деталізація покладається на цехові технологічні служби. У деяких випадках (наприклад, для усунення "вузьких" місць виробництва) з метою скорочення періоду підготовки обирають такий метод виробництва заготовок, який потребує мінімальних витрат на виробництво обладнання, інструментів і оснащення, необхідних для здійснення даного технологічного процесу.

Можливості механізації та автоматизації технологічних процесів виробництва заготовок. Засоби механізації та автоматизації технологічних процесів заготівельного виробництва різноманітні за формою і організацією. Вони дають можливість підвищення продуктивності виробництва, отримання заготовок високої якості та покращення умов праці.

У ливарному виробництві в умовах серійного та масового виробництва застосовується машинне формування, яке забезпечує механізоване або напівавтоматичне виготовлення ливарних форм і стрижнів. При машинному формуванні механізується: встановлення опок і стрижньових ящиків на формувальну машину, засипання та ущільнення формувальної (стрижньової) суміші, видалення моделі з форми або стрижнів зі стрижньового ящика, транспортування і складання ливарної форми.

У сучасних ливарних цехах всі технологічні операції (плавлення металу, виготовлення, транспортування та дозування суміші, виготовлення ливарних форм, їх заливання, вибивання виливків та ін.) здійснюється одночасно і синхронно. При цьому виготовлення форм, їх складання, заливання та вибивання здійснюються звичайно на наземних конвеєрах, обладнаних системою подавання свіжої формувальної суміші та готових стрижнів, пристроями для вибивання виливків, для транспортування вибитої суміші та пустих опок тощо.

Операції основних видів ковальсько-штампувального виробництва заготовок немов спеціально створені для їх механізації та автоматизації. Не всі операції кування піддаються механізації; у той же час процеси об'ємного і листового штампування можна не лише механізувати, але й автоматизувати практично повністю. При цьому можна обрати такий технологічний процес, який різко зменшить або дозволить повністю усунути брак при виробництві заготовок. Як засоби для автоматизації та механізації процесів ковальсько-штампувального виробництва найчастіше використовують маніпулятори, промислові роботи (ПР) та роботизовані технологічні комплекси (РТК).

При виготовленні заготовок достатньо широко використовується автоматичне дугове зварювання. У промисловості використовують багато найрізноманітніших зварювальних автоматів загального призначення та спеціалізованих. Для захисту зони зварювання від окиснення використовується зварювальний флюс або захисні гази. Шов, отриманий автоматичним зварюванням, характеризується великою однорідністю за розміром, формою, хімічним складом, має кращу якість, ніж при ручному зварюванні.

Автоматично виконується також електрошлакове зварювання. Його продуктивність у 15..20 разів перевищує продуктивність багат шарового автоматичного дугового зварювання під флюсом. Електрошлакове зварювання доцільно застосовувати, якщо товщина деталей, що зварюються, перевищує 25 мм. Воно використовується для автоматизованого зварювання заготовок великих розмірів: станин пресів і прокатних станів, барабанів парових котлів, коліс гідравлічних турбін і т. п.

Впровадження різноманітних способів механізації та автоматизації у заготівельне виробництво слід оцінювати з точки зору технологічного, економічного або соціального ефекту.

14 МЕТОДИ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО АНАЛІЗУ

Вибір оптимального способу виробництва заготовок здійснюють шляхом зіставлення техніко-економічних показників технологічних варіантів, які розглядаються. Зміст, вид і кількість таких показників визначаються конкретними умовами виробництва та метою економічних розрахунків на даному етапі. Завдання полягає у тому, щоб визначити, який з порівнюваних варіантів економічно доцільніший.

Оцінку способів виробництва заготовок можна проводити як за технологічною чи цеховою собівартістю, так і за собівартістю виготовлення деталі (з тієї чи іншої заготовки).

Технологічна собівартість оцінює всі витрати, пов'язані безпосередньо з технологічним процесом виробництва заготовки. Вона охоплює витрати на основну та додаткову заробітну плату виробничих робітників, витрати на утримання та експлуатацію обладнання, пристроїв, штампів, моделей, інструментів тощо. Технологічна собівартість – це сума собівартостей за всіма операціями технологічного процесу і становить лише частину загальних витрат на виготовлення заготовки у даному цеху (дільниці). Витрати на матеріал з-за близьких розмірів заготовок, що порівнюються, як правило, не враховуються.

