

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

В. А. ПОЛЩУК

ПРОЕКТУВАННЯ ЗАГОТОВОК У МАШИНОБУДУВАННІ

*Рекомендовано Вченою радою НУК
як навчальний посібник*

Миколаїв • НУК • 2017

УДК 621(07)

П 50

Автор В. А. Поліщук, кандидат технічних наук, доцент каф. ІМ та ТМ НУК

Рецензенти:

О. А. Оргіян, доктор технічних наук, професор, зав. кафедри ТМБ ОНПУ;

О. Л. Ніколаєв, кандидат технічних наук, доцент каф. ІМ та ТМ НУК

Рекомендовано Вченою радою НУК як навчальний посібник

Поліщук В. А.

П 50 Проектування заготовок у машинобудуванні : навчальний посібник. / В. А. Поліщук. – Миколаїв : НУК, 2017 – 274 с.

ISBN 978-966-321-329-3

Викладено способи вибору, проектування і виробництва заготовок машинобудування, отриманих різними методами лиття, кування і штампування. Розглянуто методи розрахунку припусків на механічну обробку, питання забезпечення технологічності конструкцій заготовок та техніко-економічного обґрунтування вибору способу їх виробництва. Наведено приклади розв'язання інженерних задач, завдання для самостійної роботи та необхідні довідкові матеріали.

Для студентів машинобудівних спеціальностей вузів. Може бути корисним для інженерів-технологів заводів і проектно-конструкторських організацій.

УДК 621(07)

© В. А. Поліщук, 2017

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

ISBN978-966-321-329-3

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1. Заготовка, основні поняття.....	5
2. Технологічність заготовок.....	6
2.1. Основні поняття технологічності.....	6
2.2. Показники технологічності.....	7
2.3. Забезпечення технологічності заготовок.....	10
3. Припуски на оброблення заготовок різанням.....	13
3.1. Основні визначення та поняття.....	13
3.2. Фактори, що впливають на величину припусків.....	15
3.3. Методи визначення величини припусків на обробку.....	16
3.4. Розрахунково-аналітичний метод визначення припусків на обробку.....	18
3.5. Загальний порядок визначення припусків і операційних розмірів розрахунково-аналітичним методом.....	26
3.6. Визначення припусків і операційних розмірів досвідно-статистичним методом.....	31
3.7. Нормативні матеріали для розрахунку припусків.....	33
3.8. Приклад розрахунку операційних припусків і розмірів деталі розрахунково-аналітичним методом.....	53
3.9. Приклад розрахунку операційних припусків і розмірів деталі досвідно-статистичним методом.....	60
3.10. Завдання для самостійного розв'язування.....	66
4. Вибір способу отримання заготовки.....	68
4.1. Основні принципи.....	68
4.2. Фактори, що визначають спосіб виготовлення заготовки.....	69
4.3. Методика добору способу виготовлення заготовки.....	70
4.4. Загальні рекомендації щодо вибору способу виготовлення заготовки.....	71
5. Проектування виливків.....	72
5.1. Загальна технологічна схема виготовлення виливків.....	72
5.2. Різновиди ливарних форм.....	73
5.3. Основні способи лиття, їх технологічні можливості й області застосування.....	74
5.4. Ливарні сплави.....	87
5.4.1. Ливарні властивості сплавів.....	87
5.4.2. Класифікація ливарних сплавів та їх основні характеристики.....	93
5.4.3. Области раціонального застосування ливарних сплавів.....	96
5.5. Особливості забезпечення технологічності конструкції виливків.....	98
5.5.1. Поняття про технологічність виливків.....	98
5.5.2. Загальні вимоги до конструкції виливків.....	99
5.5.3. Основні правила конструювання виливків.....	100
5.6. Методика проектування виливків.....	112
5.6.1. Розробка конструкції виливка.....	112
5.6.2. Правила вибору баз.....	130

5.6.3. Оформлення креслень виливків.....	132
5.6.4. Технічні вимоги до виливків.....	133
5.7. Приклад проектування литої заготовки.....	135
5.8. Завдання для самостійного розв'язування.....	139
6. Проектування кованих і штампованих заготовок.....	144
6.1. Загальна характеристика процесів обробки металів тиском.....	144
6.1.1. Суть і особливості обробки металів тиском (ОМТ).....	144
6.1.2. Основні види обробки металів тиском.....	146
6.1.3. Теоретичні аспекти обробки тиском.....	148
6.1.4. Фактори, що впливають на пластичність металу.....	149
6.1.5. Вплив обробки тиском на структуру і механічні властивості металів.....	152
6.1.6. Холодна та гаряча обробка металів тиском.....	153
6.1.7. Основні операції ковальсько-штампувального виробництва.....	154
6.2. Матеріали для отримання заготовок обробкою тиском.....	155
6.3. Проектування кованих заготовок.....	158
6.3.1. Суть процесу і технологічні операції кування.....	158
6.3.2. Конструювання сталевих поковок.....	161
6.3.3. Оформлення креслення кованої заготовки.....	170
6.4. Приклад проектування кованої заготовки.....	171
6.5. Завдання для самостійного розв'язування.....	175
6.6. Проектування штампованих заготовок.....	177
6.6.1. Суть процесу і види об'ємного штампування.....	177
6.6.2. Технологічний процес об'ємного штампування.....	184
6.6.3. Забезпечення технологічності конструкції штампованої заготовки.....	189
6.6.4. Методика конструювання штампованої заготовки.....	193
6.6.5. Оформлення креслення штампованої заготовки.....	225
6.7. Приклади проектування штампованих заготовок.....	227
6.8. Приклади розрахунку операційних припусків і розмірів при виготовленні деталі з штампованої заготовки.....	234
6.9. Завдання для самостійного розв'язування.....	247
7. Техніко-економічне обґрунтування вибору способу виробництва заготовок.....	252
7.1. Методи техніко-економічної оцінки способів виготовлення заготовок.....	252
7.2. Методи розрахунку собівартості заготовок.....	253
7.2.1. Технологічна собівартість заготовок.....	253
7.2.2. Цехова собівартість заготовок.....	256
7.2.3. Спрощений розрахунок собівартості заготовок.....	256
7.3. Розрахунок собівартості готових деталей.....	267
7.4. Приклади розрахунку собівартості заготовок.....	268
7.5. Завдання для самостійного розв'язування.....	270
Список літератури.....	271

Вступ

Виробництво машин, приладів, апаратів та інших виробів машинобудування складається з таких етапів: 1) виготовлення заготовок; 2) обробка заготовок; 3) складання складальних одиниць; 4) загальне складання виробів; 5) контроль, регулювання та випробування виробів; 6) комплектація та упакування виробів.

Виготовлення заготовок – це один з основних етапів машинобудівного виробництва, який безпосередньо визначає витрати матеріалів і енергії, якість виробів, трудомісткість їх виготовлення та собівартість.

Заготовки, в залежності від їх виду та типу виробництва, отримують у заготівельних цехах і дільницях – ливарних, кувальних, штампувальних тощо. Основне призначення заготівельного виробництва полягає в забезпеченні механічних цехів високоякісними заготовками.

На сьогодні середня трудомісткість заготівельних робіт в машинобудуванні складає 40...50% загальної трудомісткості виробництва машин. Головною тенденцією розвитку заготівельного виробництва є наближення заготовок (за формою, розмірами та їх точністю) до готових виробів з метою зниження трудомісткості механічної обробки, обмеження її операціями остаточної обробки (а в ряді випадків повного виключення), тобто забезпечення маловідходної або безвідходної технології.

Розробляючи технологію виготовлення машин і приладів, забезпечуючи на практиці їх високу якість і надійність з урахуванням економічних показників, інженер-технолог повинен добре володіти методами проектування та виробництва заготовок.

1. Заготовка, основні поняття

Заготовка – це виріб, з якого зміною форми, розмірів, властивостей поверхонь і (або) матеріалу виготовляють деталь.

В машинобудуванні розрізняють такі основних види заготовок:

- машинобудівні профілі;
- штучні (дискретні) заготовки;
- комбіновані заготовки;
- заготовки з порошкових матеріалів.

Машинобудівні профілі можуть бути сталого перетину (сортовий прокат, листовий прокат, труби, спеціальний прокат) або періодичного перетину (періодичний прокат). Заготовки формують розрізанням прокату за допомогою металоріза-

льних верстатів, ножиць, штампів, а також газових, електричних, променевих і механічних різаків.

Штучні заготовки отримують литтям, куванням, штампуванням.

Комбіновані заготовки – це складні заготовки, отримані з'єднанням (зварюванням, склеюванням, склепуванням, згвинчуванням тощо) окремих більш простих елементів. Ці заготовки дають змогу виготовляти складні за конфігурацією, масивні та такі вироби, до окремих елементів яких висувають підвищені вимоги. Це дозволяє знизити масу заготовки, а для більш навантажених елементів використовувати матеріали, що найбільше відповідають умовам експлуатації.

Методами *порошкової металургії* виготовляють заготовки з металів, кераміки та пластмас в умовах серійного та масового виробництва. Ці заготовки часто мало чим відрізняються від готових деталей (тобто не потребують наступної розмірної обробки), або підлягають незначній механічній обробці.

Заготовки характеризуються конфігурацією і розмірами, точністю отриманих розмірів, станом поверхні тощо. Форма і розміри заготовки значною мірою визначають технологію як її виготовлення, так і подальшої обробки. Точність розмірів заготовки є одним з найважливіших факторів, що впливає на вартість виготовлення деталі. При цьому необхідно забезпечити стабільність розмірів заготовки у часі та в межах виготовлюваної партії. Стан поверхні заготовки (наприклад, відбілювання чавунних виливків, шар окалини на поковках) також може суттєво впливати на подальшу обробку різанням. Тому для більшості заготовок необхідна попередня підготовки, яка полягає в тому, що їм надається такий стан або вигляд, за якого можна виконувати механічну обробку на металорізальних верстатах. Особливо ретельно ця робота виконується, якщо подальша обробка здійснюється на пруткових автоматах, верстатах типу «обробляючий центр», на автоматичних лініях або в гнучких виробничих системах, робототехнічних комплексах тощо (низька точність заготовок в автоматизованому виробництві часто є причиною відмови складних систем і ліній). До операцій попередньої обробки відносять зачищення, правку, обдирання, розрізання, центрування, а інколи й обробку технологічних баз.

2. Технологічність заготовок

2.1. Основні поняття технологічності

Технологічність конструкції виробу являє собою сукупність властивостей конструкції, які визначають її відповідність оптимальним витратам на виготов-

лення, експлуатацію та ремонт для заданих показників якості, обсягу випуску та умов виконання робіт. Тобто технологічність – це властивість виробу бути легким у виготовленні, простим у ремонті та експлуатації.

Будь-який виріб повинен бути технологічно раціональним для заданих конкретних умов підготовки його виробництва, виготовлення, експлуатації, зберігання та ремонту з урахуванням наявних у виготовлювача та споживача виробу трудових, матеріальних, енергетичних та інших ресурсів. Ці умови та вимоги необхідно знати конструктору до початку розроблення конструкції виробу.

Відпрацювання на технологічність є обов'язковим на всіх стадіях створення виробів і має на меті збільшення продуктивності праці, зниження затрат часу на проектування, технологічну підготовку виробництва, виготовлення, технічне обслуговування та ремонт при забезпеченні необхідної якості. Так поліпшенням технологічності конструкції виробу можна зменшити в середньому трудомісткість виготовлення на 10...25% і більше, а собівартість на 5...10%.

Питання технологічності повинні вирішуватись комплексно, починаючи зі стадії проектування заготовки і вибору методу її виготовлення і закінчуючи процесом механічної обробки та складання всього виробу. Відпрацьована на технологічність заготовка не повинна ускладнювати подальшу механічну обробку. Технологічність, як правило, закладається на стадії проектування, тому від конструктора вимагається високий рівень технологічної підготовки.

Технологічність – поняття відносне. Одна конструкція заготовки може бути технологічна при даному типі виробництва і зовсім нетехнологічна при іншому. Технологічність залежить також від виробничих можливостей конкретного підприємства (заводу). Розвиток виробничої бази підприємства (наприклад, впровадження верстатів з ЧПУ, автоматизованого обладнання тощо) змінює вимоги щодо технологічності.

Порядок і правила забезпечення технологічності встановлюються державними стандартами. Сучасні тенденції полягають в тому, що відпрацювання конструкції на технологічність все в більшій мірі зміщується на стадію розробки конструкторської документації. Це вимагає ділового і творчого співробітництва конструкторів і технологів як при виборі виду заготовки, так і при розробці технології її подальшої обробки.

2.2. Показники технологічності

Технологічність виробу (заготовки, деталі) визначається матеріалом, геометричною формою, розмірами та їх точністю, якістю поверхонь, заданими фізични-

ми та механічними властивостями.

Якісними характеристиками технологічності конструкції є: *взаємозамінність, регульованість, контролепридатність та інструментальна доступність*. Взаємозамінність – це властивість конструкції замінити іншу без додаткової обробки, зі збереженням заданої якості виробу. Регульованість забезпечує можливість і зручність регулювання при складанні, технічному обслуговуванні та ремонті для досягнення працездатності. Контролепридатність забезпечує можливість, зручність і надійність контролю при виготовленні, технічному обслуговуванні та ремонті. Інструментальна доступність забезпечує вільний доступ інструменту до поверхонь конструкції при виготовленні, контролі, випробуванні, обслуговуванні та ремонті.

Оцінка технологічності деталей може бути якісною і кількісною.

Якісну оцінку («добре - погано», «припустимо - неприпустимо» для заданих умов) отримують шляхом порівняння двох і більше варіантів заготовок. Критерієм в цьому випадку є довідкові дані і досвід технолога і конструктора. Також критеріями порівняння для якісної оцінки технологічності деталі є простота конструкції, форма, розміри та шорсткість поверхонь, їх допустимі відхилення, розміри базових поверхонь, доступність для виготовлення та механічного оброблення поверхонь, жорсткість і можливість забезпечити необхідну стійкість до жолоблення при термообробці, довжина та технологічна доцільність розмірних ланцюгів. Зазвичай така оцінка проводиться на стадії ескізного проектування і завжди передує кількісній оцінці.

Кількісну оцінку виконують за кількісними показниками технологічності, які дають можливість об'єктивно і досить точно оцінити технологічність порівнюваних конструкцій. До загальних показників технологічності конструкції виробу належать матеріаломісткість, енергомісткість, трудомісткість, технологічна вартість виробу у виготовленні, експлуатації та ремонті. Вибір показників залежить від призначення деталі (заготовки), типу виробництва й умов експлуатації. Для кожної деталі вибирають свої, найбільш характерні показники.

Кількість показників технологічності залежно від виду виробу та стадії розробки конструкторської документації обумовлюється в ГОСТ 14.201-73, а основні правила їх вибору в ГОСТ 14.202-73.

Стосовно заготовок найчастіше в якості показників технологічності використовують: трудомісткість виготовлення, технологічну собівартість і коефіцієнт використання матеріалу.

Трудомісткість виготовлення заготовки – це сумарні витрати часу на виробництво заготовки по всім технологічним операціям. Складові норм часу на ви-

конання робіт на окремих операціях наводяться у відповідних довідниках.

На ранніх стадіях проектування застосовують наближені методи оцінки трудомісткості. Наприклад, «ваговим методом» трудомісткість оцінюється за трудомісткістю типової заготовки, аналогічної за формою, точністю і технологією виготовлення:

$$T_{\text{пр}} = T_{\text{тип}} \sqrt[3]{(G_{\text{пр}} / G_{\text{тип}})^2},$$

де $T_{\text{пр}}$, $T_{\text{тип}}$ – трудомісткість відповідно проекрованої і типової заготовок; $G_{\text{пр}}$, $G_{\text{тип}}$ – маса відповідно проекрованої і типової заготовок.

Для оцінки технологічності використовують також відношення трудомісткості механічної обробки до трудомісткості отримання заготовки $T_{\text{мех}}/T_{\text{заг}}$. Чим менше це відношення, тим більш технологічною є заготовка (зменшується обсяг механічної обробки). Відношення $T_{\text{мех}}/T_{\text{заг}}$ залежить також від типу виробництва (для одиничного виробництва воно максимальне).

Технологічна собівартість виготовлення застосовується для вибору найкращого варіанта заготовки в умовах одного способу виробництва (цеху, заводу). У загальному вигляді для однієї деталі вона складається з наступних елементів:

$$C_{\text{т.д}} = M + Z + Z_0 + C_{\text{об}},$$

де M – вартість витрачених основних матеріалів, грн./ шт.; Z – заробітна плата виробничих робочих, грн./ шт.; Z_0 – відшкодування зносу оснастки, грн./ шт.; $C_{\text{об}}$ – витрати, пов'язані з утримуванням і експлуатацією обладнання за час виготовлення однієї деталі, грн./ шт.

Всі елементи собівартості взаємопов'язані. Наприклад, зміна виду заготовки викликає зміну витрат на механічну обробку. Зміна конструкційного матеріалу може викликати зміну номенклатури технологічного устаткування. З порівнюваних варіантів обирають той, для якого технологічна собівартість мінімальна незалежно від окремих складових.

Коефіцієнт використання матеріалу – це безрозмірна величина, що визначається відношенням маси виробу до маси витраченого матеріалу:

$$K_{\text{в.м}} = G_{\text{д}} / G_{\text{в}}, \quad (2.1)$$

де $G_{\text{д}}$ – маса готової деталі; $G_{\text{в}}$ – маса всього витраченого на деталь матеріалу, зокрема маса ливників, облою, окалини, браку тощо.

Маса $G_{\text{в}}$ складається з маси заготовки G_3 (з припусками і напусками) та з суми витрат матеріалу на вигорання, облой, прибутки, ливникову систему, брак, а також витрат матеріалу вихідних заготовок, що зумовлені некратністю розмірів заготовки та використовуваного прокату (прутка, листа, стрічки тощо).

Оскільки всі перелічені відходи встановити досить складно, тому часто для

наближених розрахунків визначають тільки відходи на припуски та напуски заготовки, розраховуючи замість $K_{в.м}$ коефіцієнт точності маси заготовки:

$$K_T = G_D / G_3, \quad (2.2)$$

або коефіцієнт виходу металу, придатного у заготівельних цехах:

$$K_{п.м} = G_3 / G_B. \quad (2.3)$$

Коефіцієнтами $K_{п.м}$ часто користуються для визначення ефективності роботи заготівельних дільниць і цехів, а коефіцієнтами K_T – для попередніх розрахунків технологічності заготовки. За інших рівних умов більш вигідні високі значення $K_{в.м}$. Тому для остаточного вибору того чи іншого способу виготовлення заготовки застосовують $K_{в.м}$, особливо для умов серійного та масового виробництва.

З виразів 2.1-2.3 видно, що між наведеними коефіцієнтами існує взаємозв'язок:

$$K_{в.м} = K_{п.м} K_T.$$

При кількісній оцінці технологічності числові значення показників для різних варіантів конструкції виробу порівнюють між собою, а також з відповідними базовими показниками. Базовим називається показник технологічності конструкції, прийнятий за вихідний при порівняльній оцінці. Значення базових показників вказуються у відповідній дерективній документації на виріб (технічне завдання тощо) або визначаються розрахунком, який ґрунтується на статистичних даних щодо технологічності типових виробів (представників, виробів-аналогів), що вибираються з уже існуючих конструкцій за принципом спільності призначення і (або) конструктивно-технологічної подібності [5, 22]. Технологічною вважається конструкція, значення показників технологічності якої відповідають базовим показникам технологічності.

2.3. Забезпечення технологічності заготовок

Відпрацювання конструкції виробу на технологічність рекомендується проводити в такій послідовності:

- підбір і аналіз вихідних матеріалів для оцінки технологічності;
- вибір, визначення та аналіз базових показників технологічності;
- розрахунок показників технологічності для проектованої конструкції;
- проведення порівняльної оцінки та розрахунок показників рівня технологічності конструкції (відношення досягнутого показника технологічності до відповідного базового);
- розробка рекомендацій щодо поліпшення показників технологічності;
- внесення змін в конструкторську документацію згідно ГОСТ 2.503-2013.

Задача забезпечення технологічності заготовок повинна вирішуватися з урахуванням взаємодії всіх служб заводу (конструктори, технологи, працівники технічного постачання тощо) і конкретних виробничих умов (наявність на заводі певного обладнання, матеріалів, площ).

Технологічність конструкції вихідної заготовки повинна відповідати стандартам або технічним умовам, узгодженим з ГОСТ 2.115-70.

Способи підвищення технологічності значною мірою залежать від типу виробництва, обсягу партії, виду заготовки й інших факторів. Тому нижче наводяться лише деякі загальні рекомендації щодо підвищення технологічності заготовок (ГОСТ 14.204-83).

1. Бажано, щоб контури заготовки являли собою поєднання найпростіших геометричних форм.

2. Конструкція має складатися з стандартних і уніфікованих конструктивних елементів або бути стандартною в цілому.

3. Точність розмірів і шорсткість поверхонь заготовок повинні бути економічно обґрунтованими.

4. Бажано максимально використовувати способи отримання заготовок, які не потребують подальшого зняття стружки (рис. 2.1).

5. При неможливості обійтись без механічної обробки необхідно прагнути максимально її скорочувати за рахунок зменшення кількості і протяжності оброблюваних поверхонь (рис. 2.2).

6. Конструкція деталі повинна допускати можливість її виготовлення складеною з двох і більше частин (рис. 2.3).

7. Припуски та напуски повинні бути мінімальними.

8. Форма заготовки має забезпечувати можливість надійного її базування та закріплення на чорнових операціях механічної обробки.

9. Конструкція заготовки має забезпечувати можливість застосування типових і стандартних технологічних процесів її виготовлення.

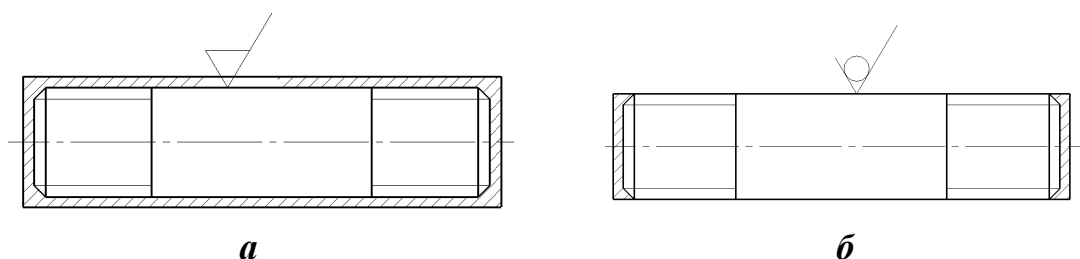


Рис. 2.1. Шпилька, виготовлена обробкою різанням (а) та накатуванням (б)

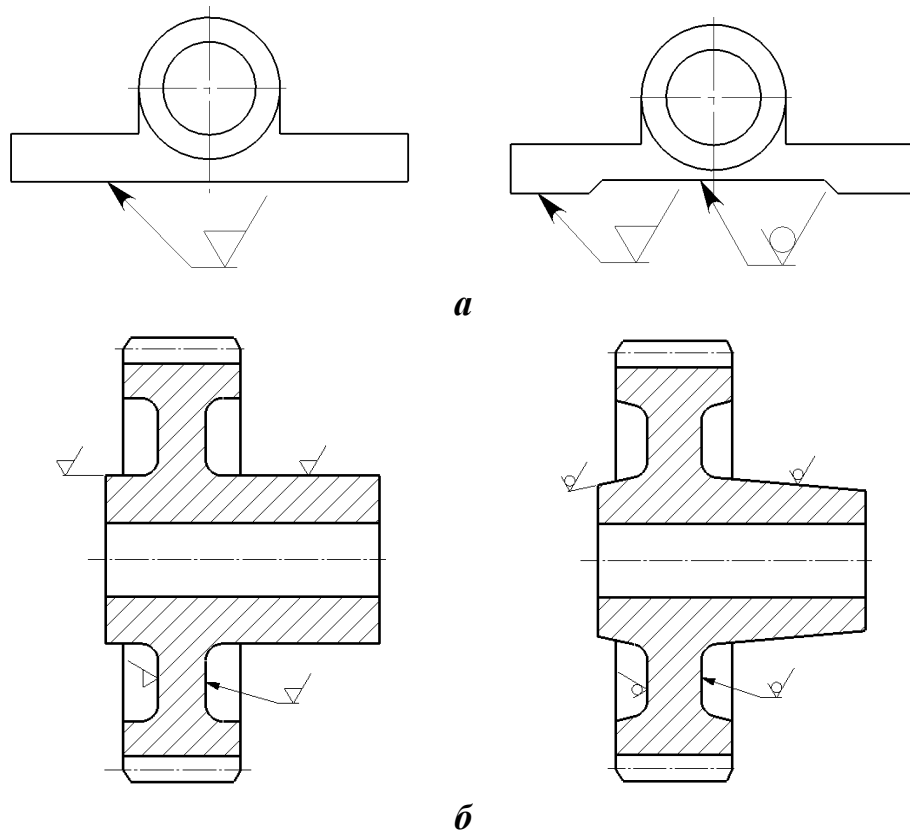


Рис. 2.2. Приклади зменшення обсягу механічної обробки за рахунок зменшення протяжності оброблюваних поверхонь (а) та зменшення їх кількості (б)

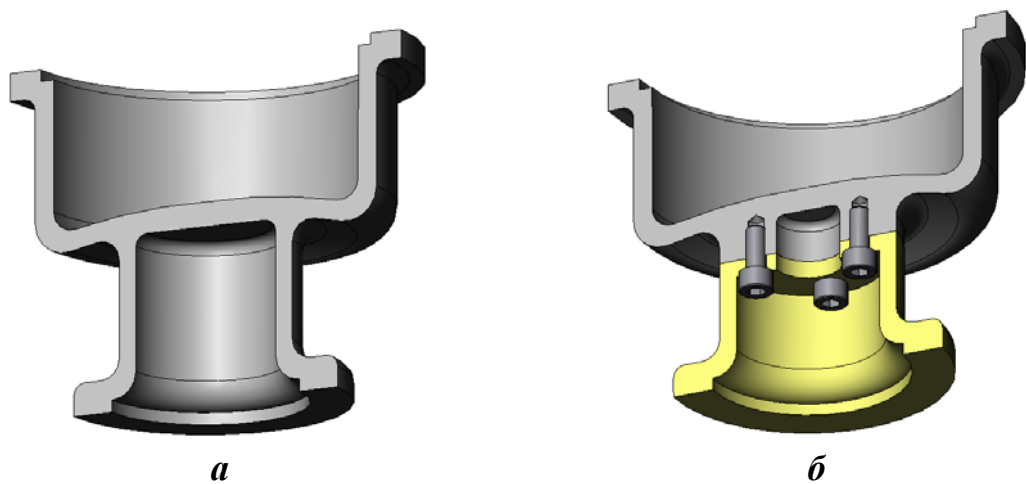


Рис. 2.3. Конструкція суцільної (а) та складеної (б) заготовки

Крім загальних необхідно враховувати рекомендації щодо забезпечення технологічності заготовок, отриманих конкретним способом (литтям, куванням, штампуванням, зварюванням тощо). Ці рекомендації наведені у відповідних розділах даного посібника.

3. Припуски на оброблення заготовок різанням

3.1. Основні визначення та поняття

Заготовка, призначена для механічної (слюсарної) обробки, виготовляється з припуском на розміри готової деталі (припуском на обробку).

Припуск – це шар матеріалу, який знімають з поверхні заготовки для досягнення потрібних розмірів, форми та якості оброблюваної поверхні (твердість, шорсткість тощо). Припуск призначають тільки на ті поверхні, точність форм і розмірів яких не може бути досягнута прийнятим способом отримання заготовки. Припуск вимірюють по нормалі до поверхні, для якої він призначений.

Оскільки, залежно від потрібної точності деталі Td_d , даної точності заготовки Td_z , жорсткості системи верстат – пристосування – інструмент – деталь та інших факторів, досягти потрібного уточнення $\eta = Td_z / Td_d$ в одному переході чи в одній операції звичайно не вдається, то доводиться зрізувати не один, а декілька послідовних шарів матеріалу. Тому припуски поділяють на *операційні*, *проміжні* та *загальні*.

Операційний припуск – це припуск, що видаляють при виконанні однієї технологічної операції. **Проміжний припуск** – це припуск, що видаляють при виконанні одного технологічного переходу. Операційний припуск дорівнює сумі проміжних припусків для переходів, що входять в дану операцію. **Загальний припуск** – це сума операційних припусків, необхідних для виконання всіх технологічних операцій, здійснюваних над даною поверхнею.

Розрізняють **односторонні припуски** (шар матеріалу знімається з однієї сторони деталі) та **двосторонні** (матеріал знімається з двох сторін).

Припуски можуть бути розміщені по відношенні до осі заготовки *симетрично* й *асиметрично*.

У припусках також враховують *напуски*, *нахили*, *прибутки*, *заокруглення* тощо. **Напуск** – це надлишок матеріалу на поверхні заготовки (поверх припуску), зумовлений технологічними вимогами спрощення конфігурації заготовки для поліпшення умов її виготовлення (рис. 3.1). Здебільшого напуск знімають з поверхні в процесі її механічного оброблення, а деколи залишають в деталі (ливарні та штампувальні нахили, радіуси заокруглень тощо).

Встановлення правильних розмірів припусків на обробку є відповідальною техніко-економічною задачею, оскільки значення припуску суттєво впливає на вартість виготовлення деталі. **Завищений припуск** призводить до непродуктивних втрат матеріалу в стружку, до збільшення трудомісткості механічної обробки, спрацювання обладнання, витрат ріжучого інструмента та електроенергії, до збі-

льшення потреб в обладнанні та робочій силі. При цьому утруднюється побудова операцій на налагоджених верстатах, погіршується точність обробки у зв'язку зі зростанням пружних відтискань в технологічній системі та ускладнюється застосування пристосувань.

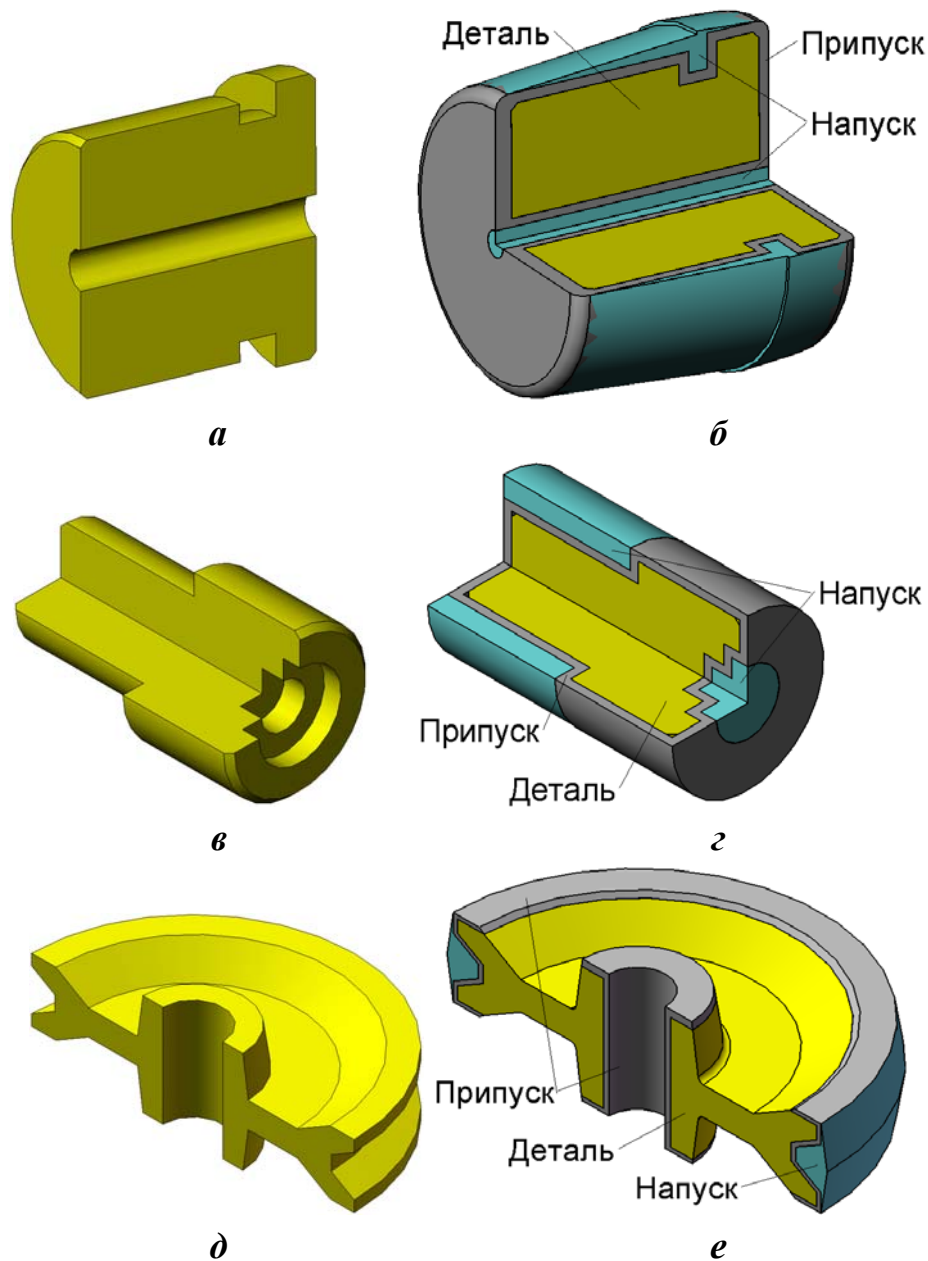


Рис. 3.1. Розміщення припусків і напусків на заготовці:

a, в, д – розрізи деталей; *б* – штампована заготовка; *г* – заготовка з прокату; *е* – лита заготовка

Занижений припуск вимагає використання дорожчих способів отримання та подальшого оброблення заготовки, вищої кваліфікації працівників, прецизійного устаткування та спорядження тощо. За малих припусків на готових деталях мо-

жуть залишатися сліди дефектного шару заготовок, що призводить до збільшення кількості браку (особливо в умовах автоматизованого виробництва) та подорожчання виробництва за рахунок бракованих деталей. Малі припуски також ускладнюють розмічання та вивіряння положення заготовок на верстатах при обробці по методу пробних ходів, що також збільшує небезпеку появи браку. Тому призначений припуск повинен бути *оптимальним* для заданих умов виробництва, тобто таким, при якому *собівартість деталей найменша*.

Важливо зрозуміти: призначення припусків – змушена міра, оскільки не завжди можна виготовити деталь, без видалення деякого шару матеріалу досягнувши заданої точності розмірів, форми, розташування поверхонь і шорсткості. Разом з тим, кожний новий процес, який дозволяє виконати деталь у заготівельному виробництві безпосередньо за заданими технічними умовами (тобто без подальшої механічної обробки, що вимагає припуску), є суттєвим кроком у технічному прогресі. Генеральний напрямок розвитку машинобудування – перехід на безприпускове виготовлення виробів, яке підвищує коефіцієнт використання матеріалу, продуктивність праці, дає найбільші можливості автоматизації обладнання та випуску продукції мінімальної собівартості.

3.2. Фактори, що впливають на величину припусків

Для визначення оптимальних припусків на обробку необхідно знати, від чого і як вони залежать. **Основними факторами, які впливають на припуски** є: матеріал деталі, її форма і розміри, характер заготовки, точність розмірів і шорсткість поверхні деталі, технологічний маршрут механічної обробки деталі, термічна обробка деталі, тип виробництва.

Матеріал деталі безпосередньо впливає на спосіб одержання заготовки і її характер, тобто від нього залежить чи буде вона виготовлятися литтям, куванням, штампуванням, із прокату, чи іншим способом. Отже, він зумовлює її точність, якість поверхні, складність форми, а разом з цим і величину припусків.

Для того щоб припуски були мінімальними, необхідно, щоб заготовка якнайбільше наближалась за *розмірами і формою* до готової деталі. Це не завжди можливо, оскільки процеси заготівельного виробництва звичайно не дають змоги одержувати надто складні форми заготовок, які внаслідок цього доводиться значно спрощувати, а разом з цим і збільшувати припуски на обробку. Зі збільшенням розмірів деталей зростають одночасно геометричні неправильності і глибина дефектного шару поверхні, що також призводить до відповідного збільшення припусків.

Характер заготовки зумовлюється звичайно способом її виготовлення, який в свою чергу залежить від матеріалу, розмірів і форми деталі, її призначення, програми випуску і дозволяє досягти більшої або меншої точності, правильності форми і якості поверхні, а тим самим і впливає безпосередньо на величину припусків.

Точність розмірів і шорсткість поверхні деталі зумовлюють безпосередньо кількість операцій (чи переходів), на кожному з яких повинен бути призначений свій припуск, отже, тим самим зумовлюють і величину сумарного припуску.

Технологічний маршрут обумовлений в першу чергу точністю і шорсткістю поверхні деталі і є одним із факторів, який безпосередньо впливає на кількість зрізаних шарів матеріалу в процесі механічної обробки, а тим самим і на величину припусків.

Термічна обробка призводить, як правило, до деформацій заготовок і зростання глибини дефектного шару, тому для компенсації цих похибок і дефектів необхідно відповідно збільшувати величину припуску.

Тип виробництва впливає у великій мірі на спосіб виготовлення заготовок, тому що чим більша програма випуску виробів, тим економічно вигідніше, щоб заготовка своєю формою і розмірами наближалась якнайбільше до готової деталі, тобто потрібно застосовувати більш точні способи (спеціальні види лиття, штампування замість вільного кування тощо). Це збільшує, однак, витрати на обладнання й оснастку для виготовлення заготовок, але при цьому зменшує припуски і об'єм механічної обробки.

3.3. Методи визначення величини припусків на обробку

В машинобудуванні застосовують *досвідно-статистичний* та *розрахунково-аналітичний* методи визначення припусків на обробку.

При досвідно-статистичному (табличному або нормативному) методі загальні припуски призначають незалежно від технологічного процесу механічного оброблення та умов його виконання згідно з *довідковими таблицями*, що узагальнюють і систематизують багатолітній виробничий досвід передових машинобудівних заводів і узаконені відповідними стандартами. Наприклад, припуски на механічну обробку виливків з чорних і кольорових металів і сплавів регламентує ГОСТ 26645–85; для поковок, виготовлених на пресах – ГОСТ 7062–90; для поковок, виготовлених на молотах – ГОСТ 7829–70; для сталевих штампованих поковок, виготовлених гарячим об'ємним штампуванням – ГОСТ 7505–89.

Існуючі ГОСТи на припуски заготовок не виключають застосування завода-

ми й інших значень припусків за умови, що вони не перевищують припуски, вказані в ГОСТах. У зв'язку з цим численні машинобудівні заводи користуються при визначенні припусків своїми досвідними даними, що враховують всі основні фактори, які впливають на величину припусків, та специфіку власного виробництва.

Основна перевага даного методу – це економія часу на встановлення припусків та мінімізація витрат праці технолога. Оскільки припуски призначаються за ГОСТами та таблицями без врахування умов виконання технологічного процесу, тому в загальному випадку вони є завищеними і містять резерви зменшення витрат матеріалу та трудомісткості виготовлення деталі.

Призначення припусків досвідно-статистичним методом для заготовок з прокату, литих, кованих і штампованих заготовок докладно розглянуто в пп. 3.9, 5.6.1, 6.3.2 та 6.6.4.

Досвідно-статистичний метод рекомендується для визначення припусків звичайних деталей середньої точності, що виготовляються в деяких середніх умовах одиничного та серійного виробництв. Користування довідковими таблицями прискорює процес проектування і є у багатьох випадках допустимим, однак при цьому є необхідним аналіз відповідності конкретних умов проектного процесу стандартним умовам, для яких були складені ці таблиці. У випадку відхилення умов проектного процесу від стандартних, необхідно уточнювати рекомендовані таблицями припуски відповідними розрахунками. Наприклад, при шліфуванні довгих і тонких планок після загартування, що викликає жолоблення заготовок, неможливо обмежитись призначенням припуску на шліфування за таблицями, а слід додатково визначити розрахунковим або експериментальним шляхом очікувану величину похибок форми та розташування поверхонь, пов'язану з вигинанням заготовок при загартуванні. Потім слід впевнитись, що призначений за таблицями припуск на шліфування є достатнім для компенсації жолоблення та за необхідності відповідно збільшити припуск.

При розрахунково-аналітичному методі припуски розраховують послідовно для всіх переходів оброблення поверхні в порядку зворотному ходові технологічного процесу, після чого, підсумовуючи всі проміжні припуски, отримують загальний припуск на обробку та визначають розміри заготовки.

Цей метод вимагає розроблення структури технологічного процесу, призначення кількості і послідовності виконання технологічних переходів для кожної оброблюваної поверхні, призначення базових поверхонь, способів базування та закріплення заготовки в процесі механічного оброблення, добору основного устаткування та оснастки (приспособувань, різального та вимірювального інструменту),

способу виготовлення початкової заготовки, врахування всіх факторів, що впливають на значення припусків на всіх стадіях оброблення кожної з поверхонь [4, 5, 11, 20].

Порівняно з табличним, розрахунковий метод більш трудомісткий, але дає змогу призначати *мінімальні припуски* на механічне оброблення та знизити відходи металу в стружку, що має істотне значення для серійного та, особливо, масового виробництва, де навіть невелика економія металу дає значний економічний ефект. Тому табличним способом користуються здебільшого для одиничного та дрібносерійного виробництва (особливо на підприємствах з частою змінюваністю виробів), а розрахунковим – для серійного та масового (розрахунковий спосіб може застосовуватись також при проектуванні вихідних заготовок і окремих операцій технологічних процесів обробки крупних та особливо відповідальних деталей серійного і навіть одиничного виробництва).

Розрахунок припусків або призначення їх за довідковими таблицями необхідно виконувати після відпрацювання конструкції деталі та заготовки на *технологічність і техніко-економічного обґрунтування* способу отримання заготовки.

3.4. Розрахунково-аналітичний метод визначення припусків на обробку

Суть цього методу полягає в тому, що

1) загальний припуск на обробку деталі визначається як сума її проміжних припусків;

2) найменша допустима величина кожного проміжного припуску повинна бути достатньою для повного усунення слідів попереднього переходу (мікро- і макрогеометричні неправильності та дефектний шар оброблюваної поверхні) та компенсації похибки установки на виконуваному переході.

Отже, *мінімальний припуск* на i -ту операцію

$$Z_{i\min} = a \cdot (Rz_{i-1} + F_{i-1} + \overline{\rho_{i-1}} + \overline{\varepsilon_i}), \quad (3.1)$$

де a – кількість шарів припуску для даного розміру заготовки, $a = 1$ для оброблення поверхні з одного боку (односторонній припуск, рис. 3.2,а), $a = 2$ при паралельній обробці протилежних поверхонь, або обробці внутрішніх та зовнішніх поверхонь обертання (двосторонній припуск); Rz_{i-1} – висота нерівностей поверхні після попереднього переходу, мм (рис. 3.2,б); F_{i-1} – глибина дефектного шару після попереднього переходу, мм; ρ_{i-1} – сумарні похибки форми оброблюваної поверхні та її розташування відносно базової (на даному переході) поверхні заготовки, які залишилися після попереднього переходу (неспіввісність

оброблених поверхонь і ліній центрових отворів, непаралельність, неперпендикулярність тощо, рис. 3.2,в), мм; ϵ_i – похибка установки для даного розміру в даній позиції операції, мм (рис. 3.2,г).

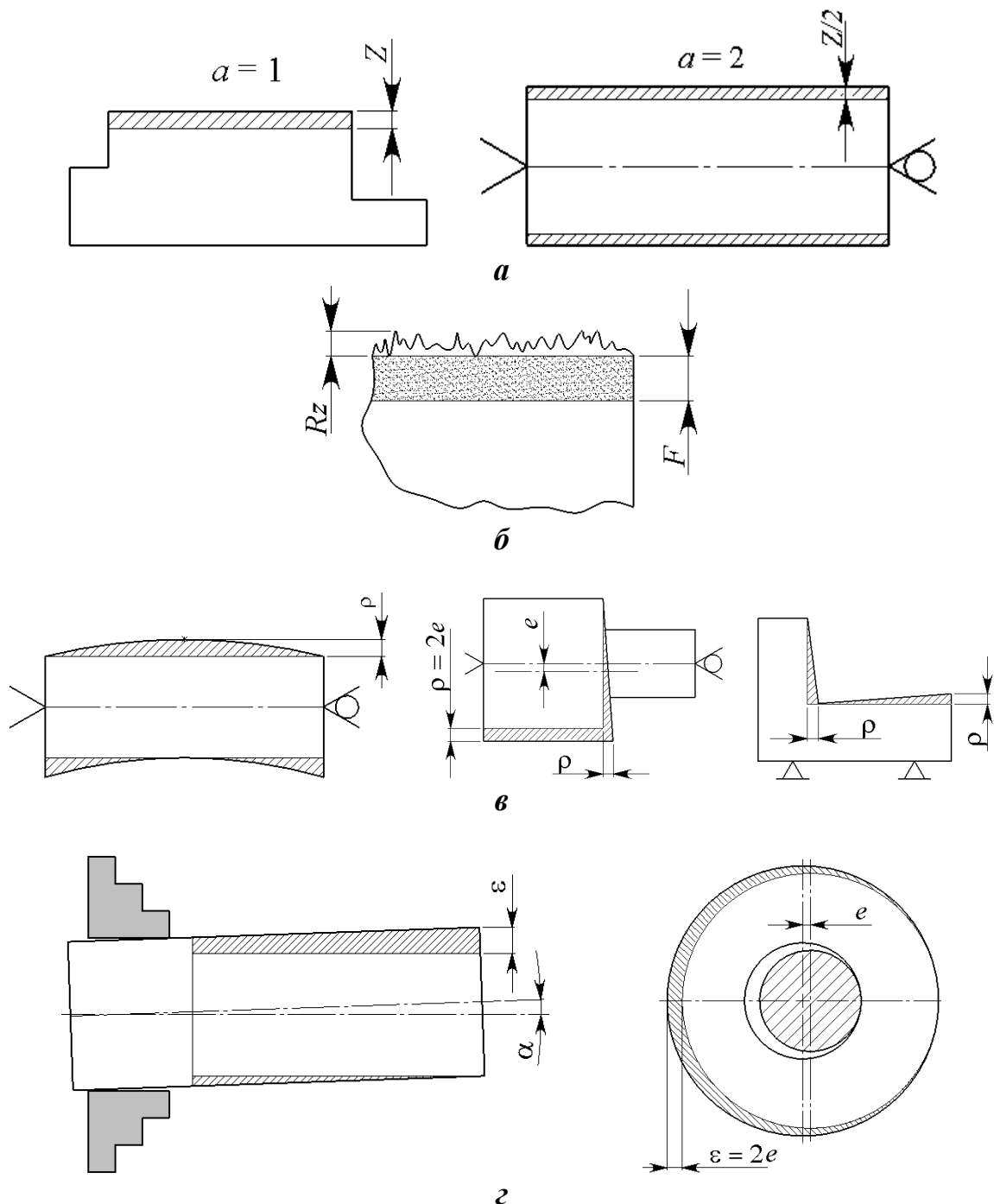


Рис. 3.2. Складові елементи мінімального припуску

Перші три складові формули (3.1) Rz , F і ρ обробленої поверхні належать до попереднього ($i-1$)-го технологічного переходу, а четверта складова ϵ , як і мінімальне значення припуску Z_{\min} – до виконаного i -го переходу.

Величини Rz і F є скалярними, а величини $\bar{\rho}$ і $\bar{\varepsilon}$ – векторними величинами, які можуть мати різний напрям. У крайніх випадках сума цих величин може дорівнювати алгебраїчній сумі або різниці цих величин. Коли напрямки векторів $\bar{\rho}$ і $\bar{\varepsilon}$ визначити неможливо, вони підсумовуються геометрично, тобто за правилом квадратного кореня:

$$\sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}.$$

Якщо похибки форми і розташування ρ оброблюваної поверхні, в свою чергу, формуються з кількох складових (наприклад, якщо заготовка має одночасно і кривизну, і овальність) або похибка установки ε на даній операції складається з кількох складових різної орієнтації у просторі (наприклад, биття оброблюваної поверхні визначається величиною биття шпинделя верстата та величиною зазору між поверхнями базового отвору заготовки і оправки), то значення ρ і ε також визначаються геометричним підсумовуванням відповідних елементарних похибок.

Дефектний шар F виникає в зв'язку з відбілюванням, знеуглецьовуванням, корозією, наклепом, утворення тріщин тощо. Наприклад, гаряча обробка сталевих заготовок (прокат, штампування, кування) призводить до появи окалини – знеуглецьованого шару з пониженими механічними властивостями. Ливарна перлітна кірка на чавунних виливках через свою твердість і забрудненість формувальним піском утруднює умови роботи лезовим інструментом. В процесі механічної обробки також утворюється дефектний шар. Для сталевих поверхонь він характеризується наклепом, появою залишкових напружень.

В усіх випадках визначений мінімальних припуск Z_{\min} не повинен бути меншим мінімальної товщини стружки, яку може зняти ріжучий інструмент на даній операції. Для токарного різця мінімальна товщина зрізуваного шару складає ≈ 20 мкм. Для інших видів обробки вона може бути ще більшою (фрезерування) чи меншою (абразивна обробка).

Розглянемо схему операційних розмірів, припусків і допусків *для зовнішніх розмірів деталі* (вала) на рис. 3.3. Операційними розмірами i -тої операції називаються номінальний, мінімальний і максимальний розміри, що одержуються в результаті цієї операції. Ці ж розміри є одночасно розмірами проміжної заготовки під наступну операцію. Усі розрахункові формули отримуємо, виходячи з цієї схеми.

Розміри заготовки і всі операційні розміри деталі не можуть бути абсолютно точними і знаходяться в границях встановлених для них допусків T_i . Відхилення від номінальних розмірів обумовлюють коливання в розмірах припусків. Тому

слід розрізняти мінімальний, номінальний, максимальний та середній припуски (див. рис. 3.3).

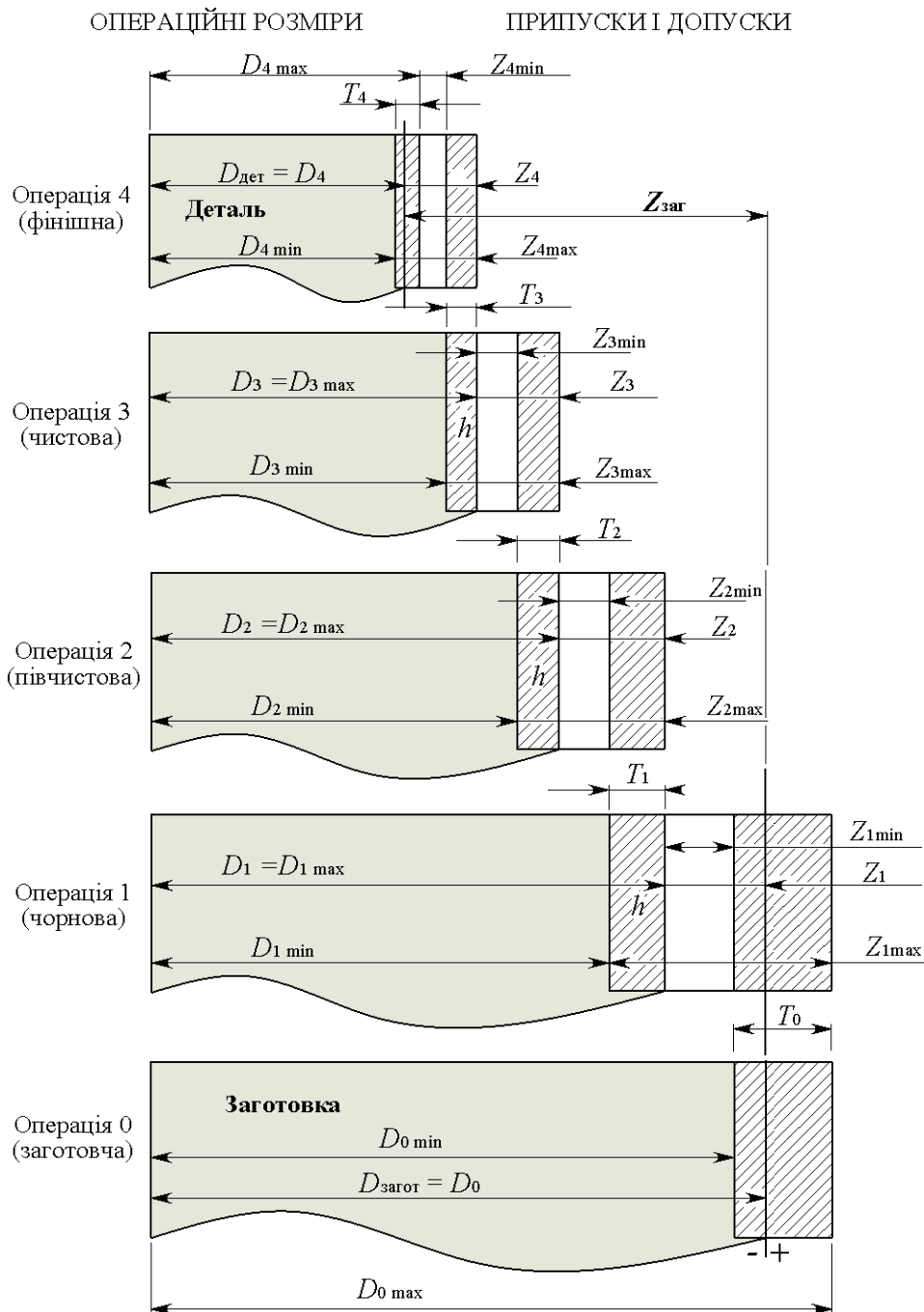


Рис. 3.3. Схема операційних розмірів, припусків і допусків для зовнішніх розмірів деталі (вал)

Мінімальний припуск $Z_{i \min}$ на кожному технологічному переході є різницею між мінімальним розміром до обробки і максимальним розміром після обробки на даному переході:

$$Z_{i\min} = D_{(i-1)\min} - D_{i\max}.$$

Очевидно, припуск буде мінімальним тоді, коли на попередньому переході допуск на розмір D_{i-1} використано повністю, а допуск на розмір D_i даного переходу зовсім не використано (тобто з мінімальної заготовки отримуємо максимальну деталь на переході). Величину $Z_{i\min}$ знаходимо за формулою (3.1).

Мінімальні припуски Z_{\min} є основою (вихідною розрахунковою величиною) для визначення величин номінальних та максимальних проміжних припусків і загального припуску $Z_{\text{заг}}$ на механічну обробку i , відповідно, для визначення операційних розмірів деталі для всіх операцій та розмірів вихідної заготовки, оскільки саме Z_{\min} є товщиною шару металу, необхідною і достатньою для здійснення заданої обробки. Всі інші різновиди припуску вторинні. Величина $Z_{i\min}$ не залежить від допусків на розміри попередньої та виконуваної операцій (переходів), тому розрахунки, основані на $Z_{i\min}$, є найбільш точними, а нормативи на значення $Z_{i\min}$ можна використовувати без перерахунків в усіх випадках, зокрема при обробці зі зміною баз.

Номінальний припуск Z_i на перехід (операцію) дорівнює різниці номінальних розмірів виробу до і після обробки на даному переході (операції):

$$Z_i = D_{i-1} - D_i.$$

Номінальні припуски необхідні для визначення номінальних розмірів проміжних і початкової заготовок і відповідно розмірів формоутворюючих елементів технологічної оснастки (штампів, прес-форм, моделей, волок, пристосувань), а також для налагодження ріжучого інструменту на операційний розмір та проміжного контролю заготовок.

Згідно зі схемою загальний номінальний припуск на обробку $Z_{\text{заг}}$, що визначається різницею номінальних розмірів вихідної заготовки і готової деталі, дорівнює сумі номінальних припусків усіх n технологічних переходів.

$$Z_{\text{заг}} = D_{\text{загот}} - D_{\text{дет}} = \sum_{i=1}^n Z_i. \quad (3.2)$$

В практиці машинобудування при побудові схеми припусків прийнято поля допусків для розмірів проміжних заготовок розміщувати «в метал», тобто з основним відхиленнями h для валів ($es = 0$) і H для отворів ($EI = 0$). Для вихідної заготовки та готової деталі розміщення полів допусків залежить від виду заготовки (лита, кована, штампована, прокат тощо) та функціонального призначення деталі відповідно. Згідно зі схемою на рис. 3.3 маємо

$$Z_i = Z_{i\min} + es_i - ei_{i-1}, \quad (3.3)$$

де es_i, ei_{i-1} – відхилення розмірів деталі на відповідному переході.

Знаючи номінальні припуски, можемо визначити *номінальні розміри проміжних і вихідної заготовки*:

$$D_{i-1} = D_i + Z_i; \quad (3.4)$$

$$D_{\text{загот}} = D_{\text{дет}} + \sum_{i=1}^n Z_i = D_{\text{дет}} + Z_{\text{заг}}. \quad (3.5)$$

Оскільки для розмірів проміжних заготовок $es = 0$, а $(-ei) = T$, то можна записати

$$Z_i = Z_{i\text{min}} + T_{i-1}. \quad (3.6)$$

Тобто номінальний припуск на перехід складається з мінімального припуску на цей перехід $Z_{i\text{min}}$ і допуску на обробку заготовки на попередньому переході T_{i-1} . При наближених розрахунках припусків для механічної обробки можна прийняти співвідношення

$$Z_i = (2...4)T_{i-1}. \quad (3.7)$$

Формули (3.6) і (3.7) показують, що будь-яке розширення допусків для попередніх операцій неминує викликає збільшення припуску на обробку для наступних, що зазвичай призводить до зниження продуктивності останніх операцій. І навпаки, при зменшенні припуску на обробку для даної операції доводиться відповідно підвищувати точність, а отже, і вартість попередньої обробки. У зв'язку з цим при призначенні операційних припусків і допусків повинні бути вирішені наступні техніко-економічні задачі:

- *операційний припуск* повинен бути не дуже великим, щоб не здорожчувати даної операції зняттям надмірного шару металу, і не дуже малим, щоб не здорожчувати попередню операцію внаслідок підвищення її точності;

- *операційний допуск* повинен бути достатньо широким, щоб полегшити виконання даної операції, і не дуже широким, щоб не викликати надмірного збільшення припуску для наступної операції та відповідного її здорожчання.

Максимальний припуск $Z_{i\text{max}}$ на кожному технологічному переході є різницею між максимальним розміром до обробки і мінімальним розміром після обробки на даному переході:

$$Z_{i\text{max}} = D_{(i-1)\text{max}} - D_{i\text{min}}. \quad (3.8)$$

Очевидно, припуск буде максимальним тоді, коли на попередньому переході допуск на розмір D_{i-1} не витрачено, а допуск на розмір D_i даного переходу використано повністю. Відповідно до схеми на рис. 3.3 маємо

$$Z_{i\text{max}} = Z_{i\text{min}} + T_i + T_{i-1}, \quad (3.9)$$

де T_i, T_{i-1} – допуски на виконуваний і попередній технологічні переходи.

Максимальні припуски та припуски для технологічних цілей (нахили, напус-

ки, що спрощують конфігурацію заготовки тощо) приймають за глибину різання та використовують для визначення режимів різання (подачі, швидкості різання) та вибору верстатів за потужністю. Саме максимальні припуски потрібно використовувати при розрахунках на міцність і силових розрахунках пристосувань, інструменту, слабких ланок верстата.

Максимальний розмір заготовки можна виразити так (див. рис. 3.3)

$$D_{\text{загот}}^{\text{max}} = D_{0\text{max}} = D_{\text{дет}}^{\text{min}} + \sum_{i=1}^n Z_{i\text{min}} + \sum_{i=0}^n T_i .$$

Як правило, при розрахунках величину припуску обмежують лише його мінімальним значенням $Z_{i\text{min}}$ (див. формулу (3.1)). Величина максимального припуску $Z_{i\text{max}}$ при цьому жорстко не обмежується і формується в залежності від допусків на попередню і виконувану операцію (формула (3.8) і (3.9)). Однак, в деяких випадках величину $Z_{i\text{max}}$ необхідно також жорстко обмежувати. Наприклад, для збереження твердого загартованого шару після загартування струмами високої частоти або після цементації необхідно, щоб максимальний припуск на шліфування був менше глибини загартованого шару. В деяких випадках $Z_{i\text{max}}$ на шліфування обмежують з міркувань зменшення його трудомісткості тощо.

Схема операційних розмірів, припусків і допусків для *внутрішніх розмірів деталі* (отвору) зображена на рис. 3.4.

Виходячи зі схеми, маємо розрахункові формули для отвору:

- мінімальний припуск $Z_{i\text{min}}$

$$Z_{i\text{min}} = D_{i\text{min}} - D_{(i-1)\text{max}} ;$$

- номінальний припуск Z_i

$$Z_i = D_i - D_{i-1} ;$$

$$Z_i = Z_{i\text{min}} + ES_{i-1} - EI_i ; \quad (3.10)$$

$$Z_i = Z_{i\text{min}} + T_{i-1} \text{ (для проміжних заготовок)}; \quad (3.11)$$

- загальний номінальний припуск $Z_{\text{заг}}$

$$Z_{\text{заг}} = D_{\text{дет}} - D_{\text{загот}} = \sum_{i=1}^n Z_i ; \quad (3.12)$$

- номінальні розміри проміжних і вихідної заготовки

$$D_{i-1} = D_i - Z_i ; \quad (3.13)$$

$$D_{\text{загот}} = D_{\text{дет}} - \sum_{i=1}^n Z_i = D_{\text{дет}} - Z_{\text{заг}} ; \quad (3.14)$$

- максимальний припуск $Z_{i\text{max}}$

$$Z_{i\text{max}} = D_{i\text{max}} - D_{(i-1)\text{min}} ; \quad (3.15)$$

$$Z_{i\text{max}} = Z_{i\text{min}} + T_i + T_{i-1} ;$$

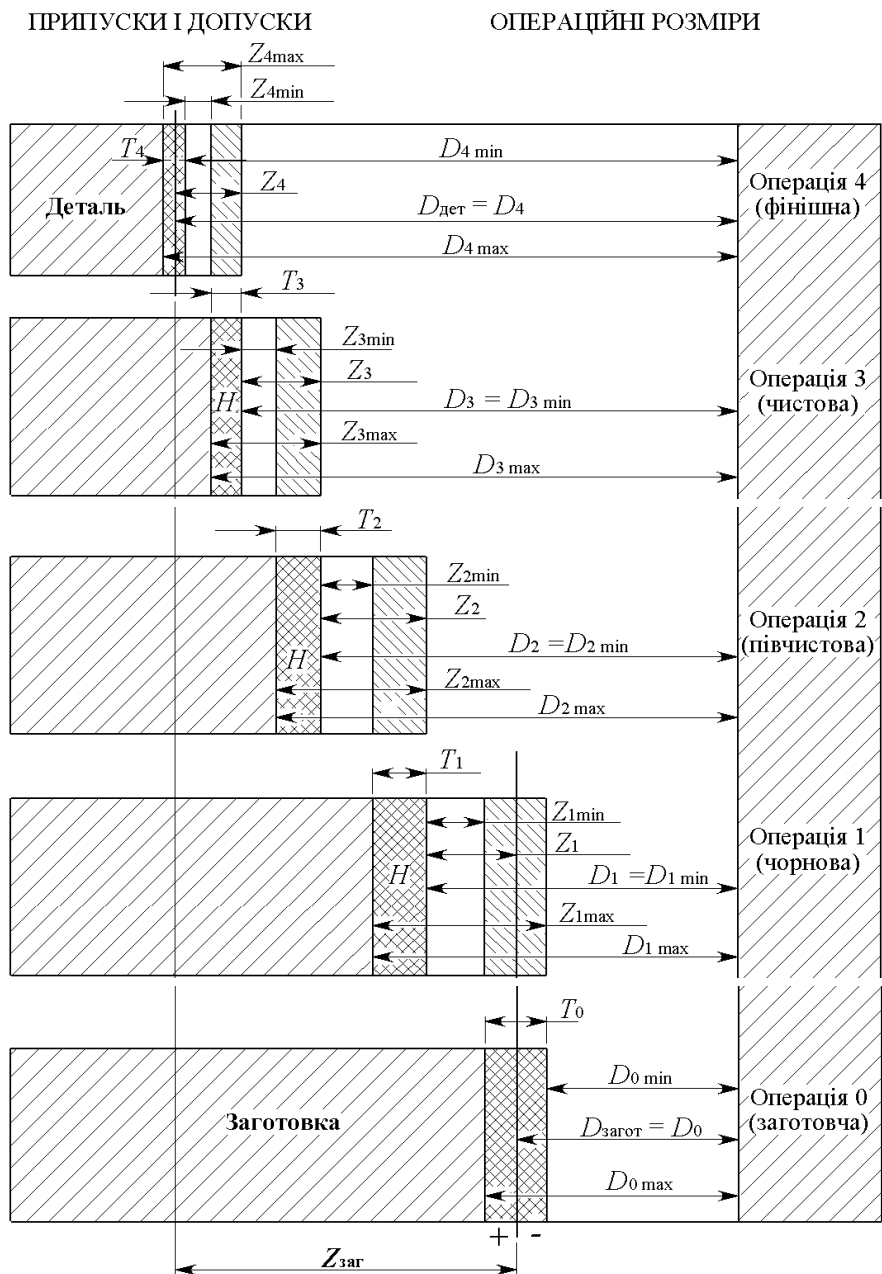


Рис. 3.4. Схема операційних розмірів, припусків і допусків для внутрішніх розмірів деталі (отвір)

- мінімальний розмір заготовки

$$D_{загот}^{\min} = D_{0\min} = D_{дет}^{\max} - \sum_{i=1}^n Z_{i\min} - \sum_{i=0}^n T_i$$

Користуючись схемами рис. 3.3 і 3.4, можемо визначити операційні розміри деталі для довільної операції, а також визначити розміри вихідної заготовки.

3.5. Загальний порядок визначення припусків і операційних розмірів розрахунково-аналітичним методом

1. Аналіз вихідних даних.

Вихідними даними є робоче креслення деталі з технічними вимогами, річна програма випуску.

При аналізі необхідно уявити призначення деталі, її конструкцію, масу, матеріал і його технологічні та технічні властивості; тип виробництва; форму, розміри, точність і параметри шорсткості оброблюваної поверхні.

2. Вибір способу отримання заготовки (див. розділ 4).

3. Складання маршруту механічної обробки з врахуванням точності й чистоти поверхні оброблюваної деталі.

Для кожної обробленої поверхні призначають кількість і послідовність виконання технологічних переходів, тип основного устаткування, технологічну оснастку (приспосовування, різальний та вимірювальний інструмент), спосіб виготовлення вихідної заготовки, базові поверхні, спосіб базування та закріплення заготовки в процесі механічного оброблення.

4. Визначення операційних допусків T_i на всі операції, включаючи заготовчу (з врахуванням типу виробництва).

Допуск і параметри якості поверхні після останнього переходу приймають за кресленням деталі. Допуски проміжних заготовок визначають за квалітетом, що досягається в даному переході, та номінальним розміром оброблюваної поверхні. Якість прокату, литих, кованих і штампованих заготовок після оброблення різанням наведено у таблицях 3.9, 3.12, 3.15 і 3.16 відповідно. Значення допусків – у таблиці 3.1.

Допуски розмірів вихідної заготовки залежать від способу її отримання. Граничні відхилення розмірів круглого прокату наведено у таблицях 3.2-3.4; допуски лінійних розмірів виливків – у табл. 5.5; граничні відхилення поковок, виготовлених куванням на молотах – у табл. 6.2; допустимі відхилення лінійних розмірів штампованих поковок – у табл. 6.21. При цьому номінальний розмір заготовки $D_{\text{загот}}$ попередньо, до розрахунків можна прийняти приблизно, виходячи з розміру деталі $D_{\text{дет}}$.

5. Визначення для всіх переходів величин, що входять до формули (3.1) для $Z_{i\text{min}}$, і самих значень $Z_{i\text{min}}$.

Мінімальні значення припусків знаходять для кожної поверхні та для кожного переходу по чергово (від останнього до першого переходу). Інколи, для унаочнення та систематизації розрахунків, складають розрахункову карту для кожної оброблюваної поверхні (рис. 3.5 і 3.6).

№ <i>i</i>	назва	Елементи припуску						$Z_{i\min}$	T_i	Z_i	D_i	$D_{i\max}$	$D_{i\min}$	Перерахунок після округлення D_i			
		Rz_i	F_i	ρ_i	ε_i	$Z_i^{\min} = a(Rz_{i-1} + F_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i)$	$T_i = \varepsilon_i - e_i$							$Z_i = Z_{i\min} + \varepsilon_i - e_{i-1}^*$ або $Z_i = Z_{i\min} + T_{i-1}$	$D_i = D_{i+1} + Z_{i+1}$	$D_{i\max} = D_i + \varepsilon_i^*$ або $D_{i\max} = D_i$	$D_{i\min} = D_i + e_i$ або $D_{i\min} = D_{i\max} - T_i$
5																	
4	Фінішна	Rz_4	F_4	ρ_4	ε_4	$Z_{4\min} \equiv Z_{4\min} + \varepsilon_4$	T_4	$Z_4 \rightarrow D_4 = D_{\text{дет}}$	$D_{4\max}$	$D_{4\min}$	$D_{4\max}$	$D_{4\min}$	$Z_{4\min}$	Z_4	$Z_{4\max}$		
3	Чистова	Rz_3	F_3	ρ_3	ε_3	$Z_{3\min} \equiv Z_{3\min} + \varepsilon_3$	T_3	$Z_3 \rightarrow D_3$	$D_{3\max} = D_3$	$D_{3\min}$	$D_{3\max} = D_3$	$D_{3\min}$	$Z_{3\min}$	Z_3	$Z_{3\max}$		
2	Півчистова	Rz_2	F_2	ρ_2	ε_2	$Z_{2\min} \equiv Z_{2\min} + \varepsilon_2$	T_2	$Z_2 \rightarrow D_2$	$D_{2\max} = D_2$	$D_{2\min}$	$D_{2\max} = D_2$	$D_{2\min}$	$Z_{2\min}$	Z_2	$Z_{2\max}$		
1	Чорнова	Rz_1	F_1	ρ_1	ε_1	$Z_{1\min} \equiv Z_{1\min} + \varepsilon_1$	T_1	$Z_1 \rightarrow D_1$	$D_{1\max} = D_1$	$D_{1\min}$	$D_{1\max} = D_1$	$D_{1\min}$	$Z_{1\min}$	Z_1	$Z_{1\max}$		
0	Заготовча	Rz_0	F_0	ρ_0	-	-	T_0	$D_0 = D_{\text{загот}}$	$D_{0\max}$	$D_{0\min}$	$D_{0\max}$	$D_{0\min}$	-	-	-		
$Z_{\text{заг}} = D_{\text{загот}} - D_{\text{дет}} = \sum_{i=1}^n Z_i$																	

*) Окрім першого і останнього переходу.

**) Для проміжних заготовок.

Рис. 3.5. Схема розрахунку припусків і операційних зовнішніх розмірів деталі (вал)

№ <i>i</i>	назва	Елементи припуску					$Z_{i\min}$	T_i	Z_i	D_i	розрахункові формули		$D_{i\max}$	Перерахунок після округлення D_i		
		Rz_i	F_i	ρ_i	ε_i	$Z_i = Z_{i\min} + ES_{i-1} - EI_i$ або $Z_i = Z_{i\min} + T_{i-1}$					$D_i^{\min} = D_i + EI_i^*$ або $D_i^{\min} = D_i$	$D_i^{\max} = D_i + ES_i$ або $D_i^{\max} = D_i^{\min} + T_i$		$Z_i^{\min} = D_i^{\min} - D_{(i-1)\max}$	$Z_i = D_i - D_{i-1}$	$Z_i^{\max} = D_i^{\max} - D_{(i-1)\min}$ або $Z_i^{\max} = Z_{i\min} + T_i + T_{i-1}$
5																
4	Фінішна	Rz_4	F_4	ρ_4	ε_4	$Z_{i\min} = a(Rz_{i-1} + F_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i)$	T_4	Z_4	$D_4 = D_{\text{дет}}$	$D_{4\min}$	$D_{4\max}$		Z_4	$Z_{4\max}$		
3	Чистова	Rz_3	F_3	ρ_3	ε_3		T_3	Z_3	$D_3 = D_4$	$D_{3\min} = D_3$	$D_{3\max}$		Z_3	$Z_{3\max}$		
2	Півчистова	Rz_2	F_2	ρ_2	ε_2		T_2	Z_2	$D_2 = D_3$	$D_{2\min} = D_2$	$D_{2\max}$		Z_2	$Z_{2\max}$		
1	Чорнова	Rz_1	F_1	ρ_1	ε_1		T_1	Z_1	$D_1 = D_2$	$D_{1\min} = D_1$	$D_{1\max}$		Z_1	$Z_{1\max}$		
0	Заготовча	Rz_0	F_0	ρ_0	-		T_0	-	$D_0 = D_{\text{загот}}$	$D_{0\min}$	$D_{0\max}$		-	-	-	
$Z_{\text{заг}} = D_{\text{дет}} - D_{\text{загот}} = \sum_{i=1}^n Z_i$																

*) Окрім першого і останнього переходу.
 **) Для проміжних заготовок.

Рис. 3.6. Схема розрахунку припусків і операційних внутрішніх розмірів деталей (отвір)

Значення складових мінімального припуску Rz і F для різних видів заготовок наведені у таблицях 3.5-3.7, 3.9, 3.10, 3.12-3.16 [4, 5, 11, 20]. Значення похибок установки ε для різних видів обробки і технологічної оснастки обчислюються за відповідними формулами, або беруть з довідкових таблиць (таблиця 3.19) [11, 16, 21].

Для заготовок із чавуну та кольорових сплавів після першого технологічного переходу (чорнове оброблення), а також для сталей після термічного оброблення глибину дефектного шару прирівнюють до нуля (не враховують). При шліфуванні заготовки після термічної обробки, коли поверхневий шар необхідно зберегти, складову F не включають у формулу (3.1).

При розрахунку припусків для верхньої поверхні вилівка (по розміщенню у формі при заливанні металу) до суми Rz і F необхідно додавати: 0,5...3 мм для виливків з сірого чавуну; 0,5...4 мм для виливків зі сталі та кольорових металів і сплавів. Збільшення суми Rz і F для частин виливків, звернених до осі обертання, для компенсації ліквацийної зони і неоднорідності хімічного складу при відцентровому литті та для особливо відповідальних деталей задають в межах 5...7,5 мм на сторону.

Найважче визначити величину просторових відхилень ρ , які в більшості випадків (наприклад, скривлення деталі при термічній обробці, зміщення вершини свердла при свердлінні, співвісність отворів тощо) є величинами випадковими, які важко розрахувати. У деяких випадках величину ρ можна обчислити (наприклад, бочкоподібність, конусність або інші неточності обертових обточуваних деталей, які можна знайти, якщо відомі розміри деталей, режими різання та жорсткість системи верстат-пристосування-інструмент-деталь). В основному похибки взаємного розташування та форми поверхонь для заготовок беруть із довідкових таблиць (наприклад, таблиці 3.8, 3.11, 3.17, 3.18), або визначають за формулами, отриманими експериментальним шляхом для кожного зі способів виготовлення заготовок [4, 11, 16]. Сумування цих похибок виконують за правилами векторної алгебри.

Похибки ρ обов'язково враховують у перших двох переходах оброблення лезовим інструментом і після термічного оброблення. У чистовому та фінішному переходах ними нехтують. Якщо ці відхилення є складовими частинами допусків розмірів поверхонь, то у розрахунках окремо їх не беруть до уваги. Похибки ρ також не беруть до уваги, якщо у виконуваному переході вони не усуваються (наприклад, у процесі протягування отворів, чи їх розверчування плаваючою розверткою, хонінгування, доводки, калібрування зміщення та уведення осі не усуваються).

Просторові відхилення, що виникають після термічної обробки можна визначити за формулою

$$\Delta_{\text{терм}} = \frac{0,001n_k L}{0,1d + 0,3}, \quad (3.16)$$

де n_k – коефіцієнт, що залежить від виду термообробки; при об'ємному гартуванні $n_k = 1$, при гартуванні СВЧ $n_k = 0,5$; L, d – довжина деталі й оброблюваний діаметр.

Просторові відхилення отримані в результаті термообробки сумують з просторовими відхиленнями, що залишились після виконання попереднього переходу.

В загальному випадку сумарні похибки форми та розташування поверхонь ρ зменшуються з кожним наступним переходом. Залишкові похибки після механічної обробки можна визначати за наближеною формулою:

$$\rho_i = K_y \rho_{i-1},$$

де K_y – коефіцієнт уточнення (табл. 3.20).

При суперфінішуванні та поліруванні, коли досягається лише зменшення параметру шорсткості поверхні, припуск на обробку визначається висотою нерівностей поверхні і похибками, пов'язаними з наладкою інструмента на розмір і його зносом, які як правило не перевищують $1/2$ допуску на обробку, тобто

$$Z_{i_{\min}} = a \cdot Rz_{i-1} + 0,5T_i.$$

6. *Визначення для всіх операцій номінальних значень припусків Z_i за формулами (3.3) і (3.10) відповідно для зовнішніх і внутрішніх розмірів деталі.*

Для проміжних заготовок можна користуватись формулами (3.6) і (3.11) відповідно.

7. *Визначення номінальних розмірів D_i на всі переходи, починаючи від фінішного, розміри на який задані кресленням деталі, і закінчуючи вихідною заготовкою.*

Для зовнішніх розмірів використовуються формули (3.4) і (3.5), для внутрішніх – (3.13) і (3.14).

Номінальні розміри проміжних заготовок заокруглюють до значень співмірних з точністю допусків цих розмірів, а номінальні розміри вихідної заготовки заокруглюють відповідно до вимог стандартів для заданого способу її отримання. Усі розміри заокруглюють у бік збільшення припусків на механічне оброблення. Наприклад, якщо заготовка з прокату, то її розміри округляють до найближчого більшого розміру за сортаментом прокату.

Після заокруглення номінального розміру D_{i-1} необхідно перерахувати відповідні значення номінального Z_i і мінімального $Z_{i_{\min}}$ припусків (див. рис. 3.5).

8. *Визначення граничних розмірів на всі переходи:*

- для зовнішніх розмірів – $D_{i\max} = D_i + es_i$, $D_{i\min} = D_i + ei_i$;

- для внутрішніх розмірів – $D_{i\max} = D_i + ES_i$, $D_{i\min} = D_i + EI_i$.

Оскільки поля допусків для розмірів проміжних заготовок розміщуються «в метал», тобто з основним відхиленнями h для валів ($es = 0$) і H для отворів ($EI = 0$), то згідно з рис. 3.3 і 3.4 для граничних розмірів проміжних заготовок можна записати

- для зовнішніх розмірів – $D_{i\max} = D_i$, $D_{i\min} = D_i - T_i$;

- для внутрішніх розмірів – $D_{i\min} = D_i$, $D_{i\max} = D_i + T_i$.

9. *Визначення максимальних припусків $Z_{i\max}$* (які можливі за несприятливих комбінацій проміжних операційних розмірів) за формулою (3.9) або (3.8) і (3.15) відповідно для зовнішніх і внутрішніх розмірів.

10. *Визначення загального припуску на розмір $Z_{\text{заг}}$* за формулою (3.2) або (3.12).

Приклади розрахунку припусків і операційних розмірів деталі розрахунково-аналітичним методом для заготовок з прокату наведено у п. 3.8, для штампованої заготовки у п. 6.8 (приклад 2).

3.6. *Визначення припусків і операційних розмірів досвідно-статистичним методом*

1. *Аналіз вихідних даних* (див. п. 3.5).

2. *Вибір способу отримання заготовки* (див. розділ 4).

3. *Визначення загальних припусків і відхилень для оброблюваних поверхонь вихідної заготовки.*

Загальні припуски $Z_{\text{заг}}$ на механічну обробку визначаємо:

- для заготовок з прокату – за табл. 3.21 (або за [16, 20]);

- для литих заготовок – за ГОСТ 26645-85 [7];

- для кованих заготовок, виготовлених на пресах – за ГОСТ 7062–90 [8];

- для кованих заготовок, виготовлених на молотах – за ГОСТ 7829–70 [10];

- для штампованих заготовок, виготовлених гарячим об'ємним штампуванням – за ГОСТ 7505–89 [9].

Призначення загальних припусків досвідно-статистичним методом для литих, кованих і штампованих заготовок докладно розглянуто в пп. 5.6.1, 6.3.2 та 6.6.4.

Допуски розмірів вихідної заготовки залежать від способу її отримання. Граничні відхилення розмірів круглого прокату наведені у таблицях 3.2-3.4; допуски лінійних розмірів виливків – у табл. 5.5; граничні відхилення поковок, виготовлених куванням на молотах – у табл. 6.2; допустимі відхилення лінійних розмірів штампованих поковок – у табл. 6.21. При цьому номінальний розмір заготовки $D_{\text{загот}}$ попередньо, до розрахунків можна прийняти приблизно, виходячи з розміру деталі $D_{\text{дет}}$.

4. *Складання маршруту механічної обробки з врахуванням точності й чистоти оброблюваної поверхні деталі.*

Необхідно встановити точність (квалітет, поле допуску, допуск) та параметри шорсткості поверхні, які досягаються після кожного етапу її обробки.

Допуск і параметри якості поверхні після останнього переходу приймають за кресленням деталі. Допуски проміжних заготовок визначають за квалітетом, що досягається в даному переході, та номінальним розміром оброблюваної поверхні. Якість прокату, литих, кованих і штампованих заготовок після оброблення різанням наведено у таблицях 3.9, 3.12, 3.15 і 3.16 відповідно. Значення допусків – у таблиці 3.1.

5. *Вибір величин операційних припусків Z_i для всіх n переходів технологічного маршруту обробки поверхні з таблиць довідкової літератури (табл. 3.22, [12, 16, 20]).*

Якщо у довідниках відсутні дані щодо величини операційного припуску Z_1 на перший (чорновий) перехід, то його можна визначити за формулою:

$$Z_1 = Z_{\text{заг}} - (Z_2 + Z_3 + \dots + Z_n).$$

При розрахунках слід звертати увагу, що проміжні припуски у таблицях можуть бути на сторону (односторонній припуск) або на діаметр (двосторонній припуск).

6. *Розрахунок проміжних номінальних розмірів.*

Вихідною величиною для розрахунку операційних розмірів при обробці заданої поверхні є розмір цієї поверхні $D_{\text{дет}}$ за робочим кресленням з полем допуску та параметром шорсткості. За вихідний розрахунковий розмір приймають при обробці зовнішніх поверхонь найбільший граничний розмір $D_{\text{дет}}^{\text{max}}$, а при обробці внутрішніх поверхонь – найменший граничний розмір $D_{\text{дет}}^{\text{min}}$.

Проміжні номінальні розміри при обробці зовнішніх поверхонь визначають шляхом послідовного додавання до вихідного розрахункового розміру $D_{\text{дет}}^{\text{max}}$ оброблюваної поверхні проміжних припусків Z_i в порядку, зворотному до ходу технологічного процесу обробки даної поверхні:

$$D_{n-1} = D_{\text{дет}}^{\text{max}} + Z_n ;$$

$$\dots$$

$$D_2 = D_3 + Z_3 ; D_1 = D_2 + Z_2 .$$

Для перевірки розрахунку визначають розмір вихідної заготовки

$$D_{\text{загот}} = D_1 + Z_1 .$$

При обробці внутрішньої поверхні проміжні розміри визначають шляхом послідовного віднімання від вихідного розрахункового розміру готового отвору $D_{\text{дет}}^{\text{min}}$ проміжних припусків Z_i в порядку, зворотному до ходу технологічного процесу обробки отвору:

$$D_{n-1} = D_{\text{дет}}^{\text{min}} - Z_n ;$$

$$\dots$$

$$D_2 = D_3 - Z_3 ; D_1 = D_2 - Z_2 .$$

Для перевірки розрахунку визначають розмір отвору у вихідній заготовці

$$D_{\text{загот}} = D_1 - Z_1 .$$

Проміжні розміри заокруглюють в сторону збільшення припуску до того ж знака, що й допуск розміру. Для зовнішніх поверхонь проміжні розміри виконуються з полем допуску h , а для внутрішніх поверхонь – з полем допуску H відповідних квалітетів.

Приклади розрахунку операційних припусків і розмірів деталі досвідно-статистичним методом для заготовок з прокату наведено у п. 3.9, для штампованої заготовки у п. 6.8 (прикладі 1, 2).

3.7. Нормативні матеріали для розрахунку припусків

Нормативні матеріали призначені для розрахунку припусків на поверхні типових деталей машин, отримуваних з прокату, литтям, куванням, штампуванням та оброблюваних як на попередньо налагоджених, так і на універсальних верстаках.

Таблиця 3.1. Значення допусків T (мкм) для розмірів до 1600 мм
(за ГОСТ 25346-82)

Інтервал розмірів, мм	Квалітет												
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
До 3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000
3...6	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200
6...10	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500
10...18	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800
18...30	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100
30...50	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500
50...80	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000
80...120	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500
120...180	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000
180...250	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600
250...315	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200
315...400	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700
400...500	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300
500...630	30	44	70	110	175	280	440	700	1100	1750	2800	4400	7000
630...800	35	50	80	125	200	320	500	800	1250	2000	3200	5000	8000
800...1000	40	56	90	140	230	360	560	900	1400	2300	3600	5600	9000
1000...1250	46	66	105	165	260	420	660	1050	1650	2600	4200	6600	10500
1250...1600	54	78	125	195	310	500	780	1250	1950	3100	5000	7800	12500

ГРАНИЧНІ ВІДХИЛЕННЯ РОЗМІРІВ КРУГЛОГО ПРОКАТУ

Таблиця 3.2. Калібрована сталь ГОСТ 7417-75

Діаметр, мм	Відхилення для класів точності, мм			
	3	3а	4	5
0...3	-0,020	-0,040	-0,060	-0,120
3...6	-0,025	-0,048	-0,080	-0,160
6...10	-0,030	-0,058	-0,100	-0,200
10...18	-0,035	-0,070	-0,120	-0,240
18...30	-0,045	-0,084	-0,140	-0,280
30...50	-0,050	-0,100	-0,170	-0,340
50...65	-0,060	-0,120	-0,200	-0,400
65...80	-	-	-0,200	-0,400
80...100	-	-	-0,230	-0,460

Таблиця 3.3. Сріблянка ГОСТ 14955-77

Діаметр, мм	Відхилення для класів точності, мм				
	2	2а	3	3а	4
0...3	-10	-14	-20	-40	-60
3...6	-13	-18	-25	-48	-80
6...10	-16	-22	-30	-58	-100
10...18	-23	-27	-35	-70	-120
18...30	-28	-33	-45	-84	-140

Таблиця 3.4. Гарячекатана сталь ГОСТ 2590-2006

Діаметри, мм	Відхилення для точності прокатування, мм					
	високої		підвищеної		звичайної	
	+	-	+	-	+	-
5; 5,5; 6; 6,3; 6,5; 7...9	0,1	0,2	0,2	0,5	0,3	0,5
10...19	0,1	0,3	0,2	0,5	0,3	0,5
20...25	0,2	0,3	0,2	0,5	0,4	0,5
26...48	0,2	0,5	0,2	0,7	0,4	0,7
50, 52...58	0,2	0,8	0,2	1,0	0,4	1,0
60; 62; 63; 65; 67; 68	0,3	0,9	0,3	1,1	0,5	1,1
70; 72; 75; 78	0,3	0,9	0,3	1,1	0,5	1,1
80; 82; 85; 90; 95	0,3	1,1	0,3	1,3	0,5	1,3
100; 105; 110; 115	-	-	0,4	1,7	0,6	1,7
120; 125; 130; 135	-	-	0,6	2,0	0,8	2,0
140; 150; 160...250	-	-	-	-	0,9	2,5
210; 220; 230;240;250	-	-	-	-	1,2	3,0

ЯКІСТЬ ПОВЕРХОНЬ ПРОКАТУ

Таблиця 3.5. Якість поверхонь точного прокату

Вид прокату	Rz, мкм	F, мкм
Калібрований	60	50
Шліфований (сріблянка)	10	20

Таблиця 3.6. Якість поверхонь сортового прокату

Діаметр прокату, мм		Точність прокатування, мкм					
понад	до	висока		підвищена		звичайна	
		Rz	F	Rz	F	Rz	F
0	30	63	50	80	100	125	150
30	80	100	75	125	150	160	250
80	180	125	100	160	200	200	300
180	250	200	200	250	300	320	400

Таблиця 3.7. Якість поверхонь поперечно-гвинтового прокату

Діаметр прокату, мм	Rz , точність прокатування, мкм		F, мкм
	підвищена	нормальна	
0...10	63	100	100
10...18	100	160	180
18...30	160	320	300
30...50	320	500	500
50...80	500	800	800
80...120	800	1250	1200
120...180	1250	1600	2000

Таблиця 3.8. Кривизна профілю сортового прокату (мкм) на 1 мм

Характеристика прокату	Довжина прокату, мм, до				
	120	180	315	400	500
Звичайної точності*	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Підвищеної точності*	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Високої точності*	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Загартований в печах*	2,0	1,3	0,9	0,6	0,5
Загартований СВЧ*	1,0	0,6	0,45	0,3	0,15
Виправлений на пресах	0,13	0,12	0,11	0,10	0,08

* Прокат без правки.

Таблиця 3.9. Якість прокату після оброблення різанням

Спосіб обробки	Перехід	Квалітет	Rz, мкм	F, мкм
<i>Обробка зовнішніх поверхонь</i>				
Точіння різцями прокату підвищеної і звичайної точності	Обдирання	14...16	125	120
	Чорнове	11...13	63	60
	Чистове і одноразове	10...11	32...20	30
	Тонке	7...9	6,3...3,2	–
Шліфування в центрах прокату звичайної точності	Чорнове	8...9	10	20
	Чистове і одноразове	7...8	6,3	12
Безцентрове шліфування прокату підвищеної і високої точності	Тонке	5...6	3,2...0,8	6...2
<i>Обробка торцевих поверхонь</i>				
Підрізання різцем на токарному верстаті	Чорнове	12	50	50
	Чистове	11	32	30
Шліфування на кругло- і торцешліфувальних верстатах	Одноразове	6	5...10	–

ЯКІСТЬ ПОВЕРХОНЬ ВИЛИВКІВ

Таблиця 3.10. Якість поверхонь виливків

Спосіб виготовлення	Клас точності	Rz, мкм			F, мкм		
		чавун	сталь	кольорові метали	чавун	сталь	кольорові метали
Земляні форми	6-8	300	250	200	300	250	200
	9-11	350	300	250	350	300	250
	12-15	400	350	300	400	350	300
Кокіль і відцентрове лиття	3-7	200	200	200	300	200	100
Оболонкові форми	4-8	50	50	50	250	160	100
Витоплювані моделі	3-7	32	32	32	170	100	63

Таблиця 3.11. Відхилення розташування поверхонь виливків

Відхилення	Лиття		
	в піщані форми	в кокіль	під тиском
Міжосьових відстаней отворів $\pm\Delta$, мм	1,2-2,0	0,8-1,5	0,3-0,5
Розташування отвору відносно технологічних баз $\pm\Delta$, мм	1,2-2,5	0,5-1,2	0,10-0,35
Від паралельності площини Δ , мкм на 1 мм	$\frac{1}{2}$ допуску на розмір	2,2-3,4	1,2-2,0
Перекіс отвору Δ , мкм на 1 мм для діаметра отвору в мм:			
до 10	-	2,5-10	2,0-4,0
понад 10 до 30	10-20		1,5-3,0
понад 30 до 50	5-15		1,0-2,0
понад 50	3-10		0,7-1,5
Жолоблення Δ , мкм на 1 мм:			
корпусних деталей	0,3-1,5	-	-
плит	2,0-3,0		

Таблиця 3.12. Якість виливків після оброблення різанням

Обробка	Квалітет	Rz, мкм	F, мкм
Точіння, фрезерування, стругання			
<i>Лиття в піщані форми</i>			
Обдирання	16-17	320	320
Чорнова	14-15	250	240
Напівчистова	12-14	100	100
Чистова	10-12	25	25
Тонка	7-9	2,5	5
<i>Лиття в кокіль і відцентрове</i>			
Одноразова	11	25	25
Чорнова	12	50	50
Чистова	10	20	20
Тонка	7-9	5	5
<i>Лиття в оболонкові форми</i>			
Одноразова	10-11	25	25
Чорнова	11	20	20
Чистова	10	10	10
Тонка	7-9	5	5
<i>Лиття за витоплюваними моделями</i>			
Одноразова	10	15	20
Тонка	7-9	2,5	5
Шліфування виливків			
Одноразова	7	5	10
Чорнова	8-9	10	20
Чистова	6-8	5	15
Тонка	5-6	0,63	-

ЯКІСТЬ ПОВЕРХОНЬ КОВАНОК

Таблиця 3.13. Якість поверхонь кованок (Rz + F), мкм

Найбільший розмір кованки, мм		Прес		Молот	Підкладні штампи
		Точність			
понад	до	підвищена	нормальна		
50	180	800	1000	1000	750
180	500	1000	1500	1500	1250
500	1250	1500	2000	2000	1500
1250	3150	2000	2500	2500	-
3150	6300	2500	3000	3000	-
6300	10000	-	3500	3500	-

Таблиця 3.14. Якість поверхонь штампованих кованок

Маса кованки, кг		Rz , мкм	F , мкм
понад	до		
0	0,25	80	150
0,25	4	160	200
4	25	200	250
25	40	250	300
40	100	320	350
100	200	400	400

Примітка. Точність штампованих кованок регламентується ГОСТ 7505-89. Значення Rz в таблиці подані після піскоструминної обробки поверхонь поковки або травлення; для дробоструминної або дробометної обробки Rz приймати 400 мкм незалежно від маси поковки.

