

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний технічний університет

В.М.Плескач, І.В.Акімов, О.А.Мітяєв

**ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ВИРОБНИЦТВА ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ
МАШИН**

Запоріжжя

2013

УДК 621:629.3.081(075.8)
ББК К5а73
П382

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як підручник для студентів машинобудівних спеціальностей вищих навчальних закладів (лист Міністерства освіти і науки №1/11-6819 від 09.04.2013 р.)

Рецензенти: доктор техн. наук, проф. Калініна Н.Є. (ДНУ ім. Гончара)
доктор техн. наук, проф. Вакуленко І.О. (ДНУЗТ ім. ак. Лазаряна)
кандидат техн. наук, доц. Кюрчев С.В. (ТДАТУ)

Плескач В.М., Акімов І.В., Мітяєв О.А.

Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин: Підручник/ за заг. ред. доц. В.М. Плескача. – Запоріжжя: Просвіта, 2013. – 372 с., іл. 146

Розглянуті методи виробництва заготовок способами лиття, оброблення тиском, зварювання, порошкової металургії; їхні можливості та області застосування. Описано обладнання, яке при цьому використовується. Приділено увагу проектуванню заготовок з урахуванням як можливостей заготівельного виробництва, так і вимог наступного оброблення заготовок різанням. Також розглядаються способи техніко-економічного обґрунтування рішень, які приймаються під час вибору оптимального методу виробництва заготовок деталей машин.

Для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальністю "Технологія машинобудування", а також може бути корисним для студентів спеціальностей "Металорізальні верстати і системи", "Технологія авіаційного двигунобудування" і для інженерно-технічних працівників машинобудівних підприємств.

УДК 621:629.3.081(075.8)
ББК К5а73

© Плескач В.М., Акімов І.В., Мітяєв О.А., 2013
© Запорізький національний технічний університет, 2013
"Просвіта", 2013

ISBN 978-966-653-360-2

ЗМІСТ

Вступ	3
1 Основні поняття про заготовки та їхні характеристики.....	11
1.1 Заготовка. Основні поняття і визначення.....	11
1.2 Найважливіші характеристики заготовок.....	12
1.2.1 Форма і розміри заготовки.....	12
1.2.2 Конструкційний матеріал заготовки.....	13
1.2.3 Якість заготовок.....	14
1.3 Напуски, припуски. Номінальний розмір заготовки.....	16
1.4 Технологічність заготовок.....	19
1.5 Забезпечення технологічності заготовок на стадії проектування.....	23
2 Організація заготівельного виробництва.....	26
2.1 Заготівельні цехи	26
2.2 Типи виробництв.....	29
2.3 Форми організації заготівельного виробництва	31
2.4 Роль технологічної підготовки виробництва.....	33
2.5 Основні способи виробництва заготовок	34
3 Виробництво литих заготовок.....	39
3.1 Технологічні можливості основних способів лиття та області їх використання.....	39
3.2 Ливарні властивості сплавів та їхній вплив на технологію виготовлення і якість заготовок.....	48
3.3 Механічні властивості виливків.....	52
3.4 Галузі раціонального застосування ливарних сплавів.....	54
3.5 Формування литої заготовки.....	56
3.5.1 Аналіз вихідних даних до формування литої заготовки	56
3.5.2 Обрання способу лиття	59

3.5.3 Характеристика виливків за складністю, точністю і рядом припусків	61
3.5.4 Вибір положення виливка у формі	62
3.5.5 Визначення конструктивної форми і розмірів виливка	64
3.5.6 Оформлення креслення литої заготовки	80
3.6 Забезпечення технологічності виливків.....	84
3.7 Підготовка литих заготовок до оброблення різанням.....	92
3.8 Приклад вибору технології виготовлення литої заготовки.....	94
4 Виробництво заготовок обробленням металів тиском.....	100
4.1 Роль методів оброблення металів тиском у виробництві заготовок.....	100
4.2 Зміна властивостей заготовки при виготовленні її обробленням тиском.....	103
4.3 Виробництво машинобудівних профілей.....	106
4.3.1 Виробництво машинобудівних профілей прокатуванням.....	106
4.3.2 Наближення конфігурації машинобудівних профілей до конфігурації деталі.....	109
4.3.3 Прокатування штучних заготовок.....	112
4.3.4 Пресування машинобудівних профілей.....	118
4.3.5 Виробництво машинобудівних профілей волочінням.....	119
4.3.6 Виробництво штучних заготовок різанням машинобудівних профілей	121
4.4 Виробництво кованих заготовок	128
4.4.1 Особливості виробництва кованих заготовок.....	128
4.4.2 Класифікація кованих заготовок.....	131
4.4.3 Формування кованої заготовки.....	132
4.4.4 Вибір технологічного обладнання для кування.....	137
4.5 Виробництво заготовок об'ємним штампуванням.....	140
4.5.1 Загальна характеристика об'ємного штампування.....	140