Цехова собівартість охоплює витрати на основні та допоміжні матеріали, заробітну плату, утримання та експлуатацію обладнання, оснащення, приміщень, первинні капітальні вкладення та інше. У загальному випадку величина цехової собівартості заготовки визначається як сума витрат на матеріали, на технологічний процес виготовлення заготовки та на загальноцехові витрати. Цехова собівартість розраховується за окремими технологічними процесами і виробничими ділянками, які беруть участь у виготовленні заготовок.

Проте повнішу картину дає аналіз взаємопов'язаних витрат на різні варіанти виробництва заготовки для однієї й тієї ж деталі. При цьому використовуються два показники: *собівартість деталі*, виготовленої з різних варіантів заготовок і *коефіцієнт використання матеріалу* при виготовленні заготовки.

Технологічна собівартість, як така оцінює всі витрати, пов'язані безпосередньо з технологічним процесом, який здійснюється при

виготовленні заготовки, не завжди дає об'єктивні дані для порівняння технологічних процесів. Вона охоплює витрати на основну та додаткову заробітну плату виробничих робітників, витрати на утримання та експлуатацію обладнання, пристроїв, штампів, моделей, інструментів тощо. Технологічна собівартість становить суму собівартостей за всіма операціями процесу і є лише частиною загальних витрат на виготовлення заготовки у даному цеху (дільниці). Оцінка варіантів за технологічною собівартістю можлива лише тоді, коли виробництво заготовок за порівнюваними технологіями здійснюється у цехах одного типу (ливарних, ковальсько-штампувальних або зварювальних), однакових за обсягом виробництва, рівнем механізації та коли матеріал заготовки залишається одним і тим же.

Тобто оцінка лише за технологічною собівартістю виготовлення заготовки може бути хибною. Заготовка призначається для подальшого механічного оброблення. Тому необхідно враховувати, наскільки зручна буде ця заготовка при обробленні різанням. Можна, наприклад, вибрати такий дешевий спосіб лиття, що подальше механічне оброблення (зняття великих припусків, напусків, нахилів тощо) буде коштувати занадто дорого.

Собівартість деталі, виготовленої з різних варіантів заготовок C_d , складається з витрат на виготовлення заготовки C_z і витрат на механічне оброблення заготовки $C_{м.о.}$:

$$C_d = C_z + C_{м.о.} \quad (14.1)$$

При виконанні навчальних завдань всі розрахунки ведуться за спрощеним методом в *умовних грошових одиницях*. Він ґрунтується на оптових цінах на виливки та поковки за прейскурантами [15, 16]. Ціни, наведені у цих прейскурантах, не відбивають сучасного рівня ринкових цін, але відображають співвідношення цін між виливками різної складності та якості та між виливками і поковками з одного й того ж матеріалу і т.п. і мають право на використання лише для порівняння між собою двох і більше заготовок.

Розрахунок витрат на виготовлення заготовки C_z за спрощеною методикою детально описаний у «Методичних вказівках» [11] і «Прейскуранті» [15].

Визначення собівартості механічного оброблення зводиться до визначення витрат на перетворення в стружку припуску на механічне

оброблення даної заготовки:

$$C_{м.о.} = C_{стр} \cdot (M_3 - M_d) / 1000, \quad (14.2)$$

де $C_{стр}$ - витрати на механічне оброблення, віднесені до 1 т стружки;

M_3 – маса заготовки, кг;

M_d - маса готової деталі, кг.

Витрати на механічне оброблення, віднесені до 1 т стружки, для основних галузей машинобудування за літературними даними [16] знаходяться у межах $C_{стр} = 400 \dots 600$ ум.гр.од /т.

Після визначення собівартості деталі обирають той варіант виготовлення заготовки, який дає меншу величину C_d .