Таблиця 3.15. Якість кованок, отриманих на пресах, молотах, в підкладних штампах, після оброблення різанням

Спосіб обробки		Квалітет	Rz , мкм	F , мкм
Точіння різцями, фрезерування	обдирання	17	1250	350
	чорнове	15-16	250	240
	напівчистове	12-14	125	120
	чистове	9-11	40	40
	тонке	6-8	5	5
Шліфування	обдирання	14-15	20	20
	чорнове	10-13	15	15
	чистове	6-8	5	5
	тонке	5-6	2,5	5

Таблиця 3.16. Якість штампованих кованок після оброблення різанням

Спосіб обробки	Квалітет	Rz , мкм	F , мкм
Вали ступінчасті			
<i>Обточування зовнішніх поверхонь</i>			
Одноразове	11-12	32	30
Чорнове	12-14	50	50
Чистове	11	25	25
Тонке	7-9	5	5
<i>Підрізання торцевих поверхонь</i>			
Чорнове	12	50	50
Чистове	11	32	30
<i>Фрезерування</i>			
Одноразове	14	100	100

Продовження табл. 3.16

Спосіб обробки	Квалітет	Rz, мкм	F, мкм
Диски			
<i>Обточування зовнішніх поверхонь, підрізання торцевих поверхонь</i>			
Одноразове	10-12	32	30
Чорнове	14	100	100
Напівчистове	12	50	50
Чистове	10-11	25	25
Важелі (площини, паралельні осі деталі, та площини розняття головок)			
<i>Фрезерування</i>			
Чорнове	12	32	50
Чистове	11	10	15
<i>Протягування</i>			
Одноразове	10	5	10
<i>Обточування стержня</i>			
Чорнове	12	50	50
Чистове	11	25	25
<i>Шліфування валів, дисків, важелів</i>			
Одноразове	7-9	5	10
Чорнове	8-9	10	20
Чистове	6-7	5	15
Тонке	5-6	2,5	5

Таблиця 3.17. Кривизна кованок (мкм) на 1 мм

Вид обробки	Діаметр або розмір перетину, мм					
	до 120	120-180	180-250	250-315	315-500	
Кування	3	2	1	0,8	0,6	
Механічна обробка						
	обдирання	1,5	1	0,5	0,4	0,3
	чорнова	0,7	0,5	0,3	0,2	0,1
напівчистова	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	
Після термообробки (загартування) і правки	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02	

Таблиця 3.18. Кривизна штампованих кованок типу валів (мкм) на 1 мм

Діаметр валу, мм	Після штампування	Після правки на пресах	Після термообробки	
			в печах	СВЧ
до 25	4	0,20	2,5	1,25
25-50	3	0,15	1,5	0,75
50-80	2	0,12	1,5	0,75
80-120	1,8	0,10	1,0	0,50
120-180	1,6	0,08	1,0	0,50
180-260	1,4	0,06	-	-
260-360	1,2	-	-	-
360-500	1,0	-	-	-

Таблиця 3.19. Похибки установки ε заготовок для оброблення різанням на металорізальних верстатах, мкм

Спосіб оброблення базової поверхні	Найбільший габаритний розмір заготовки (до), мм				
	40	100	250	680	3000
Оброблення різанням:					
чистове	4	4	6	8	10
напівчистове	20	30	40	50	80
напівчорнове	50	80	120	150	220
чорнове	120	150	250	350	450
Прокат:					
калібрований	20	30	50	60	80
гарячекатаний	200	250	320	400	500
Лиття:					
під тиском і відцентрове	150	180	250	320	420
у сталі форми	200	220	300	380	450
в оболонкові форми	200	210	280	350	440
у земляні форми	250	300	450	500	600
Кованки:					
вільне кування	280	380	500	630	800
штампування	250	320	450	540	650

Примітка. Вказані значення ε належать до випадків базування заготовок на механічно необроблені поверхні. У випадках базування на оброблені поверхні (центрові отвори, площини, циліндричні поверхні тощо) похибки установки залежно від якості базових поверхонь можуть бути в 10...20 разів меншими.

Таблиця 3.20. Коефіцієнт уточнення для виливків, кованих і штампованих заготовок, сортового прокату

Технологічний перехід	K_v
Після точіння:	
однократного	0,05
чорнового	0,06
напівчистового	0,05
чистового	0,04
Після шліфування:	
чорнового	0,03
чистового	0,02

ПРИПУСКИ НА МЕХАНІЧНУ ОБРОБКУ

Таблиця 3.21. Діаметри заготовок для деталей, що виготовляються з круглого сортового прокату за ГОСТ 2590-2006

Номінальний діаметр деталі, мм	Діаметр заготовки D залежно від довжини деталі L , мм							
	$L/D \leq 4$		$L/D \leq 8$		$L/D \leq 12$		$L/D \leq 20$	
	L	D	L	D	L	D	L	D
5	20	7	40	7	60	7	100	8
6	24	8	48	8	72	8	120	8
7	28	9	56	9	84	9	140	9
8	32	10	64	10	96	10	160	11
9	36	11	72	11	108	11	180	12
10	40	12	80	12	120	13	200	13
11	44	13	88	13	132	13	220	13
12	48	14	96	14	144	15	240	15
13	52	15	104	15	156	16	260	16
14	56	16	112	16	168	17	280	17
15	60	17	120	17	180	18	300	18
16	64	18	128	18	192	18	320	19
17	68	19	136	19	204	20	340	20
18	72	20	144	20	216	21	360	21
19	76	21	152	21	228	22	380	22
20	80	22	160	22	240	23	400	24
21	84	24	168	24	252	24	420	25
23	92	26	184	26	276	26	460	27
24	96	27	192	27	288	27	480	28
25	100	28	200	28	300	28	500	30
26	104	30	208	30	312	30	520	30
27	108	30	216	30	324	32	540	32
28	112	32	224	32	336	32	560	32
30	120	33	240	33	360	34	600	34
32	128	35	256	35	384	36	640	36
34	132	38	264	38	396	38	680	38
35	140	38	280	38	420	39	700	39
36	144	39	288	40	432	40	720	40
38	152	42	304	42	456	42	760	43
40	160	43	320	45	480	45	800	48
42	168	45	336	45	504	48	840	48
44	176	48	352	48	528	50	880	50
45	180	48	360	48	540	50	900	50
46	184	50	368	50	552	52	920	52
48	192	52	384	52	576	54	960	54
50	200	54	400	54	600	55	1000	55

Продовження табл. 3.21

Номінальний діаметр деталі, мм	Діаметр заготовки D залежно від довжини деталі L , мм							
	$L/D \leq 4$		$L/D \leq 8$		$L/D \leq 12$		$L/D \leq 20$	
	L	D	L	D	L	D	L	D
52	208	55	416	55	624	56	1040	56
54	216	58	432	60	648	60	1080	62
55	220	60	440	60	660	62	1100	65
58	232	62	461	62	696	65	1160	68
60	240	65	480	65	720	68	1200	70
62	248	68	496	68	744	70	1240	72
65	260	70	520	70	780	72	1300	75
68	272	72	544	72	816	72	1360	78
70	280	75	560	75	840	78	1400	80
72	288	78	576	78	864	80	1440	85
75	300	80	600	80	900	80	1500	90
78	312	85	624	85	936	90	1560	90
80	320	85	640	90	960	95	1600	95
82	328	90	656	95	984	95	1640	95
85	340	90	680	95	1020	95	1700	100
88	352	95	704	100	1056	100	1760	105
90	360	95	720	100	1080	105	1800	105
92	368	100	736	100	1104	105	1840	110
95	380	100	760	105	1140	110	1900	110
98	392	105	784	110	1176	110	1960	115
100	400	105	800	110	1200	115	2000	115
105	420	110	840	115	1260	120	2100	120
110	440	115	880	120	1320	125	2200	125
115	460	120	920	125	1380	130	2300	130
120	480	125	960	130	1440	130	2400	135
125	500	130	1000	130	1500	135	2500	140
130	520	135	1040	140	1560	140	2600	150
135	540	140	1080	140	1620	150	2700	150
140	560	150	1120	150	1680	160	2800	160

Примітки: 1. Діаметри заготовок визначені з урахуванням чорнової, напівчистої і чистої обробки деталей типу тіл обертання. Залежно від конфігурації деталей діаметри заготовок можуть бути уточнені.

2. Діаметри заготовок для ступінчастих валів вибирають за максимальним діаметром ступені. У тих випадках, коли цю ступінь не потрібно обробляти з високою точністю, діаметр заготовки може бути зменшений.

3. Передбачена правка заготовок діаметром до 30 мм.

Таблиця 3.22. Припуски на механічну обробку валів
(зовнішні поверхні обертання)

Номиналь- ний діаметр, мм	Спосіб обробки поверхні	Припуск на діаметр при довжині вала, мм					
		до 120	120- 260	260- 500	500- 800	800- 1250	1250- 2000
<i>Точіння прокату підвищеної точності</i>							
До 30	Чорнове і однократне	$\frac{1,2}{1,1}$	$\frac{1,7}{-}$	-	-	-	-
	Чистове	$\frac{0,25}{0,25}$	$\frac{0,3}{-}$	-	-	-	-
	Тонке	$\frac{0,12}{0,12}$	$\frac{0,15}{-}$	-	-	-	-
Понад 30 до 50	Чорнове і однократне	$\frac{1,2}{1,1}$	$\frac{1,5}{1,4}$	$\frac{2,2}{-}$	-	-	-
	Чистове	$\frac{0,3}{0,25}$	$\frac{0,3}{0,25}$	$\frac{0,35}{-}$	-	-	-
	Тонке	$\frac{0,15}{0,12}$	$\frac{0,16}{0,13}$	$\frac{0,20}{-}$	-	-	-
Понад 50 до 80	Чорнове і однократне	$\frac{1,5}{1,1}$	$\frac{1,7}{1,5}$	$\frac{2,3}{2,1}$	$\frac{3,1}{-}$	-	-
	Чистове	$\frac{0,25}{0,20}$	$\frac{0,3}{0,25}$	$\frac{0,3}{0,3}$	$\frac{0,4}{-}$	-	-
	Тонке	$\frac{0,14}{0,12}$	$\frac{0,15}{0,13}$	$\frac{0,17}{0,16}$	$\frac{0,23}{-}$	-	-
Понад 80 до 120	Чорнове і однократне	$\frac{1,6}{1,2}$	$\frac{1,7}{1,3}$	$\frac{2,0}{1,7}$	$\frac{2,5}{2,3}$	$\frac{3,3}{-}$	-
	Чистове	$\frac{0,25}{0,25}$	$\frac{0,3}{0,25}$	$\frac{0,3}{0,3}$	$\frac{0,3}{0,3}$	$\frac{0,35}{-}$	-
	Тонке	$\frac{0,14}{0,13}$	$\frac{0,15}{0,13}$	$\frac{0,16}{0,15}$	$\frac{0,17}{0,17}$	$\frac{0,20}{-}$	-
<i>Точіння прокату звичайної точності</i>							
До 30	Чорнове і однократне	$\frac{1,3}{1,1}$	$\frac{1,7}{-}$	-	-	-	-
	Напівчистове	$\frac{0,45}{0,45}$	$\frac{0,50}{-}$	-	-	-	-
	Чистове	$\frac{0,25}{0,20}$	$\frac{0,25}{-}$	-	-	-	-
	Тонке	$\frac{0,13}{0,12}$	$\frac{0,15}{-}$	-	-	-	-
Понад 30 до 50	Чорнове і однократне	$\frac{1,3}{1,1}$	$\frac{1,6}{1,4}$	$\frac{2,2}{-}$	-	-	-
	Напівчистове	$\frac{0,45}{0,45}$	$\frac{0,45}{0,45}$	$\frac{0,50}{-}$	-	-	-
	Чистове	$\frac{0,25}{0,20}$	$\frac{0,25}{0,25}$	$\frac{0,30}{-}$	-	-	-
	Тонке	$\frac{0,13}{0,12}$	$\frac{0,14}{0,13}$	$\frac{0,16}{-}$	-	-	-

Продовження табл. 3.22

Номиналь- ний діаметр, мм	Спосіб обробки поверхні	Припуск на діаметр при довжині вала, мм					
		до 120	120- 260	260- 500	500- 800	800- 1250	1250- 2000
Понад 50 до 80	Чорнове і однократне	<u>1,5</u> 1,1	<u>1,7</u> 1,5	<u>2,3</u> 2,1	<u>3,1</u> –	–	–
	Напівчистове	<u>0,45</u> 0,45	<u>0,50</u> 0,45	<u>0,50</u> 0,50	<u>0,55</u> –	–	–
	Чистове	<u>0,25</u> 0,20	<u>0,30</u> 0,25	<u>0,30</u> 0,30	<u>0,35</u> –	–	–
	Тонке	<u>0,13</u> 0,12	<u>0,14</u> 0,13	<u>0,18</u> 0,16	<u>0,20</u> –	–	–
Понад 80 до 120	Чорнове і однократне	<u>1,8</u> 1,2	<u>1,9</u> 1,3	<u>2,1</u> 1,7	<u>2,6</u> 2,3	<u>3,4</u> –	–
	Напівчистове	<u>0,50</u> 0,45	<u>0,50</u> 0,45	<u>0,50</u> 0,50	<u>0,50</u> 0,50	<u>0,55</u> –	–
	Чистове	<u>0,25</u> 0,25	<u>0,25</u> 0,25	<u>0,30</u> 0,25	<u>0,30</u> 0,30	<u>0,35</u> –	–
	Тонке	<u>0,15</u> 0,12	<u>0,15</u> 0,13	<u>0,16</u> 0,14	<u>0,18</u> 0,17	<u>0,20</u> –	–
Понад 120 до 180	Чорнове і однократне	<u>2,0</u> 1,3	<u>2,1</u> 1,4	<u>2,3</u> 1,8	<u>2,7</u> 2,3	<u>3,5</u> 3,3	<u>4,8</u> –
	Напівчистове	<u>0,50</u> 0,45	<u>0,50</u> 0,45	<u>0,50</u> 0,50	<u>0,50</u> 0,50	<u>0,60</u> 0,55	<u>0,65</u> –
	Чистове	<u>0,30</u> 0,25	<u>0,30</u> 0,25	<u>0,30</u> 0,25	<u>0,30</u> 0,30	<u>0,35</u> 0,30	<u>0,40</u> –
	Тонке	<u>0,16</u> 0,13	<u>0,16</u> 0,13	<u>0,17</u> 0,15	<u>0,18</u> 0,17	<u>0,21</u> 0,20	<u>0,27</u> –
Понад 180 до 260	Чорнове і однократне	<u>2,3</u> 1,4	<u>2,4</u> 1,5	<u>2,6</u> 1,8	<u>2,9</u> 2,4	<u>3,6</u> 3,2	<u>5,0</u> 4,6
	Напівчистове	<u>0,50</u> 0,45	<u>0,50</u> 0,45	<u>0,50</u> 0,50	<u>0,55</u> 0,50	<u>0,60</u> 0,55	<u>0,65</u> 0,65
	Чистове	<u>0,30</u> 0,25	<u>0,30</u> 0,25	<u>0,30</u> 0,25	<u>0,30</u> 0,30	<u>0,35</u> 0,35	<u>0,40</u> 0,40
	Тонке	<u>0,17</u> 0,13	<u>0,17</u> 0,14	<u>0,18</u> 0,15	<u>0,19</u> 0,17	<u>0,22</u> 0,20	<u>0,27</u> 0,26
Точіння штампованих заготовок							
До 18	Чорнове і однократне	<u>1,5</u> 1,4	<u>1,9</u> –	–	–	–	–
	Чистове	<u>0,25</u> 0,25	<u>0,30</u> –	–	–	–	–
	Тонке	<u>0,14</u> 0,14	<u>0,15</u> –	–	–	–	–
Понад 18 до 30	Чорнове і однократне	<u>1,6</u> 1,5	<u>2,0</u> 1,8	<u>2,3</u> –	–	–	–
	Чистове	<u>0,25</u> 0,25	<u>0,30</u> 0,25	<u>0,30</u> –	–	–	–

Продовження табл. 3.22

Номинальний діаметр, мм	Спосіб обробки поверхні	Припуск на діаметр при довжині вала, мм					
		до 120	120-260	260-500	500-800	800-1250	1250-2000
	Тонке	$\frac{0,14}{0,14}$	$\frac{0,15}{0,14}$	$\frac{0,16}{-}$	-	-	-
Понад 30 до 50	Чорнове і однократне	$\frac{1,8}{1,7}$	$\frac{2,3}{2,0}$	$\frac{3,0}{2,7}$	$\frac{3,5}{-}$	-	-
	Чистове	$\frac{0,30}{0,25}$	$\frac{0,30}{0,30}$	$\frac{0,30}{0,30}$	$\frac{0,35}{-}$	-	-
	Тонке	$\frac{0,15}{0,15}$	$\frac{0,16}{0,15}$	$\frac{0,19}{0,17}$	$\frac{0,21}{-}$	-	-
Понад 50 до 80	Чорнове і однократне	$\frac{2,2}{2,0}$	$\frac{2,9}{2,6}$	$\frac{3,4}{2,9}$	$\frac{4,2}{3,6}$	$\frac{5,0}{-}$	-
	Чистове	$\frac{0,30}{0,30}$	$\frac{0,30}{0,30}$	$\frac{0,35}{0,30}$	$\frac{0,40}{0,35}$	$\frac{0,45}{-}$	-
	Тонке	$\frac{0,16}{0,16}$	$\frac{0,18}{0,17}$	$\frac{0,20}{0,18}$	$\frac{0,22}{0,20}$	$\frac{0,26}{-}$	-
Понад 80 до 120	Чорнове і однократне	$\frac{2,6}{2,3}$	$\frac{3,3}{3,0}$	$\frac{4,3}{3,8}$	$\frac{5,2}{4,5}$	$\frac{6,3}{5,2}$	$\frac{8,2}{-}$
	Чистове	$\frac{0,30}{0,30}$	$\frac{0,30}{0,30}$	$\frac{0,40}{0,35}$	$\frac{0,45}{0,40}$	$\frac{0,50}{0,45}$	$\frac{0,60}{-}$
	Тонке	$\frac{0,17}{0,17}$	$\frac{0,19}{0,18}$	$\frac{0,23}{0,21}$	$\frac{0,26}{0,24}$	$\frac{0,30}{0,26}$	$\frac{0,38}{-}$
Понад 120 до 180	Чорнове і однократне	$\frac{3,2}{2,8}$	$\frac{4,6}{4,2}$	$\frac{5,0}{4,5}$	$\frac{6,2}{5,6}$	$\frac{7,5}{6,7}$	-
	Чистове	$\frac{0,35}{0,30}$	$\frac{0,40}{0,30}$	$\frac{0,45}{0,40}$	$\frac{0,50}{0,45}$	$\frac{0,60}{0,35}$	-
	Тонке	$\frac{0,20}{0,20}$	$\frac{0,24}{0,22}$	$\frac{0,25}{0,23}$	$\frac{0,30}{0,27}$	$\frac{0,35}{0,32}$	-
Шліфування заготовок							
До 30	Попереднє після термообробки	0,30	0,60	-	-	-	-
	Попереднє після чистового точіння	0,10	0,10	-	-	-	-
	Чистове після попереднього шліфування	0,06	0,06	-	-	-	-
Понад 30 до 50	Попереднє після термообробки	0,25	0,50	0,85	-	-	-
	Попереднє після чистового точіння	0,10	0,10	0,10	-	-	-
	Чистове після попереднього шліфування	0,06	0,06	0,06	-	-	-

Продовження табл. 3.22

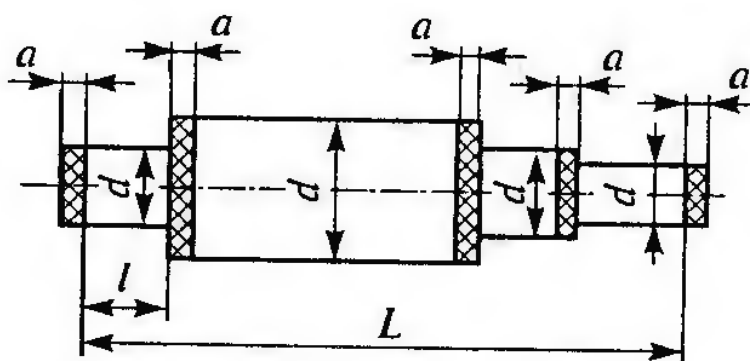
Номіналь- ний діаметр, мм	Спосіб обробки поверхні	Припуск на діаметр при довжині вала, мм					
		до 120	120- 260	260- 500	500- 800	800- 1250	1250- 2000
Понад 50 до 80	Попереднє після термообробки	0,25	0,40	0,75	1,20	–	–
	Попереднє після чистового точіння	0,10	0,10	0,10	0,10	–	–
	Чистове після попереднього шліфування	0,06	0,06	0,06	0,06	–	–
Понад 80 до 120	Попереднє після термообробки	0,20	0,35	0,65	1,00	1,55	–
	Попереднє після чистового точіння	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	–
	Чистове після попереднього шліфування	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	–
Понад 120 до 180	Попереднє після термообробки	0,17	0,30	0,55	0,85	1,30	2,10
	Попереднє після чистового точіння	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	Чистове після попереднього шліфування	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06

Примітки: 1. Припуски при точінні в чисельнику вказані при установці заготовки в центах, у знаменнику – в патроні.

2. Якщо величина припуску при шліфуванні не може бути знята за один прохід, то 70% його видаляють на першому і 30% на другому проходах.

3. Величини припусків на обробку конічних поверхонь приймати ті ж самі, що і на обробку циліндричних, встановлюючи їх за найбільшим діаметром.

Таблиця 3.23. Припуски на обробку торців, мм



Діаметр оброблюваної деталі d , мм	Припуск a і граничні відхилення довжини l при довжині L , мм					
	До 30	30...50	50...120	120...260	260...500	500
<i>Чорнове підрізання торців</i>						
6...18	$1,2 \pm 0,25$	$1,3 \pm 0,30$	$1,4 \pm 0,40$	$1,6 \pm 0,60$	—	—
18...30	$1,2 \pm 0,25$	$1,3 \pm 0,30$	$1,5 \pm 0,40$	$1,7 \pm 0,60$	$2,1 \pm 0,70$	$2,3 \pm 0,80$
30...50	$1,3 \pm 0,25$	$1,4 \pm 0,30$	$1,6 \pm 0,40$	$1,8 \pm 0,60$	$2,2 \pm 0,70$	$2,4 \pm 0,80$
50...80	$1,5 \pm 0,25$	$1,6 \pm 0,30$	$1,8 \pm 0,40$	$2,2 \pm 0,60$	$2,4 \pm 0,70$	$2,6 \pm 0,80$
80...120	$1,6 \pm 0,25$	$1,8 \pm 0,30$	$1,9 \pm 0,40$	$2,3 \pm 0,60$	$2,6 \pm 0,70$	$2,8 \pm 0,80$
120...180	$1,8 \pm 0,25$	$1,9 \pm 0,30$	$2,0 \pm 0,40$	$2,4 \pm 0,60$	$2,7 \pm 0,70$	$3,0 \pm 0,80$
180...200	$2,0 \pm 0,25$	$2,1 \pm 0,30$	$2,3 \pm 0,40$	$2,5 \pm 0,60$	$3,0 \pm 0,70$	$3,2 \pm 0,80$
<i>Чистове підрізання торців</i>						
6...18	$0,6_{-0,28}$	$0,6_{-0,34}$	$0,8_{-0,4}$	$0,9_{-0,6}$	—	—
18...30	$0,6_{-0,28}$	$0,7_{-0,34}$	$0,9_{-0,4}$	$1,0_{-0,6}$	$1,2_{-0,76}$	$1,5_{-0,9}$
30...50	$0,7_{-0,28}$	$0,8_{-0,34}$	$0,9_{-0,4}$	$1,1_{-0,6}$	$1,3_{-0,76}$	$1,6_{-0,9}$
50...80	$0,8_{-0,28}$	$0,8_{-0,34}$	$1,0_{-0,4}$	$1,2_{-0,6}$	$1,4_{-0,76}$	$1,6_{-0,9}$
80...120	$0,8_{-0,28}$	$0,9_{-0,34}$	$1,1_{-0,4}$	$1,3_{-0,6}$	$1,5_{-0,76}$	$1,7_{-0,9}$
120...180	$0,9_{-0,28}$	$1,0_{-0,34}$	$1,2_{-0,4}$	$1,4_{-0,6}$	$1,6_{-0,76}$	$1,8_{-0,9}$
180...200	$1,0_{-0,28}$	$1,1_{-0,34}$	$1,3_{-0,4}$	$1,5_{-0,6}$	$1,7_{-0,76}$	$1,9_{-0,9}$
<i>Шліфування</i>						
6...18	$0,3_{-0,14}$	$0,3_{-0,17}$	$0,3_{-0,23}$	$0,4_{-0,30}$	—	—
18...30	$0,3_{-0,14}$	$0,3_{-0,17}$	$0,4_{-0,23}$	$0,4_{-0,23}$	$0,5_{-0,38}$	$0,6_{-0,45}$
30...50	$0,3_{-0,14}$	$0,3_{-0,17}$	$0,4_{-0,23}$	$0,4_{-0,23}$	$0,5_{-0,38}$	$0,6_{-0,45}$
50...80	$0,3_{-0,14}$	$0,4_{-0,17}$	$0,4_{-0,23}$	$0,5_{-0,23}$	$0,5_{-0,38}$	$0,6_{-0,45}$
80...120	$0,3_{-0,14}$	$0,4_{-0,17}$	$0,4_{-0,23}$	$0,5_{-0,23}$	$0,6_{-0,38}$	$0,6_{-0,45}$
120...180	$0,4_{-0,14}$	$0,4_{-0,17}$	$0,5_{-0,23}$	$0,5_{-0,23}$	$0,6_{-0,38}$	$0,7_{-0,45}$
180...200	$0,5_{-0,14}$	$0,5_{-0,17}$	$0,5_{-0,23}$	$0,6_{-0,23}$	$0,7_{-0,38}$	$0,8_{-0,45}$

Примітка. Припуски на чорнове підрізання торців наведені для випадків, коли заготовки відрізають механічними ножівками, дисковими пилокками й фрезами (на фрезерних, фрезерно-відрізних верстатах) і відрізними різцями. Величини припусків дані на сторону. При обробці валів з уступами припуски брати на кожний уступ окремо, виходячи з його діаметра й загальної довжини вала. Граничні відхилення й шорсткість поверхні прийняті: під чорнове підрізання за IT14/2, IT13/2; під чистове підрізання – за h12, h13 і Rz 40 мкм; під шліфування – за h11 і Rz 20 мкм.

Граничні відхилення встановлені на вимірюваний розмір.

Таблиця 3.24. Ширина різку заготовок з пруткового і профільного прокату, мм

Діаметр заготовки, мм	Розрізання			
	Механічною ножівкою	Дисковою пилкою	Дисковою фрезою	Різцем
До 30	2,0	—	3,0	3,0
30...50	2,0	0,6	4,0	4,0
50...80	2,0	0,6	—	5,0...8,0
80...120	2,0	0,8	—	10,0
120...180	2,0	0,8	—	—
180...250	2,0	0,8	—	—

Примітка. Припуск при наступній обробці торцевих поверхонь призначати за табл. 3.23. При розрахунку довжини заготовки, оброблюваної в центрах, і необхідності подальшого видалення центрових отворів необхідно до довжини заготовки додатково додати довжину, що дорівнює 2,2 глибини одного центрального отвору.

Таблиця 3.25. Операційні припуски на безцентрове шліфування валів після чистового обточування (мм)

Діаметр валу	Операційні припуски при довжині валу			
	До 100	100...250	250...500	500...1000
<i>Шліфування сирих валів</i>				
6...10	0,25	0,3	—	—
10...18	0,3	0,35	—	—
18...30	0,35	0,4	0,45	—
30...50	0,4	0,45	0,5	0,55
50...80	0,45	0,5	0,55	0,6
80...120	0,5	0,55	0,6	0,65
120...180	0,55	0,6	0,65	0,7
<i>Шліфування загартованих валів</i>				
6...10	0,3	0,35	—	—
10...18	0,35	0,4	—	—
18...30	0,4	0,45	0,5	—
30...50	0,45	0,5	0,55	0,6
50...80	0,5	0,55	0,6	0,65
80...120	0,55	0,6	0,65	0,7
120...180	0,6	0,65	0,7	0,75

Таблиця 3.26. Припуски на обробку отворів

А. Припуски для заготовок, отриманих литтям або штампуванням

Вид обробки отвору	Припуск на діаметр для інтервалу діаметрів, мм					
	30...50	50...80	80...120	120...180	180...260	
Чорнове розточування або зенкерування виливків з:	сірого чавуну	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
	ковкого чавуну	2,7	3,5	4,0	4,5	5,0
	бронзи	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
гарячештампованих заготовок	1,6	2,5	2,5	3,5	4,0	
заготовок після вільного кування	3,0	3,0	3,0	3,5	5,5	
Чистове розточування або зенкерування після:	свердління	1,5	1,7	—	—	—
	чорнового розточування або зенкерування	1,1	1,3	1,6	1,8	2,0
Розгортання після:	зенкерування	0,45	0,55	0,65	—	—
	чистового розточування	0,40	0,45	0,55	—	—
Шліфування незагартованих заготовок при довжині обробки, мм:	100...200	0,35	0,35	0,40	0,45	0,50
	200...300	—	0,40	0,50	0,50	0,55
Шліфування загартованих заготовок при довжині обробки, мм:	50...100	0,35	0,40	0,60	0,60	0,65
	100...200	0,35	0,40	0,65	0,65	0,70
	200...300	—	0,50	0,70	0,70	0,75

Примітка. Припуски на чорнову обробку наведено без врахування дефектного шару.

Б. Припуски для заготовок з прокату

Вид обробки отвору	Припуск на діаметр для інтервалу діаметрів, мм						
	10... 18	18... 30	30... 50	50... 80	80... 120	120... 180	180... 260
Розгортання:	чорнове	0,16	0,20	0,24	0,27	0,30	—
	чистове	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	—
Розточування під шліфування при довжині обробки, мм:	до 50	0,30	0,30	0,40	0,40	0,50	0,60
	50...100	0,30	0,40	0,40	0,40	0,50	0,60
	100...300	0,30	0,40	0,40	0,40	0,50	0,60
	300...500	—	—	—	—	0,60	0,60

Продовження табл. 3.26, Б

Вид обробки отвору	Припуск на діаметр для інтервалу діаметрів, мм						
	10... 18	18... 30	30... 50	50... 80	80... 120	120... 180	180... 260
Шліфування до термічної обробки	0,30	0,30	0,30	0,40	0,50	0,50	—
Шліфування після термічної обробки:							
чорнове	0,20	0,20	0,20	0,30	0,30	0,30	—
чистове	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	—
Притирання	0,01	0,01	0,01	0,015	0,02	0,02	—

В. Припуски на діаметр під тонке (алмазне) розточування отворів (мм)

Діаметр оброблюваного отвору, мм	Оброблюваний матеріал			
	Легкі сплави	Бабіт	Бронза і чавун	Сталь
До 30	0,2/0,1	0,3/0,1	0,2/0,1	0,2/0,1
30...50	0,3/0,1	0,4/0,1	0,3/0,1	0,2/0,1
50...80	0,4/0,1	0,5/0,1	0,3/0,1	0,2/0,1
80...120	0,4/0,1	0,5/0,1	0,3/0,1	0,3/0,1
120...180	0,5/0,1	0,6/0,1	0,4/0,1	0,3/0,1
180...250	0,5/0,1	0,6/0,1	0,4/0,1	0,3/0,1
250...360	0,5/0,1	0,6/0,1	0,4/0,1	0,3/0,1
360...400	0,5/0,1	0,6/0,1	0,5/0,1	0,4/0,1
400...500	0,5/0,1	0,6/0,1	0,5/0,1	0,4/0,1

Примітка. У чисельнику наведені припуски на чорнову обробку, у знаменнику – на чистову. У випадку застосування одного розточування припуск визначається як сума припусків на чорнове і чистове розточування.

3.8. Приклад розрахунку операційних припусків і розмірів деталі розрахунково-аналітичним методом

Завдання: визначити діаметр вихідної заготовки для виготовлення валу (рис. 3.7). Визначити операційні припуски і розміри для обробки поверхні $\varnothing 60k7$.

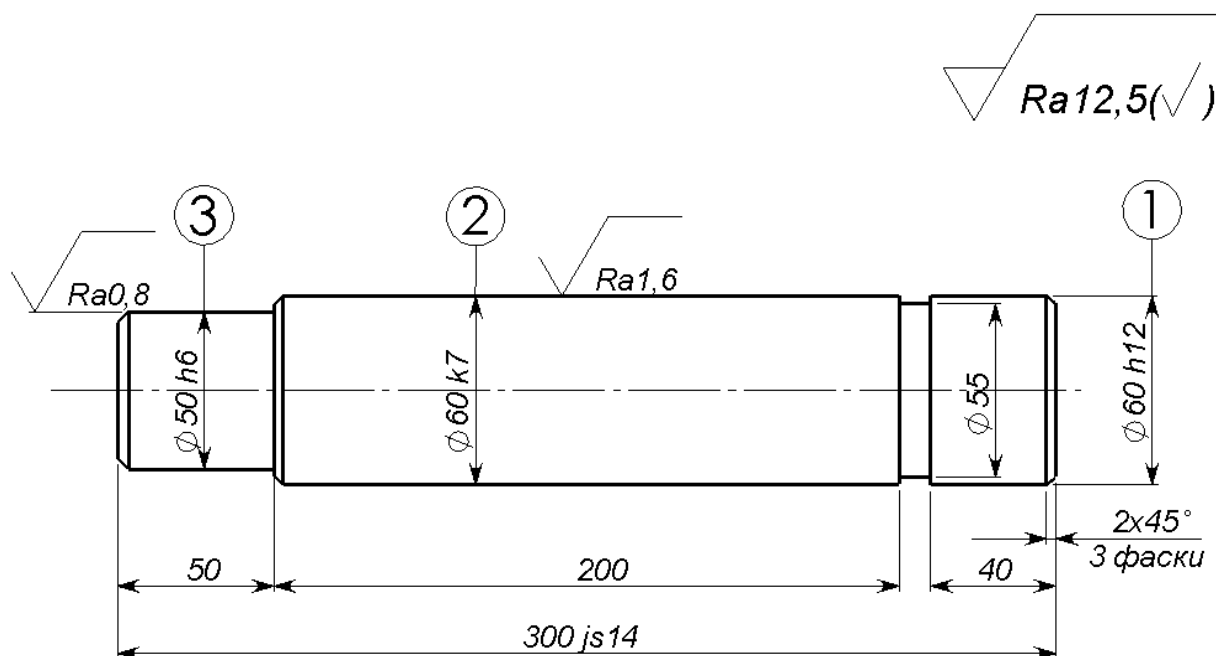


Рис. 3.7. Креслення деталі

Розв'язання.

Загальна методика розрахунку наведена у п. 3.5.

1. Аналіз вихідних даних.

Деталь – вал ступінчатий, матеріал – сталь 45 ГОСТ 1050-74. Маса деталі – 10,2 кг. Твердість HRC₃, 41...45. Невказані граничні відхилення розмірів: валів – по $h14$; інші по $\pm IT14/2$. Тип виробництва – серійне.

Вал достатньо жорсткий, оскільки $L/D \approx 5$.

Твердість деталі досягається термічною обробкою (об'ємне гартування), яка виконується перед шліфуванням. Габаритні розміри деталі 300×60 мм. Деталь достатньо технологічна.

Поверхня $\varnothing 60k7 \left(\begin{smallmatrix} +0,032 \\ +0,002 \end{smallmatrix} \right)$ – циліндрична, точність (7-й квалітет) – висока, поле допуску – k , шорсткість – $Ra = 1,6$ мкм, довжина 200 мм.

2. Вибір способу отримання заготовки.

Оскільки форма вала має відносно невелику різницю діаметрів, обираємо заготовку з гарячекатаного сталевого прокату за ГОСТ 2590-2006 (табл. 3.4).

Для заданої деталі доцільно використати сортовий прокат круглого перетину звичайної точності (В).

Граничні відхилення і допуск на діаметр прокату: $es_0 = 0,5$ мм, $ei_0 = -1,1$ мм; $T_{\text{заг}} = 0,5 - (-1,1) = 1,6$ мм.

Шорсткість поверхні сортового прокату $Rz_0 = 160$ мкм (табл. 3.6).

Кривизна профілю сортового прокату звичайної точності для довжини прокату до 315 мм становить 1,5 мкм на 1 мм (табл. 3.8).

3. Складання маршруту механічної обробки поверхні.

Для ступінчатих валів, виготовлених з прокату, розрахунок припусків ведуть за елементом вала з найбільшим діаметром, а при рівних діаметрах – за елементом, до якого висуваються найвищі вимоги щодо точності та якості поверхні. Отже, розрахунковим елементом буде шийка вала $\varnothing 60k7$. Напуск, що буде на решті елементів вала, знімають при чорновій обробці за один робочий хід, якщо це припустимо за глибиною різання. Більший напуск видаляють за два робочих ходи: 60...70% за перший і 30...40% за другий.

В результаті механічної обробки необхідно отримати точність діаметрального розміру готової деталі $D_{\text{дет}} = 60k7$, граничні відхилення $es_d = +0,032$; $ei_d = +0,002$; допуск $T_d = es_d - ei_d = 0,030$ мм; шорсткість поверхні $Ra = 1,6$ мкм.

Згідно таблиці 3.9 вказані параметри можна досягти чистовим шліфуванням.

Встановимо необхідну кількість технологічних переходів обробки поверхні $\varnothing 60k7$ [20]. Знаходимо загальне уточнення:

$$\varepsilon_{\text{заг}} = \frac{T_{\text{заг}}}{T_d} = \frac{1,6}{0,030} = 53,3.$$

Тоді кількість переходів обробки:

$$n = \frac{\lg \varepsilon_{\text{заг}}}{0,46} = \frac{1,73}{0,46} = 3,8.$$

Приймаємо $n = 4$.

Чорновим шліфуванням досягають точність розміру по $IT8$ і шорсткість поверхні $Rz = 10$ мкм (табл. 3.9); допуск на операцію $T_3 = 0,046$ мм (табл. 3.1).

Шліфуванню передують термообробка, яка забезпечує необхідну твердість поверхні HRC₃, 41...45. На термообробку заготовка подається після чистового точіння, в результаті якого досягається точність розміру по $IT10$ і шорсткість поверхні $Rz = 20$ мкм; допуск на операцію $T_2 = 0,12$ мм.

Операції чистового точіння передують чорнове точіння, яке забезпечує точність розміру по $IT12$, шорсткість поверхні $Rz = 63$ мкм; допуск на операцію $T_1 = 0,3$ мм. Чорнове точіння виконують безпосередньо по гарячекатаному прутку.

Чорнова обробка вала здійснюється на токарному верстаті в дві установки. При чорновій обробці поверхонь 1 і 2 деталь затискається в трикулачковому самоцентруючому пневматичному патроні за поверхню 3 і підтискається заднім центром. При чистовій обробці поверхонь 1 і 2 деталь встановлюється по центровим гніздам. Чорнове і чистове шліфування виконується на круглошліфувальному верстаті, установка деталі здійснюється по центровим гніздам.

4. *Визначення операційних допусків T_i на всі операції, включаючи заготовчу.*

Допуски проміжних заготовок визначаємо за табл. 3.1 відповідно до квалітету, що досягається в даному переході, та номінального розміру поверхні. Дані зводимо у таблицю 3.27.

Таблиця 3.27. Послідовність обробки поверхні $\varnothing 60k7$

№ переходу	Технологічні переходи (операції)	Точність, квалітет	Допуск, мм	Граничні відхилення, мм	Шорсткість, мкм
1	2	3	4	5	6
0	Заготовча	звичайна	1,6	$\begin{matrix} +0,5 \\ -1,1 \end{matrix}$	$Rz160$
1	Токарна чорнова	$h12$	0,3	- 0,3	$Rz63$
2	Токарна чистова	$h10$	0,12	- 0,12	$Rz20$
	Термічна HRC ₃ 41...45	-	-	-	-
3	Шліфування чорнове	$h8$	0,046	- 0,046	$Rz10$
4	Шліфування чистове	$k7$	0,030	$\begin{matrix} +0,032 \\ +0,002 \end{matrix}$	$Rz6,3$

5. *Визначення для всіх переходів величин, що входять до формули (3.1) для $Z_{i\min}$ і самих значень $Z_{i\min}$.*

Величини Rz_i і F_i для заготовки з сортового прокату знаходимо за табл. 3.6, для проміжних заготовок – за табл. 3.9. Дані заносимо у карту розрахунку (рис. 3.8).

Визначаємо просторові відхилення ρ .

Сумарні просторові відхилення заготовки з прокату при затисканні в трикулачковому самоцентруючому патроні і підтисканні заднім центром визначаємо за формулою [11, 16]:

$$\rho_0 = \sqrt{\Delta_{кр}^2 + \Delta_{ц}^2},$$

де $\Delta_{кр}$, $\Delta_{ц}$ – просторові похибки відповідно від жолоблення (кривизна) і зміщення осі при centruванні.

В загальному випадку відхилення осі від прямолінійності (кривизну) знаходимо за формулою $\Delta_{кр} = \Delta_k l$, де Δ_k – кривизна в мкм на 1 мм, l – розмір від пере-

тину, для якого визначається кривизна, до торця заготовки; $l \leq 0,5L$ (L – довжина деталі за кресленням, $L = 300$ мм).

В нашому випадку $\Delta_k = 1,5$ мкм (табл. 3.8). Тоді

$$\Delta_{кр} = 1,5 \cdot 150 = 225 \text{ мкм.}$$

Похибка центрування $\Delta_{ц} = 0,25\sqrt{T^2 + 1}$, де T – допуск на розмір поверхні, по якій базувалась заготовка при обробці центрових отворів. При центруванні використовувалась чорнова база (поверхня 2, діаметр якої більше 60 мм на величину припуску) з допуском 1,6 мм. Тоді

$$\Delta_{ц} = 0,25\sqrt{1,6^2 + 1} = 0,472 \text{ мм.}$$

Отже, $\rho_0 = \sqrt{\Delta_{кр}^2 + \Delta_{ц}^2} = \sqrt{225^2 + 472^2} = 523$ мкм.

Залишкові похибки після механічної обробки визначаємо за формулою:

$$\rho_i = K_y \rho_{i-1}.$$

Просторові відхилення після чорнового точіння (табл. 3.20)

$$\rho_1 = 0,06\rho_0 = 0,06 \cdot 523 = 31 \text{ мкм.}$$

Просторові відхилення після чистового точіння

$$\rho_T = 0,04\rho_1 = 0,04 \cdot 31 = 1 \text{ мкм.}$$

Після чистового точіння виконується термообробка. Величину просторових відхилень від термообробки визначаємо за формулою (3.16); $n_k = 1$ (об'ємне гартування), $d = 60$ мм, $L = 300$ мм:

$$\Delta_{терм} = \frac{0,001n_k L}{0,1d + 0,3} = \frac{0,001 \cdot 1 \cdot 300}{0,1 \cdot 60 + 0,3} = 0,047 \text{ мм.}$$

Деталь, що поступає на чорнове шліфування, має просторові відхилення, які складаються з відхилень, що залишилися після чистового точіння і відхилень, внесених термообробкою, тобто

$$\rho_2 = \sqrt{\rho_T^2 + \Delta_{терм}^2} = \sqrt{1^2 + 47^2} = 47 \text{ мкм.}$$

Просторові відхилення після чорнового шліфування (табл. 3.20)

$$\rho_3 = 0,03\rho_2 = 0,03 \cdot 47 = 1 \text{ мкм.}$$

Похибку установки на чорновій операції приймаємо за табл. 3.19:

$$\varepsilon_1 = 400 \text{ мкм.}$$

При чистовій токарній обробці та шліфуванні заготовка базується в центрах. Тоді похибка установки може становити $\varepsilon = 0,25T$, тобто $\frac{1}{4}$ від допуску на діаметр вала. В результаті маємо:

для чистового точіння $\varepsilon_2 = 0,25 \cdot 300 = 75$ мкм;

для чорнового шліфування $\varepsilon_3 = 0,25 \cdot 120 = 30$ мкм.

Для чистового шліфування $\varepsilon_4 = 0$, оскільки чорнове і чистове шліфування виконують з однієї установки.

Зміщення осі заготовки враховувалось просторовими відхиленнями.

Мінімальні значення припусків знаходимо для кожного переходу почергово (від останнього до першого переходу) за формулою (3.1):

$$Z_{4\min} = 2 \cdot (Rz_3 + F_3 + \sqrt{\rho_3^2 + \varepsilon_4^2}) = 2(10 + 20 + 1) = 62 \text{ мкм};$$

$$Z_{3\min} = 2 \cdot (Rz_2 + F_2 + \sqrt{\rho_2^2 + \varepsilon_3^2}) = 2(20 + 30 + \sqrt{47^2 + 30^2}) = 212 \text{ мкм};$$

$$Z_{2\min} = 2 \cdot (Rz_1 + F_1 + \sqrt{\rho_1^2 + \varepsilon_2^2}) = 2(63 + 60 + \sqrt{31^2 + 75^2}) = 408 \text{ мкм};$$

$$Z_{1\min} = 2 \cdot (Rz_0 + F_0 + \sqrt{\rho_0^2 + \varepsilon_1^2}) = 2(160 + 250 + \sqrt{523^2 + 400^2}) = 2137 \text{ мкм}.$$

Розрахунки зводимо у карту (рис. 3.8).

6. *Визначення для всіх операцій номінальних значень припусків Z_i за формулою*

$$Z_i = Z_{i\min} + es_i - ei_{i-1}.$$

Для проміжних заготовок можна користуватись формулою $Z_i = Z_{i\min} + T_{i-1}$.

$$Z_4 = Z_{4\min} + es_4 - ei_3 = 62 + 32 - (-46) = 140 \text{ мкм};$$

$$Z_3 = Z_{3\min} + T_2 = 212 + 120 = 332 \text{ мкм};$$

$$Z_2 = Z_{2\min} + T_1 = 408 + 300 = 708 \text{ мкм};$$

$$Z_1 = Z_{1\min} + es_1 - ei_0 = 2137 + 0 - (-1100) = 3237 \text{ мкм}.$$

7. *Визначення номінальних розмірів D_i на всі переходи, починаючи від фінішного, розміри на який задані кресленням деталі, і закінчуючи вихідною заготовкою, за формулою:*

$$D_{i-1} = D_i + Z_i.$$

Номінальні розміри проміжних заготовок заокруглюємо до значень співмірних з точністю допусків цих розмірів. Усі розміри заокруглюємо у бік збільшення припусків на механічне оброблення.

$$D_4 = D_{\text{дет}} = 60 \text{ } k7 \left(\begin{smallmatrix} +0,032 \\ +0,002 \end{smallmatrix} \right);$$

$$D_3 = D_4 + Z_4 = 60 + 0,14 = 60,14 \text{ } h8 \left(-0,046 \right);$$

$$D_2 = D_3 + Z_3 = 60,14 + 0,332 = 60,472 \approx 60,48 \text{ } h10 \left(-0,12 \right);$$

$$D_1 = D_2 + Z_2 = 60,48 + 0,708 = 61,188 \approx 61,2 \text{ } h12 \left(-0,3 \right);$$

$$D_0 = D_{\text{загот}} = D_1 + Z_1 = 61,2 + 3,237 = 64,437 \approx 65 \begin{smallmatrix} +0,5 \\ -1,1 \end{smallmatrix}.$$

№ <i>i</i>	назва	Елементи припуску, мкм					$Z_{i \min} = a (Rz_{i-1} + F_{i-1} + p_{i-1} + \varepsilon_i)$	$T_i = \varepsilon_i - e_i$	$Z_i = Z_{i \min} + \varepsilon_i - e_{i-1}$ (*)	$D_i = D_{i+1} + Z_{i+1}$ (після округлення)	$D_{i \max} = D_i + \varepsilon_i$ (*)	$D_{i \min} = D_i + e_i$ (*)	Перерахунок після округлення D_i , мм		
		Rz_i	F_i	ρ_i	ε_i	$Z_{i \min} = D_{(i-1) \min} - D_{i \max}$							$Z_i = D_{i-1} - D_i$	$Z_{i \max} = D_{(i-1) \max} - D_{i \min}$	
		розрахункові формули													
		МКМ								ММ					
4	Шліфування чистове	Ra1,6	12	0	0	62	30	0,14	60 k7	60,032	60,002	0,062	0,14	0,138	
3	Шліфування чорнове	10	20	1	30	212	46	0,332	60,14 h8	60,14	60,094	0,22	0,34	0,386	
2	Токарна чистова	20	30	47	75	408	120	0,708	60,48 h10	60,48	60,36	0,42	0,72	0,84	
1	Токарна чорнова	63	60	31	400	2137	300	3,237	61,2 h12	61,2	60,9	2,7	3,8	4,6	
0	Заготовча	160	250	523	-	-	1600	-	65	65,5	63,9	-	-	-	
$Z_{\text{заг}} = D_{\text{загот}} - D_{\text{дет}} = \sum_{i=1}^n Z_i = 5$															

*) Окрім першого і останнього переходу.

**) Для проміжних заготовок.

Рис. 3.8. Карта розрахунку припусків і операційних розмірів поверхні Ø60 k7

Розмір заготовки округляємо до найближчого більшого цілого значення, яке передбачено сортаментом круглого прокату за ГОСТ 2590-2006, і отримуємо *остаточно діаметральний розмір* $65^{+0,5}_{-1,1}$.

8. *Визначення граничних розмірів на всі переходи:*

$$D_{i\max} = D_i + es_i, \quad D_{i\min} = D_i + ei_i.$$

Оскільки поля допусків для розмірів проміжних заготовок розміщуються «в метал», тобто з основним відхиленнями h для валів ($es = 0$), то згідно з рис. 3.3 і 3.4 для граничних розмірів проміжних заготовок можна записати

$$D_{i\max} = D_i, \quad D_{i\min} = D_i - T_i.$$

$$D_{4\max} = D_4 + es_4 = 60 + 0,032 = 60,032;$$

$$D_{3\max} = D_3 = 60,14;$$

$$D_{2\max} = D_2 = 60,48;$$

$$D_{1\max} = D_1 = 61,2;$$

$$D_{0\max} = D_0 + es_0 = 65 + 0,5 = 65,5.$$

$$D_{4\min} = D_4 + ei_4 = 60 + 0,002 = 60,002;$$

$$D_{3\min} = D_3 - T_3 = 60,14 - 0,046 = 60,094;$$

$$D_{2\min} = D_2 - T_2 = 60,48 - 0,12 = 60,36;$$

$$D_{1\min} = D_1 - T_1 = 61,2 - 0,3 = 60,9;$$

$$D_{0\min} = D_0 + ei_0 = 65 - 1,1 = 63,9.$$

Оскільки номінальні розміри були заокруглені перераховуємо відповідні значення мінімальних $Z_{i\min}$ і номінальних Z_i припусків. Розрахунки зводимо у карту (рис. 3.8):

$$Z_{4\min} = D_{3\min} - D_{4\max} = 60,094 - 60,032 = 0,062;$$

$$Z_{3\min} = D_{2\min} - D_{3\max} = 60,36 - 60,14 = 0,22;$$

$$Z_{2\min} = D_{1\min} - D_{2\max} = 60,9 - 60,48 = 0,42;$$

$$Z_{1\min} = D_{0\min} - D_{1\max} = 63,9 - 61,2 = 2,7.$$

$$Z_4 = D_3 - D_4 = 60,14 - 60 = 0,14;$$

$$Z_3 = D_2 - D_3 = 60,48 - 60,14 = 0,34;$$

$$Z_2 = D_1 - D_2 = 61,2 - 60,48 = 0,72;$$

$$Z_1 = D_0 - D_1 = 65 - 61,2 = 3,8.$$

9. *Визначення максимальних припусків $Z_{i\max}$ за формулами*

$$Z_{i\max} = D_{(i-1)\max} - D_{i\min}$$

$$\text{або } Z_{i \max} = Z_{i \min} + T_i + T_{i-1}.$$

$$Z_{4 \max} = D_{3 \max} - D_{4 \min} = 60,14 - 60,002 = 0,138;$$

$$Z_{3 \max} = D_{2 \max} - D_{3 \min} = 60,48 - 60,094 = 0,386;$$

$$Z_{2 \max} = D_{1 \max} - D_{2 \min} = 61,2 - 60,36 = 0,84;$$

$$Z_{1 \max} = D_{0 \max} - D_{1 \min} = 65,5 - 60,9 = 4,6.$$

10. Визначення загального припуску на розмір $Z_{\text{заг}}$ за формулою

$$Z_{\text{заг}} = D_{\text{загор}} - D_{\text{дет}} = \sum_{i=1}^n Z_i$$

$$Z_{\text{заг}} = 65 - 60 = 5 \text{ мм.}$$

Умовне позначення обраного прокату: круг $\frac{65\text{-В-ГОСТ2590-2006}}{45\text{-а-ГОСТ1050-74}}$.

3.9. Приклад розрахунку операційних припусків і розмірів деталі досвідно-статистичним методом

Завдання: сконструювати заготовку з гарячекатаного прокату для деталі вал (рис. 3.9). Досвідно-статистичним методом визначити операційні припуски і розміри деталі.

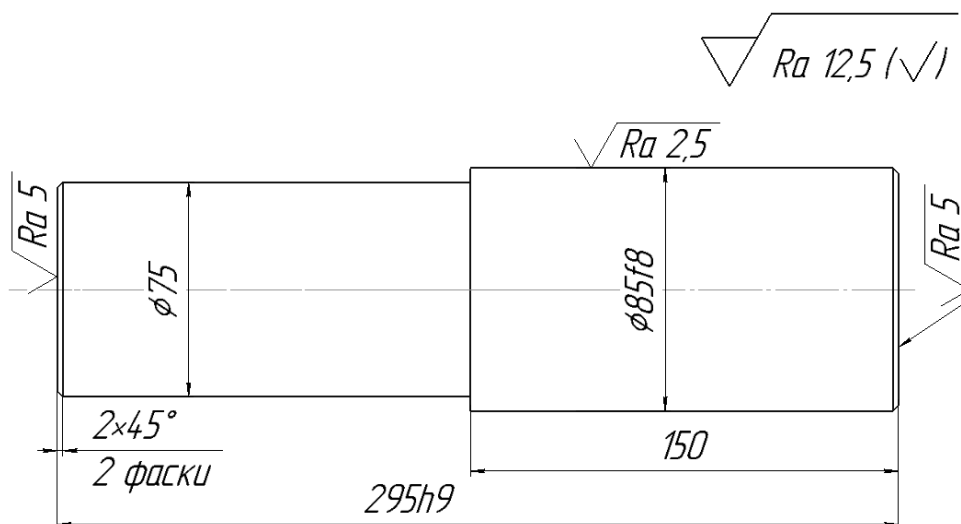


Рис. 3.9. Креслення деталі

Розв'язання.

Загальна методика розрахунку операційних припусків і розмірів досвідно-статистичним методом наведена у п. 3.6.

Аналіз вихідних даних.

Деталь – вал ступінчатий, матеріал – сталь 30ХГС ГОСТ 4543-71. Маса деталі – 11,8 кг. Твердість НВ 262...311. Невказані граничні відхилення розмірів – по $h14$.

Твердість деталі досягається термічною обробкою, яка виконується перед шліфуванням. Габаритні розміри деталі 295×85 мм.

Вибір способу отримання заготовки.

Оскільки форма вала має відносно невелику різницю діаметрів, обираємо заготовку з гарячекатаного сталевого прокату за ГОСТ 2590-2006 (табл. 3.4). Для заданої деталі доцільно використати сортовий прокат круглого перетину звичайної точності (В).

Граничні відхилення і допуск на діаметр прокату: $es_0 = 0,5$ мм, $ei_0 = -1,3$ мм; $T_{\text{заг}} = 0,5 - (-1,3) = 1,8$ мм.

Шорсткість поверхні сортового прокату $Rz_0 = 200$ мкм (табл. 3.6).

Кривизна профілю сортового прокату звичайної точності для довжини прокату до 315 мм становить 1,5 мкм на 1 мм (табл. 3.8).

Складання маршруту механічної обробки для розрахункових поверхонь.

Діаметр прокату визначаємо, виходячи з найбільшого діаметра деталі, отже, розрахунковим елементом буде шийка вала $\varnothing 85f8$. Напуск, що буде на шийці $\varnothing 75$, знімають при чорновій обробці за два робочих ходи: 60...70% за перший і 30...40% за другий.

В результаті механічної обробки необхідно отримати точність діаметрального розміру готової деталі $D_{\text{дет}} = 85f8$, граничні відхилення $es_d = -0,036$; $ei_d = -0,09$; допуск $T_d = es_d - ei_d = 0,054$ мм; шорсткість поверхні $Ra = 2,5$ мкм.

Згідно таблиці 3.9 вказані параметри можна досягти чорновим шліфуванням.

Чорновому шліфуванню передують термообробка, яка забезпечує необхідну твердість поверхні НВ 262...311. На термообробку заготовка подається після чистового точіння, в результаті якого досягається точність розміру по $IT10$ і шорсткість поверхні $Rz = 20$ мкм; допуск на операцію $T_2 = 0,14$ мм (табл. 3.1).

Чистовому точінню передують чорнове, після якого маємо точність розміру по $IT12$ і шорсткість поверхні $Rz = 63$ мкм; допуск на операцію $T_1 = 0,35$ мм.

Обробка на токарних верстатах і шліфування на круглошліфувальному верстаті виконується з встановленням заготовки в центрах. Дані зводимо у таблицю 3.28.

Таблиця 3.28. Послідовність обробки поверхні $\varnothing 85f8$

№ пере-ходу	Технологічні перехо-ди (операції)	Точність, Квалітет	Допуск, мм	Граничні відхилення, мм	Шорсткість, мкм
1	2	3	4	5	6
0	Заготовча	звичайна	1,8	+0,5 -1,3	Rz200
1	Токарна чорнова	<i>h</i> 12	0,35	- 0,35	Rz63
2	Токарна чистова	<i>h</i> 10	0,14	- 0,14	Rz20
3	Термічна НВ 262...311	-	-	-	-
4	Шліфування чорнове	<i>f</i> 8	0,054	-0,036 -0,090	Rz10

Довжина деталі за кресленням 295h9. Обробку торців проводимо за наступним маршрутом:

- відрізання дисковою пилкою;
- чорнове підрізання торців;
- чистове підрізання торців;
- шліфування торців.

Вибір операційних припусків Z_i для всіх переходів обробки поверхні $\varnothing 85f8$.

Припуски на діаметр встановлюємо за таблицею 3.22: на попереднє шліфування після термообробки – $Z_3 = 0,65$ мм. Припуски на діаметр на точіння прокату звичайної точності: чистове – $Z_2 = 0,3$ мм; чорнове – $Z_1 = 2,1$ мм.

Можна було б визначити загальний припуск на діаметр $Z_{\text{заг}}$ для заготовок з прокату (за допомогою табл. 3.21). Тоді припуск на чорнове точіння визначався б за формулою $Z_1 = Z_{\text{заг}} - (Z_2 + Z_3)$.

Розрахунок проміжних номінальних розмірів для поверхні $\varnothing 85$.

За вихідний розрахунковий розмір приймаємо максимальний розмір деталі $D_{\text{дет}}^{\text{max}} = 84,964$ мм. Проміжні номінальні розміри визначаємо шляхом послідовного додавання до вихідного розрахункового розміру $D_{\text{дет}}^{\text{max}}$ проміжних припусків Z_i в порядку, зворотному до ходу технологічного процесу обробки даної поверхні:

$$D_2 = D_{\text{дет}}^{\text{max}} + Z_3;$$

$$D_1 = D_2 + Z_2;$$

$$D_{\text{загот}} = D_1 + Z_1.$$

Послідовність розрахунку проміжних розмірів з допусками і параметрами шорсткості, які необхідні для оформлення карт ескізів та операційних карт для

всіх операцій, зводимо у таблицю 3.29.

Таблиця 3.29. Розрахунок проміжних номінальних розмірів

№ пере-ходу	Найменування розміру і припуску	Позна-чення	Операційний розмір, мм	Шорст-кість, мкм
3	Діаметр шийки після чор-нового шліфування (тобто діаметр за кресленням)	$D_{\text{дет}} = D_3$	$\varnothing 85 f8 \begin{pmatrix} -0,036 \\ -0,090 \end{pmatrix}$	$Ra2,5$
	Вихідний розрахунковий розмір	$D_{\text{дет}}^{\text{max}}$	84,964	
	Припуск на діаметр на чор-нове шліфування	$+ Z_3$	+0,65	
2	Діаметр шийки після чист-ового точіння	D_2	85,614	$Rz20$
	Після округлення		$85,62 h10 \begin{pmatrix} -0,14 \end{pmatrix}$	
	Припуск на діаметр на чист-ове точіння	$+ Z_2$	+0,3	
1	Діаметр шийки після чор-нового точіння	D_1	85,92	$Rz63$
	Після округлення		$86,0 h12 \begin{pmatrix} -0,35 \end{pmatrix}$	
	Припуск на діаметр на чор-нове точіння	$+ Z_1$	+2,1	
0	Діаметр заготовки	$D_{\text{загот}} = D_0$	88,1	$Rz200$
	Діаметр прокату після округлення		$90 \begin{pmatrix} +0,5 \\ -1,3 \end{pmatrix}$	

За табл. 3.4 приймаємо найближчий стандартний розмір прокату $\varnothing 90$ мм. Тоді діаметр заготовки буде $90 \begin{pmatrix} +0,5 \\ -1,3 \end{pmatrix}$, а припуск на чорнове точіння збільшиться до

$$Z_1 = 2,1 + (90 - 88,1) = 4 \text{ мм.}$$

Умовне позначення обраного прокату: $\text{круг} \frac{90 - \text{В} - \text{ГОСТ } 2590 - 2006}{30\text{ХГС} - \text{Б} - \text{ГОСТ } 4543 - 71}$.

Вибір операційних припусків Z_i на обробку торцевих поверхонь деталі. Розрахунок проміжних номінальних розмірів довжини деталі.

За табл. 3.23 знаходимо припуски на шліфування торців:

- на лівий торець (діаметр 75 мм, довжина деталі 295 мм) – 0,5 мм;
- на правий торець (діаметр 85 мм, довжина деталі 295 мм) – 0,6 мм.

Нижнє відхилення на довжину дорівнює $-0,38$ мм. Тоді довжина деталі після чистового підрізання двох торців:

$$295 + 0,5 + 0,6 = 296,1_{-0,38} \text{ мм.}$$

Припуски на чистове підрізання торців (див. табл. 3.23):

- на лівий торець – 1,4 мм;

- на правий торець – 1,5 мм.

Нижнє відхилення на довжину дорівнює $-0,76$ мм. Тоді довжина деталі після чорнового підрізання двох торців:

$$296,1 + 1,4 + 1,5 = 299_{-0,76} \text{ мм.}$$

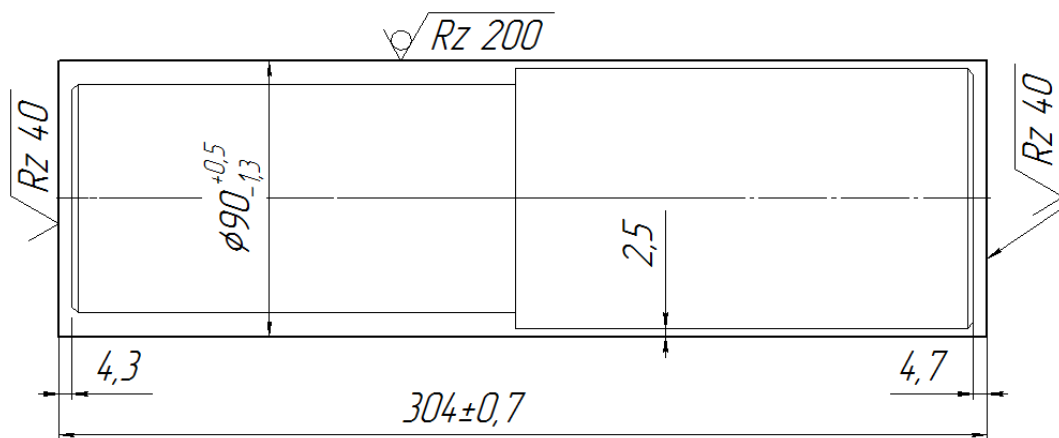
Припуски на чорнове підрізання торців (див. табл. 3.23):

- на лівий торець – 2,4 мм;

- на правий торець – 2,6 мм.

Граничні відхилення після відрізання заготовки $\pm 0,7$ мм. Тоді довжина заготовки після відрізання з прокату:

$$L_3 = 299 + 2,4 + 2,6 = 304 \pm 0,7 \text{ мм.}$$



1. Кривизна не більше 0,46 мм.
2. Круг $\frac{90-B-ГОСТ 2590-2006}{30ХГС-δ-ГОСТ 4543-71}$

Рис. 3.10. Заготовка вала з прокату

Визначаємо норму витрат матеріалу на деталь

Втрати матеріалу на деталь, яка виготовляється з прокату, складаються з не кратності довжини прокату, торцевого обрізання, відрізання та опорних кінців, що видаляються.

Визначаємо масу заготовки.

Об'єм заготовки визначаємо, враховуючи плюсові частини допусків:

$$V_3 = \frac{\pi d_{\max}^2}{4} L_{\max} = \frac{3,14 \cdot 9,05^2}{4} 30,47 = 1959,02 \text{ см}^3,$$

де d_{\max} , L_{\max} – максимальні діаметр і довжина заготовки (з плюсовою частиною допуску), см.

Тоді маса заготовки

$$G_3 = \gamma V_3 = 0,00785 \cdot 1959,02 = 15,378 \text{ кг},$$

де γ – питома вага матеріалу деталі, кг/см^3 .

Вибираємо оптимальну довжину прокату для виготовлення заготовки.

Втрати на затискання прутка $l_{\text{зат}}$ приймаємо 80 мм (мінімальна довжина опорного (затискного) кінця залежить від конструкції технологічного обладнання і затискних елементів пристосування).

Довжина торцевої обрізки при відрізанні на ножицях зазвичай складає

$$l_{\text{т.о}} = (0,3 \dots 0,5) D_{\text{загот}} = 0,3 \cdot 90 = 27 \text{ мм},$$

де $D_{\text{загот}} = 90$ мм – діаметр прокату.

Ширина різь l_p визначається в залежності від інструменту для заготівельного розкроювання за табл. 3.24. При відрізанні дисковою пилкою $l_p = 8$ мм.

Некратність довжини прокату визначається, виходячи з вибраної довжини прокату $L_{\text{пр}}$ і заготовки L_3 з врахуванням втрат від вибраного методу заготівельного розкроювання.

Число заготовок, виходячи з прийнятої довжини прокату $L_{\text{пр}}$:

- з прокату довжиною 4 м

$$n_4 = \frac{L_{\text{пр}} - l_{\text{зат}} - l_{\text{т.о}}}{L_3 + l_p} = \frac{4000 - 80 - 27}{304 + 8} = 12,48 \text{ шт.},$$

приймаємо 12 заготовок з даної довжини прокату;

- з прокату довжиною 7 м

$$n_7 = \frac{L_{\text{пр}} - l_{\text{зат}} - l_{\text{т.о}}}{L_3 + l_p} = \frac{7000 - 80 - 27}{304 + 8} = 22,09 \text{ шт.},$$

приймаємо 22 заготовки з даної довжини прокату.

Тоді залишок довжини (некратність) $L_{\text{нк}}$ і втрати матеріалу на некратність $V_{\text{нк}}$ (%) залежно від прийнятої довжини прокату складають:

- з прокату довжиною 4 м

$$L_{\text{нк4}} = L_{\text{пр}} - l_{\text{зат}} - l_{\text{т.о}} - n(L_3 + l_p) = 4000 - 80 - 27 - 12 \cdot 312 = 149 \text{ мм},$$

$$V_{\text{нк4}} = \frac{L_{\text{нк4}}}{L_{\text{пр}}} 100\% = \frac{149}{4000} 100\% = 3,73\% ;$$

- з прокату довжиною 7 м

$$L_{\text{нк7}} = L_{\text{пр}} - l_{\text{зат}} - l_{\text{т.о}} - n(L_3 + l_p) = 7000 - 80 - 27 - 22 \cdot 312 = 29 \text{ мм},$$

$$V_{\text{нк7}} = \frac{L_{\text{нк7}}}{L_{\text{пр}}} 100\% = \frac{29}{7000} 100\% = 0,41\% .$$

З розрахунків на некратність випливає, що прокат довжиною 7 м для виготовлення даних заготовок є більш економічним, ніж прокат довжиною 4 м (некратність довжини прокату необхідно мінімізувати).

Втрати металу на затискання при відрізанні по відношенню до довжини прокату складають

$$V_{\text{зат}} = \frac{l_{\text{зат}}}{L_{\text{пр}}} 100\% = \frac{80}{7000} 100\% = 1,14\% .$$

Втрати металу на довжину торцевого обрізка по відношенню до довжини прокату складають

$$V_{\text{т.о}} = \frac{l_{\text{т.о}}}{L_{\text{пр}}} 100\% = \frac{27}{7000} 100\% = 0,39\% .$$

Втрати металу при розрізанні прутка на заготовки

$$V_{\text{р}} = \frac{nl_{\text{р}}}{L_{\text{пр}}} 100\% = \frac{22 \cdot 8}{7000} 100\% = 2,51\% .$$

Загальні втрати металу відносно довжини вибраного прутка

$$V = V_{\text{НК}} + V_{\text{зат}} + V_{\text{т.о}} + V_{\text{р}} = 0,41 + 1,14 + 0,39 + 2,51 = 4,45\% .$$

Витрати матеріалу на одну заготовку з урахуванням усіх технологічно немінучих втрат визначаємо за формулою

$$G_{\text{з.в}} = G_{\text{з}} \frac{100 + V}{100} = 15,378 \cdot \frac{100 + 4,45}{100} = 16,062 \text{ кг} .$$

Коефіцієнт використання матеріалу

$$K_{\text{в.м}} = G_{\text{д}} / G_{\text{з.в}} = 11,8 / 16,062 = 0,73$$

Технічні вимоги до заготовки:

- допустима кривизна заготовки $\rho_{\text{к}} = \Delta \cdot L_{\text{max}} = 1,5 \cdot 304,7 = 457 \text{ мкм}$, тобто не більше 0,46 мм ($\Delta = 1,5 \text{ мкм на } 1 \text{ мм}$ – кривизна профілю сортового прокату звичайної точності за табл. 3.8);
 - шорсткість поверхні сортового прокату $Rz_0 = 200 \text{ мкм}$ (табл. 3.6).
- Ескіз заготовки наведено на рис. 3.10.

3.10. Завдання для самостійного розв'язування

Ступінчатий вал виготовляють з гарячекатаного сталевого прокату (ГОСТ 2590-2006). Матеріал деталі – сталь 45 ГОСТ 1050-74. Вихідні дані наведено в табл. 3.30.

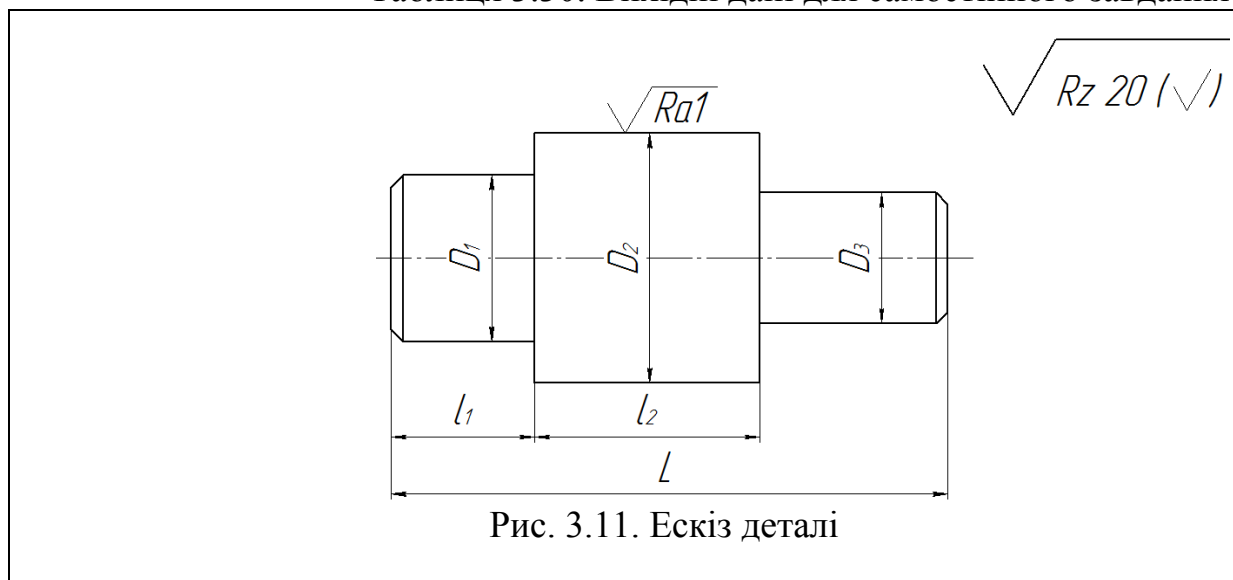
Завдання 1.

Розрахунково-аналітичним методом розрахувати операційні припуски і розміри для обробки поверхні D_2 ; визначити діаметр вихідної заготовки для виготовлення валу.

Завдання 2.

Сконструювати заготовку з круглого прокату для деталі вал. Досвідно-статистичним методом розрахувати операційні припуски і розміри деталі. Визначити норму витрат матеріалу на деталь.

Таблиця 3.30. Вихідні дані для самостійного завдання



Варіант	Розміри, мм					Шорсткість Ra , мкм	Необхідність термообробки
	D_1, D_3	D_2	L	l_1	l_2	$Ra1$	
1	30	40n6	185js9	45	85	0,16	Так
2	45	55g6	225h10	55	95	0,32	Ні
3	20	30h6	145js10	40	60	0,63	Так
4	50	60f7	315h11	70	80	1,25	Ні
5	60	70e7	300js11	50	200	1,6	Так
6	65	75k6	210h12	40	130	2,5	Ні
7	25	35k7	165js12	40	60	0,1	Так
8	35	42m6	180h8	30	100	0,2	Ні
9	40	50d7	195js8	55	110	0,32	Так
10	70	80u7	150h9	40	70	0,63	Ні
11	24	32h6	240js9	50	120	1,25	Так
12	35	45js7	200h10	35	105	2,5	Ні
13	55	63s6	185js10	45	95	3,2	Так
14	20	32p7	120h11	30	75	0,16	Ні
15	42	50r6	160js11	60	80	0,32	Так

Невказані граничні відхилення розмірів – по h14.

4. Вибір способу отримання заготовки

4.1. Основні принципи

Основні способи виробництва заготовок – *лиття, обробка тиском, зварювання*, а також комбінації цих способів. Ту саму деталь можна виготовити із заготовок, отриманих різними способами.

Одним з основних принципів вибору заготовки є орієнтація на такий спосіб виготовлення, який забезпечить їй максимальне наближення до готової деталі. У цьому випадку істотно скорочуються витрати металу, обсяг механічної обробки й виробничий цикл виготовлення деталі. Однак при цьому в заготівельному виробництві збільшуються витрати на технологічне устаткування й оснащення, їх ремонт і обслуговування, зростає собівартість заготовки. Додаткові витрати на оснащення заготівельних цехів окупаються лише при достатніх об'ємах випуску виробів.

Головним при виборі заготовки є забезпечення заданої якості готової деталі при її мінімальній собівартості. При цьому слід мати на увазі, що собівартість виготовлення деталі визначається сумою витрат на заготовку і механічну обробку й, в остаточному підсумку, важливо забезпечити зниження цієї суми, а не однієї з її складових. Тому при виборі способу одержання заготовки необхідно проводити техніко-економічний аналіз двох етапів виробництва – заготівельного й механооброблювального. Докладно методику техніко-економічного аналізу наведено в підручниках [2, 5, 18, 22], а також у п. 7 даного посібника.

Розробка технологічних процесів виготовлення заготовок повинна здійснюватися на основі *технічного* й *економічного* принципів. Відповідно до технічного принципу обраний технологічний процес повинен повністю забезпечити виконання всіх вимог креслення й технічних умов на заготовку. Відповідно до економічного принципу виготовлення заготовки має здійснюватися з мінімальними виробничими витратами.

З можливих варіантів технологічного процесу за інших рівних умов вибирають найбільш економічний, а за рівної економічності – найбільш продуктивний, але за умови обов'язкового забезпечення заданої якості виробів. Якщо ставляться спеціальні задачі, наприклад терміновий випуск якої-небудь важливої продукції, вирішальними можуть виявитися інші фактори (більш висока продуктивність, мінімальний час підготовки виробництва, мінімальні витрати матеріалу й ін.).

Креслення заготовки слугує для заготівельного цеху кресленням готового виробу, а для механічного цеху – вихідним документом для побудови технологі-

чного процесу обробки заготовки. Тому вибір способу отримання і розробка креслення заготовки здійснюються сумісно технологами обох підрозділів.

4.2. Фактори, що визначають спосіб виготовлення заготовки

Добираючи спосіб виготовлення заготовки, звичайно виходять з умов необхідності економії праці та матеріалів, механізації та автоматизації виробництва, підвищення якості деталі чи виробу, що виготовлятиметься з неї.

До *найважливіших факторів, що обумовлюють вибір способу отримання заготовки*, належать [3-5, 11, 18]:

- *характер (тип) виробництва, або програма випуску продукції* (дозволяє визначити економічно доцільні межі застосування різних способів отримання заготовок; при великих партіях найвигідніші ті способи, які забезпечують найбільше наближення заготовки до деталі за формою і розмірами;

- *виробничі можливості заготівельних цехів підприємства та кооперування* (наявність устаткування, спорядження, виробничих площ, ремонтної бази, допоміжних служб, кількості робітників і службовців необхідної кваліфікації тощо);

- *фізико-механічні та технологічні властивості матеріалу заготовки* (зернистість, оброблюваність, зварюваність, ковкість, штампованість, рідкоплинність, усідання, ліквіація, газопоглинання тощо);

- *призначення деталі, вимоги щодо її виготовлення та якості;*

- *форма, розміри та маса заготовки* (чим більша заготовка, тим дорожче виготовлення форм, моделей, штампів тощо, недостатні можливості застосування спеціального обладнання);

- *задані точність та якість поверхонь заготовки* (визначають формоутворювальне спорядження та устаткування, вартість заготовки, обсяг і трудомісткість її подальшого оброблення, експлуатаційні параметри деталі);

- *тривалість технологічної підготовки виробництва* (розробка технологічних процесів, маршрутних карт і т.п.; розрахунки трудомісткості операцій і матеріалоємності деталей; конструювання й виготовлення основного й допоміжного устаткування і технологічного оснащення);

- *технологічна оснащеність виробництва* (характеризує наявність та час підготовки засобів технологічного оснащення – штампів, моделей, прес-форм тощо);

- *бажаний ступінь автоматизації процесу;*

- *можливість швидкої переналадки обладнання і оснастки* (особливо при роботі на змінно-потоккових лініях автоматизованого виробництва).

Вплив перелічених факторів за різних обставин неоднозначний, тому добір

способу виготовлення заготовки є складним завданням і вимагає всебічного розгляду можливих варіантів з детальним технічним та економічним обґрунтуванням вибраного. Особливе значення добір способу виготовлення заготовки має для гнучких і автоматизованих виробництв, оскільки вони вимагають вищої точності форми, розмірів, меншої зміни властивостей матеріалів заготовок тощо.

Для умов серійного та масового, виробництва добір способу виготовлення заготовки обов'язково має супроводжуватися необхідними розрахунками та обґрунтуваннями, в яких слід враховувати витрати на виготовлення заготовки, її подальше оброблення та експлуатацію готового виробу за його призначенням [3].

4.3. Методика добору способу виготовлення заготовки

Здебільшого спосіб виготовлення заготовки добирають у такій послідовності [4, 5, 18]. На першому етапі ретельно аналізуються детальні й складальні креслення виробу, взаємозв'язки елементів конструкції при складанні, експлуатації й ремонті. Аналіз супроводжується критичною оцінкою креслень із погляду технологічності й обґрунтованості технічних вимог. Всі виявлені недоліки виправляються разом з розробником конструкції.

Потім, виходячи із заданої програми випуску продукції, конфігурації й розмірів основних деталей і вузлів, а також виробничих можливостей підприємства, встановлюється тип і характер майбутнього виробничого процесу (одиничне, серійне або масове; групове або потокове).

Відповідно до конструкції деталі й висунутих технічних вимог встановлюють основні фактори (див. п. 4.2), що обумовлюють вибір виду заготовки й технології її виготовлення. Фактори бажано розташовувати в порядку убутання їхньої значимості.

Аналізуючи ступінь впливу розглянутих вище факторів, вибирають один або кілька технологічних процесів, що забезпечують одержання заготовок необхідної якості. Одночасно аналізують можливості отримання заготовок зі стандартних частин, сортаментів, матеріалів, що випускаються промисловістю (періодичний, сортовий прокат, виливки, поковки тощо); перевіряють можливість використання комбінованих заготовок.

На попередньому етапі вибору оптимального способу одержання заготовок можна скористатися так званою *матрицею впливу факторів* (табл. 4.1). Оцінка кожного фактору в ній провадиться «плюс-мінус» або за допомогою коефіцієнта питомої ваги (від 0 до 1). Кращим вважається спосіб, що набрав більше число плюсів або більшу суму коефіцієнтів.

Таблиця 4.1. Зразок оформлення матриці впливу факторів

Спосіб виготовлення заготовки		Фактори					Сума
		Форма і розміри заготовки	Точність та якість поверхонь заготовки	Технологічні властивості матеріалу	Річна програма	Виробничі можливості підприємства	
Лиття	під тиском	+	+	–	–	–	2
	за витопними моделями	+	+	–	+	+	4
Кування		+	–	+	–	+	3
Штампування на ГKM		+	–	+	+	–	3

Після вибору кількох варіантів одержання заготовок для кожного з них конкретизують: *послідовність виконуваних операцій* (наприклад, штампування на пресі, потім на ГKM; вальцювання, потім штампування й зварювання); *використовуване устаткування, основні й допоміжні матеріали*. Якщо в жодного з відібраних способів одержання заготовок немає конкретних переваг, укрупнено проєктують декілька найбільш прийнятних заготовок і технологічних процесів їх виробництва.

Для розроблених технологічних процесів визначають основні техніко-економічні показники й на підставі їх аналізу вибирають найбільш раціональний. Критеріями оптимізації для добору способу виготовлення заготовки залежно від поставленої мети є *якість виробу, вартість деталі* чи технологічна трудомісткість її виготовлення, *продуктивність праці* (з урахуванням оброблення різанням), *витрати матеріалу, терміни підготовки виробництва*.

Потім для обраного способу виробництва розробляється докладний технологічний процес і виконується його техніко-економічний аналіз [6].

4.4. Загальні рекомендації щодо вибору способу виготовлення заготовки

Для попереднього добору способу виготовлення заготовки у машинобудуванні слід дотримуватись наступних загальних рекомендацій [3-5, 11].

- *Корпусні коробчасті заготовки* закритої конструкції для всіх типів виробництва доцільно виготовляти литтям; відкритої конструкції для масового та серійного виробництва – литтям, а для дрібносерійного та одиничного виробництва – зварюванням.

- *Заготовки дисків, маховиків, трийників, блоків, корпусів і кришок підшипників, важелів, маточин, шківів, шестерень* тощо в серійному виробництві виготовляють литтям переважно в тих випадках, коли їх нерентабельно отримувати

штампуванням чи прокатуванням на високопродуктивному обладнанні; у дрібно-серійному та одиничному виробництві їх виготовляють литтям.

- *Заготовки валів, стаканів, втулок з невеликою різницею діаметрів окремих поверхонь, кілець* для всіх типів виробництва виготовляють з прокату (сортового, листового, трубного).

- *Заготовки балок, кронштейнів, рам, ферм, каркасів, траверс, плит* для всіх типів виробництва отримують зварюванням із профільного сортового прокату (кутник, швелер, балка). Для багатосерійного та масового виробництва раціонально застосовувати сортовий, періодичний та спеціальний прокат, тонкостінні гнуті профілі.

- *Дуже великі та унікальні заготовки відповідальних деталей* (масою до 200...300 т) в одиничному виробництві виготовляють куванням (вали і диски турбін, ротори, колінчасті вали суднових ДВЗ, барабани котлів високого тиску тощо).

- *Для великих колінчастих валів, станин ковальсько-пресового обладнання, рам будівельних машин та інших заготовок складної конфігурації* ефективним є застосування комбінованих (складаних) заготовок при виготовленні елементів заготовки штампуванням, литтям, прокатуванням з наступним з'єднанням їх зварюванням. Це дає змогу значно спростувати їх конструкції, допускає виготовлення різних частин заготовки з різних матеріалів, значних розмірів і мас.

Слід враховувати, що трудомісткість обробки литих заготовок на 15...30% нижча обробки гарячештапованих, а заміна механічної обробки різанням штампуванням або висаджуванням завжди призводить до значного зменшення трудомісткості та витрат металу.

5. Проектування виливків

5.1. Загальна технологічна схема виготовлення виливків

Суть ливарного виробництва полягає в тому, що заготовку отримують заливанням рідкого металу в ливарну форму, порожнина якої за розмірами і конфігурацією відповідає виготовлюваній заготовці. Таку заготовку називають *виливком*. Після затвердіння виливки виймають (або вибивають) з форми і обробляють механічно ті їх поверхні, щодо точності яких ставлять більші вимоги.

До складу ливарного цеху входять такі відділення: модельне, землєпідготов-

че, стрижневе, формувальне, плавильне, вибивне, обрубне, очисне.

Загальну технологічну схему виготовлення виливків наведено на рис. 5.1.

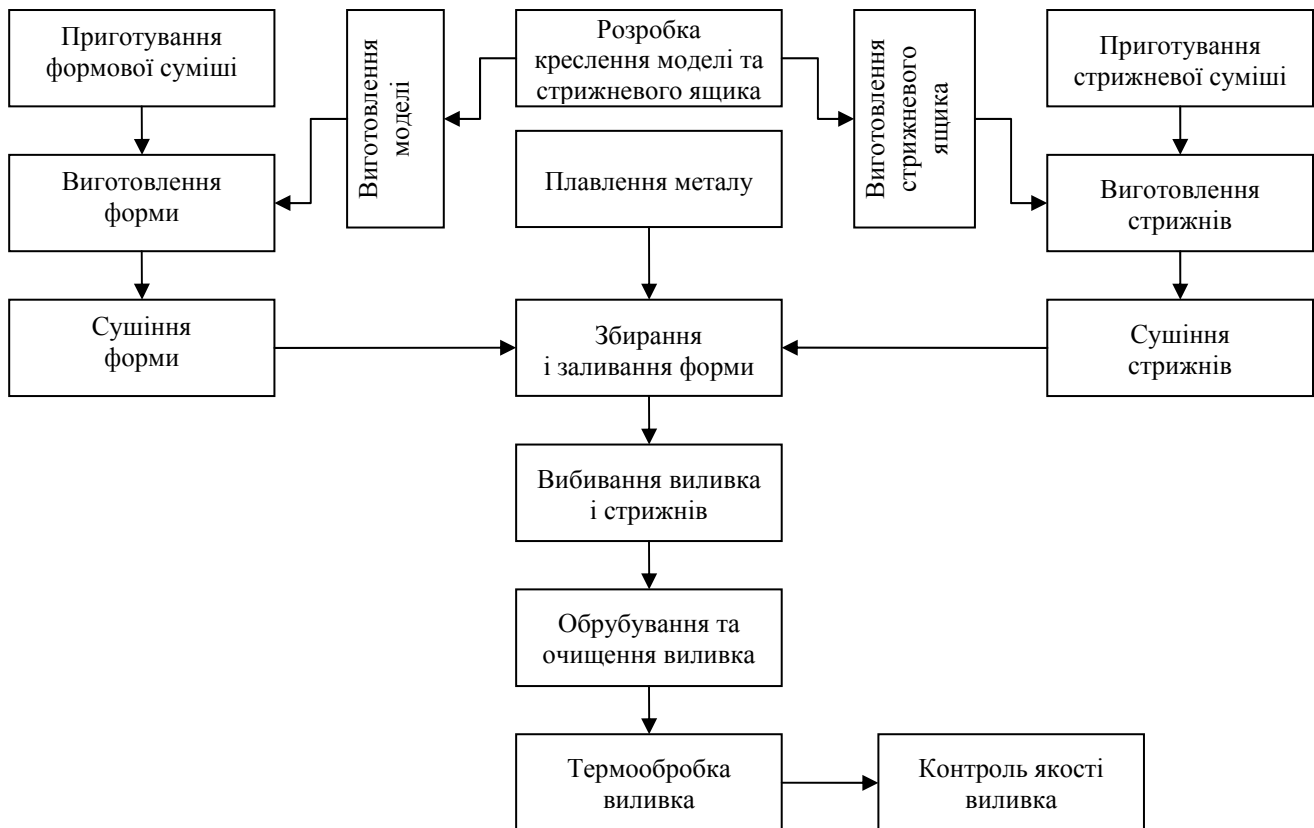


Рис. 5.1. Технологічна схема виготовлення виливків

У модельному відділенні за робочим кресленням виготовляють модельний комплект; у землепідготовчому – формову і стрижневу суміші; у формувальному – ливарну форму; у стрижневому – стрижень; у плавильному отримують рідкий метал. Готову ливарну форму заливають рідким металом і після його затвердіння у вибивальному відділенні видаляють із форми виливок; обрубують ливникову систему й очищують виливок від пригару в обрубному і очисному відділеннях. Заключна операція – контроль якості виливка.

5.2. Різновиди ливарних форм

Для виготовлення виливків при будь-якому способі лиття необхідна ливарна форма, яка визначає зовнішні та внутрішні контури виливка.

Ливарні форми розрізняють за:

- терміном служби (разові, багаторазові);
- станом перед заливанням (сухі, напівсухі, вологі, хімічно тверднучі, са-

моторднучі);

- технологією виготовлення (ручне, машинне формування).

Разові форми виготовляють переважно з піщано-глинистих формових сумішей (замість глини як скріплювача можуть використовувати також різні органічні і неорганічні речовини: смоли, декстрин, рідке скло, патоку, каніфоль тощо). Призначені разові форми для виготовлення лише одного виливка, тому що їх руйнують після затвердіння металу. За товщиною стінки ці форми можуть бути товстостінні (20...25 мм і більше), оболонкові (близько 10 мм), тонкостінні (менше 10 мм). До разових форм також відносяться нероз'ємні форми, які використовуються, зокрема, при литті за виплавлюваними моделями.

Багаторазові металеві форми (кокілі) та форми із шамоту, азбесту, алебастру, цементу, гіпсу та інших вогнетривких матеріалів використовують для виготовлення десятків, сотень і навіть тисяч виливків, оскільки їх після затвердіння металу не руйнують, а розкривають для видалення готового виливка.

Металеві форми широко використовуються у серійному і масовому виробництві переважно для виливків з кольорових металів і сплавів. Матеріалом для цих форм може бути сталь, чавун або алюмінієві сплави. Багаторазові форми використовують при спеціальних способах лиття: кокільному, відцентровому, під тиском тощо.

При всіх способах лиття (за виключенням лиття у нероз'ємні форми) ливарна форма має одну або декілька площин розняття. Вибір ливарної форми залежить від призначення і характеру виливків, серійності їх виробництва, можливостей підприємства.

Конструкція ливарної форми і матеріал, з якого вона виготовлена, безпосередньо впливають на характер формування виливків і на їх якість. Матеріал форми має добре протистояти статичному і динамічному впливу рідкого металу, тому повинен мати такі властивості: вогнетривкість, пластичність, піддатливість, газопроникність, міцність, непригарність.

5.3. Основні способи лиття, їх технологічні можливості й області застосування

У сучасному ливарному виробництві існують такі способи одержання виливків: у піщано-глинистих формах з ручним та машинним формуванням; в оболонкових формах; за виплавлюваними моделями; у металевих формах (кокілях); відцентровим виливанням, електрошлаковим виливанням; під тиском; вакуумним всмоктуванням; під низьким тиском; витискуванням; рідким штампуванням то-

що.

Галузь використання цих способів визначають багатьма факторами: типом виробництва; масою виливків (дрібні – до 100 кг, середні – до 1000 кг, великі – понад 1000 кг); точністю та чистотою поверхні виливка; ливарними властивостями сплавів; вартістю того чи іншого способу. Порівняльну характеристику основних способів лиття наведено в таблицях 5.1 і 5.2.

Розглянемо основні способи виготовлення виливків [3-5, 18, 22, 23].

Лиття в разові форми з піщано-глинистих сумішей – найбільш універсальний і поширений спосіб лиття. У машинобудуванні ним виготовляють 75...80% виливків (за масою). Спосіб економічно доцільний при будь-якому характері виробництва, для деталей будь-якої маси, конфігурації, габаритів практично з усіх ливарних сплавів.

На рис. 5.2. наведено виливок (*а*) і разову ливарну форму (*б*). Форму виготовляють в опоках (рамках) 1, які з'єднуються між собою центрувальними штирями 7. Форма складається з таких елементів: ливникової системи 5 (чаша, стояк, шлаковловлювач, живильники), верхньої 6 і нижньої 8 півформ з ущільненою сумішшю та вентиляційними каналами 9, порожнини 2, шишки (стрижня) 3, випорів 4.

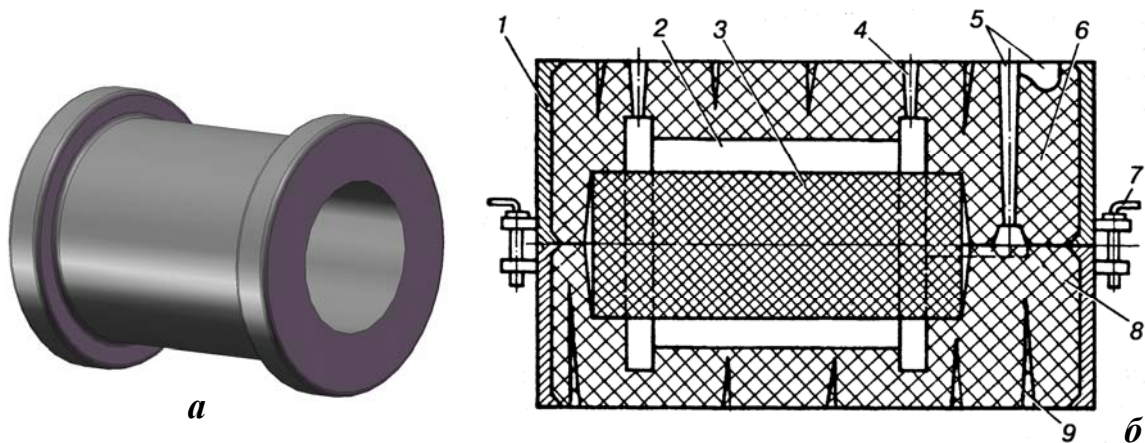


Рис. 5.2. Виливок і складена форма

Залежно від розмірів виливка й типу виробництва застосовують ручне, машинне або стрижневе формування. Машинне формування підвищує продуктивність праці, точність розмірів і термін служби моделі. Металеві (пластмасові) моделі в порівнянні з дерев'яними більш довговічні (в 10...30 разів) і мають більш високу точність.