4.5.2 Технологічні особливості використання штампувального обладнання.....	140
4.5.3 Класифікація штампованих поковок.....	150
4.5.4 Формування штампованої поковки.....	153
4.5.5. Оформлення креслення штампованої поковки	167
4.5.6 Забезпечення технологічності штампованої поковки.....	170
4.5.7 Підготовка штампованих поковок до оброблення різанням.....	173
4.5.8 Вплив способу штампування на якість і собівартість штампованої поковки.....	177
4.5.9 Приклад вибору технології виробництва штампованої поковки.....	178
4.5.10 Вибір технологічного обладнання для штампування.....	180
4.5.11 Особливості холодного об'ємного штампування.....	183
4.5.12 Заготовки, які виготовляються холодним об'ємним штампуванням.....	185
4.6 Виробництво заготовок листовим штампуванням	187
4.6.1 Особливості листового штампування.....	187
4.6.2 Правила розкрюювання листових заготовок.....	189
4.6.3 Формування заготовки при листовому штампуванні.....	192
5 Виробництво зварних і комбінованих заготовок.....	199
5.1 Загальна характеристика зварювання	199
5.2 Зварні та комбіновані заготовки; їх застосування у машинобудуванні.....	199
5.2.1 Класифікація зварних заготовок.....	199
5.2.2 Види зварних і комбінованих заготовок.....	201
5.3 Технологічні особливості основних способів зварювання.....	209
5.4 Формування зварної заготовки.....	214
5.5 Технологічність зварних і комбінованих заготовок.....	218
5.5.1 Зварність металів	218

5.5.2	Забезпечення технологічності зварних і комбінованих заготовок.....	221
5.6	Підготовка зварних заготовок до оброблення різанням.....	230
5.7	Приклад вибору технології виготовлення зварної заготовки.....	232
6	Заготовки, які виготовляються методами порошкової металургії.....	235
6.1	Суть і можливості порошкової металургії.....	235
6.2	Якість заготовок, виготовлених методами порошкової металургії.....	241
6.3	Формування заготовок з порошкових матеріалів.....	244
6.4	Техніко-економічна ефективність застосування заготовок з порошкових матеріалів.....	247
7	Заготовки з пластмас.....	253
7.1	Пластмаси, їхні властивості та області застосування.....	253
7.2	Способи виготовлення заготовок з пластмас.....	255
7.3	Формування пластмасових заготовок.....	260
7.4	Якість заготовок з пластмас.....	269
8	Вибір технології виробництва заготовок.....	272
8.1	Основні принципи вибору технології виробництва заготовок.....	272
8.2	Чинники, що впливають на вибір технології виробництва заготовок.....	273
8.2.1	Форма і розміри заготовки.....	273
8.2.2	Вимоги до точності розмірів та якості поверхневого шару заготовок.....	274
8.2.3	Технологічні властивості матеріалу заготовки.....	275
8.2.4	Розмір програми виробництва заготовок.....	276
8.2.5	Виробничі можливості підприємства.....	279
8.2.6	Тривалість технологічної підготовки виробництва.....	279
8.2.7	Можливості механізації та автоматизації технологічних процесів виробництва заготовок.....	280