Коефіцієнт використання матеріалу $K_{в.м}$ визначають як відношення маси готової деталі M_d до маси всього матеріалу $M_{в.м}$, витраченого на виготовлення заготовки:

$$K_{в.м} = M_d / M_{в.м}. \quad (14.3)$$

Загальна маса матеріалу, використаного на виготовлення однієї деталі $M_{в.м.}$, складається з мас технологічного і заготівельного відходів. Технологічні відходи, тобто відходи, які виникають при обробленні різнанням (напуски, припуски та ін.), фактично враховані у масі заготовки. Заготівельні відходи залежать від способу виготовлення заготовки. Наприклад, для *литих заготовок* враховують втрати металу на ливникову систему, випори, надлив, угар і т. п.

Чим вище ступінь складності виливка і чим менше його маса, тим більша відносна частка металу припадає на технологічні відходи (ливникову систему, надлив тощо). Порядок розрахунку $M_{в.м.}$ наведений у [11].

Для заготовок, виготовлених гарячим об'ємним штампуванням, маса витраченого матеріалу знаходиться за формулою:

$$M_{в.м.} = M_3 + M_{об} + M_y, \quad (14.4)$$

де M_3 – маса поковки, кг;

$M_{об}$ – маса облою, кг;

M_y – витрати металу на угар при нагріванні поковки, кг.

Маса облою $M_{об}$ наближено дорівнює 15...30% від маси поковки M_3 . Витрати на угар $M_{уг}$ становлять 0,5...1,2% від маси поковки M_3 при електричному та 1,5...3,5% при полуменовому нагріванні. Чим менше маса поковки, тим більші значення відсотків з наведених вище діапазонів треба брати для визначення маси облою $M_{об}$ і тим менші – для визначення маси угару $M_{уг}$.

Для *зварної заготовки* маса витраченого матеріалу $M_{в.м}$ практично дорівнює масі заготовки M_3 .

За коефіцієнтом використання матеріалу обирають той варіант виготовлення заготовки, для якого $K_{в.м}$ більший.

Вибір здійснюється за коефіцієнтом використання матеріалу $K_{в.м}$ та за собівартістю виготовлення деталі C_d для кожної з заготовок, що порівнюються. Оптимальним буде той метод виробництва заготовки для заданої деталі, для якого одночасно собівартість виробництва деталі C_d буде найменшою, а коефіцієнт використання матеріалу $K_{в.м}$ - найвищим. Наприклад, якщо $C_{д1} < C_{д2}$ і $K_{в.м1} > K_{в.м2}$, то обирають перший варіант виробництва заготовки.

У деяких випадках згадана вище умова не виконується. Розрахунки можуть показати, що один з методів виробництва заготовки має меншу собівартість виготовлення деталі, але одночасно й низький коефіцієнт використання матеріалу (наприклад, $C_{д1} < C_{д2}$ і $K_{в.м1} < K_{в.м2}$). Це означає, що цей варіант технології при низькій собівартості деталі має завищені витрати матеріалу, а інший варіант, навпаки, - завищені витрати на виготовлення при кращому $K_{в.м}$. У цьому випадку необхідно зробити розрахунки додаткових витрат на виготовлення V_v та на матеріали V_m .

Додаткові витрати на виготовлення V_v становлять різницю між собівартістю виготовлення деталі з різних заготовок. Якщо, наприклад, собівартість виготовлення більша у другому варіанті технології, то:

$$V_v = C_{д2} - C_{д1}. \quad (14.5)$$

Для варіанта технології з меншим коефіцієнтом використання матеріалу $K_{в.м}$ (тобто з більшими втратами матеріалу) спочатку знаходять додаткову масу витраченого матеріалу $M_{дод}$. Якщо, наприклад, коефіцієнт використання матеріалу менший у першому варіанті, то

$$M_{\text{дод}} = M_{\text{д}} \cdot \frac{K_{\text{в.м2}} - K_{\text{в.м1}}}{K_{\text{в.м.2}} \cdot K_{\text{в.м1}}} \quad (14.6)$$

Тоді *додаткові витрати на матеріал* $V_{\text{м}}$ знаходять з урахуванням ціни матеріалу і доплат матеріалу з меншим $K_{\text{в.м.}}$ за тими ж формулами, що розраховувалася собівартість заготовки [11, 15].