Одержувані заготовки характеризуються низькою точністю (14...17 квалітет і грубіше), високими параметрами шорсткості ($Rz = 320...40$ мкм) і великими при-

пусками на механічну обробку. Вартість виготовлення виливків мінімальна, але вартість їх механічної обробки вища, ніж заготовок, отриманих іншими способами лиття. Лиття в піщані форми вимагає найбільших витрат металу. Даним способом одержують переважно виливки зі сталі, чавуну, рідше – з кольорових металів.

Цей спосіб найчастіше застосовується в одиничному й серійному виробництві. Застосування його в масовому виробництві можливе тільки при високому ступені механізації та автоматизації процесів підготовки формових і шишкових сумішей, формування опок з модельними плитами, виймання моделей з форми, складання, фарбування, сушіння та транспортування форм, конвеєрного заливання, вибивання й очищення виливків.

Лиття в оболонкові форми застосовують у серійному та масовому виробництві для виготовлення заготовок складної конфігурації, дрібних і середніх за масою (до 150 кг), з високими вимогами до шорсткості поверхні та точності розмірів практично з усіх сплавів. Спосіб економічний при виробництві відповідальних виливків (особливо з дорогого і важкооброблюваного матеріалу) в кількості 500...5000 шт. на рік.

Суть способу полягає у використанні у формовій суміші термореактивної смоли (наприклад пульвербакеліт), яка при незначному нагріванні плавиться, а при подальшому нагріванні полімеризується і необоротно твердне.

Застосовують такі способи виготовлення оболонкових форм: бункерний, піскодувний, пресувальний.

Виготовлення оболонок починається з нагрівання модельних металевих плит в електропечі до температури 220...280°C (рис. 5.3,*а*). При бункерному способі нагріту модельну плиту 1 (рис. 5.3,*б*) закріплюють моделлю вниз над бункером 2 з формовою сумішшю 3, яка складається з кварцового піску і домішки 4...6% смоли у вигляді порошку. Бункер разом з модельною плитою повертають на 180°, і формова суміш падає на модельну плиту (рис. 5.3,*в*). Смола суміші плавиться і зв'язує зерна піску в напівтверду кірку. Потім бункер повертається у вихідне положення, суміш, що не прореагувала, падає на дно бункера, а на модельній плиті залишається напівтверда оболонка 4 завтовшки 6...20 мм (рис. 5.3,*г*). Піщано-смоляна формувальна суміш містить дрібнозернистий пісок і має високу рухливість. Це дозволяє одержати більш високу точність відбитка й меншу висоту мікронерівностей поверхні вилівка.

У процесі піскодувного способу плакований смолою пісок наносять на модель за допомогою струменя стисненого повітря. В цьому разі оболонка має бі-

льшу міцність. А найбільш міцною є оболонка, утворена пресуванням за допомогою гнучкої (гумової) діафрагми, через яку на суміш діє надлишковий тиск (до 0,2 МПа) теплого повітря.

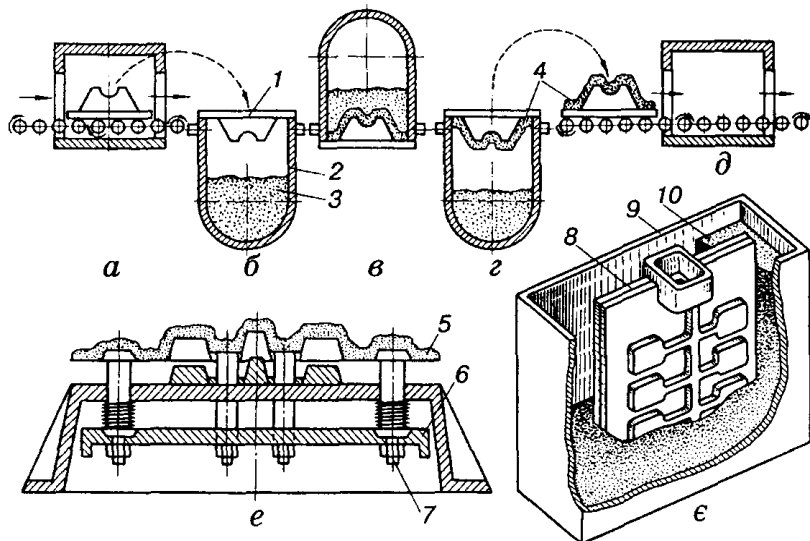


Рис. 5.3. Схема виготовлення оболонкової форми

Далі плиту подають у піч для остаточного затверднення оболонки при температурі 350...500°C (рис. 5.3,д). Готову тверду оболонку 5 знімають з модельної плити б за допомогою виштовхувачів 7 (рис. 5.3,е). Таким способом виготовляють обидві половинки форми та оболонкові шишки. Заключною операцією є складання оболонкової форми з півформ 8, які скріплюють скобами, струбцинами або склеюють по площині роз'язтя (рис. 5.3,є). Складену форму кладуть у металевий ящик 9, засипають грубим піском (або дробом) і заливають металом. При заливанні рідкого металу утворюється тонка "газова сорочка", що запобігає пригару формувальної суміші. Під дією високої температури смола з суміші поступово вигоряє, оболонка і шишки втрачають міцність, не перешкоджають усіданню металу і легко руйнуються при вибиванні виливка.

У результаті можуть бути досягнуті точність розмірів, що відповідає 12...16-му квалітетам, і параметр шорсткості поверхні $Rz = 20...10$ мкм.

У порівнянні з литтям у піщано-глинисті форми даний спосіб дозволяє зменшити обсяг обрубних і очисних робіт приблизно на 50%, витрати металу – на 30...50%, скорочує обсяг наступної механічної обробки на 40...50%, а витрати формувальної суміші – в 10...20 разів. Процес виготовлення виливків може бути повністю механізований.

Головним недоліком оболонкового лиття є висока вартість зв'язувальної речовини (фенолформальдегідних смол) та металевого модельного оснащення.

Лиття за виплавлюваними моделями застосовують для виготовлення точних і складних за конфігурацією заготовок масою від 0,02 до 100 кг (оптимальна маса – 0,2...12 кг) практично з усіх сплавів. Найбільшу рентабельність спосіб дає в серійному і масовому виробництві дрібних, але складних і відповідальних деталей з важкооброблюваних різанням і тиском сплавів (високолеговані сталі, жароміцні та жаростійкі сплави тощо), оскільки дозволяє майже повністю виключити механічну обробку виливків.

Суть цього способу полягає в тому, що за разовою легкоплавкою моделлю виготовляють нерознімну разову ливарну форму, з якої потім моделі виплавляють, а в утворену порожнину заливають метал.

Моделі та елементи ливникової системи виготовляють з легкоплавкої модельної маси (на основі парафіну, стеарину, церезину, каніфолі, воску) у металевих рознімних прес-формах, які дають точний відбиток майбутнього виливка з усіма внутрішніми порожнинами. Моделі 1 "припаюють" до загального стояка 2, утворюючи блок моделей (рис. 5.4).

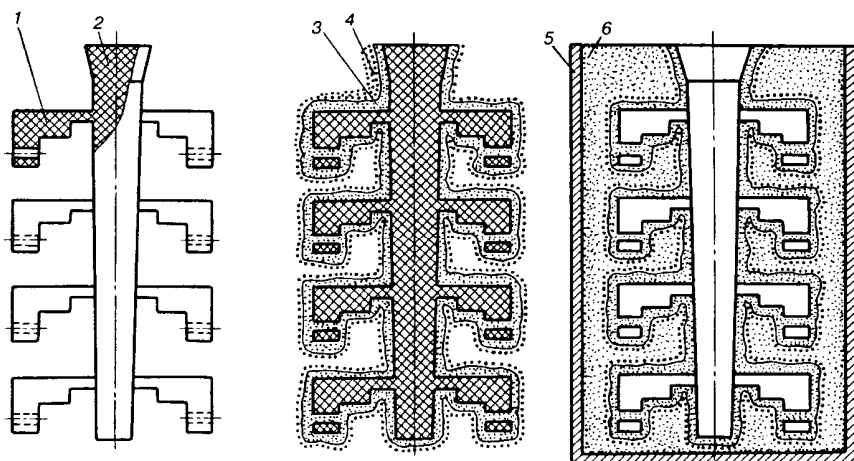


Рис. 5.4. Схема виготовлення форми за виплавлюваними моделями

Для виготовлення ливарної форми блок моделей занурюють у вогнетривку суміш (60...70% маршаліту і 30...40% гідролізованого етилсилікату), яка утворює на моделі тонкий шар 3, посипають кварцовим піском 4 і висушують на повітрі на протязі 2...4 годин. Цей процес повторюють 3...5 разів. Виплавляння моделі з оболонки виконують у ваннах з гарячою водою (90°C) або гарячим повітрям чи паром. Оскільки оболонка ще не досить міцна, її заформовують у металеві ящики 5 сухим піском 6 і випалюють у термічній печі при температурі 800...900°C, отримуючи міцну тонкостінну оболонку товщиною 1,5...4 мм.

Отримана форма не має рознімачів, формувальних уклонів і знакових частин. Це дає високу точність розмірів (до 11 квалітету) і взаємного розташування поверхонь. Як вогнетривка складова у формувальній суміші використовується квар-

цова пудра (маршаліт), завдяки чому можна досягнути параметра шорсткості поверхні $Rz = 20...10$ мкм.

Заливають рідкий метал у *гарячу* форму відразу після випалювання. Цим створюються сприятливі умови для заповнення форми й живлення виливка під час кристалізації, що дозволяє виготовляти тонкостінне литво.

Виливки вибивають з форм і відокремлюють від ливникової системи на вібраційних машинах. Вогнетривку масу видалити з порожнин дуже важко, тому заключною операцією є вилуговування залишків оболонки при температурі близько 120°C у ванні з лужним розчином і наступним промиванням виливків у воді.

Це найбільш складний, тривалий і трудомісткий спосіб лиття. Економія досягається за рахунок зменшення маси заготовки, зменшення обсягу її механічної обробки на $80...100\%$, скорочення витрат металу на ливникову систему в $1,5...2$ рази за рахунок виготовлення десятків виливків в одній формі.

Різновидами є способи лиття за *випалюваним* (пінополістирол, поліуретан), *розчинними* (карбамід) і *заморожуваними* моделям.

Лиття в постійні металеві форми (кокілі) – найбільш дешевий серед спеціальних способів лиття. Його головна особливість полягає в багаторазовому використанні металевої форми (з чавуну марок ВЧ 50, СЧ 18; сталей 25, 35, У7, У10, 30ХГС, 25ХНС17) замість разової піщаної. Стійкість чавунних кокілів становить при виготовленні сталевих лиття $50...500$ виливків, чавунного – $400...8000$ виливків, лиття з кольорових сплавів – тисячі й десятки тисяч виливків.

За *конструкцією* кокілі можуть бути нерознімними витрушуваними (рис. 5.5,*а*) або рознімними з горизонтальним (рис. 5.5,*б*) чи вертикальним (рис. 5.5,*в*) розняттям. Рознімний кокіль складається з двох половин *б* з напрямними штирями *10*. Щоб уникнути жолоблення, кокіль має ребра жорсткості *5* або йому надають коробчастої форми (рис. 5.5,*в*). Для прискорення охолодження зі зовнішнього боку кокілів виконують пальці або штирі *8*. Внутрішню порожнину у виливку утворює піщана *1* або металева *9* шишка. Метал заливають у ливникову чашу *3* і по стояку *4* та живильникам *7* він заповнює порожнину форми *2*. Повітря з форми при заливанні виходить через випори *11* і спеціальні щілини у площині розняття. Оскільки металеві шишки непаддатливі, їх видаляють із форми до початку усідання металу. Ливникову систему розміщують у площині розняття кокілю. Розкривають кокіль і виштовхують готовий виливок вручну або механізованим способом.

Для підвищення стійкості кокілів (інколи також для зменшення швидкості

охолодження) їхні робочі поверхні покривають вогнестійкими матеріалами та перед кожним заливанням фарбують.

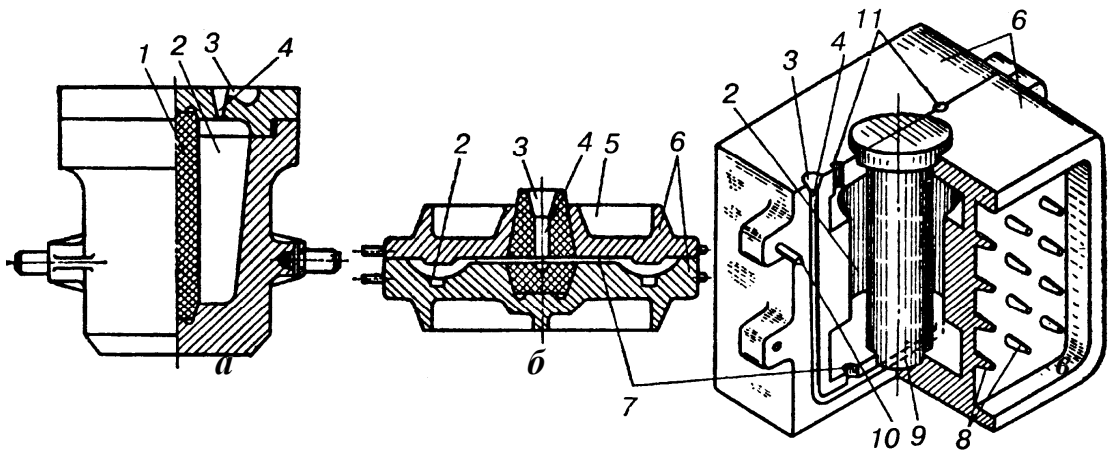


Рис. 5.5. Конструкції коків

Основні переваги кокільного лиття: не потрібні формові суміші і модельно-опокова оснастка; відсутні операції очищення виливків від суміші; добрі умови праці; не вимагає високої кваліфікації робітників; отримання виливків зі стабільними і точними розмірами (до 12 квалітету) та якісною поверхнею (до $Rz = 20$ мкм).

При переході з лиття в піщані форми на кокільне витрати металу зменшуються на 10...20% за рахунок скорочення ливникової системи, при досить великій програмі випуску знижується собівартість виливків приблизно на 30% і підвищується продуктивність праці в 4...6 разів; зменшуються необхідні виробничі площі. Підвищуються механічні властивості вилівка на 10...15% (завдяки значній швидкості охолодження і кристалізації сплаву утворюється щільна і дрібнозерниста структура). Трудомісткість механічної обробки внаслідок зменшення припусків і високої точності розмірів зменшується в 1,5...2 рази. Витрати на організацію ділянки кокільного лиття й ділянки відпалювання виливків при цьому окупаються за 2...3 місяця.

Недоліки цього способу: висока вартість коків, складність і тривалість їх виготовлення; невіддатливість кокілю, що збільшує небезпечність утворення тріщин у виливках та їх жолоблення через значні усадочні і термічні напруження; чавунні виливки відбілюються та вимагають додаткового відпалювання; утруднення виготовлення тонкостінних виливків (через підвищену швидкість їх охолодження) та виливків зі значною масою.

Тому кокілі застосовують для виготовлення нескладних за конфігурацією виливків з мідних, алюмінієвих і магнієвих сплавів, а також зі сталі і чавунів ли-

ше в серійному і масовому виробництві (спосіб економічно доцільний при одержанні з кожної форми не менше 300...500 дрібних або 50...200 середніх виливків на рік).

Відцентрове лиття полягає в заливанні рідкого металу у форму (металеву, керамічну, піщану чи комбіновану), яка обертається до закінчення кристалізації металу. Для цього використовують машини з *горизонтальною* (рис. 5.6,*а*), *вертикальною* (рис. 5.6,*б*) та *похилою* (рис. 5.6,*в*) віссю обертання форми. Нахил осі та швидкість обертання форми можуть змінюватись в процесі виливання заготовки.

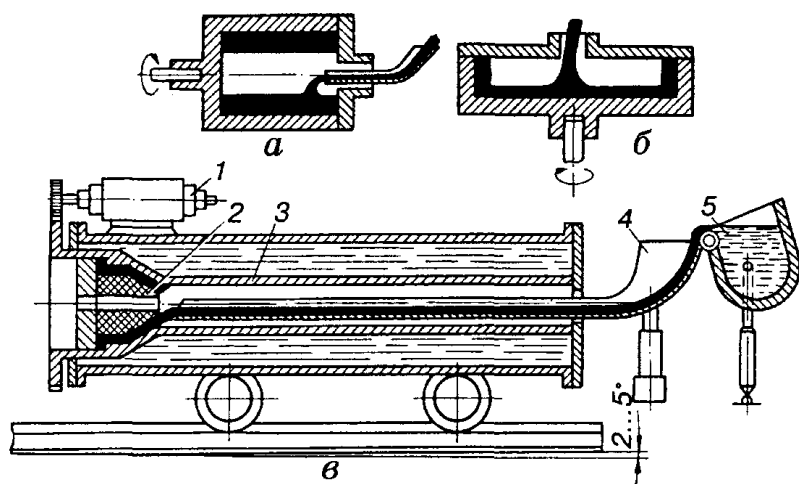


Рис. 5.6. Схеми відцентрового виливання

Цей спосіб застосовують у масовому і серійному виробництві виливків типу тіл обертання (циліндричних, параболічних, фасонних, тонкостінних, видовжених тощо) практично з усіх сплавів. До числа таких виробів належать труби різного призначення, втулки з фланцями, кільця підшипників ковзання, гарматні стволи, корпуси турбін, махові та зубчаті колеса.

Найбільш поширено застосовується відцентрове лиття у виробництві чавунних труб діаметром 50...1000 мм (рис. 5.6,*в*). Рідкий чавун з ковша 5 по нерухомому жолобу 4 надходить у охолоджуваний кокіль 3, який обертається електродвигуном 1. Залежно від заповнення металом кокіль переміщується на рейках ліворуч. Після затверднення металу електродвигун вимикають, трубу разом з шишкою 2 видаляють з форми ліворуч.

Заповнення форми і кристалізація металу відбуваються під дією відцентрових сил, що забезпечує значну щільність металу і підвищує рідкоплинність, гази і неметалеві домішки витискуються до внутрішньої порожнини виливка і можуть бути видалені механічною обробкою. Крім цього до *переваг відцентрового лиття* слід віднести: високу точність форми та розмірів виливків, якість зовнішньої поверхні; значно менші витрати металу завдяки майже повній відсутності ливни-

кової системи і додатків; відсутність витрат на виготовлення шишок; можливість виготовлення багат шарових і армованих виробів; високу продуктивність.

До *недоліків цього способу* належать: обмежена конфігурація виливків; неточність розмірів і низька якість внутрішньої поверхні; труднощі одержання виливків зі сплавів, схильних до ліквації; можливість виникнення тріщин через високі відцентрові сили і утруднене усідання виливка; висока вартість форм і машин для відцентрового лиття.

Електрошлакове лиття (ЕШЛ) полягає у використанні технології електрошлакового переплаву. При ЕШЛ плавлення металу, заповнення ним ливарної форми і затверднення виливка відбувається безперервно і одночасно. При звичайній ливарній технології ці операції роз'єднані, що погіршує якість металу виливка.

На рис. 5.7. наведено схему виготовлення заготовки прокатного валка методом ЕШЛ. Візок 4 переміщує електрод 5 униз, а візки 1, 2, 3 переміщують назустріч охолоджувані водою кристалізатори 6, 7, 8, в яких формуються відповідні шийки валка 9, 10, 11. При цьому ливарна форма (кристалізатор) виконує дві функції: є плавильним агрегатом і формує виливок. Кристалізація відбувається під шаром рідкого шлаку 12, який є джерелом теплоти, очищає метал від сірки та фосфору, захищає його від кисню і азоту повітря, виконує роль теплового додатка при кристалізації металу, що забезпечує одержання металу найвищої якості (висока чистота хімічного складу, відсутність ліквації, раковин, внутрішніх напружень).

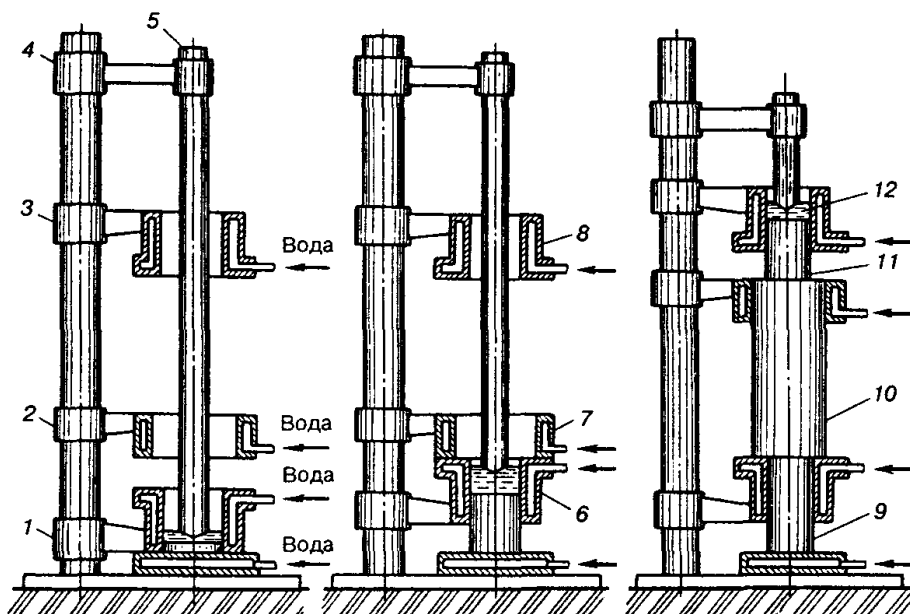


Рис. 5.7. Схема виготовлення заготовки прокатного валка електрошлаковим литтям

Способи електрошлакового лиття:

- плавлення електроду відбувається безпосередньо у кристалізатор (для прости́х за формою виливків);
- плавлення електроду у тиглі, з якого метал потім виливають у ливарні форми;
- "технологія доплавлення" – поєднання електрошлакового лиття з електрошлаковим зварюванням (для виливків складної конфігурації та значних розмірів; наприклад, з'єднання заздалегідь виготовлених шийок колінчастого вала електрошлаковим заливанням щік).

Переваги ЕШЛ: висока якість великих виливків (масою 60 тонн і більше); відсутність формувальних сумішей, ливникових систем, додатків; непотрібні плавильні та розливні агрегати, добрі умови праці, невеликі виробничі площі; економія металу (коефіцієнт використання металу 0,98).

Недоліком цього способу є висока вартість устаткування та технологічного оснащення.

ЕШЛ застосовують для виготовлення заготовок відповідальних деталей у енергетичному машинобудуванні (корпуси атомних реакторів, паропроводів високого тиску, парогенератори), у суднобудуванні (колінчасті вали дизелів), у металургії (прокатні валки, калібри трубопрокатних станів, кувальні штампи, кокілі для відцентрового лиття труб).

Лиття під тиском полягає в тому, що рідкий метал з великою швидкістю заповнює порожнину металевої прес-форми й кристалізується під тиском.

Найчастіше лиття під тиском застосовують в автомобільній, авіаційній, електро- й радіопромисловості, у приладобудуванні для виготовлення великими партіями невеликих, складних за конфігурацією, тонкостінних заготовок.

Лиття здійснюється на компресійних (60...500 заливань за годину) і поршне-вих (1000...3600 заливань за годину) машинах з гарячою чи холодною камерою стискування.

Машини з холодною камерою використовують для лиття алюмінієвих, магнієвих і мідних сплавів, рідше – сталі та чавуну. Холодна камера стискування 5 (рис. 5.8,а...в) відокремлена від ванни з рідким металом. Метал 4 заливають у камеру мірною ложкою або за допомогою пневматичного дозатора. Верхній поршень 1, опускаючись, тисне на метал (робочий тиск 100...300 МПа); водночас нижній поршень 10, також опускаючись, відкриває ливниковий канал 3. Метал заповнює порожнину прес-форми 2, яка складається з рухомої половини б (пуансон) і неру-

хомої половини 7 (матриця). Коли метал затвердне, пуансон відходить убік (рис. 5.8,б), виливок 9 разом з ливником 12 видаляється виштовхувачами 8. Надлишок металу 11 видаляється назовні нижнім поршнем 10.

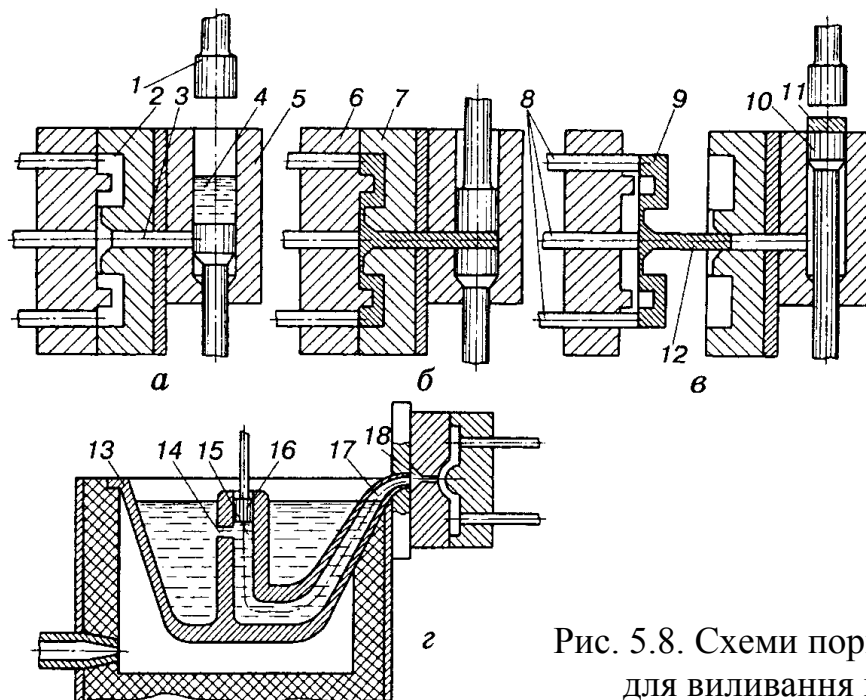


Рис. 5.8. Схеми поршневиx машин для виливання під тиском

Машина з гарячою камерою використовують для сплавів на основі цинку, свинцю, олова з температурою плавлення до 500°C . Гаряча камера стискання 15 (рис. 5.8,г) розміщена безпосередньо у ванні 13 з рідким металом 14 і тому працює в дуже важких умовах. Крізь ливник 17 метал під дією поршня 16 надходить у прес-форму 18 (робочий тиск до 20 МПа).

Основні частини прес-форм, які контактують з рідким металом, виготовляють з високолегованих сталей з точністю робочих поверхонь по 6...8-му квалітету і шорсткістю $Rz = 3,2...0,8$ мкм. Для сталевого та чавунного лиття прес-форми виготовляють зі спечених матеріалів на основі молібдену та вольфраму. Для підвищення продуктивності машин та стійкості прес-форм використовують водяне охолодження та змащування.

Дія високого тиску на метал усуває можливість утворення усадочних раковин, що дозволяє відмовитись від додатків. Розчинені в металі гази залишаються в розчині, що знижує газову пористість, підвищує щільність і міцність виливків. Спосіб дозволяє одержати заготовки з товщиною стінок до 0,5...2 мм, точністю розмірів до 9 квалітету й параметром шорсткості поверхні $Rz = 40...10$ мкм. Можливе отримання отворів малого діаметра (до 1...2 мм), готової різьби, армованих виливків. Заготовки не потребують механічної обробки (за виключенням посад-

кових місць).

У порівнянні з литтям у піщані форми маса виливка знижується в кілька разів, а витрати на виготовлення одного виливка (при досить великій партії заготовок) – на 16...36%. У той же час зростають витрати на встаткування і його ремонт (до 70%). Але в собівартості виготовлення деталі ці витрати становлять близько 10...15%. Тому економія витрат на матеріал виливка й зниження трудомісткості набагато перевищують витрати на виготовлення й відновлення технологічного оснащення. Перевагою цього способу є також висока продуктивність праці і взаємозамінність виготовлених деталей.

Недоліки лиття під тиском – складність і тривалість виготовлення пресформи, її висока вартість і невелика стійкість, особливо при виливанні сплавів з високою температурою плавлення (сталь, чавун, мідні сплави). У металевих пресформах важко виготовити й витягти виливки зі складними порожнинами. Через невіддатливість і газонепроникність форми можлива поява залишкових напружень, тріщин, газових і усадочних раковин у виливках. Це обмежує номенклатуру виливків і сплавів, з яких вони можуть бути виготовлені.

Для кольорових сплавів (переважно алюмінієвих) застосовують також *лиття під низьким тиском*. Його виконують у спеціальних формах (металевих, земляних, шишкових, гіпсових тощо), з'єднаних металопроводом з герметичною ванною рідкого металу, над поверхнею якого за допомогою стисненого повітря чи інертного газу створюється низький надлишковий тиск, що забезпечує надійне подавання рідкого розплаву в порожнину форми [5].

Штамування рідкого металу – це різновид лиття під тиском, що об'єднує в собі процеси лиття та об'ємного гарячого штампування. Суть способу полягає в тому, що у металеву форму заливають порцію рідкого сплаву 2 та, опускаючи металевий пуансон 1, стискають залитий сплав між ним і матрицею 3 (рис. 5.9). Ущільнення металу та остаточне формоутворення відбувається під час кристалізації чи пластичного деформування після її закінчення, коли метал перебуває в напівпластичному стані (тиск на розплавлений метал – 150...500 МПа, час витримки – 5...15 с). Після затверднення виливок видаляють з форми виштовхувачем 4. Конструкція форм аналогічна до закритих штамів для гарячого об'ємного штампування, матеріал форм – теплостійкі сталі типу ХВГ, ЗХВ8.

Штамування здійснюють на гідравлічних, фрикційних, гвинтових пресах та спеціальних машинах двома варіантами:

- з кристалізацією під поришневим тиском, коли основна маса металу не переміщується відносно стінок матриці (рис. 5.9,а);

- з витискуванням рідкого металу пуансоном з одних частин матриці в інші (рис. 5.9,б).

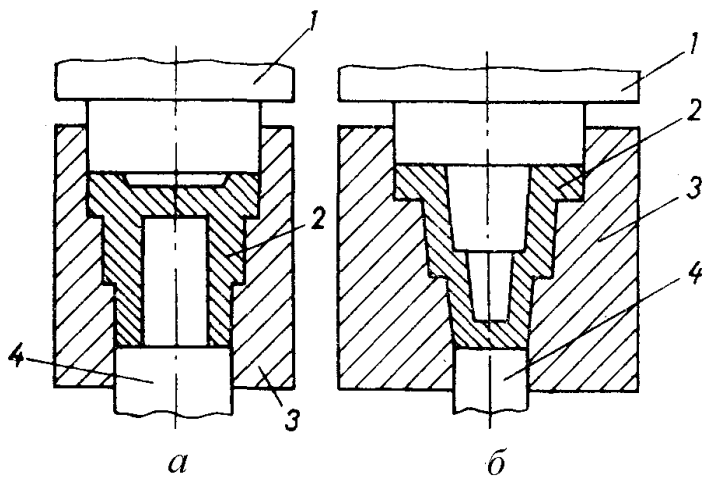


Рис. 5.9. Штампування рідкого металу з кристалізацією під тиском (а) і з витискуванням (б)

В обох випадках вилівок кристалізується і повністю твердне під високим тиском, що забезпечує отримання чітких граней, високої точності заготовки (11...14 квалітет, шорсткість поверхні $Rz = 2,5...1,25$ мкм) і найвищих механічних властивостей металу порівняно з іншими способами лиття.

Цей спосіб застосовують для виготовлення заготовок різної складності (масою переважно до 10 кг) з мінімальними припусками на обробку, здебільшого, з кольорових сплавів в умовах серійного і масового виробництва. Штампування виливків з чавуну та сталей (зокрема легованих) вимагає додаткового теплового захисту поверхонь форми спеціальними сумішами та регулювання швидкості охолодження чавунних виливків для запобігання їх відбілювання. Для виготовлення складних за формою виливків застосовують різні матриці, висувні шпиги, телескопічні пуансони тощо.

Спосіб суміщає переваги лиття під тиском і гарячого штампування. Порівняно з литтям під тиском штампування рідкого металу виконується під вищим тиском, тому метал добре ущільнюється, має більш дрібнозернисту та рівномірну структуру, повністю усуваються ливарні дефекти (газові й усадочні раковини, ліквация), значно підвищуються його механічні властивості. Відсутні ливникова система і добавки, коефіцієнт використання металу досягає 0,9...0,93. Спосіб забезпечує більш високу стійкість форм, дозволяє отримувати як тонкостінні, так і товстостінні заготовки з усіх ливарних сплавів.

Порівняно з гарячим штампуванням цей спосіб усуває необхідність одержання вихідної заготовки (вилівка, прутка); дає змогу виготовляти заготовки як з деформовних, так і з ливарних, малопластичних і крихких сплавів, отримувати глибокі порожнини, тонкі перетини з великими лінійними розмірами; відзначається значно меншими (у 6...8 разів) витратами енергії на формоутворення; під-

вищує точність форми, розмірів, якість поверхні заготовки; зменшує знос штампу, витрати матеріалу, трудомісткість виготовлення деталі з заготовки.

Основними недоліками способу є обмеження номенклатури виливків за масою та складністю конфігурації, потреба у точному дозуванні розплавленого металу, невеликий термін служби форм та висока вартість основного устаткування.

Умовну оцінку окремих показників технологічного процесу виготовлення виливків та їх якості для основних способів лиття наведено у таблиці 5.1 (найвища оцінка – 1, найнижча – 5).

Порівняльну характеристику способів лиття наведено в табл. 5.2.

Таблиця 5.1. Умовна оцінка показників технологічного процесу та якості виливків для основних способів лиття

Показник	Спосіб виготовлення				
	під тиском	за виплавлюваними моделями	в оболонковій формі	у кокіль	у піщано-глинистій формі
Точність форми та розмірів	1	2	3	4	5
Складність конфігурації	3	1	4	5	2
Тонкостінність	1	2	3	5	4
Універсальність за матеріалом вилівка	4	2	3	5	1
Час на освоєння випуску	5	3	4	2	1
Вартість оснащення	5	2	3	4	1
Вихід якісної продукції	1	2	4	5	3
Економічність у серійному виробництві	1	5	4	2	3
Продуктивність праці	1	5	3	2	4

5.4. Ливарні сплави

5.4.1. Ливарні властивості сплавів

Ливарні сплави, насамперед, повинні задовольняти експлуатаційним вимогам, тобто мати достатню міцність, твердість, пластичність, низьку крихкість, високу ударну в'язкість, а також, якщо необхідно, особливі фізико-механічні властивості (електропровідність, магнітна проникність, жаростійкість тощо). При цьому можливість одержання якісних виливків, тонкостінних, складних за формою, великогабаритних, без раковин, тріщин та інших ливарних дефектів визначається ливарними (технологічними) властивостями сплавів, до яких належать: рідкотекучість, усадка, схильність до ліквідації й газобірання.

Таблиця 5.2. Порівняльна характеристика способів лиття

Спосіб лиття	Тип виробництва ¹	Матеріал випливі	Маса випливка, кг	Мінімальна товщина стілки, мм	Клас точності розмі- рів випливі за ГОСТ 26645-85	Досажна точність розмірів, квалітет	Шорсткість поверхні випливка Rz, мкм	Коефіцієнт використання матеріалу заготовки	Відносна собоартість ² лиття	Економічно доцільна партия випливі	Технологічні особливості способу	Область застосування														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13														
У піщано-глинисті форми	О, С	чавун, сталь, кольорові метали і сплави	10... 200000	3...8	9...16	14...17	320... 40	0,55...0,71	сірий чавун – 1; ковкий чавун – 1,25; сталеве лиття – 1,04...2,08	1 і більше	можливе виготовлення випливів будь-яких розмірів, маси і конфігурації, особливо таких що вимагають великої кількості шпичок	фланці, кришки, втулки, циліндри, шестерні, шківни, маховики, диски, котли, ва- желі, рами, траверси, стани- ни, бабки, головки і блоки циліндрів, корпуси насосів, редукторів, машин	13													
														В оболонкові форми	С, М	чавун, вуглецева і легова- на сталь, ко- льорові мета- ли	0,1... 150	2...4	4...11	12...15	160... 20	0,85...0,90	вуглецеві сталі – 1...10	200... 400 і більше	відповідальні фасонні тонко- стінні випливи компактної фор- ми	втулки, муфти, фланці, кронштейни, блоки цилінд- рів, колінчасті вали, зубчасті колеса, зірочки, шківни, кри- шки
У ковчіль	С, М	сталь, чавун, кольорові метали	0,1... 7000	3...6	7...13	12...15	80...20	0,71...0,85	сірий чавун – 0,75...1,25; вуглецеві сталі – 1,25...1,7; алюмінієві сплави – 5...6,25	20... 100 ³ ; 400 і більше ⁴	виготовлення товстостінних випливів простої та середньої складності	муфти, втулки, стакани, ма- ховики, колеса, поршні, ко- рпуси, диски, коробки по- дач, лопатки гідротурбін, колінчасті вали, букси														

Разові форми

Багаторазові форми

Продовження табл. 5.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Відцентрове	М, С	сірий чавун, сталь, мідні сплави, біметали	0,1...3000	3...4	5...12	13...15	80...20	0,70...0,80	сірий чавун – 1...1,25	100 і більше	деталі, що мають вісь симетрії	труби, кільця, втулки, гільзи, корпуси турбін, маслоти для поршневих кілець, шестерні, бандажі, колеса, фланці, шкві, маховики, гальмівні колодки, вали, важелі, двошарові заготовки
Електрошлякове	С, М	чавун, сталь	100...50000	10...20	4...12	12...15	80...20	0,95...0,98		25 і більше ³	великогабаритні деталі відповідального призначення	корпуси реакторів, парогенераторів, шестерні, труби, валки і калібри прокатних станів, вали суднових двигунів, колінчасті вали, кувальні штампи, кокіл, ведучі колеса тракторів
Під тиском	М, С	цинкові, алюмінієві, магнієві, свинцеві, олов'яні, мідні сплави, сталь	0,001...30	0,5...3	3т...8	9...13	40...3,2	0,95...0,98	Алюмінієві сплави – 6,3...6,7; цинкові сплави – 5...12,5	1000 і більше	тонкостінні виливки складної конфігурації	корпуси і деталі приладів, панелі, плати, шестерні, штепсельні рознімання, трійники, коліна, кільця електродвигунів, блоки двигунів
Штампування рідкого металу	М, С	алюмінієві, мідні, магнієві сплави, чавун, легировані сталі	0,01...300	2	3...10	11...14	2,5...1,25	0,90...0,93		100 і більше	заготовки різної складності; відповідальні деталі; масивні і товстостінні виливки без газових раковин і пористості	втулки, циліндри, кільця, фланці, кришки, деталі апаратури високого тиску, сіла компресорів, під'ятники, зубчасті колеса, зірочки, шкві, ручки, лопатки, ковпачки, панелі, щитки, патрубки, сепаратори підшипників, армовані деталі, прес-форми для пластмас

¹ Умовні позначення типів виробництва: О – одиничне, С – серійне, М – масове.

² За одиницю прийнято собівартість лиття сірого чавуну в піщано-глинисті форми.

³ Для великогабаритних виливків.

⁴ Для дрібних виливків.

Рідкотекучість – здатність рідкого металу заповнювати дрібні порожнини ливарної форми й чітко відтворювати обриси виливка. Рідкотекучість залежить від хімічного складу, температури сплаву, який заливають у форму, і теплопровідності матеріалу форми. Фосфор, кремній і вуглець поліпшують її, а сірка погіршує. Сірий чавун містить вуглецю й кремнію більше, ніж сталь, і тому має кращу рідкотекучість. Високу рідкотекучість мають такі сплави: сірий чавун, силумін, сплави на цинковій основі; середню – білий і модифікований чавун, латунь; низьку – сталь.

Підвищення температури рідкого металу поліпшує рідкотекучість, і чим більше його перегріти, тим більш тонкостінний виливок можна виготовити. Збільшення теплопровідності матеріалу форми знижує рідкотекучість. Так, піщана форма відводить теплоту повільніше й розплавлений метал заповнює її краще, ніж металеву форму, яка інтенсивно охолоджує розплав. Мінімумально можлива товщина стінки виливка для різних ливарних сплавів через різну рідкотекучість неоднакова й становить (при литті в піщані форми) для виливків із сірого чавуну: дрібних – 3...4 мм, середніх – 8...10, великих – 12...15 мм; для виливків зі сталі – відповідно 5...7 мм, 10...12 і 15...20 мм.

Рідкотекучість металу визначають шляхом заливання спеціальних технологічних проб і характеризують лінійними розмірами заповненої порожнини каналу певної форми. Заливаючи метал при різних температурах перегріву, знаходять оптимальну температуру заливання форми для даного сплаву.

Усадка – зменшення об'єму матеріалу та лінійних розмірів виливка в процесі його кристалізації та подальшого охолодження в твердому стані. На усадку впливають хімічний склад сплаву, температура його заливання, швидкість охолодження сплаву у формі, конструкція виливка й ливарної форми. Так, усадка сірого чавуну зменшується зі збільшенням вмісту вуглецю й кремнію, алюмінієвих сплавів – з підвищенням вмісту кремнію. Збільшення температури заливання й швидкості відводу теплоти від залитого у форму сплаву призводить до зростання усадки виливка.

Розрізняють лінійну й об'ємну усадку, %:

$$\varepsilon_{\text{л}} = (l_{\text{ф}} - l_{\text{в}}) \cdot 100 / l_{\text{в}};$$

$$\varepsilon_{\text{об}} = (V_{\text{ф}} - V_{\text{в}}) \cdot 100 / V_{\text{в}},$$

де $l_{\text{ф}}$, $V_{\text{ф}}$ – відповідно лінійний розмір і об'єм порожнини форми; $l_{\text{в}}$, $V_{\text{в}}$ – лінійний розмір і об'єм виливка при температурі 20°C.

Лінійна й об'ємна усадки пов'язані співвідношенням $\varepsilon_{\text{об}} \approx 3\varepsilon_{\text{л}}$.

Внаслідок *об'ємної усадки* під час кристалізації не вистачає металу для запо-

внення всієї порожнини форми. Оскільки кристалізація поширюється з периферії стінки вилівка до її центра, не вистачатиме металу там, де він кристалізується останнім, тобто в центрі масивних перерізів стінки вилівка. В цих місцях утворюються порожнини (концентровані усадочні раковини 1 або усадочна пористість, рис. 5.10,*а*). При правильному урахуванні усадочних процесів затвердіння вилівка повинне йти знизу вгору з утворенням концентрованої усадочної раковини у додатку 2, який потім відрізається від вилівка (рис. 5.10,*б*).

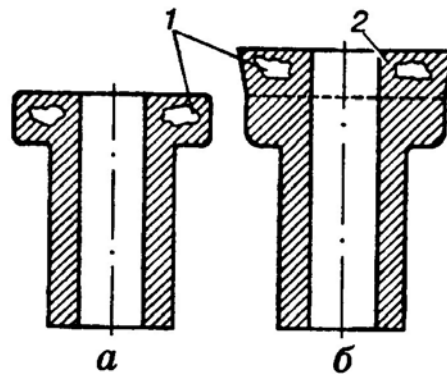


Рис. 5.10. Утворення усадочних раковин внаслідок об'ємної усадки

Якщо не можна зробити таку конструкцію вилівка, яка б тверднула спрямовано, то слід зрівняти швидкість охолодження тонких і товстих перерізів, установлюючи у формі холодильники. *Холодильники* – це металеві вставки, які встановлюють у ливарній формі для прискорення кристалізації товстих перерізів стінок вилівка (тобто в місцях скупчення металу). Холодильники бувають внутрішні і зовнішні (рис. 5.11). Внутрішні у вигляді шпильок 1 встановлюють безпосередньо в порожнині ливарної форми і потім заливають металом. Їх маса становить 5...10% від маси металу в певній частині вилівка. Зовнішні холодильники 2, 3, 4, 5 (з чавуну або сталі) встановлюють у стінках ливарної форми для відтворення її зовнішніх обрисів, їх переріз залежить від перерізу вилівка.

Лінійна усадка металу вилівка відбувається в твердому стані при охолодженні до нормальної температури, коли зменшуються лінійні розміри вилівка. При цьому відбувається механічне й термічне гальмування усадки. Механічне гальмування виникає внаслідок тертя між вилівком і формою – виступи форми та шишки затримують лінійну усадку. Термічне гальмування обумовлене різними швидкостями охолодження окремих частин різностінного вилівка. Складні за конфігурацією вилівки зазнають спільного впливу механічного й термічного гальмувань, внаслідок чого у вилівку виникають внутрішні напруження, які можуть призвести до жолоблення вилівка або навіть до утворення тріщин. Якщо формова і особливо шишкова суміші мають достатню податливість, а конструк-

ція виливка правильні конфігурацію та співвідношення товщин стінок (див. п. 5.5), то ці напруження значно зменшуються.

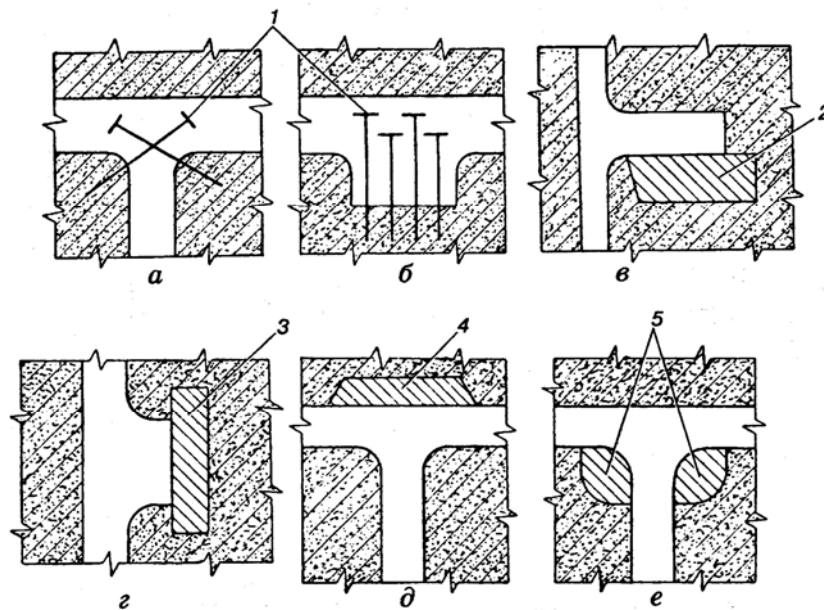


Рис. 5.11. Внутрішні та зовнішні холодильники

Лінійну усадку вимірюють на тонких горизонтально залитих зразках. Визначаючи розміри ливарних форм і моделей, враховують лінійну усадку: для сірого чавуну – близько 1%, для вуглецевої сталі – 2%, для сплавів кольорових металів – 1,2...1,7%.

Ліквация – це неоднорідність хімічного складу матеріалу в перетині виливка, що призводить до неоднорідності механічних властивостей заготовки. Схильність до ліквации залежить від хімічного складу сплаву, швидкості охолодження сплаву й розмірів виливка. Розрізняють ліквацию дендритну (в межах одного зерна – дендриту), зональну (у всьому об'ємі виливка), за густиною, неметалічними включеннями та іншими факторами. Для зменшення ліквации збільшують швидкість охолодження виливка.

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

Зональна ліквация виникає внаслідок розподілу ліквацийних елементів по перерізу стінки виливка в умовах повільного твердіння при недостатній швидкості охолодження. Так, тонкі стінки виливка будуть чисті й однорідні за складом, у той час як товсті стінки (особливо середина перерізу) будуть мати ліквацию. У виливках зі сталі та чавуну найбільше ліквують сірка, фосфор, вуглець. У крупних виливках із сталі різниця вмісту цих елементів (порівняно з аналізом рідкого

металу) становить: сірка 500%, фосфор і вуглець по 300%, що дуже позначається на міцністних властивостях. Зональну ліквідацію не можна усунути термічною обробкою, тому, якщо немає можливості зробити виливок рівностінним, то слід застосовувати спрямоване затверднення виливка.

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

Газовбирання – це здатність сплавів у рідкому стані розчиняти з повітря кисень, азот і водень. Їх розчинність зростає з перегрівом розплаву (з температурою заливання). Рух металу у формі дрібними струменями або турбулентними потоками також сприяє підвищенню розчинності газів. При охолодженні в ливарній формі газонасиченого розплаву розчинність газів знижується й вони, виділяючись із металу, можуть утворити у виливку газові раковини. Тому формувальна та шишкова суміші мають бути газопроникними.

Отже, технологічні ливарні сплави повинні мати хорошу рідкотекучість, малу усадку, не бути схильними до ліквідації та газовбирання. Крім цього ливарні сплави повинні мати хорошу *зварюваність*, тому що багато ливарних дефектів можуть бути виправлені шляхом заварювання.

5.4.2. Класифікація ливарних сплавів та їх основні характеристики

Для виробництва виливків використовуються різні сплави (основні ГОСТи містять близько 300 ливарних сплавів), класифікацію яких наведено на рис. 5.12 [2, 5, 18].

Приблизно 77% (за масою) всіх виливків у машинобудуванні виготовляють із *чавуну*. Цьому сприяє найнижча серед всіх ливарних сплавів вартість чавуну, його порівняно висока міцність і добрі ливарні властивості.

У ливарному виробництві 94% чавунних виливків за масою виготовляють із *сірого чавуну* марок СЧ10, СЧ15, СЧ18, СЧ20 й ін. Механічні властивості чавунів залежать від хімічного складу, структури й масивності виливка. Механічні властивості сірих чавунів можна істотно поліпшити при одночасному збереженні високих ливарних властивостей, застосовуючи модифікування й легування.

Приблизно 5% чавунних заготовок виготовляють із *ковкого чавуну*. Найбільш холодними марками ковкого чавуну є КЧ37-12, КЧ35-10, КЧ33-8, КЧ30-6. Ковкий чавун має високу міцність і зносостійкість, займаючи за механічними властивостями проміжне положення між сірим чавуном і сталлю. Виготовляючи

випливи з ковкого чавуну, потрібно перед заливанням форми перегріти метал до 1400...1450°C, що потребує використання формових і шпикових сумішей з підвищеною вогнетривкістю. Значна об'ємна усадка (5%) примушує встановлювати додатки або холодильники біля місцевих стовщень випливи, а збільшена лінійна усадка – використовувати піддатливі суміші. Слід зазначити, що процес виготовлення випливи з ковкого чавуну тривалий і енергоємний, тому в багатьох випадках значно економічніше одержання їх з модифікованих або високоміцних чавунів.

Високоміцний чавун марок ВЧ45, ВЧ50, ВЧ60, ВЧ70 за механічними і ливарними властивостями наближається до сталей, але дешевший (у середньому на 25%), плавиться при більш низькій температурі, краще обробляється різанням.

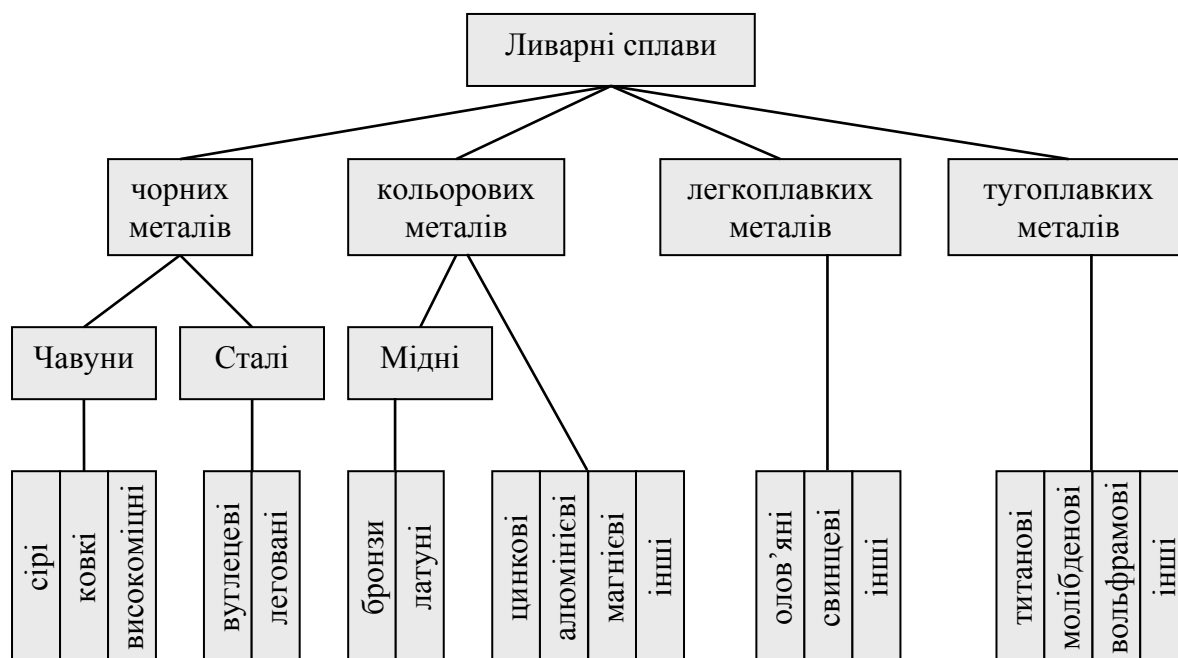


Рис. 5.12. Класифікація ливарних сплавів

Зі *сталі* виробляють близько 21% всіх випливи за масою. За хімічним складом сталі поділяються на *вуглецеві* й *леговані*. Останні залежно від кількості легуючих елементів діляться на низьколеговані (до 2,5%), середньолеговані (від 2,5 до 10%) і високолеговані (понад 10%). Випливи зі сталі мають такі переваги перед чавунними: більшу міцність, що дає можливість зменшити переріз випливи і масу конструкції в цілому; добре зварюються, завдяки чому можна виготовляти складні крупні випливи з кількох частин і легко виправляти дефекти.

Ливарні сталі 15Л, 20Л, 45Л, 10Х18Н9ТЛ, 110Г13Л мають пониженою рідко текучістю, велику усадку і значну ліквацию. У зв'язку із цим витрати металу на випливи збільшуються приблизно в 1,6 рази в порівнянні з чавунним, а техноло-

гія виготовлення форм для фасонного сталевого литва є найбільш складною і трудомісткою. Висока температура плавлення потребує використання більш вогнетривких формових і шишкових сумішей. Значна лінійна і об'ємна усадки сталі потребують виготовлення піддатливих форм і шишок; конструювання виливків з ребрами жорсткості, щоб запобігти утворенню тріщин; використання холодильників або встановлення додатків. Витрата металу на додатки, складна технологія виготовлення форми, відпалювання виливків, трудомістке обрубання й очищення виливків, відрізування додатків – усе це підвищує вартість литва зі сталі й тривалість виробничого циклу. Тому фасонне литво зі сталі використовують тоді, коли потрібно підвищити міцність і пластичність деталі й коли складність і розміри конструкції не дають змоги виготовити її куванням або штампуванням.

Лиття з **кольорових сплавів** становить приблизно 4% (за масою) у загальному обсязі ливарного виробництва. Найбільше розповсюджені сплави на основі міді – бронзи й латуні.

Бронзи, застосовувані в ливарному виробництві, підрозділяються на дві групи: олов'яні (БрО10Ф1, БрО5И5С5, БрО5С25 й ін.) і безолов'яні (БрС30, БрА10Ж4Н4Л, БрА9Мц2Л й ін.). Бронзи відрізняються високими механічними, корозійними й антифрикційними властивостями. Вони мають добру рідкотекучість, але порівняно велику усадку і схильність до окислювання.

Ливарні латуні (ЛЦ16К4, ЛЦ40Мц3Ж, ЛЦ30А3 та ін.) мають складний хімічний склад. Крім цинку, до їх складу входять Al, Fe, Mn й інші елементи. Латуні мають більш високі ливарні властивості, ніж бронзи, тому з них легше отримати щільні, герметичні виливки.

Алюмінієві ливарні сплави (АЛ2, АЛ3, АЛ6, АЛ7 й ін.) містять, як правило, у незначних кількостях Mg, Si, Cu, Mn, Ni, Zn та інші елементи. За переважаючим після алюмінію елементом вони поділяються на п'ять основних груп: кремнієві ($Si \geq 5\%$), магнієві ($Mg \geq 4\%$), мідні ($Cu \geq 4\%$), цинкові ($Zn \geq 3\%$) і складні за складом, що відрізняються підвищеною жаростійкістю. Їх високі ливарні властивості дозволяють одержувати тонкостінні й складні за формою виливки з високими механічними властивостями.

Магнієві ливарні сплави (МЛ5, МЛ6, МЛ8) містять до 10% Al, 3% Zn, 0,5% Mn. Вони в 4,5 рази легші від сплавів чорних металів і у 1,5 рази – від алюмінієвих. Заміна алюмінієвих сплавів магнієвими зменшує масу виливків на 25...30% при збереженні їх міцності. Але ці сплави поступаються алюмінієвим за пластичністю й корозійною стійкістю. Сплави мають погану рідкотекучість, велику усадку, схильні до утворення усадочних раковин. Вони здатні запалюватися в рідкому стані, що утруднює виготовлення виливків. Сплави, додатково леговані цирконі-

ем і торієм, можна тривалий час експлуатувати при температурі до 350°C і короткочасно – при температурі до 450°C.

Сплави на основі нікелю мають підвищені корозіє- і жаростійкість, жароміцність, особливі електричні та магнітні властивості. Основою цих сплавів є система Ni+Cr+Fe+Mo, а легуючими добавками – Ti, Al, W, Nb, Zr, C (наприклад, ливарні сплави типу німонік – ЖС6, ВЖЗ6-Л1, ВЖЛ12У). Деталі з них виготовляють точним литтям за виплавлюваними моделями.

До **тугоплавких** відносяться сплави на основі титану, вольфраму, молібдену, ніобію, ванадію. Ці сплави мають високу температуру плавлення (1700...3500°C) і вирізняються підвищеною міцністю при високих температурах. Як конструкційний матеріал частіше використовують *титанові сплави*. Для фасонних виливків застосовують сплави: ВТ1Л, ВТ5Л, ВТ6Л, ВТЗ-1Л та ін., які характеризуються малим інтервалом температур кристалізації й високою хімічною активністю щодо навколишнього середовища й формувальних матеріалів.

Цинкові сплави (ЦАМ10-4) в якості легуючих елементів можуть містити мідь, алюміній і в незначних кількостях – магній і марганець.

Легкоплавкими є сплави на основі вісмуту, олова, свинцю й кадмію. Ці сплави мають температуру плавлення 70...330°C, малу міцність, але високу пластичність і велику густину.

Механічні властивості литих сплавів завжди гірші, ніж деформованих, внаслідок більшого розміру кристалів, неоднорідності структури, пористості та інших дефектів лиття. Механічні характеристики неоднорідні по перерізу вилівка (біля поверхні метал має вищу твердість і міцність, ніж всередині). Міцність вилівка залежить від температури заливання, товщини стінки, способу виготовлення та характеру охолодження вилівка у формі.

Докладні відомості про властивості ливарних сплавів наведені у відповідних стандартах і довідниках.

5.4.3. Області раціонального застосування ливарних сплавів

Вибір матеріалу вилівка в першу чергу залежить від умов експлуатації деталі в зібраній машині: навантажень, температури, агресивності навколишнього середовища й інших факторів. Немаловажне значення при виборі матеріалу відіграє складність і точність виливків.

Фасонні деталі, що не зазнають ударних навантажень, дії розтягання й вигину, виготовляють звичайно із чавуну. Для фасонних деталей машин, що працюють у тяжких умовах і зазнають великих навантажень, застосовують сталь. Оде-

ржання великих виливків зі сталі утруднено.

Сірий чавун, широко використовуваний для виготовлення корпусних деталей, є добрим конструкційним матеріалом, найбільш дешевим із ливарних сплавів і має добрі технологічні властивості (рідкотекучість, мінімальна лінійна усадка, порівняно невисока температура плавлення, оброблюваність різанням). Механічні, фізичні, технологічні й інші властивості чавуну можна змінювати в досить широких межах, що значно розширює область використання цього матеріалу.

Із сірого чавуну марок СЧ15, СЧ20 відливають корпусні деталі металорізальних верстатів, сільськогосподарських машин, відцентрових насосів, редукторів і багато інших. Відповідальні деталі автомобільних і тракторних двигунів (блоки, циліндри, головки), які повинні мати підвищену міцність, виготовляють із сірого чавуну марок СЧ25, СЧ30.

Корпуси високонапорних відцентрових багатоступінчастих насосів випускають зі *сталевого лиття* й *високоміцного чавуну*.

Корпуси парових турбін, що працюють при тисках до 200 Н/см^2 і температурі до 250°C , роблять із сірого чавуну марки СЧ25 і модифікованого чавуну марки СЧ30. Корпуси парових турбін, що працюють при температурі $250\text{...}400^\circ\text{C}$, виробляють із вуглецевої сталі марки 30Л. Для парових турбін, що працюють при температурі $400\text{...}500^\circ\text{C}$, застосовують молібденові й хром-молібденові сталі марок 30ХНМЛ, 35ХГСЛ. Для більш високої температури корпуси роблять зі сталі із присадкою ванадію й титану (сталь марки 13ХНДФТЛ).

Для корпусних деталей, що працюють в умовах вібрації або зазнають значних згинаючих і крутильних моментів і ударних навантажень, застосовують *ковкий чавун* або *сталь* (наприклад, корпуси редукторів самохідних комбайнів; корпуси заднього моста, диференціала, керма).

Для деталей, що працюють у специфічних умовах, застосовують *високолеговані сталі* зі спеціальними властивостями: корозійностійкі (25Х18Л й ін.), кислототривкі (15Х18Н9ТЛ й ін.), жаростійкі (15Х9С2Л й ін.), жароміцні (15Х22Н15Л й ін.), зносостійкі з високою опірністю зношуванню при абразивному й ударному впливах у різних умовах (110Г13Л, 15Х34Л й ін.). Варто пам'ятати, що всі високолеговані сталі мають низькі ливарні властивості.

Більшість *кольорових сплавів* мають відмінну рідкотекучість й оброблюваність. Однак застосування їх у машинобудуванні обмежено нижчими, ніж у чорних металах, механічними властивостями й головним чином набагато вищою вартістю і дефіцитністю.

Корпуси арматури і насосів, що перекачують морську воду, виготовляють із *бронзи* й *латуні*.

Алюмінієві сплави широко використовують в автомобільній, авіаційній та інших галузях промисловості для виготовлення поршнів, корпусів і головок двигунів, деталей приладів.

Магнієві сплави набули широкого застосування в приладобудуванні й авіаційній промисловості для виготовлення виливків, які працюють при невеликих навантаженнях (кронштейни, деталі двигунів, інструменти, корпуси приладів, фотоапаратів, друкарських машинок та ін.).

Особливу групу становлять *зносостійкі підшипникові сплави*, застосовувані для виготовлення вкладишів підшипників ковзання. Ці сплави (бабіти Б83, Б16, БК й ін.) складаються зі свинцю й олова з добавками твердих складових (сурми, кадмію, нікелю, телуру, кальцію й ін.). Бабіти Б89 і Б83 застосовують у найважливіших вузлах тертя двигунів внутрішнього згоряння, турбокомпресорів і потужних електродвигунів, які працюють при великих швидкостях ковзання деталей і робочій температурі до 120°C. Для важко навантажених підшипників застосовують бронзу й латунь.

Нікелеві сплави застосовують для виготовлення деталей з робочою температурою до 750...1000°C (камери згоряння, деталі газових турбін, газопроводи, хімічна апаратура).

Тугоплавкі матеріали є дорогими й знаходять застосування в основному в деяких специфічних галузях (авіаційна, космічна і ядерна техніка, електровакуумне і електронне обладнання, приладобудування, інструментальна і хімічна промисловість).

Легкоплавкі матеріали через низькі механічні властивості в машинобудуванні практичного застосування не знайшли. Вони використовуються головним чином в електротехнічній промисловості.

5.5. Особливості забезпечення технологічності конструкції виливків

5.5.1. Поняття про технологічність виливків

Технологічність є одним з найважливіших факторів, що визначають якість і економічність виливків. Під технологічністю розуміють перш за все вибір таких конструктивної форми і матеріалу литої деталі, які, не знижуючи основних конструктивних вимог, сприяють отриманню якісних виливків з заданими фізико-механічними властивостями, необхідною геометрією та мінімальною трудомісткістю. Нетехнологічні конструкції виливків, сконструйовані без врахування особливостей ливарного виробництва і конкретного способу лиття, призводять до підвищення трудомісткості і собівартості литих деталей, перевитрат металу, утво-

рення дефектів та браку.

Технологічна конструкція деталі при максимальній міцності та мінімальній масі має бути простою, дешевою та дозволяти застосування прогресивних технологічних процесів лиття. Відповідність конструкції вилівка вимогам технології й економіки лиття встановлюють на першому етапі проектування технологічного процесу – при *аналізі технологічності конструкції вилівка*.

На стадії заготівельного виробництва відпрацювання конструкції литих деталей на технологічність не повинно ускладнювати наступну механічну обробку, складання і контроль виробу.

У випадку виявлення нетехнологічності вилівоків у креслення готової деталі необхідно внести конструктивні зміни з урахуванням вимог і можливостей вибраного способу лиття, ливарних властивостей сплаву, технології виготовлення оснастки (ливарної форми, шишок тощо), очищення, обрубки й наступної обробки. Ці зміни повинні бути погоджені з конструктором, технологом-ливарником і технологом по механічній обробці.

5.5.2. Загальні вимоги до конструкції вилівоків

При проектуванні вилівоків керуються вимогами державних, галузевих і заводських стандартів, враховують передовий досвід. Ці вимоги наведені в довідковій та спеціальній літературі [1-3, 14, 15, 17]. Загальні вимоги до конструкції вилівоків наступні.

1. Вилівки повинні мати прості зовнішні обриси з мінімальним числом ребер, виступів і внутрішніх порожнин.

2. Конструкція вилівка повинна забезпечувати високий рівень її службових характеристик (міцність, жорсткість, герметичність тощо) при заданій масі й точності конфігурації.

3. Конструкція вилівка повинна враховувати взаємодію вилівка з формою з тим, щоб забезпечити правильне формування основних властивостей вилівка, тобто густини, структури, механічних властивостей, стабільності розмірів і параметрів шорсткості поверхні.

4. Конструкція вилівка повинна бути достатньо технологічною, тобто доцільною для виготовлення обраним способом лиття (дивись п. 5.5.3).

5. Конструкція вилівка повинна забезпечувати мінімальну кількість і довжину місць обрубки й очистки, зручність здійснення обрубки й очистки, зручність і мінімальний об'єм подальшої механічної обробки.

6. Базові поверхні вилівка повинні мати розміщення зручне для обробки рі-

занням.

7. Матеріал виливка повинен бути достатньо технологічним та економічним при заданому способі лиття.

8. Конструкція виливка при заданих умовах виготовлення повинна передбачати мінімальні витрати металу.

9. Виливок повинен бути компактним. Надмірно великі виливки бажано розчленити на кілька частин.

5.5.3. Основні правила конструювання виливків

Для забезпечення технологічності виливка з точки зору його форми й розмірів слід прямувати до спрощення зовнішніх і внутрішніх поверхонь, наближаючи окремі поверхні до площини або поверхонь обертання, що здешевлює виготовлення моделей і шишкових ящиків, полегшує виймання моделі з форми і дає змогу використовувати моделі без криволінійного розняття.

Необхідно уникати надмірно виступаючих або западаючих поверхонь, перевіряючи їх наявність за допомогою *правила "тіней"*: якщо при освітленні литої деталі паралельними променями в напрямку, перпендикулярному до площини рознімання форми, з'являються тіньові ділянки, це свідчить про недосконалість її конструкції (рис. 5.13). Таку конструкцію необхідно переглянути, у протилежному випадку трудомісткість її виготовлення значно збільшиться за рахунок необхідності застосування форми з відокремлюваними частинами.

Бажано, щоб габаритні розміри виливка були мінімальними, особливо за висотою (в протилежному випадку утруднюється процес виготовлення форми).

З метою зменшення трудомісткості виготовлення і складання форм, зниження браку за перекосами і викривленнями конструкція виливка повинна дозволяти виготовлення моделі та ливарної форми з мінімальним числом рознімань, без відокремлюваних частин.

З метою запобігання газовим раковинам конструкція виливка й положення його у формі під час заливання повинні забезпечити плавне заповнення форми металом таким чином, щоб повітря й газ виходили з неї повністю й вільно. Для цього необхідно передбачити відповідне число вікон, порожнин, що з'єднані між собою або виходять у верхню напівформу. При цьому число шишок у формі має бути мінімальним. Встановлювати шишки у формі на жеребійках небажано, оскільки останні не завжди добре зварюються з основним металом (рис. 5.14).

Конфігурація й розташування шишок у ливарній формі повинні забезпечувати вільний вихід газів з шишок. Для цього їх розміщують вертикально з виходом

у верхню частину форми або збільшують розміри знака шишки (рис. 5.15, б).

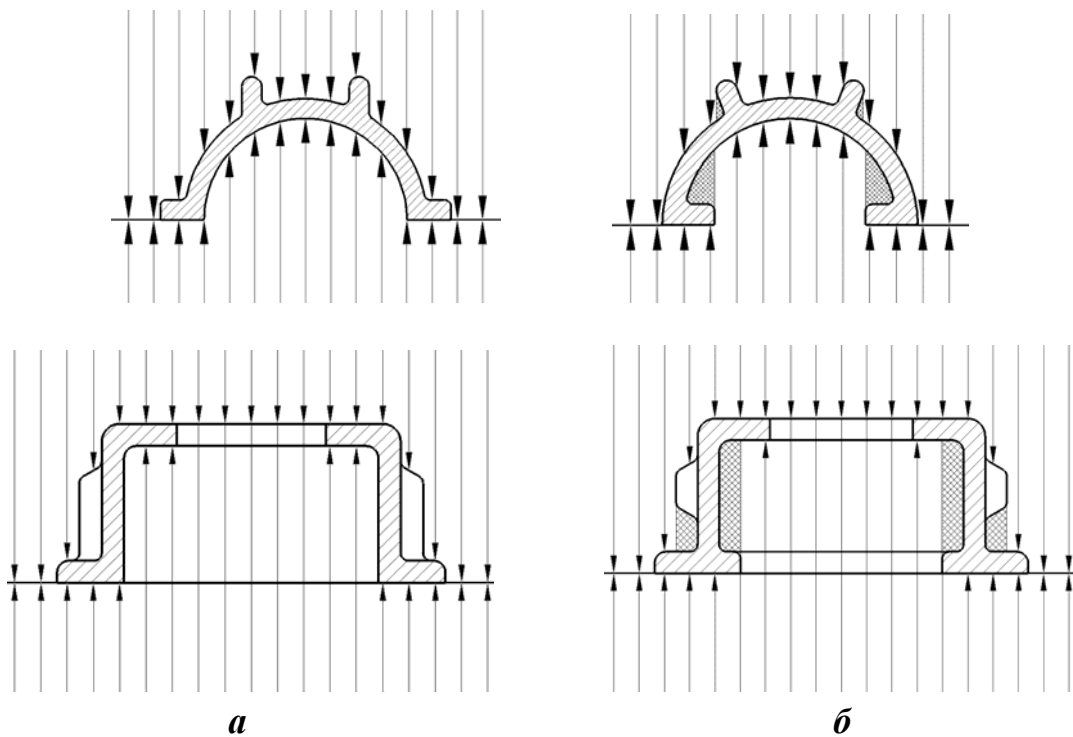


Рис. 5.13. Визначення технологічності виливків методом "тіней":
а – технологічно; **б** – нетехнологічно (необхідні напуски)

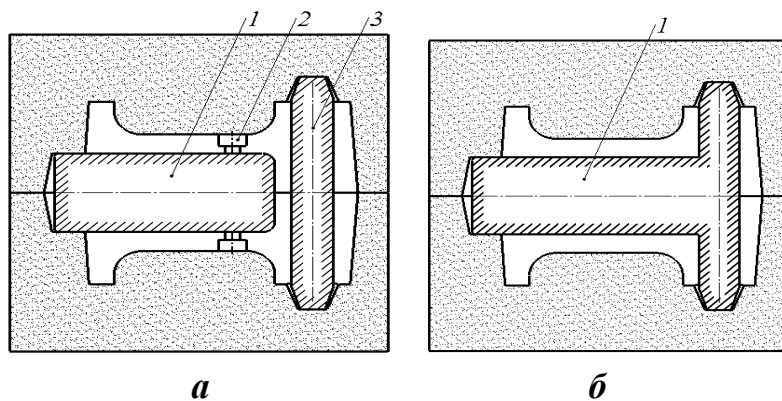


Рис. 5.14. Конструкція вилівка кронштейна:
а – нетехнологічно; **б** – технологічно; 1, 3 – шишки; 2 – жеребійка

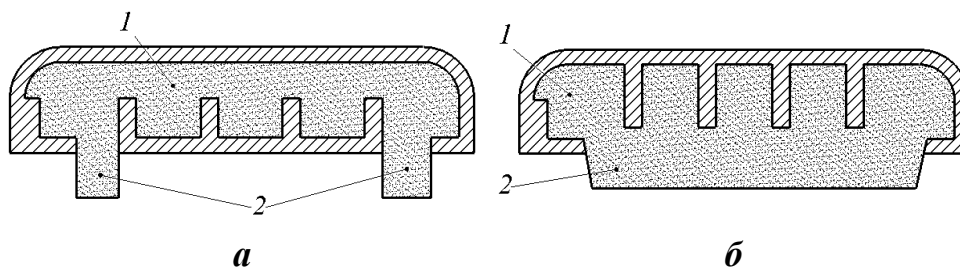


Рис. 5.15. Конструкція хобота горизонтально-фрезерного верстата:
а – нетехнологічно; **б** – технологічно; 1 – шишка; 2 – знак шишки

Аби уникнути усадочних раковин і пористості у виливках (особливо сталевих), слід у ливарній формі створити умови безперервного живлення масивних перерізів виливка рідким металом у процесі кристалізації. Для цього над масивним перерізом виливка утворюють порожнину більшого перерізу. Таку порожнину називають **додатком** (рис. 5.10, б; 5.16). Додаток має тверднути останнім, тоді усадочна раковина утворюватиметься в додатку і відрізатиметься разом з ним від виливка. Щоб забезпечити безперервне живлення виливка рідким металом, твердіння його має бути *спрямованим* від тонких перерізів до товстих і закінчуватись у додатку. Тому тонкі стінки виливка у ливарній формі розташовують унизу, а більш масивні – угорі, під додатком. Тоді рідкий метал з додатка буде перетікати у виливок під дією власної ваги. Однак слід враховувати, що додатки призводять до ускладнення формування та збільшення витрат металу (в окремих виливках зі сталі витрата металу на додатки становить 30...50%, а в деяких випадках і 100% від маси виливка). Одночасно підвищується небезпека виникнення тріщин.

Некомпенсована усадка в процесі кристалізації може виникнути при неправильному розподілі маси металу по перетину виливка. Для того щоб уникнути цього дефекту, перевіряють конструкцію стінки **методом "вписаних кіл"**. Суть його полягає в тому, що в міру наближення фронту кристалізації до додатку діаметр кола, вписаного в перетин виливка, повинен збільшуватися. Іншими словами, коло, вписане в будь-який перетин виливка, має вільно викочуватись у додаток (рис. 5.16).

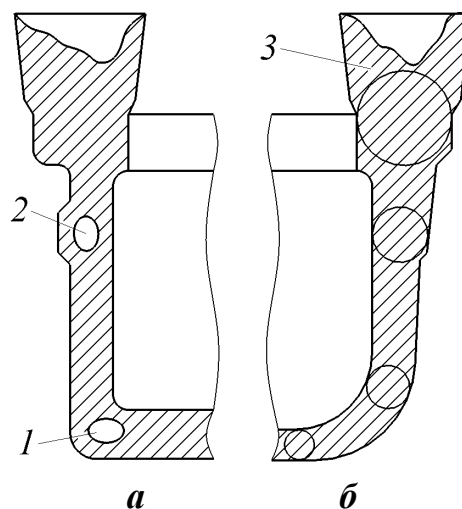


Рис. 5.16. Схема спрямованого тверднення металу:

а – нетехнологічно; *б* – технологічно; 1, 2 – усадочні раковини; 3 – додаток

Іноді для забезпечення технологічності використовують **принцип одночасної кристалізації**, який полягає в тому, що всі стінки виливків – від нижньої час-

тини до верхньої – мають однакову товщину й застигають практично одночасно (рис. 5.17, *a*). Цей принцип застосовується в основному для дрібних і середніх виливків з тонкими стінками зі сплавів з невеликою усадкою. Однак при цьому не завжди забезпечується висока міцність і щільність виливка.

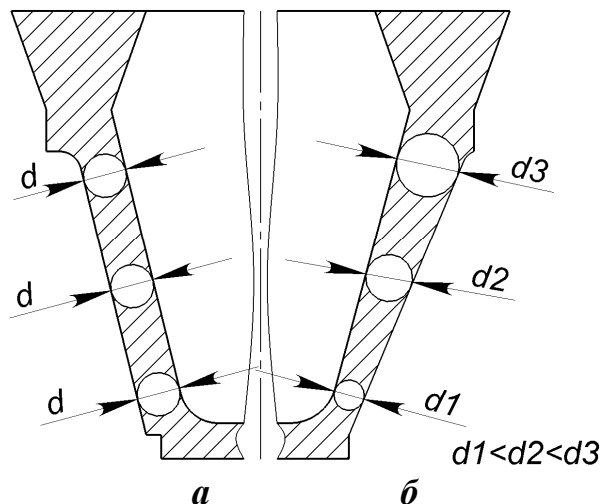


Рис. 5.17. Схема рівномірного (*a*) і поступово-спрямованого (*б*) тверднення металу

Товщину стінок виливків визначають в залежності від механічних і технологічних властивостей сплаву, конфігурації та габаритних розмірів деталі, способу лиття з урахуванням необхідної розрахункової міцності (див. п. 5.6.1). Усяке збільшення товщини стінки приводить до уповільнення швидкості кристалізації сплаву, що позначається на неоднорідності структури, зниженні міцності й виникненні дефектів виливка. Тому в усіх випадках рекомендується забезпечувати рівностінність виливків з мінімальною товщиною стінки.

Спряження стінок у виливку дуже впливає на якість литої деталі. Практично ливарного виробництва встановлені наступні типи спряження стінок: кутове, таврове, V-, вилко-, К-, Х-, хрестоподібне. Для спряження стінок виливків керуються рекомендаціями довідкової та спеціальної літератури [2, 11, 17, 18], що зводяться в основному до забезпечення плавних переходів, правильного оформлення кутів виливка та уникання локального скупчення металу з метою усунування можливих тріщин, раковин, внутрішніх напружень і жолоблення виливка. Недопустимі спряження двох стінок різної товщини наведені на рис. 5.18, *a*. Потрібно виконувати або заокруглення певного радіуса, або плавний клиновий перехід (рис. 5.18, *б, в, г, д*), при цьому значення радіусів галтелей і лінійних розмірів перехідних елементів стінок залежать від різниці товщин стінок і матеріалу виливка.

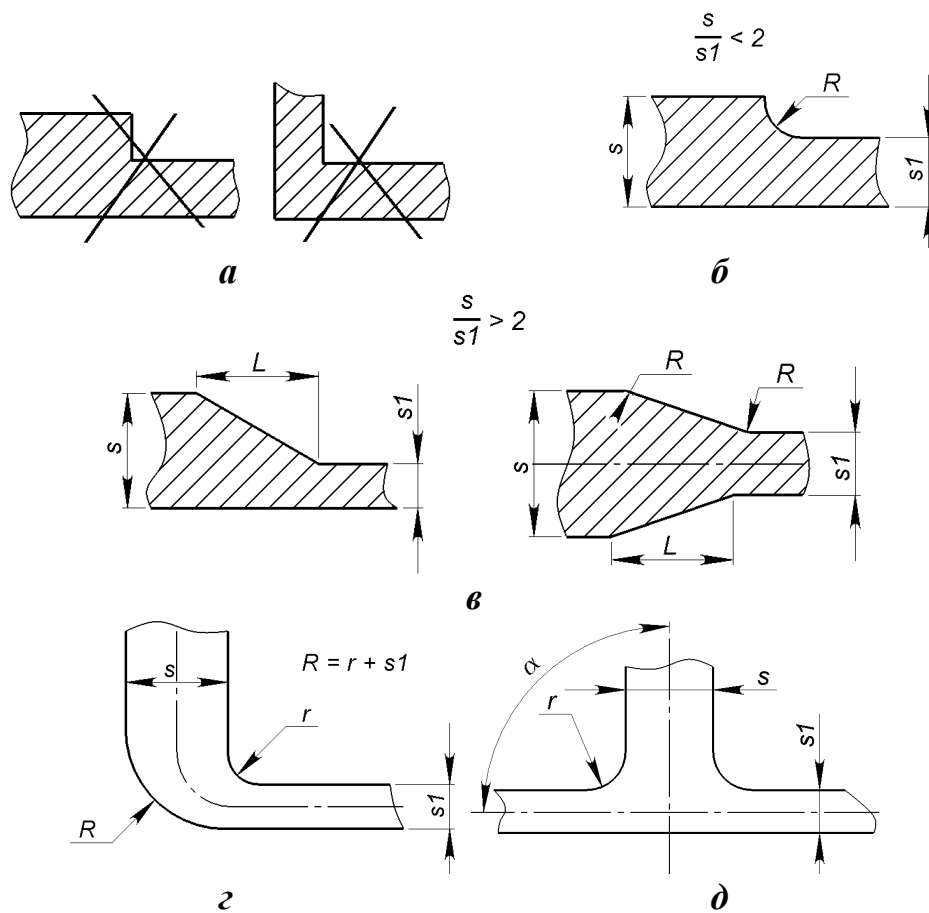


Рис. 5.18. Варіанти деяких спряжень стінок різної товщини

При лобовому сполученні стінок різної товщини відношення товщин стінок не повинне перевищувати 4:1. Якщо відношення товщин сполучуваних стінок $s/s_1 \leq 2$, то сполучення виконується за допомогою радіусів заокруглень (рис. 5.18, б). Таке спряження виконується й при $s/s_1 > 2$, якщо деталь не зазнає ударних навантажень. Якщо деталь зазнає ударів, перехід виконують у вигляді клина (рис. 5.18, в). При цьому радіус галтелі або довжину перехідної ділянки призначають:

- для виливків з чавуну, алюмінієвих і магнієвих сплавів

$$R = 0,3(s - s_1), \quad L \geq 4(s - s_1);$$

- для виливків зі сталі та мідних сплавів

$$R = 0,4(s - s_1), \quad L \geq 5(s - s_1).$$

Необхідно відзначити, що *кутове спряження* (рис. 5.18, г) при правильному конструюванні має найменшу схильність до утворення усадочної раковини. *Таврове спряження* найнебезпечніше в цьому відношенні (рис. 5.18, д), особливо при наявності гострих кутів α , великій різниці товщин стінок і великих радіусах заокруглень, оскільки всі ці фактори створюють великі скупчення металу й несприятливі умови охолодження й кристалізації. Радіуси заокруглення внутрішніх кутів r визначають за графіками (див. п. 5.6.1).

K-подібні й хрестоподібні спряження стінок також створюють у місцях перетинань велике скупчення металу (рис. 5.19) Через уповільнення охолодження в цих місцях виникає небезпека утворення усадочних раковин і пористості. У цьому випадку скупчення металу необхідно розосередити шляхом зміщення стінок, місцевого стоншення, зменшення радіуса заокруглення r тощо

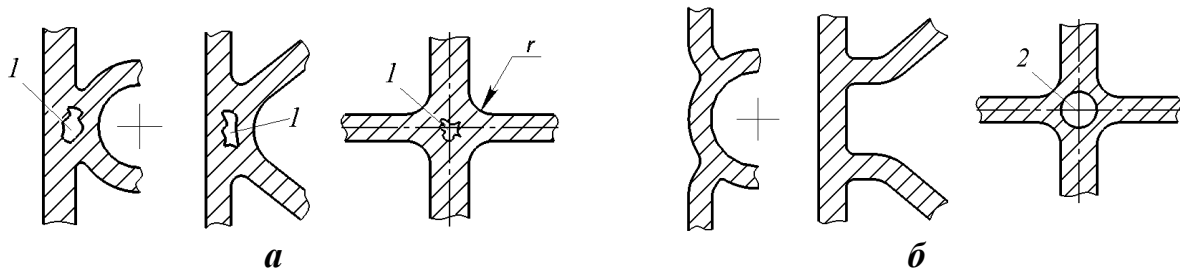


Рис. 5.19. *K*-подібні й хрестоподібні спряження стінок:

a – нетехнологічно; ***б*** – технологічно; ***1*** – усадочна раковина; ***2*** – розвантажувальний отвір

Формувальні уклони на вертикальних стінках (перпендикулярних до площини розняття форми) призначають для полегшення видалення моделі з готової форми або шишки з шишкового ящика без їх руйнування, а також для безперешкодного виймання вилівка з багаторазової форми. На рис. 5.20 подано формувальні уклони (зафарбовані) при горизонтальному (***a***) та вертикальному (***б***) положеннях вилівка у формі. Для оброблених поверхонь уклони встановлюють так, щоб забезпечити мінімальні припуски на оброблення різанням для всієї поверхні, а для необроблених – щоб отримати належні товщини стінок для забезпечення виконання вилівком свого функціонального призначення (міцності, герметичності, естетичної форми тощо).

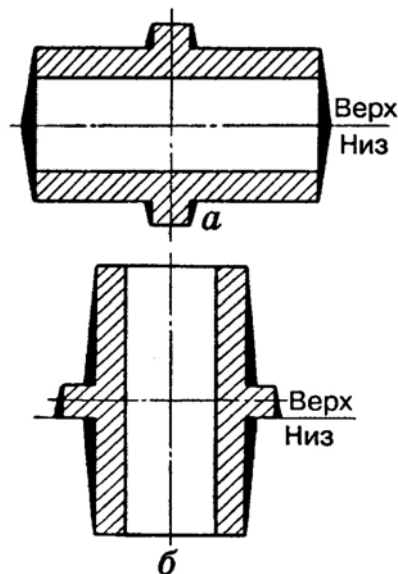


Рис. 5.20. Формувальні уклони

Формувальні уклони можуть спотворити форму необроблених поверхонь (рис. 5.21), тому на кресленні вилівка доцільно їх відображати. Слід не допускати утворення уступів.

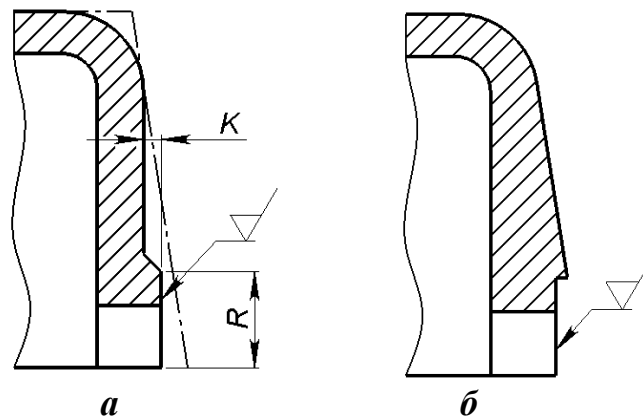


Рис. 5.21. Приклад спотворення конфігурації деталі формувальним уклоном: **а** – креслення уклону при проектуванні моделі; **б** – фактична конфігурація деталі після механічної обробки

У зв'язку з необхідністю забезпечення мінімальної товщини стінок виливків, для підвищення їх міцності й жорсткості часто застосовують *ребра жорсткості* в навантажених місцях конструкції (інколи передбачають *технологічні ребра жорсткості*, які потім видаляють при механічній обробці). Однак це призводить до підвищення концентрації напружень, а в місцях перетину ребер зі стінками – до скупчення зайвого металу. Щоб поліпшити технологічність такого виливка, необхідно забезпечити вільну деформацію ребер при усадці. Для цього ребра роблять криволінійними і розташовують в площині рознімання форми або перпендикулярно до неї (щоб уникнути відокремлюваних частин моделі).

Товщина зовнішніх ребер жорсткості не повинна перевищувати 0,8 а внутрішніх – 0,6...0,7 товщини сполученої стінки. Висота ребер не повинна перевищувати п'ятикратної товщини стінки.

Для зменшення скупчення металу в місцях перетинання ребер варто уникати їх хрестоподібного перетинання. Більш технологічним є шахове і стільникове розташування ребер (рис. 5.22). Останнє забезпечує найбільш рівномірний розподіл залишкових напружень як у процесі остигання виливка, так і під час експлуатації. Однак такий виливок дещо складніший і дорожчий у виготовленні.

Щоб уникнути усадочних пористості та раковин при перетинанні ребер в одному вузлі необхідно розосередити метал за рахунок застосування кільцевого ребра або циліндричного заглиблення в центрі перетинання (рис. 5.23).

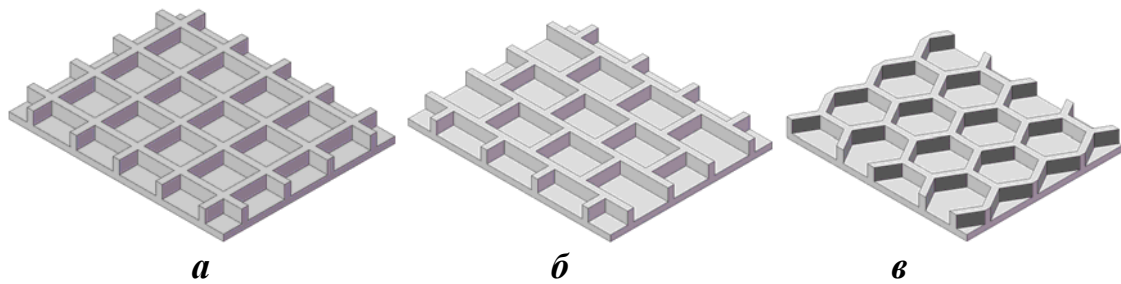


Рис. 5.22. Розміщення ребер:
a – хрестоподібне; ***б*** – шахове; ***в*** – стільникове

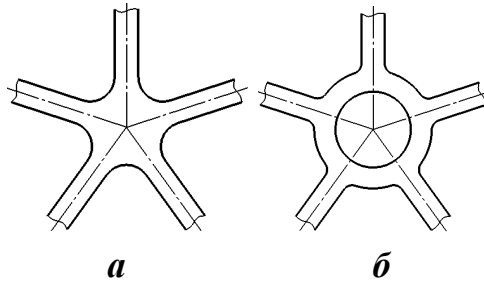


Рис. 5.23. Перетинання кількох ребер в одному вузлі:
a – нетехнологічно; ***б*** – технологічно

Якщо ребро жорсткості з'єднує дві перпендикулярні стінки, то для зменшення скупчення металу в місці стику рекомендується передбачити в ребрі литий отвір, а самому ребру надати криволінійної форми (рис. 5.24).

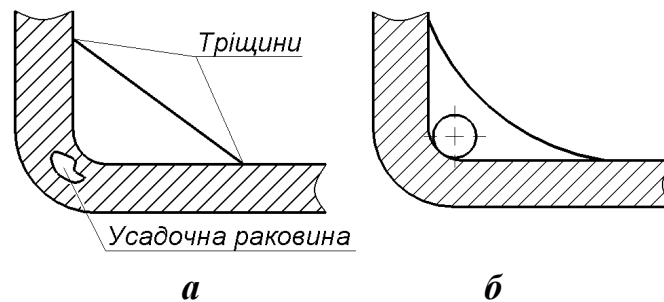


Рис. 5.24. Ребро жорсткості на стику двох стінок:
a – нетехнологічно; ***б*** – технологічно

Для зменшення усадочних напружень у стінках литих деталей, особливо в стінках великої довжини, необхідно передбачати *вікна* (або отвори *1*) круглої або овальної форми (рис. 5.25, ***a***). Розміри вікон повинні бути максимально можливими. Щоб уникнути гарячих і холодних тріщин краї литих необроблених отворів зміцнюють відбортівкою. Рекомендовані розміри відбортівок наведені в довідковій літературі [1-3]. Одночасно не слід допускати зайвого скупчення металу в місцях переходу до фланців *2*, вушок *3* біля отворів (рис. 5.25, ***б***).

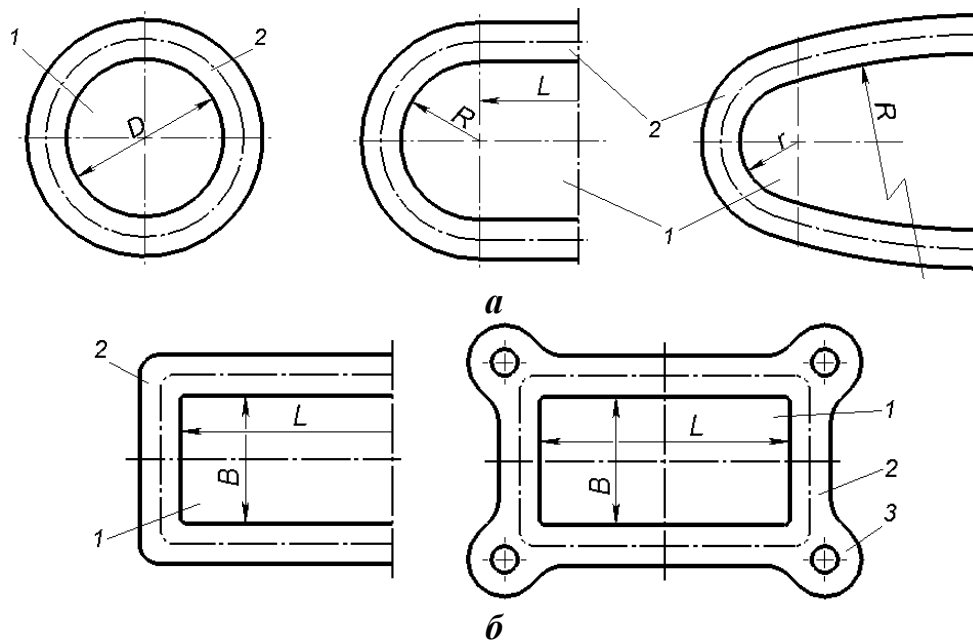


Рис. 5.25. Конструкція вікон у стінках:
а – технологічно; **б** – нетехнологічно; 1 – вікно; 2 – фланець; 3 – вушко

При проектуванні розташування отворів (вікон) у стінках виливків необхідно оцінити можливість виготовлення шишок у цьому місці, надійного кріплення їх у формі й виходу газів із шишки.