8.2.8 Вимоги до заготовки з точки зору подальшого механічного оброблення.....	285
8.3 Методика вибору оптимальної технології виробництва заготовок.....	288
9 Техніко-економічне обґрунтування вибору технології виробництва заготовок.....	291
9.1 Способи техніко-економічного оцінювання методів виробництва заготовок.....	291
9.2 Оцінювання методів виробництва заготовок за собівартістю.....	292
9.3 Методи розрахунку собівартості заготовок.....	296
9.4 Оцінювання методів виробництва заготовок за коефіцієнтом використання матеріалу.....	299
10. Шляхи підвищення ефективності заготівельного виробництва.....	302
10.1. Підвищення серійності виробництва заготовок	302
10.2. Типізація технологічних процесів	303
10.3. Групова технологія виробництва заготовок	305
10.4. Економія матеріалів	308
10.5. Зменшення витрат на ливарне і штампувальне оснащення	310
10.6 Застосування роботів у заготівельному виробництві.....	313
11 Виробництво заготовок типових деталей машин.....	317
11.1 Заготовки корпусних деталей.....	317
11.2 Заготовки станин.....	320
11.3 Заготовки валів, осей та шпинделів.....	322
11.4 Заготовки втулок.....	325
11.5 Заготовки зубчастих і черв'ячних коліс.....	327
11.6 Заготовки шківів і маховиків.....	330
11.7 Заготовки важелів та вилок.....	331
11.8 Заготовки колінчастих валів.....	333
11.9 Заготовки компресорних і турбінних лопаток ГТД.....	335

11.10 Заготовки турбінних дисків ГТД.....	339
Додатки.....	342
<i>Додаток 1.</i> Порівняльна характеристика способів лиття	342
<i>Додаток 2.</i> Класифікація виливків за групою складності.....	344
<i>Додаток 3.</i> Класи точності розмірів виливків.....	347
<i>Додаток 4.</i> Ряди припусків для оброблення виливків.....	349
<i>Додаток 5.</i> Допуски лінійних розмірів виливків.....	350
<i>Додаток 6.</i> Загальні припуски для виливків (витяг з ГОСТ 26645-85).....	351
<i>Додаток 7.</i> Класифікація кованих поковок за конструктивно- технологічною складністю.....	355
<i>Додаток 8.</i> Припуски і гранично допустимі відхилення поковок, що виготовляються куванням на молотах, мм.....	357
<i>Додаток 9.</i> Додаткові припуски для поковок з виступами, які виготовляють куванням на молотах, мм.....	358
<i>Додаток 10.</i> Номограма для визначення вихідного індексу штампованої заготовки.....	358
<i>Додаток 11.</i> Основні припуски на механічне оброблення штампованих поковок (на бік), мм.....	359
<i>Додаток 12.</i> Додаткові припуски, які враховують зміщення половинок штампів у площині розніму (на бік), мм.....	360
<i>Додаток 13.</i> Додаткові припуски, які враховують зігнутість і відхилення від площинності та прямолінійності (на бік), мм.....	360
<i>Додаток 14.</i> Допуски і гранично допустимі відхилення лінійних розмірів штампованих поковок, мм.....	361
Бібліографічний опис.....	363
Предметний покажчик.....	366

ВСТУП

Навчальна дисципліна "Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин" передбачає знання студентом машинобудівного креслення, фізики, технології конструкційних матеріалів та матеріалознавства, основ взаємозамінності. Вона передує вивченню однієї з основних дисциплін за фахом – "Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин".

Виготовлення деталей машин починається з виробництва заготовок у заготівельних цехах та дільницях. Це один з відповідальних етапів машинобудівного виробництва, від якого значною мірою залежать якість виробів, витрати матеріалів, трудомісткість і собівартість. Розробляючи технологію виготовлення машин і приладів, сучасний інженер-технолог повинен добре володіти методами виробництва заготовок, знати основні правила їх проектування для різних видів заготівельних виробництв. Вибираючи заготовку для майбутнього оброблення різанням, технолог повинен усвідомлювати можливості і труднощі заготівельних технологій. Вибір технологічного метода виробництва заготовок завжди орієнтований на технологічні можливості виробництва, а останні - на рівень розвитку науки і техніки. Тому при підготовці інженера-машинобудівника переважна увага повинна приділятися знанням сучасної технології виробництва.