Маючи дані про додаткові витрати на виготовлення $V_{\text{в}}$ для одного варіанта і на матеріал $V_{\text{м}}$ для іншого, необхідно зробити вибір оптимального методу виробництва заготовки. Обирають той варіант, для якого додаткові витрати менші.

15 ЯКІСТЬ ПРОДУКЦІЇ. ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ

Якість продукції – сукупність властивостей продукції, що обумовлюють її придатність задовольняти певні потреби відповідно до її призначення [17].

Якість відноситься до числа найважливіших показників діяльності людини. Проблема забезпечення і підвищення якості продукції актуальна для всіх підприємств. Поняття якості багатозначне. Під ним розуміють і якість підприємства, пов'язану із забезпеченням організаційно-технологічного рівня виробництва, і якість роботи, що включає систему прийняття рішень, контроль якості на виробництві і т.п., а також врешті - власне якість продукції, що є наслідком якості всієї роботи підприємства.

Будь-яке виробництво включає певні функції, спрямовані на досягнення поставлених завдань у галузі якості. Ці задачі вирішуються шляхом контролю якості та наступного регулювання наявних технологічних процесів.

Якість визначається дією випадкових і суб'єктивних чинників. Для контролю за ними і попередження негативних наслідків служать різні системи управління якістю. Відсутність на підприємстві продуманої системи управління якістю і ефективного контролю якості як її складовою є, як правило, причиною занепаду і навіть краху такого підприємства.

До якості продукції ставляться певні вимоги. Вимоги до продукції – це умови та особливості, яким мають відповідати вироби. Вони часом можуть змінюватися зі зміною суспільних потреб і вимог на ринку аналогічної продукції.

Вимоги поділяються на *поточні*, що пред'являються до продукції, яка випускається нині, і обґрунтовані можливостями виробництва та характером попиту, і *перспективні*, які розроблені на підставі прогнозів використання нових видів сировини, нових технічних ідей і методів виробництва. Поточні й перспективні вимоги можуть регламентуватися стандартами. Перспективні вимоги встановлюють на основі фундаментальних і прикладних наукових досліджень. Згодом перспективні вимоги стають поточними, а замість них з'являються вимоги вищого рівня, що забезпечує безперервне вдосконалення продукції.

Оцінювання рівня якості проходить у декілька етапів. Спочатку обирають *номенклатуру показників* якості і одночасно обирають для порівняння базові показники якості. Після цього обирають способи оцінювання значень показників якості. Зміст етапів і обсяг робіт на кожному з етапів суттєво залежить від мети оцінювання, його необхідної точності та форми представлення результатів оцінювання.

Номенклатура показників повинна забезпечувати порівнянність різних зразків одного виду, тобто зразків продукції однієї назви та області застосування. Всі обрані аналоги і оцінювана продукція повинні бути ідентичними за призначенням та областю застосування і мати однакові класифікаційні показники.

Показником якості продукції називається кількісна характеристика однієї або декількох властивостей продукції, що характеризують якість, яку розглядають стосовно до визначених умов її виготовлення, експлуатації або споживання.

Через велику різноманітність продукції, що виробляється у світі, важко дати перелік показників якості продукції. Існує декілька класифікацій цих показників. Найчастіше розглядають декілька груп показників: показники призначення; надійності; ергонометричні; естетичні; технологічні; патентно-правові, екологічні, економічні та ін. Для промислової продукції найважливішими є показники призначення, надійності, технологічні та економічні.

Показники призначення характеризують властивості продукції, що визначають основні функції, для виконання яких вона призначена, і обумовлюються галуззю її використання. До показників призначення відносяться конструктивні показники, показники функціональної та технічної ефективності. Для виробів машинобудування показники призначення характеризують корисну роботу, яку має виконувати виріб. Наприклад, якщо мова йде про автомобілі, то як показники призначення розглядаються швидкість, вантажопідйомність, споживання палива на 100 км та інші.