Конструюючи *отвори у виливку* необхідно орієнтуватись на мінімальні діаметри d , які доцільно і стабільно можна отримувати при різних способах лиття: в піщані форми – 8 мм; під тиском – 1 мм; у кокіль – 5 мм; за виплавленими моделями – 3 мм; у оболонкові форми – 8 мм [2, 3, 22]. Не рекомендується отримувати у виливку глибокі отвори – $l > 3d$. Такі отвори слід виконувати з перемичкою, утвореною двома шишками з обох сторін, яка надалі видаляється механічною обробкою.

При виготовленні виливків *маховиків, шківів, зубчастих коліс* виникнення жолоблення й тріщин пов'язане з різною швидкістю охолодження ободу, маточини й спиць. Якщо обід масивний і охолоджується повільніше спиць, у ньому виникають значні напруження розтягу, які можуть призвести до втрати циліндричної форми або тріщин в ободі. Якщо обід тонше спиць, він кристалізується раніше, й у спицях поблизу ободу можуть з'явитися тріщини. Якщо співвідношення перетинів ободу й спиць обрано так, що кристалізація відбувається одночасно, а маточина охолоджується повільніше, то тріщини можуть з'явитися в спицях біля маточини.

Для зниження залишкових напружень у литих маховиках з парним числом спиць рекомендується робити вигнуті спиці, а з непарним – прямі (рис. 5.26). Поперечні перерізи спиць рекомендується робити овальними, при великих наванта-

женнях – двотаврового перетину, з заокругленими гострими кутами й спряженнями. Маточини не повинні бути товстостінними, оскільки в основі спиць можуть з'являтися усадочні раковини й пористість. У маточинах великої довжини рекомендується робити канавки (рис. 5.27). На ділянках з місцевим стоншенням стінки (над шпонковою канавкою) рекомендується робити приливи.

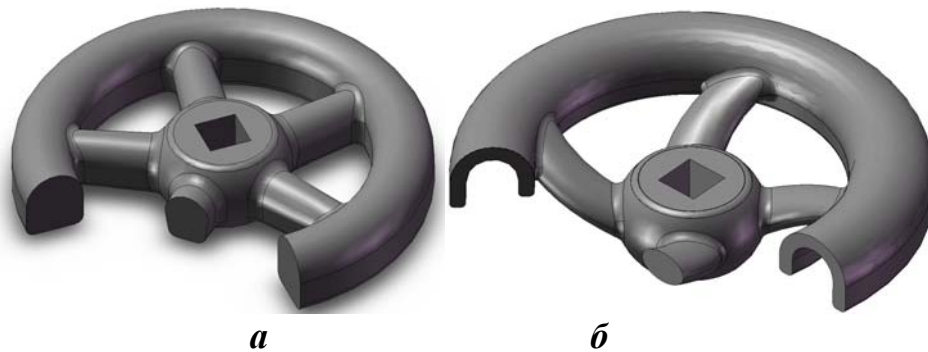


Рис. 5.26. Виливки маховиків з прямими (а) і вигнутими (б) спицями

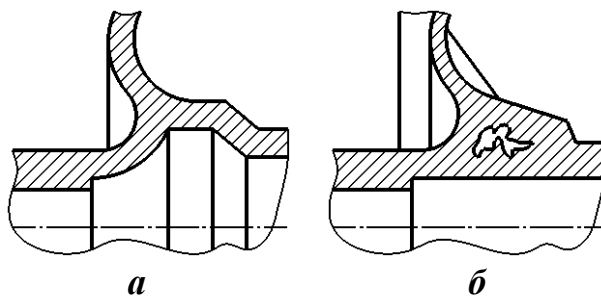


Рис. 5.27. Розміщення канавки в маточині колеса:
а – технологічно; б – нетехнологічно

Для зниження усадочних і термічних напружень і ймовірності утворення тріщин слід забезпечувати вільну усадку вилівка й уникати *термічних вузлів*. Вони виникають у тих місцях, де перетинаються теплові потоки, що йдуть від поверхні вилівки у форму (рис. 5.28, а). Для поліпшення тепловідводу в цьому районі змінюють конструкцію термічного вузла (рис. 5.28, б) або встановлюють *усадочні ребра* (рис. 5.29), які охолоджуються швидше й зміцнюють цю зону. Якщо встановлення усадочних ребер не дає позитивного результату, то вирівнюють швидкість охолодження в усіх перетинах вилівка за допомогою холодильників.

Деталь великої довжини слід робити зі стінками, рівномірними за товщиною. Її конструкція повинна бути по можливості симетричною й достатньо жорсткою. Одночасно слід уникати великих плоских поверхонь (особливо у верхній частині форми), надаючи їм вигнутої форми (рис. 5.30).

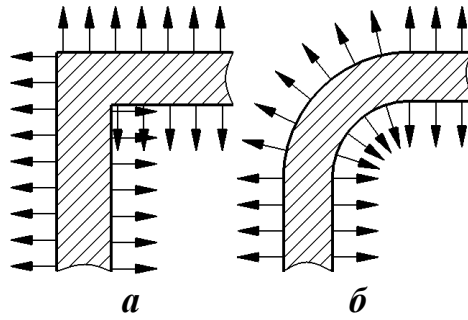


Рис. 5.28. Конструкція термічного вузла:
a – нетехнологічно; *б* – технологічно

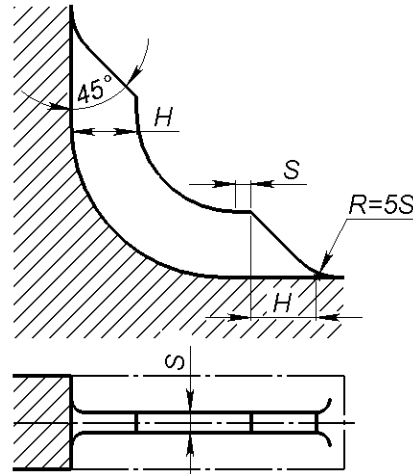


Рис. 5.29. Приклад усадочного ребра

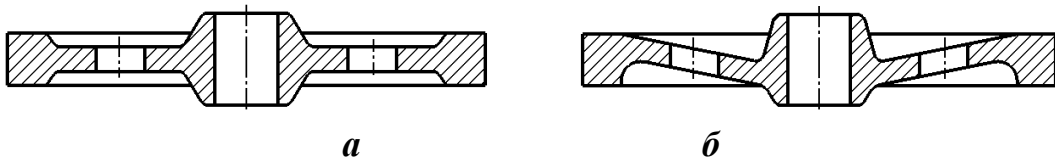


Рис. 5.30. Запобігання утворенню усадочних раковин:
a – нетехнологічно; *б* – технологічно

Великі горизонтальні стінки слід замінити на похилі, східчасті або опуклі (рис. 5.31). Якщо таку поверхню необхідно все-таки одержати плоскою, рекомендується при формуванні розташовувати її в нижній напівформі. У цьому випадку закінчення заповнення форми відбувається при малій вільній поверхні рідкого металу й імовірність утворення газових пор зменшується.

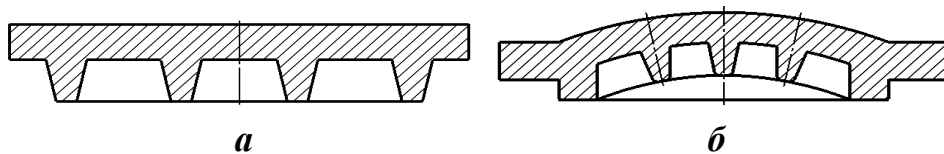


Рис. 5.31. Надання поверхні сферичної форми для виключення жолоблення:
a – нетехнологічно; *б* – технологічно

Виливок необхідно конструювати з мінімальною кількістю бобишок, приливів, буртів, оскільки, утворюючи локальне скупчення металу, вони є причиною виникнення усадочних раковин і пористості, вимагають застосування відокремлюваних частин форми, що в підсумку збільшує вартість виливка. Висота бобишок і приливів не повинна перевищувати товщини стінки, на якій вони знаходяться; їх спряження зі стінкою деталі мають бути плавними, без різких кутів і переходів. При литті з застосуванням шишок, виступаючі назовні приливи слід, по можливості, переносити на внутрішній контур (рис. 5.32, *а*). Близько розташовані в одній площині приливи або бобишки рекомендується об'єднувати в один прилив (рис. 5.32, *б*).

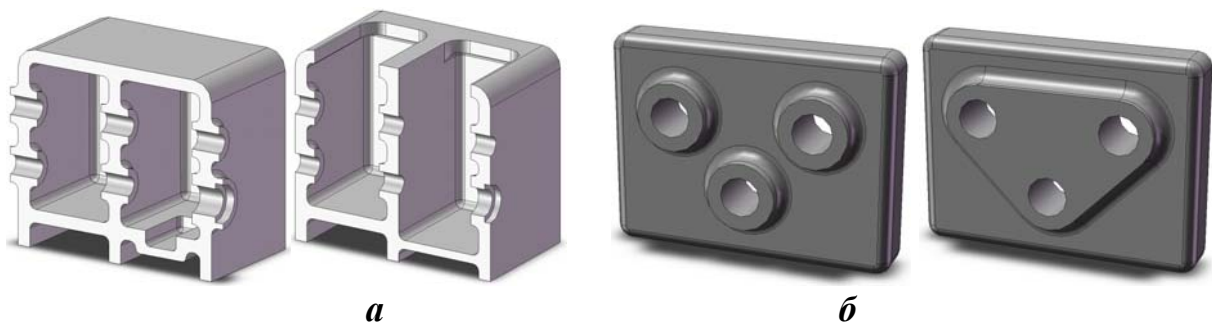


Рис. 5.32. Приклади конструювання виступаючих частин виливка:
а – перевага внутрішнім приливам; *б* – об'єднання зовнішніх приливів

З метою підвищення локальної міцності, зносостійкості, економії дефіцитних матеріалів, отримання нових фізичних властивостей застосовують **метод армування виливків** (найчастіше з кольорових сплавів). Наприклад, керамічними вставками або металічними волокнами армують днище і ділянки розташування канавок під кільця поршня, виготовленого з силуміну штампуванням рідкого металу (рис. 5.33). При цьому необхідно враховувати можливість утворення між металами виливка і вставки електрохімічної пари (для виключення цього явища часто виявляється достатнім нанесення на вставку відповідного гальванічного покриття).

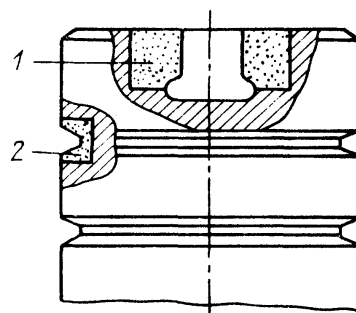


Рис. 5.33. Армування виливка поршня:
1, 2 – керамічні вставки

Особливо відмітимо, що чим нижчі технологічні властивості сплавів (сталь, кольорові сплави, високоміцний чавун тощо), тим жорсткіші вимоги висуваються до конструкції виливка, особливо щодо наявності термічних вузлів, товщини стінок, радіусів і галтелей.

Виконання наведених вище правил є обов'язковим при конструюванні виливків. Однак загальні правила можуть виявитись непрацездатними, якщо не враховувати два суттєвих моменти: **тип виробництва** і **часткові правила конструювання виливків**, що визначаються технологічними властивостями матеріалу і можливостями конкретного способу лиття [2, 3, 13, 22].

Основні відмінності стосуються *товщини стінок, уклонів і граничних розмірів отворів*. Наприклад, діаметри литих отворів будуть значно відрізнятись у виливках, які проєктовані для одиничного, серійного і особливо масового виробництва. Мінімальна товщина стінки визначається її площею, матеріалом виливка й способом лиття. Уклони часто пов'язані не з виготовленням форми, а з вийманням виливка з багаторазової форми.

У кожному конкретному випадку необхідно враховувати особливості обраного способу лиття. Наприклад, при проєктуванні виливка, що виготовляється литтям під тиском, найважливішою задачею є визначення площини рознімання прес-форми й можливості формування отворів за допомогою рухомих (або нерухомих) стрижнів. Крім того, важливо забезпечити одночасне затвердіння металу по всіх перетинах виливка. Це досягається створенням рівностінної конструкції з мінімальною товщиною стінки. Якщо заготовку одержують литтям за виплавлюваними моделями, слід уникати внутрішніх порожнин, кишень тощо, що ускладнюють виготовлення моделей або потребують застосування шишок. При литті в оболонкові форми необхідно забезпечити плоске рознімання форми, що здешевлює її виготовлення й збільшує точність з'єднання половинок при складанні форми.

5.6. Методика проєктування виливків

5.6.1. Розробка конструкції виливка

Вихідні дані для проєктування заготовки – креслення готової деталі, відомості про річну програму випуску, матеріал деталі, її призначення, технічні вимоги до заготовки.

Конструювання виливка здійснюють у наступній послідовності.

1. Встановлюють тип заготівельного виробництва.

Тип виробництва встановлюють в залежності від маси виливка і об'єму ви-

пуску (табл. 5.3). Ці показники значно впливають на собівартість заготовок.

Таблиця 5.3. Тип виробництва в залежності від річного випуску виливків, шт.

Маса виливка, кг	Тип виробництва				
	одиничне	дрібно-серійне	середньо-серійне	великосерійне	масове
До 20	До 300	300–3000	3000–35000	35000–200000	Понад 200000
Понад 20 до 100	До 150	150–2000	2000–15000	15000–100000	Понад 100000
Понад 100 до 500	До 75	75–1000	1000–6000	6000–40000	Понад 40000
Понад 500 до 1000	До 50	50–600	600–3000	3000–20000	Понад 20000
Понад 1000 до 5000	До 20	20–100	100–300	300–4000	Понад 4000
Понад 5000 до 10000	До 10	10–50	50–150	150–1000	Понад 1000
Понад 10000	До 5	5–25	25–75	Понад 75	–

2. Вибирають спосіб виготовлення виливка (див. пп. 4 і 5.3).

3. Здійснюють аналіз технологічності конструкції литої заготовки.

Для цього необхідно насамперед уважно вивчити конструкцію деталі, при можливості спростити її конфігурацію. Необхідно оцінити можливість одержання внутрішніх порожнин, пам'ятаючи, що збільшення кількості шишок істотно підвищує трудомісткість виготовлення й складання форм, збільшує ймовірність появи браку за перекосом або спотворенням розмірів через неточність установки шишок. Одночасно необхідно оцінити й при необхідності відкоригувати товщину стінок, їх спряження й переходи, ребра жорсткості й ін. (див. п. 5.5).

4. Визначають розташування виливка у формі для лиття, площини рознімання форми і моделі, конструкцію та кількість шишок.

При проектуванні виливка необхідно враховувати його *положення у формі*. Він повинен розташовуватися так, щоб забезпечити спокійне заповнення форми без руйнування струменем металу окремих ділянок форми або шишок. Конструкція форми повинна забезпечувати спрямовану кристалізацію виливка знизу вверху для того, щоб усадочні раковини, домішки, неметалічні включення виводилися в частини виливка, що видаляються при обрубці й очищенні (випори, додатки, припуски на механічну обробку). У зв'язку з цим, щоб зменшити дефекти, масивні й відповідальні елементи виливків слід розташовувати в нижній половині форми, у крайньому випадку – вертикально, а потовщені елементи – у верхній частині або збоку. Поверхні, пов'язані між собою точними розмірами, рекомендується розташовувати в одній половині форми (бажано в нижній), щоб не виникало спотворень через зсув напівформ при складанні.

Виливки, що мають видовжені поздовжні розміри, патрубки, пустотілі коробки, рами, плити слід розташовувати так, щоб більш протяжний габарит був горизонтальним. У цьому випадку поверхня рознімання (або опори) моделі буде

мати зручніше (горизонтальне) положення.

Елементи виливків з малою й рівномірною товщиною стінок слід розташувати у верхній частині форми для забезпечення хорошого підведення металу відповідною конструкцією живильників. Тонкостінні елементи виливків бажано розташовувати вертикально або похило, щоб у них не скупчувались газові бульбашки. Деталі типу тіл обертання рекомендується формувати з вертикальним розташуванням осі обертання, щоб забезпечити верхній відвід газів з шишок. Виливок у формі слід розташовувати так, щоб загальна висота форми була мінімальною, а напівформи мали приблизно однакову висоту.

5. Визначають допуски розмірів, граничні відхилення зсуву та жолоблення (відповідно до вимог ГОСТ 26645–85).

ГОСТ 26645–85 "Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку" розповсюджується на виливки з чорних і кольорових металів і сплавів і встановлює 22 класи точності розмірів і мас виливків (1, 2, 3т, 3, ..., 15, 16) для інтервалів лінійних розмірів у межах 0...10000 мм і мас 0...25000 кг, 10 ступенів жолоблення та 6 рядів припусків на оброблення різанням.

Клас точності та ряд припусків встановлюють в залежності від призначення деталі, її матеріалу, габаритів, складності, способу лиття, типу виробництва (табл. 5.4). Менші значення відносяться до простих виливків і умов масового автоматизованого виробництва; більші значення – до складних, дрібносерійно та індивідуально виготовлених виливків; середні – до виливків середньої складності й умов механізованого серійного виробництва. На один виливок рекомендується встановлювати однакові класи точності розмірів і мас.

Допуски лінійних розмірів виливків призначаються залежно від класу точності й номінального розміру (табл. 5.5). Під *номінальним розміром* при встановленні допусків слід розуміти номінальну відстань між обробленою поверхнею й базою її механічної обробки, а при обробці поверхонь обертання – їх номінальний діаметр. У похилих, конічних і фасонних поверхнях, які задані координатами від однієї бази, за номінальний розмір при призначенні допусків слід приймати найбільший з розмірів.

Допуски розмірів елементів виливка, утворених двома напівформами і перпендикулярних до площини рознімання, слід встановлювати відповідно до класу точності розмірів виливка. Допуски розмірів елементів, утворених однією частиною форми або однією шишкою, встановлюють на 1...2 класи точніше. Допуски розмірів елементів, утворених трьома й більше частинами форми, кількома шишками чи рухомими елементами форми, а також товщини стінок, ребер і фланців

установлюють на 1...2 класи грубіше. Допуски розмірів від оброблюваної поверхні, що є базою, до литої поверхні призначають на 2 класи точніше.

Таблиця 5.4. Рекомендовані класи точності розмірів і мас і ряди припусків на механічну обробку виливків [7]

Спосіб лиття	Найбільший габаритний розмір вилівка, мм	Тип металу і сплаву		
		кольорові з температурою плавлення нижче 700°C	кольорові з температурою плавлення вище 700°C, сірий чавун	ковкий, високоміцний і легований чавун, сталь
		Класи точності розмірів і мас виливків і ряди припусків		
Лиття під тиском у металеві форми	До 100	$\frac{3T-5}{1}$	$\frac{3-6}{1}$	$\frac{4-7T}{1}$
	Понад 100	$\frac{3-6}{1}$	$\frac{4-7T}{1}$	$\frac{5T-7}{1}$
Лиття в керамічні форми і за виплавленими та випалюваними моделями	До 100	$\frac{3-6}{1}$	$\frac{4-7T}{1-2}$	$\frac{5T-7}{1-2}$
	Понад 100	$\frac{4-7}{1-2}$	$\frac{5T-7}{1-2}$	$\frac{5-8}{1-2}$
Лиття в кокіль і під низьким тиском в металеві форми без і з піщаними шийками, лиття у піщані форми, що тверднуть в контактi з оснасткою	До 100	$\frac{4-9}{1-2}$	$\frac{5T-10}{1-3}$	$\frac{5-11T}{1-3}$
	Понад 100 до 630	$\frac{5T-10}{1-3}$	$\frac{5-11T}{1-3}$	$\frac{6-11}{2-4}$
	Понад 630	$\frac{5-11T}{1-3}$	$\frac{6-11}{2-4}$	$\frac{7T-12}{2-5}$
Лиття в піщані форми, що тверднуть без контакту з оснасткою, відцентрове, в сирі та сухі піщано-глинисті форми	До 630	$\frac{6-11}{2-4}$	$\frac{7T-12}{2-4}$	$\frac{7-13T}{2-5}$
	Понад 630 до 4000	$\frac{7-12}{2-4}$	$\frac{8-13T}{3-5}$	$\frac{9T-13}{3-6}$
	Понад 4000	$\frac{8-13T}{3-5}$	$\frac{9T-13}{3-6}$	$\frac{9-14}{4-6}$
Примітка. В чисельнику вказані класи точності розмірів і мас, у знаменнику – ряди припусків.				

Допускається встановлювати симетричні та несиметричні відхилення розмірів вилівка. Рекомендується надавати перевагу такому розташуванню полів допусків:

- несиметричне однобічне "в тіло" – для розмірів елементів вилівка (крім товщин стінок), розташованих в одній частині форми та механічно не оброблюваних, тобто для охоплюючих елементів (отвір) – «у плюс», а для охоплюваних (вал) – «у мінус»;

- симетричне – для розмірів усіх інших елементів виливків.

Таблиця 5.5. Допуски лінійних розмірів виливків [7]

Інтервали номінальних розмірів, мм		Допуски розмірів виливків, мм, для класів точності розмірів виливків																						
до	понад	1	2	3т	3	4	5т	5	6	7т	7	8	9т	9	10	11т	11	12	13т	13	14	15	16	
4	0,06	0,08	0,10	0,12	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	—	—	—	—	—	—	—
6	0,07	0,09	0,11	0,14	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,9	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	—	—	—	—	—	—
10	0,08	0,10	0,12	0,16	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	—	—	—	—
16	0,09	0,11	0,14	0,18	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7	—	—	—
25	0,10	0,12	0,16	0,20	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8	10	12	14
40	0,11	0,14	0,18	0,22	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9	11	14	16
63	0,12	0,16	0,20	0,24	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10	12	16	18
100	0,14	0,18	0,22	0,28	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11	14	18	20
160	0,16	0,20	0,24	0,32	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12	16	20	24
250	—	—	0,28	0,36	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	1,80	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14	18	22	28
400	—	—	0,32	0,40	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16	20	24	28
630	—	—	—	—	—	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	1,80	2,20	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18	22	28	32
1000	—	—	—	—	—	—	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20	24	32	36
1600	—	—	—	—	—	—	—	—	1,40	1,80	2,20	2,80	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18,0	22	28	36	40
2500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,00	2,40	3,20	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24	32	40	44
4000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,20	3,60	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18,0	22,0	28	36	44	50
6300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32	40	50	64
10000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	40	50	64	80

Примітка. Допуски кутових розмірів у перерахунку на лінійні не повинні перевищувати встановлених значень.

Граничні відхилення зсуву від номінального положення елементів виливка по площині рознімання наведені в таблиці 5.6 [7].

Таблиця 5.6. Граничні відхилення зсуву елементів виливка

Відстань між центрувальними пристроями форми, мм		Граничні відхилення зсуву, \pm мм, не більше, для класів точності розмірів виливків									
		1–3	4–5т	5–6	7т–7	8–9т	9–10	11т–11	12–13т	13–14	15–16
понад	до										
0	630	0,24	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0
630	1600	0,30	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4
1600	4000	0,40	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0
4000	–	0,50	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0

Ступінь жолоблення виливка залежить від його форми та розмірів, товщини стінок, наявності ребер жорсткості, режимів заливання форми тощо. Залежність ступеня жолоблення від співвідношення розмірів сторін виливка наведено в таблиці 5.7.

Граничні відхилення жолоблення елементів виливків наведені в таблиці 5.8 [7].

Таблиця 5.7. Ступені жолоблення елементів виливків

Відношення найменшого габаритного розміру виливка до найбільшого	Багаторазові форми		Разові форми	
	виливки без термооброблювання	термооброблювані виливки після правки	виливки без термооброблювання	термооброблювані виливки
понад 0,20	1 – 4	2 – 5	3 – 6	4 – 7
0,10 – 0,20	2 – 5	3 – 6	4 – 7	5 – 8
0,05 – 0,10	3 – 6	4 – 7	5 – 8	6 – 9
до 0,05	4 – 7	5 – 8	6 – 9	7 – 10

Примітка. 1. Менші значення ступенів жолоблення відносяться до простих виливків з легких кольорових сплавів; більші значення – до складних виливків з чорних сплавів.

2. Ступінь жолоблення виливка, яку вказують на кресленні, слід приймати за його елементом з найбільшим ступенем жолоблення.

Таблиця 5.8. Граничні відхилення жолоблення елементів виливків

Інтервали найбільших габаритних розмірів вилівка, мм		Граничні відхилення жолоблення, \pm мм, для ступенів жолоблення виливків									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
понад	до										
0	100						0,10	0,16	0,24	0,4	0,6
100	160					0,10	0,16	0,24	0,40	0,6	1,0
160	240				0,10	0,16	0,24	0,40	0,60	1,0	1,6
240	400			0,10	0,16	0,24	0,40	0,60	1,00	1,6	2,4
400	630		0,10	0,16	0,24	0,40	0,60	1,00	1,60	2,4	4,0
630	1000	0,10	0,16	0,24	0,40	0,60	1,00	1,60	2,40	4,0	6,0
1000	1600	0,16	0,24	0,40	0,60	1,00	1,60	2,40	4,00	6,0	10,0
1600	2400	0,24	0,40	0,60	1,00	1,60	2,40	4,00	6,00	10,0	16,0
2400	4000		0,60	1,00	1,60	2,40	4,00	6,00	10,00	16,0	24,0
4000	6300			1,60	2,40	4,00	6,00	10,00	16,00	24,0	40,0
6300	10000				4,00	6,00	10,00	16,00	24,00	40,0	60,0

6. Визначають припуски на оброблення різанням (дослідно-статистичним методом відповідно до вимог ГОСТ 26645–85).

Припуски на механічну обробку вилівка (на сторону) розрізняють основні й додаткові.

Основні припуски (табл. 5.9) вибираються залежно від допусків на відповідний розмір вилівка й ряду припусків (див. табл. 5.4).

З двох значень припуску, вказаних у таблиці 5.9 для кожного інтервалу допусків, менше встановлюється при більш грубих квалітетах точності оброблюваних поверхонь, більше – при більш точних квалітетах згідно таблиці 5.10. При підвищених вимогах до точності оброблюваних поверхонь допускається збільшення основного припуску до найближчого більшого значення з того ж ряду.

Отримані значення основних припусків відносяться до поверхонь вилівка, що знаходяться при заливанні збоку або знизу. На верхні при заливанні поверхні допускається збільшення припуску до значення, що відповідає наступному ряду припусків.

Додатковий припуск на механічну обробку призначений для компенсації відхилень розташування елементів вилівка: жолоблення (див. табл. 5.8), зсуву по площині рознімання (див. табл. 5.6), похибки розташування оброблюваної поверхні відносно бази обробки. Його призначають за табл. 5.11 у тому випадку, коли найбільше із граничних відхилень розташування перевищує половину допуску на відповідний розмір вилівка.

Загальний припуск на механічну обробку визначається як сума основного й додаткового припусків.

Таблиця 5.9. Основні припуски на механічну обробку виливків (на сторону), мм

Допуски розмірів виливків		Основний припуск для рядів, не більше					
Понад	До	1	2	3	4	5	6
	0,12	0,2 0,4					
0,12	0,16	0,3 0,5	0,6 0,8				
0,16	0,20	0,4 0,6	0,7 1,0	1,0 1,4			
0,20	0,24	0,5 0,7	0,8 1,1	1,1 1,5			
0,24	0,30	0,6 0,8	0,9 1,2	1,2 1,6	1,8 2,2	2,6 3,0	
0,30	0,40	0,7 0,9	1,0 1,3	1,4 1,8	1,9 2,4	2,8 3,2	
0,40	0,50	0,8 1,0	1,1 1,4	1,5 2,0	2,0 2,6	3,0 3,4	
0,50	0,60	0,9 1,2	1,2 1,6	1,6 2,2	2,2 2,8	3,2 3,6	
0,60	0,80	1,0 1,4	1,3 1,8	1,8 2,4	2,4 3,0	3,4 3,8	4,4 5,0
0,80	1,0	1,1 1,6	1,4 2,0	2,0 2,8	2,6 3,2	3,6 4,0	4,6 5,5
1,0	1,2	1,2 2,0	1,6 2,4	2,2 3,0	2,8 3,4	3,8 4,2	4,8 6,0
1,2	1,6	1,6 2,4	2,0 2,8	2,4 3,2	3,0 3,8	4,0 4,6	5,0 6,5
1,6	2,0	2,0 2,8	2,4 3,2	2,8 3,6	3,4 4,2	4,2 5,0	5,5 7,0
2,0	2,4	2,4 3,2	2,8 3,6	3,2 4,0	3,8 4,6	4,6 5,5	6,0 7,5
2,4	3,0	2,8 3,6	3,2 4,0	3,6 4,5	4,2 5,0	5,0 6,5	6,5 8,0
3,0	4,0	3,4 4,5	3,8 5,0	4,2 5,5	5,0 6,5	5,5 7,0	7,0 9,0
4,0	5,0	4,0 5,5	4,4 6,0	5,0 6,5	5,5 7,5	6,0 8,0	8,0 10,0
5,0	6,0	5,0 7,0	5,5 7,5	6,0 8,0	6,5 8,5	7,0 9,5	9,0 11,0
6,0	8,0		6,5 9,5	7,0 10,0	7,5 11,0	8,5 12,0	10,0 13,0
8,0	10,0			9,0 12,0	10,0 13,0	11,0 14,0	12,0 15,0
10,0	12,0			10,0 13,0	11,0 14,0	12,0 15,0	13,0 16,0

Допуски розмірів виливків		Основний припуск для рядів, не більше					
Понад	До	1	2	3	4	5	6
12,0	16,0			13,0 15,0	14,0 16,0 17,0	15,0 17,0 18,0	16,0 19,0 19,0
16,0	20,0				20,0 20,0 23,0	21,0 21,0 24,0	22,0 22,0 25,0
20,0	24,0					24,0 26,0 29,0	27,0 30,0 34,0
24,0	30,0						37,0 42,0
30,0	40,0						50,0
40,0	50,0						
50,0	60,0						

Таблиця 5.10. Вибір значень основних припусків

Клас точності розмірів виливків	1–3т	3–5т	5–7	7–9т	9–16
Квалітет точності розмірів деталей, отримуваних механічною обробкою виливків	IT9 і грубіше IT8 і точніше	IT10 і грубіше IT8–IT9	IT11 і грубіше IT9–IT10	IT12 і грубіше IT9–IT11	IT13 і грубіше IT10–IT12

Таблиця 5.11. Додаткові припуски на механічну обробку виливків (на сторону), мм

Допуски розмірів виливків		Найбільша похибка розташування		Додатковий припуск
Понад	До	Понад	До	
	0,06		0,12	0,1
0,06	0,08	0,03 0,12	0,12 0,16	0,1 0,2
0,08	0,10	0,04 0,16	0,16 0,20	0,1 0,2
0,10	0,12	0,05 0,16	0,16 0,24	0,1 0,2
0,12	0,16	0,06 0,20	0,20 0,30	0,1 0,2
0,16	0,20	0,08 0,20 0,30	0,20 0,30 0,40	0,1 0,2 0,3
0,20	0,24	0,10 0,24 0,40	0,24 0,40 0,50	0,1 0,2 0,3

Продовження табл. 5.11

Допуски розмірів виливків		Найбільша похибка розташування		Додатковий припуск
Понад	До	Понад	До	
0,24	0,30	0,12	0,24	0,1
		0,24	0,40	0,2
		0,40	0,50	0,3
		0,50	0,60	0,5
0,30	0,40	0,15	0,30	0,1
		0,30	0,40	0,2
		0,40	0,50	0,3
		0,50	0,60	0,4
		0,60	0,80	0,6
0,40	0,50	0,20	0,40	0,1
		0,40	0,50	0,2
		0,50	0,60	0,3
		0,60	0,80	0,5
		0,80	1,00	0,8
0,50	0,60	0,25	0,50	0,1
		0,50	0,60	0,3
		0,60	0,80	0,4
		0,80	1,00	0,6
		1,00	1,20	1,0
0,60	0,80	0,30	0,50	0,1
		0,50	0,60	0,2
		0,60	0,80	0,4
		0,80	1,00	0,5
		1,00	1,20	0,8
		1,20	1,60	1,2
0,8	1,0	0,4	0,6	0,1
		0,6	0,8	0,2
		0,8	1,0	0,4
		1,0	1,2	0,6
		1,2	1,6	1,0
		1,6	2,0	1,6
1,0	1,2	0,5	0,8	0,2
		0,8	1,0	0,3
		1,0	1,2	0,5
		1,2	1,6	0,8
		1,6	2,0	1,2
		2,0	2,4	2,0
1,2	1,6	0,6	1,0	0,2
		1,0	1,2	0,3
		1,2	1,6	0,6
		1,6	2,0	1,0
		2,0	2,4	1,6
		2,4	3,0	2,4

Допуски розмірів виливків		Найбільша похибка розташування		Додатковий припуск
Понад	До	Понад	До	
1,6	2,0	0,8	1,2	0,2
		1,2	1,6	0,3
		1,6	2,0	0,8
		2,0	2,4	1,2
		2,4	3,0	2,0
		3,0	4,0	3,0
2,0	2,4	1,0	1,6	0,3
		1,6	2,0	0,4
		2,0	2,4	1,0
		2,4	3,0	1,6
		3,0	4,0	2,4
		4,0	5,0	4,0
2,4	3,0	1,2	2,0	0,3
		2,0	2,4	0,5
		2,4	3,0	1,2
		3,0	4,0	2,0
		4,0	5,0	3,0
		5,0	6,0	5,0
3,0	4,0	1,5	2,4	0,4
		2,4	3,0	0,6
		3,0	4,0	1,6
		4,0	5,0	2,4
		5,0	6,0	4,0
		6,0	8,0	5,5
4,0	5,0	2,0	3,0	0,5
		3,0	4,0	0,8
		4,0	5,0	2,0
		5,0	6,0	3,0
		6,0	8,0	5,0
		8,0	10,0	7,0
5,0	6,0	2,5	4,0	0,6
		4,0	5,0	1,0
		5,0	6,0	2,4
		6,0	8,0	4,0
		8,0	10,0	5,5
		10,0	12,0	8,0
6,0	8,0	3,0	5,0	0,8
		5,0	6,0	1,2
		6,0	8,0	3,5
		8,0	10,0	5,0
		10,0	12,0	7,0
		12,0	16,0	11,0

Допуски розмірів виливків		Найбільша похибка розташування		Додатковий припуск
Понад	До	Понад	До	
8,0	10,0	4,0	6,0	1,0
		6,0	8,0	1,6
		8,0	10,0	4,0
		10,0	12,0	6,0
		12,0	16,0	8,5
		16,0	20,0	14,0
10,0	12,0	5,0	8,0	1,2
		8,0	10,0	2,0
		10,0	12,0	5,0
		12,0	16,0	8,0
		16,0	20,0	10,5
		20,0	24,0	16,0
12	16	6,0	10,0	1,6
		10,0	12,0	2,4
		12,0	16,0	6,5
		16,0	20,0	10,0
		20,0	24,0	14,0
		24,0	30,0	22,0
16	20	8,0	12,0	2,0
		12,0	16,0	3,0
		16,0	20,0	8,0
		20,0	24,0	12,0
		24,0	30,0	17,0
		30,0	40,0	27,0
20	24	10,0	16,0	2,4
		16,0	20,0	4,0
		20,0	24,0	10,0
		24,0	30,0	16,0
		30,0	40,0	21,0
		40,0	50,0	30,0
24	30	12,0	20,0	3,0
		20,0	24,0	4,5
		24,0	30,0	12,0
		30,0	40,0	18,0
		40,0	50,0	26,0
		50,0	60,0	40,0
30	40	16,0	24,0	4,0
		24,0	30,0	6,0
		30,0	40,0	16,0
		40,0	50,0	24,0
		50,0	60,0	34,0
		60,0	80,0	53,0

Допуски розмірів виливків		Найбільша похибка розташування		Додатковий припуск
Понад	До	Понад	До	
40	50	20,0	30,0	5,0
		30,0	40,0	7,5
		40,0	50,0	20,0
		50,0	60,0	30,0
		60,0	80,0	43,0
		80,0	100,0	67,0

7. Визначають мінімально допустиму товщину стінки.

Товщину стінки обирають залежно від матеріалу вилівка, його механічних і технологічних властивостей, від способу лиття, конфігурації, розмірів і призначення вилівка. Необхідно прагнути до мінімальної товщини стінок. Завищена товщина стінок може призвести до появи усадочних раковин, пористості й інших дефектів. В підсумку з цієї причини міцність стінок знижується й збільшується витрати металу. Необхідну міцність і жорсткість стінок вилівка слід забезпечувати за рахунок використання ребер жорсткості. Якщо товщина стінок занижена, то вилівок важко одержати технологічно (можливе незаповнення форми, незлиття, тріщини тощо). Крім того, у вилівках складної конфігурації з тонкими стінками за рахунок усадочних напружень можуть з'явитися жолоблення і тріщини.

Мінімальна товщина стінок призначається так, щоб забезпечити необхідну розрахункову міцність і задовольнити вимогам технології обраного способу лиття. Найменшу товщину стінок визначають залежно від приведенного габариту заготовки:

$$N = (2l + b + h) / 3, \quad (5.1)$$

де l , b , h – відповідно довжина, ширина й висота заготовки, м.

Для виливків, одержуваних литтям у піщані форми, мінімальну товщину стінок визначають за графіками (рис. 5.34). Якщо приведений габарит N виявиться більше 8, товщину стінок приймають для сталевих і чавунних виливків відповідно не менше 40 і 30 мм. При N не більше 0,1 мінімальну товщину стінок приймають: для алюмінієвих сплавів – до 2 мм, для мідних олов'яних сплавів – 2,5, для безолов'яних сплавів – 4 мм. Товщина стінок чавунних виливків, габаритні розміри яких менше 0,5 м, може бути прийнята 1,5...2,0 мм, сталевих – 4...5 мм [2, 18].

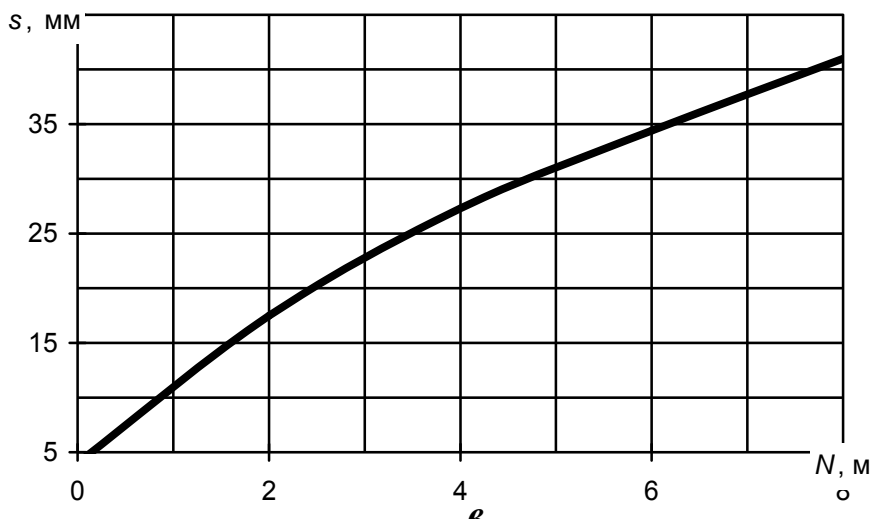
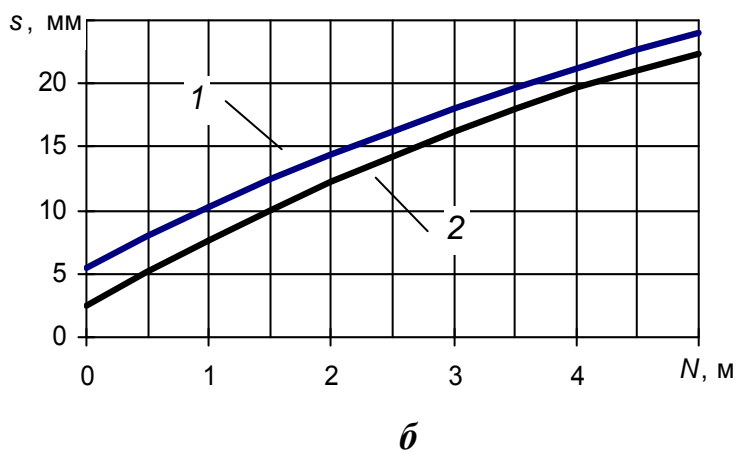
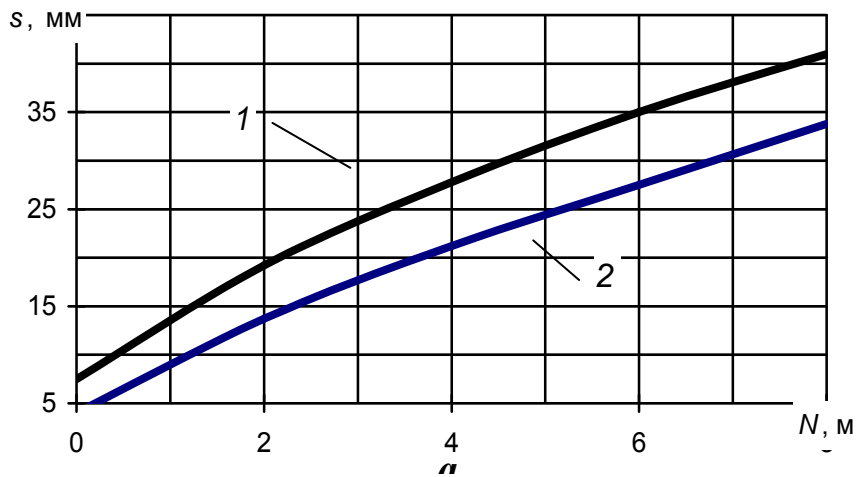


Рис. 5.34. Графіки для визначення товщини стінок s виливків, отриманих у піщаних формах:
а – з вуглецевих сталей (1) і чавуна (2); **б** – з мідних безолов'яних (1) і олов'яних (2) сплавів; **в** – з алюмінієвих сплавів

Залежно від умов охолодження й матеріалу вилівка в деяких випадках в отримані товщини стінок вносяться певні корективи. Так, товщина внутрішніх

стінок повинна бути: для чавунних і алюмінієвих виливків на 10...20% менше товщини зовнішніх стінок, для сталевих – на 20...30%, для мідних сплавів – на 15...20%. Для виливків з модифікованого й високоміцного чавунів товщину стінок збільшують на 15...20% у порівнянні з виливками із сірого чавуну. Якщо вилівок виготовляється з легованих сталей, товщину стінки збільшують на 20...30% у порівнянні з однотипними виливками з вуглецевих сталей.

В таблиці 5.12 наведено мінімальні значення товщин стінок виливків, виготовлених різними способами лиття.

Якщо отримана мінімальна товщина стінки виявиться більше зазначеної в кресленні, необхідно за узгодженням з конструктором зробити відповідне коригування.

Таблиця 5.12. Товщина стінок виливків [11]

Матеріал	Характеристика виливка	Найменша товщина стінки, мм	Матеріал	Характеристика виливка	Найменша товщина стінки, мм
Лиття в піщані форми					
Сталь вуглецева	Дрібні (до 2 кг)	8	Бронзи олов'яні	Найбільша довжина стінки, мм: до 50 понад 50 до 100 понад 100 до 200 понад 200 до 600	3 5 6 8
	Середні (2...50 кг)	12			
Великі (понад 50 кг)	20				
Сталь низьколегована	На 20...40% більша, ніж для виливків з вуглецевої сталі				
Чавун сірий	Дрібні (до 2 кг)	3–4	Спеціальні бронзи і латуні	Дрібні (до 2 кг) Середні (2...50 кг)	До 6 До 8
	Середні (2...50 кг)	6–8			
	Великі (понад 50 кг)	10–20			
Чавун високоміцний	На 15...20% більша, ніж для виливків з сірого чавуну		Кременісті бронзи	–	До 4
Чавун ковкий	Розміри площі стінки, мм:		Алюмінієві сплави	Найбільша довжина стінки, мм: до 200 понад 200 до 800	3–5 5–8
	50 × 50	2,5–3,5			
	100 × 100	3–4	Магнієві сплави	Дрібні Середні (довжина не більше 400 мм)	4 6
	200 × 200	3,5–5,5			
350 × 350	4–5,5				
	500 × 500	5–7	Цинкові сплави	–	До 3
Лиття в кокіль					
Магнієві сплави	Площа стінки до 30 см ²	3	Чавун	Площа стінки, см ² : до 25 понад 25 до 125 понад 125	4 6 15
Алюмінієві сплави		3–4			
Бронзи		4–6	Сталь	–	8–10

Лиття за виплавлюваними моделями

Матеріали	Товщина стінки при габаритних розмірах виливка, мм									
	Понад 10 до 50		Понад 50 до 100		Понад 100 до 200		Понад 200 до 350		Понад 350	
	nom	min	nom	min	nom	min	nom	min	nom	min
Олов'яно-свинцеві сплави	1–1,5	0,7	1,5–2	1,0	2–3	1,5	2,5–3,5	2,0	3–4	2,5
Цинкові сплави	1,5–2	1,0	2–3	1,5	2,5–3,5	2,0	3–4	2,5	3,5–5	3,0
Чавун	1,5–2	1,0	2–3,5	1,5	2,5–4	2,0	3–4,5	2,5	4–5	3,5
Мідні, магнієві, алюмінієві сплави	2–2,5	1,5	2,5–4	2,0	3,0–4	2,5	3,5–5	3,0	4–7	3,5
Сталь вуглецева	2–2,5	1,5	2,5–4	2,0	3,5–5	2,5	3,5–6	3,0	5–7	4,0

Примітка. Можна допускати стінки товщиною менше 0,75 мм, якщо вони мають довжину не більше 8–10 мм.

Лиття під тиском

Сплави	Товщина стінки виливка (мм) при площі суцільної поверхні, см ²				
	До 25	Понад 25 до 100	Понад 100 до 255	Понад 255 до 400	Понад 400 до 1000
Олов'яно-свинцеві	0,6	0,7	1,1	1,5	–
Цинкові	0,8	1,6	1,5	2,0	3,0
Магнієві	1,3	1,8	2,5	3,0	4,0
Алюмінієві	1,0	1,5	2,0	2,5	4,0
Мідні	1,5	2,0	3,0	3,5	4,0

Примітка. Для сталі оптимальна товщина стінок 3 мм.

Лиття в оболонковій формі

Характеристика виливка	Товщина стінки, мм
Дрібні, крім виливків зі сталі	2–2,5
Середні і дрібні сталеві	3–4

Примітки: 1. При товщині стінок 10...12 мм у виливках можна виконувати отвори \varnothing 6 мм і більше за моделлю (без шишок). 2. Для сталевих виливків радіуси заокруглень повинні бути не менше 3 мм. 3. Перехідний кут для оформлення різних потовщень на виливку 30...45°.

8. Призначають напуски (формувальні уклони, радіуси заокруглень).

Напуски призначають на тих ділянках виливка, де отвори, западини, порожнини тощо отримати литтям важко або неможливо. При необхідності напуски усувають потім механічною обробкою. Тому потрібно зважувати, що доцільніше – не передбачати їх (ускладнюючи ливарну форму), чи, передбачивши, потім видалити різанням.

Напуск можна призначати *методом "тіней"* (рис. 5.13). Призначення напусків у "тіньових" ділянках дозволяє спростити технологічне оснащення, технологію виготовлення і в остаточному підсумку отримати більш якісні виливки.

Мінімальний діаметр отворів, виконуваних литтям, вибирають так, щоб уникнути сильного перегріву й пригару шишки до стінок отвору. Можливість спікання шишкової суміші й пригару визначається масою оточуючого металу,

тому мінімальний розмір литих отворів залежить від товщини стінки (тобто довжини шишки) і може бути визначений за формулою:

$$d_{\min} = d_0 + 0,1s, \quad (5.2)$$

де d_0 – вихідний діаметр, мм; s – товщина стінки, мм.

Вихідний діаметр d_0 на практиці вибирається залежно від матеріалу виливка: для мідних сплавів – 5 мм, для чавунів і алюмінієвих сплавів – 7, для сталей – 10 мм. Якщо вказаний у кресленні розмір отвору менше отриманого розрахунком d_{\min} , отвір литтям не виготовляють.

Мінімальні діаметри отворів і різьб, які можуть бути виготовлені литтям, в залежності від способу лиття, матеріалу виливка, його розмірів і маси, товщини стінки чи довжини отвору наведені у довідковій і спеціальній літературі [1-3, 11].

Формувальні уклони (або ливарні нахили) призначаються на стінках виливка перпендикулярних до площини розняття форми. Уклони встановлюються за ГОСТ 3212–92 залежно від розмірів заглиблень, висоти формотворної поверхні, способу лиття й виду модельного комплекту (табл. 5.13). На оброблюваних поверхнях уклон встановлюється понад припуск на механічну обробку (рис. 5.35, *а*), на необроблюваних і несполучуваних поверхнях – шляхом одночасного збільшення й зменшення розмірів виливка (рис. 5.35, *в*), на необроблюваних, але сполучуваних поверхнях – шляхом зменшення або збільшення розмірів (рис. 5.35, *б*, *г*).

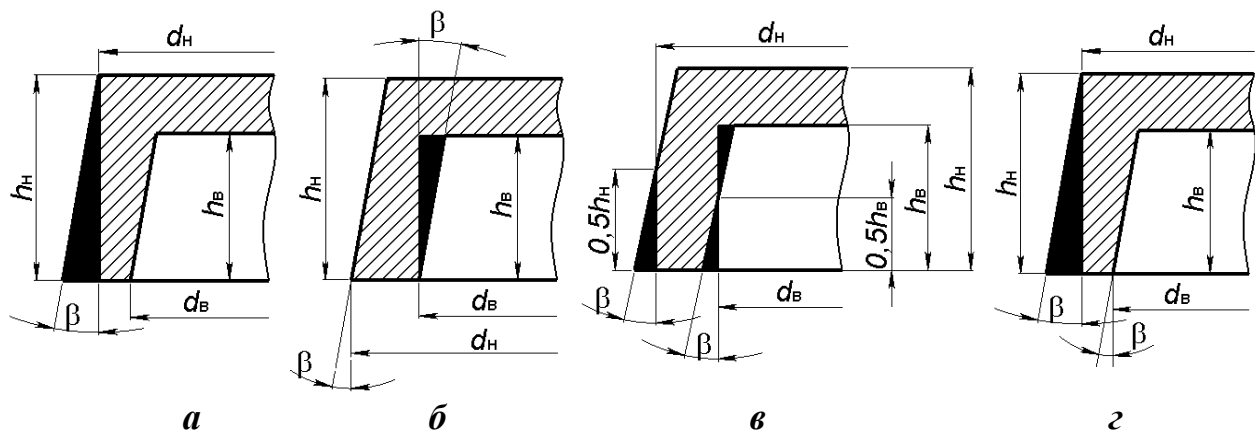


Рис. 5.35. Формувальні уклони

Після формування контуру виливка в місцях переходу від одного елемента до іншого призначають *радіуси заокруглень*, які в значній мірі визначають якість литої заготовки. Занадто малі радіуси в сполученнях стінок призводять до тріщин, завищені – до появи усадочних раковин і пористості.

Таблиця 5.13. Формувальні уклони модельного комплекту

Висота основної формувальної поверхні h_H або h_B , мм (див. рис.3.34)	Формувальний уклон								
	при застосуванні піщано-глинистих сумішей і комплекту				при застосуванні сумішей, що тверднуть в контакт з оснасткою, і комплекту			для лиття за виплавленими моделями	
	металевого, пластмасового		дерев'яного		металевого для оболонкової форми	металевого, пластмасового	дерев'яного	для зовнішніх (охоплюваних) поверхнь	для внутрішніх (охоплюваних) поверхнь
	$d \leq h$	$d > h$	$d \leq h$	$d > h$					
До 10	2°17'	4°34'	2°54'	5°45'	1°43'	3°26'	4°00'	0°30'	1°30'
10...18	1°36'	3°11'	1°54'	3°49'	1°16'	2°32'	2°52'	0°20'	1°00'
19...30	1°09'	2°40'	1°31'	3°03'	0°57'	1°54'	2°17'	0°15'	0°45'
31...50	0°48'	1°42'	1°02'	2°05'	0°41'	1°16'	1°29'	0°15'	0°45'
51...80	0°34'	1°13'	0°43'	1°26'	0°30'	0°54'	1°04'	0°10'	0°30'
81...120	0°26'	0°54'	0°32'	1°03'	0°23'	0°40'	0°46'	0°10'	0°30'
121...180	0°19'	0°38'	0°23'	0°46'	0°17'	0°29'	0°34'	—	—
181...250	0°19'	0°37'	0°22'	0°44'	0°14'	0°28'	0°33'	—	—
251...315	0°19'	0°37'	0°22'	0°44'	0°14'	0°27'	0°33'	—	—
316...400	0°18'	0°36'	0°21'	0°43'	—	0°26'	0°32'	—	—
401...500	0°17'	0°35'	0°21'	0°41'	—	0°26'	0°31'	—	—
501...630	0°17'	0°33'	0°19'	0°38'	—	0°24'	0°29'	—	—
630...800	0°16'	0°32'	0°19'	0°38'	—	0°24'	0°29'	—	—
801...1000	—	—	0°19'	0°38'	—	—	0°29'	—	—
1001...1250	—	—	0°19'	—	—	—	0°29'	—	—
1251...1600	—	—	0°19'	—	—	—	0°29'	—	—
1601...2000	—	—	0°19'	—	—	—	0°28'	—	—
2001...2500	—	—	0°19'	—	—	—	0°28'	—	—
Понад 2500	—	—	0°19'	—	—	—	0°28'	—	—

Внутрішні радіуси заокруглень у сполученнях залежно від матеріалу вилівка, товщини стінок, що сполучаються, і кута, утвореного між ними, вибирають за графіками (рис. 5.36). Співвідношення сполучуваних елементів, а також радіуси заокруглень зовнішніх кутів слід брати за відповідними таблицями у довідниках [1-3, 17].

Рекомендується застосовувати одне значення радіуса всіх галтелей і заокруглень заготовки. Уніфіковане значення радіуса можна вказати в технічних вимогах креслення, наприклад "Ливарні радіуси внутрішніх сполучень – R5 мм".

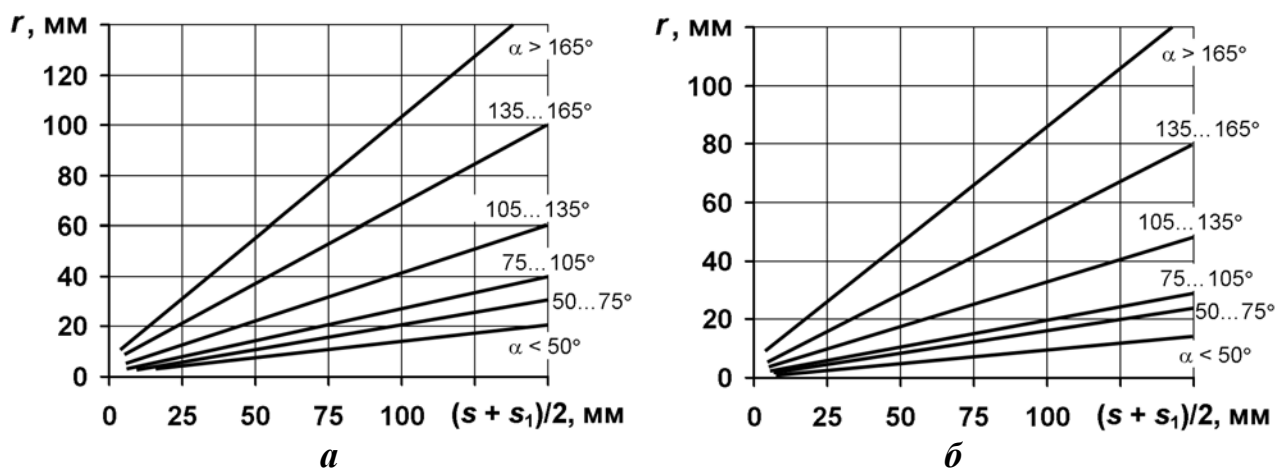


Рис. 5.36. Графіки визначення радіусів заокруглень r за середньою товщиною стінки $(s + s_1)/2$ при сполученні елементів виливків:
a – зі сталі та мідних сплавів; **б** – з чавуна, алюмінієвих і магнієвих сплавів

9. Розраховують номінальні розміри виливка.

Виходячи з розмірів готової деталі та враховуючи основні та додаткові припуски (на сторону) і напуски, визначають номінальні розміри виливка. Отримані розміри заокруглюють (за умови збільшення припусків) до значень співмірних з точністю до допусків чи відхилень цих розмірів.

Розміри зовнішніх поверхонь заготовок звичайно більші, а розміри внутрішніх поверхонь – менші за розміри відповідних поверхонь готових деталей. Якщо розмір визначає міжцентрову відстань чи відстань між зовнішньою та внутрішньою поверхнями, в окремих випадках номінальні значення розмірів заготовки можуть збігатися з відповідними розмірами деталі.

Допуски, встановлені ГОСТ 26645–85, поширюються на *всі номінальні розміри* виливка незалежно від наявності та призначення припуску.

5.6.2. Правила вибору баз

Значну увагу в процесі конструювання виливка приділяють визначенню форми та розмірів його *базових поверхонь*, які використовують для встановлення та закріплення виливків у пристроях металорізальних верстатів для подальшого оброблення.

База – це поверхня (сполучення поверхонь), вісь, точка, які належать заготовці й використовуються для базування, тобто надання їй необхідного положення відносно обраної системи координат. Технологічні бази поділяють на *установлювальні* та *вимірювальні*, що забезпечують надійне встановлення виливка під час його оброблення різанням, вимірювання та контролю. Розрізняють бази *чорнової* й *чистої механічної обробки*.

Чорнові бази служать для встановлення виливків на металорізальних верста-тах під час оброблення чистових баз. Для виливків, у яких за допомогою різання обробляються не всі поверхні, чорновими базами звичайно призначають необроблювані поверхні або їх осі. Від цих баз проставляються розміри до інших необроблюваних або базових оброблюваних поверхонь. Для виливків, у яких обробляються всі поверхні, за чорнові бази приймають поверхні, що забезпечують їх надійне встановлення у верстати та мають менші припуски.

Багато, щоб чорнові та чистові бази співпадали, тобто були в одній площині, були спільною віссю поверхні тощо. Якщо це неможливо, роблять спеціальні технологічні приливи, поверхні яких приймають за бази. Якщо чорнові й чистові бази механічної обробки різні, то вони зв'язуються між собою розмірами, при цьому відстань між ними повинна бути мінімальною.

У деталях простої конфігурації базами можуть бути різні опорні поверхні, площини рознімання, для складніших – осі циліндричних поверхонь.

При виборі баз чорнової обробки необхідно враховувати наступні рекомендації.

1. Чорнові бази повинні мати задану форму та розміри, бути рівними, без ливників, виступів, нахилів тощо.

2. Розміри чорнової бази повинні бути по можливості мінімальними. У цьому випадку її жолоблення й допустимі відхилення на базовий розмір будуть також мінімальні.

3. Точність складання ливарної форми не повинна впливати на точність положення чорнової бази.

4. Чорнові базові поверхні не повинні перетинатися лінією рознімання напівформ (повинні розташовуватися в одній напівформі), щоб уникнути їх викривлення при перекосах і зсувах напівформ.

5. По кожній із трьох осей координат слід призначати тільки одну базу.

6. В конструкції вилівка треба передбачити можливість прикладання зусиль для надійного його закріплення на верстаті без зайвого деформування.

7. Передбачити, щоб кожна база використовувалась для виконання максимального числа операцій механічної обробки. У цьому випадку забезпечується найбільша точність виготовлення виробу.

Наприклад, на рис. 5.37 зображено вилівок шківів, у якого чорновими базами можуть бути торцева поверхня 1 (вісь Z) та зовнішня поверхня 2 обода (вісь X і Y). Чистовими базами відповідно є оброблені друга торцева поверхня 3 обода та отвір 4 для осі шківів.

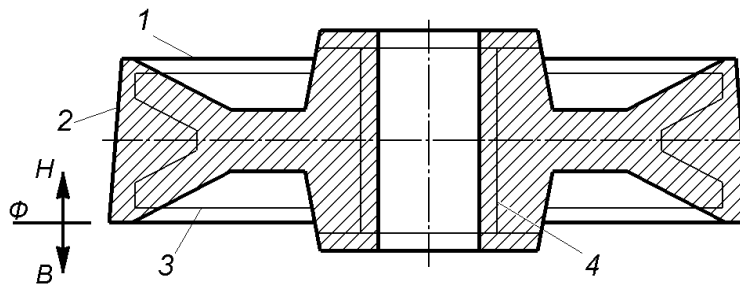


Рис. 5.37. Виливок шків з сірого чавуну, виготовлений у піщано-глинистій формі

5.6.3. Оформлення креслень виливків

Креслення виливка виконується відповідно до правил ЄСКД і ГОСТ 3.1125–88 на основі креслення деталі та технічних вимог до заготовки. Креслення повинно містити всі дані, необхідні для виготовлення, контролю й приймання виливка (конструкція виливка, розміри та їх відхилення, допуски форми та взаємного розташування поверхонь, ливарні нахили, радіуси заокруглень, шорсткість поверхонь, марка матеріалу, маса виливка, технічні вимоги (див. п. 5.6.4).

В одиничному виробництві креслення виливка роблять на копії креслення деталі, при цьому елементи виливка виконуються червоним кольором.

Спочатку на кресленні деталі вказуються напуски. Потім на всі оброблювані поверхні призначають припуски відповідно до ГОСТ 26645–85.

Після визначення положення виливка у формі й лінії рознімання форми встановлюють формувальні уклони й призначають радіуси заокруглень.

З урахуванням можливих форми, розмірів і положення шишок визначаються конфігурація й розміри внутрішніх поверхонь (отворів).

У серійному й масовому виробництвах на виливок виконують самостійне креслення, на якому тонкими суцільними лініями (див. рис. 3.36) вказують контур оброблених поверхонь, а також отворів, западин і виточень, не виконуваних литтям (без нанесення їх розмірів).

Залишки живильників, випорів, додатків, усадочні ребра, технологічні приливи, проби для випробувань тощо, якщо вони не видаляються повністю в ливарному цеху, також зображуються на кресленні виливка суцільною основною лінією. При цьому, якщо вони обрізані різцем, фрезою або пилкою, лінія відрізання зображується суцільною тонкою прямою лінією; якщо вогневим різанням або обламанням – то хвилястою.

Для проб, що вирізаються з тіла виливка, вказують розміри, які визначають місце їх вирізання, а на полці-виносці вказують призначення проби (наприклад, проба для механічних випробувань, проба для металографічних досліджень).

На кресленні вилівка виконують умовні позначення поверхонь рознімання форми та моделі – відрізок або штрихпунктирна лінія, на якій ставиться літерне позначення Φ або $M\Phi$ (відповідно для поверхонь рознімання форми та моделі й форми). Кожне рознімання показують окремо. Напрямок рознімання вказують суцільною основною лінією, обмеженою стрілками і перпендикулярною до лінії рознімання. Розташування вилівка у формі при заливанні позначають літерами B (верх) і H (низ), які ставлять біля стрілок, що вказують напрямок рознімання форми (див. рис. 5.37).

Значення припусків на механічне оброблення допускається проставляти перед знаком шорсткості поверхні, яку вона повинна мати після оброблення різанням, або перед величиною уклону і лінійними розмірами. Допускається при нескладних вилівках припуски на механічну обробку не зображати, а вказувати лише величину технологічного припуску цифрою зі знаком плюс (+) чи мінус (-) і літерою T . Проставляють його на продовженні розмірної лінії або на полиці лінійвиноска.

При проставлянні розмірів з комплектом чорнових баз зв'язують відповідні необроблювані поверхні; при цьому варто уникати проставляння розмірів ланцюжком. Якщо неможливо кожний з розмірів зв'язати із чорною базою, необхідно прагнути до того, щоб число додаткових розмірів було мінімальним.

По кожній із трьох осей координат необхідно зв'язати чорнову базу з відповідною базою чистової обробки тільки одним розміром. У протилежному випадку при проставлянні між оброблюваною й необроблюваною поверхнями по одному координатному напрямку двох і більше розмірів, їх допуски підсумовуються. В якості замикального розміру звичайно вибирається товщина фланця, приливу або іншого невідповідального елемента, що буде коливатися в межах суми допусків на ланцюг розмірів.

Всі оброблювані поверхні рекомендується зв'язати з базою чистової механічної обробки. Зв'язувати з нею необроблювані поверхні небажано.

В ГОСТ 3.1125–88 вказані також правила зображення і позначення шишок, від'ємних частин моделі, ливникової системи, холодильників тощо.

5.6.4. Технічні вимоги до вилівоків

У технічних умовах на вилівок необхідно вказати наступні вимоги.

1. Клас точності розмірів, клас точності маси, ступінь жолоблення й ряд припусків на механічну обробку. Приклад умовного позначення точності вилівка 8-го класу точності розмірів, 7-го класу точності маси, 5-го ступеня жолоблення

та 4-го ряду припусків:

Точність вилівка 8–7–5–4 ГОСТ 26645–85

Для різних розмірів одного й того ж вилівка допускається застосування різних класів точності залежно від вимог, висунутих до відповідних поверхонь, і умов їх одержання. Допускається в технічних умовах креслення вилівка не вказувати: ступінь жолоблення та ряд припусків на механічну обробку.

2. Невказані на кресленні радіуси заокруглень, формувальні уклони тощо.

3. Допустимий зсув опок (найчастіше вказується на кресленнях великих корпусних деталей).

4. Вимоги до матеріалу вилівка або відомості про його допустимий замінювач.

5. Вказівки щодо виду термічної обробки і покриття поверхонь вилівка; встановлені границі твердості, методи й місце її виміру.

6. Відомості про вид, кількість, розміри й місця розташування допустимих ливарних дефектів (усадочна пористість, раковини, тріщини тощо). Якщо дозволяється виправлення певних дефектів, то вказуються їх види й допустимі способи виконання.

При необхідності вказуються додаткові вимоги: щодо допустимої глибини відбілювання для вилівок із чавуну; макро й мікроструктури; жаростійкості або корозійної стійкості; герметичності; місць для взяття проби матеріалу тощо. У цьому випадку додатково вказуються методи контролю й норми відбраковування вилівок за відповідними показниками.

Для досить великих вилівок вказуються місце маркування деталі, його характер, а також зміст і спосіб нанесення.

Загальні технічні вимоги, методи їх виконання, засоби та обсяги випробувань для вилівок з конструкційної легованої та нелегованої сталі викладені в ГОСТ 977–75, а для вилівок з легованого та нелегованого чавуну з пластинчастим, вермикулярним та кулястим графітом і ковкого чавуну – у ГОСТ 26358–84. В ці вимоги входять дані про клас точності, твердість вилівка, необхідну термічну обробку та її місце в технологічному процесі, розміри ливарних нахилів і радіусів, спосіб очищення від пригару та формувальної суміші, необхідність видалення живильників, випорів, додатків тощо. Загальні вимоги до вилівок, що наведені в державних стандартах і входять в обсяг стандартних умовних позначень, можна окремо у кресленнях не вказувати, якщо вони мають належні позначення.

5.7. Приклад проектування литої заготовки

Завдання: необхідно спроектувати литу заготовку для деталі, представленої на рис. 5.38. Матеріал деталі – сталь 40ХЛ, маса – 10,1 кг, річна програма випуску – 500 шт.

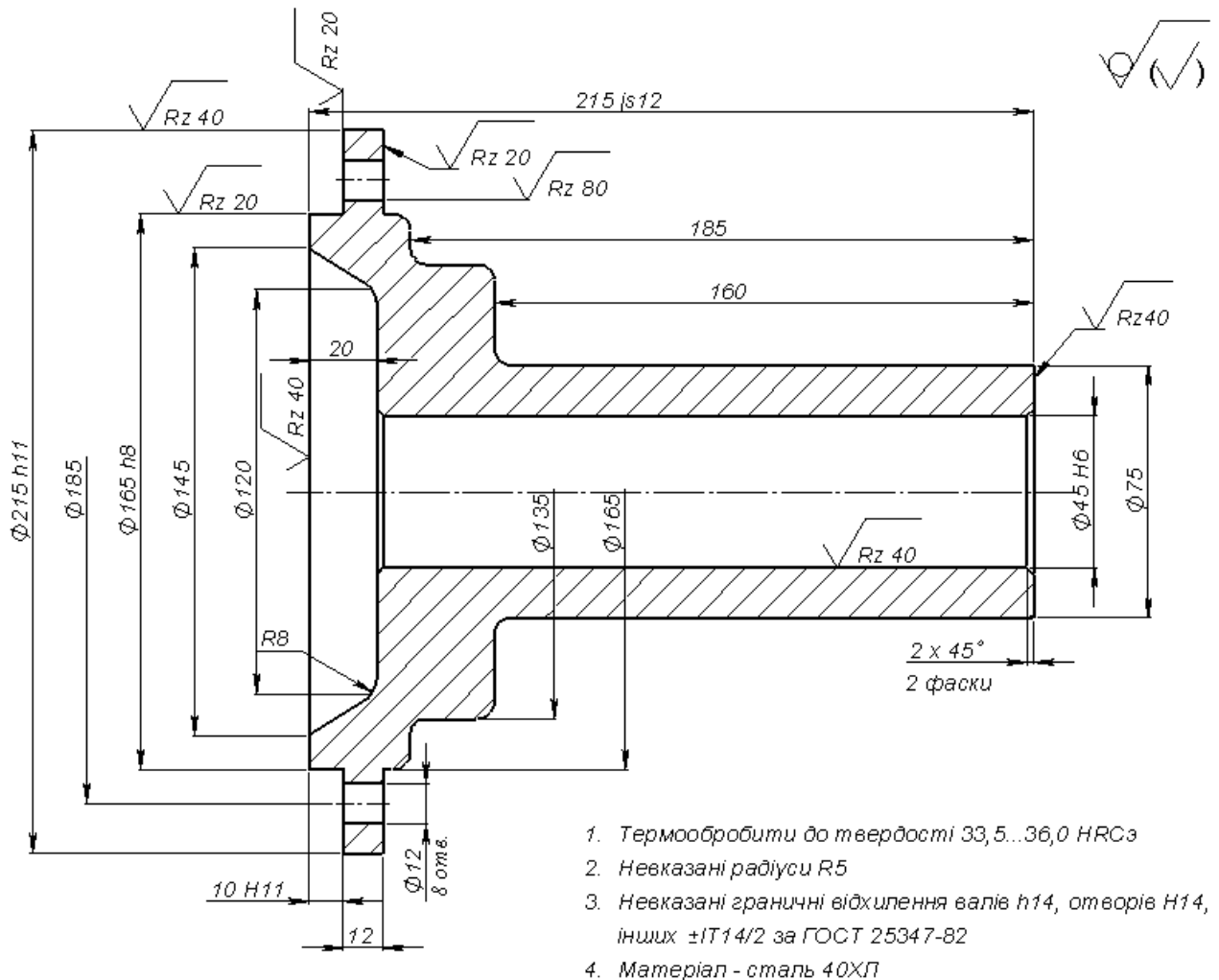


Рис. 5.38. Креслення деталі

Розв'язання.

Використовуючи таблицю 5.3, встановлюємо тип заготівельного виробництва – **дрібносерійне**.

Виходячи з заданих умов, добираємо спосіб виготовлення виливків – **лиття в піщані форми**.

Щоб зменшити висоту форми, вісь виливка при формуванні розташовуємо горизонтально.

Згідно з рекомендаціями ГОСТ 26645–85 (табл. 5.4) для дібраного способу лиття, габаритних розмірів виливка до 630 мм, зі сталі, знаходимо класи точності

розмірів і мас виливків 7 – 13т та ряди припусків 2 – 5. Для нашого випадку (вилівок нескладної форми в умовах дрібносерійного виробництва) призначаємо **клас точності розмірів і мас – 9, ряд припусків – 4.**

Виходячи з дібраного способу виготовлення вилівка (разові форми), його геометричної форми (відношення найменшого габаритного розміру до найбільшого – понад 0,20, нескладна форма, її симетричність, невеликі розміри, незначна різностінність), невисоких ливарних властивостей матеріалу та необхідності термообробки вилівка, за табл. 5.7 приймаємо **ступінь жолоблення вилівка – 5.**

У підсумку маємо вилівок, точність якого: 9–9–5–4 ГОСТ 26645–85.

За таблицями вказаного стандарту знаходимо **допуски розмірів** вилівка (табл. 5.5):

$\varnothing 215h11, l = 215js12$ і $\varnothing 165h8 - 2,8$ мм;

$\varnothing 135 - 2,4$ мм;

$\varnothing 120 - 2,4$ мм;

$\varnothing 75 - 2,2$ мм;

$\varnothing 45H6 - 2,0$ мм;

$l = 20, l = 10 + 12 = 22 - 1,6$ мм;

$\varnothing 12 - 1,4$ мм;

$l = 10H11 - 1,2$ мм.

Оскільки отвір $\varnothing 45$ утворений однією шишкою, то згідно з рекомендаціями стандарту допуск на цей розмір встановлюємо на 1...2 класи точніше, тобто приймаємо 9т клас точності. Тоді відповідно отримуємо для $\varnothing 45$ допуск 1,6 мм. Аналогічно для розміру $\varnothing 120$ маємо допуск 2,0 мм і для отворів $\varnothing 12$ – допуск 1,1 мм.

Граничні відхилення зсуву елементів вилівка відповідно табл. 5.6 становлять $\pm 0,8$ мм (відстань між центрувальними пристроями форми до 630 мм).

Граничні відхилення жолоблення вилівка дорівнюють $\pm 0,16$ мм (табл. 5.8).

З урахуванням отриманих допусків, обраного ряду припусків і необхідної точності розмірів оброблюваних поверхонь вибираємо **основні припуски** на механічну обробку (таблиці 5.9 і 5.10):

$\varnothing 215h11, l = 215js12 - 5$ мм (згідно табл. 5.10 беремо більше значення з табл. 5.9, оскільки розміри точніші за 13 квалітет точності);

$\varnothing 165h8 - 6,5$ мм (збільшуємо основний припуск до найближчого більшого значення з того ж ряду, оскільки точність розміру вища, ніж це передбачено табл. 5.10);

$\varnothing 45H6 - 4,2$ мм (аналогічно розміру $\varnothing 165h8$);

$\varnothing 12 - 2,8$ мм (згідно табл. 5.10 беремо менше значення з табл. 5.9, оскільки розмір грубіший за 13 квалітет точності);

$l = 22 - 3$ мм (аналогічно розміру $\varnothing 12$);

$l = 10H11 - 3,4$ мм (аналогічно розміру $\varnothing 215h11$).

Оскільки найбільше із граничних відхилень розташування (граничні відхилення зсуву $\pm 0,8$ мм) перевищує половину допуску всіх розмірів виливка призначаємо **додаткові припуски** (табл. 5.11):

$\varnothing 215h11, l = 215js12$ і $\varnothing 165h8 - 0,3$ мм;

$\varnothing 45H6 - 0,6$ мм;

$\varnothing 12 - 0,8$ мм;

$l = 22 - 0,6$ мм;

$l = 10H11 - 0,8$ мм

Враховуючи основні та додаткові припуски (на сторону), визначаємо **номінальні розміри виливка**:

- для розмірів деталі $\varnothing 215h11$ і $l = 215js12$ розміри виливка

$$215 + 2(5 + 0,3) = 225,6;$$

- для розміру деталі $\varnothing 165h8$ розмір виливка

$$165 + 2(6,5 + 0,3) = 178,6;$$

- для розміру деталі $\varnothing 45H6$ розмір виливка

$$45 - 2(4,2 + 0,6) = 35,4;$$

- для розміру деталі $\varnothing 12$ розмір виливка

$$12 - 2(2,8 + 0,8) = 4,8;$$

- для розміру деталі $l = 22$ розмір виливка

$$10 + 12 + (5 + 0,3) + (3 + 0,6) = 30,9;$$

- для розміру деталі $l = 10H11$ розмір виливка

$$10 + (5 + 0,3) - (3,4 + 0,8) = 11,1.$$

Враховуючи рекомендації стандарту щодо призначення відхилень розмірів (див п. 5.6.1) і пам'ятаючи, що заокруглення розмірів можна робити за умови збільшення припусків (до значень співмірних з точністю до допусків чи відхилень цих розмірів), отримані розміри виливка записуємо так

$$\varnothing 225,6 - \varnothing 226 \pm 1,4;$$

$$225,6 - 226 \pm 1,4;$$

$$\varnothing 178,6 - \varnothing 179 \pm 1,4;$$

$$\varnothing 35,4 - \varnothing 35,4 \pm 0,8;$$

$$\varnothing 4,8 - \varnothing 4,8 \pm 0,55;$$

30,9 – 31 ± 0,8;

11,1 – 11 ± 0,6.

Для розмірів елементів виливка, які не підлягають механічній обробці, маємо: $\varnothing 135 \pm 1,2$, $\varnothing 120 \pm 1$, $\varnothing 75 \pm 1,1$, $25,5 \pm 0,8$.

Лінійний розмір 60,5 пов'язує чорнову и чистову бази механічної обробки (рис. 5.39), тому призначаємо на нього допуск на 2 класи точніше, тобто за 8 класом точності. Отже, маємо $60,5 \pm 0,6$.

За формулою (5.1) визначаємо *приведений габаритний розмір* заготовки

$$N = (2 \cdot 0,215 + 0,215 + 0,215)/3 = 0,287 \text{ м,}$$

а потім за графіком (див. рис. 5.34) – *мінімальну товщину стінки*: 8 мм. Отже, всі стінки заготовки можуть бути виготовлені литтям.

Визначимо *мінімальні діаметри отворів*, які можуть бути виконані литтям, за формулою (5.2):

- для центрального отвору $\varnothing 35,4 \pm 0,8$ $d_{\min} = 10 + 0,1(215 - 20) = 29,5$ мм;

- для отворів у фланці $\varnothing 4,8 \pm 0,55$ $d_{\min} = 10 + 0,1 \cdot 12 = 11,2$ мм.

Отримані значення d_{\min} показують, що литтям може бути виготовлений лише центральний отвір. Виготовити отвори $\varnothing 4,8$ мм у фланці литтям неможливо, тому в цьому випадку на отвори $\varnothing 12$ мм призначаємо *напуск*.

Відповідно до отриманої висоти уступів за табл. 5.13 вибираємо формувальні уклони ($3^{\circ}03'$ і $3^{\circ}49'$), а за графіками рис. 5.36 – радіуси заокруглень. З урахуванням вимог креслення деталі в цьому випадку можна для всіх сполучень установити радіус заокруглення – 5 мм.

За отриманими даними оформляємо креслення литої заготовки (рис. 5.39).

Спільною базою чорнкової й чистової механічної обробки служить вісь заготовки. За другу чорнову базу обраний торець поверхні $\varnothing 135$ мм, що забезпечує надійну фіксацію заготовки в осьовому напрямку при механічній обробці. В якості другої бази чистової обробки обраний лівий торець заготовки, що обробляється при базуванні на чорнові бази.

Відповідно до п. 5.6.4 призначаємо технічні умови на виливок.

Розрахункова маса литої заготовки – 13,8 кг.

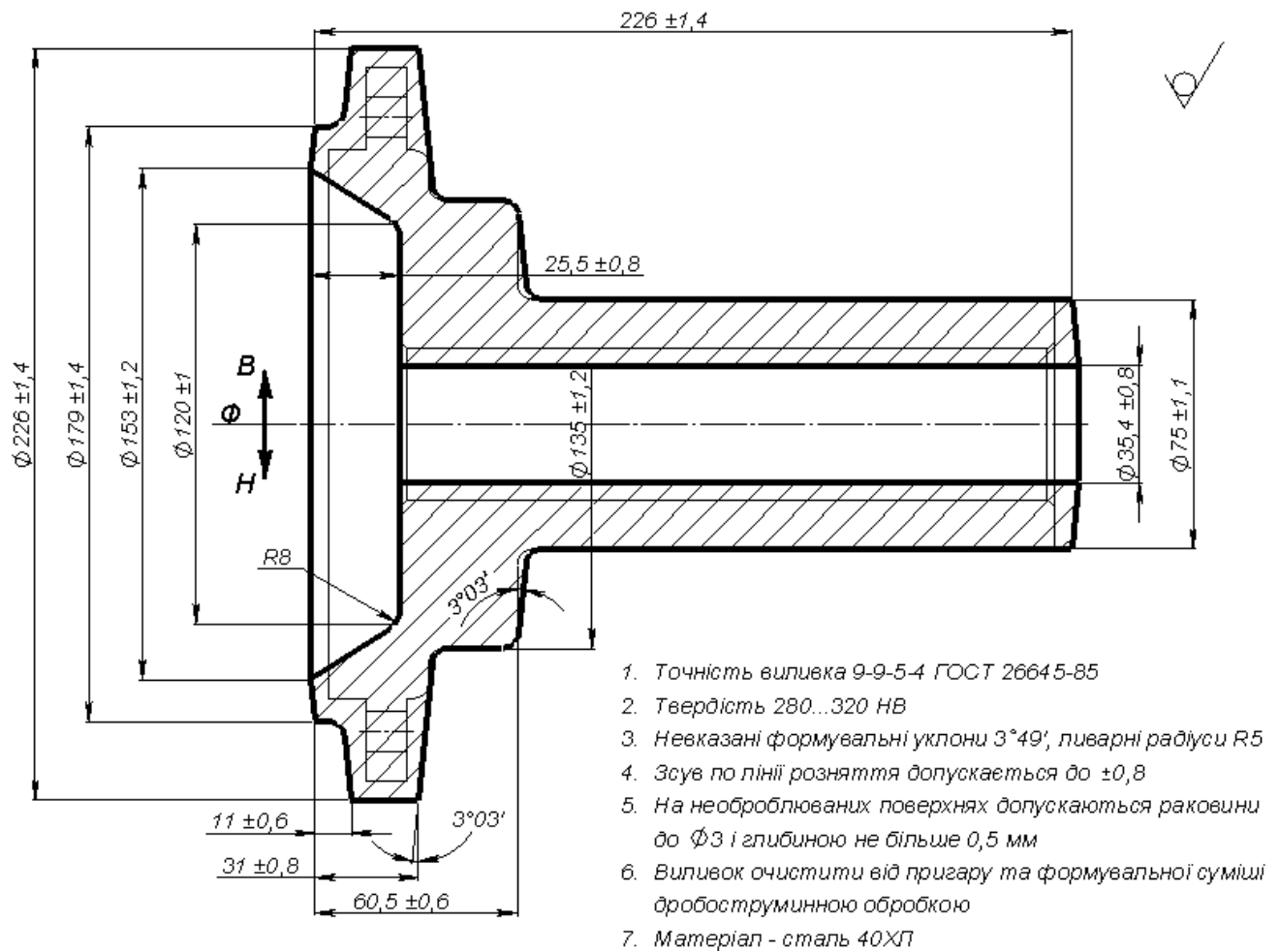


Рис. 5.39. Креслення литої заготовки деталі

5.8. Завдання для самостійного розв'язування

Спроекувати литі заготовки для деталей згідно з даними, наведеними у таблиці 5.14. (допуски розмірів і припуски на механічну обробку призначити відповідно ГОСТ 26645–85).

Таблиця 5.14. Вихідні дані для самостійного завдання

Варіант	Рисунок	Матеріал деталі	Маса деталі, кг	Річна програма випуску, шт.
1	5.40	чавун СЧ20	5,8	100
2	5.41	чавун ВЧ38	6,3	150
3	5.42	чавун СЧ28	3,2	1000
4	5.43	чавун КЧ-42	4,5	500
5	5.44	чавун АЧК-2	1,8	450
6	5.45	чавун СЧ20	2,0	400

Варіант	Рисунок	Матеріал деталі	Маса деталі, кг	Річна програма випуску, шт.
7	5.40	сплав АЛ-2	2,2	15000
8	5.41	сталь 40Л	6,7	10000
9	5.42	сплав АЛ10В	1,2	50000
10	5.43	чавун СЧ32	4,4	25000
11	5.44	чавун СЧ24	1,8	40000
12	5.45	сталь 40Л	2,2	50000
13	5.46	сплав АК5М2	1,3	500
14	5.38	сплав АК8	3,6	25000
15	5.46	сталь 35Л	3,4	20000

Примітка. На деяких рисунках деталей вказані розміри тільки оброблених поверхонь, на які потрібно призначати припуски. При виконанні креслень виливків невказані розміри призначати, виходячи з конструктивних міркувань.

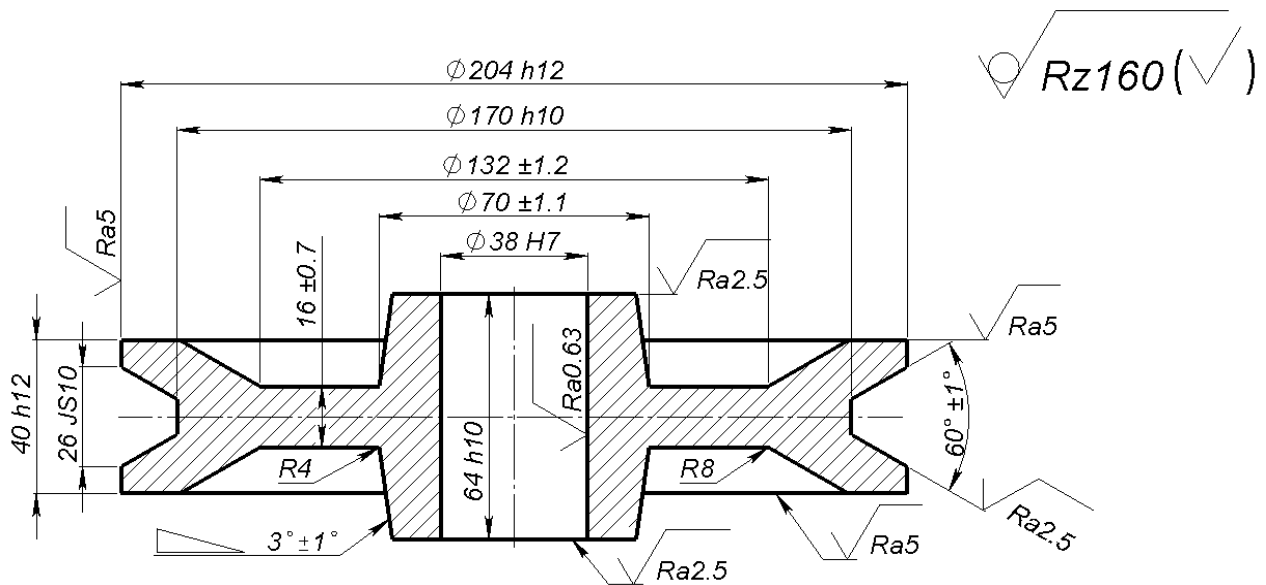


Рис. 5.40. Шків

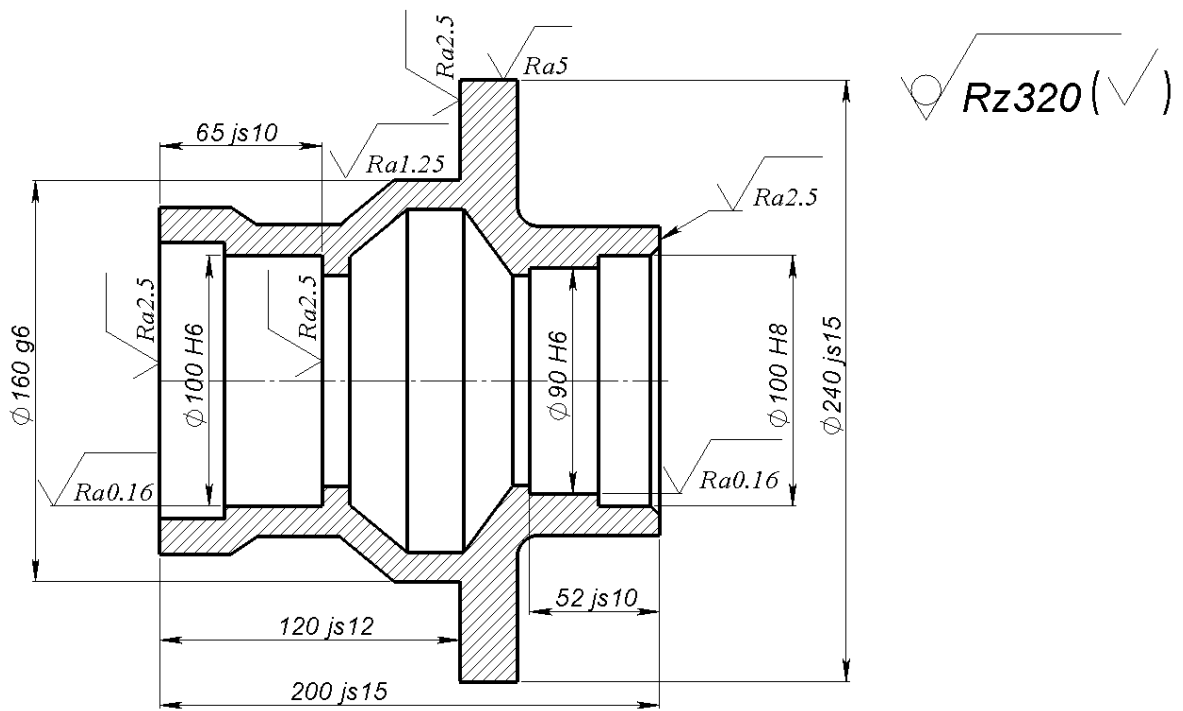


Рис. 5.41. Маточина переднього колеса автомобіля

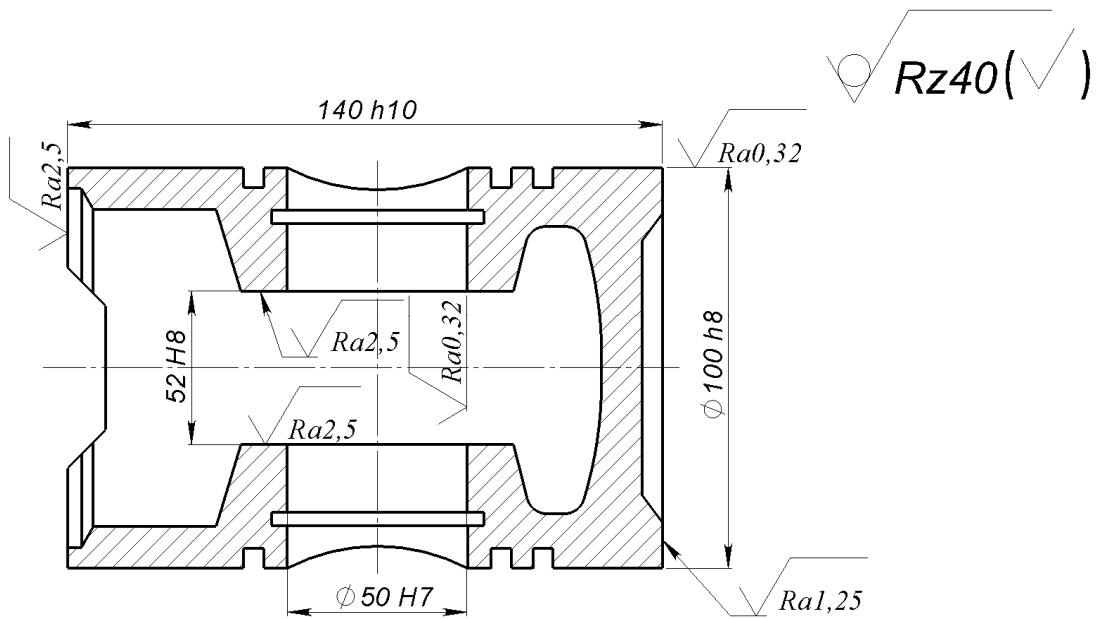


Рис. 5.42. Поршень двигуна внутрішнього згоряння

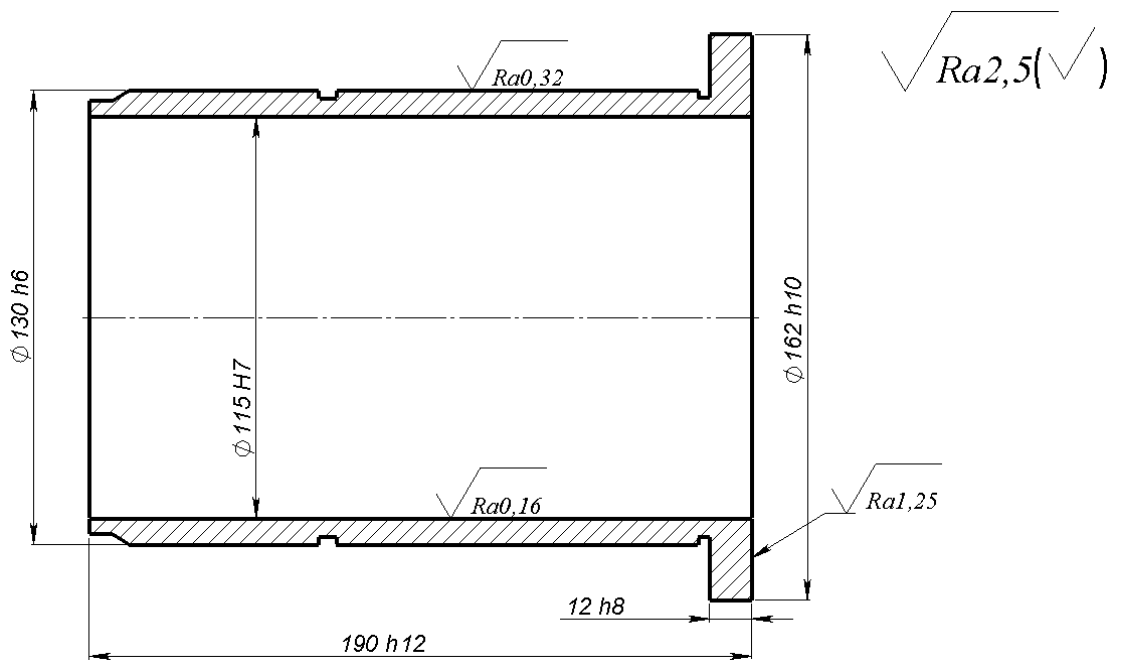


Рис. 5.43. Гільза компресора

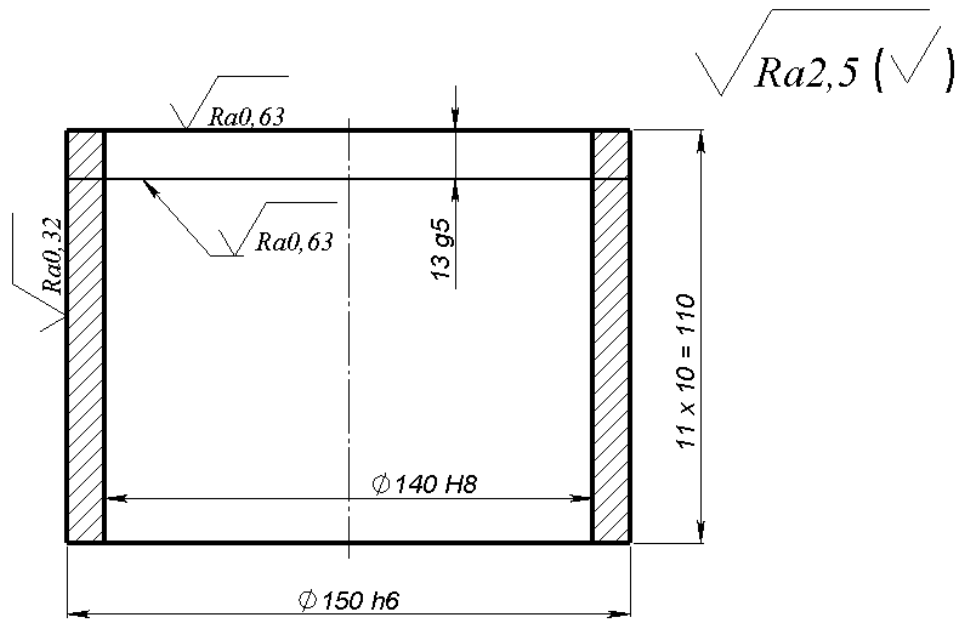


Рис. 5.44. Маслота для поршневих кілець

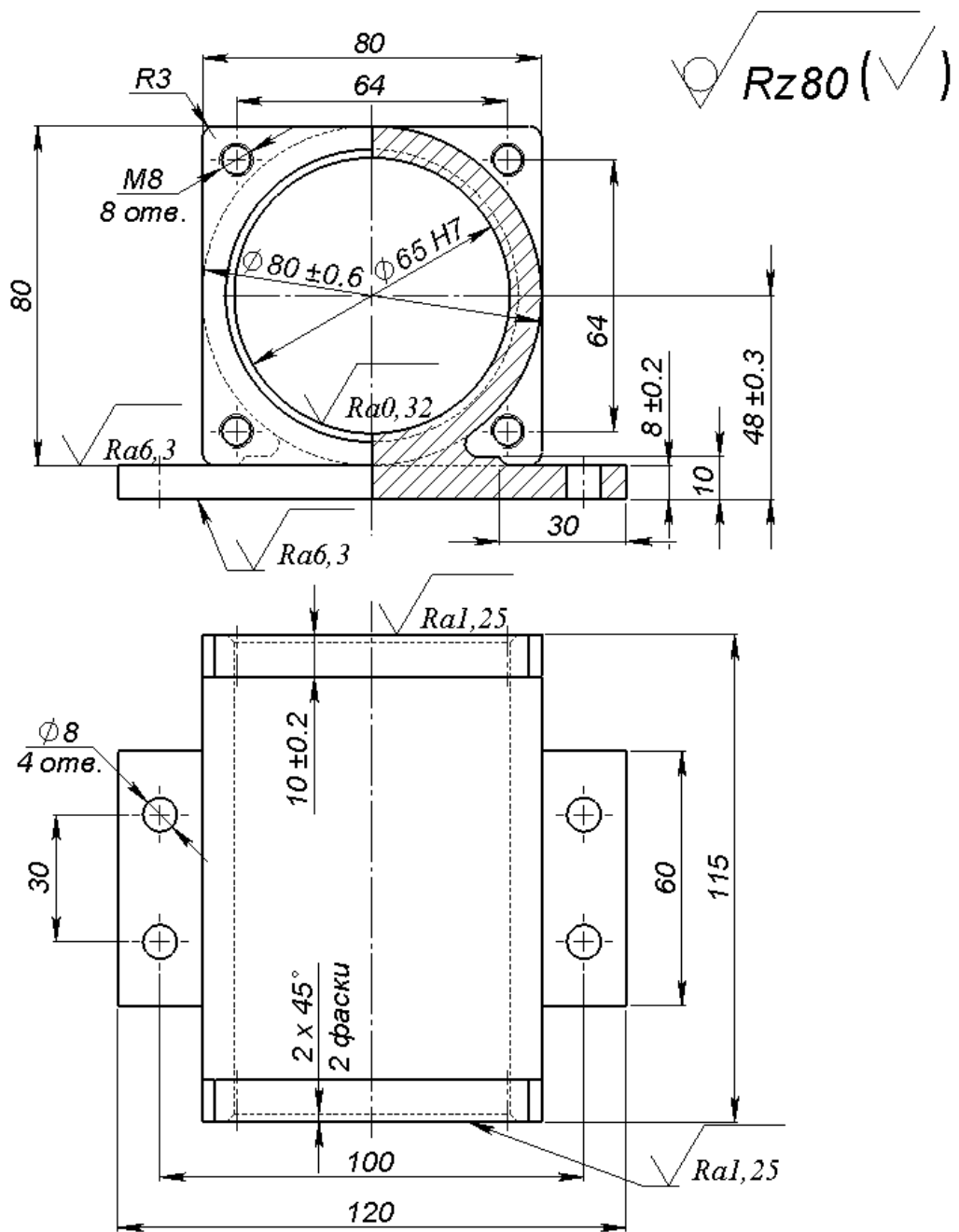


Рис. 5.45. Корпус

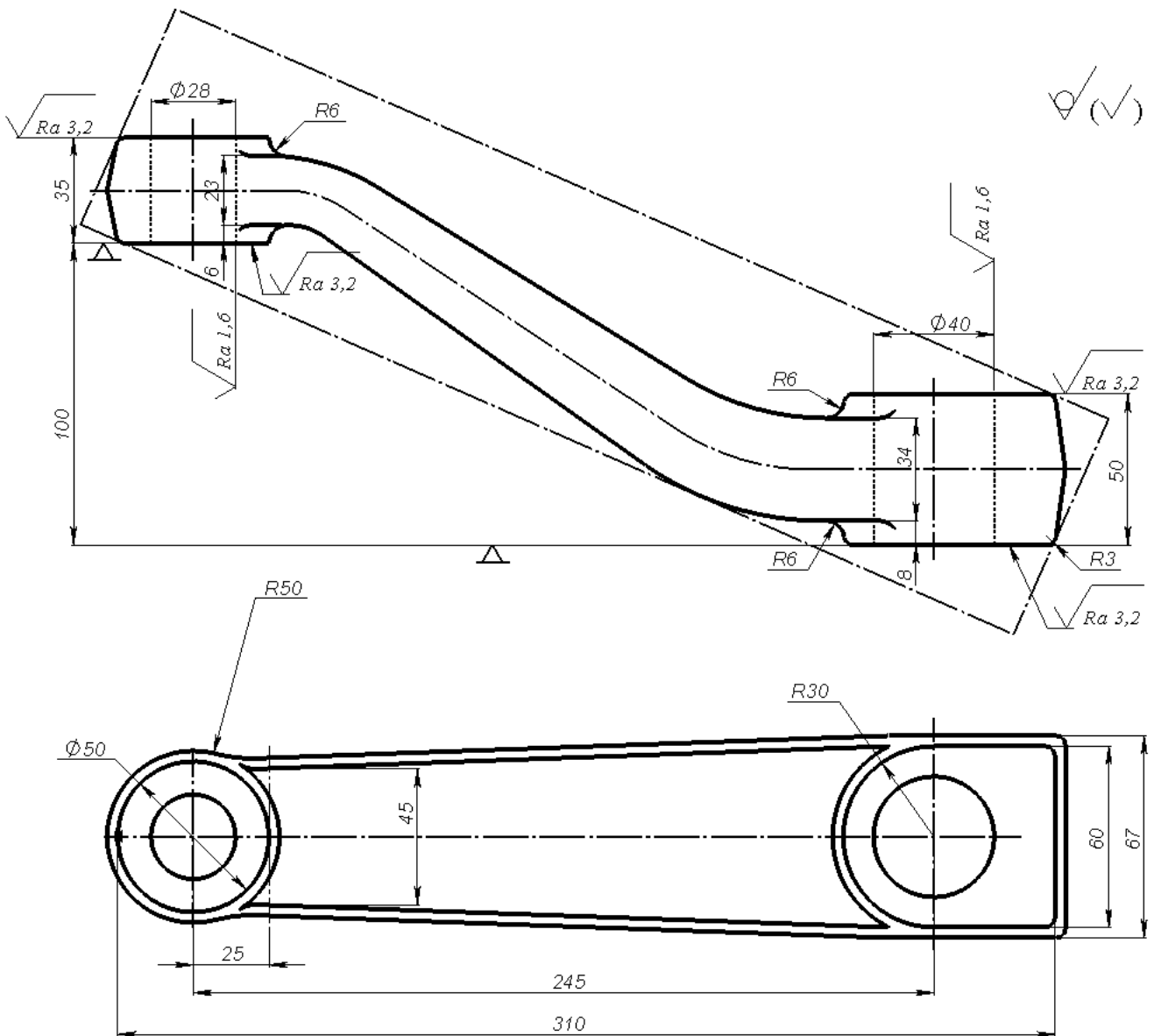


Рис. 5.46. Важіль

6. Проектування кованих і штапованих заготовок

6.1. Загальна характеристика процесів обробки металів тиском

6.1.1. Суть і особливості обробки металів тиском (ОМТ)

ОМТ відноситься до найбільш прогресивних способів виготовлення заготовок. Вона ґрунтується на використанні однієї з основних властивостей металів – **пластичності**, яка проявляється в незворотній зміні форми та розмірів тіла під дією зовнішніх сил без порушення його цілісності, що супроводжується зміною структури та фізико-механічних властивостей металу.

Пластична деформація полягає в відносному переміщенні атомів з одного

зрівноваженого стану в інший на відстані більші від міжатомних в одній кристалографічній площині. При зміщенні атомів без зміни відстаней між кристалографічними площинами силова взаємодія атомів не зникає, деформація відбувається без порушення суцільності тіла за рахунок ковзання (зсуву) однієї частини кристалу щодо іншої (рис. 6.1,*а*). Проте цей зсув відбувається не при одночасному зміщенні атомів, а поступовим переміщенням мікрострибок вздовж площини ковзання дефектів кристалічної решітки металу (рис. 6.1,*б*). При одночасному зсуві частин кристалів потрібні були б напруження в тисячі разів більші, ніж ті, що спостерігаються при деформації реальних металів.

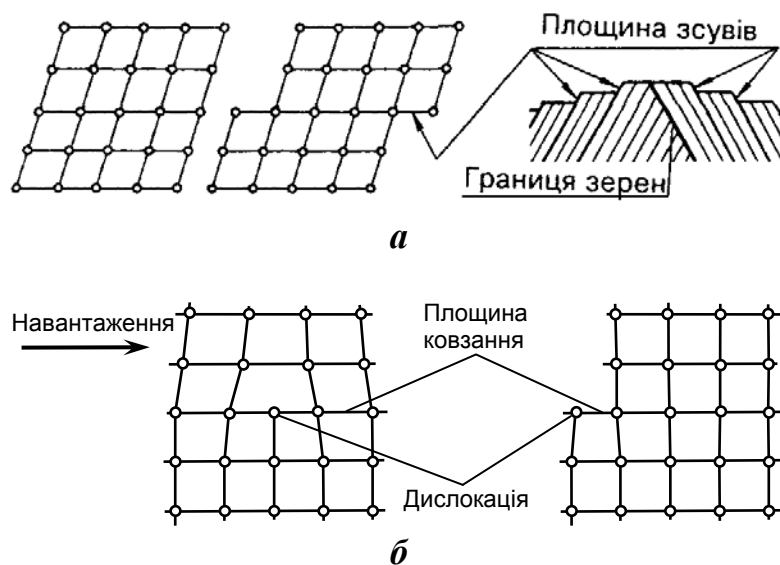


Рис. 6.1. Схеми зсуву атомів металу (*а*) і переміщення дефектів кристалічної будови металу (*б*) при деформуванні

При пластичній деформації, на відміну від пружної, немає лінійної залежності між напруженнями та деформаціями.

Оскільки при ОМТ виготовлення виробів досягається пластичним переміщенням частинок металу, вона відзначається раціональним використанням матеріалу і незначними відходами. В цьому основна відмінність і перевага обробки тиском порівняно з обробкою різанням, при якій форма виробів досягається вилученням частини заготовки. Водночас пластична деформація не тільки надає необхідної форми заготовці, але й, перетворюючи структуру (форму і розміри зерен, характер розподілу неметалевих включень, виникнення направленості макроструктури) та виправляючи дефекти литого металу, підвищує його механічні властивості, що дає можливість підвищити ресурс і експлуатаційні характеристики деталей (рис. 6.2). Тому найбільш відповідальні, важко навантажені деталі машин виготовляють із кованих або штампованих заготовок (*поковок*). Спеціальні види ОМТ забезпечують отримання заго-

товок з точними розмірами і низькою шорсткістю поверхонь і навіть готових деталей, що не потребують подальшої механічної обробки. Можливість використання високих і надвисоких швидкостей деформування, невелика кількість необхідних, відносно нескладних технологічних операцій (з застосуванням об'ємних одноразових чи послідовних методів формоутворення) обумовлюють короткочасність технологічного процесу, високу продуктивність і порівняно низьку собівартість виробів. Процеси ОМТ відносно легко автоматизуються порівняно з іншими способами виробництва заготовок.

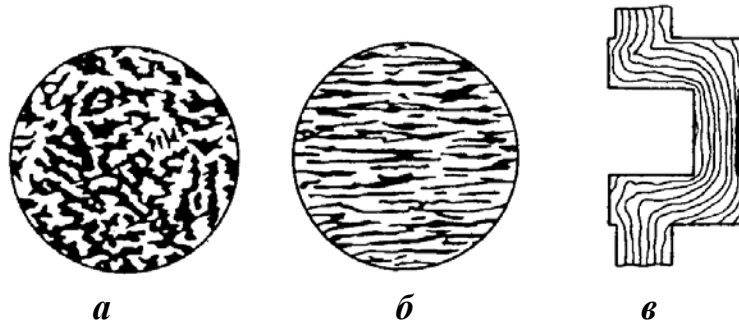


Рис. 6.2. Схеми зміни макроструктури металу при його деформуванні

Ці особливості зумовлюють зростання ролі обробки тиском у машинобудуванні. Такій обробці піддається близько 90% сталі й більше ніж 55% кольорових металів.

6.1.2. Основні види обробки металів тиском

Всі процеси ОМТ (на сьогодні існує близько 400 способів об'ємного формоутворення обробкою тиском) можна об'єднати в дві основні групи – процеси металургійного і машинобудівного виробництва [2, 5, 18, 22, 23].

До першої групи належать: *прокатування, пресування і волочіння*, тобто технологічні процеси, в основу яких покладено принцип безперервності.

Прокатуванням називають багаторазове обтискання нагрітого металу обертовими валками прокатного стану (рис. 6.3,*а*). За його допомогою отримують вироби з однаковою по довжині формою поперечного перерізу (сортовий прокат загального та спеціального призначення, листовий прокат, труби, гнучий профіль) або з формою, що періодично змінюється по довжині (спеціальний та періодичний прокат, труби змінного перерізу).

Заготовки для сортового прокату – це блюми (перерізом від 150×150 до 450×450 мм), а для листового прокату – сляби (товсті плити завтовшки до 350 мм), вихідними заготовками для яких є зливки. Заготовки для безшовних труб – це зливки або круглий прокат \varnothing 120...320 мм; для зварних труб – стрічка

(штрипс) або листи.

Пресування полягає у витисканні нагрітого металу із замкненої порожнини крізь отвір у матриці (рис. 6.3,б). Форма та розміри поперечного перерізу пресованих виробів відповідають конфігурації та розмірам цього отвору. Пресуванням виготовляють прутки $\varnothing 5...250$ мм, дрід $\varnothing 5...10$ мм, труби зовнішнім діаметром $20...400$ мм із стінками завтовшки $1,5...12$ мм, суцільні та порожнисті профілі, які мають більшу точність, ніж катані. Вихідною заготовкою для пресування є зливки або круглий прокат.

Волочіння – це протягування (частіше в холодному стані) прокатаних або пресованих заготовок крізь отвір у волочильній матриці (волоці), переріз якого менший за переріз заготовки (рис. 6.3,в). Із різних сортів сталі та кольорових металів волочінням отримують тонкі сорти дроту $\varnothing 0,002...10$ мм, різноманітні профілі, калібровані прутки $\varnothing 3...150$ мм, холоднотягнені труби $\varnothing 0,6...500$ мм зі стінками завтовшки $0,05...15$ мм з високою точністю (до 7...8 квалітету) і високою якісною зовнішньою поверхнею (до $Ra = 0,32$ мкм).

Продукцію металургійного виробництва використовують як готову продукцію для створення різних конструкцій або як заготовки в ковальсько-штампувальних і механічних цехах.

В групу процесів ОМТ машинобудівного виробництва входять *кування*, *об'ємне* і *листо́ве штампування*, *спеціальні види обробки тиском* (калібрування, розкатування кільцевих деталей, редукування, обкатування тощо).

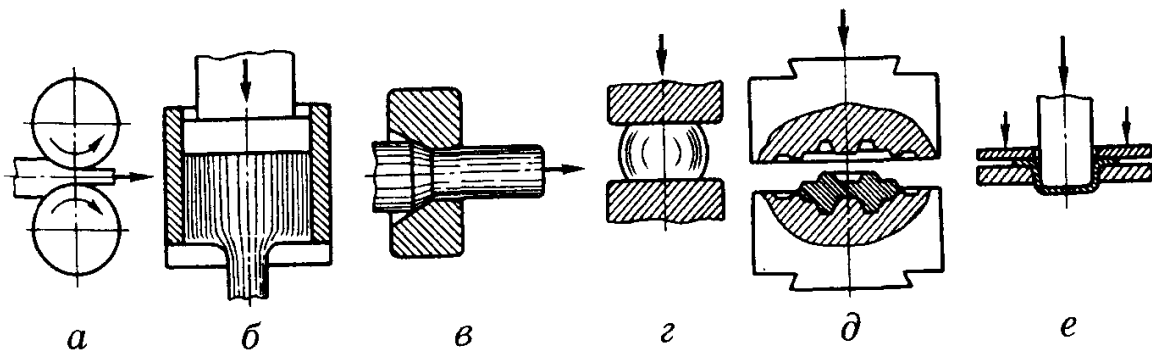


Рис. 6.3. Схеми основних видів обробки металів тиском

Кування – процес деформування нагрітої заготовки між бойками молота або преса (рис. 6.3,г). Зміна форми та розмірів заготовки досягається послідовно дією бойків чи інструменту на різні ділянки заготовки (більш докладно процеси кування та штампування розглянуті в пп. 6.3 і 6.6).

Об'ємне штампування полягає в одночасному деформуванні всієї заготовки в спеціальному інструменті – штампі на молотах, пресах або горизонтально-кувальних машинах (рис. 6.3,д). Форма та розміри внутрішньої по-

рожнини штампа визначають конфігурацію і розміри поковок.

Листове штампування призначене для виготовлення плоских та об'ємних порожнистих деталей з листа, стрічки або штаби за допомогою штампів на холодноштампувальних пресах (рис. 6.3,*e*).

6.1.3. Теоретичні аспекти обробки тиском

Теоретичні положення ОМТ дають можливість обґрунтувати визначення умов деформації, які б забезпечили раціональний вибір і розрахунок заготовок, найвищу пластичність і обробку з найменшими зусиллями і витратами енергії [23].

Основні закони пластичного деформування є основою теорії обробки тиском. Такими законами є:

- **закон незмінності об'єму металу до і після деформації**, на основі якого роблять розрахунки заготовок, а також розрахунки переходів формоутворення при різних операціях обробки тиском;

- **закон подібності**, який стверджує, що при пластичному деформуванні в однакових умовах геометрично подібних тіл з однакового матеріалу відношення зусиль деформування дорівнює квадрату, а відношення витрачених робіт – кубу відношень відповідних лінійних розмірів. Цей принцип забезпечує можливість моделювання процесів обробки тиском;

- **закон найменшого опору**, за яким кожна з точок деформованого тіла, що може переміщуватися в різних напрямках, переміщується в напрямі найменшого опору. Використання цього закону дає можливість для раціонального вибору форми перерізу заготовок для конкретних умов обробки. Наприклад, одержати осадкою круглі в перерізі поковки можна із заготовок з квадратним перерізом.

Слід враховувати, що в реальних умовах деформування через вплив певних факторів (зокрема, контактної тертя між інструментом і заготовкою) може бути деяке відхилення від наведених закономірностей пластичного деформування.

Для аналізу процесів обробки тиском потрібно знати **напружений і деформований стан** металу. **Напружений стан** в малому елементарному об'ємі визначають схемою головних напружень. **Головні напруження** – це нормальні напруження, що діють в трьох взаємно перпендикулярних площинах, на яких дотичні напруження дорівнюють нулю. На рис. 6.4,*a...g* наведено схеми головних напружень, які найчастіше трапляються при обробці тиском.

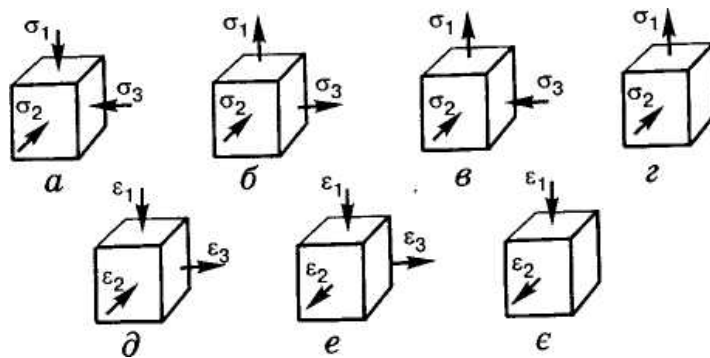


Рис. 6.4. Схема головних напружень і деформацій

Деформований стан визначається схемою головних деформацій, тобто деформацій у напрямках, перпендикулярних до площин, на яких немає дотичних напружень (рис. 6.4, д...є). При цьому згідно з законом незмінності об'єму

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0.$$

Сукупність схем головних напружень та головних деформацій називають *механічною схемою деформації*, яка відтворює схему діючих сил і визначає характер формоутворення.

Опір деформуванню залежить від схеми головних напружень, а схема головних деформацій зумовлює характер зміни фізико-механічних властивостей металу при деформуванні.

6.1.4. Фактори, що впливають на пластичність металу

Обробці тиском можуть піддаватися ті метали і сплави, які мають необхідний запас пластичності, що забезпечує деформування без порушення суцільності матеріалу, тобто без його руйнування. Пластичність не є незмінною, наперед заданою властивістю матеріалу – на неї впливає ряд факторів: хімічний склад матеріалу, температура і швидкість деформування, механічна схема деформації тощо. Створюючи відповідні умови деформування, можна отримати потрібну технологічну пластичність.

Вплив складу. Найбільшу пластичність мають чисті метали. Сплави – тверді розчини більш пластичні, ніж сплави, що утворюють хімічні сполуки. Компоненти сплавів впливають також на їхню пластичність.

З підвищенням кількості *вуглецю* пластичність сталі зменшується. Сталі, що містять понад 1,5% вуглецю, майже не піддаються куванню. *Силіцій* знижує пластичність сталі, тому киплячу маловуглецеву сталь (08кп, 10кп) з малим вмістом силіцію застосовують при виготовленні деталей холодним штампуванням глибоким витяганням.

У легованих сталях *хром* і *вольфрам* зменшують, а *нікель* та *ванадій* підвищують пластичність сталі. *Сірка* з залізом утворює сульфід (FeS), що у ви-

гляді евтектики розміщується на границях зерен і при нагріванні до 1000°C розплавляється. Внаслідок цього зв'язок між зернами порушується, і сталь стає крихкою. Таке явище називається *червоноламкістю*. *Манган*, утворюючи тугоплавку сполуку MnS, нейтралізує шкідливу дію сірки. *Фосфор* збільшує міцність, твердість сталі, але зменшує, особливо при низьких температурах, пластичність та ударну в'язкість, спричиняючи холодноламкість сталі.

Вплив температури. З підвищенням температури нагріву пластичність металів зростає, а міцність зменшується (тобто зменшується опір деформуванню). Проте у вуглецевих сталей при температурі 100...400°C пластичність знижується, а міцність підвищується. Цей інтервал температур називається *зоною крихкості*, або *синьоламкості*, сталі, що пояснюється появою найдрібніших частинок карбідів, нітридів на площинах зсуву деформації (рис. 6.5). Зменшення пластичності при температурах 700...800°C пояснюють фазовими перетвореннями в металі. При температурі близько 1000°C міцність сталі зменшується більше ніж у 10 разів.

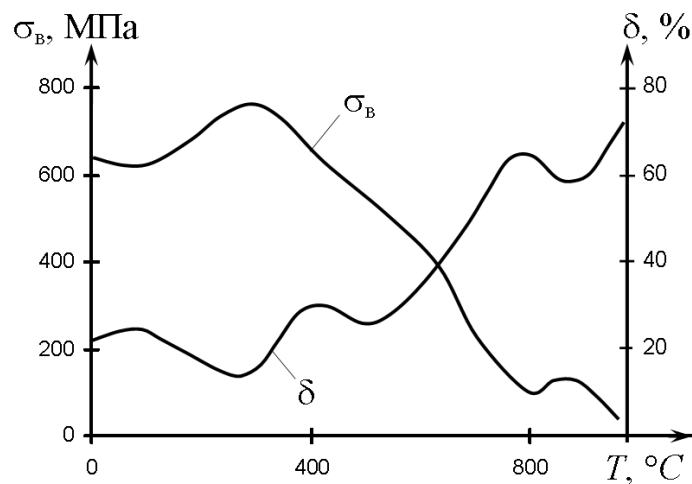


Рис. 6.5. Діаграма залежності механічних характеристик маловуглецевої сталі від температури (σ_B – границя міцності, δ – відносне видовження)

Для найбільшого підвищення пластичності металу температура початку обробки має бути якомога вищою, але не повинна спричиняти *перегрівання* (інтенсивне зростання зерна при високих температурах, що спричиняє погіршення механічних властивостей) та *перепалювання* (інтенсивна дифузія кисню вглиб металу при нагріванні до температури, близької до температури плавлення, утворення оксидів на границях зерен та розплавлення легкоплавких міжзернистих прошарків, що спричинює появу тріщин і втрату пластичності). Температура закінчення обробки має бути вищою за температуру рекристалізації (див. п. 6.1.6) і фазових перетворень.

Швидкість деформації – зміна ступеня деформації ϵ за одиницю часу $d\epsilon/dt$. (Від швидкості деформації слід відрізнити *швидкість деформування*, що дорівнює швидкості переміщення деформуючого інструмента.)

Механічні властивості металів визначаються при швидкості деформування до 10 мм/с. Обробку тиском на пресах та кувальних машинах виконують при швидкості робочих органів 0,1...0,5 м/с, а на молотах у момент удару – 5...10 м/с. При цьому швидкість деформації становить 200...250 с⁻¹. Ще більші швидкості виникають при штампуванні на високошвидкісних молотах (20...30 м/с), штампуванні вибухом та електромагнітному.

З підвищенням швидкості деформації границя міцності зростає, а пластичність зменшується (що необхідно враховувати при розрахунках зусиль деформування). Особливо різко зменшується пластичність деяких високолегованих сталей, магнієвих та мідних сплавів. При обробці тиском нагрітого металу це можна пояснити впливом двох протилежних процесів: зміцненням при деформації та знеміцнюванням внаслідок рекристалізації. При великих швидкостях деформації знеміцнювання може відставати від зміцнення. Проте при дуже великих швидкостях деформування пластичність може зростати. Це пояснюється тим, що тепло, в яке перетворюється механічна робота деформування, не встигає розсіюватись і викликає підвищення температури металу.

Вплив напруженого стану. Залежно від схеми напруженого стану пластичність металів можна змінювати в широких межах. При однакових за схемою головних деформацій і наслідками процесів обробки тиском, наприклад пресуванні й волочінні (рис. 6.6), можуть бути різні схеми головних напружень і, отже, різна пластичність.

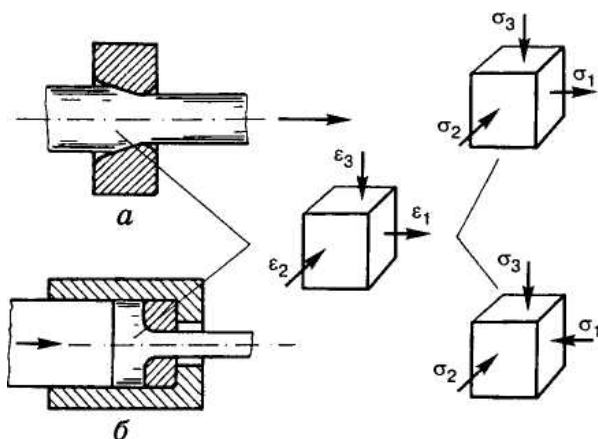


Рис. 6.6. Механічна схема деформації:
а - при волочінні; **б** - при пресуванні

Чим більші стискальні й менші розтягувальні напруження, тим вища пластичність металу. Найсприятливішими для обробки тиском є умови всебічного нерівномірного стискання (див. рис. 6.4,*a*). Тому пресуванням можна обробляти навіть крихкі сплави. При куванні стискальні напруження можна підвищити, використовуючи замість плоских фігурні бойки.

6.1.5. Вплив обробки тиском на структуру і механічні властивості металів

Структура виливків, що є вихідними заготовками при обробці тиском, неоднорідна (див. рис. 6.2,*a*). Основу її складають зерна первинної кристалізації (дендрити) різних розмірів та форми, на границях яких накопичуються домішки та неметалеві включення. В будові зливка є також пори, газові раковини.

При деформації металів підвищується щільність дефектів кристалічної будови та зростає опір їх переміщенню. Може виникнути переважна орієнтація кристалічної решітки металу (текстура), що є причиною появи анізотропії механічних властивостей. З підвищенням ступеня деформації границі міцності й текучості, а також твердість зростають, а пластичність і в'язкість зменшуються, зростають залишкові напруження (рис. 6.7). Зміцнення металів при пластичній деформації називається **наклепом**. Унаслідок зміцнення пластичні властивості металів можуть погіршитися настільки, що подальша деформація спричинить руйнування.

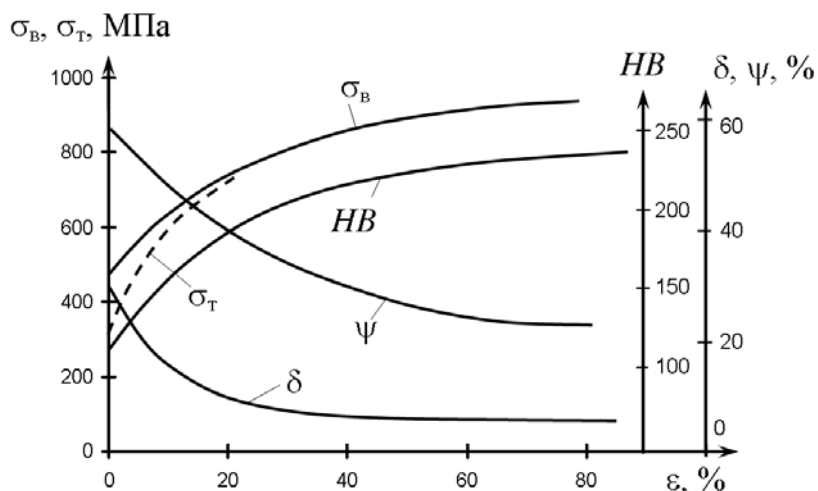


Рис. 6.7. Залежність механічних властивостей маловуглецевої сталі від ступеня її відносної пластичної деформації ε ($\sigma_{\text{в}}$, $\sigma_{\text{т}}$ – границі міцності та текучості, $НВ$ – твердість за Брінелем, δ – відносне видовження, ψ – поперечне звуження)

Високий ступінь деформації при підвищеній температурі призводить до подрібнення зерен, а також до часткового заварювання пор. Зерна та міжкристалічні прошарки з підвищеним вмістом неметалевих включень витягуються у

напрямі найбільших розтягувальних деформацій. У результаті структура металу набуває **волокнистої** (смугастої) будови (див. рис. 6.2,б). Волокнистість впливає на механічні властивості, спричинює їх анізотропію. В поперечному напрямі ударна в'язкість на 50...70%, відносне звуження на 40%, відносне видовження на 20% менше, ніж уздовж волокон.

Наявність смугастої макроструктури та анізотропії властивостей у деформованому металі потрібно враховувати при проектуванні та виготовленні заготовок. Треба намагатись отримати в них таке розташування волокон, щоб при експлуатації деталей найбільші розтягувальні напруження діяли вздовж, а перерізні зусилля – поперек волокон, щоб вони не перерізувалися при обробці різанням. Бажано, щоб біля поверхні деталі волокна відповідали її обрису (див. рис. 6.2,в). Якщо потрібно підвищити пластичність металу в поперечному напрямі, то слід зробити обтискування заготовки вздовж волокон, тобто змінити механічну схему деформації. Найбільш рівномірна волокнистість досягається при схемі головних деформацій з розтягувальною деформацією в одному напрямі і з двома стискальними деформаціями (див. рис. 6.4,д).

6.1.6. Холодна та гаряча обробка металів тиском

При наклепі метал переходить до термодинамічно несталого стану з підвищеним рівнем внутрішньої енергії, тому він намагається самочинно перейти до більш сталого стану. При нагріванні зміцненого металу до температури, що становить 0,2...0,3 від температури плавлення $T_{пл}$ (поверненні), частково зменшуються спотворення кристалічної решітки та внутрішні напруження без істотної зміни мікроструктури та властивостей деформованого металу.

При нагріванні деформованих металів вище ніж $0,4T_{пл}$ утворюються нові рівноважні зерна, і властивості металу відновлюються до їхніх вихідних значень перед деформацією. Процес утворення нових центрів кристалізації та нових рівноважних зерен у деформованому металі, що супроводжується зменшенням міцності, зростанням пластичності та відновленням інших властивостей, називається **рекристалізацією**. Найменша температура, при якій починаються рекристалізація та знеміцнювання металу, є *температурою рекристалізації*:

$$T_{рек} = \alpha T_{пл},$$

де α – коефіцієнт, що залежить від чистоти металу; для технічно чистих металів $\alpha = 0,3...0,4$, для сплавів $\alpha = 0,6...0,8$.

Розмір зерна після рекристалізації залежить від ступеня та швидкості деформації, а також від температури та тривалості нагрівання.

Залежно від температурно-швидкісних умов при деформуванні можуть відбуватися два протилежних процеси: *зміцнення*, спричинене деформацією, та *знеміцнення*, зумовлене рекристалізацією. Відповідно розрізняють ***холодне та гаряче деформування***.

Холодне деформування відбувається при температурах $T < T_{рек}$ і супроводжується зміцненням металу, утворенням текстури і волокнистої макроструктури.

Гаряче деформування проходить при температурах $T > T_{рек}$. При гарячому деформуванні відбувається також зміцнення металу (гарячий наклеп), але воно повністю знімається в процесі рекристалізації (причому швидкість знеміцнення дорівнює або вища швидкості зміцнення). Під час рекристалізації пластичність металу вища, а опір деформуванню приблизно в 10 разів менший, ніж при холодному деформуванні. Гаряче деформування покращує всі механічні властивості матеріалу: і міцностні, і пластичні, особливо підвищується ударна в'язкість. Після нього, як правило, мікроструктура рівновісна, дрібнозерниста, макроструктура волокниста, що дає змогу забезпечувати максимальну міцність у заданих напрямках заготовок відповідальних деталей (валів, роторів, лопаток, ресор тощо).

Температурний інтервал гарячої обробки тиском вуглецевих сталей з 0,2...0,7% вуглецю становить 1280...800°C; з 0,8...1,3% вуглецю – 1100...760°C. Мідні сплави обробляють в інтервалі температур 900...700°C; дуралюмін – 470...400°C; титанові сплави – 950...730°C; магнієві сплави – 420...300°C; сплави хрому – 1800...1000°C; вольфрамові сплави – 2000...1600°C.

Деформування, після якого відбувається тільки часткове знеміцнювання, називається *неповним гарячим деформуванням*.

6.1.7. Основні операції ковальсько-штампувального виробництва

Основні операції поділяються на три групи: заготівельні; власне кувальні та штампувальні; завершальні та оздоблювальні операції.

До ***заготівельних*** відноситься підготування злитків або пруткового матеріалу до кування або штампування: зачищення, розділення його на штучні заготовки, нагрівання, змащення. В якості вихідного матеріалу застосовують злитки, прокат різних профілів, пресовані прутки і виливки.

До ***кувальних*** і ***штампувальних*** відносяться всі операції, що призводять до суттєвої зміни форми оброблюваного злитка або заготовки: кування і об'ємне штампування, виконувані на молотах і пресовому обладнанні; вальцюван-

ня, накатування тощо, здійснювані на спеціалізованому обладнанні (наприклад, на кувальних вальцях).

До *завершальних* відносяться операції обрізання облою, що утворюється у поковок при деяких способах штампування, прошивання і пробивання отворів в штампівках, термічна обробка поковок. До *оздоблювальних* відносяться виправлення та калібрування поковок, очищення їх від окалини.

6.2. Матеріали для отримання заготовок обробкою тиском

При виборі матеріалу заготовки враховують його експлуатаційні характеристики (міцність, корозійну стійкість, жароміцність тощо), пластичні властивості та оброблюваність різанням. Перевагу віддають матеріалам, які мають високу пластичність і добре освоєні у виробництві.

Практично всі види *сталей* застосовують для отримання заготовок обробкою тиском: вуглецеві та леговані конструкційні; високолеговані корозійностійкі, жаростійкі та жароміцні; інструментальні та ін. (див. табл. 6.1) [2, 3, 5].

Деформівні *алюмінієві сплави* поділяються на дві групи:

- технічний алюміній і термічно незміцнювані сплави – відрізняються високою пластичністю і добрими технологічними властивостями, добре зварюються, корозієстійкі (АМц, АМг3, АМг5 та інші);

- термічно зміцнювані сплави – мають задовільні пластичність і технологічні властивості, кращі міцнісні характеристики, в тому числі і при підвищених температурах (Д1, Д16, ВД17, АК4, АК8, Б95 й інші).

З *мідних сплавів* обробці тиском піддаються латуні й бронзи. Латуні (Л68, Л60, ЛМц58-2, ЛО70-1 та інші) добре обробляються тиском і різанням. Вони деформуються при низьких і високих температурах. До деформівних бронз відносяться в основному алюмінієві, кременисті та деякі олов'яні бронзи (БрАЖН10-4-4, БрА5, БрКМц4-1, БрОЦС4-4-4 та інші). Вони, як правило, деформуються в гарячому стані й можуть зміцнюватись термообробкою.

Деформівні *магнієві сплави* (МА1, МА2, МА2-1, МА11 та інші) використовуються для виготовлення заготовок прокатуванням, пресуванням і штампуванням. Додаток 2% Ті і 3% Nd до цих сплавів дає змогу підвищити їх теплостійкість при тривалій експлуатації до 350°C.

З *титанових сплавів* (ОТ4-1, ВТ5, ВТ14, ВТ3-1, ВТ9 та інші) виготовляють прокат, листи, труби і поковки. Вони мають задовільну пластичність, високу міцність, але погано обробляються різанням.

Жароміцні деформівні *сплави нікелю* застосовують для виготовлення де-

талей з робочою температурою 750...1000°C (ХН70ВМЮТ, ХН80ТБЮ, ХН77ТЮР, ХН62МВКЮ та ін.). Основою цих сплавів є система Ni+Cr+Fe, а легуючими добавками – Ti, Mo, Al, W, Nb, Zr та ін. Корозієстійкі сплави нікелю (типу монель-металу і хастелою) широко використовують у хімічному апарато-будуванні та інших галузях техніки.

Таблиця 6.1. Области застосування деформованих матеріалів [2]

Марка	Область застосування
<i>Сталь вуглецева якісна, конструкційна (ГОСТ 1050–74)</i>	
15	Цементовані та ціановані деталі: болти, гайки, гвинти, вилки, важелі
20	Тяги, серги, траверси, гаки, важелі, втулки і вкладиші
25	Деталі підвищеної в'язкості: осі, вали, циліндри, тяги, станин верстатів, маховики
35	Вали, осі, циліндри пресів, шпинделі, вали турбін і редукторів, ротори, кріпильні деталі, маховики, станини верстатів і станів
45	Прокатні валки, шестерні, зубчаті колеса, плунжери насосів, муфти, втулки, валики, кріпильні деталі
60	Прокатні валки, черв'яки, розподільні вали, поршневі кільця, штовхачі
<i>Сталь легована конструкційна (ГОСТ 4543–71)</i>	
38ХЛ; 40Х; 45Х; 30ХРА	Колінчаті вали, осі, шестерні, пальці, важелі, кривошипи, ключі гайкові, ведучі валики, всмоктувальні клапани
18ХГ; 20ХГР	Цементовані деталі невеликого перетину, що зазнають дії значних тисків і працюють на стирання
30ХМ; 30ХМА; 35ХМ; 38ХВ	Вали, ротори, диски й інші деталі турбін; ведучі та колінчаті вали, цапфи, шестерні та інші деталі, працюючі при підвищених температурах (до 450...480°C)
40МФА	Колінчаті вали, нецементовані шестерні, азотовані валки, пальці, силові шпильки, шатуни
20ХН 40ХН; 45ХН; 50ХН; 40ХТР	Шестерні для дизелів, шліцьові валики, шпонки, поршневі пальці Великі відповідальні деталі; колінчаті вали, шатуни, шестерні, ротори
12ХН3А	Деталі підвищених міцності та в'язкості: шестерні, осі, ролики, шпильки, штовхачі тощо
30ХГС; 30ХГСА	Навантажені деталі відносно невеликих перетинів (застосовують замість хромонікелевих і хромомолібденових сталей)
30ХН2ВА; 38ХН2ВА	Відповідальні деталі: вали, шатуни, болти, шпильки
40ХНМА; 40ХН2МА; 40Х1НВА	Колінчаті вали, клапани, шатуни, шестерні
30ХН2ВФА; 30ХН2МФА; 20ХН4ФА	Вали суцільнокованих роторів, диски, деталі редукторів, шпильки та інші відповідальні деталі турбін і компресійних машин, працюючі при підвищених температурах (до 400°C)
38ХН3МФА	Найбільш відповідальні деталі турбін і компресорних машин особливої міцності у великих перетинах: вали, суцільноковані ротори, диски турбін, покришки турбоповітряних машин
38Х2М10А	Азотовані деталі двигунів: штоки клапанів, гільзи циліндрів, втулки, клапани

Марка	Область застосування
<i>Сталі високолеговані і сплави корозієстійкі, жаростійкі та жароміцні (ГОСТ 5632–72)</i>	
13X11H2B24Ф	Диски компресорів, лопатки й інші навантажені деталі
20X13	Деталі з підвищеною пластичністю, що зазнають ударних навантажень; предмети домашнього побуту; вироби, що зазнають впливу слабоагресивних середовищ
30X13	Ріжучий, вимірювальний, хірургічний інструмент, пружини, предмети домашнього побуту
14X17H2	Хімічна й авіаційна промисловість
12X17H2	Рекомендується як високоміцна сталь для важконавантажених деталей, працюючих на стирання й удар в агресивних середовищах
12X17	Обладнання азотнокислих заводів та заводів харчової промисловості; предмети домашнього побуту. Не рекомендується для зварних конструкцій
15X11MФ	Робочі та направляючі лопатки парових турбін
12X18H9Т; 12X18H10	Зварювальна апаратура для різних галузей промисловості
20X23H18	Деталі установок в хімічній промисловості, газопроводи, камери згорання
<i>Алюмінієві сплави (ГОСТ 4784–74)</i>	
АМц	Листи, плити, труби, прутки, профілі, заклепки, дріт
АК4-1	Прутки, поковки і штамповки
АК6; АК8	Кувальні сплави для прутків, поковок, штамповок і листів
В95	Високоміцні сплави для поковок, профілів, листів, штамповок
<i>Магнієві сплави (ГОСТ 14957–76)</i>	
МА2; МА5	Прутки, штаба, поковки, штамповки
МА11	Прутки, штамповки і поковки для виробів, працюючих при температурі 350...400°С
<i>Мідні сплави (ГОСТ 15527–70)</i>	
ЛС59-1; ЛК80-3	Труби, штамповки
<i>Мідні сплави (ГОСТ 18175–78)</i>	
БрАЖН10-4-4	Труби, прутки, поковки відповідального призначення
БрМц5	Листи, поковки
БрОФ6,5-0,4	Стрічки, штаби, прутки, проволочка, підшипники, різні деталі машинобудівної промисловості
<i>Титанові сплави</i>	
ВТ3-1; ВТ6С; ВТ14	Поковки, штамповки, листи, труби
<i>Нікелеві жароміцні і корозієстійкі сплави (ГОСТ 5632–72)</i>	
НХ70ВМЮТ; ХН80ТБЮ	Лопатки та кріпильні деталі газових турбін
ХН77ТЮР; ХН62МВКЮ	Диски газових турбін, деталі турбін і реактивних двигунів, працюючих при високих температурах
ХН60ВТ; ХН75МБТЮ	Листові деталі
Монель-метал	Для деталей і обладнання нафтопереробної, фармацевтичної промисловості; для деталей, працюючих у морській воді та концентрованих лугах, соляній кислоті до температури кипіння, а також у фосфорній, сірчаній та інших кислотах

В спеціальному машинобудуванні та для потреб нової техніки використовують *сплави складних складів* на основі вольфраму, ніобію, молібдену та сплави, що містять берилій, цирконій, кобальт й інші. Ці сплави надходять в обробку у вигляді злитків після дугової й електронно-променевої плавки.

Для визначення допустимих режимів нагрівання, температурних інтервалів кування і штампування, ступеня, швидкості та схеми деформації, умов охолодження поковок, а також необхідного зусилля обладнання необхідно знати *залежність механічних властивостей оброблюваного матеріалу від температури деформування*. Механічні властивості визначають різними методами випробувань на розтягання, стиск, кручення та ударний вигин.

Крім механічних випробувань для виявлення пластичності застосовують методи *технологічних випробувань*: прокатування клину на штабу постійної товщини, прокатування спеціального зливка або деформованої заготовки сталого перетину на клин і осаджування зливка на клин.

Чим нижча пластичність матеріалу, тим складніше отримати якісну заготовку, тим складніший технологічний процес і вища собівартість деталі. Так, при виготовленні поковок з тугоплавких сплавів необхідно перед куванням або штампуванням застосовувати підпресовку для руйнування литої структури, підвищення пластичності та полегшення деформування, а це значно підвищує собівартість і трудомісткість виготовлення поковок. Особливо жорсткі вимоги щодо технологічної пластичності висуваються до сплавів, які піддають холодному деформуванню.

6.3. Проектування кованих заготовок

6.3.1. Суть процесу і технологічні операції кування

Кування – це деформування нагрітої заготовки між верхнім і нижнім бойками молота або преса за допомогою універсального інструменту, що супроводжується повздовжніми переміщеннями і поворотами заготовки навколо осі (див. рис. 6.3,2). Куванням отримують якісні заготовки з високими механічними властивостями нескладної конфігурації для відповідальних деталей з вуглецевих і легованих сталей та спеціальних сплавів в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва.

Кування буває також ручне на кувалді. Воно застосовується в основному в ремонтній справі для дрібних робіт.

Ковані заготовки для наступної обробки називають *поковками*, маса яких становить від 0,1 кг до 350 т. Великі поковки (масою понад 1,5 т) виготовля-

ють із зливків тільки куванням. Менші поковки можна виготовляти також штампуванням. Однак через складність інструменту штампування застосовують тільки в масовому і великосерійному виробництві. Для кування невеликих поковок (до 150 кг) підвищеної точності на кувальних молотах і пресах у серійному виробництві (при партіях 50...250 шт.) часто використовують *підкладні штампи* (рис. 6.8). Це дозволяє отримувати поковки відносно складної форми без напусків з припусками і допусками на 15...20% меншими, ніж при куванні універсальним інструментом. Дрібні й середні поковки кувають з сортового прокату, блюнів або литих заготовок.

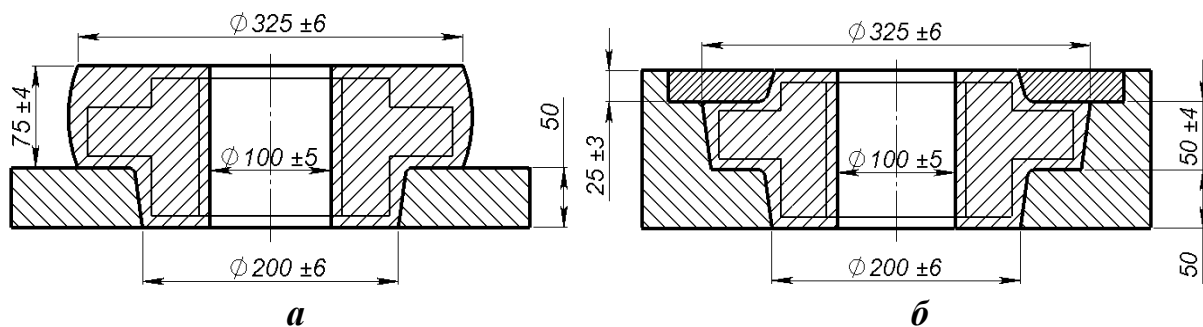


Рис. 6.8. Поковки отримані звичайним куванням (а) і в підкладних штампах (б)

Процес кування складається з декількох етапів: нагрівання металу (полум'яним або електричним способом) до температури гарячого деформування; виконання ковальських операцій (як правило, на одному пресі або молоті); первинної термообробки поковки (відпал, нормалізація тощо). Для складних поковок однойменні операції можуть повторюватись декілька разів. Напівфабрикат поковки надходить у піч на додаткове підігрівання (один чи більше разів, в залежності від складності поковки).

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

Протягування (витягування) застосовують для подовження заготовки і зменшення її перерізу (рис. 6.9,а). Його можна виконувати плоскими і фігурними бойками. Кування в фігурних бойках (рис. 6.9,б) дає змогу уникнути тріщин при деформуванні малопластичних сталей і сплавів. Ступінь деформації характеризують відношенням вихідного поперечного перерізу до кінцевого, що називається *уковуванням*. Чим більше уковування, тим краща структура металу і вищі його механічні властивості. Різновиди протягування: розганання (розширення частини заготовки), протягування порожнистого циліндра на

оправці; розковування кілець на циліндричній оправці для збільшення діаметра (рис. 6.9,в).

Осадка – збільшення поперечного перерізу вихідної заготовки за рахунок зменшення її висоти. При осадці висота вихідної заготовки не повинна перевищувати трьох діаметрів, а її торці мають бути рівними і паралельними. Місце потовщення заготовки називається *висадкою* (рис. 6.9,з).

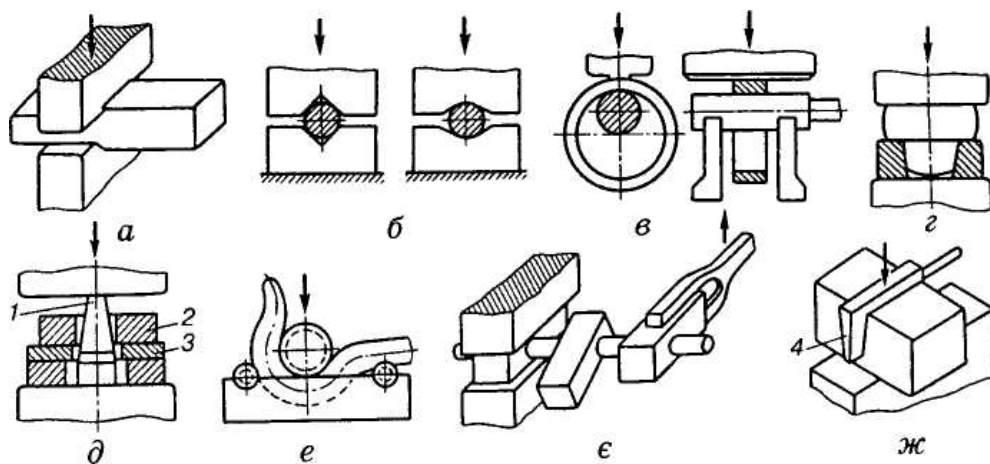


Рис. 6.9. Основні технологічні операції кування

Прошивання – отримання в заготовці наскрізного отвору або заглиблення. Для виконання цієї операції застосовують суцільні і порожнисті (для \varnothing 400...900 мм) прошивні 1 (рис. 6.9,д). Прошивання наскрізних отворів у тонких поковках 2 виконують з підкладними кільцями 3. В більш товстих заготовках спочатку прошивають заглиблення (приблизно на 3/4 глибини), а далі цим самим прошивнем закінчують прошивання з іншого боку.

Згинання застосовують для виготовлення гаків, колінчатих валів, скоб тощо. Для згинання можуть використовуватись підкладки і спеціальні пристрої (рис. 6.9,е).

Закручування – поворот однієї частини заготовки щодо іншої на певний кут. Застосовується при виготовленні колінчатих валів, свердел тощо. При закручуванні застосовують воротки, вилки, хомути, лебідки (рис. 6.9,є).

Рубанням поділяють заготовки на частини, відокремлюють надлишок металу, утворюють в поковці уступи (надрубання). Для рубання застосовують ковальські прямі й фігурні сокири, зубила 4 (рис. 6.9,ж).

Вибір і послідовність операцій кування залежать від конфігурації поковки і технічних вимог до неї. На рис. 6.10,а наведено схему технологічного процесу кування важеля з вилкою, який складається з операцій протягування (рис. 6.10,в,г,д,є), надрубання (рис. 6.10,б,в,е) та згинання (рис. 6.10,е).

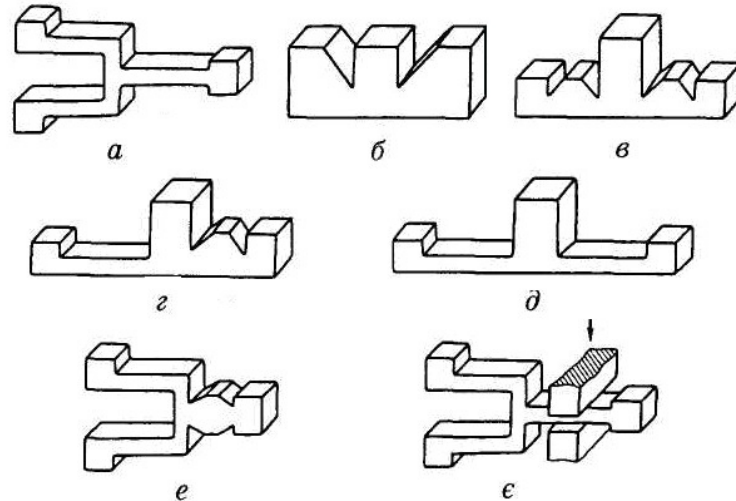


Рис. 6.10. Схема технологічного процесу кування важеля

Шорсткість поверхонь поковок становить $Rz = 320 \dots 80$ мкм, а при використанні підкладних штампів – $Rz = 80 \dots 20$ мкм.

Переваги виготовлення заготовок вільним куванням – висока якість металу, підвищення його механічних властивостей (особливо пластичності й ударної в'язкості); універсальність устаткування та інструменту для поковок широкого асортименту; можливість виготовлення заготовок значних розмірів і мас на малопотужному устаткуванні.

До недоліків належать порівняно низька продуктивність праці, велика трудомісткість, невисока точність форми та розмірів заготовок, підвищені витрати металу на напуски, вигоряння, уковування, збільшені припуски на механічне оброблення, потреба у високій кваліфікації робітників, тяжкі умови праці, труднощі з механізацією та автоматизацією виробничих процесів.

Вільним куванням виготовляють заготовки для великих валів і роторів турбін, двигунів внутрішнього згоряння, котлів високого тиску, гарматних стволів, валків прокатних станів, колон гідравлічних пресів та інших великогабаритних відповідальних деталей.

Характеристику основних методів кування наведено в табл. 6.9.

6.3.2. Конструювання сталевих поковок

Загальні вимоги та рекомендації

Конструкцію та креслення поковки виконують, виходячи з вимог креслення готової деталі, дібраного способу формування заготовки, державних стандартів ЄСКД, ГОСТ 7062–90 для поковок, виготовлених на пресах, і ГОСТ 7829–70 для поковок, виготовлених на молотах [8, 10].

Основні терміни, що застосовуються в стандартах:

- *бурт* – некінцева частина поковки збільшеного поперечного перетину, що має довжину рівну чи меншу від третини її діаметра чи більшої сторони прямокутника (рис. 6.11);
- *фланець* – аналогічна кінцева частина поковки;
- *уступ* – частина поковки з меншим поперечним перетином, ніж суміжна з нею частина (для поковок типу вала величина уступу дорівнює половині різниці діаметрів суміжних частин);
- *виступ* – частина поковки з більшим поперечним перетином, ніж суміжна з нею частина;
- *виїмка* – частина поковки з меншим поперечним перетином від двох суміжних з нею частин.

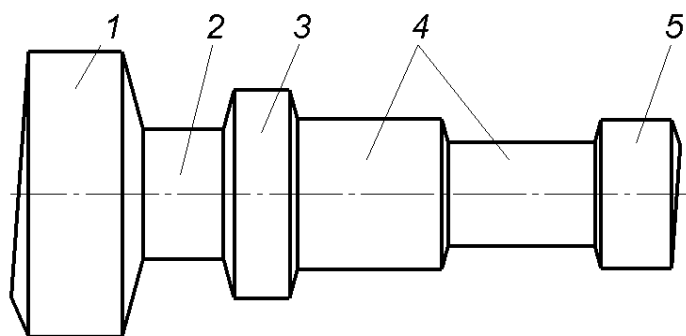


Рис. 6.11. Складові частини поковки вала:
1 – фланець; 2 – виїмка; 3 – бурт; 4 – уступ; 5 – виступ

З метою зменшення відходів металу і трудомісткості як при куванні, так і в процесі наступної обробки, необхідно надавати поковкам найпростішої форми, обмеженої плоскими або циліндричними поверхнями (рис. 6.12). Небажані конічні і клинові форми поковок, перетин циліндричних поверхонь і призматичних з циліндричними. Слід віддавати перевагу одностороннім виступам перед двосторонніми (рис. 6.12,а,г). Необхідно уникати проектування поковок з ребрами жорсткості, бобишками і виступами (рис. 6.12,б,в). Заготовки зі значною різницею поперечних перетинів, а також складної форми доцільно виконувати зварними з кількох поковок або з поковок і виливків. Розташування волокон у поковці має поліпшувати експлуатаційні властивості деталі.

Намагаючись максимально наблизити конфігурацію поковки до конфігурації деталі, необхідно оцінити можливість виготовлення куванням уступів і виїмок. Кування коротких уступів з невеликою висотою виступу економічно недоцільне. При відсутності спеціального інструменту виїмки виконуються,

якщо їх довжина дорівнює або більша ширини бойків. При неможливості або недоцільності виконання куванням окремих елементів заготовки (наприклад, якщо розміри уступу або виїмки малі) призначають *напуск*, який видаляють при наступній обробці (рис. 6.13).

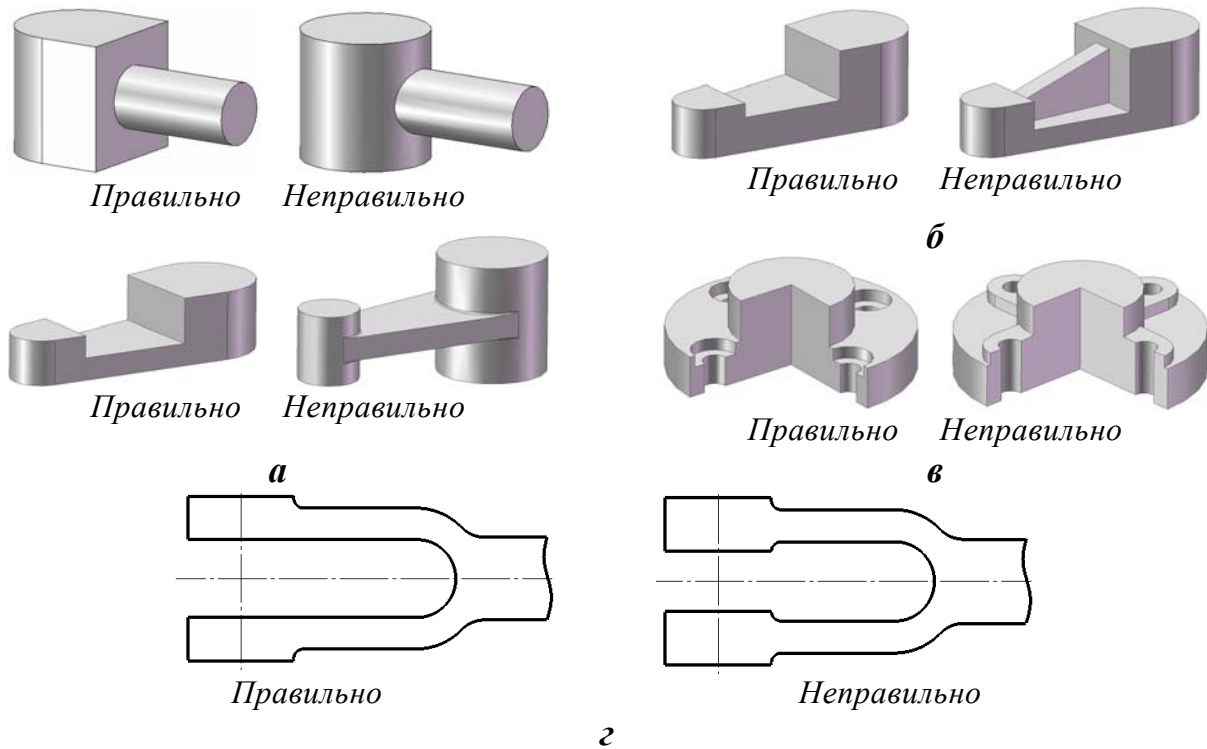


Рис. 6.12. Забезпечення технологічності поковок

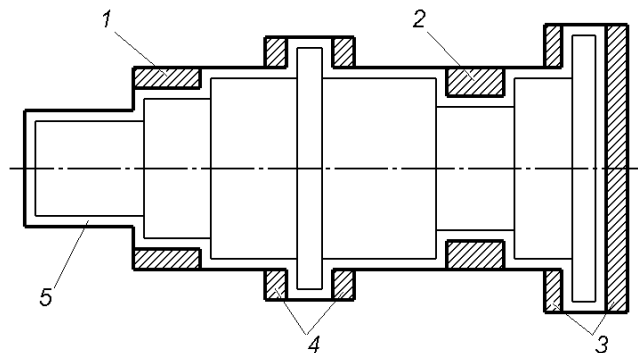


Рис. 6.13. Схема нанесення напусків на поковку вала:
1 – на уступ; 2 – на виїмку; 3 – на фланець; 4 – на бургт; 5 – припуск

Розміри вихідної заготовки для поковки передбачають з урахуванням відходів на вигар, додаток, обрубкування і потрібну величину уковування. Заготовки для кування добирають в залежності від маси поковок: до 40 кг – сортовий прокат; 40...300 кг – крупний прокат і обтиснуті болванки; понад 300 кг – злитки.

Норми технічних вимог, режими термічного оброблення, умовні позна-

чення, методи та обсяг випробовувань, правила маркування, транспортування та зберігання для поковок загального призначення діаметром (товщиною) до 800 мм з конструкційної вуглецевої, низьколегованої та легованої сталі, виготовлюваних куванням і гарячим штампуванням, наведені у ГОСТ 8479–70. За видом випробувань поковки поділяють на п'ять груп, що позначаються римськими цифрами. Групу призначає конструктор, погоджуючи її з виготовлювачем і споживачем. За механічними властивостями поковки, що поставляються після остаточної термічної обробки, поділяються на *категорії міцності* від КП18 до КП80. Кожній категорії міцності відповідають норми механічних властивостей (границя текучості, тимчасовий опір розриванню, відносне видовження, відносне звуження, ударна в'язкість) і норми твердості.

Приклад умовного позначення поковки 1 групи (без випробовувань), з категорією міцності КП50: Гр.І – КП50 ГОСТ 8479–70. У додатку до вказаного стандарту дано рекомендації марок сталей залежно від діаметра поковки та заданої категорії міцності.

Визначення припусків, допусків і напусків поковок

Величини та умови призначення припусків на механічне оброблення, граничних відхилень розмірів поковок та напусків залежать від конфігурації (типу) поковки, її розмірів, матеріалу і способу виготовлення.

ГОСТ 7829–70 розповсюджується на поковки загального призначення з вуглецевої та легованої сталі, виготовлені *вільним куванням на молотах* в одиничному та дрібносерійному виробництві.

Згідно стандарту для гладких поковок круглого, квадратного і прямокутного перетинів довжиною до 4000 мм припуски і граничні відхилення призначають відповідно до рис. 6.14 і табл. 6.2.

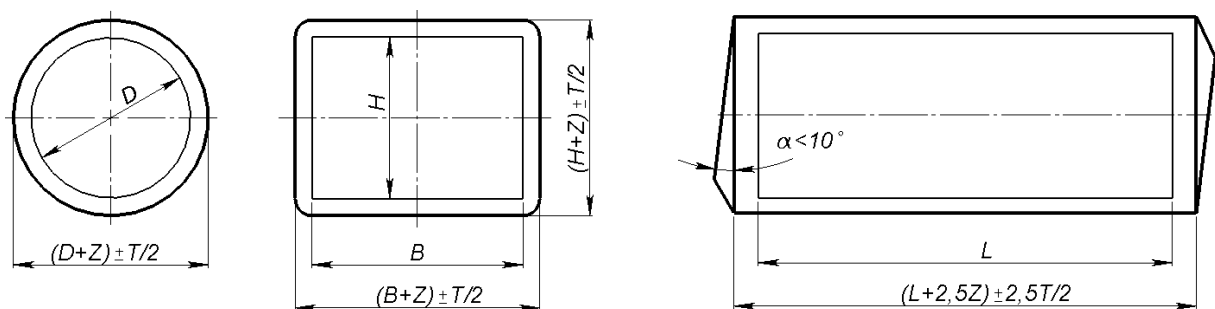


Рис. 6.14. Схема для визначення розмірів гладких поковок круглого квадратного та прямокутного перетинів

Таблиця 6.2. Припуски і граничні відхилення поковок, виготовлюваних куванням на молотах, мм

Довжина деталі L		Діаметр деталі D або розмір перетину B, H (понад – до)								
		0	50	70	90	120	160	200	250	300
понад	до	Припуски (Z, Z_1, Z_2, Z_3) і граничні відхилення ($\pm T/2; \pm T_1/2; \pm T_2/2; \pm T_3/2$)								
0	250	5±2	6±2	7±2	8±3	9±3	–	–	–	–
250	500	6±2	7±2	8±2	9±3	10±3	11±3	12±3	13±4	14±4
500	800	7±2	8±2	9±3	10±3	11±3	12±3	13±4	14±4	15±4
800	1200	8±2	9±3	10±3	11±3	12±3	13±4	14±4	15±4	16±4
1200	1700	–	10±3	11±3	12±4	13±4	14±4	15±4	16±5	17±5
1700	2300	–	11±3	12±3	13±4	14±4	15±4	16±5	17±5	18±5
2300	3000	–	–	13±4	14±4	15±4	16±5	17±5	18±5	19±5
3000	4000	–	–	–	15±5	16±5	17±5	18±5	19±5	20±6
4000	5000	–	–	–	16±5	17±5	18±5	19±5	20±6	21±6
5000	6000	–	–	–	–	18±5	19±5	20±6	21±6	22±6

Примітка. 1. Дані таблиці розповсюджуються на деталі з співвідношенням розмірів: $L > 1,5D$ для круглого перетину; $L > 1,5B$ і $H \leq B \leq 1,5H$ для квадратного і прямокутного перетинів.
 2. У випадку обробки поверхні деталі шорсткістю 6,3 мкм і нижче допускається збільшення відповідних табличних значень припусків, але не більше ніж 1 мм на сторону.
 3. Припуски і граничні відхилення для прямокутного перетину деталі призначають залежно від найбільшого розміру перетину.

Припуски призначають на номінальні розміри деталі (або попередньо обробленої (обідраної) заготовки, якщо поковка зазнає термообробки після обдирання) з розрахунку механічної обробки заготовки з *двох сторін*. Припуски на необроблювані поверхні не призначають.

Граничні відхилення встановлюють на *всі номінальні розміри* поковок.

При обробці поковки з *однієї сторони* припуск необхідно зменшити в 2 рази порівняно з табличним значенням, граничні відхилення при цьому зберігаються без змін.

Допускається заокруглювати розрахункові номінальні розміри заготовок до найближчих цілих чисел у бік збільшення припусків.

За узгодженням між виготовлювачем і споживачем, допускається виробляти заготовки з вищою, ніж у стандартах, точністю, тобто з меншими значеннями відхилень, припусків і напусків.

Скоси між уступами, косина зрубу на торцях, уклони призначають не більше 10°. Об'єм і масу поковки визначають за номінальними розмірами, враховуючи напуски на скоси між уступами, на скіс від зрубу, на сферу і на конусність отвору.

Припуски для поковок круглого та квадратного перетинів з уступами, виїмками, буртами та фланцями визначають як суму з *основних* і *додаткових* значень.

Основні припуски та граничні відхилення на діаметри (або розміри) перетинів призначають відповідно до рис. 6.15 і табл. 6.2 (в залежності від загальної довжини деталі L і діаметра D чи розміру розглядуваного перетину).

За припуск та граничні відхилення на загальну довжину заготовки приймають відповідно збільшені у 2,5 рази припуск та граничні відхилення діаметра (чи розміру) найбільшого з перетинів. Припуски на довжину уступів і виступів призначають кратними до припусків на діаметр (чи розмір) найбільшого перетину згідно з рис. 6.15. При цьому довжину уступів і виїмок на кресленні вказують від єдиної бази, за яку приймають торець виступу найбільшого перетину, який не є торцем поковки. Граничні відхилення на довжину уступів і виступів приймають рівними 1,5 відхилення на діаметр (чи розмір) виступу найбільшого перетину (рис. 6.15).

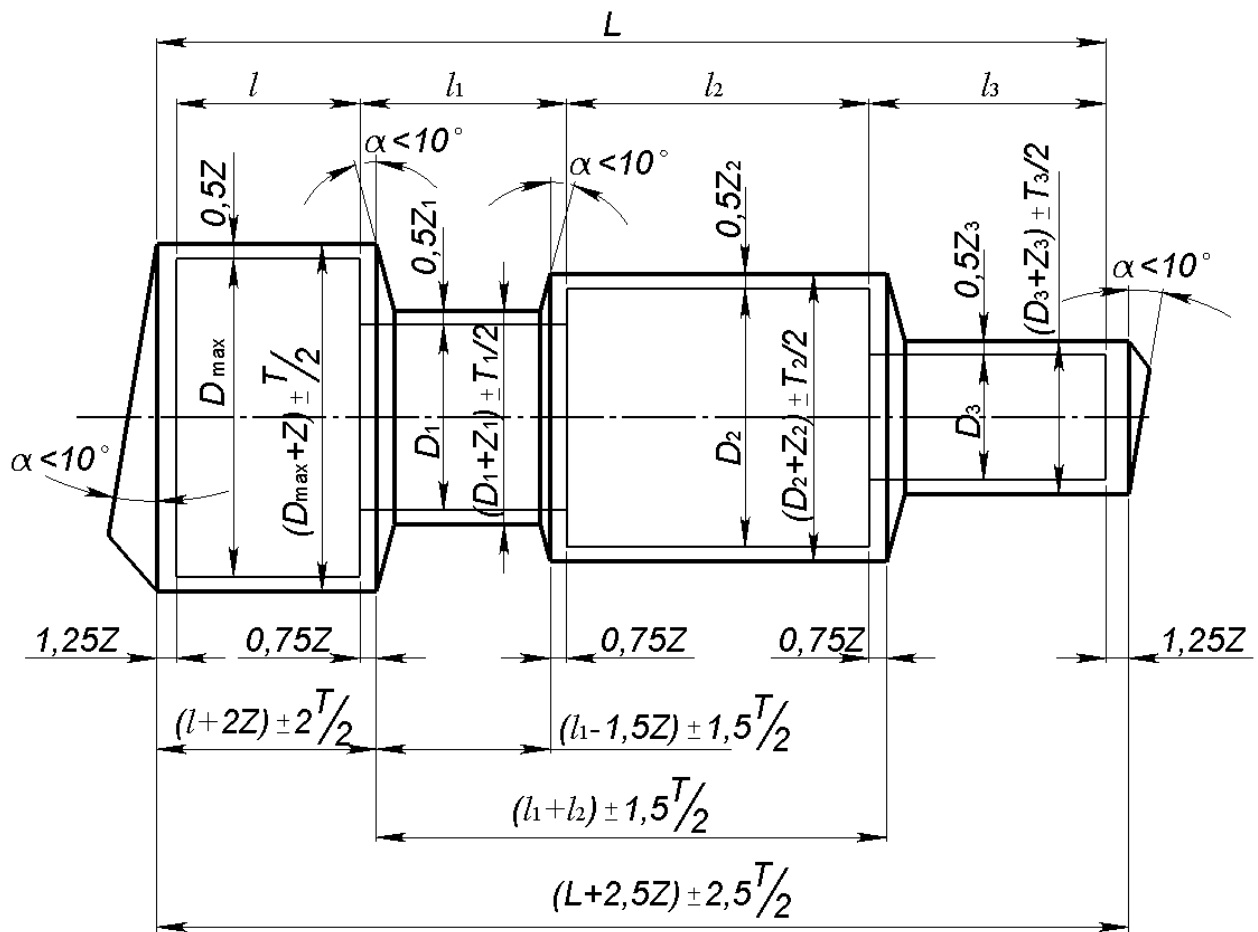


Рис. 6.15. Схема для визначення розмірів і їх відхилень східчастої поковки, виготовленої на молоті

Додатковий припуск S для компенсації неспіввідності елементів поковки призначають за табл. 6.3 на діаметри (розміри) всіх перетинів, крім основного, в залежності від різниці діаметрів (розмірів) найбільшого і розглядуваного перетину деталі з призначеними на неї основними припусками.

Таблиця 6.3. Додаткові припуски для поковок з уступами, виготовлюваних куванням на молотах, мм

Різниця діаметрів (розмірів) найбільшого і розглядуваного перетинів (понад – до)	До 40	40 – 80	80 – 100	100 – 120	120 – 140	140 – 160	160 – 180	Понад 180
Додатковий припуск на діаметр (розмір) $S_1; S_2; S_3; \dots$	3	4	5	6	7	8	9	10

Основний перетин визначають у наступному порядку:

1) Якщо поковка має необроблювану поверхню, то за основний приймають її перетин.

2) Якщо поковка не має необроблюваних поверхонь, то для визначення основного перетину розраховують площі повздовжніх перетинів елементів $D_1l_1; D_2l_2; D_3l_3; \dots$ і порівнюють їх з площею повздовжнього перетину виступу з найбільшим діаметром $D_{\max}l$ (рис. 6.15).

Якщо всі значення добутків менші від $D_{\max}l$, то за основний перетин приймають виступ найбільшого діаметра. У протилежному випадку для всіх перетинів з площею більшою за $D_{\max}l$ розраховують

$$\begin{aligned} A_1 &= S_1(D_1l_1 - D_{\max}l); \\ A_2 &= S_2(D_2l_2 - D_{\max}l) \text{ і т.д.,} \end{aligned} \quad (6.1)$$

і основним вважають перетин, для якого A має найбільше значення. Якщо за основний перетин прийнято не виступ найбільшого діаметра D_{\max} , то додатковий припуск переносять з основного перетину на виступ найбільшого діаметра.

Доцільність виконання на поковках кінцевих і проміжних уступів, виїмок, фланців і буртів перевіряють після призначення основних і додаткових припусків, враховуючи наступні вимоги:

1) *Кінцеві та проміжні уступи* (рис. 6.16,а) виконують, якщо їх висоти h_1, h_2, h_3, \dots не менші значень, наведених в табл. 6.4, і якщо їх довжина l_1, l_2, l_3, \dots по відношенню до ширини бойка B_6 не менше вказаної в табл. 6.5.

При цьому якщо висота уступу h_1, h_2, h_3, \dots менша значень, вказаних в табл. 6.4, то уступ відковують по діаметру сусіднього виступу. Якщо довжина уступу менша значень, наведених в табл. 6.5, то його відковують у тому випа-

дку, коли об'єм напуску при доведенні його довжини до виконаної менший, ніж об'єм напуску при кутанні його по діаметру сусіднього виступу.

Таблиця 6.4. Залежність висоти уступу від його діаметра, мм

Діаметр ($D_1; D_2; D_3$) чи розмір (B) уступу	До 100	Понад 100 до 180	Понад 180 до 250	Понад 250
Мінімальна висота уступу ($h_1; h; h_3$)	4	5	6	7

Таблиця 6.5. Залежність довжини уступу від ширини бойка, мм

Ширина бойка B_6	До 150	Понад 150 до 300	Понад 300
Мінімальна довжина виконаного уступу (l_1, l_2, l_3)	$0,3 B_6$	$0,4 B_6$	$0,5 B_6$

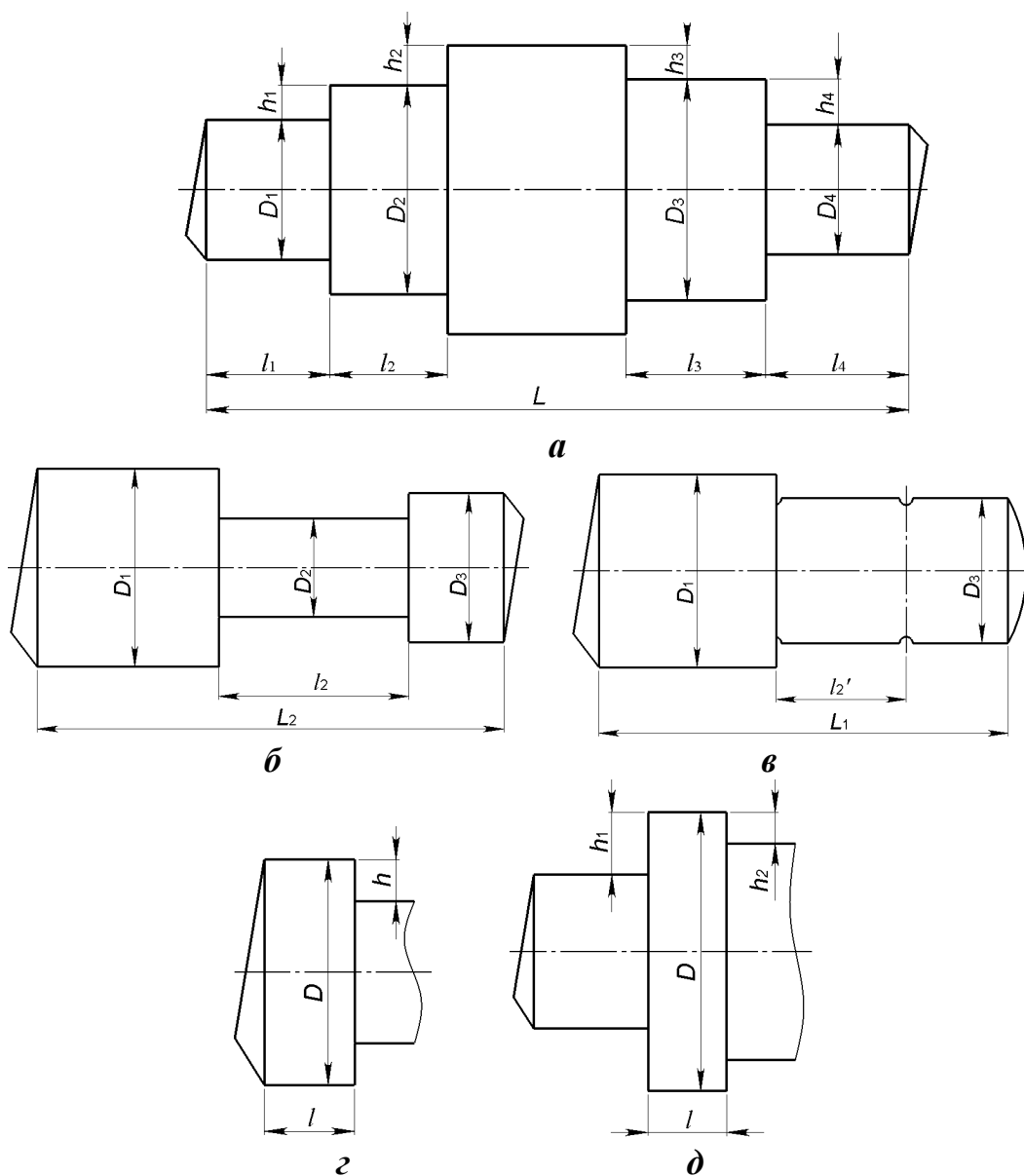


Рис. 6.16. Схеми щодо доцільності виконання на поковках уступів (а), виїмок (б, в), фланців (г) і буртів (д)

2) *Виїмку* (рис. 6.16,б) виконують, якщо довжина l_2' між зарубками (рис. 6.16,в) перед куванням виїмки по відношенню до ширини бойка B_6 не менше вказаної в табл. 6.6. Якщо довжина l_2' ділянки поковки, що присікається для виконання виїмки, менша вказаної в табл. 6.6, то на діаметр виїмки призначають напуск з розрахунку, щоб довжина l_2' між зарубками дорівнювала відповідному значенню табл. 6.6.

Таблиця 6.6. Залежність довжини ділянки між зарубками від ширини бойка, мм

Ширина бойка B_6	До 300	Понад 300 до 400	Понад 400
Мінімальна довжина ділянки між зарубками l_2'	$0,5 B_6$	$0,7 B_6$	B_6

3) *Фланець* (рис. 6.16,г) виконують, якщо його довжина l більша висоти виступу h , взятої з коефіцієнтом 1,2, але не менша $0,2D$. Якщо ці умови не виконуються, то довжину фланця доводять до виконуваного розміру за рахунок напуску або зі сторони торця або зі сторони уступу, виходячи з умови мінімального об'єму напуску.

4) *Бурт* (рис. 6.16,д) виконують, якщо його довжина l більша висоти h_2 меншого прилеглого уступу, але не менша $0,2D$. Якщо ці умови не виконуються, то довжину бурта l доводять до виконуваного розміру за рахунок напуску зі сторони будь-якого з торців за умови мінімального об'єму напуску.

Приклад призначення припусків, граничних відхилень, а також визначення доцільності виконання уступів, виїмок, буртів і фланців наведено в п. 6.4.

Контроль фактичних припусків і відхилень розмірів поковок, виготовлених на молотах, здійснюється на основі креслення поковки.

Допускається нерівномірне розташування припусків, що виникає внаслідок еліптичності перетину, неспіввісності частин поковки, прогину поковок, зсуву перетинів, неперпендикулярності граней, зовнішніх радіусів заокруглень, утягнення при прошиванні та відрубубуванні, зміщення отворів при прошиванні. Граничні значення одностороннього припуску в будь-якому перетині поковки не повинні виходити за межі вказані на рис. 6.17. При цьому фактичні розміри в окремих частинах поковки не повинні виходити за граничні відхилення на розмір в цілому.

Поверхневі дефекти на поковках за характером і величиною не повинні перевищувати відповідні норми, встановлені ГОСТ 8479–70. Скоси, галтелі, внутрішні радіуси заокруглень поковок не контролюються.

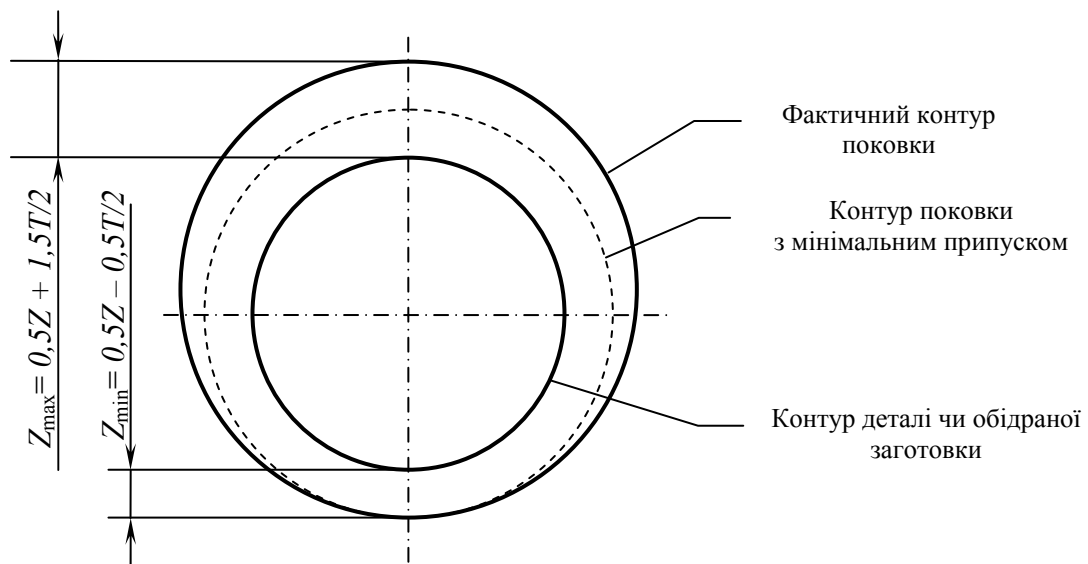


Рис. 6.17. Граничні значення мінімального Z_{\min} і максимального Z_{\max} односторонніх припусків при нерівномірному їх розташуванні

У ГОСТ 7829–70 також наведено значення припусків, напусків і граничних відхилень розмірів для поковок типу суцільних і порожнистих дисків, брусків, пластин, кубів, циліндрів, валів, втулок, розкатуваних кілець, а також втулок з уступами, що виготовлені в підкладних кільцях або штампах.

Проектування поковок загального призначення масою до 130 т з вуглецевої та легованої сталей, виготовлюваних *куванням на пресах*, ведеться аналогічним чином. Відмінність полягає в тому, що кількісні норми (припуски, допуски, напуски) регламентуються ГОСТ 7062–90, а для поковок з високолегованих сталей, кольорових сплавів або масою понад 130 т – стандартами галузей і підприємств.

6.3.3. Оформлення креслення кованої заготовки

При оформленні креслення поковки керуються ГОСТ 7829–70 і ГОСТ 7062–90, а також вимогами стандартів ЄСКД і ГОСТ 3.1126–88. Креслення має містити всі дані, необхідні для виготовлення, контролю та приймання поковки.

Креслення поковки, як правило, виконується в тому ж масштабі, що й креслення деталі. При цьому основні контури готової деталі показують тонкою штрихпунктирною лінією з двома крапками. Встановивши припуски, визначають номінальні розміри поковки. Над розмірними лініями проставляють розміри поковки з граничними відхиленнями, а під розмірними лініями в кру-

глих дужках допускається вказувати розміри готової деталі або заготовки після обдирання (без граничних відхилень). Після оцінки можливості виготовлення уступів і виїмок наносять напуски на відповідні поверхні.

На кресленні завжди проставляють загальну довжину поковки. В поковках типу вала довжини елементів проставляють від єдиної бази (торець виступу найбільшого перетину, який не є торцем поковки); довжину елемента, який кують останнім, не проставляють, а визначають розрахунком (рис. 6.15).

На кресленнях позначають поверхні, що є технологічними базами для закріплення заготовки у першій операції механічного оброблення, а також форму, розміри і місця розміщення напуску для взяття проби металу (місце відбору проби для випробувань наносять на зображення поковки суцільною тонкою лінією, а його розміри вказують в технічних вимогах креслення).

В технічних вимогах креслення щодо приймання поковки вказують наступні відомості: допустимі відхилення форми і розмірів поковки, які не вказані на кресленні; види, розміри і кількість допустимих дефектів; необхідність термічного оброблення та покриття; твердість заготовки, спосіб і місце її визначення; місця маркування; вимоги щодо мікро- і макроструктури поковки; розміри й умови взяття технологічних проб.

6.4. Приклад проектування кованої заготовки

Завдання: необхідно спроектувати ковану заготовку для деталі (вал з уступами), представленої на рис. 6.18. Поковка виготовляється з легованої сталі вільним куванням на молотах в умовах дрібносерійного виробництва.

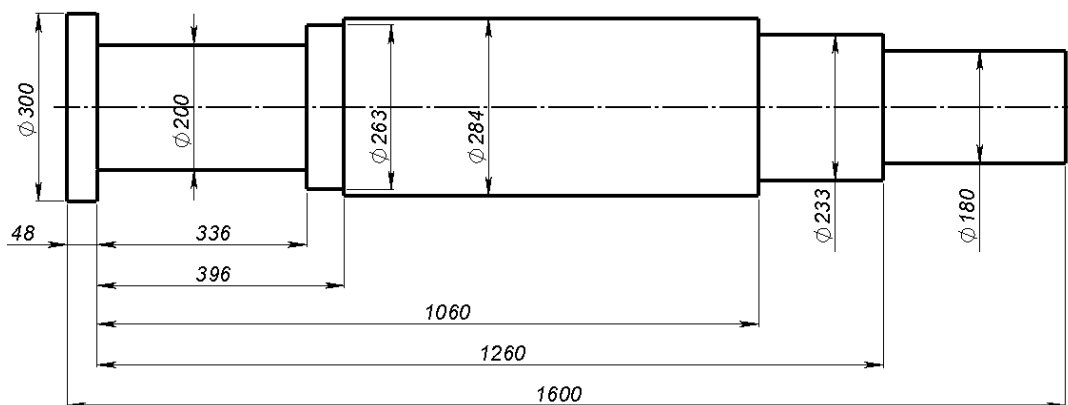


Рис. 6.18. Розміри деталі (або обдраної заготовки)

Розв'язання.

Призначення припусків і граничних відхилень, перевірку можливості виконання кінцевих і проміжних уступів, буртів, фланців і виїмок виконуємо ві-

дповідно ГОСТ 7829–70.

1. Основні припуски і граничні відхилення на діаметри уступів і виступів деталі призначаємо за табл. 6.2.

Діаметр, мм	Припуск і граничні відхилення, мм
300	16±5
200	14±4
263	16±5
284	16±5
233	15±4
180	14±4

2. Припуски і граничні відхилення на довжину уступів і загальну довжину деталі приймаємо кратними припуску $z = 16$ мм і відхиленням $T/2 = \pm 5$ мм на діаметр 300 мм виступу найбільшого перетину (згідно рис. 6.15). Довжину уступів вказуємо від єдиної бази, за яку приймаємо торець виступу $\varnothing 300$ мм (рис. 6.19).

Довжина, мм	Розрахункова формула (рис.6.15).	Припуск і граничні відхилення, мм
48	$+2Z \pm 2T/2$	32±10
336	$-1,5Z \pm 1,5T/2$	24±8
396	$-1,5Z \pm 1,5T/2$	24±8
1060	$0 \pm 1,5T/2$	0±8
1260	$0 \pm 1,5T/2$	0±8
1600	$+2,5Z \pm 2,5T/2$	40±13

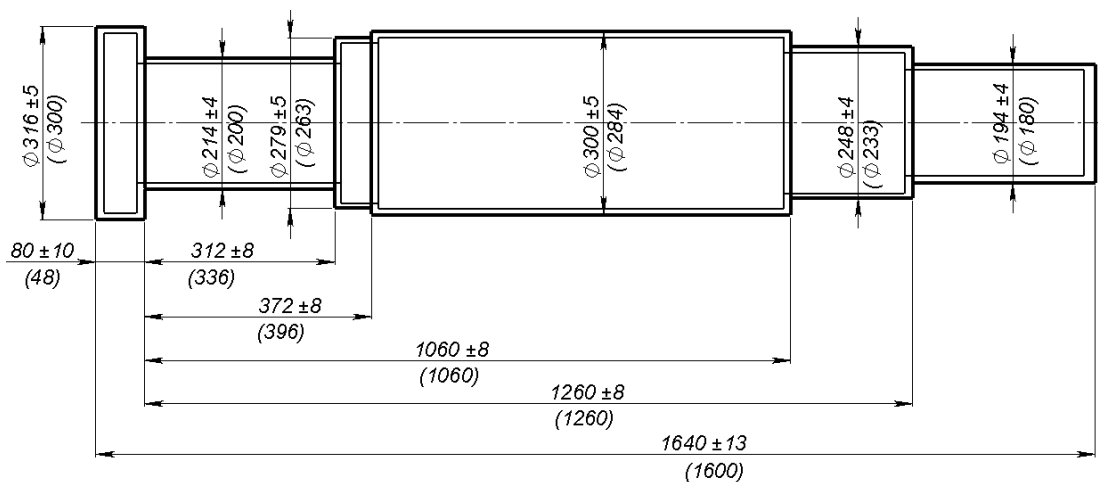


Рис. 6.19. Розміри поковки після призначення основних припусків

3. *Додаткові припуски на неспіввісність* призначаємо попередньо на всі діаметри поковки (рис. 6.19), крім найбільшого діаметра 316 мм, за табл. 6.3:

на $\varnothing 214$ мм припуск 6 мм;

на $\varnothing 279$ мм – 3 мм;

на $\varnothing 300$ мм – 3 мм;

на $\varnothing 248$ мм – 4 мм;

на $\varnothing 194$ мм – 7 мм.