Показники надійності є одними з найважливіших властивостей продукції. Чим відповідальніші функції продукції, тим вище повинні бути вимоги до надійності. Надійність виробів багато у чому залежить

не лише від їх конструкції, але й від умов експлуатації: вологості, зовнішніх навантажень, температури, тиску і т.п.

Надійність – це властивість виробу зберігати у часі в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують його здатність виконувати потрібні функції у заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання та транспортування. Залежно від призначення і умов застосування надійність продукції характеризується безвідмовністю, довговічністю та ремонтопридатністю.

Безвідмовність – властивість виробу безперервно зберігати працездатний стан протягом деякого часу або певного напрацювання. Основним поняттям, яке використовується при визначенні безвідмовності, є відмова. Відмовою називають подію, яка полягає у порушенні працездатного стану об'єкту при умові, що значення всіх параметрів, які характеризують його здатність виконувати задані функції, відповідають вимогам конструкторської документації. Відмова усувається ремонтом. До показників безвідмовності відносяться: час імовірної безвідмовної роботи, середнє напрацювання на відмову, інтенсивність відмов, параметр потоку відмов.

Довговічність – властивість виробу зберігати працездатний стан до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування і ремонту. Інакше кажучи, довговічність визначає час ефективного використання виробу.

Розрізняють довговічність фізичну і моральну. *Фізичній довговічності* відповідає час праці виробу до того моменту, коли черговий ремонт коштує більше, ніж виготовлення нового виробу і стає не вигідним. Цей час може включати декілька проміжних ремонтів. *Моральна довговічність* визначає термін використання виробу до моменту, коли виріб застаріває за своїми можливостями, і на ринку з'являється нова модель, яка має кращі споживчі властивості. Це може статися ще до вичерпання виробом свого фізичного ресурсу.

До показників довговічності відносяться: ресурс між середніми ремонтами, середній термін ефективної праці і т.п.

Ремонтпридатність – властивість виробу, яка полягає у пристосованості виробу до попередження і виявлення причин виникнення відмов, пошкоджень і підтриманню та відновленню працездатного стану шляхом проведення технічного обслуговування і

ремонту. Ремонтопридатність характеризується середнім часом відновлення працездатного стану, вірогідністю відновлення працездатності протягом певного інтервалу часу, середньою трудомісткістю ремонту і технічного обслуговування.

Граничний стан відремонтованих виробів визначається неефективністю їх подальшої експлуатації через старіння і часті відмови або збільшення витрат на ремонт. Граничний стан може визначатися також моральним старінням.

Показники технологічності характеризують властивості продукції, які обумовлюють оптимальний розподіл витрат, матеріалів, роботи і часу при технологічній підготовці виробництва, виготовлені і експлуатації продукції. До показників технологічності відносяться: питомі трудомісткість та матеріаломісткість виготовлення виробів, коефіцієнт використання матеріалів, питома енергоємність, собівартість та ін.

Економічні показники – це витрати на проектування, виготовлення та випробування дослідних зразків, собівартість виготовлення продукції, витрати на витратні матеріали при експлуатації (споживанні) виготовленої продукції і т.п.

Розрізняють одиничні і комплексні показники.

Одиничний показник якості – це показник, який характеризує одну з властивостей продукції (наприклад, вантажопідйомність або потужність машини, швидкість і т.п.).

Комплексний показник якості характеризує якість за двома або декількома оцінюваними властивостями. \

Інтегральний показник якості, який оцінює загальний корисний ефект продукції (підтримка заданого рівня точності, термін праці до капітального ремонту машини тощо), який залежить від сумарних чинників, що визначають її працездатність.

Показники якості, як і фізичні величини, можуть мати розмірність або бути безрозмірними. Розмірність мають, як правило, одиничні показники якості. Безрозмірні показники – це найчастіше відносні показники або експертні оцінки якості.

16 МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

Оцінювання рівня якості продукції служить основою для вироблення рекомендацій з метою підтримування та покращення якості виробів, що випускаються. Для проведення оцінювання необхідно провести вибір номенклатури показників якості та обґрунтувати її необхідність і достатність; розробити методи визначення значень показників якості тощо.