Визначаємо *основний перетин*, для чого розраховуємо площі повздовжніх перетинів елементів поковки (рис. 6.19):

$$D_{\max}l = 316 \cdot 80 = 25300 \text{ мм}^2;$$

$$D_1l_1 = 214 \cdot 312 = 66700 \text{ мм}^2;$$

$$D_2l_2 = 279 \cdot (372 - 312) = 16700 \text{ мм}^2;$$

$$D_3l_3 = 300 \cdot (1060 - 372) = 206300 \text{ мм}^2;$$

$$D_4l_4 = 248 \cdot (1260 - 1060) = 49600 \text{ мм}^2;$$

$$D_5l_5 = 194 \cdot (1640 - 1340) = 58200 \text{ мм}^2.$$

Для елементів, площа повздовжнього перетину яких більша площі $D_{\max}l = 25300 \text{ мм}^2$, за формулою (6.1) розраховуємо добутки A_i :

$$\text{для } \varnothing 214 \text{ мм} - A_1 = 6 \cdot (214 \cdot 312 - 316 \cdot 80) = 24,8 \cdot 10^4 \text{ мм}^2;$$

$$\text{для } \varnothing 300 \text{ мм} - A_3 = 3 \cdot (300 \cdot 688 - 316 \cdot 80) = 54,3 \cdot 10^4 \text{ мм}^2;$$

$$\text{для } \varnothing 248 \text{ мм} - A_4 = 4 \cdot (248 \cdot 200 - 316 \cdot 80) = 9,7 \cdot 10^4 \text{ мм}^2;$$

$$\text{для } \varnothing 194 \text{ мм} - A_5 = 7 \cdot (194 \cdot 300 - 316 \cdot 80) = 22,8 \cdot 10^4 \text{ мм}^2.$$

За основний перетин приймаємо виступ $\varnothing 300$ мм, для якого добуток A_3 є найбільшим. Оскільки за основний перетин прийнято виступ не найбільшого діаметра, призначаємо на $\varnothing 316$ мм додатковий припуск 3 мм (рис. 6.20).

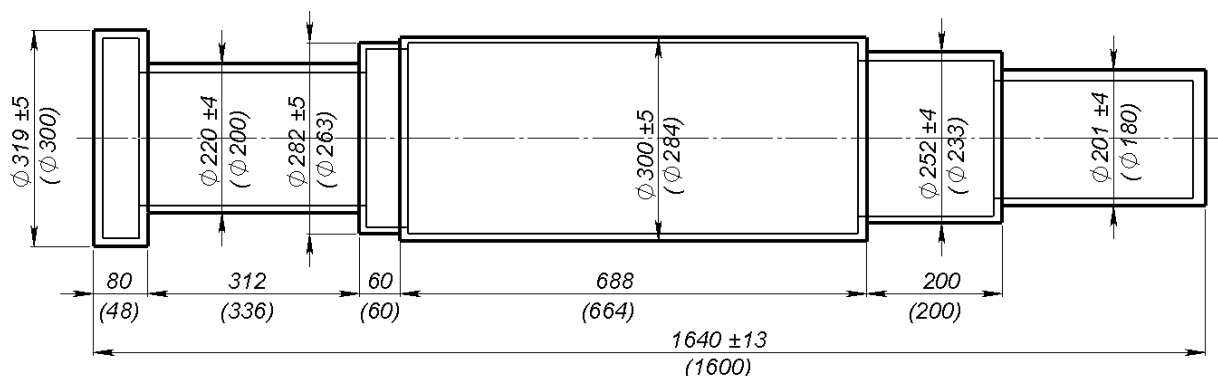


Рис. 6.20. Розміри поковки після призначення основних і додаткових припусків

4. Перевіряємо можливість виконання кінцевих і проміжних уступів, фланця і виїмки (рис. 6.20).

Припустимо, що поковка буде виготовлятися на молоті, який має бойки шириною $B_6 = 350$ мм, тоді:

а) проміжний уступ $\varnothing 282$ мм і довжиною 60 мм неможливо виконати, оскільки його довжина менша величини $l = 0,5B_6 = 175$ мм, регламентованої табл.6.5.

Доведення уступу до виконуваних розмірів за рахунок напуску по довжині недоцільне, оскільки при цьому прилеглу до нього виїмку буде неможливо виконати. Тому уступ ліквідуємо за рахунок напуску по діаметру – приймаємо діаметр уступу рівним діаметру сусіднього виступу 300 мм;

б) проміжний уступ $\varnothing 252$ мм і довжиною 200 мм можливо виконати, оскільки висота уступу $h = 0,5(300 - 252) = 24$ мм більша мінімальної висоти 7 мм, регламентованої табл. 6.4, а його довжина більша мінімальної довжини $l = 0,5B_6 = 175$ мм, регламентованої табл. 6.5;

в) кінцевий уступ $\varnothing 201$ мм і довжиною 324 мм можливо виконати, оскільки його висота $h = 0,5(252 - 201) = 25,5$ мм більша мінімальної висоти 6 мм, регламентованої табл. 6.4, а довжина більша мінімальної довжини $l = 0,5B_6 = 175$ мм, регламентованої табл. 6.5;

г) виїмку $\varnothing 220$ мм і довжиною 312 мм неможливо виконати, оскільки згідно табл. 6.6 мінімальна довжина ділянки між зарубками $l_2' = 0,7B_6 = 245$ мм, а згідно закону незмінності об'єму мінімальний діаметр виконуваної виїмки довжиною $l_2 = 312$ мм при присіканні її від діаметра $D_3 = 300$ мм дорівнює

$$D_{\min} = D_3 \sqrt{\frac{l_2'}{l_2}} = 300 \sqrt{\frac{245}{312}} = 266 \text{ мм.}$$

Доводимо виїмку до виконуваних розмірів за рахунок напуску по діаметру, приймаючи діаметр виїмки 266 мм;

д) фланець $\varnothing 319$ мм і довжиною 80 мм при діаметрі сусіднього уступу 266 мм можливо виконати, оскільки його довжина більша мінімальної величини $319 \cdot 0,2 = 64$ мм.

Остаточні розміри поковки з призначеними на неї основними і додатковими припусками після перевірки можливості виконання уступів, фланця і виїмки наведено на рис. 6.21.

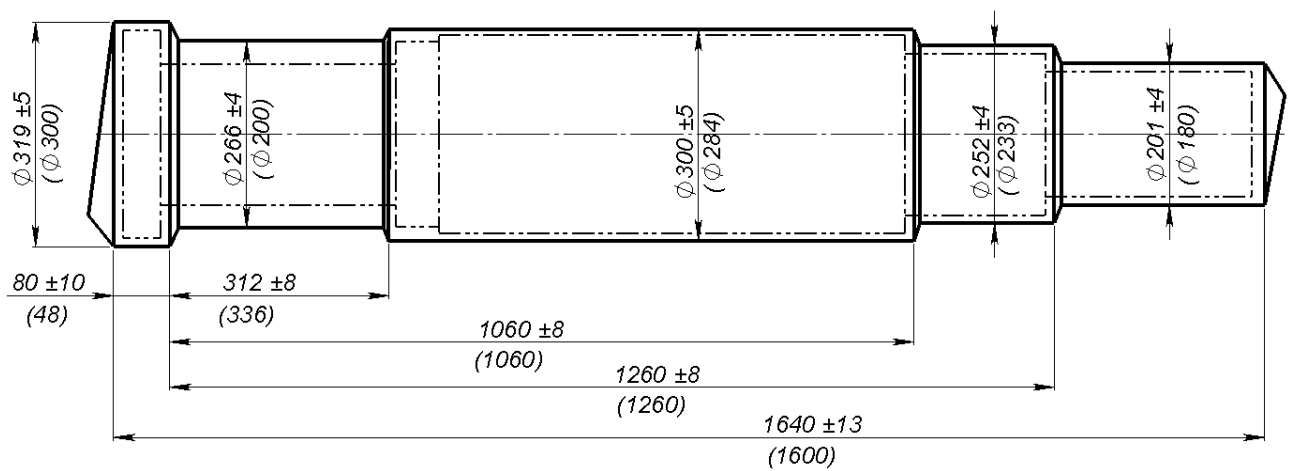


Рис. 6.21. Остаточні розміри поковки

5. Визначимо допустиму нерівномірність розміщення припусків, яка для будь-якого перетину поковки характеризується наступними граничними значеннями одностороннього припуску (відповідно до рис. 6.17):

- мінімальне значення $Z_{\min} = 0,5Z - 0,5\left(\frac{T}{2}\right)$;
- максимальне значення $Z_{\max} = 0,5Z + 1,5\left(\frac{T}{2}\right)$.

Розрахунки граничних значень односторонніх припусків наведені в табл. 6.7.

Таблиця 6.7. Допустима нерівномірність розміщення припусків для перетинів поковки, мм

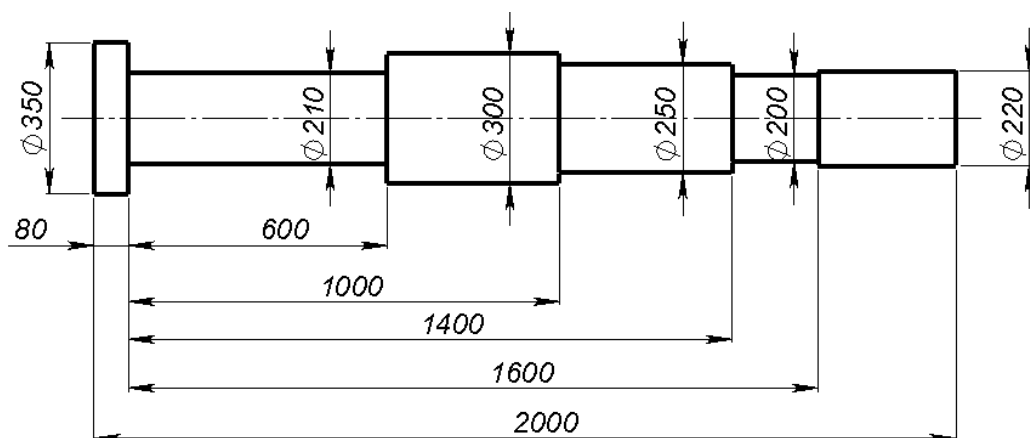
Діаметр перетину	Припуск на розмір Z	Граничне відхилення на розмір $T/2$	Граничне значення одностороннього припуску в перетині	
			мінімальне Z_{\min}	максимальне Z_{\max}
201	21	± 4	$10,5 - 2 = 8,5$	$10,5 + 6 = 16,5$
252	22	± 4	$11 - 2 = 9,0$	$11 + 6 = 17,0$
300	16	± 5	$8 - 2,5 = 5,5$	$8 + 7,5 = 15,5$
266	20	± 4	$10 - 2 = 8,0$	$10 + 6 = 16,0$
319	19	± 5	$9,5 - 2,5 = 7,0$	$9,5 + 7,5 = 17,0$

6.5. Завдання для самостійного розв'язування

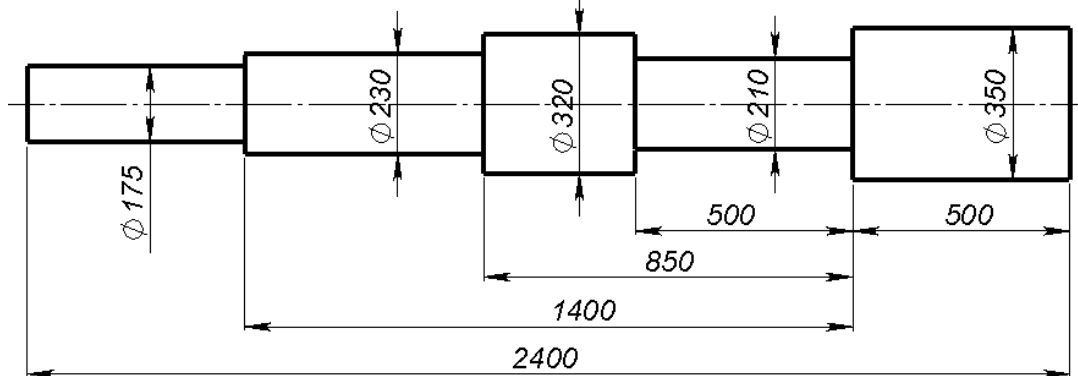
Табличним способом визначити припуски на механічне оброблення та розміри поволок, виготовлених зі сталі 45 вільним куванням на молотах в умовах дрібносерійного виробництва для варіантів згідно табл. 6.8 (розміри деталей на рисунках змінити відповідно до вказівок таблиці).

Таблиця 6.8. Вихідні дані для самостійного завдання

Варіант	Рисунок	Зміна розмірів деталі
1	6.18	зменшити у 4 рази
2	6.18	зменшити у 3 рази
3	6.18	зменшити у 2 рази
4	6.22, <i>a</i>	–
5	6.22, <i>a</i>	зменшити у 5 разів
6	6.22, <i>a</i>	зменшити у 4 рази
7	6.22, <i>a</i>	зменшити у 3 рази
8	6.22, <i>a</i>	зменшити у 2 рази
9	6.22, <i>б</i>	–
10	6.22, <i>б</i>	зменшити у 5 разів
11	6.22, <i>б</i>	зменшити у 4 рази
12	6.22, <i>б</i>	зменшити у 3 рази
13	6.22, <i>б</i>	зменшити у 2 рази



a



б

Рис. 6.22. Розміри деталей для самостійного завдання

6.6. Проектування штампованих заготовок

6.6.1. Суть процесу і види об'ємного штампування

Об'ємне штампування – це виготовлення поковок у штампах, при якому переміщення металу в сторони під час деформування обмежене поверхнями порожнини штампа. Робоча порожнина штампа при стулюванні його складових частин у кінці штампування (рівчак) відповідає конфігурації поковки.

Штампування може виконуватись в *гарячому* і *холодному* стані. Процеси гарячого і холодного об'ємного штампування аналогічні, при цьому останні забезпечують досягнення більшої точності і більш якісної поверхні деталей, однак вимагають більших зусиль деформування і мають обмеження гранично допустимих деформацій та марок матеріалів, які штампуються у холодному стані. З метою підвищення точності розмірів і якості поверхонь поковок застосовують *напівгаряче* штампування, при якому обмежено окалиноутворення.

Розрізняють об'ємне штампування у *відкритих* і *закритих штампах*.

У *відкритих штампах* (рис. 6.23,*а*) між рухомою і нерухомою частинами штампа є зазор – облойна (чи задиркова) канавка, куди витікає надлишковий об'єм металу заготовки. Облой, що утворюється при цьому, потім обрізається, тому він є небажаним відходом, однак необхідним для забезпечення повного заповнення рівчачка штампа і компенсації коливань вихідних заготовок за масою. Залежно від складності форми поковки облой може становити 10...30% її маси. Волокна металу спрямовані від середини поковки до облою та перерізаються під час його відрубубування, що зменшує міцність деталі (рис. 6.24,*а*).

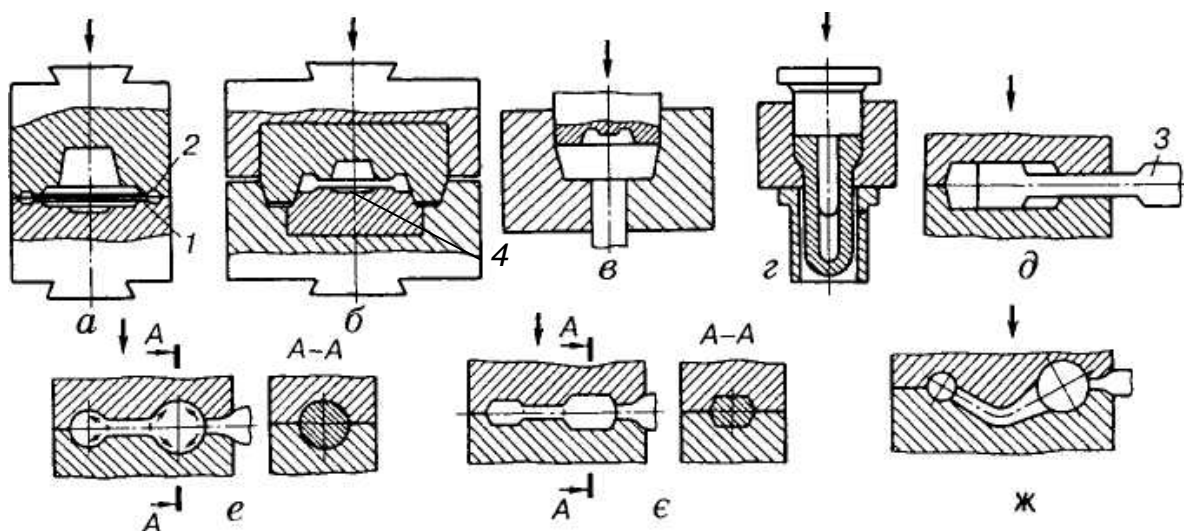


Рис. 6.23. Схеми гарячого об'ємного штампування і заготівельних рівчачків

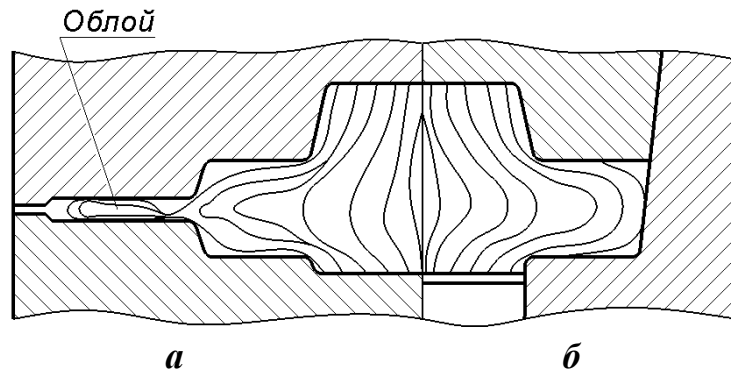


Рис. 6.24. Схема розміщення волокон металу при відкритому (а) і закритому (б) штампуванні

У закритих штампах (рис. 6.23,б) метал деформується в закритій порожнині. Зазор між частинами штампа забезпечує тільки їх відносний рух для деформування металу без можливості його витікання з порожнини штампа та утворення облою. Відсутність облою зменшує розхід металу, дає змогу уникнути операцій його обрізання, але вимагає точного дозування об'єму вихідної заготовки (використовують точні заготовки з каліброваного прокату або попередньо оброблені) або застосування штампів з компенсаторами неточності маси заготовки (надлишок металу витісняється в спеціальну порожнину 4 штампа і після штампування усувається). Штампування в закритих штампах забезпечує вищу точність розмірів і якість поверхонь поковок, більший ступінь деформації, поліпшення мікроструктури і дає можливість штампувати малопластичні сплави; застосовується для порівняно простих деталей (переважно тіл обертання, хрестовин, шестерень). Волокна металу поковки не перерізаються (рис. 6.24,б). Внаслідок зношування штампів поковки можуть мати задирки, що ускладнюють рознімання штампів, виштовхування з них поковок і вимагають додаткової операції їх відрізання. Закриті штампи можуть бути з однією і двома площинами розняття (рис. 6.23,в).

Близьким до схеми штампування в закритих штампах, але значно ефективнішим, є **штампування видавлюванням** (рис. 6.23,г; 6.25). Об'єм металу в порожнині штампа в процесі штампування зменшується за рахунок його витіснення через передбачені отвори та проміжки для утворення необхідних частин поковки. Зайвий метал звичайно витісняється в зовнішню частину поковки, а згодом відрізається. Витрати металу зменшуються (до 30%), поковки мають високу якість поверхні і точність розмірів (до 12 квалітету), щільну мікроструктуру (за рахунок всебічного стискання матеріалу). Поковки максимально наближаються за формою і розмірами до готових деталей, продуктивність праці при механічній обробці збільшується в 1,5...2 рази.

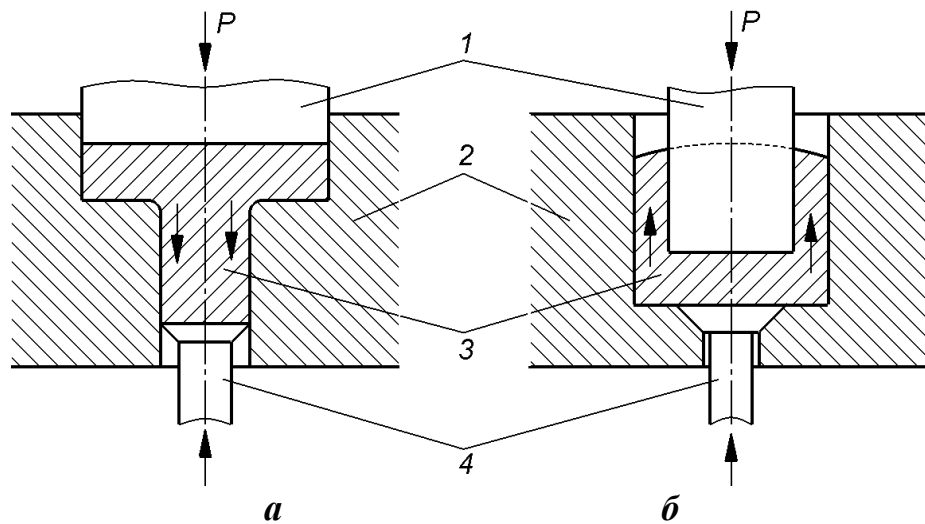


Рис. 6.25. Схеми штампування в штампах для прямого (а) і зворотного (б) видавлювання:

1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – поковка; 4 – виштовхувач

Цим способом отримують високоякісні заготовки з вуглецевих і легованих сталей, алюмінієвих, мідних і титанових сплавів. Недоліками способу є вищі енерговитрати, високі зусилля деформування, потреба в спеціальних мастилах, необхідність ретельної підготовки вихідних заготовок під штампування, висока точність виготовлення і налагодження штампів, їх низька стійкість.

Перспективними є штампування рідкого металу (див. п. 5.3) і штампування видавлюванням в різних матрицях, які мають одну чи декілька площин розняття (рис. 6.26).

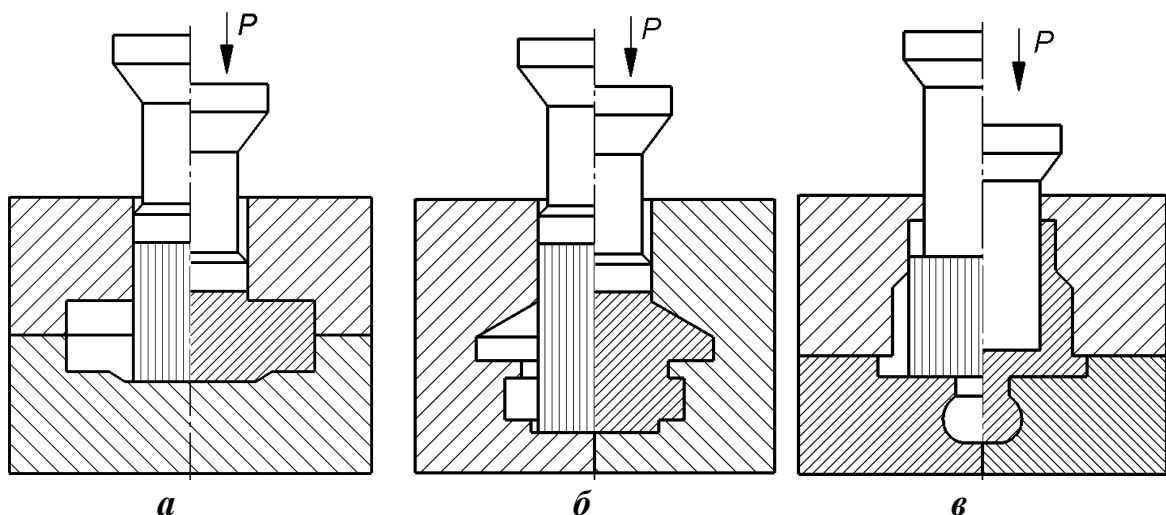


Рис. 6.26. Схеми штампування видавлюванням в різних матрицях: поперечне (а), поздовжнє (б) і змішане (в) рознімання

Останній спосіб дає можливість отримати поковки з високою точністю розмірів, без штампувальних уклонів або з незначними уклонами (до $1...3^\circ$);

максимально наблизити форму поковки до форми готової деталі за рахунок формування внутрішніх порожнин. Однак цей спосіб потребує більш складного і дорогого обладнання і технологічної оснастки, декількох штампувальних переходів з проміжними нагріваннями в зв'язку з інтенсивнішим охолодженням заготовки у штампі, підвищеного зусилля деформування.

Вибір штампа (відкритий, закритий чи для видавлювання) визначається конфігурацією і складністю деталі, її масою і матеріалом, характером виробництва. Слід враховувати також суттєву різницю в макроструктурі матеріалу поковок, отриманих в різних штампах, яка визначає міцність і довговічність деталі.

Поковки простої форми а також великі поковки штампують в **однорівчачкових** штампах за одне нагрівання. Складні поковки з різкими змінами перерізу по довжині виготовляють у **багаторівчачкових** штампах (рис. 6.27) з послідовним деформуванням заготовки в кількох рівчачках з поступовим наближенням до кінцевої форми поковки (також за одне нагрівання).

Рівчачки у багаторівчачкових штампах поділяють на **заготівельні** і **штампувальні**.

Заготівельні рівчачки призначені для виготовлення фасонної заготовки для наступного штампування. В них виконують:

- осадку (на рівній площадці штампа);
- протягування – видовження частини заготовки 3 (рис. 6.23,д);
- підкатку – місцеве збільшення перерізу заготовки за рахунок стоншення сусідніх ділянок (рис. 6.23,е);
- перетиск – розплющування заготовки;
- формування – для надання заготовці форми, наближеної до поковки (рис. 6.23,є);
- згинання (рис. 6.23,ж);
- відрубубвання при штампуванні з прутка, штаби тощо.

Штампувальні рівчачки є чорнові (попередні) і чистові (остаточні).

Чорновий рівчачак не має канавки для облою і призначений для захисту чистового рівчачака від зношування. Форма чорнового рівчачака така сама, як у чистового, але з більшими радіусами заокруглень і штампувальними нахилами.

Чистовий рівчачак є точним відображенням поковки, але з розмірами, більшими на величину усадки при охолодженні (для сталі $\approx 1,5\%$). По периметру чистового рівчачака розміщується канавка для облою. Вона складається з вузького містка 1 (рис. 6.23,а) і магазину 2. Призначення містка – перешкодити

вільному витісненню металу з рівчача, щоб створити в порожнині штампа високий тиск і полегшити обрізування облою.

Порівняно з вільним куванням *об'ємне штампування має такі переваги*: в 50...100 разів вища продуктивність, більші однорідність і точність поковок (припуски і допуски в 3...4 рази менші, ніж при куванні), можливість виготовлення поковок складної форми без напусків, висока якість поверхні ($Rz = 80...20$ мкм, після холодного калібрування $Rz = 10...1,6$ мкм), сприятливе розташування волокон, нижчі вимоги до кваліфікації робітників. На одному штампі залежно від матеріалу і типу поковки можна виготовити 10...25 тис. поковок. Холодне об'ємне штампування дозволяє майже повністю виключити обробку різанням і забезпечує порівняно з нею зменшення трудомісткості виготовлення деталей на 30...80% і підвищення коефіцієнта використання матеріалу на 50%.

Недоліки об'ємного штампування: складність і висока вартість штампів; обмеженість маси поковок (0,3...100 кг), потреба в устаткуванні великої потужності, оскільки зусилля деформування при штампуванні значно вищі, ніж при куванні; наявність облою, задирок.

Отже, об'ємне штампування найбільш ефективно в масовому і великосерійному виробництві для виготовлення якісних заготовок відповідальних деталей масою до 100 кг (для важкого машинобудування – 400 кг і більше) особливо з тих матеріалів, що погано обробляються іншими способами.

Штампи для гарячого штампування виготовляють з штампових сталей 5ХНМ, 4ХЗВМФ, 4Х2В5МФ та ін., для холодного штампування – зі сталей У8, У10, Х6ВФ, Х12М, 7ХГ2ВМ та ін.

Гаряче об'ємне штампування виконують на штампувальних молотах (пароповітряних, гідравлічних, фрикційних з дошкою, безшаботних), пресах (гвинтових фрикційних, гідравлічних, кривошипних гарячештампувальних), горизонтально-кувальних машинах (ГКМ) і спеціальних машинах вузького призначення (ротаційно-кувальні машини, кувальні вальці, горизонтально-згинальні машини та ін.). Холодне штампування здійснюють на кривошипних та гідравлічних пресах, холодновисаджувальних автоматах [5, 23].

Порівняльна характеристика способів штампування і кування наведена в табл. 6.9.

Таблиця 6.9. Порівняльна характеристика способів кування та штампування заготовок

Спосіб отримання поковки	Тип виробництва ¹	Матеріал	Маса заготовок, кг	Припуски на сторону, мм	Штампувальні угони, °	Точність	Шорсткість Rz, мкм	Орієнтовні розміри партії, шт.	Відносна собівартість, %	Технологічні особливості	Область застосування
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Кування на молотах і пресах	О, ДС	Вуглецеві і леговані сталі, спеціальні сплави	0,5... 250000	На молотах	10	На молотах за ГОСТ 7829-70;	320... 80	30...200	130... 220	Найпростіші конструктивні форми	Вали і диски турбін, ротори, фланці, колеса, колінчаті вали, барабани котлів
				на пресах		за ГОСТ 7062-90 (ІТ 16...17 і вище)				Форми середньої складності	
Кування на підкладних кільцях і штампах	ДС		До 15 (іноді до 150)	2,5...15 ²	3... 10	За ГОСТ 7829-70 (ІТ 16...17 і вище)	80...40				
Кування на радіально-кувальних і ротаційно-кувальних машинах	ДС, С	Вуглецеві і леговані сталі, алюмінієві сплави, металокераміка, металопорошки	Пруток Ø4... 200 мм; труби Ø10... 320 мм	Під шліфування (при необхідності)	-	Холодне 0,04...0,4 мм (ІТ 6...10); гаряче 0,1...0,6 мм (ІТ 11...13)	6,3... 0,4	2000	110... 130	Суцільні та порожнисті поковки стержневого типу (східчасті, конічні, круглі, багатогранні тощо)	Вали, голки, шпindelі, з'єднання трубчатих і стержневих заготовок, поковки зі складним профілем по довжині
Гаряче штампування на молотах	С, М	Сталі, кольорові метали і сплави	0,1... 2000	0,75...4,2	7...10	За ГОСТ 7505-89 (ІТ 15...17)	320... 40	Для важких поковок – 2500...3000, для середніх і дрібних – 4000...10000	100	Заготовки досить складної форми без піднутрень і виступів, що важують вийманню зі штамп	Зубчаті колеса, важелі, перемикачі, чашки, маточини
				5							
Гаряче штампування на механічних пресах	С, М		0,1... 1000	0,5...3,0	3...7	За ГОСТ 7505-89 (ІТ 13...17)	160... 20				Кільця, гайки, важелі, фланці, кришки, порожнисті корпуси

Продовження табл. 6.9

Спосіб отримання поковок	Тип виробництва	Матеріал	Маса (розмір) заготовок, кг	Припуски на сторону, мм	Штампувальні углини, °	Точність	Шорсткість Rz, мкм	Орієнтовні розміри партії, шт.	Відносна обтікаєвість, %	Технологічні особливості	Область застосування
Гаряче штампування на ГKM	С, М	Сталі, кольорові метали і сплави	0,5...100	1,5...3,25	В матрицях – 1...7; в пуансоні – 0,25...2	За ГОСТ 7505-89 (IT 13...17)	160...20	Стійкість до повного зношування матриць – 24000...64000, пуансонів – 3000...11000	70...75	Вісесиметричні стержні, з суцільними і порожнистими головками, фланцями	Кільця, гайки, втулки, вали з фланцями
			0,3...120	0...0,4	5...7	До ±(0,025...0,1) мм (IT 11...15)	32...1,6		77...93	Поверхні після холодного калібрування не потребують подальшої механічної обробки	Панелі, фланці, кришки, штепсельні рознімання
Штампування видавлюванням на гідравлічних пресах	С	Малопластичні сталі, кольорові метали і сплави	0,25...80	По перетину – 0,5...1,5; по довжині – 1,5...4,0	0,5...4,0	IT 13...17	160...20	700...2000	110...115	Заготовки з тонкими і довгими стінками або стержнями	Спецболти, стержні, баки, контейнери, труби з фланцями

¹ Умовні позначення типів виробництва: О – одиничне, ДС – дрібносерійне, С – серійне, М – масове.

² Наведено основні припуски на перетин поковки.

6.6.2. Технологічний процес об'ємного штампування

Технологічна підготовка виробництва штампованих поковок включає такі етапи: складання креслення поковки; розробку технологічного процесу; конструювання і виготовлення штампа.

Технологічний процес об'ємного штампування складається з операцій:

- виготовлення вихідних заготовок;
- нагрівання заготовок;
- штампування поковок;
- обрізування облою;
- обробка поковок.

Виготовлення вихідної заготовки. Об'єм і масу вихідної заготовки визначають за кресленням поковки з урахуванням зовнішнього і внутрішнього облою, кліщовини (для захвату заготовки кліщами при штампуванні), вигару.

Поковки простої форми одержують з круглого або квадратного сортового прокату. Розрізають прокат на мірні заготовки кривошипними пресножицями, дисковими пилами, газовим різанням.

При штампуванні складних поковок доцільно застосовувати фасонні заготовки, форма яких наближена до поковки. Їх виготовляють куванням на молотах і кувальних вальцях, але найбільш ефективним є застосування періодичного прокату, що дає змогу заощадити 15% металу і на 30% зменшити трудомісткість виготовлення поковок.

Устаткування і метод штампування вибирають залежно від форми і розмірів поковки, властивостей матеріалу, кількості деталей та інших факторів. Від правильного вибору устаткування залежать точність поковок, продуктивність штампування, витрати енергії, знос штампів тощо.

Основним параметром штампувальних молотів, за яким визначають потрібний типорозмір чи конструкцію молота, є **маса падаючих частин**. У дрібносерійному та одиничному виробництві масу падаючих частин визначають наближено – за номограмами (наведені в довідниках [19] для заданих виробничих умов, форм і розмірів поковок), чи за емпіричними формулами [5, 18, 19]. Наприклад, потрібну масу падаючих частин G , кг, штампувальних молотів визначають залежно від площі горизонтальної проекції поковки з облоєм F , см², за формулою

$$G = K_{ш.м} F,$$

де $K_{ш.м}$ – коефіцієнт, що враховує тип молота; для простих молотів $K_{ш.м} = 12$, а для молотів подвійної дії $K_{ш.м} = 5$.

Для штампування у закритих штампах масу падаючих частин молота беруть на 20...25% меншою за розрахункову чи визначену за відповідною номограмою.

Для вибору преса необхідне **зусилля пресування** можна визначити за приблизним співвідношенням між зусиллям преса P , МН, і масою падаючих частин молота G , т:

$$P = (10...12) G.$$

Зусилля преса чи ГKM для штампування наближено також визначають за площею проекції поковки на площину розняття штампа F , м²:

$$P = kF\sigma,$$

де k – дослідний коефіцієнт, що враховує операцію штампування, форму і розміри елементів поковки ($k = 6,4...7,3$ – для преса і $k = 1,5...4,0$ – для ГKM; визначається за таблицями довідників [19]); σ – границя міцності металу при температурі штампування, МПа.

У багатосерійному та масовому виробництві масу падаючих частин молота чи зусилля преса знаходять за допомогою точних розрахунків, враховуючи форму і розміри поковки та містка облойної канавки, границю текучості матеріалу поковки при температурі штампування, коефіцієнт зовнішнього тертя на містку облою, геометричні параметри пуансона і матриці, швидкодію пресів тощо [5, 19].

Залежно від характеру деформування, форми головної осі, положення площини розняття, поперечного перерізу *поковки поділяють на групи*. Для кожної групи рекомендується свій метод штампування і вибір кількості та послідовності переходів.

Наприклад, на рис. 6.27 показано загальний вигляд нижньої половини штампа і схема штампування шатуна автомобіля 9 на молоті. Вихідна заготовка 5 квадратного перерізу на дві поковки після нагрівання протягується в ривчаку 4. Далі за кілька ударів (з кантуванням на 90° після кожного удару) її підкатують у підкатному ривчаку 1 і, надаючи наближену до готової поковки форму 6, отримують фасонну заготовку. Штампуванням фасонної заготовки послідовно в чорновому 3 і чистовому 2 штампувальних ривчаках одержують поковку з облоєм 7. Потім у такій самій послідовності штамнують другу поковку 8. На спеціальному обрізному штампі, проштовхуючи поковку крізь отвір матриці, обрізують облой. Штампування двох шатунів відбувається за 40 ударів молота загальною тривалістю 25...30 с.

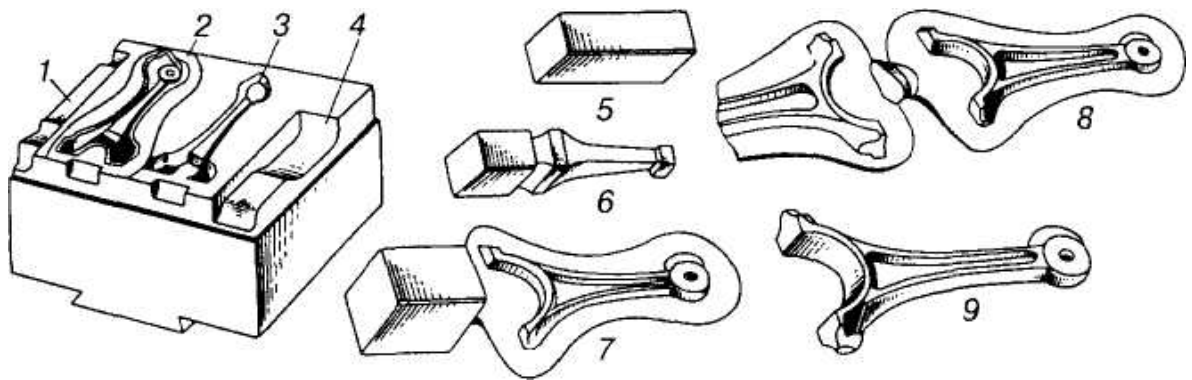


Рис. 6.27. Штампування шатуна в багаторівчаковому молотовому штампі

На рис. 6.28 показано послідовність переходів при штампуванні на пресі колінчастого вала і поворотного кулака автомобіля. Колінчастий вал штампується з круглого прокату 1 у дворівчаковому штампі. В першому рівчаку виконується згинання заготовки 2, а у другому – чистове штампування 3. Штампування видавлюванням поворотного кулака з циліндричної заготовки 4 виконується за три переходи 5, 6, 7.

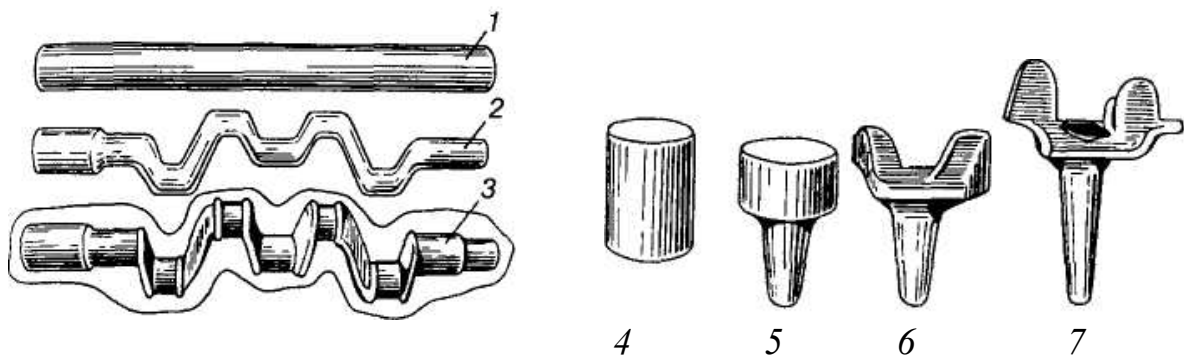


Рис. 6.28. Послідовність переходів при штампуванні на пресі

Обрізні операції. Використовують гаряче і холодне обрізання облою (задирок) і прошивання отворів. *Гаряче обрізання* здійснюють безпосередньо після штампування на пресі, що входить до складу штампувального агрегату. Це призводить до економії енергії, яка витрачається на обрізання. Зусилля при гарячому обрізанні в 5...6 разів менші, ніж при холодному.

Гаряче обрізання необхідне при штампуванні поковок з легованих і високовуглецевих сталей. Поковки з великою площею зрізу також доцільно обрізати в гарячому стані, щоб не встановлювати обрізні преси великої потужності. Тонкі поковки невеликих розмірів при гарячому обрізанні зазнають жолоблення і тому підлягають *холодному обрізанню*.

При обрізанні облою сусідні ділянки металу не повинні піддаватись навіть незначним залишковим деформаціям, оскільки поковка може викривитись або зім'ятись. Велика кількість дефектів поковок пов'язана з неоднаковим зносом основного й обрізного штампів, неоднаковою усадкою поковок і недостатньою точністю інструмента, що вимагає налагодження обрізного преса для кожної партії поковок.

Обробка поковок включає виправлення, термообробку, очищення від окалини і калібрування.

Виправлення виконують для усунення викривлення осі та спотворення поперечних перерізів поковок, отриманих при штампуванні, обрізанні, термообробці, транспортуванні тощо. Його здійснюють у гарячому стані (після обрізання облою в чистових рівчаках штампів, на обрізних пресах чи в додаткових правильних штампах) і холодному стані (на правильних фрикційних молотах в основному після термообробки).

Метою термообробки поковок є усунення дефектів, що виникли при нагріванні і штампуванні (перегрівання, залишкові напруження), поліпшення оброблюваності різанням, підвищення механічних властивостей. Вид і режим термообробки залежить від її призначення, хімічного складу матеріалу, режимів попереднього штампування, від габаритів і товщини поковок. Сталеві поковки найчастіше піддають відпалюванню і нормалізації, поковки з алюмінієвих сплавів – гартуванню та старінню, з магнієвих сплавів – відпалюванню, гартуванню або старінню, з титанових сплавів – відпалюванню чи гомогенізації [19].

Очищення від окалини здійснюють для підвищення терміну служби різального інструмента при обробці поковок і для полегшення контролю якості поверхні. Очищення виконують в обертових барабанах (галтовка), на дробо-метальних апаратах та травленням (сталеві поковки у 15...18% розчині сірчаної кислоти, нагрітої до 60°C; алюмінієві сплави у розчині лугу).

Калібрування застосовують для підвищення якості поверхні й точності поковок (за масою і розмірами) і виконують в нагрітому (до термообробки) та холодному стані (після останнього нагрівання). Шорсткість поверхні після холодного калібрування $Rz = 6,3 \dots 1,6$ мкм, точність розмірів до $\pm 0,025 \dots 0,1$ мм. Розрізняють площинне (чеканка) і об'ємне калібрування.

Площинне калібрування (рис. 6.29,а) супроводжується вільним переміщенням металу в горизонтальному напрямі й забезпечує підвищення точності вертикальних розмірів. Площинне калібрування виконують в холодному стані на спеціальних калібрувальних кривошипно-колінних пресах (рис. 6.29,б), які

забезпечують великі зусилля на повзуні 1 при малій швидкості переміщення його в кінці робочого ходу. Зазор між верхньою і нижньою частинами штампа регулюється переміщенням опорної призми 2 за допомогою клина 3. Кривошипно-колінні преси виготовляють з зусиллям на повзуні 0,63...31,5 МН.

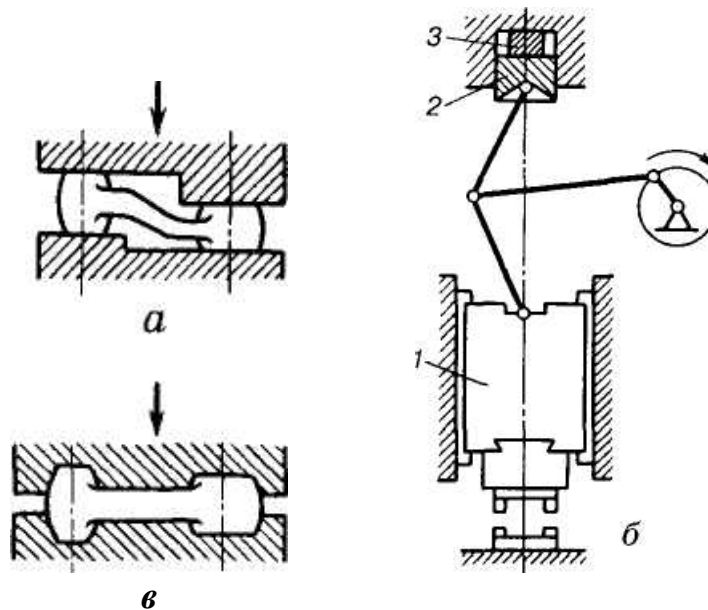


Рис. 6.29. Схеми калібрування і кривошипно-колінного преса

При *об'ємному калібруванні* (рис. 6.29,в) бічні стінки рівчака затрудняють переміщення металу в горизонтальному напрямі. При цьому можуть утворюватися облой чи задирки. Гаряче об'ємне калібрування (з нагріванням до 850...900°C) по суті є доштамповуванням поковки до потрібних точних розмірів і здійснюється на кривошипних гарячештампувальних пресах (КГШП) в однорівчаковому штампі з наступним обрізуванням облою.

При **конструюванні штампів** доцільно розташовувати всі рівчаки в одному штампі (див. рис. 6.27). Коли це не вдається, то застосовують два та більше штампів, але встановлюють їх на молотах чи пресах, розташованих поруч. Це дає змогу виконувати весь процес штампування за допомогою одного нагрівання вихідних заготовок і ефективніше використовувати засоби механізації та автоматизації їх транспортування під час виготовлення.

Для забезпечення якості поковки та продуктивності устаткування в штампі здебільшого повинно бути не більше двох-трьох рівчаків. Тому часто використовують (особливо на кривошипних пресах) попередньо фасоновані вихідні заготовки, отримані, наприклад, періодичним прокатуванням чи вальцюванням.

6.6.3. Забезпечення технологічності конструкції штампованої заготовки

Форма поковки визначається конфігурацією деталі та прийнятим способом штампування. Форма і розміри конструктивних елементів повинні відповідати можливостям технологічного процесу штампування.

При відпрацюванні конструкції поковки на технологічність необхідно перевірити можливість і раціональність зміни конструкції деталі або її елементів (без шкоди для якості й експлуатаційних характеристик) для спрощення конфігурації поковки з метою полегшення заповнення порожнини рівчака штампа.

Раціональною формою заготовки вважають таку, за якої всі елементи конструкції мають просту геометричну форму і плавно сполучені один з одним. *Загальні вимоги до деталей, виготовлюваних об'ємним штампуванням, наступні.*

1. Сполучення необроблюваних поверхонь мають бути оформлені *радіусами*, які необхідні для зменшення концентрації напруження в кутах рівчаків штампа, покращення умов заповнення металом порожнини штампа і зменшення зносу гострих кутів і кромки штампів.

2. Поверхні поковки, перпендикулярні до площини рознімання штампа, повинні мати *штампувальні уклони* (зовнішні – менші, а внутрішні – більші), які необхідні для полегшення заповнення порожнини штампа і вільного видалення з неї поковки. При штампуванні на пресах уклони зменшують, оскільки конструкція пресів дозволяє застосовувати спеціальні пристосування-виштовхувачі, призначені для примусового видалення поковки з порожнини штампа. При штампуванні на ГKM завдяки наявності рухомої рознімної матриці уклони ще менші.

3. *Площину розняття штампа* добирають так, щоб вона співпала з двома найбільшими розмірами заготовки, виходячи з умови мінімальної глибини порожнини штампа та зручності виймання з неї поковки (без суттєвого спрощення форми деталі за рахунок напуску). Площину розняття закритих штампів вибирають за найбільшою торцевою поверхнею деталі.

Взаємне розташування поверхонь поковки відносно площини розняття має забезпечувати добре заповнення форми металом у процесі його деформування, належний напрямок волокон у структурі металу (який повинен сприяти поліпшенню експлуатаційних параметрів якості готової деталі), мінімальну кількість технологічних переходів (рівчаків), мінімальні напуски і припуски на наступне механічне оброблення поковки, а також отримання максимальної кількості поверхонь, що не потребують механічного оброблення.

При виборі площини розняття штампа необхідно враховувати умови захоплення і базові поверхні при механічній обробці. За інших рівних умов правильне рознімання штампа має забезпечувати затискання поковки по циліндричній частині й однаковий припуск вздовж напрямку оброблення різанням, тобто напуски мають бути розташовані по "чорним", необроблюваним поверхням поковки.

4. Для зменшення витрат металу і спрощення штампування іноді раціонально розбити деталь на дві чи більше частин простої форми для штампування порізно з наступним з'єднанням зварюванням або іншим способом (рис. 6.30,*а*). Для дрібних поковок вигідніше штампування двох чи більше заготовок в одній поковці з наступним їх відокремленням, особливо для тих деталей, що виконують спільні функції (наприклад, шатун і кришка шатуна, див. рис. 6.30,*б*). Праві і ліві деталі по можливості слід конструювати так, щоб їх можна було виготовляти з однієї і тієї ж заготовки (рис. 6.31).

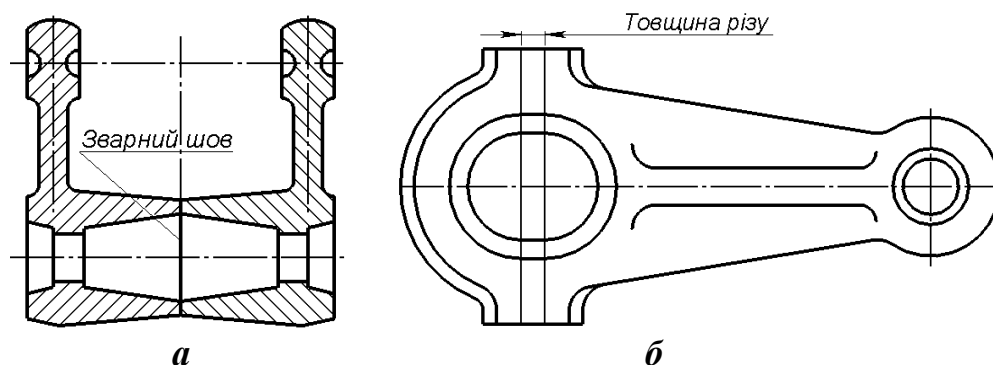


Рис. 6.30. Схема спрощення конструкції поковки:

а – шляхом розділення деталі; *б* – шляхом об'єднання двох деталей в одній поковці

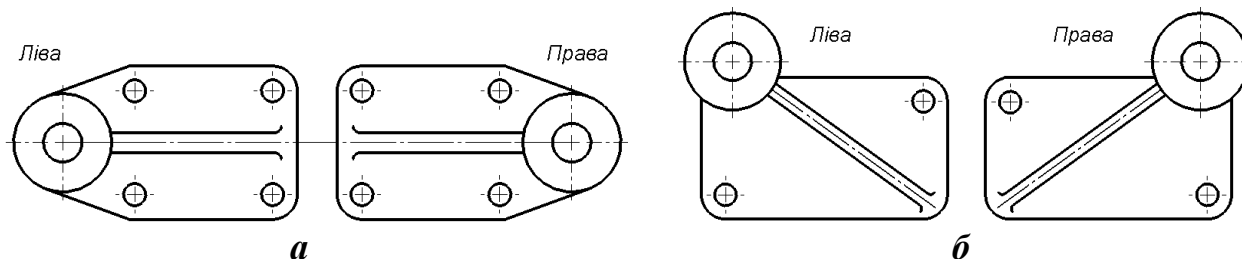


Рис. 6.31. Раціональна (*а*) і нераціональна (*б*) конструкції правих і лівих деталей

5. Поковка має мати мінімальну кількість ребер, перегородок, отворів тощо. На бокових поверхнях поковки не повинно бути піднутрень. Важкозаповнювані частини поковки (ребра, бобики, виступаючі елементи тощо) слід фо-

рмувати у верхній частині штампа, оскільки рівчак у верхній частині штампа заповнюється металом легше, ніж у нижній.

Заповнення рівчачка штампа осаджуванням у ньому металу (рівчак ширше заготовки, рис. 6.32,*а*) відбувається легше, ніж вдавленням (рівчак вузше заготовки, рис. 6.32,*б, в*).

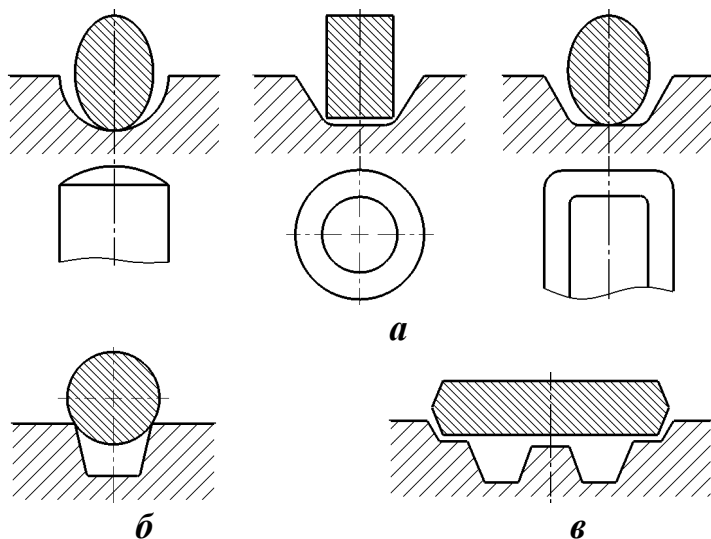


Рис. 6.32. Штампування осаджуванням (*а*) і вдавленням (*б, в*)

6. Необхідно уникати різких переходів по перерізу деталі (площа поперечного перерізу по довжині деталі не повинна змінюватись більш ніж у 3 рази), а також ребер, що мають змінний по довжині переріз. Якщо змінна висота ребер, та необхідно застосовувати змінний радіус сполучення ребер з полотном і постійний штампувальний уклон, що дорівнює середньому для наявних відношень товщини ребра до його висоти.

Товщину полотна не слід робити дуже малою щоб уникнути швидкого охолодження поковки, що призводить до зниження стійкості штампа. Деталь не повинна мати довгих вузьких відростків у площині полотна, що призводять до великих витрат металу і браку за незаповненням фігури.

7. При штампуванні (висаджуванні) потовщень на кінцях стержнів діаметр висадженої частини не повинен перевищувати чотири діаметра вихідної заготовки, а висота висадженого потовщення повинна бути більше $0,05 \dots 0,125$ діаметра потовщення. Якщо висаджується потовщена частина складної форми, то її об'єм не повинен перевищувати $6d^3$, де d – діаметр заготовки.

8. Форма поковки, призначеної для штамповки на ГKM, повинна допускати розділення її на три частини (рис. 6.33) по двом площинам розняття, з яких одна ($A - A$) звичайно проходить через площину симетрії, а друга ($B - B$) пер-

пендикулярна до неї. Слід уникати звужень у повздовжньому перерізі поковки і конічних хвостовиків. Виступи на поковках, штампованих на ГKM, можуть бути розміщені як в осьовому, так і в боковому напрямку; легше отримувати виступи зі сторони пуансона; бокові виступи можна отримувати витісненням матеріалу з порожнини, що прошивається.

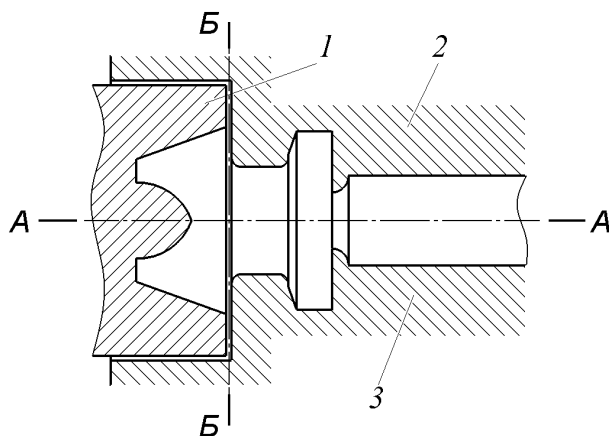


Рис. 6.33. Площини розняття поковки, виконуваної на ГKM:
1 – пуансон; 2 – нерухома матриця; 3 – рухома матриця

9. У разі наявності у деталях порожнин чи отворів у поковках передбачають *мітки* для отворів з одного чи обох боків, які не тільки полегшують виготовлення отворів, а й суттєво впливають на якість поковок, поліпшують структуру металу (рис. 6.34).

При штампуванні таких поковок в найважчих умовах працюють виступи штампів, які називаються *знаками*. Внаслідок їх малої стійкості порожнини діаметром менше 30 мм при гарячому штампуванні не виконують. Якщо при штампуванні прошити наскрізний отвір неможливо (наприклад у відкритих штампах), застосовують мітки отворів з перемичкою малої товщини. Можливі різні варіанти розміщення поверхні розняття штампа і утворюваної перемички (рис. 6.34, *в, г, д, е, є, ж*). Остаточне прошивання (видалення перемички) виконують у спеціальних штампах при обрізанні облою.

Для двосторонньої намітки рекомендується зміщувати поверхню внутрішнього розняття, а з нею і перемичку по відношенню до поверхні зовнішнього розняття, що значно полегшує центрування поковки в остаточному рівчаку (рис. 6.34, *в, є*).

При штампуванні товстих поковок отримують лише глухі мітки (рис. 6.34, *б*) без наступного просікання отворів. Глибину міток визначають за умови забезпечення достатньої стійкості інструмента.

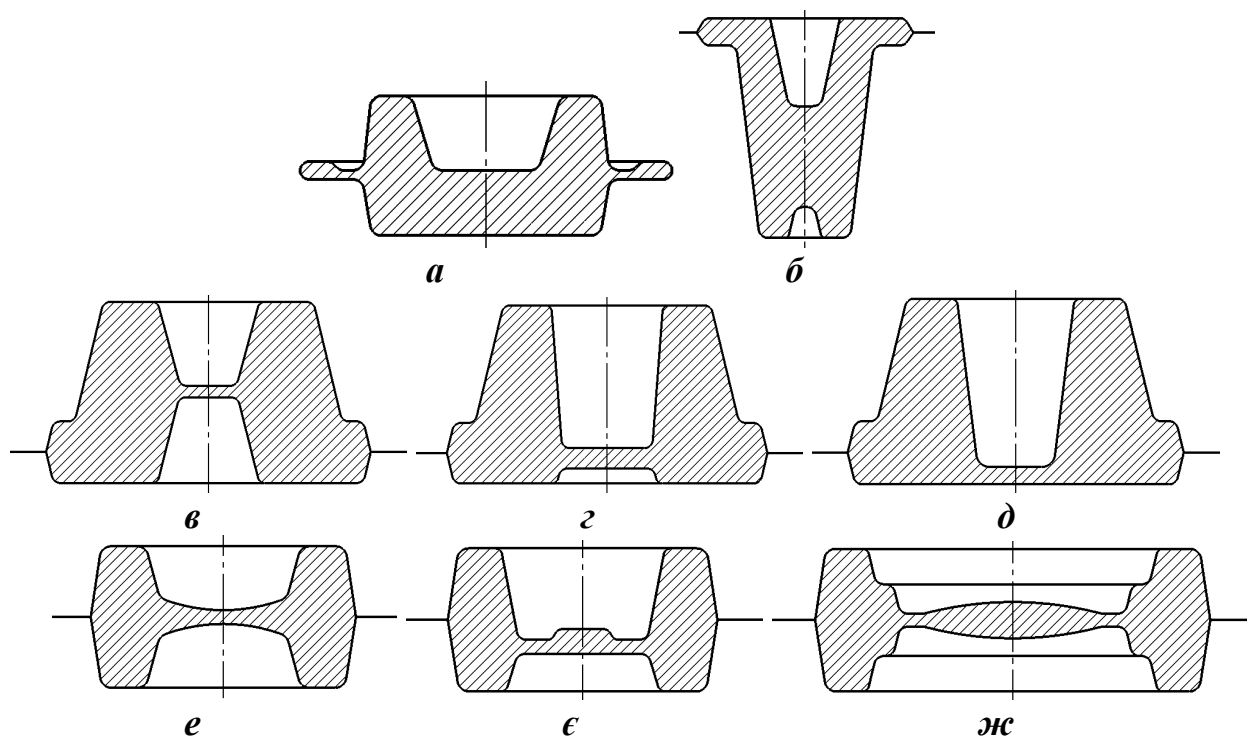


Рис. 6.34. Типи поковок з мітками

10. Необхідно прагнути до *уніфікації* поковки для різних деталей і їх елементів з метою зменшення вартості технологічної оснастки. З цією ж метою застосовують групові поковки, з яких обробкою різанням можна отримати невеликі партії однакових за формою, але різних за розмірами деталей.

Необхідно перевірити можливість отримання поковки в закритому ривчаку замість відкритого або переведення штампування з молота на інші, більш придатні для даної поковки ковальські машини.

Необхідно прагнути отримати готову або майже готову деталь з прокату шляхом поділу його на мірні заготовки з наступними згинанням, пробиванням отворів та іншими нескладними операціями (тобто без об'ємного штампування), а також зі спеціального чи періодичного прокату. Бажаним є скасування деяких операцій механічного оброблення шляхом застосування калібрування штапованих заготовок.

Відступ від технологічних вимог щодо конструкції штапованих деталей, неминуче призведе до збільшення собівартості заготовок через підвищення витрат на матеріали, механічну обробку і відсотків браку.

6.6.4. Методика конструювання штапованої заготовки

Вихідними даними для проектування поковки є креслення деталі з вказаними розмірами, граничними відхиленнями розмірів, шорсткістю поверхонь і

маркою матеріалу; програма випуску деталей і серійність виробництва; технічні вимоги до деталі; основні відомості про технологію обробки поковки після штампування.

Форму і розміри поковки визначають за кресленням деталі з урахуванням припусків на механічну обробку, допусків на штампування та напусків.

ГОСТ 7505–89 "Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски", що поширюється на поковки масою до 250 кг з габаритними розмірами до 2500 мм, виготовлені гарячим об'ємним штампуванням, встановлює наступні **терміни та пояснення** [9].

1. Геометричні параметри поковки (рис. 6.35,*а*):

- довжина (L, l), ширина (B, b), діаметр (D, d), висота і глибина (H, h) – розміри елементів поковки, отримуваних в одній частині штампів;

- товщина (T, t) – висотний розмір геометричного елемента поковки, отримуваного в обох частинах штампа;

- міжосьова відстань (A) – розмір відрізка прямої, що з'єднує два центра;

- радіус заокруглення внутрішнього кута (R_B) – радіус заокруглення в перерізі ввігнутої ділянки поверхні поковки;

- радіус заокруглення зовнішнього кута (R_3) – радіус заокруглення в перерізі опуклої ділянки поверхні поковки.

2. Допуск форми поковки – допустима величина відхилення форми поковки.

3. Відхилення форми поковки:

- зсув по поверхні розняття штампа (m) – відхилення форми поковки у вигляді найбільшого лінійного переносу по площині однієї частини поковки відносно іншої, яке обчислюється за формулами:

для штампів з однією поверхнею розняття (рис. 6.35,*б*)

$$m = \frac{a_2 - a_1}{2};$$

для штампів за двома і більше поверхнями розняття (рис. 6.35,*в*)

$$m = a_2 - a_1,$$

де a_1 і a_2 – відповідно найменший і найбільший розміри поковки у напрямку лінійного переносу;

- відхилення від концентричності (c) – відстань від центра глухого чи пробитого отвору до заданих координат центра цього отвору за кресленням поковки (рис. 6.35,*г*);

- відхилення від співвісності (e) – кутове відхилення осі отвору від осі поковки, вимірюване в одиницях довжини (рис. 6.35,*д*);

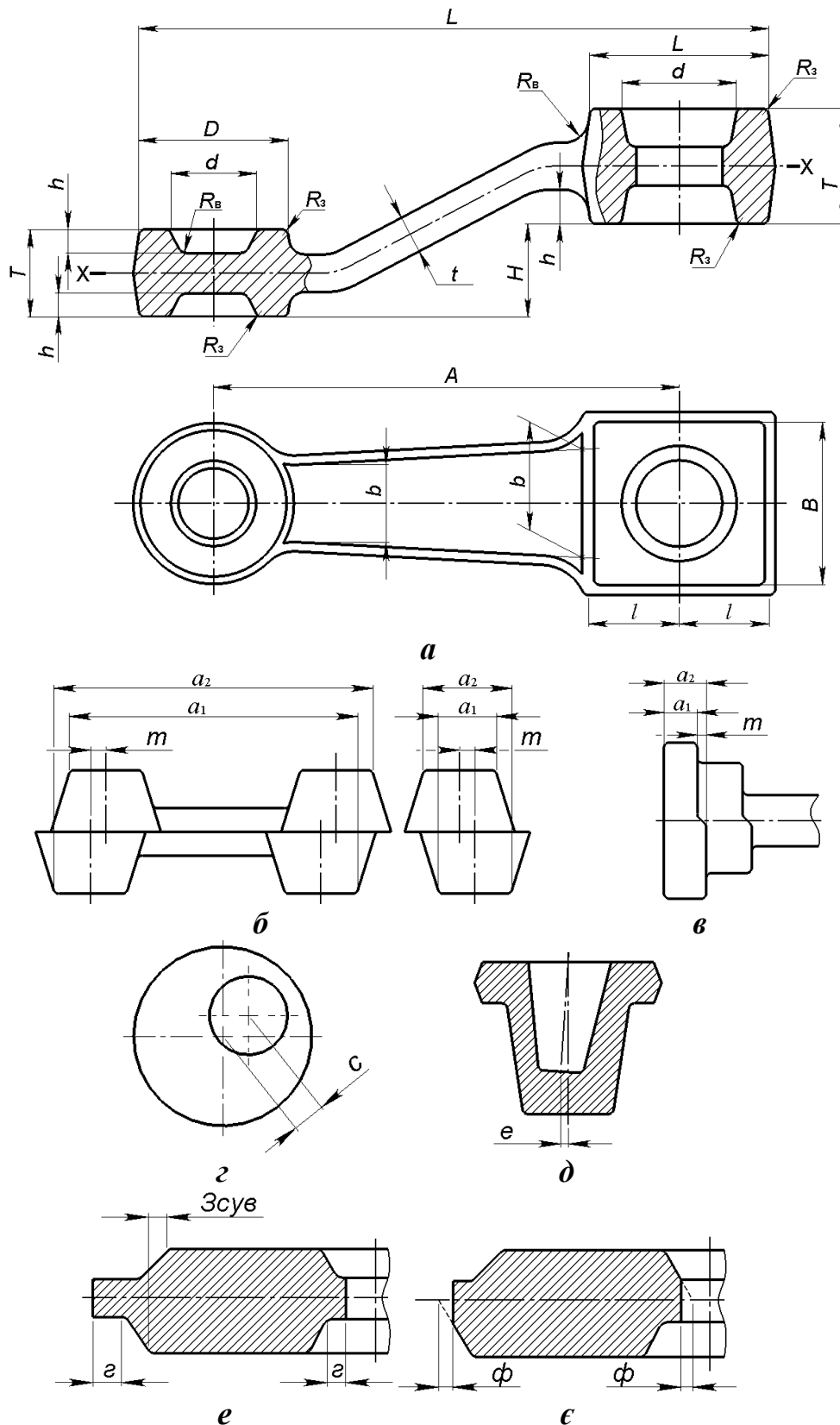


Рис. 6.35. До визначення термінів і пояснень, прийнятих для ГОСТ 7505–89

- залишковий облой (ε) – виступ, що залишився на поковці після обрізання облою чи пробивання отвору (рис. 6.35, ε);
- зрізана кромка (ϕ) – кромка поковки, яка утворилась при обрізанні об-

лою чи пробиванні отвору (рис. 6.35,є);

- *задирка* (k) – виступ, що утворився на поверхні поковки у непередбачуваних для розміщення облою місцях зчленування частин штампа (зазорах), а також при обрізанні облою і пробиванні отворів і вимірюється за висотою (рис. 6.36);

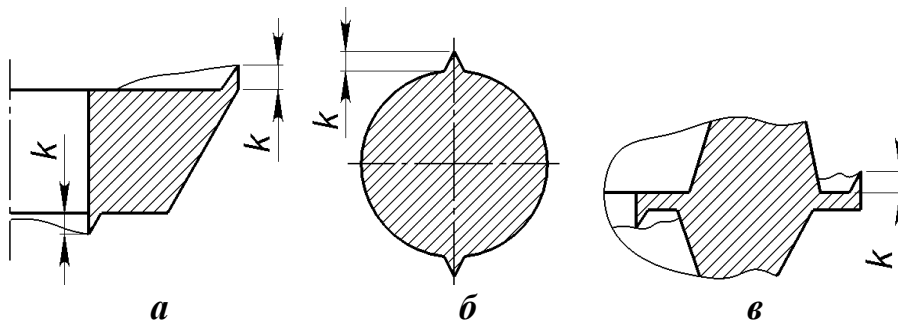


Рис. 6.36. Види задилок:

а – при безоблойному штампуванні; *б* – при штампуванні в штампах з різними матрицями; *в* – при обрізанні облою і пробиванні отвору

- *слід від виштовхувача штампа* – місцеве відхилення положення поверхні поковки під дією виштовхувача штампа;

- *зігнутість* ($P_{\text{н}}$) – відхилення осьової лінії поковки від номінального положення в напрямку найбільшої довжини або ширини поковки (рис. 6.37,*а*);

- *відхилення від площинності* ($P_{\text{а}}$) – величина найбільшої відстані від точок дійсної поверхні до прилеглої площини (рис. 6.37,*а*);

- *відхилення від прямолінійності* ($P_{\text{б}}$) – величина найбільшої відстані в площині від точок дійсного профілю до прилеглої прямої (рис. 6.37,*б*);

- *радіальне биття* – різниця найбільшої та найменшої відстаней від профілю перерізу поковки до його осі.

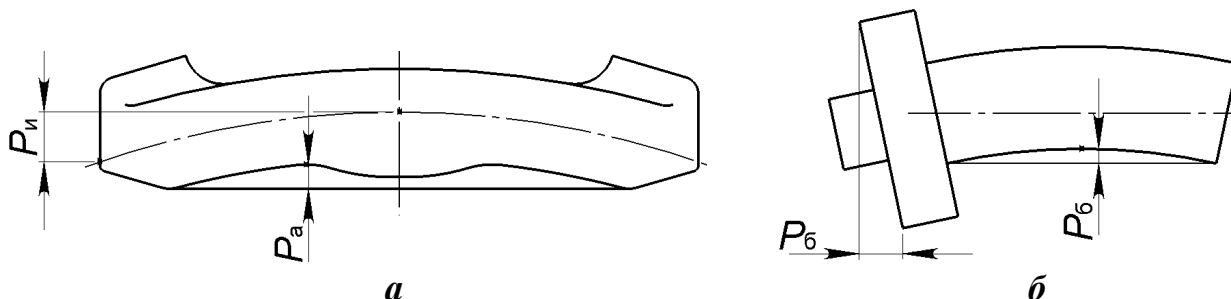


Рис. 6.37. Відхилення за зігнутістю, від площинності та прямолінійності

4. **Вихідний індекс** – умовний показник, що враховує в узагальненому вигляді суму конструктивних характеристик (клас точності, групу сталі, ступінь складності, конфігурацію поверхні розняття) і масу поковки.

Конструювання поковки здійснюють у наступній послідовності.

1. Встановлюють тип заготівельного виробництва.

Ознаки типів ковальсько-штампувального виробництва наведені в табл. 6.10.

Таблиця 6.10. Ознаки типів ковальсько-штампувального виробництва

Тип виробництва	Орієнтовний річний випуск поковок, шт./рік			Число типів заготовок, закріплених за обладнанням (лінією), шт.
	дрібних (до 1 кг)	середніх (1...10 кг)	важких (10...150 кг)	
Одиничне і дрібносерійне	До 50000	До 10000	До 2000	13 і більше
Серійне	50000... 500000	10000... 100000	2000... 10000	6...12
Великосерійне і масове	Понад 500000	Понад 100000	Понад 10000	1...5

2. Вибирають спосіб штампування.

Спосіб штампування суттєво впливає на конструкцію, розміри і точність поковки, особливо якщо вона штампується на ГKM або гідравлічних пресах. Спосіб штампування вибирають, виходячи з конструктивних розмірів і форми готової деталі, технічних умов на її виготовлення, характеру плинності металу в штампі, типу виробництва, а також з можливостей різних способів штампування. Докладно особливості способів штампування розглянуті в навчальній та довідковій літературі [2, 5, 11, 18, 22].

Остаточний добір способу виготовлення поковки можна виконати тільки на основі повного аналізу та порівняння можливих альтернативних варіантів разом з технічними та економічними розрахунками [2, 3, 19].

Визначивши спосіб виготовлення поковки, уточнюють тип основного устаткування та добирають технологічне оснащення, що суттєво впливає на форму та якість поковки.

3. Здійснюють аналіз технологічності конструкції штампованої заготовки (див. п. 6.6.3).

При визначенні *положення площини (поверхні) розняття штампна* передусім передбачають можливість вільного виходу поковки з порожнини ривчака. Для цього площа будь-якого перерізу поковки вище і нижче площини розняття повинна зменшуватись при віддаленні від неї за рахунок відповідних природ-

них скосів або штампувальних уклонів. Наприклад, для кулі площина розняття може проходити через діаметральний переріз фігури 1–1 (рис. 6.38,а). Зміщення площини розняття в положення 2–2 (рис. 6.38,б) призводить до напусків і спотворення форми поковки. Для куба можливі три положення площини розняття (рис. 6.38,в): площина 1 вимагає напусків від штампувальних уклонів по чотирьох бічних гранях; так само і площина 2, хоча втрати метала в напуски тут менші; площина 3 (найдоцільніша) створює в кожній частині штампа природні скоси по двом площинам і вимагає напусків тільки для бічних трикутних поверхонь. Для довгих циліндрів доцільно застосовувати рознімання по площині 1 (поперечне штампування, рис. 6.38,з), оскільки напуски тоді потрібні тільки для торців. Для коротких циліндрів застосовують площину 2 (повздовжнє штампування, рис. 6.38,д). Для зрізаного конуса приймають варіант 1, якщо кут конуса α достатній для видалення поковки зі штампа без прикладання значних зусиль (рис. 6.38,е). Конуси з малими кутами або значної довжини звичайно штамнують за варіантом 2 з напусками від штампувальних уклонів на торцях.

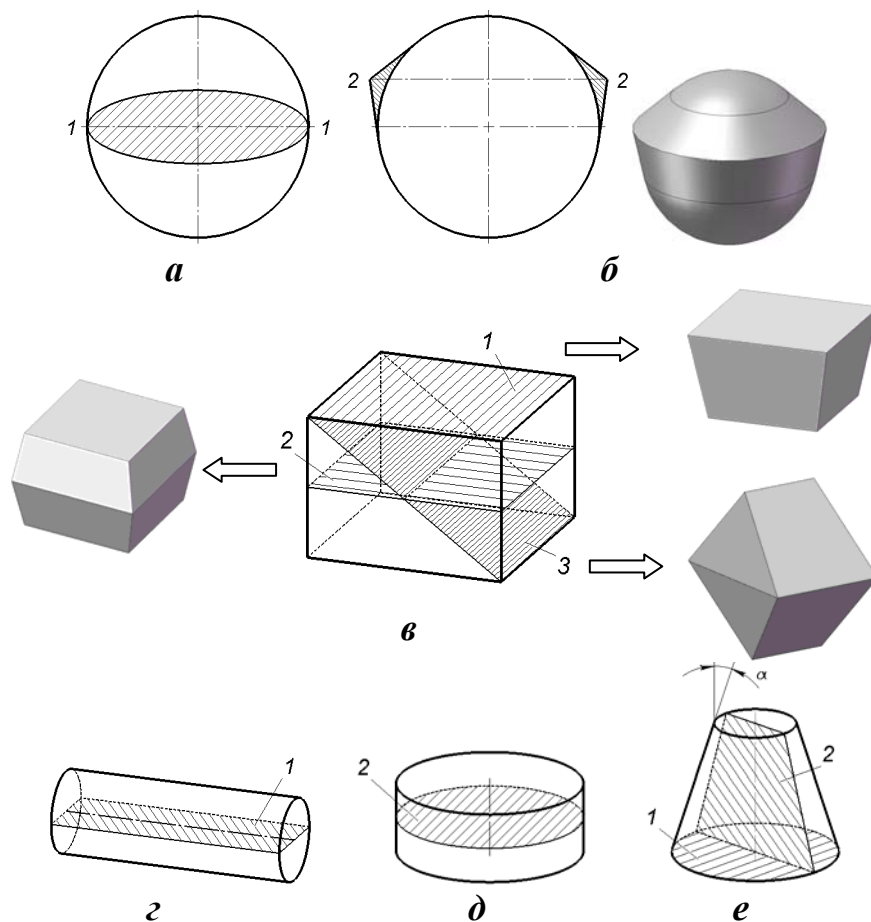


Рис. 6.38. Площини розняття штамів для простих геометричних фігур

У більшості випадків розняття штампів встановлюють у площині найбільших габаритних розмірів поковки. В цьому випадку порожнини штампів неглибокі, полегшується їх заповнення, зменшуються напуски, але збільшується периметр і об'єм облою чи задирки (рис. 6.39,*а,в*). Якщо інше положення дає суттєве зменшення маси поковки за рахунок міток для отвору (рис. 6.39,*б*) або відходів за рахунок зменшення периметра поковки (рис. 6.39,*г*), то допускається розміщувати розняття і в площині менших габаритних розмірів. При цьому бажано використовувати природні уклони і враховувати, що наявність конічних поверхонь на поковці ускладнює закріплення заготовки на першій операції механічного оброблення.

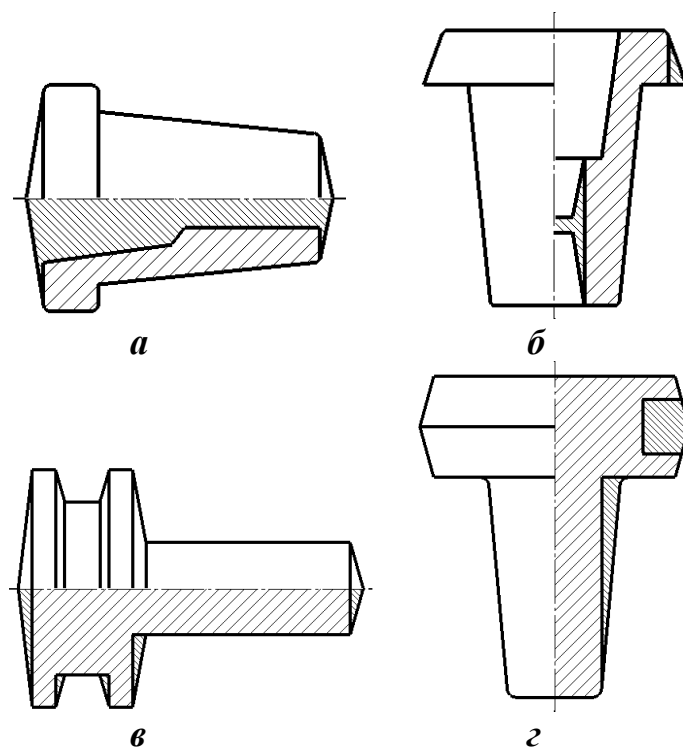


Рис. 6.39. Вплив поверхні розняття штампа на форму поковок

По можливості поверхня розняття повинна проходити по осі симетрії деталі, з тим щоб в обох половинах штампа розміщувався приблизно однаковий об'єм металу (рис. 6.39,*а,в*).

Лінія перетину поверхні розняття з поковкою повинна проходити по тілу поковки (рис. 6.40,*а*). В цьому випадку навіть невеликий зсув однієї з половин штампа легко виявити. Якщо розняття відбувається по торцевій поверхні, зсув помітити важко (рис. 6.40,*б*). Якщо деталь має бобишку з однієї сторони, поковку можна розташовувати в одній половині штампа (рис. 6.40,*в,г*).

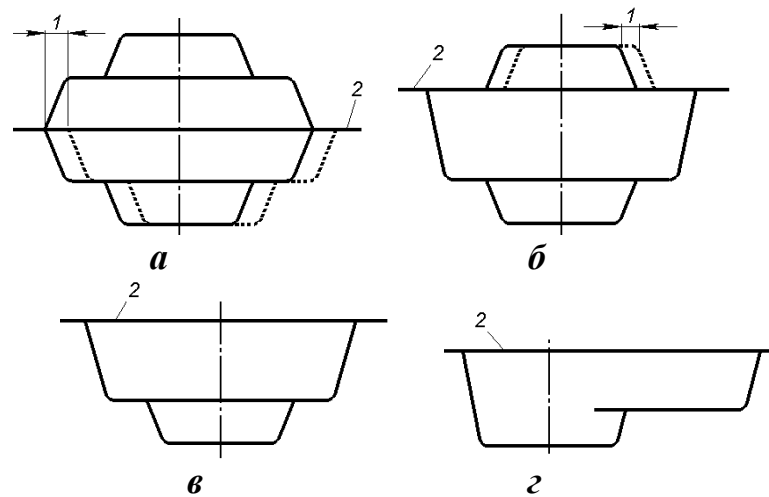


Рис. 6.40. Положення поверхні розняття:

a – правильне; *б* – неправильне; *в*, *г* – зміщене для поковок з односторонньою бобишкою; *1* – зсув половини штампа; *2* – поверхня розняття

Бажано, щоб поверхня розняття штампа була плоскою (рис. 6.41,*а*), що забезпечує відносно просте виготовлення штампів і добрі умови обрізання задирок. Ламана лінія розняття (рис. 6.41,*б*) зменшує витрати металу за рахунок зменшення висоти уклонів, але ускладнює виготовлення штампів.

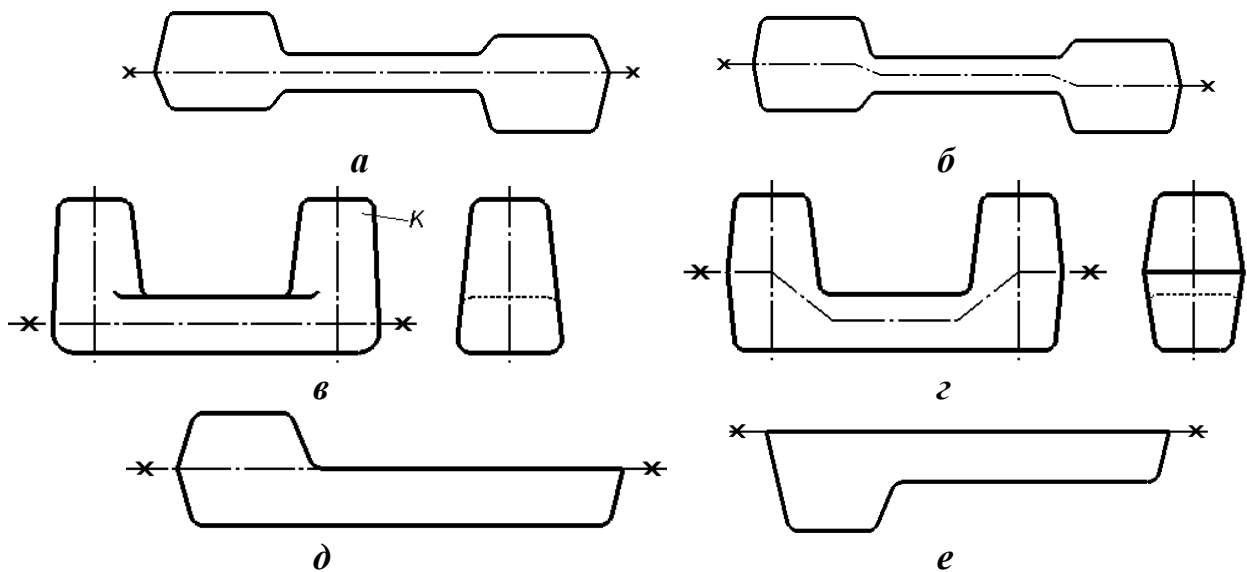


Рис. 6.41. Розняття штампів для подовжених поковок

Для поковок з бобишками, розвинутими в одну сторону по відношенню до площини розняття, пряма лінія рознімання (рис. 6.41,*в*) призводить до підвищених витрат металу і поганого заповнення кутів *K* глибоких порожнин штампа. За ламаної поверхні розняття штампа (рис. 6.41,*г*) кути *K* розташовані в менш глибоких порожнинах, що покращує умови їх заповнення. При штам-

пуванні подовженої поковки простої форми і невеликої товщини доцільно використовувати розняття штампа по плоскій частині поковки (рис. 6.41, *д, е*).

У деяких випадках вибір поверхні розняття дозволяє уникнути напусків і дає можливість зменшити об'єм обробки різанням і витрати металу (рис. 6.42, *б*).

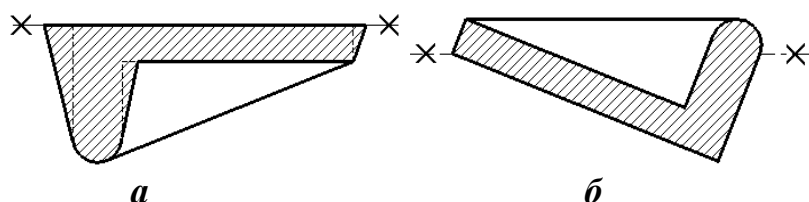


Рис. 6.42. Варіанти вибору поверхні розняття штампа

Іноді положення поверхні розняття штампів визначається заданою макроструктурою поковки. Наприклад, якщо деталь (рис. 6.43) працює на зріз по лінії *а-а*, то волокно повинне бути перпендикулярно лінії зрізу. Положення поверхні розняття *I-I* в даному випадку не є задовільним і, незважаючи на недоліки, слід вибрати розняття *II-II*.

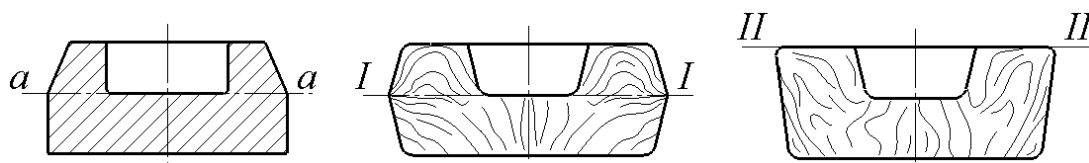


Рис. 6.43. Вибір поверхні розняття штампа за умовами роботи деталі

Саме тому поковки шестерень, зубчастих коліс, зірочок, шківів, круглих фланців, кришок, маточин, втулок тощо виконують здебільшого з площиною розняття штампа перпендикулярною до осі їх обертання (повздовжнє штампування). Тоді макроструктура поковки виходить однаковою в усіх зубців, що забезпечує їх високу і рівну міцність. При поперечному штампуванні частина зубців ослаблена через невигідне розташування в них волокна. Поковки валів, осей, шкворнів, важелів, шатунів, тяг тощо мають площини розняття штампів, що розташовані вздовж осі обертання.

Кращі експлуатаційні властивості має поковка, яка штампується без облою, оскільки відсутні перерізані при видаленні облою волокна (див. рис. 6.24).

4. Визначають конструктивні характеристики і масу поковки [9].

Клас точності поковки встановлюють залежно від технологічного процесу і устаткування для її виготовлення (табл. 6.11), а також виходячи з вимог

щодо точності розмірів поковки. Допускаються різні класи точності для різних розмірів однієї поковки. При цьому клас точності визначається за переважаючим числом розмірів одного класу точності згідно креслення поковки і погоджується між виробником і споживачем.

Таблиця 6.11. Вибір класу точності поковок

Основне устаткування, технологічні процеси	Клас точності				
	T1	T2	T3	T4	T5
Кривошипні гарячостампувальні преси: - відкрите (облойне) штампування - закрите штампування - видавлювання				+	+
Горизонтально-кувальні машини				+	+
Преси гвинтові, гідравлічні				+	+
Гарячостампувальні автомати		+	+		
Штампувальні молоти				+	+
Калібрування об'ємне (гаряче і холодне)	+	+			
Прецизійне штампування	+				
Примітки:					
1. Прецизійне штампування – спосіб штампування, що забезпечує задану точність і шорсткість однієї чи декількох функціональних поверхонь поковки, які не зазнають подальшої обробки різанням.					
2. У разі нагрівання заготовок полум'ям допускається зниження точності для класів T2–T4 на один клас.					
3. Для холодного чи гарячого площинного калібрування точність підвищують на один клас.					

Групу сталі поковки визначають за кількістю вуглецю та сумарною масовою часткою легувальних елементів:

M1 – сталь з масовою часткою вуглецю до 0,35% і легувальних елементів до 2,0%;

M2 – сталь з масовою часткою вуглецю понад 0,35 до 0,65% чи сумарною часткою легувальних елементів понад 2,0 до 5,0%;

M3 – сталь з масовою часткою вуглецю понад 0,65% чи сумарною часткою легувальних елементів понад 5,0%.

Розрахункова маса поковки визначається як маса поковки чи її частин, що зазнають деформації. До маси поковки не входять маса облою та перемички пробитого отвору. При висаджуванні поковок на ГKM або місцевому штампуванні маса поковки включає масу частини стержня, затиснутого штампами.

Орієнтовно розрахункову масу поковки $G_{п}$ обчислюють за формулою

$$G_{п} = G_{д} K_{р},$$

де G_d – маса деталі (за кресленням деталі); K_p – розрахунковий коефіцієнт, який встановлюють відповідно табл. 6.12.

Таблиця 6.12. Коефіцієнт K_p для визначення розрахункової маси поковки

Група	Характеристика деталі	Типові представники	K_p
1	Подовженої форми		
1.1	З прямою віссю	Вали, осі, цапфи, шатуни	1,3...1,6
1.2	З вигнутою віссю	Важелі, сошки рульового керування	1,1...1,4
2.	Круглі та багатогранні в плані		
2.1	Круглі	Шестерні, маточини, фланці	1,5...1,8
2.2	Квадратні, прямокутні, багатогранні	Фланці, маточини, гайки	1,3...1,7
2.3	З відростками	Хрестовини, вилки	1,4...1,6
3	Комбінованої конфігурації (яка сполучає елементи груп 1 і 2)	Кулаки поворотні, колінчаті вали	1,3...1,8
4	З великим об'ємом необроблених поверхонь	Балки передніх осей, важелі перемикання коробок передач, гаки	1,1...1,3
5	З отворами, заглибленнями, піднутреннями, що не формуються в поковці при штампуванні	Порожнисті вали, фланці, блоки шестерень	1,8...2,2

Ступінь складності поковки

$$C = G_{\text{п}} / G_{\text{ф}},$$

де $G_{\text{п}}$ – маса (об'єм) поковки; $G_{\text{ф}}$ – маса (об'єм) геометричної фігури мінімального об'єму, в яку вписується поковка. Геометрична фігура може бути кулею, паралелепіпедом, циліндром чи прямою правильною призмою (рис. 6.44).

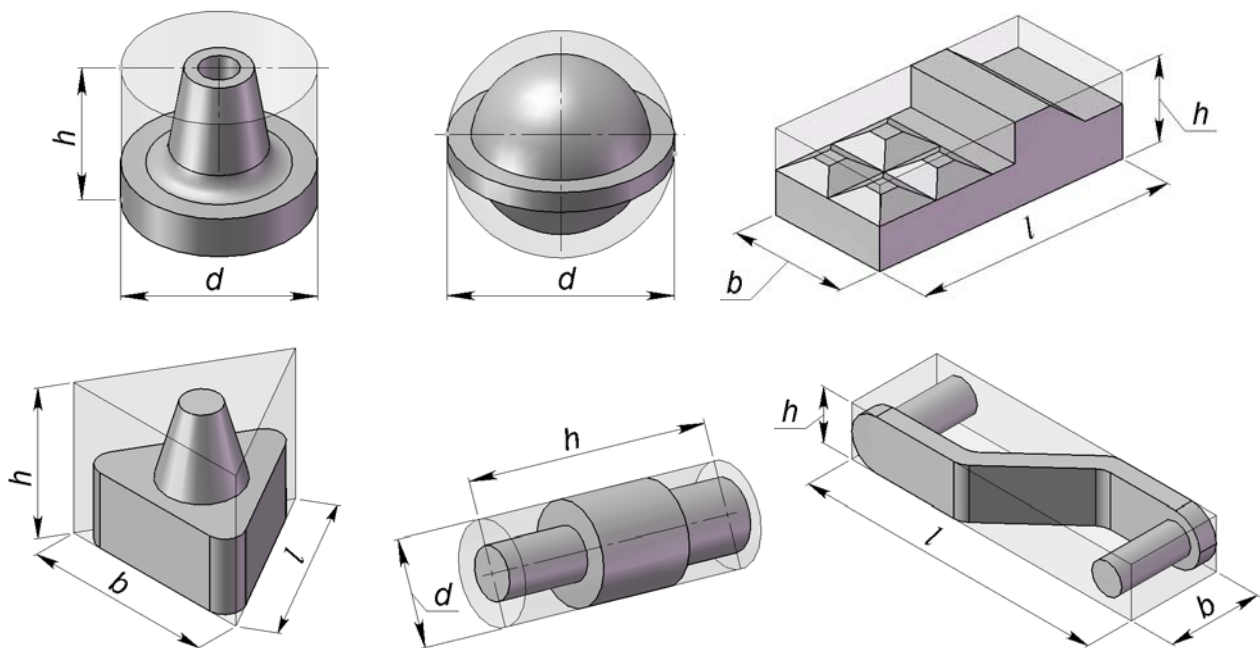


Рис. 6.44. Приклади поковок і геометричних фігур, описаних навколо них (b , d , h і l – габаритні розміри поковок)

Стандартом передбачено чотири ступеня складності для значень C відповідно:

- $C1$ – для $0,63 < C \leq 1,0$;
- $C2$ – для $0,32 < C \leq 0,63$;
- $C3$ – для $0,16 < C \leq 0,32$;
- $C4$ – для $C \leq 0,16$.