Для точного оцінювання якості виробів залежно від призначення і умов експлуатації обирають такі показники, які найповніше характеризують відмінні, найважливіші властивості щойно спроектованого виробу. За показники базових зразків-аналогів, як зазначалося вище, обирають найкращі вітчизняні та закордонні зразки, які на момент оцінювання відповідають найвищим вимогам в експлуатації чи споживанні. Крім того, основою базових показників можуть бути науково-технічна документація та стандарти, що регламентують оптимальні значення показників якості продукції, а також відомі перспективні вироби, які ще розробляються.

Оцінювання якості продукції проводиться наступними методами [18].

Вимірювальний метод ґрунтується на інформації, яка отримується з використанням технічних вимірювальних засобів. За допомогою вимірювального методу визначають такі значення, як маса виробу, частота обертання ротору двигуна, розмір виробу, швидкість автомобіля, сила струму та ін.

Розрахунковий метод базується на використанні інформації, яку отримують за допомогою функціональних або емпіричних залежностей. Цей метод використовується при проектуванні продукції, коли вона ще не може бути об'єктом експериментальних досліджень. Розрахунковий метод служить для визначення показників, важливих при експлуатації виробу і доступних до прямого вимірювання: його маси, показників продуктивності, потужності, міцності та ін.

Диференційний метод оцінювання рівня якості продукції здійснюється співставленням одиничних показників оцінюваного виду продукції з відповідними базовими показниками.

Для кожного з показників розраховуються відносні показники якості оцінюваної продукції за формулою:

$$Q_i = P_i / P_{i\text{баз}}, \quad (16.1)$$

де P_i – числове значення i -того показника якості оцінюваної продукції;

$P_{i\text{баз}}$ – числове значення i -того показника якості базового зразка.

При оцінюванні декількох показників виробу можливі три варіанти: всі показники $Q_i > 1$; всі показники $Q_i < 1$; деякі показники Q_i більше одиниці, а деякі – менші. У першому випадку оцінюваний виріб краще аналогу і має право на подальше виготовлення і постачання на ринок. Якщо маємо справу з другим випадком, розроблений виріб не є конкурентоспроможним, і треба починати розробляти новий. Найчастіше виробництво зустрічається з третім варіантом. У цьому випадку необхідно з'ясувати, чи має більшість найважливіших показників значення $Q_i > 1$. У протилежному випадку прийняти однозначне рішення важко.

Збільшення абсолютного значення показника відповідає покращенню якості продукції. За цим показником розраховують відносний показник якості (наприклад, потужності, терміну служби, продуктивності, коефіцієнта корисної дії і т.п.).

Зустрічаються випадки, коли оцінити рівень якості важко. У таких випадках доцільно розділити всі показники на дві групи. У першу групу включають показники, які визначають найсуттєвіші властивості продукції, а у другу – другорядні. У кожній групі можуть створюватися певні підгрупи, в яких показники мають споріднені характеристики. На цій підставі для кожної підгрупи можна визначити свій оцінний показник. Такі показники порівнюються між собою іншим, комплексним методом.

Комплексний метод оцінки рівня якості передбачає використання комплексного (узагальненого) показника якості. Цей метод застосовується у випадках, коли узагальнений показник якості, виражений лише одним числом, є функцією від окремих одиничних (групових, комплексних) показників якості продукції.

Рівень якості за комплексним методом визначається відношенням узагальненого показника якості оцінюваної продукції $Q_{\text{оц}}$ до узагальненого показника базового зразка $Q_{\text{баз}}$, тобто:

$$Q = Q_{\text{оц}} / Q_{\text{баз}}. \quad (16.2)$$

Складність комплексного оцінювання полягає у складності об'єктивного знаходження узагальненого показника. Звичайно у цих випадках за узагальнений показник приймають один з головних показників призначення продукції. Наприклад, продуктивність, питому собівартість, ресурс і т.п.