Чим вищий ступінь складності поковки, тим менш технологічна деталь, більші втрати метала при механічній обробці, нижча точність поковки.

Ступінь складності $C4$ призначають для поковок з тонкими елементами, наприклад у вигляді диска, фланця, кільця, планки (рис. 6.45), в тому числі з перемичками, а також для поковок з тонким стержневим елементом, якщо відношення t/D ; t/L ; $t/(D - d)$ не перевищують $0,20$ і $t < 25$ мм (де D , t та L – відповідно найбільший розмір, товщина та довжина тонкого елемента; d – діаметр елемента поковки, товщина якого перевищує значення t).

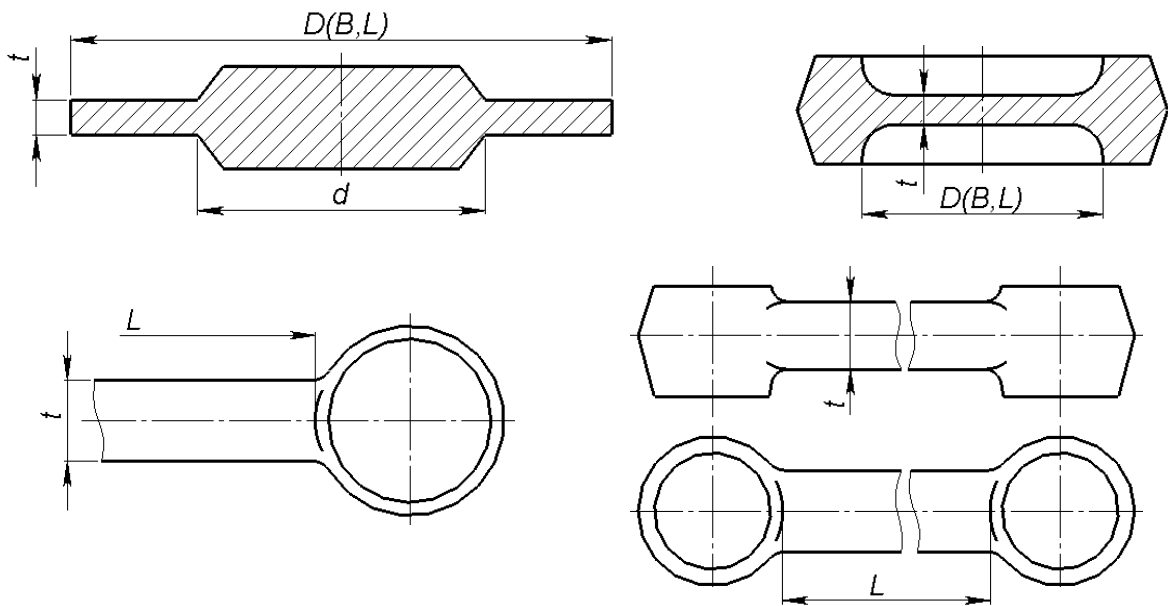


Рис. 6.45. Поковки з тонкими елементами

Для поковок, виготовлених на ГKM і пресах видавлюванням (блоки шестерень, поковки з порожнинами і розтрубами, кінцеві висадки, піввісі, стержні зі змінним перерізом, поковки з порожнинами без фланців і з фланцями тощо), допускається визначати ступінь складності форми за кількістю технологічних переходів штампування:

- $C1$ – не більше ніж за два переходи;
- $C2$ – за три переходи;
- $C3$ – за чотири переходи;

C4 – більше ніж за чотири переходи чи у разі виготовлення на двох і більше кувальних машинах.

За *конфігурацією поверхні розняття* штампа розрізняють поковки з плоскою (П) і симетрично (В_с) або несиметрично (В_н) вигнутою поверхнею розняття.

5. Визначають вихідний індекс.

Вихідний індекс для наступного призначення основних припусків, допусків і відхилень визначається в залежності від маси, марки сталі, ступеня складності та класу точності поковки за табл. 6.13. Для цього в графі "Маса поковки" знаходять відповідний заданій масі рядок і, зміщуючись по горизонталі праворуч або по похилим лініям праворуч вниз до перетинання з вертикальними лініями, які відповідають заданим значенням групи сталі М, ступеня складності С, класу точності Т, встановлюють вихідний індекс.

Приклади (рис. 6.46):

1. Маса поковки 0,5 кг, група сталі М1, ступінь складності С1, клас точності Т2.

Вихідний індекс – 3.

2. Маса поковки 1,5 кг, група сталі М3, ступінь складності С2, клас точності Т1.

Вихідний індекс – 6.

Маса поковки, кг	Група сталі			Ступінь складності				Клас точності					Вихідний індекс	
	М1	М2	М3	С1	С2	С3	С4	Т1	Т2	Т3	Т4	Т5		
0...0,5	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	1
0,5...1,0	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	2
1,0...1,8	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	3
1,8...3,2	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	4
3,2...5,6	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	5
5,6...10,0	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	6
10,0...20,0	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	7

Рис. 6.46. Приклади визначення вихідного індексу

Таблиця 6.13. Визначення вихідного індексу

Маса поковки, кг	Група сталі			Ступінь складності				Клас точності					Вихідний індекс	
	M1	M2	M3	C1	C2	C3	C4	T1	T2	T3	T4	T5		
0...0,5														1
0,5...1,0														2
1,0...1,8														3
1,8...3,2														4
3,2...5,6														5
5,6...10,0														6
10,0...20,0														7
20,0...50,0														8
50,0...125,0														9
125,0...250,0														10
														11
														12
														13
														14
														15
														16
														17
														18
														19
														20
														21
														22
														23

6. Визначають припуски на механічну обробку.

Припуски, встановлені ГОСТ 7505–89, призначають на оброблювані поверхні поковки, коли якість поверхневого шару поковки не задовольняє вимоги, висунуті до готової деталі. *Припуск на оброблення різанням є сумою основного та додаткових припусків*, що враховують відхилення форми поковки. Величини припусків призначають на одну сторону номінального розміру поковки.

Основні припуски залежно від вихідного індексу, лінійних розмірів і шорсткості поверхні деталі визначають за табл. 6.14.

Припуски на товщину поковки, що підлягає холодному чи гарячому калібруванню, встановлюють за табл. 6.15.

Додаткові припуски, що враховують зсув по поверхні розняття штампів (табл. 6.16), зігнутість і відхилення від площинності та прямолінійності (табл. 6.17), відхилення міжцентрової та міжосьової відстаней (табл. 6.18), визначають залежно від класу точності поковки, виходячи з форми поковки і технології її виготовлення.

Дозволяється заокруглювати лінійні розміри поковки з точністю до 0,5 мм.

Для поверхні, положення якої визначається двома і більше розмірами поковки, встановлюється найбільше значення припуску.

При виготовленні поковок за класом точності Т5 з застосуванням полум'яного нагрівання заготовок чи додаткових технологічних операцій (подвійна термічна обробка, зварювання тощо) допускається збільшення припусків для поковок з масою:

до 3,2 кг – до 0,5 мм;

3,2 до 10,0 кг – до 0,8 мм;

понад 10,0 кг – до 1,0 мм.

Таблиця 6.14. Основні припуски на механічну обробку (на сторону), мм

Вихідний індекс	Товщина деталі											
	до 25			25...40			40...63			63...100		
	Довжина, ширина, діаметр, глибина і висота деталі											
	до 40			40...100			100...160			160...250		
	Шорсткість поверхні деталі за параметром Ra , мкм											
100...12,5	10...1,6	1,25...0	100...12,5	10...1,6	1,25...0	100...12,5	10...1,6	1,25...0	100...12,5	10...1,6	1,25...0	
1	0,4	0,6	0,7	0,4	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8	0,9
2	0,4	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8	0,9	0,7	0,8	0,9
3	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8	0,9	0,6	0,8	0,9	0,7	0,9	1,0
4	0,6	0,8	0,9	0,6	0,8	0,9	0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1
5	0,6	0,8	0,9	0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2
6	0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4
7	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5
8	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6
9	1,1	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8
10	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9
11	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0
12	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2
13	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5
14	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7
15	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0
16	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3
17	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5
18	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8
19	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1
20	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7
21	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1
22	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6
23	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6	4,5	5,7	6,2

Вихідний індекс	Товщина деталі											
	100...160			160...250			понад 250			–		
	Довжина, ширина, діаметр, глибина і висота деталі											
	250...400			400...630			630...1000			1000...1600		
	Шорсткість поверхні деталі за параметром Ra , мкм											
100...12,5	10...1,6	1,25...0	100...12,5	10...1,6	1,25...0	100...12,5	10...1,6	1,25...0	100...12,5	10...1,6	1,25...0	
1	0,6	0,8	0,9									
2	0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1						
3	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4			
4	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5			
5	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8
6	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9
7	1,2	1,5	1,5	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0
8	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2
9	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5
10	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7
11	1,7	2,0	2,3	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0
12	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3
13	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5
14	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8
15	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1
16	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7
17	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1
18	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6
19	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6	4,5	5,7	6,2
20	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6	4,5	5,7	6,2	4,9	6,2	6,8
21	4,1	5,1	5,6	4,5	5,7	6,2	4,9	6,2	6,8	5,4	6,8	7,5
22	4,5	5,7	6,2	4,9	6,2	6,8	5,4	6,8	7,5	5,8	7,4	8,1
23	4,9	6,2	6,8	5,4	6,8	7,5	5,8	7,4	8,1	6,2	7,9	8,7

Таблиця 6.15. Припуски і допуски на товщину каліброваних поковок

Площа поверхні, що підлягає калібруванню, см ²		Припуск, мм	Поле допуску при K^* , мм	
понад	до		до 0,5 включн.	понад 0,5
0	2,5	0,25	0,32	0,26
2,5	6,3	0,30	0,36	0,32
6,3	10,0	0,36	0,40	0,36
10,0	16,0	0,40	0,44	0,40
16,0	25,0	0,50	0,50	0,44
25,0	40,0	0,60	0,60	0,50
40,0	80,0	0,70	0,80	0,60

* K – відношення товщини (відстань між каліброваними площинами) до ширини поковки чи її елемента, що підлягає калібруванню.

Примітки:

1. При одночасному калібруванні кількох площин поковки площа поверхні, що підлягає калібруванню, визначається як їх сума. Допуски встановлюються на всі калібровані елементи за найменшою величиною K .

2. Допустимі відхилення дорівнюють половині поля допуску.

3. При гарячому калібруванні припуски і допуски на товщину поковок можуть бути збільшені до 1,5 разів.

4. Відхилення від паралельності, площинності і прямолінійності каліброваних площин допускаються в межах допуску розміру після калібрування.

Таблиця 6.16. Додаткові припуски на зсув половин штампа

Маса поковки, кг	Припуски для класів точності, мм							
	Поверхня розняття <i>плоска</i> (П)							
	T1	T2	T3	T4	T5			
	<i>симетрично вигнута</i> (B_c)							
	T1	T2	T3	T4	T5			
<i>несиметрично вигнута</i> (B_n)								
	T1	T2	T3	T4	T5			
0...0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3
0,5...1,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
1,0...1,8	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4
1,8...3,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5
3,2...5,6	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6
5,6...10	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,6	0,7
10...20	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,7	0,9
20...50	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,7	0,9	1,2
50...125	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2	1,6
125...250	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2	1,6	2,0

Таблиця 6.17. Додаткові припуски на зігнутість і відхилення від площинності та прямолінійності

Найбільший розмір поковки, мм	Припуски для класів точності, мм				
	T1	T2	T3	T4	T5
0...100	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4
100...160	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5
160...250	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
250...400	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
400...630	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
630...1000	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2
1000...1600	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6
1600...2500	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0

Таблиця 6.18. Додаткові припуски на відхилення міжцентрової відстані

Відстань між центрами, осями, мм	Припуски для класів точності, мм				
	T1	T2	T3	T4	T5
0...60	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
60...100	0,1	0,2	0,2	0,3	0,5
100...160	0,2	0,2	0,3	0,5	0,8
160...250	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2
250...400	0,3	0,5	0,8	1,2	1,6
400...630	0,5	0,8	1,2	1,6	2,0
630...1000	0,8	1,2	1,6	2,0	2,5
1000...1600	1,2	1,6	2,0	2,5	4,0
1600...2500	1,6	2,0	2,5	4,0	6,0

7. Призначають ковальські напуски.

Напуски призначають на порожнини, западини, виїмки, які неможливо отримати штампуванням через несприятливе положення їх відносно поверхні розняття штампа, малих розмірів тощо. До напусків також відносяться штампувальні уклони, внутрішні радіуси заокруглень, перемички отворів, що не пробиваються.

Штампувальні уклони поділяють на *зовнішні* α , що відносяться до поверхонь, по яким між поковкою і стінкою штампа утворюються зазори внаслідок теплової усадки при охолодженні поковки, і *внутрішні* β , що відносяться до поверхонь, які при остиганні поковки виявляються щільно посадженими на виступи штампа (рис. 6.47,*а*). На поковках у вигляді тіл обертання з метою економії металу роблять подвійні уклони: вхідний γ і основний α (рис. 6.47,*б*).

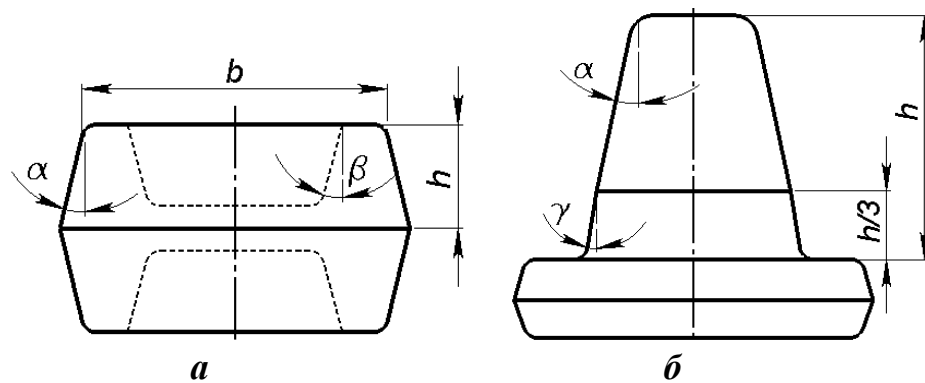


Рис. 6.47. Штампувальні уклони:
a – звичайні; *б* – подвійні

Штампувальні уклони залежать від форми і розмірів порожнини штампа в плані, її глибини, матеріалу поковки, способу штампування, типу основного устаткування, наявності виштовхувачів та розташування поверхні (внутрішня, зовнішня). Рекомендовані значення уклонів наведені в табл. 6.19 [9, 18]. Менші значення приймають при малому відношенні глибини h до ширини b порожнини штампа.

У виготовлених на молотах і пресах без виштовхувачів поковок, які мають елементи у вигляді ребра, виступу, реборди з відношенням їх висоти до ширини понад 2,5, допускається штампувальний уклон до 10° на зовнішній поверхні і до 12° на внутрішній поверхні.

Таблиця 6.19. Штампувальні уклони

Устаткування	Штампувальні уклони, °	
	зовнішні	внутрішні
Молоти	1...7	3...10
КГШП з виштовхувачем	3...5	5...7
Гідравлічні преси	1...2	2...4
Преси без виштовхувача	5...7	7...10
ГКМ:		
поверхні, виконувані пуансоном	0,25...1	0,25...3
поверхні, виконувані матрицею	0,5...5	1...7
Гарячештампувальні автомати	1	2

Після призначення уклони коригують таким чином, щоб лінія розняття у верхньому і нижньому штампах була однаковою (рис. 6.48).

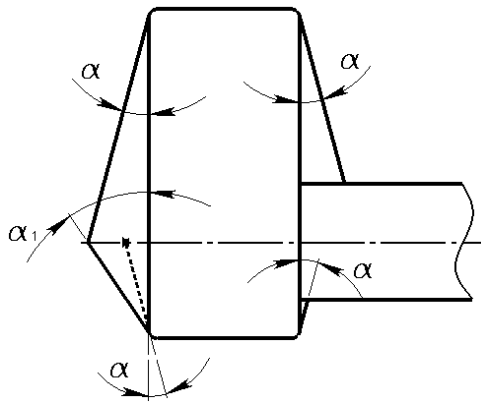


Рис. 6.48. Коригування кута штампувального уклону при несиметричному розміщенні поверхні розняття відносно поковки

Радіуси заокруглень призначають на всі перетинання поверхонь поковки. Розрізняють два види радіусів заокруглень штампів: *внутрішні* r_B і *зовнішні* r_3 (рис. 6.49,б). У поковок літерні позначення радіусів розташовані навпаки (рис. 6.49,а).

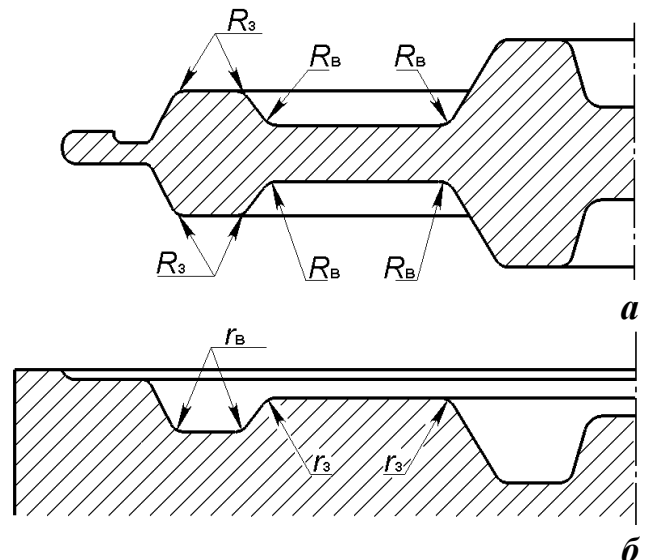


Рис. 6.49. Зовнішні та внутрішні радіуси заокруглень поковки (а) і штампа (б)

Зовнішній радіус R_3 у поковок важко виконати невеликим: метал затікає у кут штампа з малим радіусом в останню чергу. Чим глибший рівчак штампа, заповнюваний видавлюванням, тим важче отримати малий радіус заокруглення у поковки. Згідно ГОСТ 7505–89 зовнішні радіуси поковок вибирають за табл. 6.20 залежно від глибини штампувального рівчака та маси поковки. Якщо для оброблюваних кромek рекомендований радіус виявиться меншим суми значень зовнішнього радіуса заокруглення (або фаски) на обробленій деталі та призначеного припуску, то корисно радіус збільшити до вказаної суми.

Зовнішні радіуси заокруглень необроблюваних поверхонь звичайно збільшують. Для полегшення заповнення важко виконуваних ребер і бобишок

рекомендуються максимальні радіуси на їх вершині, щоб на останній залишалась невелика плоска ділянка або виходило повне заокруглення вершини одним радіусом.

Таблиця 6.20. Мінімальні радіуси заокруглень R_3 зовнішніх кутів поковок

Маса поковки, кг		Мінімальні радіуси заокруглень для глибини рівчака, мм			
понад	до	до 10 включн.	10...25	25...50	понад 50
0	1,0	1,0	1,6	2,0	3,0
1,0	6,3	1,6	2,0	2,5	3,6
6,3	16,0	2,0	2,5	3,0	4,0
16,0	40,0	2,5	3,0	4,0	5,0
40,0	100,0	3,0	4,0	5,0	7,0
100,0	250,0	4,0	5,0	6,0	8,0

Зниження внутрішніх радіусів поковок R_v призводить до утворення "затисків" у тілі поковки. Для того щоб забезпечити вільне перетікання металу під час деформації, внутрішні радіуси повинні бути у два-три рази більшими відповідних зовнішніх. Достатньо, щоб значення цих радіусів були на 0,5...1 мм більшими припуску на механічну обробку поковки.

З метою спрощення виготовлення штампувальних рівчаків значення прийнятих радіусів заокруглень рекомендується уніфікувати в кожній поковці, призначаючи неоднакові радіуси тільки в тих випадках, коли це спрощує виготовлення штампа.

Розміри та конфігурацію *міток* і *перемичок* для отворів добирають відповідно до розмірів деталей, беручи до уваги мінімальні припуски на оброблення різанням та наступні рекомендації [9, 18, 19].

Западини та поглиблення в поковці, коли їх осі паралельні до напрямку руху однієї з частин штампа, а діаметр D (чи найменший поперечний розмір) не менше 30 мм, виконують глибиною:

до $0,8 D$ – при виготовленні на молота і пресах;

до $3 D$ – при виготовленні на ГKM.

У поковці виконують наскрізні отвори при двосторонньому заглибленні, якщо їх осі паралельні до напрямку руху однієї з частин штампа, діаметр наскрізного отвору не менший 30 мм і не менший ніж товщина поковки в місці пробивання.

Залежно від форми і розмірів отвору застосовують мітки з плоскою перемичкою, з розкосом (увігнуті), з магазином, з карманом і глухі (рис. 6.50).

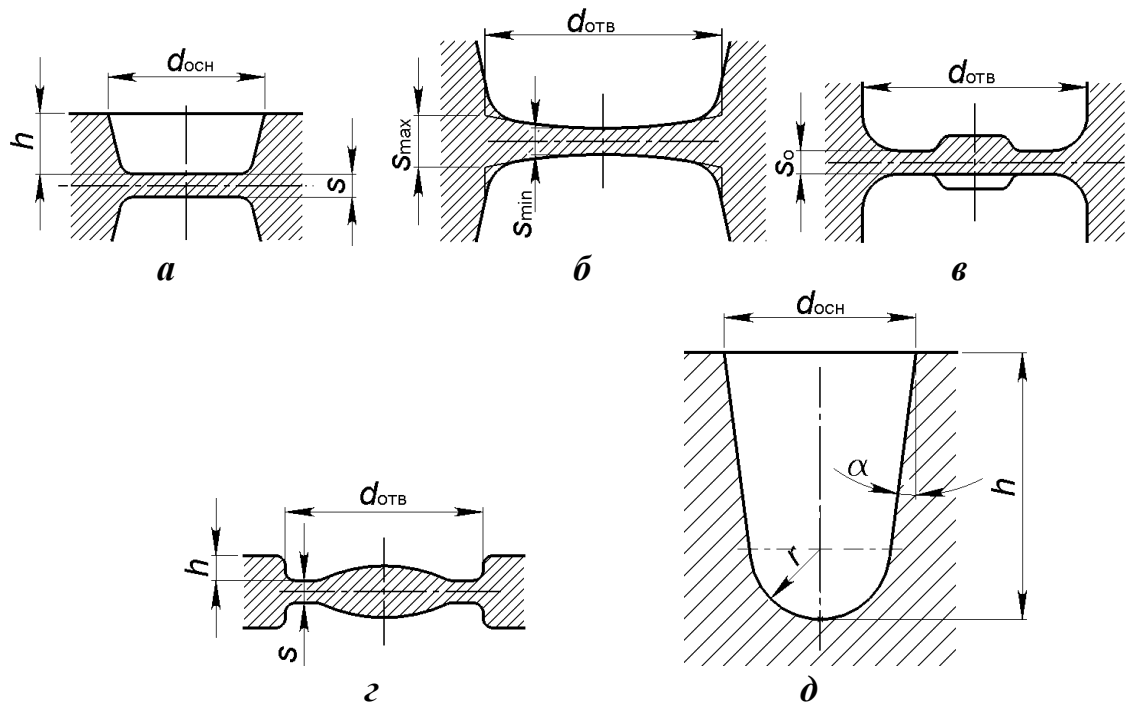


Рис. 6.50. Перемички в мітках для отворів

Плоску перемичку (рис. 6.50,а) отримують в невеликих отворах з діаметром основи

$$d_{\text{очн.мін}} = 24 + 0,0625D_{\text{п}},$$

де $D_{\text{п}}$ – найбільший діаметр поковки, мм.

Мітка верхнім знаком виконується глибиною $h \leq d_{\text{очн}}$, а нижнім – глибиною $h < 0,8d_{\text{очн}}$. Щоб зберегти стійкість інструмента і не допустити зайвих витрат метала, перемичка повинна мати товщину

$$s = 0,45\sqrt{d_{\text{очн}} - 0,25h} - 5 + 0,6. \quad (6.2)$$

При $h/d_{\text{отв}} < 0,4$ замість плоских міток рекомендується застосовувати *мітки з розкосом* (рис. 6.50,б), при цьому товщина перемички $s_{\text{мін}} = 0,65s$, а $s_{\text{макс}} = 1,35s$, де s – визначають за формулою (6.2).

Мітку з магазином (рис. 6.50,в) застосовують для отворів з $d_{\text{отв}} > 55$ мм за наявності попереднього ривчака, що формує мітку з розкосом. В цьому випадку можна отримати меншу товщину перемички у місці обрізання s_0 .

Для низьких поковок $h/d_{\text{отв}} < 0,07$ після штампування в попередньому ривчаку з плоскою міткою для зменшення зусилля та підвищення стійкості знаків остаточного (чистового) ривчака рекомендуються *мітки з карманом* (рис. 6.50,г). При цьому товщина перемички

$$s = 0,4\sqrt{d_{\text{отв}}}$$

Якщо глибина намічуваного отвору $h > 1,7d_{\text{осн}}$ або після призначення радіуса заокруглення не залишається плоскої ділянки, то обмежуються *глухою міткою* (рис. 6.50, *д*). Радіус заокруглення глухої мітки

$$r = d_{\text{осн}} / 2 \operatorname{tg}(45^\circ - \alpha/2),$$

де α – внутрішній кут, град.

В разі необхідності вибирають **розміри ребер** і відстані між ними. До основних розмірів поковок з ребрами (рис. 6.51) відносяться радіуси сполучень R , радіуси заокруглень R_1 , висота ребра h , товщина ребра, що дорівнює $2R_1$, кути нахилу полотна γ . Мінімальна відстань a між ребрами для всіх марок матеріалів залежить від висоти ребра h :

при $h \leq 16$ мм $a = (30 \dots 35) s$;

при $h \leq 35,5$ мм $a = (25 \dots 30) s$;

при $h \leq 71$ мм $a = (20 \dots 25) s$,

де s – товщина полотна.

При відстані між ребрами до 125 мм кут γ приймають 2° , при $a > 125$ мм – від 0 до $1^\circ 30'$.

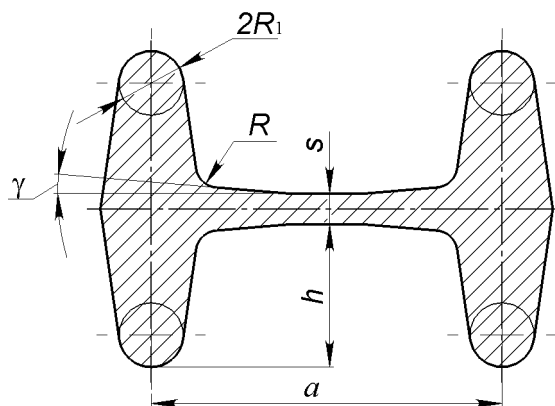


Рис. 6.51. Переріз штампованої деталі з ребрами

8. Визначають розміри поковки та їх допустимі відхилення.

Розміри поковок залежать від розмірів готової деталі з урахуванням припусків (основних і додаткових) та напусків. Тому розміри зовнішніх поверхонь заготовок звичайно більші, а розміри внутрішніх поверхонь – менші за розміри відповідних поверхонь готових деталей.

Номінальні значення розмірів потрібно вибирати з рядів переважних чисел для лінійних розмірів, виконуючи правило, що будь-які заокруглення роблять за умови відповідного збільшення припусків. Якщо розмір поковки визначає міжцентрову відстань чи відстань між зовнішньою та внутрішньою поверхнями, в окремих випадках номінальні значення розмірів заготовки можуть збігатися з відповідними розмірами деталі.

Допуски, встановлені ГОСТ 7505–89, поширюються на *всі номінальні розміри* поковки незалежно від наявності та призначення припуску. Для штампованих заготовок стандартом встановлені *несиметричні допустимі відхилення розмірів* (1/3 допуску "в тіло" поковки та 2/3 допуску в протилежному напрямку), які включають в себе всі відхилення від номінальних розмірів поковок. Причини цих відхилень наступні: недоштамбування за висотою, знос та неповне заповнення порожнини штампа, поверхневі дефекти матеріалу, коливання об'єму вихідної заготовки, нерівномірна усадка матеріалу при охолодженні.

Допуски і допустимі відхилення лінійних розмірів поковок визначають залежно від вихідного індексу та розмірів поковки за табл. 6.21. Допустимі відхилення внутрішніх розмірів мають зворотні знаки.

Таблиця 6.21. Допустимі відхилення лінійних розмірів поковок

Вихідний індекс	Найбільша товщина поковки, мм									
	0...40	40...63	63...100	100...160	160...250	понад 250				
	Довжина, ширина, діаметр, глибина і висота поковки, мм									
	0...40	40...100	100...160	160...250	250...400	400...630	630... 1000	1000... 1600	1600... 2600	
1	+ 0,2	+ 0,3	+ 0,3	+ 0,4	+ 0,5	—	—	—	—	
	- 0,1	- 0,1	- 0,2	- 0,2	- 0,2	—	—	—	—	
2	+ 0,3	+ 0,3	+ 0,4	+ 0,5	+ 0,5	+ 0,6	—	—	—	
	- 0,1	- 0,2	- 0,2	- 0,2	- 0,3	- 0,3	—	—	—	
3	+ 0,3	+ 0,4	+ 0,5	+ 0,5	+ 0,6	+ 0,7	+ 0,8	—	—	
	- 0,2	- 0,2	- 0,2	- 0,3	- 0,3	- 0,3	- 0,4	—	—	
4	+ 0,4	+ 0,5	+ 0,5	+ 0,6	+ 0,7	+ 0,8	+ 0,9	—	—	
	- 0,2	- 0,2	- 0,3	- 0,3	- 0,3	- 0,4	- 0,5	—	—	
5	+ 0,5	+ 0,5	+ 0,6	+ 0,7	+ 0,8	+ 0,9	+ 1,1	+ 1,3	—	
	- 0,2	- 0,3	- 0,3	- 0,3	- 0,4	- 0,5	- 0,5	- 0,7	—	
6	+ 0,5	+ 0,6	+ 0,7	+ 0,8	+ 0,9	+ 1,1	+ 1,3	+ 1,4	+ 1,6	
	- 0,3	- 0,3	- 0,3	- 0,4	- 0,5	- 0,5	- 0,7	- 0,8	- 0,9	
7	+ 0,6	+ 0,7	+ 0,8	+ 0,9	+ 1,1	+ 1,3	+ 1,4	+ 1,6	+ 1,8	
	- 0,3	- 0,3	- 0,4	- 0,5	- 0,5	- 0,7	- 0,8	- 0,9	- 1,0	
8	+ 0,7	+ 0,8	+ 0,9	+ 1,1	+ 1,3	+ 1,4	+ 1,6	+ 1,8	+ 2,1	
	- 0,3	- 0,4	- 0,5	- 0,5	- 0,7	- 0,8	- 0,9	- 1,0	- 1,1	

Вихідний індекс	Найбільша товщина поковки, мм								
	0...40	40...63	63...100	100...160	160...250	понад 250			
	Довжина, ширина, діаметр, глибина і висота поковки, мм								
	0...40	40...100	100...160	160...250	250...400	400...630	630... 1000	1000... 1600	1600... 2600
9	+ 0,8	+ 0,9	+ 1,1	+ 1,3	+ 1,4	+ 1,6	+ 1,8	+ 2,1	+ 2,4
	- 0,4	- 0,5	- 0,5	- 0,7	- 0,8	- 0,9	- 1,0	- 1,1	- 1,2
10	+ 0,9	+ 1,1	+ 1,3	+ 1,4	+ 1,6	+ 1,8	+ 2,1	+ 2,4	+ 2,7
	- 0,5	- 0,5	- 0,7	- 0,8	- 0,9	- 1,0	- 1,1	- 1,2	- 1,3
11	+ 1,1	+ 1,3	+ 1,4	+ 1,6	+ 1,8	+ 2,1	+ 2,4	+ 2,7	+ 3,0
	- 0,5	- 0,7	- 0,8	- 0,9	- 1,0	- 1,1	- 1,2	- 1,3	- 1,5
12	+ 1,3	+ 1,4	+ 1,6	+ 1,8	+ 2,1	+ 2,4	+ 2,7	+ 3,0	+ 3,3
	- 0,7	- 0,8	- 0,9	- 1,0	- 1,1	- 1,2	- 1,3	- 1,5	- 1,7
13	+ 1,4	+ 1,6	+ 1,8	+ 2,1	+ 2,4	+ 2,7	+ 3,0	+ 3,3	+ 3,7
	- 0,8	- 0,9	- 1,0	- 1,1	- 1,2	- 1,3	- 1,5	- 1,7	- 1,9
14	+ 1,6	+ 1,8	+ 2,1	+ 2,4	+ 2,7	+ 3,0	+ 3,3	+ 3,7	+ 4,2
	- 0,9	- 1,0	- 1,1	- 1,2	- 1,3	- 1,5	- 1,7	- 1,9	- 2,1
15	+ 1,8	+ 2,1	+ 2,4	+ 2,7	+ 3,0	+ 3,3	+ 3,7	+ 4,2	+ 4,7
	- 1,0	- 1,1	- 1,2	- 1,3	- 1,5	- 1,7	- 1,9	- 2,1	- 2,4
16	+ 2,1	+ 2,4	+ 2,7	+ 3,0	+ 3,3	+ 3,7	+ 4,2	+ 4,7	+ 5,3
	- 1,1	- 1,2	- 1,3	- 1,5	- 1,7	- 1,9	- 2,1	- 2,4	- 2,7
17	+ 2,4	+ 2,7	+ 3,0	+ 3,3	+ 3,7	+ 4,2	+ 4,7	+ 5,3	+ 6,0
	- 1,2	- 1,3	- 1,5	- 1,7	- 1,9	- 2,1	- 2,4	- 2,7	- 3,0
18	+ 2,7	+ 3,0	+ 3,3	+ 3,7	+ 4,2	+ 4,7	+ 5,3	+ 6,0	+ 6,7
	- 1,3	- 1,5	- 1,7	- 1,9	- 2,1	- 2,4	- 2,7	- 3,0	- 3,3
19	+ 3,0	+ 3,3	+ 3,7	+ 4,2	+ 4,7	+ 5,3	+ 6,0	+ 6,7	+ 7,4
	- 1,5	- 1,7	- 1,9	- 2,1	- 2,4	- 2,7	- 3,0	- 3,3	- 3,6
20	+ 3,3	+ 3,7	+ 4,2	+ 4,7	+ 5,3	+ 6,0	+ 6,7	+ 7,4	+ 8,0
	- 1,7	- 1,9	- 2,1	- 2,4	- 2,7	- 3,0	- 3,3	- 3,6	- 4,0
21	+ 3,7	+ 4,2	+ 4,7	+ 5,3	+ 6,0	+ 6,7	+ 7,4	+ 8,0	+ 8,6
	- 1,9	- 2,1	- 2,4	- 2,7	- 3,0	- 3,3	- 3,6	- 4,0	- 4,4
22	+ 4,2	+ 4,7	+ 5,3	+ 6,0	+ 6,7	+ 7,4	+ 8,0	+ 8,6	+ 9,2
	- 2,1	- 2,4	- 2,7	- 3,0	- 3,3	- 3,6	- 4,0	- 4,8	- 4,8
23	+ 4,7	+ 5,3	+ 6,0	+ 6,7	+ 7,4	+ 8,0	+ 8,6	+ 9,2	+ 10,0
	- 2,4	- 2,7	- 3,0	- 3,3	- 3,6	- 4,0	- 4,8	- 4,8	- 6,0

Допуски і допустимі відхилення розмірів товщини, які враховують недоштампування, встановлюються за найбільшою товщиною поковки і поширюються на всі розміри її товщини. Допуски товщини поковки, що підлягає калібруванню, встановлюють за табл. 6.15.

Допуск розмірів, не вказаний на кресленні поковки, приймають рівним 1,5 допуску відповідного розміру поковки з рівними допустимими відхиленнями.

Для поковок, у яких стержень виходить за межі штампна і не підлягає деформуванню, допуск довжини стержня приймають:

до 2 мм – для поковок 1-го класу точності;

до 3 мм – для поковок 2-го класу точності;

до 4 мм – для поковок 3-го класу точності;

до 5 мм – для поковок 4-го класу точності;

до 6 мм – для поковок 5-го класу точності.

Значення допуску довжини недеформованого стержня у поковок, отриманих двостороннім висаджуванням, подвоюють. У величину допуску не входять відхилення зминання та неперпендикулярності торців стержня. Допустимі відхилення розмірів перерізу стержня на недеформованих ділянках поковки визначаються відповідними стандартами на сортамент прокату зі збільшенням нижнього допустимого відхилення не більше ніж на 0,5 мм.

Допустимі відхилення міжосьової відстані (A) у поковках (див. рис. 6.35,*a*) не повинні перевищувати величин, вказаних в табл. 6.22.

Таблиця 6.22. Допустимі відхилення міжосьової відстані

Міжцентрова відстань		Допустимі відхилення міжосьової відстані для класів точності, мм				
понад	до	T1	T2	T3	T4	T5
0	60	±0,10	±0,15	±0,20	±0,25	±0,30
60	100	±0,15	±0,20	±0,25	±0,30	±0,50
100	160	±0,20	±0,25	±0,30	±0,50	±0,80
160	250	±0,25	±0,30	±0,50	±0,80	±1,20
250	400	±0,30	±0,50	±0,80	±1,20	±1,60
400	630	±0,50	±0,80	±1,20	±1,60	±2,00
630	1000	±0,80	±1,20	±1,60	±2,00	±3,00
1000	1600	±1,20	±1,60	±2,00	±3,00	±4,50
1600	2500	±1,60	±2,00	±3,00	±4,50	±7,00

Допустимі відхилення кутових (α) розмірів елементів поковки (рис. 6.52) встановлюють за табл. 6.23. Ці відхилення для поковки, скручування чи вигинання елементів якої виконується на окремому обладнанні, збільшуються на 50%.

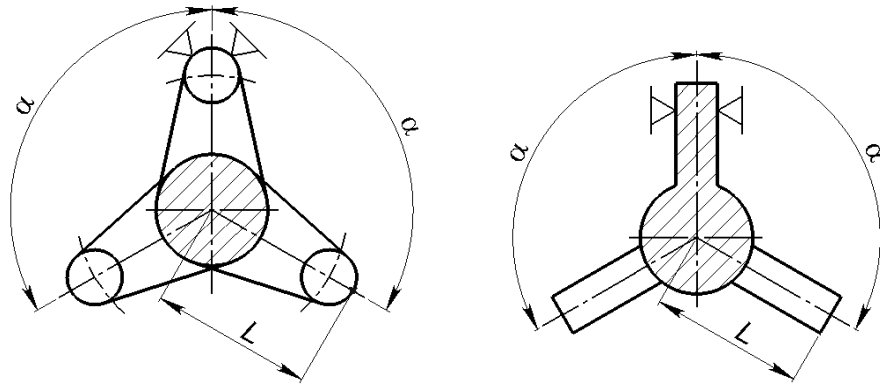


Рис. 6.52. Допустимі відхилення кутових розмірів

Таблиця 6.23. Допустимі відхилення кутових розмірів елементів поковки

Довжина елемента L (відстань від осі поковки до торця елемента), мм	Відхилення для класів точності				
	T1	T2	T3	T4	T5
0...25	$\pm 0^\circ 45'$	$\pm 1^\circ 00'$	$\pm 1^\circ 30'$	$\pm 2^\circ 00'$	$\pm 2^\circ 30'$
25...60	$\pm 0^\circ 30'$	$\pm 0^\circ 45'$	$\pm 1^\circ 00'$	$\pm 1^\circ 30'$	$\pm 2^\circ 00'$
60...100	$\pm 0^\circ 15'$	$\pm 0^\circ 30'$	$\pm 0^\circ 45'$	$\pm 1^\circ 00'$	$\pm 1^\circ 30'$
100...160	$\pm 0^\circ 10'$	$\pm 0^\circ 15'$	$\pm 0^\circ 30'$	$\pm 0^\circ 45'$	$\pm 1^\circ 00'$
понад 160	$\pm 0^\circ 05'$	$\pm 0^\circ 10'$	$\pm 0^\circ 15'$	$\pm 0^\circ 30'$	$\pm 0^\circ 45'$

Перелічені нижче **допустимі відхилення форми і розташування поверхонь** є самостійними і не залежать від допусків і допустимих відхилень розмірів поковки.

1. *Допустима величина зсування по поверхні розняття штамп* визначається залежно від маси поковки, конфігурації поверхні розняття, класу точності та не повинна перевищувати значень, наведених в табл. 6.24.

Таблиця 6.24. Допустима величина зсування по поверхні розняття штамп

Маса поковки, кг	Допустима величина зсування, мм						
	Поверхня розняття <i>плоска</i> (П)						
	T1	T2	T3	T4	T5		
	<i>симетрично вигнута</i> (B_c)						
	T1	T2	T3	T4	T5		
<i>несиметрично вигнута</i> (B_n)							
	T1	T2	T3	T4	T5		
0...0,5	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
0,5...1,0	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
1,0...1,8	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
1,8...3,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0

Маса поковки, кг	Допустима величина зсування, мм							
	Поверхня розняття <i>плоска</i> (П)							
	T1	T2	T3	T4	T5			
		<i>симетрично вигнута</i> (В _с)						
		T1	T2	T3	T4	T5		
	<i>несиметрично вигнута</i> (В _н)							
		T1	T2	T3	T4	T5		
3,2...5,6	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	
5,6...10	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	
10...20	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8	
20...50	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8	2,5	
50...125	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8	2,5	3,2	
125...250	1,0	1,2	1,4	1,8	2,5	3,2	4,0	

2. Допустима величина залишкового облою визначається залежно від маси поковки, конфігурації поверхні розняття, класу точності й призначається за табл. 6.25. У місцях переходу для радіусів до 10 мм допускається призначати подвоєну величину залишкового облою. Величина зрізаної кромки не повинна зменшувати встановлений припуск.

Таблиця 6.25. Допустима величина залишкового облою

Маса поковки, кг	Допустима величина залишкового облою, мм								
	Поверхня розняття <i>плоска</i> (П)								
	T1	T2	T3	T4	T5				
		<i>симетрично вигнута</i> (В _с)							
		T1	T2	T3	T4	T5			
	<i>несиметрично вигнута</i> (В _н)								
		T1	T2	T3	T4	T5			
0...0,5	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
0,5...1,0	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
1,0...1,8	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	
1,8...3,2	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	
3,2...5,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	
5,6...10	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	
10...20	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	
20...50	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,8	
50...125	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,8	3,5	
125...250	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,8	3,5	4,0	

3. Допустима величина висоти задирки на поковці по контуру обрізання облою не повинна перевищувати:

2 мм – для поковок масою до 1,0 кг включно;

3 мм – для поковок масою понад 1,0 кг до 5,6 кг включно;

5 мм – для поковок масою понад 5,6 кг до 50,0 кг включно;

6 мм – для поковок масою понад 50,0 кг,

а при пробиванні отвору ця величина може бути збільшена в 1,3 рази.

4. Допустима величина задирки, утвореної по контуру пуансона при штампуванні в закритих штампах (безоблойному), визначається за табл. 6.26.

Таблиця 6.26. Допустима величина задирки при безоблойному штампуванні

Маса поковки, кг	Ступінь складності поковки	Допустима величина задирки при максимальному розмірі поперечного перерізу поковки по поверхні розняття штампа, мм				
		до 40	40...100	100...160	160...250	понад 250
0...0,5	C1, C2	1,0	2,0			
	C3	2,0	3,0	–	–	–
	C4	3,0	4,0			
0,5...3,2	C1, C2	2,0	3,0	4,0		
	C3	3,0	4,0	5,0	–	–
	C4	4,0	5,0	6,0		
3,2...5,6	C1, C2	3,0	4,0	5,0		
	C3	4,0	5,0	6,0	–	–
	C4	5,0	6,0	7,0		
5,6...20,0	C1, C2	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
	C3	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
	C4	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
20,0...50,0	C1, C2	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
	C3	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
	C4	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
понад 50,0	C1, C2	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
	C3	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
	C4	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0

У поковок, виготовлених на ГKM, допустима висота задирки в площині розняття матриць не повинна перевищувати подвоєної величини залишкового облою за табл. 6.25.

Задирки на необроблюваних поверхнях поковок повинні видалятися за вимогою споживача, якщо форма поковки дозволяє в технічно обґрунтованих випадках виконувати зачищення поверхні на зачищувальних верстатах.

5. Допустиме відхилення від співвісності непробитих отворів (міток) в поковках (див. рис. 6.35,д) приймають не більше 1,0% від глибини мітки.

6. Допустиме найбільше відхилення від концентричності пробитого в поковці отвору (див. рис. 6.35,г) встановлюють за табл. 6.27.

Таблиця 6.27. Допустиме найбільше відхилення від концентричності пробитого отвору, мм

Найбільший розмір поковки	Допустиме найбільше відхилення від концентричності пробитого отвору для класів точності				
	T1	T2	T3	T4	T5
0...100	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
100...160	0,5	0,6	0,8	1,0	1,5
160...250	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0
250...400	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5
400...630	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
630...1000	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0

Примітка.

Наведені допустимі відхилення від концентричності отворів відповідають початку пробивання (зі сторони входу пуансона в поковку). В кінці пробивання (зі сторони виходу пуансона) ці відхилення можуть бути збільшені на 25%.

7. Допустимі відхилення за зігнутістю, від площинності та від прямолінійності для плоских поверхонь (див. рис. 6.37) встановлюють за табл. 6.28. У вказаних величинах не враховуються перепади за висотою, товщиною чи шириною поковок. Довгі поковки з розмірами понад 1000 мм піддають виправляння перед механічною обробкою.

Таблиця 6.28. Допустимі відхилення за зігнутістю

Габаритний розмір, мм	Відхилення для класів точності, мм				
	T1	T2	T3	T4	T5
0...100	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
100...160	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
160...250	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2
250...400	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6
400...630	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0
630...1000	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5
1000...1600	1,2	1,6	2,0	2,5	3,2
1600...2500	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0

8. Допуск радіального биття циліндричних поверхонь не повинен перевищувати подвоєної величини, вказаної в табл. 6.28 (призначається за погодженням між виробником і споживачем).

9. Допустиме відхилення торця стержня поковки після відрізання заготовок з прутка, який не підлягає деформуванню при штампуванні (рис. 6.53),

визначається за табл. 6.29 залежно від діаметра прутка. Допускається неперпендикулярність поверхні зрізу до осі заготовки до 7° .

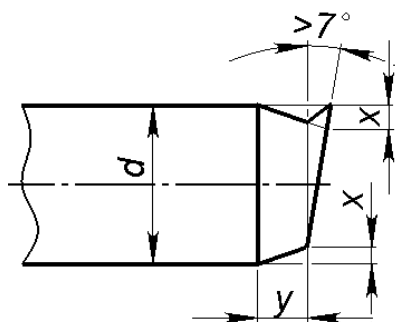


Рис. 6.53. Допустимі відхилення торця стержня після відрізання

Таблиця 6.29. Допустимі відхилення торця стержня, мм

Діаметр прутка (d)	Допустиме відхилення	
	x	y
До 40 включно	$0,08 d$	d
Понад 40	$0,07 d$	$0,8 d$

10. На поковці допускається слід у вигляді впадини чи виступу, який утворюється від виштовхувача або затискних елементів штампа. Глибина впадини повинна бути не більша 0,5 величини фактичного припуску. Висота виступу допускається до 3,0 мм на оброблюваній поверхні, а на необроблюваній – повинна погоджуватись між виробником і споживачем.

11. Допуск радіусів заокруглень внутрішніх і зовнішніх кутів поковок визначають за табл. 6.30.

Таблиця 6.30. Допуск радіусів заокруглень

Радіус мм	Допуск для класів точності, мм				
	T1	T2	T3	T4	T5
0...4	0,5	0,5	0,5	1,0	2,0
4...6	0,5	0,5	1,0	2,0	3,0
6...10	1,0	1,0	2,0	3,0	5,0
10...16	1,0	2,0	3,0	5,0	8,0
16...25	2,0	3,0	5,0	8,0	12,0
25...40	3,0	5,0	8,0	12,0	20,0
40...60	5,0	8,0	12,0	20,0	30,0
60...100	8,0	12,0	20,0	30,0	50,0

12. Допустимі відхилення штампувальних уклонів на поковках встановлюють в межах $\pm 0,25$ їх номінальної величини.

Припуски на оброблення різанням та граничні відхилення розмірів поковок із кольорових металів та стопів до впровадження в дію державних стандартів призначають за галузевими рекомендаціями [11, 19].

6.6.5. Оформлення креслення штампованої заготовки

Креслення поковки (за ГОСТ 3.1126–88 і відповідно рекомендаціям ГОСТ 7505–89) виконується в *масштабі зображення креслення деталі*, переважно в масштабі 1:1. Поковки простої форми або з розмірами понад 750 мм можна виконувати в іншому масштабі, але і для них складні перерізи рекомендується виконувати в натуральну величину. Поковки складної форми з розмірами до 50 мм бажано зображати в масштабі 2:1, при цьому найбільш характерні проєкції повторюють у масштабі 1:1.

Контур деталі на кресленні поковки наносять тонкою штрихпунктирною лінією з двома крапками, при цьому зображення деталі можна дещо спостити. Допускається виконувати креслення поковки на копії креслення деталі з відповідним оформленням. Бажано зображення поковки давати в розрізах і перерізах на мінімальній кількості проєкцій.

Поверхню розняття штампа зображають на кресленні тонкою штрихпунктирною лінією, яка позначається на кінцях знаком: \times – \times . Місце відбору зразків для випробувань (проб) вказують тонкою суцільною лінією.

На кресленні поковки вказують *вихідні бази для механічної обробки* (виходячи з даних технологічної карти), погоджені між виробником і споживачем (рис. 6.54). В якості таких баз рекомендується вибирати ділянки поковки з найбільшим діаметром або інші поверхні, зручні для захоплення і фіксації. Іноді для цієї мети на поковці роблять спеціальні виступи.

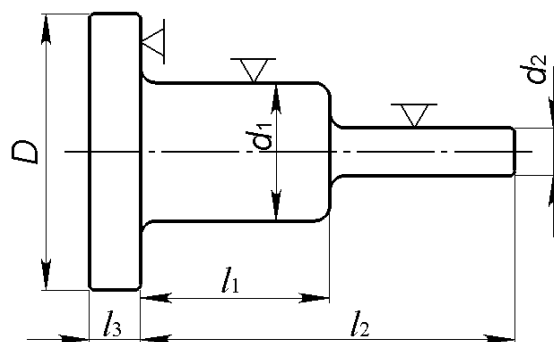


Рис. 6.54. Позначення вихідних баз і лінійних розмірів на кресленні поковки

Лінійні розміри на кресленні відповідають холодній поковці та проставляються від вказаних вихідних баз механічної обробки. При цьому необхідно враховувати зручність перевірки величин припусків і розмірів на поковці, а також простоту розмітки поковки при контролюванні. Слід уникати проставлення розмірів від лінії розняття, якщо вона не співпадає з віссю деталі.

На кресленні поковки вказують допустимі відхилення розмірів, припуски, штампувальні уклони, радіуси заокруглень, шорсткість поверхонь поковки, марку матеріалу. Розмірні лінії для проставлення розмірів поверхонь з уклонами проводять від вершин уклонів.

Допустимі відхилення форми і розташування поверхонь повинні бути проставлені на кресленні поковки відповідно до вимог ГОСТ 2.308. Допустимі відхилення радіуса заокруглення і штампувального уклону можуть бути вказані на кресленні поковки за вимогою споживача.

При нанесенні розмірів, радіусів, уклонів і допусків доцільно вказувати їх мінімальну кількість, а щодо решти розмірів і допусків зробити записи в технічних вимогах.

Технічні вимоги до поковки встановлюються за ГОСТ 8479 (або відповідно до галузевих стандартів чи стандартів підприємств). У технічних вимогах креслення вказують: невказані штампувальні уклони, радіуси заокруглень, допуски розмірів; допустимі залишки задирок чи облою, значення відносного зсуву окремих елементів поковки; стан поверхонь і спосіб їх оброблення чи очищення; вид і параметри термообробки; межі твердості матеріалу, методи та місце її вимірювання; допустимі дефекти, їх назва, припустимі розміри, кількість, місцезнаходження, припустимість і способи виправлення дефектів; місце, зміст і спосіб маркування; потребу герметичності стінок і спосіб її перевірки, розміри зразків для випробувань.

На кресленні поковки повинні бути вказані клас точності, група сталі, ступінь складності та вихідний індекс.

Технічні вимоги записують у кресленнях поковок окремим текстом чи посиланням на відповідні стандарти й нормативи підприємств.

Допускається на кресленні розмішувати таблицю для даних, які не вказані на зображеннях і не встановлені в технічних вимогах.

Приклади оформлення креслень штампованих поковок див. у п. 6.7, 6.8.

6.7. Приклади проектування штампованих заготовок

Приклад 1.

Завдання: спроектувати штамповану заготовку для деталі (важіль), представлена на рис. 6.55. Матеріал деталі – сталь 12Х2Н4А. Маса деталі – 3,3 кг. Річна програма випуску – 8000 шт. Штампувальне обладнання – пароповітряний штампувальний молот. Нагрівання заготовок – полум'яне газове.

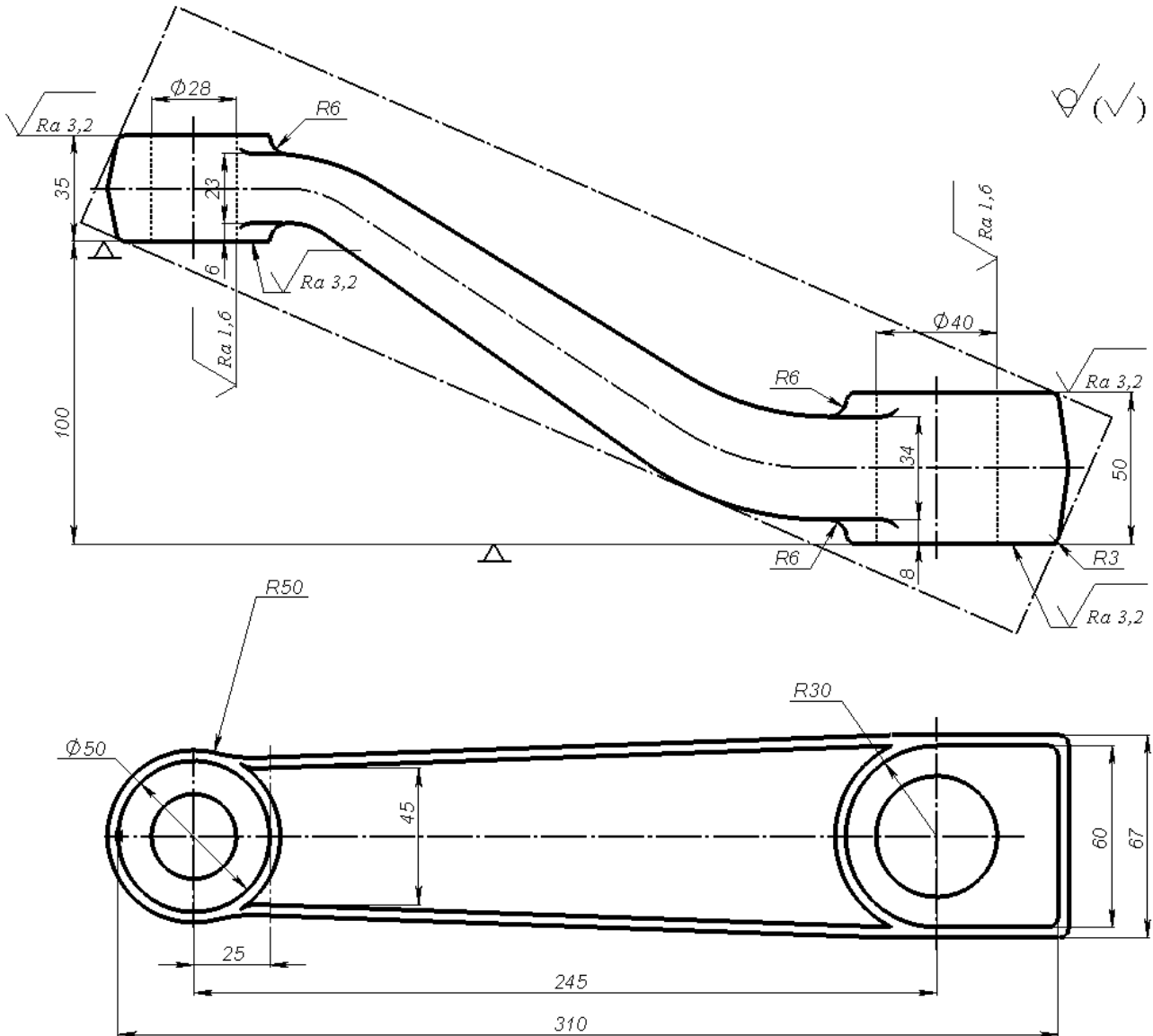


Рис. 6.55. Креслення деталі

Розв'язання.

Встановлюємо тип ковальсько-штампувального виробництва – *дрібносерійне* (табл. 6.10).

Враховуючи особливості конструкції деталі (див. підпункт 3 п. 6.6.4) визначаємо розташування *поверхні розняття штампа* вздовж криволінійної осі важеля

перпендикулярно до осей отворів і вибираємо конфігурацію поверхні розняття – V_n (вигнута несиметрично).

Призначення припусків, напусків, допусків і допустимих відхилень поковки виконуємо відповідно ГОСТ 7505–89.

1. Визначаємо конструктивні характеристики і масу поковки.

Клас точності поковки – Т5 (табл. 6.11).

Згідно ГОСТ 4543–71 середня масова доля вуглецю в сталі 12Х2Н4А – 0,12%, сумарна масова доля легуючих елементів – 5,62% (0,27% Si; 0,45% Mn; 1,45% Cr; 3,45% Ni). Отже *група сталі* – М3 (див. підпункт 4 п. 6.6.4).

Розрахункова маса поковки

$$G_n = G_d K_p = 3,3 \times 1,3 = 4,29 \text{ кг},$$

де $G_d = 3,3$ кг – маса деталі; $K_p = 1,3$ – розрахунковий коефіцієнт (табл. 6.12).

Розміри фігури мінімального об'єму (паралелепіпеда, див. рис. 6.55), в яку вписується поковка, мм:

довжина 340 (визначається графічно);

висота 67 (визначається графічно);

ширина 67 (за кресленням деталі).

Розрахункова маса цієї фігури (наявність припусків враховуємо коефіцієнтом 1,03)

$$G_\phi = 1,03^3 \times 34 \text{ см} \times 6,7 \text{ см} \times 6,7 \text{ см} \times 7,85 \text{ г/см}^3 = 13092 \text{ г} = 13,092 \text{ кг}.$$

Тоді

$$C = G_n / G_\phi = 4,29 / 13,092 = 0,328,$$

отже, *ступінь складності форми* – С2 (див. підпункт 4 п. 6.6.4).

2. Визначаємо *вихідний індекс* – 16 (табл. 6.13).

3. Визначаємо припуски. *Основні припуски* на розміри (табл. 6.14):

товщина 50 мм (чистота поверхні Ra 3,2) – 2,7 мм;

товщина 35 мм (Ra 3,2) – 2,5 мм;

\varnothing 40 мм (Ra 1,6) – 2,5 мм;

\varnothing 28 мм (Ra 1,6) – 2,3 мм.

Для решти розмірів припуски не визначаємо, оскільки ці поверхні не підлягають обробленню різанням.

Додаткові припуски, які враховують:

- зсув по поверхні розняття штампа для діаметрів 40 і 28 мм – 0,6 мм (табл. 6.16);

- відхилення від прямолінійності для товщин 50 і 35 мм – 0,8 мм (табл. 6.17);

- відхилення міжцентрової відстані на розмір 245 мм – 1,2 мм (табл. 6.18).

4. Визначаємо ковальські напуски.

Штампувальні уклони на зовнішній поверхні – 7° , на внутрішній поверхні – 10° (табл. 6.19).

Мінімальний радіус заокруглення зовнішніх кутів для глибини рівчака 10...25 мм – 2,0 мм (табл. 6.20), приймаємо $R3$. Радіуси заокруглень внутрішніх кутів приймаємо 6 мм.

Для поверхонь отворів передбачаємо *мітки* конічної форми, для яких діаметри більшої основи дорівнюють різниці між діаметром отвору та сумою відповідних припусків, а діаметри меншої основи – враховують кути штампувальних уклонів. На отвір $\varnothing 28$ мм призначаємо глухі мітки (діаметр отвору менший за 30 мм) глибиною 8 мм.

5. Визначаємо розміри поковки і їх допустимі відхилення (рис. 6.56).

Розміри поковки, мм:

товщина $50 + (2,7 + 0,8) \times 2 = 57$ приймаємо 57;

товщина $35 + (2,5 + 0,8) \times 2 = 41,6$ приймаємо 41,5.

$\varnothing 40 - (2,5 + 0,6 + 1,2) \times 2 = 31,4$ приймаємо 31;

$\varnothing 28 - (2,3 + 0,6 + 1,2) \times 2 = 19,4$ приймаємо 19,5;

висота $100 + (2,7 - 2,5) = 100,2$ приймаємо 100.

Допустимі відхилення розмірів (табл. 6.21), мм:

товщина $57_{-1,2}^{+2,4}$;

товщина $41,5_{-1,2}^{+2,4}$;

ширина $60_{-1,2}^{+2,4}$;

ширина $50_{-1,2}^{+2,4}$;

висота $100_{-1,3}^{+2,7}$;

довжина $310_{-1,9}^{+3,7}$;

$\varnothing 31,5_{-2,1}^{+1,1}$ (допустимі відхилення внутрішніх розмірів мають зворотні знаки);

$\varnothing 19,5_{-2,1}^{+1,1}$ (аналогічно $\varnothing 31,5$).

Невказані граничні відхилення розмірів приймаємо $\pm 1,5/2$ допуску відповідного розміру поковки (див. підпункт 8 п. 6.6.4).

Допуски радіусів заокруглення: для $R3$ – 2,0 мм, для $R6$ – 3,0 мм (табл. 6.30).

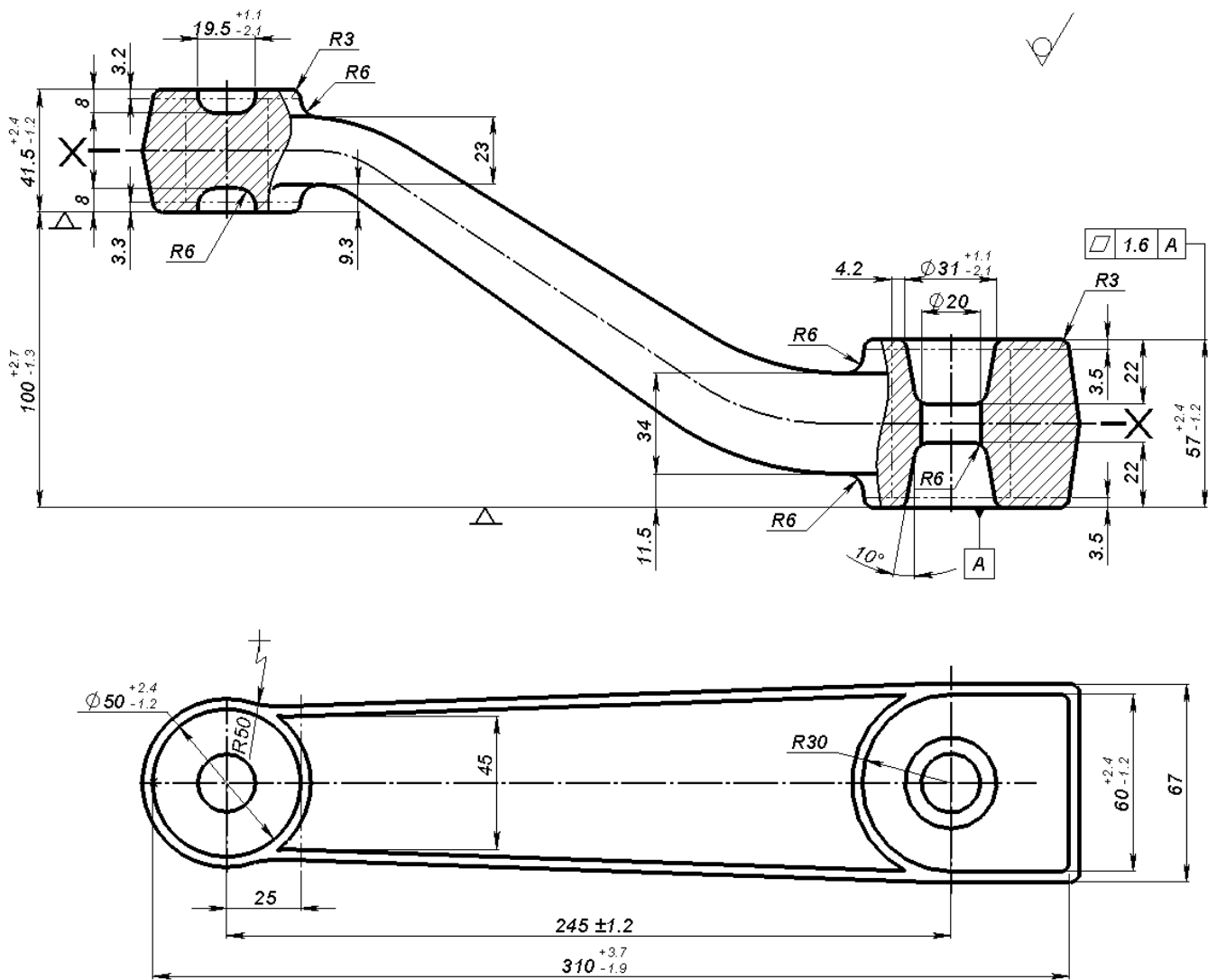


Рис. 6.56. Креслення штампованої заготовки важеля

Допустима величина зсування по поверхні розняття штампа – 1,2 мм (табл. 6.24).

Допустима величина залишкового облою чи зрізаної кромки – 1,6 мм (табл. 6.25).

Допустиме відхилення від площинності та прямолінійності – 1,6 мм (табл. 6.28).

Допустимі відхилення міжосьової відстані $\pm 1,2$ мм (табл. 6.22).

Приклад 2.

Завдання: спроектувати штамповану заготовку для деталі (східчастий вал), представленої на рис. 6.57. Штампувальне обладнання – ГKM; кількість переходів – 4. Нагрівання заготовок – полум'яне. Матеріал деталі – сталь 15XГН2ТА.

Маса деталі – 6,6 кг; маса частин, що деформуються і затискаються – 5,2 кг. Річна програма випуску – 15000 шт.

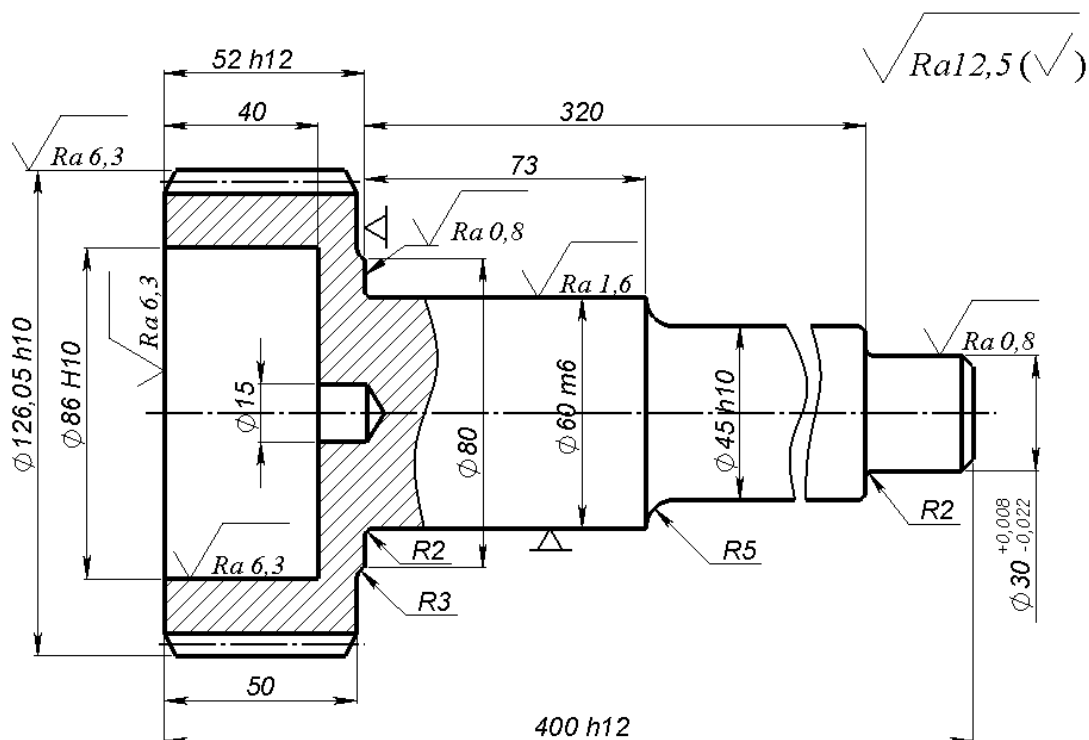


Рис. 6.57. Креслення деталі

Розв'язання.

Встановлюємо тип ковальсько-штампувального виробництва – *серійне* (табл. 6.10).

Враховуючи особливості конструкції деталі та способу штампування на ГKM (див. п. 6.6.3) вибираємо *дві площини розняття штампa*: по повздовжній осі деталі та по торцю фланця (по площині найбільшого діаметра). Конфігурація поверхонь розняття штампa – П (плоска).

Призначення припусків, напусків, допусків і допустимих відхилень поковки виконуємо відповідно ГОСТ 7505–89.

1. Визначаємо конструктивні характеристики і масу поковки.

Клас точності поковки – Т5 (табл. 6.11).

Згідно ГОСТ 4543–71 середня масова доля вуглецю в сталі 15ХГН2ТА – 0,15%, сумарна масова доля легуючих елементів – 3,73% (0,9% Mn; 0,27% Si; 0,9% Cr; 1,6% Ni; 0,06% Ti). Отже *група сталі* – М2 (див. підпункт 4 п. 6.6.4).

Розрахункова маса поковки

$$G_{\text{п}} = G_{\text{д}} K_{\text{р}} = 5,2 \times 1,5 = 7,8 \text{ кг},$$

де $G_{\text{д}} = 5,2$ кг – маса деталі; $K_{\text{р}} = 1,5$ – розрахунковий коефіцієнт (табл. 6.12).

Ступінь складності форми – С3 (поковка виготовлена на ГКМ за чотири переходи штампування, див. підпункт 4 п. 6.6.4).

2. Визначаємо вихідний індекс – 17 (табл. 6.13).

3. Визначаємо припуски. Основні припуски на розміри (табл. 6.14):

Ø 126 мм (чистота поверхні Ra 6,3) – 3 мм;

Ø 86 мм (Ra 6,3) – 2,7 мм;

Ø 60 мм (Ra 1,6) – 2,7 мм;

Ø 45 мм (Ra 12,5) – 2,2 мм;

товщина 52 мм (Ra 6,3) – 3,0 мм;

товщина 52 мм (Ra 0,8) – 3,3 мм;

товщина 50 мм (Ra 6,3) – 3,0 мм;

товщина 50 мм (Ra 12,5) – 2,4 мм;

глибина 40 мм (Ra 6,3) – 3,0 мм;

глибина 40 мм (Ra 12,5) – 2,0 мм.

Додаткові припуски, які враховують:

- зсув по поверхні розняття штампа 0,4 мм (табл. 6.16);

- зігнутість і відхилення від площинності та прямолінійності (табл. 6.17): стержня – 0,8 мм; фланця – 0,5 мм.

4. Визначаємо ковальські напуски.

Штампувальні уклони для внутрішніх поверхонь, виконуваних матрицею – 7° , пуансоном – 3° (табл. 6.19).

Радіус заокруглення зовнішніх кутів – 4,0 мм (табл. 6.20). Радіуси заокруглень внутрішніх кутів приймаємо 5 і 10 мм.

На глухий отвір Ø15 мм призначаємо напуск (діаметр отвору менший за 30 мм).

5. Визначаємо розміри поковки і їх допустимі відхилення (рис. 6.58).

Розміри поковки, мм:

Ø 126 + (3,0 + 0,4 + 0,5) × 2 = 133,8 приймаємо 134;

Ø 86 – (2,7 + 0,4 + 0,5) × 2 = 78,8 приймаємо 78,5;

Ø 60 + (2,7 + 0,4 + 0,5) × 2 = 67,2 приймаємо 67;

Ø 45 + (2,2 + 0,8) × 2 = 51 приймаємо 52 (вихідна заготовка – круглий прокат з гарячекатаної сталі за ГОСТ 2590–2006);

глибина 40 + (3,0 – 2,0 + 0,5) = 41,5 приймаємо 41,5;

товщина 52 + (3,0 + 3,3 + 0,5 + 0,4) = 59,1 приймаємо 59,0;

товщина 50 + (3,0 + 2,4 + 0,5 + 0,4) = 56,2 приймаємо 56,0.

Допустимі відхилення розмірів (табл. 6.21), мм:

$\varnothing 134^{+3,0}_{-1,5}$;

$\varnothing 78,5^{+1,3}_{-2,7}$ (допустимі відхилення внутрішніх розмірів мають зворотні знаки);

$\varnothing 67^{+2,7}_{-1,3}$;

$\varnothing 52^{+0,4}_{-1,0}$ (за ГОСТ 2590–2006 для звичайної точності прокатування);

глибина $41,5^{+1,2}_{-2,4}$ (аналогічно $\varnothing 78,5$);

товщина $59^{+2,7}_{-1,3}$;

товщина $56^{+2,7}_{-1,3}$.

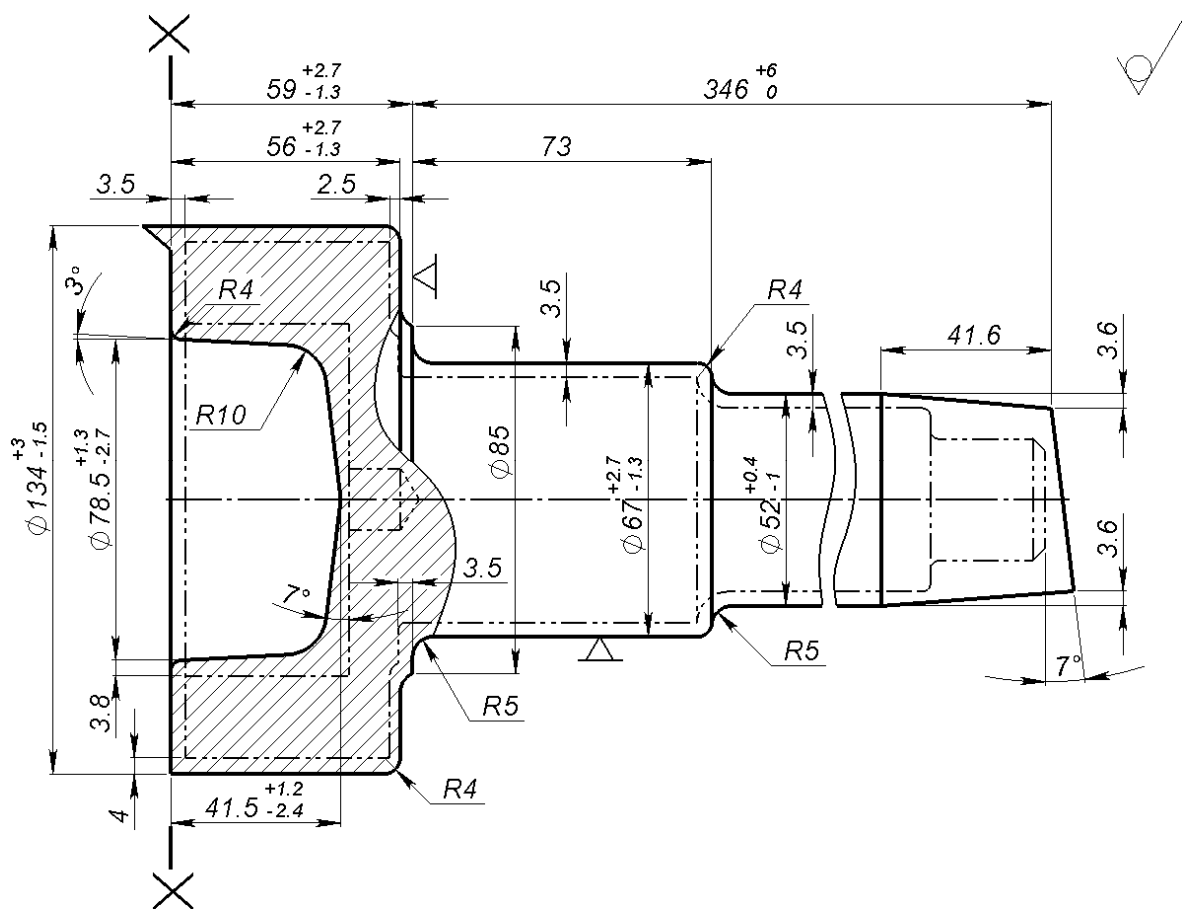


Рис. 6.58. Креслення штампованої заготовки вала

Допуск довжини стержня – 6,0 мм (для поковок 5-го класу точності, стержень яких виходить за межі штампа і не підлягає деформуванню, див. підпункт 8 п. 6.6.4).

Невказані граничні відхилення розмірів приймаємо $\pm 1,5/2$ допуску відповідного розміру поковки (див. підпункт 8 п. 6.6.4).

Допуски радіусів заокруглення: для R4 – 2,0 мм, для R5 – 3,0 мм, для R10 – 5,0 мм (табл. 6.30).

Допустима висота задирки в площині розняття матриць $1,2 \times 2 = 2,4$ мм (див. табл. 6.25 з урахуванням того, що поковка виготовлена на ГKM).

Допустима висота торцевої задирки – 7,0 мм (табл. 6.26).

Допустимі відхилення від площинності та від прямолінійності для плоских поверхонь – 1,0 мм, за зігнутістю – 1,6 мм (табл. 6.28).

Допустима величина зсування по поверхні розняття штампa – 1,0 мм (табл. 6.24).

Допустиме відхилення від співвісності $\varnothing 78,5$ приймаємо 1,0% від глибини мітки – 0,4 мм (див. підпункт 8 п. 6.6.4).

Допустимі відхилення штампувальних уклонів приймаємо в межах $\pm 0,25$ їх номінальної величини – $(7 \pm 1,7)^\circ$ і $(3 \pm 0,75)^\circ$.

Допустиме відхилення торця стержня після відрізання заготовки з прутка: $x = 3,6$ мм, $y = 41,6$ мм (табл. 6.29). Нахил поверхні зрізу – 7° .

6.8. Приклади розрахунку операційних припусків і розмірів при виготовленні деталі з штампованої заготовки

Приклад 1.

Завдання: для деталі, розглянутої в прикладі 2 (див. п. 6.7, рис. 6.57), досвідно-статистичним методом визначити операційні припуски і розміри при обробці поверхні $\varnothing 60m6$. Заготовка – штампована кованка (див. рис. 6.58).

Розв'язання.

Загальна методика розрахунку операційних припусків і розмірів досвідно-статистичним методом наведена у п. 3.6.

1. Аналіз вихідних даних.

Деталь – вал-шестерня, матеріал деталі – сталь 15XГН2ТА, ГОСТ 4543-71. Маса деталі – 6,6 кг. Твердість HRC₃ 30...33. Річна програма випуску – 15000 шт. Тип ковальсько-штампувального виробництва – серійне.

Твердість деталі досягається термічною обробкою (гартування та відпускання), яка виконується перед шліфуванням. Габаритні розміри деталі 400×126 мм. Деталь достатньо технологічна.

Поверхня $\varnothing 60m6 \begin{pmatrix} +0,030 \\ +0,011 \end{pmatrix}$ – циліндрична, точність (6-й квалітет) – висока, поле допуску – m , шорсткість – $Ra = 1,6$ мкм, служить для встановлення підшипника, довжина 73 мм.

2. Спосіб отримання заготовки.

Заготовка – штампована кованка (див рис. 6.58), виготовлена гарячим об'ємним штампуванням на ГKM за 4 переходи, нагрівання заготовок – полум'яне; маса кованки 7,8 кг; $K_{\text{вм}} = 0,80$ (з врахуванням технологічних втрат при гарячому об'ємному штампуванні – вигорання, задирки, облой тощо); шорсткість поверхонь $Rz_0 = 200$ мкм ($Ra_0 = 50$ мкм).

Допустимі відхилення за зігнутістю – 1,6 мм. Допустима величина зсування по поверхні розняття штампа – 1,0 мм.

3. Визначення загального припуску і відхилень для поверхні вихідної заготовки.

Загальні припуски $Z_{\text{заг}}$ на механічну обробку і допуски розмірів для штампованих заготовок, виготовлених гарячим об'ємним штампуванням, визначаємо за ГОСТ 7505–89 (див. п. 6.7). Поверхня штампованої заготовки, що відповідає поверхні деталі $\varnothing 60m6$, має розмір $D_0 = 67_{-1,3}^{+2,7}$ мм (див. рис. 6.58). Тоді загальний припуск на діаметр (за вихідний розрахунковий розмір приймаємо максимальний розмір деталі $D_{\text{дет}}^{\text{max}} = 60,03$ мм):

$$Z_{\text{заг}} = 67 - 60,03 = 6,97 \text{ мм.}$$

4. Складання маршруту механічної обробки.

В результаті механічної обробки необхідно отримати точність діаметрального розміру готової деталі $D_{\text{дет}} = 60m6$, граничні відхилення $es_d = +0,03$; $ei_d = +0,011$; допуск $T_d = es_d - ei_d = 0,019$ мм; шорсткість поверхні $Ra = 1,6$ мкм.

Згідно таблиці 3.16 вказані параметри можна досягти чистовим шліфуванням, якому передують чорнове шліфування.

Встановимо необхідну кількість технологічних переходів обробки поверхні $\varnothing 60m6$ [20]. Знаходимо загальне уточнення:

$$\varepsilon_{\text{заг}} = \frac{T_{\text{заг}}}{T_d} = \frac{4}{0,019} = 210,5.$$

Тоді кількість переходів обробки:

$$n = \frac{\lg \varepsilon_{\text{заг}}}{0,46} = \frac{2,32}{0,46} = 5,05.$$

Приймаємо $n = 5$.

Чорновим шліфуванням досягають точність розміру по IT8 і шорсткість поверхні $Rz = 10$ мкм (табл. 3.16); допуск на операцію $T_4 = 0,046$ мм (табл. 3.1).

Чорновому шліфуванню передують термообробка, яка забезпечує необхідну твердість поверхні HRC, 30...33. На термообробку заготовка подається після тонкого точіння, в результаті якого досягається точність розміру по IT9 і шорсткість

поверхні $Rz = 5$ мкм; допуск на операцію $T_3 = 0,074$ мм.

Тонкому точінню передують переходи чистового і чорнового точіння. Дані зводимо у таблицю 6.31. Обробка на токарних верстатах і шліфування на круглошліфувальних верстатах виконується з встановленням заготовки в центрах.

Таблиця 6.31. Послідовність обробки поверхні $\varnothing 60m6$

№ переходу	Технологічні переходи (операції)	Точність, Квалітет	Допуск, мм	Граничні відхилення, мм	Шорсткість, мкм
1	2	3	4	5	6
0	Заготовча	$T5$	4	$+2,7$ $-1,3$	$Rz200$
1	Токарна чорнова	$h14$	0,740	- 0,74	$Rz50$
2	Токарна чистова	$h11$	0,190	- 0,19	$Rz25$
3	Токарна тонка	$h9$	0,074	- 0,074	$Rz5$
	Термічна HRC _{30...33}	-	-	-	-
4	Шліфування чорнове	$h8$	0,046	- 0,046	$Rz10$
5	Шліфування чистове	$m6$	0,019	$+0,030$ $+0,011$	$Ra1,6$

5. Вибір операційних припусків Z_i для всіх n переходів механічної обробки поверхні виконуємо за таблицею 3.22.

Припуски на діаметр: на чистове шліфування після попереднього шліфування – $Z_5 = 0,06$ мм; на попереднє шліфування після термообробки – $Z_4 = 0,75$ мм. Припуски на діаметр на точіння штампованих заготовок: тонке – $Z_3 = 0,2$ мм; чистове – $Z_2 = 0,35$ мм.

Припуск на чорнове точіння знаходимо з умови, що $\sum_1^n Z_i = Z_{\text{зар}}$:

$$Z_1 = Z_{\text{зар}} - (Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5) = 6,97 - (0,35 + 0,2 + 0,75 + 0,06) = 5,61.$$

Згідно табл. 3.22 рекомендована величина припуску для чорнового точіння 3,4 мм, а розрахункова $Z_1 = 5,61$ мм більше рекомендованої. Тому розподіляємо припуск на 2 проходи у співвідношенні приблизно 3:2. Тоді припуск, що знімається за перший прохід – 3,4 мм, а за другий прохід – 2,21 мм.

6. Розрахунок проміжних номінальних розмірів.

Проміжні номінальні розміри визначаємо шляхом послідовного додавання до вихідного розрахункового розміру $D_{\text{дет}}^{\text{max}} = 60,03$ мм проміжних припусків Z_i в порядку, зворотному до ходу технологічного процесу обробки даної поверхні:

$$D_4 = D_{\text{дет}}^{\text{max}} + Z_5;$$

$$D_3 = D_4 + Z_4; D_2 = D_3 + Z_3; D_1 = D_2 + Z_2.$$

Для перевірки розрахунку визначаємо розмір вихідної заготовки
 $D_{\text{загот}} = D_1 + Z_1$.

Послідовність розрахунку проміжних розмірів з допусками і параметрами шорсткості, які необхідні для оформлення карт ескізів та операційних карт для всіх операцій, зводимо у таблицю 6.32.

Таблиця 6.32. Розрахунок проміжних номінальних розмірів

№ переходу	Найменування розміру і припуску	Позначення	Операційний розмір, мм	Шорсткість, мкм
5	Діаметр шийки після чистового шліфування (тобто діаметр за кресленням)	$D_{\text{дет}} = D_5$	$\varnothing 60m6 \begin{pmatrix} +0,030 \\ +0,011 \end{pmatrix}$	$Ra1,6$
	Вихідний розрахунковий розмір	$D_{\text{дет}}^{\text{max}}$	60,03	
	Припуск на діаметр на чистове шліфування	$+ Z_5$	+0,06	
4	Діаметр шийки після чорнового шліфування	D_4	$60,09h8 \begin{pmatrix} - \\ -0,046 \end{pmatrix}$	$Rz10$
	Припуск на діаметр на чорнове шліфування	$+ Z_4$	+0,75	
3	Діаметр шийки після тонкого точіння	D_3	$60,84h9 \begin{pmatrix} - \\ -0,074 \end{pmatrix}$	$Rz5$
	Припуск на діаметр на тонке точіння	$+ Z_3$	+0,2	
2	Діаметр шийки після чистового точіння	D_2	$61,04h11 \begin{pmatrix} - \\ -0,19 \end{pmatrix}$	$Rz25$
	Припуск на діаметр на чистове точіння	$+ Z_2$	+0,35	
1	Діаметр шийки після чорнового точіння	D_1	$61,39h14 \begin{pmatrix} - \\ -0,74 \end{pmatrix}$	$Rz50$
	Припуск на діаметр на чорнове точіння	$+ Z_1$	+5,61	
0	Діаметр поверхні штампованої заготовки (перевірка)	$D_{\text{загот}} = D_0$	$67 \begin{pmatrix} +2,7 \\ -1,3 \end{pmatrix}$	$Rz200$

Приклад 2.

Завдання: для деталі, зображеної на рис. 6.59, визначити операційні припуски і розміри при обробці поверхні $\varnothing 80 h6$:

- 1) досвідно-статистичним методом;
- 2) розрахунково-аналітичним методом.

Заготовка – штампована кованка (рис. 6.60).

Порівняти результати, отримані табличним і розрахунковим методами.

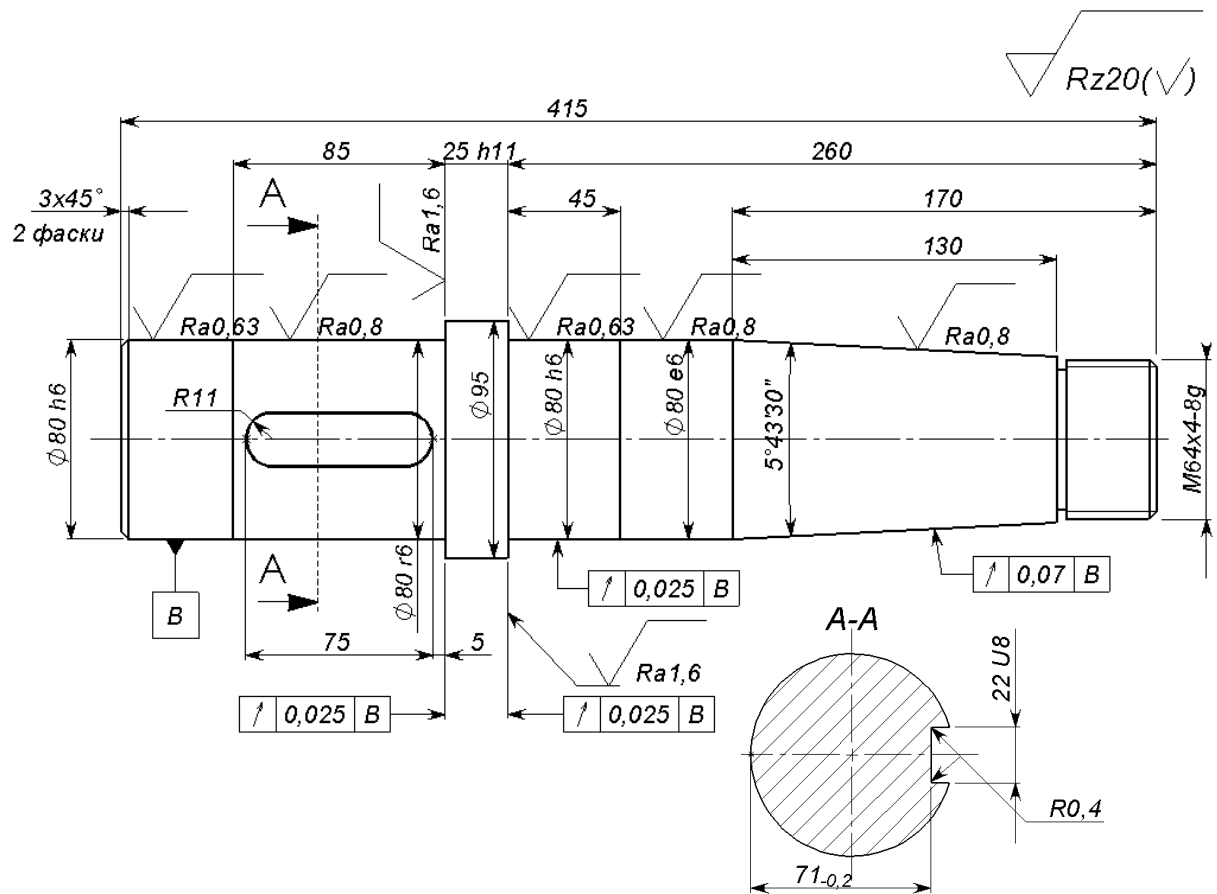


Рис. 6.59. Креслення деталі

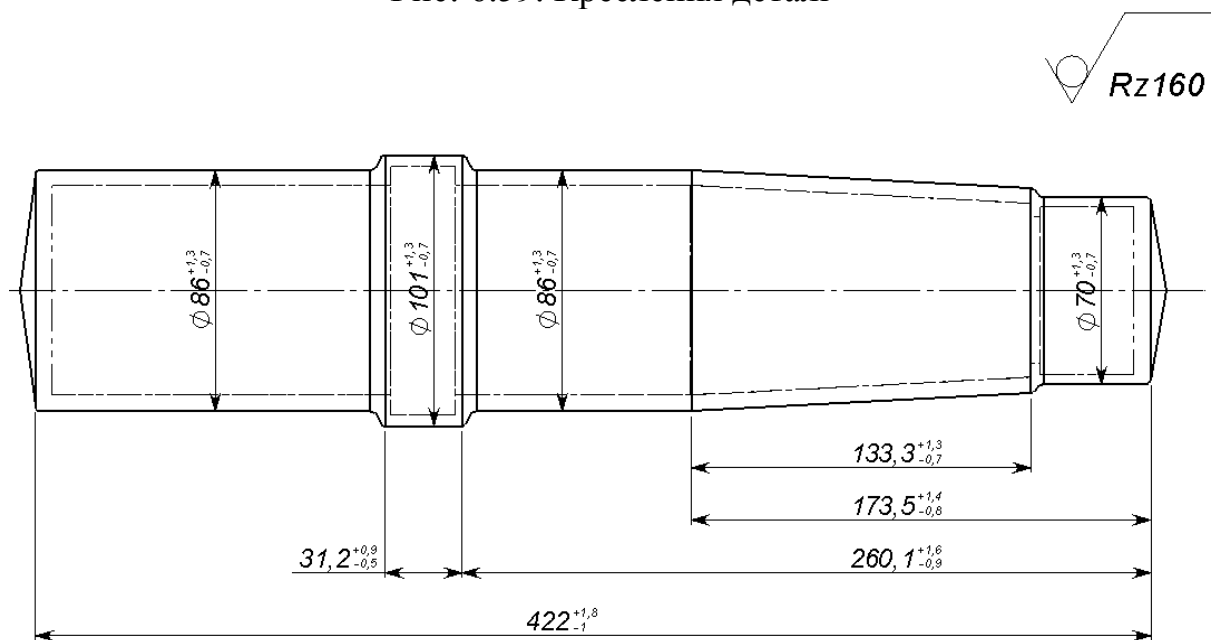


Рис. 6.60. Креслення заготовки

Розв'язання.