У деяких випадках існує можливість виявити характер взаємозв'язків між показникам якості оцінюваної продукції, об'єднаними в одну групу (підгрупу), і таким чином визначити узагальнений показник.

У тих випадках, коли є труднощі з визначенням головного показника і встановленням його функціональної залежності від вихідних показників якості продукції, визначають середньозважені показники якості.

При оцінюванні складної продукції, яка має широкую номенклатуру показників якості, може скластися ситуація, що за допомогою диференційного методу практично неможливо зробити конкретний висновок, а використання лише одного комплексного методу не дозволяє об'єктивно врахувати всі значущі властивості оцінюваної продукції. У таких випадках для оцінювання використовується змішаний метод.

Суть **змішаного методу** полягає у тому, що для оцінювання якості продукції застосовують одиничні і комплексні показники якості, одночасно використовуючи елементи і комплексного, і диференційного методів. Оцінювання проводиться у наступній послідовності.

Одиничні показники якості, які, як правило, визначають за допомогою прямих вимірювань, об'єднуються у декілька груп, для яких визначають груповий комплексний показник якості. Найзначніші одиничні показники можна у групі не включати, а розглядати окремо. Об'єднання показників у групи повинно проводитися у залежності від їх значущості та мети оцінювання.

Знайдені величини групових комплексних і окремо виділених найважливіших одиничних показників піддають порівнянню з відповідними значеннями базових показників, тобто застосовують принципи диференційного методу.

Для визначення параметрів якості під час виготовлення виробів використовуються такі основні засоби контролю якості [4, 28]:

- засоби неавтоматичного контролю;
- автомати й автоматичні системи контролю;
- засоби контролю за допомогою автоматичних систем управління технологічними процесами.

Засоби неавтоматичного контролю використовуються для отримання інформації про один або декілька параметрів, які характеризують якість виробу. Звичайно вони застосовуються при ручному контролі та відрізняються низькою продуктивністю і порівняно великою трудомісткістю контролю.

Автомати й автоматичні системи контролю забезпечують отримання інформації про параметри, які всебічно характеризують якість контрольованого об'єкту. До складу таких систем входять автоматичні транспортувальні, сканувальні та сортувальні пристрої і реєстратори різних видів. В основному такі системи призначені для розбракування контрольованих виробів за принципом «придатний – непридатний» або розсортування виробів за одним або декількома параметрами (наприклад, сортування кульок для підшипників за діаметром).

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

основні

1. Базієвський С.Д., Дмитрик В.Ф. Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання: підручник. Київ: Слово, 2004. 504 с.
2. ДСТУ 2681-94 Метрологія. Терміни та визначення. [Чинний від 1995-01-01]. Київ: Держстандарт України, 1994. 37 с.
3. ДСТУ ISO 286-1-2002 Допуски і посадки за системою ISO. Частина 1. Основи допусків, відхилів та посадок. [Чинний від 01.10.2003]. Київ: Держспоживстандарт України, 2003. 41 с.
4. ДСТУ ISO 286-2-2002 Допуски і посадки за системою ISO. Частина 2. Таблиці квалітетів стандартних допусків і граничних відхилів отворів і валів [Чинний від 2004-10-1]. Київ: РВВ ДП «УкрНДНЦ», 2004. 43 с.
5. ДСТУ ISO 4287:2012 Технологічні вимоги до геометрії виробів (GPS). Структура поверхні, профільний метод. Терміни, визначення понять і параметри структури. [Чинний від 01.03.2013]. Київ: Мінекономрозвитку України, 2013. 19 с.
6. Якимчук Г.К., Адаменко Ю.І., Плівак О.А. Допуски і посадки: довідник. Частина 1. Київ: Основа, 2011. 96 с.
7. Дудніков А.А. Основи стандартизації, допуски, посадки, і технічні вимірювання: підручник. Київ: ЦНЛ, 2006. 352 с.
8. Саранча Г.А. Метрологія, стандартизація, відповідність, акредитація та управління якістю: підручник. Київ: Центр навчальної літератури, 2006. 672 с.
9. Індивідуальні завдання до виконання розрахунково-графічних та контрольних завдань з технологічних методів виробництва заготовок / Укл. І.В. Акімов, В.М. Плєскач. Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. 35 с.
10. Плєскач В.М., Акімов І.В., Мітяєв О.А. Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин: підручник/ за заг. ред. доц. В.М. Плєскач В.М. Запоріжжя: Просвіта, 2013. 372 с., іл. 146.
11. Методичні вказівки до розрахунково-графічних завдань для дисциплін з технологічних методів виробництва заготовок для студентів спеціальностей: 131 «Прикладна механіка», 132 «Матеріалознавство», 133 «Галузеве машинобудування», 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» денної і заочної форми