Визначення операційних припусків і розмірів досвідно-статистичним методом

Загальна методика розрахунку наведена у п. 3.6.

1. Аналіз вихідних даних.

Деталь – вал редуктора ступінчастий, матеріал – сталь 40Х, ГОСТ 4543-71. Маса деталі – 14,74 кг. Твердість НРС₃, 30...35. Невказані граничні відхилення розмірів: валів – по $h14$; інші по $\pm IT14/2$. Тип виробництва – крупносерійне.

Вал достатньо жорсткий, оскільки $L/D \approx 5$.

Твердість деталі досягається термічною обробкою (гартування та відпускання), яка може виконуватись на вихідній заготовці або перед шліфуванням. Габаритні розміри деталі 415×95 мм. Деталь достатньо технологічна.

Поверхня $\varnothing 80h6_{(-0,019)}$ – циліндрична, точність (6-й квалітет) – висока, поле допуску – h , шорсткість – $Ra = 0,63$ мкм, шийка служить для встановлення шарикопідшипника, довжина 45 мм.

2. Спосіб отримання заготовки.

Заготовка – штампована кованка (див. рис. 6.60), виготовлена гарячим об'ємним штампуванням на гарячештампувальному автоматі, нагрівання заготовок – індукційне; маса кованки 18,95 кг; $K_{\text{вм}} = 0,78$; шорсткість поверхонь $Rz_0 = 160$ мкм.

Конструктивні характеристики поковки:

- клас точності поковки – Т2 (табл. 6.11);
- група сталі – М2 (див. підпункт 4 п. 6.6.4);
- ступінь складності форми – С1 (див. підпункт 4 п. 6.6.4);
- вихідний індекс – 10 (табл. 6.13).

Допустимі відхилення за зігнутістю – 1 мм (табл. 6.28). Допустима величина зсування по поверхні розняття штампа – 0,7 мм (табл. 6.24).

3. Визначення загального припуску і відхилень для поверхні вихідної заготовки.

Загальні припуски $Z_{\text{заг}}$ на механічну обробку і допуски розмірів для штампованих заготовок, виготовлених гарячим об'ємним штампуванням, визначаємо за ГОСТ 7505–89 (див. п. 6.7). Поверхня штампованої заготовки, що відповідає поверхні деталі $\varnothing 80h6$, має розмір $D_0 = 86_{-0,7}^{+1,3}$ мм (див. рис. 6.60). Тоді загальний припуск на діаметр (за вихідний розрахунковий розмір приймаємо максимальний розмір деталі $D_{\text{дет}}^{\text{max}} = 80$ мм):

$$Z_{\text{заг}} = 86 - 80 = 6 \text{ мм.}$$

4. Складання маршруту механічної обробки.

В результаті механічної обробки необхідно отримати точність діаметрального розміру готової деталі $D_{\text{дет}} = 80h6$, граничні відхилення $es_{\text{д}} = 0$; $ei_{\text{д}} = -0,019$;

допуск $T_d = es_d - ei_d = 0,019$ мм; шорсткість поверхні $Ra = 0,63$ мкм.

Згідно таблиці 3.16 вказані параметри можна досягти тонким шліфуванням.

Встановимо необхідну кількість технологічних переходів обробки поверхні $\varnothing 80h6$ [20]. Знаходимо загальне уточнення:

$$\varepsilon_{\text{заг}} = \frac{T_{\text{заг}}}{T_d} = \frac{2}{0,019} = 105.$$

Тоді кількість переходів обробки:

$$n = \frac{\lg \varepsilon_{\text{заг}}}{0,46} = \frac{2,02}{0,46} = 4,39.$$

Приймаємо $n = 4$.

Попереднім шліфуванням досягають точність розміру по $IT7$ і шорсткість поверхні $Rz = 5$ мкм (табл. 3.16); допуск на операцію $T_3 = 0,035$ мм (табл. 3.1).

Шліфуванню передують термообробка, яка забезпечує необхідну твердість поверхні HRC, 30...35. На термообробку заготовка подається після точіння під шліфування, в результаті якого досягається точність розміру по $IT9$ і шорсткість поверхні $Rz = 15$ мкм; допуск на операцію $T_2 = 0,087$ мм.

Точінню під шліфування передують попереднє точіння, яке забезпечує точність розміру по $IT12$, шорсткість поверхні $Rz = 50$ мкм; допуск на операцію $T_1 = 0,35$ мм. Дані зводимо у таблицю 6.33.

Обробка на токарних напівавтоматах і шліфування на круглошліфувальних верстатах виконується з встановленням заготовки в центрах.

Таблиця 6.33. Послідовність обробки поверхні $\varnothing 80h6$

№ переходу	Технологічні переходи (операції)	Точність, Квалітет	Допуск, мм	Граничні відхилення, мм	Шорсткість, мкм
1	2	3	4	5	6
0	Заготовча	$T2$	2	$\begin{matrix} +1,3 \\ -0,7 \end{matrix}$	$Rz160$
1	Токарна чорнова	$h12$	0,350	- 0,35	$Rz50$
2	Токарна чистова	$h9$	0,087	- 0,087	$Rz15$
	Термічна HRC,30...35	-	-	-	-
3	Шліфування попереднє	$h7$	0,035	- 0,035	$Rz5$
4	Шліфування тонке	$h6$	0,019	- 0,019	$Ra0,63$

5. Вибір операційних припусків Z_i для всіх n переходів механічної обробки поверхні виконуємо за таблицею 3.22.

Припуски на діаметр: на тонке шліфування після попереднього шліфування – $Z_4 = 0,06$ мм; на попереднє шліфування після термообробки – $Z_3 = 0,65$ мм. Припуски на діаметр на чистове точіння штампованих заготовок – $Z_2 = 0,4$ мм.

Припуск на чорнове точіння знаходимо з умови, що $\sum_1^n Z_i = Z_{\text{заг}}$:

$$Z_1 = Z_{\text{заг}} - (Z_2 + Z_3 + Z_4) = 6 - (0,4 + 0,65 + 0,06) = 4,89 \text{ мм.}$$

6. Розрахунок проміжних номінальних розмірів.

Проміжні номінальні розміри визначаємо шляхом послідовного додавання до вихідного розрахункового розміру $D_{\text{дет}}^{\text{max}} = 80$ мм проміжних припусків Z_i в порядку, зворотному до ходу технологічного процесу обробки даної поверхні:

$$D_3 = D_{\text{дет}}^{\text{max}} + Z_4 ;$$

$$D_2 = D_3 + Z_3 ; D_1 = D_2 + Z_2 .$$

Для перевірки розрахунку визначаємо розмір вихідної заготовки $D_{\text{загот}} = D_1 + Z_1$.

Розрахунки проміжних розмірів для кожного переходу зводимо у таблицю 6.34.

Таблиця 6.34. Розрахунок проміжних номінальних розмірів

№ переходу	Найменування розміру і припуску	Позначення	Операційний розмір, мм	Шорсткість, мкм
4	Діаметр шийки після тонкого шліфування (тобто діаметр за кресленням)	$D_{\text{дет}} = D_4$	$\varnothing 80h6_{(-0,019)}$	$Ra0,63$
	Вихідний розрахунковий розмір	$D_{\text{дет}}^{\text{max}}$	80	
	Припуск на діаметр на тонке шліфування	$+ Z_4$	+0,06	
3	Діаметр шийки після попереднього шліфування	D_3	$80,06h7_{(-0,035)}$	$Rz5$
	Припуск на діаметр на попереднє шліфування	$+ Z_3$	+0,65	
2	Діаметр шийки після чистового точіння	D_2	$80,71h9_{(-0,087)}$	$Rz15$
	Припуск на діаметр на чистове точіння	$+ Z_2$	+0,4	
1	Діаметр шийки після чорнового точіння	D_1	$81,11h12_{(-0,35)}$	$Rz50$
	Припуск на діаметр на чорнове точіння	$+ Z_1$	+4,89	
0	Діаметр поверхні штампованої заготовки (перевірка)	$D_{\text{загот}} = D_0$	$86_{-0,7}^{+1,3}$	$Rz160$

Визначення операційних припусків і розмірів розрахунково-аналітичним методом

Загальна методика розрахунку наведена у п. 3.5.

Пункти 1-3 такі самі, як і в досвідно-статистичному методі.

1. *Аналіз вихідних даних.*

2. *Вибір способу отримання заготовки.*

3. *Складання маршруту механічної обробки поверхні* (див. графу 2 табл. 6.33).

4. *Визначення операційних допусків T_i на всі операції, включаючи заготовчу.*

Допуски проміжних заготовок визначаємо за табл. 3.1 відповідно до квалітету, що досягається в даному переході, та номінального розміру поверхні (див. графи 3, 4 табл. 6.33).

За вихідним індексом 10 і діаметром оброблюваної поверхні знаходимо допустимі відхилення на розмір заготовки $^{+1,3}_{-0,7}$ (табл. 6.21).

Квалітети, допуски і граничні відхилення операційних розмірів поверхні $\varnothing 80h6$ наведені в табл. 6.33.

5. *Визначення для всіх переходів величин, що входять до формули (3.1) для $Z_{i\min}$ і самих значень $Z_{i\min}$.*

Величини Rz_i і F_i для штампованої заготовки знаходимо за табл. 3.14, для проміжних заготовок – за табл. 3.16. Дані заносимо у карту розрахунку (рис. 6.61).

Визначаємо просторові відхилення ρ .

Сумарні просторові відхилення штампованої заготовки при обробці в центрах визначаємо за формулою [11, 16]:

$$\rho_0 = \sqrt{\Delta_{кр}^2 + \Delta_{зс}^2 + \Delta_{ц}^2},$$

де $\Delta_{кр}$, $\Delta_{зс}$, $\Delta_{ц}$ – просторові похибки відповідно від жолоблення (кривизна), зсуву по поверхні розняття штампа і зміщення осі при centruванні.

В загальному випадку відхилення осі від прямолінійності (кривизну) можна знайти за формулою $\Delta_{кр} = \Delta_k l$, де Δ_k – кривизна в мкм на 1 мм (табл. 3.18), l – розмір від перетину, для якого визначається кривизна, до торця заготовки.

В нашому випадку $\Delta_{кр} = 1$ мм (табл. 6.28); $\Delta_{зс} = 0,7$ мм (табл. 6.24).

Похибка centruвання $\Delta_{ц} = 0,25\sqrt{T^2 + 1}$, де T – допуск на розмір поверхні, по якій базувалась заготовка при обробці центрових отворів. При centruванні

використовувалась чорнова база (поверхня $\varnothing 80$ з припуском, див. рис. 6.60) з допуском 2 мм. Тоді

$$\Delta_{\text{ц}} = 0,25\sqrt{2^2 + 1} = 0,559 \text{ мм.}$$

$$\text{Отже, } \rho_0 = \sqrt{\Delta_{\text{кр}}^2 + \Delta_{\text{зс}}^2 + \Delta_{\text{ц}}^2} = \sqrt{1^2 + 0,7^2 + 0,559^2} = 1,34 \text{ мм} = 1340 \text{ мкм.}$$

Залишкові похибки після механічної обробки визначаємо за формулою:

$$\rho_i = K_y \rho_{i-1}.$$

Просторові відхилення після чорнового точіння (табл. 3.20)

$$\rho_1 = 0,06\rho_0 = 0,06 \cdot 1340 = 80 \text{ мкм.}$$

Просторові відхилення після чистового точіння

$$\rho_{\text{т}} = 0,04\rho_1 = 0,04 \cdot 80 = 3 \text{ мкм.}$$

Після чистового точіння виконується термообробка. Величину просторових відхилень від термообробки визначаємо за формулою (3.16); $n_k = 1$ (об'ємне гартування), $d = 80$ мм, $L = 415$ мм:

$$\Delta_{\text{терм}} = \frac{0,001n_k L}{0,1d + 0,3} = \frac{0,001 \cdot 1 \cdot 415}{0,1 \cdot 80 + 0,3} = 0,05 \text{ мм.}$$

Деталь, що поступає на чорнове шліфування, має просторові відхилення, які складаються з відхилень, що залишилися після чистового точіння і відхилень, внесених термообробкою, тобто

$$\rho_2 = \sqrt{\rho_{\text{т}}^2 + \Delta_{\text{терм}}^2} = \sqrt{3^2 + 50^2} = 50 \text{ мкм.}$$

Просторові відхилення після чорнового шліфування (табл. 3.20)

$$\rho_3 = 0,03\rho_2 = 0,03 \cdot 50 = 1,5 \text{ мкм.}$$

Оскільки зміщення осі при центруванні враховувалось похибкою $\Delta_{\text{ц}}$, то похибки установки ε при обробці в центрах прирівнюємо до нуля.

Мінімальні значення припусків знаходимо для кожного переходу почергово (від останнього до першого переходу) за формулою (3.1):

$$Z_{4\text{min}} = 2 \cdot (Rz_3 + F_3 + \sqrt{\rho_3^2 + \varepsilon_4^2}) = 2(5 + 15 + 1,5) = 43 \text{ мкм;}$$

$$Z_{3\text{min}} = 2 \cdot (Rz_2 + F_2 + \sqrt{\rho_2^2 + \varepsilon_3^2}) = 2(15 + 25 + 50) = 180 \text{ мкм;}$$

$$Z_{2\text{min}} = 2 \cdot (Rz_1 + F_1 + \sqrt{\rho_1^2 + \varepsilon_2^2}) = 2(50 + 50 + 80) = 360 \text{ мкм;}$$

$$Z_{1\text{min}} = 2 \cdot (Rz_0 + F_0 + \sqrt{\rho_0^2 + \varepsilon_1^2}) = 2(160 + 250 + 1340) = 3500 \text{ мкм.}$$

Розрахунки зводимо у карту (рис. 6.61).

№ <i>i</i>	назва	Rz_i	F_i	ρ_i	ε_i	Елементи припуску, мкм					$Z_{i \min} = a (Rz_{i-1} + F_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i)$	$T_i = \varepsilon_i - e_i$	$Z_i = Z_{i \min} + \varepsilon_i - e_{i-1}^*$ або $Z_i = Z_{i \min} + T_{i-1}^*$	D_i (після округлення)	$D_{i \max}$	$D_{i \min}$	Перерахунок після округлення D_i , мм				
						МКМ	ММ	ММ	$Z_i^{\min} = D_{(i-1) \min} - D_i^{\max}$	$Z_i = D_{i-1} - D_i$							$Z_i^{\max} = D_{(i-1) \max} - D_i^{\min}$				
розрахункові формули																					
4	Шліфування тонке	$Ra0,63$	5	0	$+0$	$\rightarrow 43$	19	0,078	$\rightarrow 80$	$h6$	80	79,981	0,045	0,08	0,099				$Z_i^{\max} = D_{(i-1) \max} - D_i^{\min}$	$Z_i = D_{i-1} - D_i$	$Z_i^{\min} = D_{(i-1) \min} - D_i^{\max}$
3	Шліфування попереднє	5^+	15^+	$1,5^+$	$+0$	$\rightarrow 180$	35^+	$\rightarrow 0,267$	$\rightarrow 80,08$	$h7$	80,08	80,045	0,183	0,27	0,305				$Z_i^{\max} = D_{(i-1) \max} - D_i^{\min}$	$Z_i = D_{i-1} - D_i$	$Z_i^{\min} = D_{(i-1) \min} - D_i^{\max}$
2	Токарна чистова	15^+	25^+	50^+	$+0$	$\rightarrow 360$	87^+	$\rightarrow 0,71$	$\rightarrow 80,35$	$h9$	80,35	80,263	0,4	0,75	0,837				$Z_i^{\max} = D_{(i-1) \max} - D_i^{\min}$	$Z_i = D_{i-1} - D_i$	$Z_i^{\min} = D_{(i-1) \min} - D_i^{\max}$
1	Токарна чорнова	50^+	50^+	80^+	$+0$	$\rightarrow 3500$	350^+	$4,2^+$	$\rightarrow 81,1$	$h12$	81,1	80,75	3,5	4,2	5,85				$Z_i^{\max} = D_{(i-1) \max} - D_i^{\min}$	$Z_i = D_{i-1} - D_i$	$Z_i^{\min} = D_{(i-1) \min} - D_i^{\max}$
0	Заготовча	160^+	250^+	1340^+	-	-	2000	-	$\rightarrow 85,3$		86,6	84,6	-	-	-				$Z_i^{\max} = D_{(i-1) \max} - D_i^{\min}$	$Z_i = D_{i-1} - D_i$	$Z_i^{\min} = D_{(i-1) \min} - D_i^{\max}$
$Z_{\text{заг}} = D_{\text{загот}} - D_{\text{дет}} = \sum_{i=1}^n Z_i = 5,3$																					

*) Окрім першого і останнього переходу.

**) Для проміжних заготовок.

Рис. 6.61. Карта розрахунку припусків і операційних розмірів поверхні $\varnothing 80 h6$

6. *Визначення для всіх операцій номінальних значень припусків Z_i за формулою*

$$Z_i = Z_{i \min} + es_i - ei_{i-1}.$$

Для проміжних заготовок можна користуватись формулою $Z_i = Z_{i \min} + T_{i-1}$.

$$Z_4 = Z_{4 \min} + es_4 - ei_3 = 43 + 0 - (-35) = 78 \text{ мкм};$$

$$Z_3 = Z_{3 \min} + T_2 = 180 + 87 = 267 \text{ мкм};$$

$$Z_2 = Z_{2 \min} + T_1 = 360 + 350 = 710 \text{ мкм};$$

$$Z_1 = Z_{1 \min} + es_1 - ei_0 = 3500 + 0 - (-700) = 4200 \text{ мкм}.$$

7. *Визначення номінальних розмірів D_i на всі переходи, починаючи від фінішного, розміри на який задані кресленням деталі, і закінчуючи вихідною заготовкою, за формулою:*

$$D_{i-1} = D_i + Z_i.$$

Номінальні розміри проміжних заготовок заокруглюємо до значень співмірних з точністю допусків цих розмірів. Усі розміри заокруглюємо у бік збільшення припусків на механічне оброблення.

$$D_4 = D_{\text{дет}} = 80 \text{ } h6_{(-0,019)};$$

$$D_3 = D_4 + Z_4 = 80 + 0,078 = 80,078 \approx 80,08 \text{ } h7_{(-0,035)};$$

$$D_2 = D_3 + Z_3 = 80,08 + 0,267 = 80,347 \approx 80,35 \text{ } h9_{(-0,087)};$$

$$D_1 = D_2 + Z_2 = 80,35 + 0,71 = 81,06 \approx 81,1 \text{ } h12_{(-0,35)};$$

$$D_0 = D_{\text{загот}} = D_1 + Z_1 = 81,1 + 4,2 = 85,3 \text{ } \begin{matrix} +1,3 \\ -0,7 \end{matrix}.$$

8. *Визначення граничних розмірів на всі переходи:*

$$D_{i \max} = D_i + es_i, \quad D_{i \min} = D_i + ei_i.$$

Оскільки поля допусків для розмірів проміжних заготовок розміщуються «в метал», тобто з основним відхиленнями h для валів ($es = 0$), то згідно з рис. 3.3 і 3.4 для граничних розмірів проміжних заготовок можна записати

$$D_{i \max} = D_i, \quad D_{i \min} = D_i - T_i.$$

$$D_{4 \max} = D_4 + es_4 = 80;$$

$$D_{3 \max} = D_3 = 80,08;$$

$$D_{2 \max} = D_2 = 80,35;$$

$$D_{1 \max} = D_1 = 81,1;$$

$$D_{0 \max} = D_0 + es_0 = 85,3 + 1,3 = 86,6.$$

$$D_{4 \min} = D_4 + ei_4 = 80 - 0,019 = 79,981;$$

$$D_{3 \min} = D_3 - T_3 = 80,08 - 0,035 = 80,045;$$

$$D_{2 \min} = D_2 - T_2 = 80,35 - 0,087 = 80,263;$$

$$D_{1 \min} = D_1 - T_1 = 81,1 - 0,35 = 80,75;$$

$$D_{0\min} = D_0 + ei_0 = 85,3 - 0,7 = 84,6.$$

Оскільки номінальні розміри були заокруглені перераховуємо відповідні значення мінімальних $Z_{i\min}$ і номінальних Z_i припусків. Розрахунки зводимо у карту (рис. 6.61):

$$Z_{4\min} = D_{3\min} - D_{4\max} = 80,045 - 80 = 0,045;$$

$$Z_{3\min} = D_{2\min} - D_{3\max} = 80,263 - 80,08 = 0,183;$$

$$Z_{2\min} = D_{1\min} - D_{2\max} = 80,75 - 80,35 = 0,4;$$

$$Z_{1\min} = D_{0\min} - D_{1\max} = 84,6 - 81,1 = 3,5.$$

$$Z_4 = D_3 - D_4 = 80,08 - 80 = 0,08;$$

$$Z_3 = D_2 - D_3 = 80,35 - 80,08 = 0,27;$$

$$Z_2 = D_1 - D_2 = 81,1 - 80,35 = 0,75;$$

$$Z_1 = D_0 - D_1 = 85,3 - 81,1 = 4,2.$$

9. *Визначення максимальних припусків $Z_{i\max}$ за формулами*

$$Z_{i\max} = D_{(i-1)\max} - D_{i\min}$$

або $Z_{i\max} = Z_{i\min} + T_i + T_{i-1}.$

$$Z_{4\max} = D_{3\max} - D_{4\min} = 80,08 - 79,981 = 0,099;$$

$$Z_{3\max} = D_{2\max} - D_{3\min} = 80,35 - 80,045 = 0,305;$$

$$Z_{2\max} = D_{1\max} - D_{2\min} = 81,1 - 80,263 = 0,837;$$

$$Z_{1\max} = D_{0\max} - D_{1\min} = 86,6 - 80,75 = 5,85.$$

10. *Визначення загального припуску на розмір $Z_{\text{заг}}$ за формулою*

$$Z_{\text{заг}} = D_{\text{загор}} - D_{\text{дет}} = \sum_{i=1}^n Z_i$$

$$Z_{\text{заг}} = 85,3 - 80 = 5,3 \text{ мм.}$$

Висновки. Розподіл загального припуску по етапам механічної обробки при табличному та аналітичному методі визначення проміжних припусків наведено в таблиці 6.35.

Таблиця 6.35. Розподіл загального припуску

Метод визначення припусків	Загальний припуск $Z_{\text{заг}}$	Проміжні припуски на діаметр			
		Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
Табличний	6,0 мм	4,89 мм	0,4 мм	0,65 мм	0,06 мм
	100%	81,5%	6,67%	10,8%	1%
Аналітичний	5,3 мм	4,2 мм	0,75 мм	0,27 мм	0,08 мм
	100%	79,2%	14,15%	5,1%	1,5%

При розрахунково-аналітичному методі загальний припуск на діаметр зменшується на $6,0 - 5,3 = 0,7$ мм, що дозволяє зменшити витрати на матеріал, електроенергію, спрацювання інструменту.

6.9. Завдання для самостійного розв'язування

Завдання 1. Спроекувати штамповані заготовки, виготовлені гарячим об'ємним штампуванням в умовах серійного виробництва, згідно з даними, наведеними у табл. 6.36 (допуски розмірів, допустимі відхилення, припуски на механічну обробку та напуски призначити відповідно ГОСТ 7505–89).

Таблиця 6.36. Вихідні дані для самостійного завдання

Варіант	Рисунок	Матеріал деталі	Маса деталі, кг	Штампувальне обладнання	Нагрівання заготовок	Клас точності
1	6.55	сталь 40ХНМА	3,30	штампувальний молот	полум'яне	T4
2	6.57	сталь 12Х2Н4А	5,2*	ГКМ (переходів штампування 5)	індукційне	T4
3	6.62	сталь 30ХМА	0,39	гарячоштампувальний автомат	індукційне	T2
4	6.62	сталь 15ХГН2ТА	0,39	гарячоштампувальний автомат	індукційне	T3
5	6.63	сталь 45ХН2МФА	1,83	КГШП	індукційне	T3
6	6.63	сталь 30ХМА	1,83	гідралічний прес	полум'яне	T5
7	6.64	сталь 45	0,845	КГШП	індукційне	T3
8	6.64	сталь 18Х2Н4ВА	0,845	штампувальний молот	полум'яне	T5
9	6.65	сталь 60	5,4	КГШП	індукційне	T3
10	6.65	30ХН2ВА	5,4	штампувальний молот	полум'яне	T5
11	6.66	сталь 35	2,05	КГШП	індукційне	T4
12	6.66	сталь 30ХГС	2,05	штампувальний молот	полум'яне	T5
13	6.67	сталь 45Г	6,5*	ГКМ (переходів штампування 4)	індукційне	T4
14	6.67	30ХН2ВФА	6,5*	ГКМ (переходів штампування 5)	індукційне	T5
15	5.38	сталь 40Х	8,5*	ГКМ (переходів штампування 4)	індукційне	T4

* Вказано масу частин поковки, які деформуються і затискаються

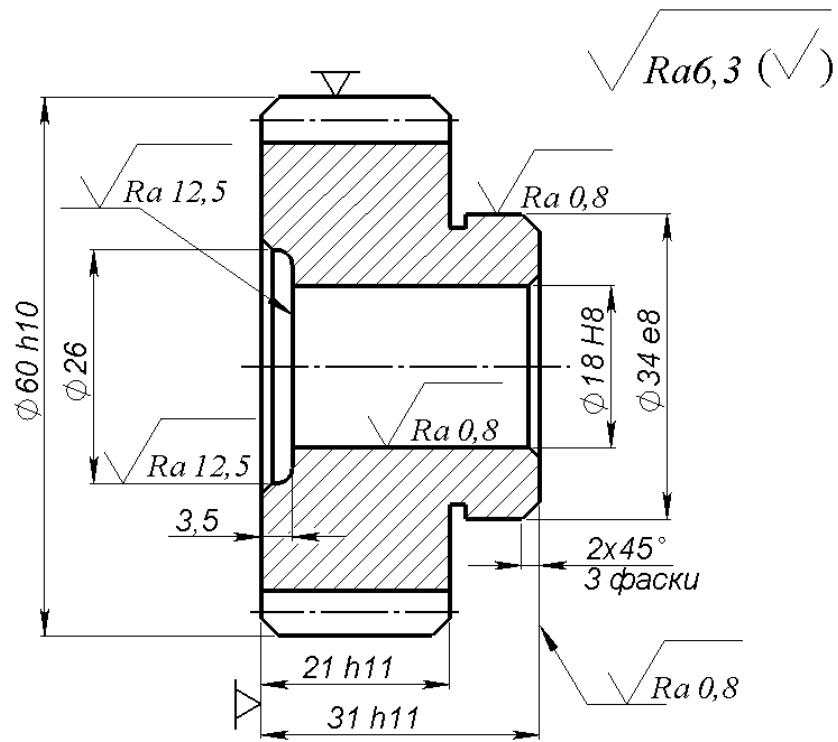


Рис. 6.62. Розміри деталі «шестерня привода»

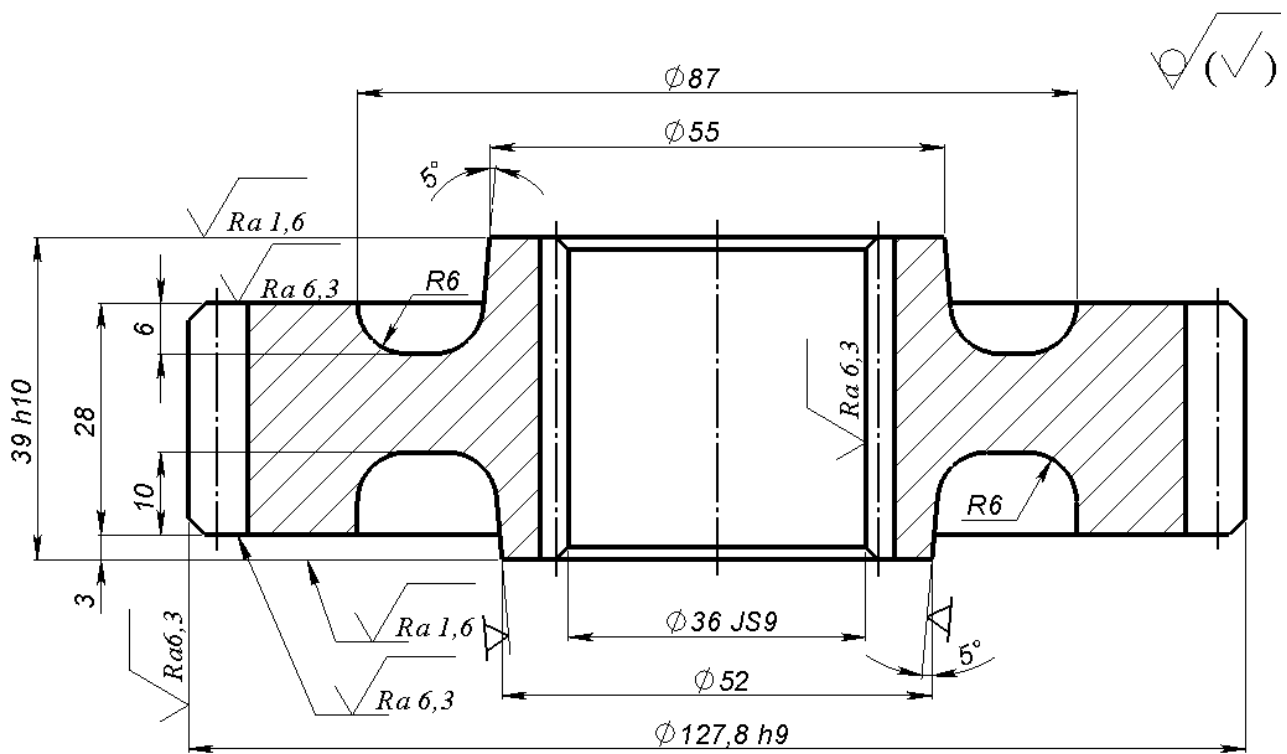


Рис. 6.63. Розміри деталі «шестерня»

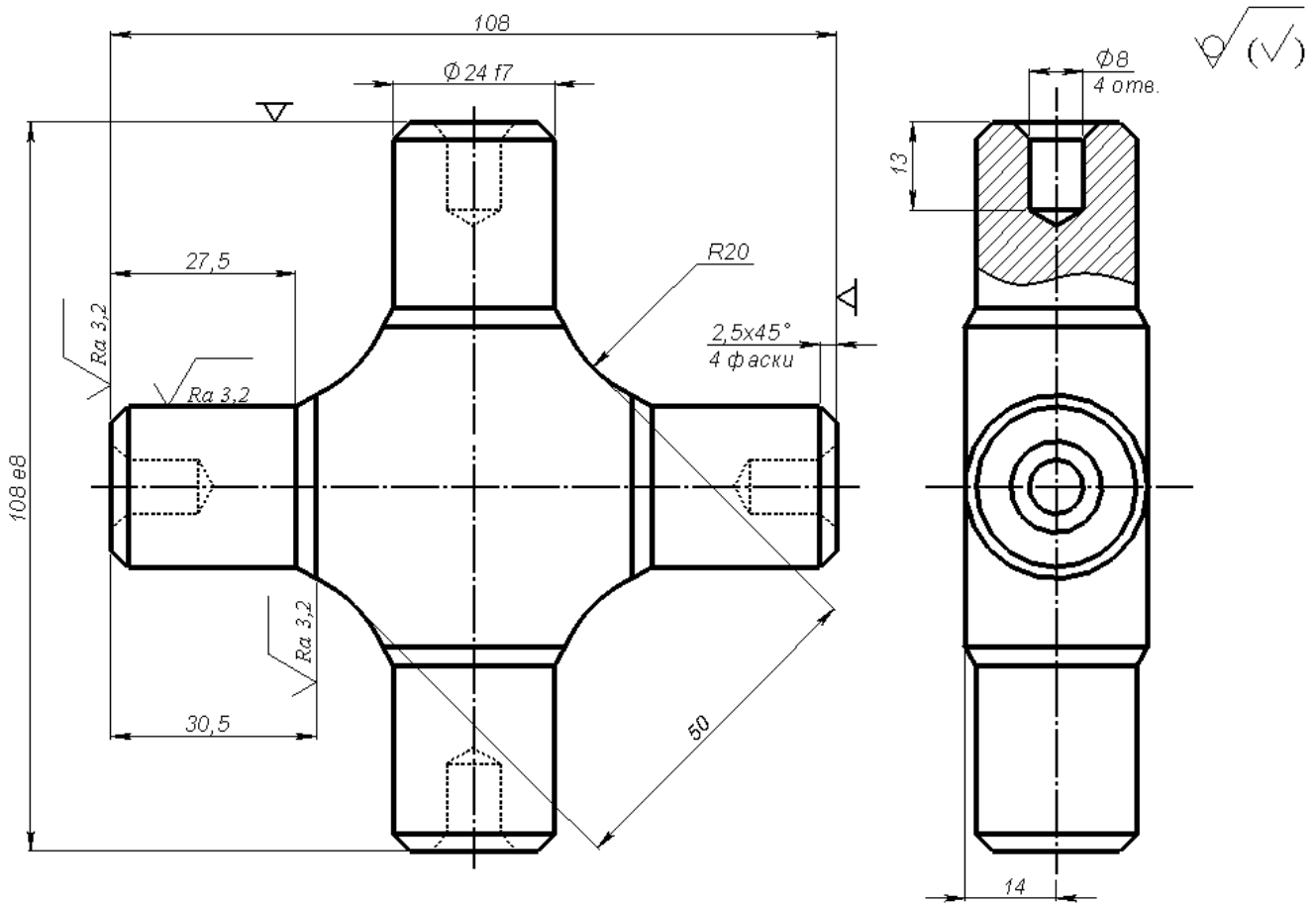


Рис. 6.64. Розміри деталі «крестовина»

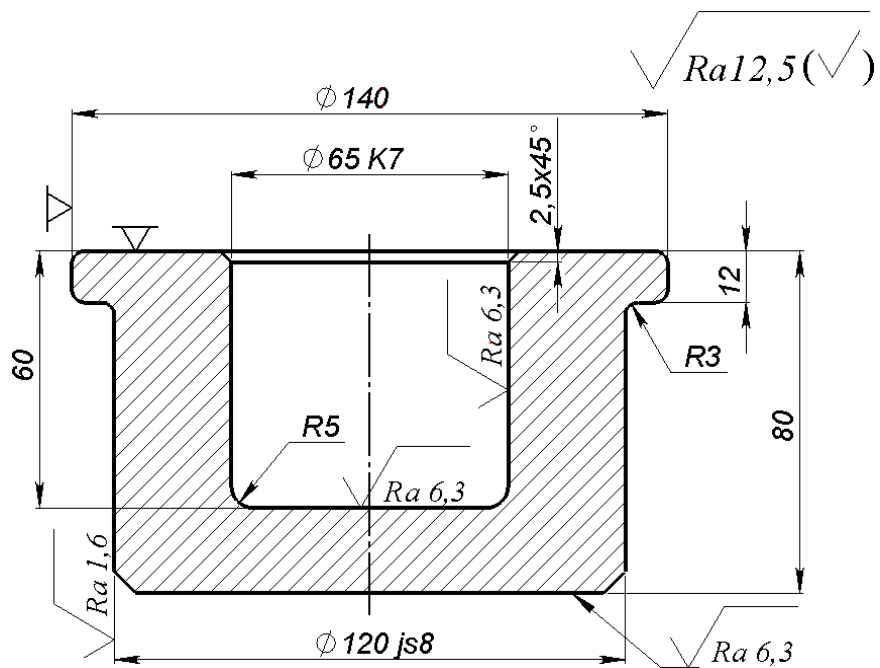


Рис. 6.65. Розміри деталі «втулка»

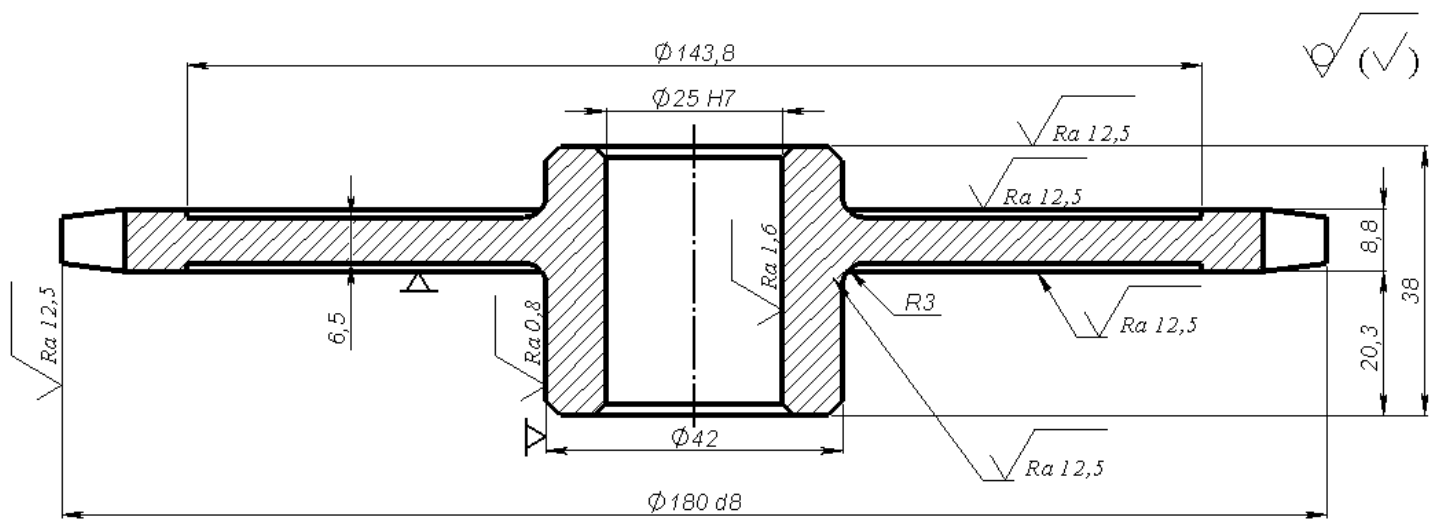


Рис. 6.66. Розміри деталі «зірочка привода»

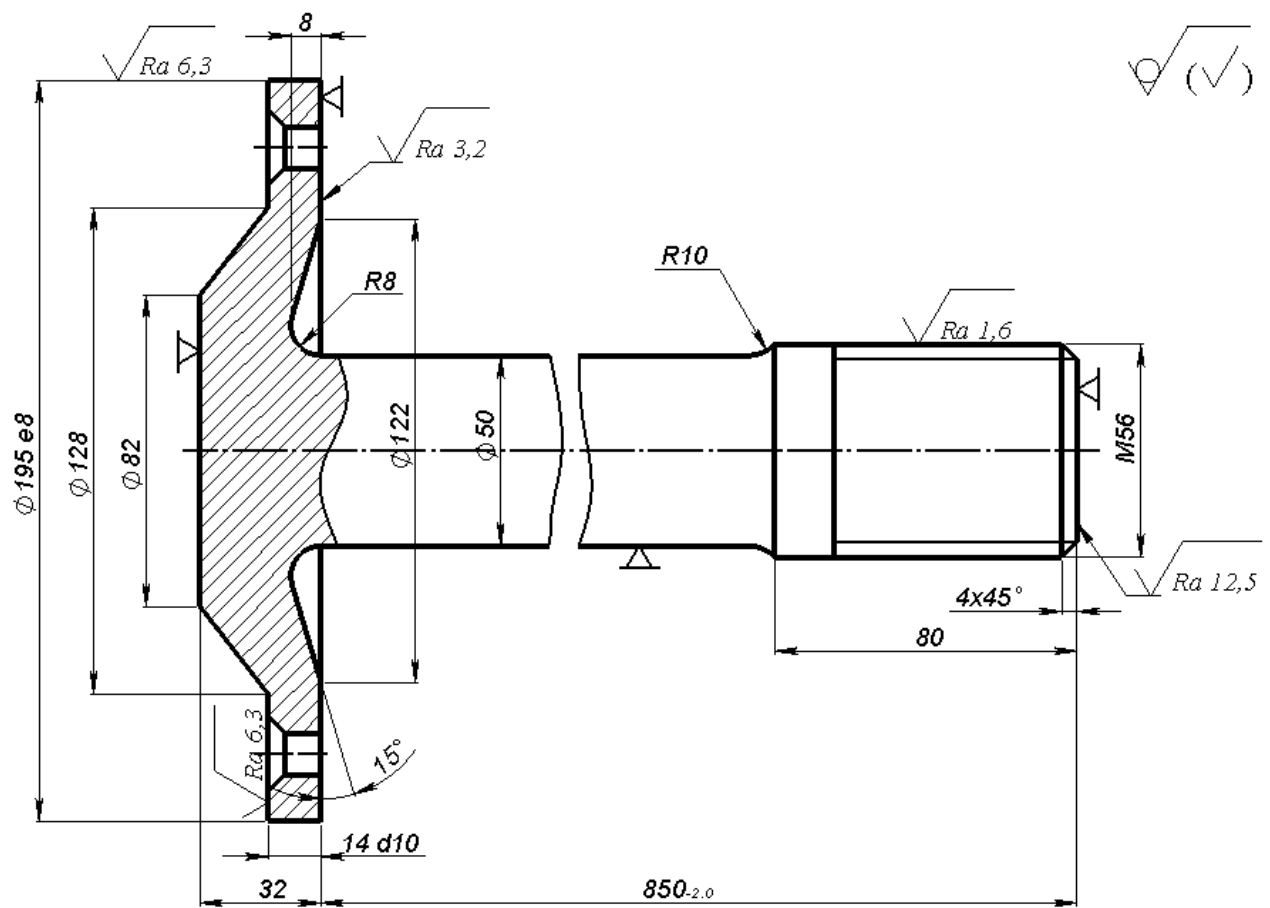


Рис. 6.67. Розміри деталі «піввісь»

Завдання 2. Деталь виготовляється зі штампованої заготовки, виготовленої гарячим об'ємним штампуванням в умовах серійного виробництва. Досвідно-статистичним методом визначити операційні припуски і розміри при обробці заданої поверхні деталі. Вихідні дані наведено у табл. 6.37.

Завдання 3. Деталь виготовляється зі штампованої заготовки, виготовленої гарячим об'ємним штампуванням в умовах серійного виробництва. Розрахунково-аналітичним методом визначити операційні припуски і розміри при обробці заданої поверхні деталі. Вихідні дані наведено у табл. 6.37.

Таблиця 6.37. Вихідні дані для самостійного завдання

Варіант	Рисунок	Матеріал деталі	Маса деталі, кг	Штампувальне обладнання	Клас точності	Поверхня для визначення припусків
1	6.62	сталь 30ХМА	0,39	гарячоштампувальний автомат	T2	Ø18H8
2	6.62	сталь 15ХГН2ГА	0,39	КГШП	T4	Ø34e8
3	6.62	сталь 40ХНМА	0,39	гарячоштампувальний автомат	T3	Ø60h10
4	6.63	сталь 45ХН2МФА	1,83	КГШП	T3	Ø36Js9
5	6.63	сталь 12Х2Н4А	1,83	штампувальний молот	T4	Ø127,8h9
6	6.63	сталь 30ХМА	1,83	гідралічний прес	T5	39h10
7	6.64	сталь 45	0,845	КГШП	T3	108e8
8	6.64	сталь 18Х2Н4ВА	0,845	штампувальний молот	T5	Ø24f7
9	6.65	сталь 60	5,4	КГШП	T3	Ø65K7
10	6.65	30ХН2ВА	5,4	штампувальний молот	T5	Ø120js8
11	6.66	сталь 35	2,05	КГШП	T4	Ø25H7
12	6.66	сталь 30ХГС	2,05	штампувальний молот	T5	Ø180d8
13	6.67	сталь 45Г	6,5*	ГКМ (переходів штампування 4)	T4	Ø195e8
14	6.67	30ХН2ВФА	6,5*	ГКМ (переходів штампування 5)	T5	14d10
15	5.40	сталь 40Х	5,8	КГШП	T4	Ø38H7

* Вказано масу частин поковки, які деформуються і затискаються

7. Техніко-економічне обґрунтування вибору способу виробництва заготовок

7.1. Методи техніко-економічної оцінки способів виготовлення заготовок

Якщо заготовка може бути отримана кількома способами, виникає необхідність проведення техніко-економічної оцінки можливих варіантів, яка є вирішальним етапом при виборі виду заготовки і способу її виготовлення. Ця оцінка є оптимізаційною задачею, що встановлює техніко-економічну доцільність співвідношення витрат на заготівельні операції й операції обробки заготовки.

Вибір оптимального способу виробництва заготовок здійснюють шляхом порівняння техніко-економічних показників можливих варіантів. Склад, вид і кількість таких показників визначаються конкретними умовами виробництва і метою економічних розрахунків на даному етапі. Оскільки задача полягає у визначенні найбільш економічно доцільного варіанту, тому співставлення варіантів припустимо вести тільки по тим показникам, значення яких в даному випадку різняться.

Оцінити способи отримання заготовки можна за одним (або декількома одночасно) з наступних показників: трудомісткість виготовлення заготовок; коефіцієнт використання матеріалу; собівартість виготовлення заготовки чи деталі; витрати на основне обладнання, технологічну оснастку, зварювальні матеріали, паливо тощо. Три перші (їх визначення див. у п. 2.2) застосовують найчастіше.

Трудомісткість характеризує витрати праці, необхідні для виготовлення заготовок. Проте визначення трудомісткості на стадії проектування викликає певні труднощі, оскільки ще не розроблено технологію виготовлення заготовки. Тому загальна трудомісткість визначається укрупненим розрахунком у нормогодинах шляхом підсумовування штучного часу на окремі операції, який визначають методом прямого розрахунку або нормативним методом за таблицями загальномашинобудівних нормативів часу [11].

Коефіцієнт використання матеріалу є дуже важливим показником, що характеризує матеріаломісткість як заготовки, так і виробу в цілому. Він настільки яскраво відображає ступінь досконалості застосовуваної технології та ефективність витрачання металу, що його часто використовують при визначенні ефективності використання сортового і листового прокату, чавунного і сталевих литва тощо. Його величина характеризує розміри припусків, напусків і втрат у виливків, поковок, прокату.

Найчастіше оцінку варіантів виконують, порівнюючи собівартості різних способів отримання заготовки. При цьому розрахунки собівартості повинні вра-

ховувати витрати як у заготівельному виробництві, так і при подальшій механічній обробці. Тільки у випадку, коли собівартість механічної обробки не залежить від способу виробництва заготовки, припустимо вести розрахунок тільки по витратам заготівельного виробництва.

Під час добору способу виготовлення заготовки можливі такі випадки:

- спосіб отримання заготовки *заданий* (або приймається аналогічним існуючому на даному виробництві);
- можливі способи отримання заготовки *не спричиняють істотних змін* у технологічному процесі подальшого її оброблення;
- можливі способи отримання заготовки *призводять до істотних змін* у технологічному процесі подальшої обробки.

Для першого випадку обґрунтування не потрібно і достатньо посилання на довідкову літературу, де для даних умов рекомендовано цей варіант як оптимальний.

Для другого випадку обґрунтування вибору заготовки виконують, виходячи з умов мінімізації вартості (чи трудомісткості) заготовки та максимального коефіцієнта використання матеріалу. Методику визначення вартості заготовки наведено нижче.

В перших двох випадках ми можемо розрахувати вартість заготовки і прийняти остаточне рішення відносно виду заготовки до складання технологічного процесу механічної обробки.

У третьому випадку питання щодо доцільності певного виду заготовки вирішується або на основі перевірених практикою емпіричних критеріїв, або, що значно точніше, виходячи з умов мінімізації сумарної вартості (чи трудомісткості) заготовки та подальшого її оброблення. Тобто перевагу слід віддати тій заготовці, яка забезпечує меншу *технологічну собівартість деталі*, яка складається з вартості заготовки C_3 і вартості обробки:

$$C_{т.д} = C_3 + \sum C_i, \quad (7.1)$$

де C_i – вартість i -тої операції механічної обробки.

Якщо порівнювані варіанти рівноцінні за технологічною собівартістю деталі, то слід вибирати заготовку з більш високим коефіцієнтом використання матеріалу.

7.2. Методи розрахунку собівартості заготовок

7.2.1. Технологічна собівартість заготовок

При порівняльних розрахунках часто користуються технологічною собівар-

тістю, коли враховують лише ті *витрати, якими різняться порівнювані варіанти заготовок*.

Технологічна собівартість заготовки включає витрати на матеріали, основну і додаткову заробітну плату виробничих робітників, на утримання та експлуатацію устаткування, експлуатацію пристосувань, штампів, моделей, інструментів тощо. Крім того, до технологічної собівартості можуть входити витрати на зарплату інженерно-технічних робітників, службовців, допоміжних робочих, експлуатацію транспорту, охорону праці, техніку безпеки й інші подібні витрати, що відносяться до всієї продукції цеху. Технологічна собівартість заготовки є сумою собівартостей по усім операціям заготівельного процесу.

Технологічна собівартість оцінює усі витрати, пов'язані з технологічним процесом, здійснюваним при виготовленні заготовки в даному цеху. Тому вона складає лише частину цехової собівартості. У зв'язку з цим порівняння варіантів за технологічною собівартістю можливе лише тоді, коли виробництво заготовок за порівнюваними варіантами здійснюється в цехах одного типу (ливарних, ковальських або зварювальних).

Технологічна собівартість заготовки може бути визначена *уточненим* або *наближеним* методами.

Уточнений метод базується на розрахунку витрат по кожному елементу технологічної собівартості операції, який *відрізняється у порівнюваних варіантах*. Цей метод застосовують в умовах масового або крупносерійного виробництва, коли потрібен точний аналіз окремих складових собівартості.

Уточнена технологічна собівартість заготовки

$$C_{з.т} = C_m + C_{з.п} + C_y + C_o + C_k + C_a,$$

де C_m – витрати на матеріали; $C_{з.п}$ – основна і додаткова заробітна плата робітників; C_y – витрати на експлуатацію, утримання і ремонт устаткування; C_o – витрати на утримання і ремонт оснастки; C_k – витрати на експлуатацію та ремонт виробничих будівель; C_a – витрати на амортизацію устаткування й оснастки.

Витрати на матеріали визначають за формулою

$$C_m = C_1 M - Ц_b M_b,$$

де C_1 – вартість 1 кг матеріалу; M – загальна маса матеріалу, витраченого на одну заготовку; $Ц_b$ – ціна 1 кг реалізованих відходів; M_b – маса реалізованих відходів.

Порядок розрахунку елементів собівартості, нормативні витрати наведені в довідковій літературі [2, 3, 11].

Уточнений метод розрахунку досить трудомісткий; на початкових стадіях проектування технологічного процесу виготовлення заготовок для нього не вистачає вихідних даних. Тому на практиці частіше використовують **наближений**

метод розрахунку технологічної собівартості. Він базується на врахуванні укрупнених витрат, що припадають на годину роботи обладнання і робочих місць (нормативної собівартості 1 машино-години роботи обладнання або робочого місця). При цьому технологічна собівартість визначається за формулою

$$C_{з.т} = C_m + \sum C_{год i} t_{шт i},$$

де $C_{год i}$ – норматив виробничих витрат, що припадають на 1 годину роботи устаткування, зайнятого на i -тій операції; $t_{шт i}$ – норма часу на i -ту операцію виготовлення заготовки.

Нормативи витрат на 1 годину роботи устаткування в реальних умовах визначають, виходячи з власних заводських даних. За відсутності таких даних можна скористатись середньостатистичними нормативами, наведеними у довідковій літературі.

Наближений метод значно скорочує трудомісткість розрахунків, оскільки вихідні дані вибираються з таблиць. Порівняно з уточненим методом він може дати похибку до 20%. Проте для більшості випадків попереднього зіставлення економічності технологічних варіантів така точність є цілком достатньою.

Якщо заготовки отримані литтям в піщані форми, то витрати на формовочні і стрижневі суміші для різних варіантів технологічних процесів відрізняються між собою дуже мало. Ними можна знехтувати, як і невеликими витратами на оснастку (опоки, формувальний інструмент). Тоді в розрахунки буде входити тільки вартість матеріалу і зарплата виробничих робітників.

Якщо виробництво заготовок пов'язане з роботою складного обладнання (формувальні машини, машини для лиття під тиском тощо), то витрати на роботу обладнання та оснастку стають визначальними при формуванні собівартості литої заготовки. Досвід свідчить, що собівартість заготовки отриманої спеціальними методами лиття, завжди помітно вища, ніж при литті в піщані форми. Тому перед остаточним вибором оптимального варіанту технологічного процесу необхідно визначити собівартість подальшої механічної обробки і зробити вибір за собівартістю деталі в цілому (див. п. 7.3).

Відмінності у визначенні собівартості кованої і штампованої заготовок полягають у наступному. При штампуванні витрати металу і технологічного палива значно менші, ніж при куванні. Витрати на зарплату виробничих робітників (через меншу трудомісткість), а також витрати, пов'язані з роботою обладнання (навіть при роботі на ідентичному обладнанні), при штампуванні теж нижчі, ніж при куванні. Проте витрати на технологічну оснастку при штампуванні коливаються в широких межах та істотно впливають на собівартість заготовки, особливо при невеликому об'ємі виробничої партії.

Витрати на технологічне паливо (енергію) визначають лише тоді, коли порівнюють варіанти отримання заготовок, для яких застосовуються різні способи нагрівання, що різко відрізняються один від одного за витратами виробництва. В інших випадках включати їх в розрахунок собівартості порівнюваних варіантів заготовок немає необхідності.

7.2.2. Цехова собівартість заготовок

Технологічна собівартість не завжди є достатньою і надійною базою для порівняння технологічних процесів. Іноді необхідно порівняти технологічні процеси виробництва заготовок, що потребують великих капітальних вкладень (впровадження спеціальних методів лиття, штампування) або відрізняються за способом виготовлення заготовки (лиття і кування, лиття і зварювання тощо). У таких випадках порівняння варіантів виконують за цеховою собівартістю заготовки і початковими капітальними витратами. При *бухгалтерському методі* розрахунку цехова собівартість дорівнює

$$C_{з.ц} = C_{м} + C_{з.п} + C_{н} ,$$

де $C_{м}$ – витрати на матеріали; $C_{з.п}$ – заробітна плата основних і допоміжних робітників; $C_{н}$ – сума всіх інших (накладних) витрат по цеху.

Величину накладних витрат визначають у відсотках z від величини заробітної плати $C_{з.п}$. Тоді

$$C_{з.ц} = C_{м} + C_{з.п} (1 + z / 100) ,$$

Величина z залежить від умов виробництва і коливається в межах 150...800%. Через значну невизначеність накладних витрат і відсутність можливості на етапі проектування їх проаналізувати цей метод застосовується лише в окремих випадках при наближеному визначенні собівартості порівняно однорідної продукції.

Більш точно цехова собівартість виробництва заготовок $C_{з.ц}$ може бути визначена як сума технологічної собівартості $C_{з.т}$ і загальноцехових витрат $C_{ц}$:

$$C_{з.ц} = C_{з.т} + C_{ц} .$$

Величину загальноцехових витрат знаходять за вартістю роботи устаткування (робочого місяця) за 1 годину в довідковій літературі.

7.2.3. Спрощений розрахунок собівартості заготовок

Визначення собівартості заготовки і деталі є достатньо трудомістким процесом, що вимагає детального розроблення технологічного процесу виготовлення заготовок та їх подальшого оброблення, нормування часу та значних розрахунків. Тому для попереднього обґрунтування вибраних способів виготовлення заготов-

ки, коли необхідно наближено й досить швидко оцінити різні варіанти технології виготовлення заготовки без аналізу елементів собівартості, можна застосувати спрощений розрахунок собівартості заготовки (деталі). При цьому користуються ціниками на виливки, кованки, прокат, заготовки з порошків тощо (таблиці 7.1-7.3, 7.11). Наведені в цих таблицях значення цін можна вважати умовними, але цілком придатними для порівняльних і навчальних розрахунків. Для визначення дійсних цін заготовок чи деталей потрібно користуватись чинними цінами, а також методиками та нормативними матеріалами індексування цін. Вартість технологічного процесу подальшого механічного оброблення у цьому випадку визначають наближено [6, 22].

Спочатку встановлюють матеріал заготовки, її тип (виливок, кованка, прокат, труба тощо), розробляють креслення заготовки і визначають її масу G_3 .

Собівартість заготовки C_3 з проволочи, сортового та спеціального прокату, труби тощо визначають за формулою (при цьому враховується стандартна довжина прутків):

$$C_3 = 0,001[G_3 C_{\text{пр}} - (G_3 - G_{\text{д}}) C_{\text{в}}] + C_{\text{від}}, \quad (7.2)$$

де $C_{\text{пр}}$, $C_{\text{в}}$ – ціни відповідно 1 тони прокату, 1 тони технологічних відходів, грн (див. табл. 7.1, 7.2); $C_{\text{від}}$ – вартість технологічних процесів відокремлення, виправлення та калібрування заготовок, грн; $G_{\text{д}}$ – маса готової деталі, кг.

Таблиця 7.1. Оптові ціни на деякі метали та стопи

Назва та марка матеріалу	Сортамент	Ціна 1 т, у.о.
Сталь звичайної якості Ст. 0; Ст. 3сп; ... за ГОСТ 535-88	Сортовий та фасонний гарячекатаний прокат: круг, квадрат, штаба, кутник, швелер, двутавр	500 – 650
Сталь підвищеної якості за ГОСТ 19282-88		670 – 882
Сталь вуглецева 08; 10; 15; ... за ГОСТ 1050-88	Гарячекатаний прокат	726 – 748
	Холоднокатаний і калібрований прокат	907 – 926
	Спеціальний прокат	1519 – 1556
Сталь легована 15ХА; 18ХГТ; 30ХЗМФ; ... за ГОСТ 4543-71	Гарячекатаний прокат	689 – 3297
	Холоднокатаний і калібрований прокат	978 – 3563
	Спеціальний прокат	1607 – 4000
Ресорно-пружинна сталь 65; 70; ... за ГОСТ 14959 - 79	Гарячекатаний прокат	715 – 770
	Холоднокатаний та спеціальний прокат	926 – 1510
Ресорно-пружинна легована сталь за ГОСТ 14959-79	Гарячекатаний прокат	715 – 1889
	Холоднокатаний та спеціальний прокат	974 – 3248
Автоматна сталь А11; А12; А20; ... за ГОСТ 1414-75	Гарячекатаний прокат	741 – 1763
	Холоднокатаний та спеціальний прокат	960 – 2396
Корозійностійка та вогнес-тійка сталь 20Х13; 40Х10С2М; 12Х18Н9Т; ... за ГОСТ 5949-75	Гарячекатаний прокат	1874 – 9630
	Холоднокатаний та спеціальний прокат	3270 – 13296

Назва та марка матеріалу	Сортамент	Ціна 1 т, у.о.
Магнітом`які стопи за ГОСТ 10160-75	Сортовий прокат Тонколистовий прокат	14593 – 111110 14074 – 66185
Сталь вуглецева за ГОСТ 16523-88	Гарячекатаний тонколистовий прокат Холоднокатаний тонколистовий прокат Гарячекатаний товстолистовий прокат	837 904 622
Сталь низьколегована за ГОСТ 17066-80	Гарячекатаний тонколистовий прокат Холоднокатаний тонколистовий прокат Гарячекатаний товстолистовий прокат	815 – 963 963 – 1037 815
Сталь корозійностійка та вогнестійка за ГОСТ 5582-75 і ГОСТ 7350-77	Гарячекатаний тонколистовий прокат Холоднокатаний тонколистовий прокат Гарячекатаний товстолистовий прокат	2722 – 67815 3119 – 78703 2463 – 44444
Алюмінієві стопи Д1; Д16; Ав; В95; 1915; АМц; АМг – 2; АКМ; ...	Лист 0,5; ...; 10,5 Фольга 0,007; ...; 0,200 Пруток Ø5 – Ø300 Дріт Ø1,4; ...; Ø12,0 Труба тонкостінна Ø6; ...; Ø150 s = 0,5; s = 5,0 Труба товстостінна Ø28; ...; Ø300 s = 6; ...; s = 40 Профілі пресовані з перетином 1 – 150 см ²	6296 – 8963 8000 – 46667 5556 – 8148 5926 – 10000 7778 – 21482 6074 – 8889 5333 - 7778
Магнієві стопи МА2 – ІМ; та інші	Лист 0,6; ...; 75,0 Дріт Ø2 ...; Ø8 Прутки пресовані Ø8; ...; Ø300 Труби пресовані Ø16; ...; Ø38 s = 1,5; ...; 3,0 Профілі пресовані з перетином від 1 до 130 см ²	10370 – 57778 15185 – 19630 9778 – 20926 28926 7926 – 17037
Мідь М1, М2	Прутки круглі, квадратні, шестигранні, тягнені, холоднокатані, пресовані штаби Дріт Ø0,4; ...; Ø3,0 Стрічка 0,04; ...; 1,86 Труби круглі, квадратні, прямокутні та фасонні	5926 – 7407 6563 – 13482 8333 – 13148 6148 – 19333
Латунь Л19; Л68; Л63 Латунь Л062-1; ЛС59-1	Труби Ø1,5; ...; Ø360 Лист 0,4; ...; 12 Прутки круглі, квадратні, прямокутні, шестигранні Ø3; ...; Ø50 Дріт Ø0,1; ...; Ø12	8370 – 33333 5870 – 6815 6667 – 8444 6815 – 30370
Бронза берилієва Бр-Б2	Труби Ø8; ...; Ø19 Дріт Ø0,06; ...; Ø12 Прутки, штаби Ø5; ...; Ø120, s = 0,15; ...; 0,85 Стрічка 0,02; ...; 0,2	74074 – 87407 50370 – 129630 52778 – 93185 61852 – 96444
Бронза БрА5; БрАЖ9-4; БрКМц3-1; БрОЦ4-3 тощо	Труби Ø30; ...; Ø160 Прутки круглі, квадратні, шестигранні, прямокутні, штаби Дріт Ø0,06; ...; Ø12 Стрічка 0,10; ...; 2,0	5926 – 11537 6444 – 19704 8148 – 33333 18148 – 25185

Назва та марка матеріалу	Сортамент	Ціна 1 т, у.о.
Титановий стоп ВТ1-0; ОТ4-0 тощо	Лист 0,3; ... ; 10,5	22444 – 48926
	Плита 11; ... ; 150	22222 – 25926
	Штаба 0,6; ... ; 1,5	51852 – 89630
	Фольга 0,05; ... ; 0,08	136518 – 206482
	Дріт Ø0,9; ... ; 7,0	64222 – 77555
	Прутки Ø10; ... ; Ø300	17074 – 51148
	Труба Ø5; ... ; Ø130	37778 – 374926
	s = 0,5; ... ; 9	
Алюміній ПА-0; ПА-4; ...	Порошок	4815 – 6222
Берилій ПТБ-30; ...	Порошок	1240741 – 2666667
Бронза Бр010; ПРБС; ...	Порошок	29222 – 122963
Вольфрам ПВВ; ПВТ	Порошок	104444 – 120370
Латунь ПЛ-35; ПЛ-63; ...	Порошок	6370
Мідь ПМС-А	Порошок	8519
Нікель ПНК-УТ1	Порошок	27037
Титан ПТА	Порошок	17963

Таблиця 7.2. Оптові ціни на відходи деяких металів і стопів

Назва металу та стопу	Ціна 1 т, у.о.	
	Брухт і кускові відходи	Стружка, порошок тощо
Чавун	260 – 335	163 – 267
Чавун легкосплавний	341 – 530	296 – 393
Сталь		
вуглецева	281 – 334	241 – 289
низьколегована	341 – 396	307 – 356
легована	963 – 1037	926 – 993
корозійно і вогнестійка	2963 – 4000	1719 – 3185
вальницева	341 – 374	289 – 348
інструментально-штампована	1852 – 2119	1652 – 1889
швидкорізальна	10185 – 14445	6963 – 10741
Алюміній чистий	2593 – 2963	1407 – 2593
стопи алюмінієві деформівні	1685 – 2593	1370 – 2482
стопи алюмінієві ливарні	1519 – 2426	1185 – 2241
Мідь чиста	3704 – 4407	3330 – 3889
Мідь з полудою	3330 – 3704	3074 – 3333
Латунь	3110 – 3574	2315 – 3148
Бронза берилієва	8667 – 9222	8463 – 8741
Бронза (крім берилієвої)	3556 – 5093	2278 – 3630
Вольфрам і стопи вольфрамові	44440 – 70148	32963 – 46296
Молибден і стопи молибденові	33333 – 50296	12889 – 35185
Нікель і стопи нікелеві	5555 – 9537	3074 – 5741
Титан і стопи титанові	3407 – 5685	1630 – 3630
Олово і стопи олов'яні	34074 – 82000	11074 – 35556
Свинець і стопи свинцеві	1926 – 2741	760 – 2148
Цинк і стопи цинкові	1332 – 1852	259 – 1482

Собівартість заготовок C_3 , виготовлених литтям в піщані форми і кокілі, литтям за виплавлюваними моделями, литтям під тиском, можна з достатньою для курсового та дипломного проектування точністю визначити за формулою:

$$C_3 = 0,001 [\text{Ц}_{\text{бв}} G_{\text{в}} K_{\text{тв}} K_{\text{св}} K_{\text{мв}} K_{\text{пв}} K_{\text{ст}} - (G_{\text{в}} - G_{\text{д}}) \text{Ц}_{\text{в}}], \quad (7.3)$$

де $\text{Ц}_{\text{бв}}$ – базова ціна 1 тони виливків, виготовлених з базового матеріалу з базовою точністю та складністю вилівка, грн; $G_{\text{в}}$ – маса вилівка, кг; $K_{\text{тв}}$, $K_{\text{св}}$, $K_{\text{мв}}$, $K_{\text{пв}}$, $K_{\text{ст}}$ – коефіцієнти відповідно точності розмірів, конструктивної та технологічної складності вилівка, марки матеріалу, програми річного замовлення (групи серійності) та маси вилівка й відносного потоншення основних стінок вилівка порівняно з базовою товщиною. Значення базової ціни виливків і вказаних коефіцієнтів наведені у таблицях 7.3-7.10.

За конструктивною та технологічною складністю вилівки поділяють на шість груп (див. табл. 7.5). До ознак, за якими визначають складність виливків, належать конфігурація форми, габарити, товщина, основних стінок, кількість виступів, ребер, западин, порожнин, що вимагають шишок, якість оброблених різанням поверхонь, відповідність виливків своєму призначенню та особливі технічні вимоги.

Таблиця 7.3. Базова ціна 1 тони виливків

Спосіб лиття	Матеріал	$\text{Ц}_{\text{бв}}$ для виливків, у.о.
Лиття в земляні та піщано-глинисті форми, кокілі	чавун СЧ 00, СЧ 12-28, СЧ 15-32, СЧ 18-36	2815
Лиття за виплавлюваними моделями	сталь вуглецева	15530
Лиття під тиском	Алюмінієві стопи	17277

Таблиця 7.4. Значення коефіцієнта $K_{\text{тв}}$, що враховує точність виливків

Клас точності вилівка	1-3	4-6	7Т-9Т	9-11	12-14	15-16
$K_{\text{тв}}$	1,88	1,64	1,32	1,00	0,68	0,44

Таблиця 7.5. Значення коефіцієнта $K_{\text{св}}$, що враховує конструктивно-технологічну складність виливків

Група складності вилівка	1	2	3	4	5	6
$K_{\text{св}}$	0,65	0,81	1,00	1,19	1,42	1,70

Таблиця 7.6. Значення коефіцієнта K_{MB} , що враховує марку матеріалу виливка

Матеріал	K_{MB}	Матеріал	K_{MB}
Сірий чавун	1,00	Високолегована сталь	2,86
Ковкий чавун	1,16	Алюмінієві стопи	4,36
Високоміцний чавун	1,24	Бронза олов'яноцинкова	3,38
Антифрикційний чавун	1,12	Бронза олов'яна	8,62
Легований чавун	1,04	Бронза алюмінієва	2,17
Високолегований чавун	1,32	Латунь	3,34
Вуглецева сталь	1,20	Цинкові стопи	3,64
Легована сталь	1,92	Магнієві стопи	4,59

Таблиця 7.7. Базові товщини стінок виливків

Маса виливка, кг		Базова товщина основних стінок виливка, мм				
понад	до	Сірий чавун	Високоміцний чавун	Сталь нелегована	Сталь легована	Кольорові стопи
0	0,25	3,5	4,5	5,5	8	2,5
0,25	0,50	4,5	5,5	6,5	9	3
0,50	1,0	5,5	7	8	10	4
1,0	2,5	6,5	8,5	9,5	11	5
2,5	5,0	8	10	11	13	6
5,0	10	9	11	12	15	7
10	25	10	12,5	13,5	16	8
25	50	11	14	15	18	9
50	100	13	15,5	17,5	21	11
100	250	15	18	20	24	13
250	500	17	21	23	27	15
500	1000	19	23	26	30	17
1000	2500	21	26	28	33	19
2500	5000	24	29	32	37	22
5000	10000	27	33	36	41	25

Таблиця 7.8. Значення коефіцієнта K_{CT} , що враховує зменшення товщини основних стінок виливка відносно базової товщини

Відносне потоншення товщини основних стінок, %	5	10	15	20	25	30	35
K_{CT}	1,10	1,15	1,21	1,27	1,34	1,40	1,45

Таблиця 7.9. Групи серійності виливків

Маса виливка, кг		Кількість виливків у річному замовленні (шт.) для груп серійності									
понад	до	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0,25	понад 2000000	100000- 2000000	50000- 1000000	20000- 500000	10000- 200000	35000- 100000	15000- 35000	2500- 15000	500- 2500	до 500
0,25	0,63	понад 1400000	70000- 1400000	40000- 700000	15000- 400000	7000- 150000	3000- 70000	1200- 30000	200- 12000	40- 2000	до 400
0,63	1,0	понад 1000000	50000- 1000000	30000- 500000	10000- 300000	4000- 100000	2000- 40000	800- 20000	150- 8000	30- 1500	до 300
1,0	2,5	понад 700000	35000- 700000	20000- 350000	7500- 200000	2000- 75000	1200- 20000	400- 12000	100- 4000	20- 1000	до 200
2,5	10	понад 400000	20000- 400000	10000- 200000	3000- 100000	1200- 30000	600- 12000	200- 6000	50- 2000	12- 500	до 120
10	25	понад 200000	10000- 200000	5000- 100000	1500- 50000	800- 15000	300- 8000	100- 3000	30- 1000	7- 300	до 70
25	63	понад 120000	6000- 120000	3000- 60000	1000- 30000	600- 10000	250- 6000	80- 2500	20- 800	5- 200	до 55
63	160	понад 80000	4000- 80000	2000- 40000	750- 20000	400- 7500	150- 4000	60- 1500	10- 600	4- 100	до 45
160	630	понад 50000	2500- 50000	1200- 25000	550- 12000	250- 5500	100- 2500	45- 1000	7- 450	3- 75	до 35
630	1000	понад 30000	1500- 30000	700- 15000	350- 7000	150- 3500	60- 1500	30- 600	5- 300	2- 50	до 27
1000	2500	понад 15000	600- 15000	250- 6000	100- 2500	40- 1000	15- 400	7- 150	3- 75	2- 35	до 22
2500	10000	понад 3000	150- 3000	70- 1500	35- 700	18- 350	9- 180	4- 90	2- 45	1- 25	до 17

Таблиця 7.10. Значення коефіцієнта $K_{пв}$, що враховує програму річного замовлення та масу виливків

Група серійності виливка	Коефіцієнт $K_{пв}$ для маси виливка, кг			
	0...160	160...1000	1000...2500	2500...10000
1	0,80	0,82	0,87	0,87
2	0,85	0,87	0,91	0,91
3	0,88	0,91	0,95	0,95
4	0,94	0,96	1,00	1,00
5	1,00	1,00	1,00	1,00
6	1,06	1,05	1,05	1,05
7	1,13	1,11	1,09	1,09
8	1,18	1,18	1,11	1,11
9	1,30	1,26	1,23	1,23
10	1,40	1,35	1,30	1,30

Собівартість заготовок C_3 , виготовлених вільним куванням, гарячим штампуванням на молотах, пресах, ГKM, а також електровисаджуванням, можна визначити за формулою:

$$C_3 = 0,001 [\text{Ц}_{бк} G_k K_{тк} K_{ск} K_{мк} K_{пк} K_{вк} - (G_k - G_d) \text{Ц}_в], \quad (7.4)$$

де $\text{Ц}_{бк}$ – базова ціна 1 тони кованок, виготовлених з базового матеріалу (сталь 35) з базовою точністю та складністю кованки, грн; G_k – маса кованки, кг; $K_{тк}$, $K_{ск}$, $K_{мк}$, $K_{пк}$, $K_{вк}$ – коефіцієнти відповідно точності розмірів, конструктивної та технологічної складності кованки, марки матеріалу, програми річного замовлення (групи серійності) та маси кованки. Значення базової ціни кованок і вказаних коефіцієнтів наведені у таблицях 7.11-7.18.

Таблиця 7.11. Базова ціна 1 тони кованок

Спосіб обробки тиском	Матеріал	$\text{Ц}_{бк}$ для кованок, у.о.
Гаряче штампування на молотах, пресах, ГKM, електровисаджуванням	сталь конструкційна вуглецева	3392
Вільне кування на молотах, пресах		4445

Гарячоштамповані кованки за складністю поділяють на чотири групи (див. п. 6.6.4 і табл. 7.15), які визначають за такими критеріями: відношення маси кованки до маси простої фігури, що описана навколо неї; відношення глибини западини (висоти кованки) до її діаметра (поперечного розміру); кількість технологічних переходів, що потрібні для її штампування; площинність поверхні рознімання штампа.

За конструктивною та технологічною складністю кованки вільного кування поділяють на п'ять груп. Їх визначають за такими ознаками: співвідношення розмірів, їх значення, конфігурація форми, категорії якості та фізико-механічні властивості матеріалу кованки.

Таблиця 7.12. Групи серійності кованок

Маса кованки, кг		Кількість кованок у річному замовленні (шт.) для груп серійності			
понад	до	1	2	3	4
0	2,5	понад 600	300-600	150-300	до 150
2,5	10	понад 500	250-500	125-250	до 125
10	25	понад 400	200-400	100-200	до 100
25	63	понад 300	150-300	75-150	до 75
63	160	понад 200	100-200	50-100	до 50
160	250	понад 100	50-100	25-50	до 25
250	630	понад 80	40-80	20-40	до 20
630	1000	понад 60	30-60	15-30	до 15
1000	2500	понад 40	20-40	10-20	до 10
2500	4000	понад 30	15-30	8-15	до 8
4000	10000	понад 25	12-25	7-12	до 7

Таблиця 7.13. Групи серійності гарячих штампованок

Маса штампованки, кг		Кількість штампованок у річному замовленні (шт.) для груп серійності				
понад	до	1	2	3	4	5
0	0,25	понад 500000	150000-500000	60000-150000	4000-60000	до 4000
0,25	0,63	понад 300000	80000-300000	30000-80000	2000-30000	до 2000
0,63	1,6	понад 150000	50000-150000	15000-50000	800-15000	до 800
1,6	2,5	понад 120000	45000-120000	14000-45000	700-14000	до 700
2,5	4	понад 100000	40000-100000	12500-40000	650-12500	до 650
4	10	понад 75000	35000-75000	10000-35000	500-10000	до 500
10	25	понад 50000	30000-50000	7500-30000	400-7500	до 400
25	63	понад 30000	20000-30000	5000-20000	350-5000	до 350
63	160	понад 1000	600-1000	400-600	300-400	до 300
160	400	понад 600	400-600	300-400	250-300	до 250

Таблиця 7.14. Значення коефіцієнта K_{TK} , що враховує точність кованки

Клас точності кованки	Штампованої					Кованої	
	T1	T2	T3	T4	T5	1	2
K_{TK}	1,47	1,39	1,31	1,23	1,15	1,15	1,00

Таблиця 7.15. Значення коефіцієнта $K_{СК}$, що враховує конструктивно-технологічну складність кованок

Група складності кованки	Штампованої				Кованої				
	1	2	3	4	1	2	3	4	5
$K_{СК}$	1,00	1,14	1,27	1,43	0,87	0,99	1,11	1,24	1,37

Таблиця 7.16. Значення коефіцієнта $K_{МК}$, що враховує матеріал кованки

Матеріал	$K_{МК}$	Матеріал	$K_{МК}$
Сталь низьковуглецева	0,89	Сталь легколегована	1,14
конструкційна	1,00	легована	1,23
високовуглецева	1,08	високолегована	1,6-2,3
інструментальна	1,35	Алюмінієві стопи	0,86
вальницька	1,41	Мідні стопи	0,92

Таблиця 7.17. Значення коефіцієнта $K_{ПК}$, що враховує річне замовлення (групу серійності) кованки

Група серійності кованки	Штампованої					Кованої			
	1	2	3	4	5	1	2	3	4
$K_{ПК}$	1,09	1,15	1,21	1,27	1,33	1,00	1,10	1,20	1,30

Таблиця 7.18. Значення коефіцієнта $K_{БК}$, що враховує масу кованки

Маса кованки, кг		$K_{БК}$	
понад	до	Штампованої	Кованої
0	0,5	2,20	1,91
0,5	1,0	1,59	1,38
1,0	1,8	1,45	1,23
1,8	3,2	1,15	1,00
3,2	5,6	1,04	0,90
5,6	10	0,93	0,81
10	20	0,87	0,75
20	50	0,83	0,72

Маса кованки, кг		K_{BK}	
понад	до	Штампованої	Кованої
50	125	0,78	0,70
125	250	0,75	0,64
250	500		0,62
500	1000		0,71
1000	2000		0,68
2000	4000		0,66
4000	10000		0,64

У преїскурантах цін виливків і кованок є ескізи типових заготовок для кожної з груп конструктивної та технологічної складності, які полегшують визначення групи складності для заданої заготовки. У разі відсутності вказаних преїскурантів заготовки відносять до групи складності їх форми на основі наявного досвіду з урахуванням перелічених вище ознак.

Сталь відносять до легованої чи високолегованої залежно від суми легувальних елементів в ній: якщо ця сума не перевищує 10%, то сталь легована, а для більших значень – високолегована.

Аналогічно за відповідними преїскурантами розраховують *собівартість заготовок з пластмас або з металевих порошків*.

Собівартість комбінованих заготовок отриманих зварюванням складається з собівартості вихідних заготовок, підготовлених до зварювання, собівартості процесу зварювання і подальшої механічної та термічної обробки [18].

Річний економічний ефект E для порівнюваних способів отримання заготовок, при яких технологічний процес механічної обробки не змінюється, визначають за формулою:

$$E = (C_{31} - C_{32}) N,$$

де C_{31} , C_{32} – собівартості порівнюваних заготовок, грн; N – річна програма випуску заготовок, шт.

Слід пам'ятати, що собівартості заготовок, розраховані для кількох варіантів, дають уявлення про витрати на заготівельне виробництво. Проте порівняння цих витрат не відповідає на питання, чи є оптимальним обраний спосіб отримання заготовки. Для того щоб вирішити це питання, необхідно визначити, як обрана заготовка впливає на вартість механічної обробки. Заготовка буде оптимальною в тому варіанті, в якому мінімальна технологічна собівартість виробу (див. формулу 7.1).

Методи розрахунку вартості механічної обробки наведено у підручниках [3, 6, 18, 22].

7.3. Розрахунок собівартості готових деталей

Собівартість деталі дає більш повну картину взаємопов'язаних витрат на виробництво заготовки та її подальшу механічну обробку.

Технологічна собівартість механічної обробки $C_{м.т}$ заготовки визначається за нормативами виробничих витрат, що припадають на 1 годину роботи металорізального устаткування (аналогічно відповідній методиці визначення технологічної собівартості заготовки, див. п. 7.2.1):

$$C_{м.т} = \sum C_{год i} t_{шт i},$$

де $C_{год i}$ – норматив виробничих витрат, що припадають на 1 годину роботи устаткування, зайнятого на i -тій операції механічної обробки; $t_{шт i}$ – норма часу на i -ту операцію механічної обробки.

Нормативи витрат на 1 годину при обробці на металорізальних верстатах в реальних умовах визначають, виходячи з власних заводських даних. За відсутності таких даних можна скористатись середньостатистичними нормативами, наведеними у довідковій літературі.

Другий, укрупнений метод визначення собівартості механічної обробки зводиться до визначення витрат на перетворення в стружку припуску на механічну обробку даної заготовки

$$C_{м.т} = C_{стр} (G_з - G_д), \quad (7.5)$$

де $C_{стр}$ – витрати на механічну обробку, що припадають на 1 кг стружки.

Витрати на механічну обробку при знятті 1 тони стружки відповідно галузі машинобудування наведено у таблиці 7.19.

Таблиця 7.19. Витрати на механічну обробку, віднесені до 1 т стружки

Галузь машинобудування	Витрати на 1 т стружки, у.о.	
	поточні	капітальні
По машинобудуванню в цілому	4583	10046
Тяжке, енергетичне, транспортне	4334	9620
Верстатобудування й інструментальна промисловість	3296	9583
Автомобільне і сільськогосподарське машинобудування	1740	5240
Машинобудування для легкої та харчової промисловості	5212	9259
Інші галузі машинобудування	9815	20490

Одночасно витрати на механічну обробку дозволяють оцінити можливості інтенсифікації механічної обробки або зменшення її об'єму. Аналіз даних, наведе-

дених у табл. 7.19, вказує, що в галузях промисловості з високою питомою вагою автоматизованих і спеціальних верстатів витрати на 1 тону перетворюваного в стружку металу значно менші, ніж в середньому по машинобудуванню. Застосування прогресивних методів маловідходної технології в заготівельному виробництві та високопродуктивних способів механічної обробки (верстати з ЧПУ, робото-технічні комплекси, автоматичні лінії тощо) дозволяє знизити собівартість деталі в цілому.

Остаточне порівняння варіантів технологічних процесів виконують за *технологічною собівартістю деталі*, яка визначається як сума технологічних собівартостей заготовки і механічної обробки

$$C_{д.т} = C_{з.т} + C_{м.т} . \quad (7.6)$$

7.4. Приклади розрахунку собівартості заготовок

Приклад 1.

Завдання: визначити собівартість вилівка, зображеного на рис. 5.39. Матеріал деталі (рис. 5.38) – сталь 40ХЛ, маса деталі – 10,1 кг, маса литої заготовки – 13,8 кг, річна програма випуску – 500 шт.

Наближеним методом визначити собівартість механічної обробки та технологічну собівартість деталі.

Розв’язання.

Визначаємо собівартість вилівка за формулою (7.3):

$$C_3 = 0,001 [Ц_{бв} G_B K_{ТВ} K_{СВ} K_{МВ} K_{ПМВ} K_{СТ} - (G_B - G_D) Ц_{ВЛ}].$$

Знаходимо значення членів формули згідно з таблицями 7.2-7.10.

Базова ціна 1 тони заготовок згідно з табл. 7.3 для вилівоків, отриманих литтям у піщані форми, $Ц_{бв} = 2815$ у.о.

Коефіцієнт точності вилівка для 9 класу точності згідно з табл. 7.4 $K_{ТВ} = 1,00$.

Коефіцієнт конструктивно-технологічної складності вилівка для третьої групи, до якої належить даний вилівок, згідно з табл. 7.5 $K_{СВ} = 1,00$.

Коефіцієнт марки матеріалу вилівка для сталі 40ХЛ згідно з табл. 7.6 $K_{МВ} = 1,92$.

Згідно з табл. 7.7 базова товщина основних стінок вилівоків з легованої сталі становить 16 мм, що не перевищує товщин основних стінок вилівка. Тому коефіцієнт потоншення товщин основних стінок $K_{СТ} = 1,00$.

За масою виливка 13,8 кг для річного замовлення 500 шт. згідно з табл. 7.9 визначаємо 8 групу серійності, для якої згідно з табл. 7.10 знаходимо коефіцієнт групи серійності та маси виливка $K_{пв} = 1,18$.

Ціну відходів (стружки з легованої сталі) згідно з табл. 7.2 приймаємо $\Pi_{в} = 950$ у.о. за тону.

Підставивши отримані значення маємо

$$C_3 = 0,001 [2815 \cdot 13,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,92 \cdot 1,18 \cdot 1 - (13,8 - 10,1) \cdot 950] = 84,5 \text{ у.о.}$$

Витрати на механічну обробку, що припадають на 1 кг стружки, згідно з табл. 7.19 $C_{стр} = 4,583$ у.о. Тоді, витрати на механічну обробку виливка

$$C_{м.т} = 4,583 \cdot (13,8 - 10,1) = 16,96 \text{ у.о.}$$

Отже, технологічна собівартість деталі за формулою (7.6)

$$C_{д.т} = 84,5 + 16,96 = 101,46 \text{ у.о.}$$

Приклад 2.

Завдання: визначити собівартість штампованої заготовки для східчастого валу (рис. 6.58). Матеріал деталі (рис. 6.57) – сталь 15ХГН2ГА, маса деталі – 6,6 кг, маса кованки – 7,8 кг, річна програма випуску – 15000 шт. Штампувальне обладнання – ГKM. Клас точності поковки – Т5. Ступінь складності форми – С3.

Наближеним методом визначити собівартість механічної обробки та технологічну собівартість деталі.

Розв'язання.

Визначаємо собівартість кованки за формулою (7.4):

$$C_3 = 0,001 [\Pi_{бк} G_k K_{тк} K_{ск} K_{мк} K_{пк} K_{вк} - (G_k - G_d) \Pi_{в}].$$

Знаходимо значення членів формули згідно з таблицями 7.2, 7.11-7.18.

Базова ціна 1 тони заготовок згідно з табл. 7.11 для кованок, отриманих на ГKM, $\Pi_{бк} = 3392$ у.о.

Коефіцієнт точності кованок для класу Т5 згідно з табл. 7.14 $K_{тк} = 1,15$.

Коефіцієнт конструктивно-технологічної складності кованки згідно з табл. 7.15 для групи складності С3 $K_{ск} = 1,27$.

Коефіцієнт марки матеріалу згідно з табл. 7.16 для легованої сталі $K_{мк} = 1,23$.

За масою кованки 7,8 кг для річного замовлення 15000 шт. згідно з табл. 7.13 визначаємо 3 групу серійності, для якої згідно з табл. 7.17 знаходимо коефіцієнт програми річного замовлення (групи серійності) $K_{пк} = 1,21$.

Коефіцієнт маси кованки згідно з табл. 7.18 $K_{вк} = 0,93$.

Ціну відходів (стружки з легованої сталі) згідно з табл. 7.2 приймаємо $C_{\text{в}} = 950$ у.о. за тону.

Підставивши отримані значення маємо

$$C_3 = 0,001 [3392 \cdot 7,8 \cdot 1,15 \cdot 1,27 \cdot 1,23 \cdot 1,21 \cdot 0,93 - (7,8 - 6,6) \cdot 950] = 52,35 \text{ у.о.}$$

Витрати на механічну обробку, що припадають на 1 кг стружки, згідно з табл. 7.19 $C_{\text{стр}} = 4,583$ у.о. Тоді, витрати на механічну обробку виливка

$$C_{\text{м.т}} = 4,583 \cdot (7,8 - 6,6) = 5,5 \text{ у.о.}$$

Отже, технологічна собівартість деталі за формулою (7.6)

$$C_{\text{д.т}} = 52,35 + 5,5 = 57,85 \text{ у.о.}$$

7.5. Завдання для самостійного розв'язування

Завдання. Визначити собівартість заготовки відповідно даних таблиці 7.20.

Вартість технологічних процесів відокремлення, виправлення та калібрування для заготовок з прокату прийняти $C_{\text{від}} = 0,56$ у.о./шт.

Таблиця 7.20. Вихідні дані для самостійного завдання

Варіант	Вид заготовки	Маса деталі, кг	Маса заготовки, кг	Клас точності	Група складності	Матеріал	Програма річного замовлення, шт.
1	прокат	2,02	2,8	–	–	Бр А5	–
2	виливок	5,4	6,3	4	2	Ал2	45000
3	кованка	308	374	2	3	Ст.85	60
4	штампована кованка	3,3	4,5	2	1	Ст.75	120000
5	прокат	1,14	1,35	–	–	Ст. 15ХА	–
6	виливок	32,8	48,3	7т	4	ВЧ40	25000
7	кованка	68	95	1	2	Бр А9М2	350
8	штампована кованка	10,7	13,4	3	2	Бр 05Ц25	95000
9	прокат	4,1	5,6	–	–	Ст. 20	–
10	виливок	107,2	135,4	9	5	Ст.30Л	10000
11	кованка	510	611	2	1	Ст.20Х13	35
12	штампована кованка	26,1	30,8	4	3	Ст.38ХМГ	44000
13	виливок	256,3	284,2	13т	6	СЧ20	4000
14	кованка	1100	1350	2	3	Ст.40	20
15	штампована кованка	78,3	96,2	5	4	Ст.30ХМА	430

Список літератури

1. **Амиров, В.Д.** Технологичность конструкции изделия: Справочник [Текст] / Под ред. В.Д. Амирова. – М. : Машиностроение, 1990.– 768 с.
2. **Афонькин, М.Г.** Производство заготовок в машиностроении [Текст] / М.Г. Афонькин, М.В. Магницкая, – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1977. – 392 с.
3. **Афонькин, М.Г.** Производство заготовок в машиностроении. – 2-е изд., доп и перераб. [Текст] / М.Г. Афонькин, В.Б. Звягин, СПб.: Политехника, 2007.—380 с.: ил.
4. **Бирюков, С.Г.** Обоснование выбора заготовок для судового машиностроения с применением микроЭВМ: Учеб. пособие [Текст] / С.Г. Бирюков, Н.Н. Ивахненко, А.П Шумилов – Николаев: НКИ, 1991.– 36 с.
5. **Боженко, Л.І.** Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок: Підручник [Текст] / Л.І. Боженко – Львів: Світ, 1996.– 368 с.
6. **Горбацевич, А.Ф.** Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учеб. пособие [Текст] / А.Ф. Горбацевич, В.Н. Чеботарев, В.А. Шкред, И.Л. Алешкевич, А.И. Медведев; Под общ. ред. А.Ф. Горбацевича. – Минск: Вышэйш. школа, 1975.—288 с.
7. **ГОСТ 26645–85.** Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку [Текст] / – Введ. с 01.07.88.
8. **ГОСТ 7062–90.** Поковки из углеродистой и легированной стали, изготавливаемые ковкой на прессах. Припуски и допуски [Текст] / – Введ. с 01.01.92.
9. **ГОСТ 7505–89.** Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски [Текст] / Введ. с 01.07.90.
10. **ГОСТ 7829–70.** Поковки из углеродистой и легированной стали, изготавливаемые свободной ковкой на молотах. Припуски и допуски [Текст] / – Введ. с 01.01.71.
11. **Косилова, А.Г.** Справочник технолога-машиностроителя [Текст] / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. В 2 т. Т. 1. 4-е изд. М., 1985.– 656 с.
12. **Косилова, А.Г.** Точность обработки и припуски в машиностроении: Справочник технолога [Текст] / А.Г. Косилова, Р.К. Мещеряков, М.М.

- Калинин. – М.: Машиностроение, 1976.– 288 с.
13. **Могилев, В.К.** Справочник литейщика [Текст] / В.К. Могилев, О.И. Лев – М.: Машиностроение, 1988.– 272 с.
 14. **Моисеев, М.П.** Экономика технологичности конструкций [Текст] М.П. Моисеев– М.: Машиностроение, 1981.– 253 с.
 15. **ОСТ 3-1284–72** "Отливки. Конструктивные элементы" [Текст].
 16. **Радкевич, Я.М.** Расчет припусков и межпереходных размеров в машиностроении: Учеб. пособ. для машиностроит. спец. вузов [Текст] / Я.М. Радкевич, В.А. Тимирязев, А.Г. Схиртладзе, М.С. Островский; под ред. В.А. Тимирязева. – М.: Высш. шк., 2004.—272 с.
 17. **РТМ 12-60** "Элементы конструкции литых деталей" [Текст].
 18. **Руденко, П.А.** Проектирование и производство заготовок в машиностроении: Учеб. пособие [Текст] / П.А. Руденко, Ю.А. Харламов, В.М. Плескач; Под общ. ред. В.М. Плескача. – К.: Выща шк., 1991.– 247 с.
 19. **Смирнов, Е.Н.** Ковка и штамповка : Справочник: В 4 т [Текст] / Под ред. Е.Н. Смирнова, Г.А Навроцкого, А.Д. Матвеева – М.: Машиностроение, 1985–1987.
 20. **Соловйов, С.М.** Практикум з дисципліни «Теоретичні основи технології виготовлення деталей машин» : Навчальний посібник [Текст] / С.М. Соловйов, М.М. Івахненко, О.П. Шумілов, В.О. Бобошко, О.О. Козленко; Під заг. ред. проф. С.М. Соловйова. – Миколаїв: НУК, 2006. – 172 с.
 21. **Соловйов, С.М.** Розрахунки очікуваної точності при механічній обробці деталей на металорізальних верстатах: Навчальний посібник [Текст] / С.М. Соловйов, О.Л. Чупріков. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 136 с.
 22. **Соловьёв, С.Н.** Основы технологии судового машиностроения. – 3-е изд., перераб. и доп. [Текст] – СПб.: Судостроение, 1992.– 352 с.; ил.
 23. **Сологуб, М.А.** Технологія конструкційних матеріалів: Підручник [Текст] / М.А. Сологуб, І.О. Рожнецький, О.І. Некоз та ін.; За ред. М.А. Сологуба. – 2-ге вид., перероб. і допов. – К.: Вища шк., 2002.– 374 с.

Навчальне видання

ПОЛЩУК Віталій Анатолійович

**ПРОЕКТУВАННЯ ЗАГОТОВОК
У МАШИНОБУДУВАННІ**

Макетування А. Д. Літвінова

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 16,0. Тираж 100. Зам. № 109
Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025
E-mail: publishing@nuos.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2506 від 25.05.2006 р.