навчання / Укл. В.М. Плєскач, В.О. Савченко, І.В. Акімов. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. - 58 с.

навчання / Укл. В.М. Плєскач, В.О. Савченко, І.В. Акімов. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. - 58 с.

12. Технологічні процеси за факом. Кування і штампування: навчальний посібник / В. В. Кухар та ін. Маріуполь: ПДТУ, 2017. 144 с.

13. Александров О.Г. Антонюк Д.А. Проектування та експлуатація обладнання для дугового зварювання: навч. посібник. Львів: Новий світ, 2011. 312 с.

14. Технологія та обладнання електричного контактного зварювання: навч. посібник / Биковський О.Г., Лутов Д.М., Пінковський І.В. Київ: Техніка, 2001. 240 с.

15. Прейскурант для техніко-економічного обґрунтування вибору оптимальної технології виробництва заготовок. / Укл. І.В. Акімов, В.М. Плєскач. Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. 18 с.

16. ДСТУ 2925-94 Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення [Чинний від 01.01.1996]. Київ: Держстандарт України, 1995. 27 с.

17. Агєєв Є.Я. Управління якістю: навч. посібник. Львів: Новий світ, 2009. 240 с.

додаткові

18. Волчок І.П., Плєскач В.М., Шестаков І.А. Сучасні виробничі технології у машинобудіванні та металургії: навч. посібник / за заг ред. проф. І.П.Волчка. Запоріжжя: Дике поле, 2006. 360 с.

19. Солнцев Ю.П., Беліков С.Б., Шейко С.П. Спеціальні конструкційні матеріали: підручник. Запоріжжя: «ВАЛПІС-ПОЛІГРАФ», 2010. 536 с.

20. Топольник В.Г., Котляр М.А. Метрологія, стандартизація і управління якістю. Львів: «Магнолія-2006», 2012. 212 с.

21. Шаповал М.І. Основи стандартизації, управління якістю і сертифікація: підручник. К.: вид. Європ. ун-ту, 2002. 174 с.

22. Авіаційно-космічні матеріали та технології. / В.О.Бгуслаєв та ін. Запоріжжя: вид. ВАТ «Мотор Січ», 2009. 383 с.

Додаток А
Формули розрахунку допусків (за ДСТУ 2500-94)

Квалітети		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Число одиниць допуску k		2,7	3,7	5	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600	2500
Значення допусків для номінальних розмірів, мм	до 500мм включно	$k \cdot i, \text{де } i = 0,45 \cdot \sqrt[3]{D} + 0,001 \cdot D$																
	понад 500 до 3150мм включно	$k \cdot i, \text{де } i = 0,004 \cdot D + 2,1$																

Примітки:

1. D – середнє геометричне з крайніх значень кожного інтервалу номінальних розмірів в мм. Для інтервалу до 3 мм приймається $D = \sqrt{3}$.

2. Значення k , починаючи з 5-го квалітету, приблизно відповідають геометричній прогресії з коефіцієнтом 1,6.

3. Значення допусків для квалітетів 2, 3 і 4 приблизно є членами геометричної прогресії, першим та останнім членами якої є значення допусків квалітетів 1-го та 5-го.

4. Починаючи з 6-го квалітету, значення допусків помножують на 10 в разі переходу з цього квалітету на п'ять квалітетів грубіше (за винятком значення 7,5, яке округляють до 8 для 6-го квалітету в інтервалі розмірів від 3 до 6 мм). Це правило є дійсним і для допусків грубіших 16-го квалітету.