Сучасні виробничі технології тісно пов'язані з упровадженням у виробництво нових конструкційних матеріалів та обладання з числовим програмним керуванням; з механізацією і автоматизацією допоміжних робіт та створенням робототехнічних комплексів; з широким використанням обчислювальної техніки. Саме таким методам виробництва заготовок деталей машин та їх оптимальному використанню і присвячений цей підручник.

Підручник написаний згідно з Освітньо-професійною програмою підготовки бакалаврів за напрямом підготовки 6.050502 "Інженерна механіка", затвердженою Міністерством освіти і науки України у 2010 р.

У підручнику значно розширено матеріали, які необхідні не лише для вивчення дисципліни, а й для практичного використання знань цього курсу. Наприклад, для виготовлення креслень у курсових і дипломних проектах з технології машинобудування, а також для розв'язання практичних інженерних задач. Значне місце приділено економічному обґрунтуванню рішень, які приймаються при виборі технологічного метода виробництва заготовки та при проектуванні її.

1 Основні поняття про заготовки та їхні характеристики

1.1 Заготовка. Основні поняття і визначення

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

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

Використання тієї чи іншої заготовки залежить від багатьох причин, зокрема від типу виробництва. В одиничному виробництві часто для виготовлення заготовок застосовують кування. Цей спосіб не має альтернатив для виготовлення заготовок масою 200...300 тонн. Об'ємне штампування дозволяє отримати поковки складнішої конфігурації. Холодноштамповані поковки не поступаються за якістю виливкам, виготовленим спеціальними методами лиття і часто потребують мінімального подальшого оброблення.

У масовому та крупносерійному виробництвах широко застосовуються профілі, що виготовляються прокатуванням, пресуванням, волочінням, вальцюванням тощо. Ці способи дають можливість отримувати заготовки з високою якістю металу, низькою собівартістю, з мінімальними припусками на механічне оброблення, а деколи обходитися й зовсім без нього.

Значну кількість заготовок формують шляхом різання сортового та спеціального прокату за допомогою різного роду пил, ножиць, різаків тощо.

1.2 Найважливіші характеристики заготовок

1.2.1 Форма і розміри заготовки

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

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

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

Отже, форма і розміри – дуже важливі характеристики заготовки, які значною мірою визначають як технологію її виготовлення, так і наступного механічного оброблення.

1.2.2 Конструкційний матеріал заготовки

Роль конструкційного матеріалу в технологічному процесі виготовлення деталей машин надзвичайно велика. З одного боку, конструкційний матеріал повинен забезпечити виготовлення заготовок і деталей з найменшими виробничими витратами. Питома вага вартості матеріалів у собівартості машинобудівної продукції порівняно висока (наприклад, у верстатобудуванні вона становить 60 % загальної вартості, при виготовленні локомотивів і вагонів - 70...75%) і має тенденцію до збільшення. З іншого боку, правильний вибір конструкційного матеріалу повинен забезпечити деталі високі експлуатаційні властивості: довговічність, ремонтпридатність тощо.

При виборі конструкційного матеріалу необхідно враховувати його експлуатаційні, технологічні і економічні властивості.

Експлуатаційні властивості матеріалу повинні забезпечити деталі надійне виконання своїх функцій. З цього погляду вибір матеріалу робиться на основі розрахунків, експериментів або досвіду експлуатації аналогічних деталей. Дані щодо вибору марок матеріалу для виготовлення деталей, які працюють у певних умовах, звичайно наводяться у довідниках.

Технологічні властивості (технологічна пластичність, ливарні властивості, зварність, придатність до оброблення різанням та ін.) – важливий фактор, який визначає можливість і ефективність обраної технології. Проектуючи деталь, конструктор повинен з самого початку уявляти, як її будуть виготовляти, починаючи від виробництва заготовки і закінчуючи фінішним обробленням.

Технологічні властивості матеріалу можуть заздалегідь визначити подальшу технологію виготовлення заготовок. Наприклад, якщо станина верстата виготовляється з сірою чавуну, то заготовку можна одержати лише литтям. Чавун не можна обробляти тиском. Він практично не зварюється (принаймні, при створенні нових конструкцій) і майже не допускає ремонту наплавленням. Литі заготовки станин потребують додаткового термічного оброблення (природне старіння, неповне відпалювання та ін.) для стабілізації форми та розмірів.

Економічна ефективність конструкційного матеріалу може бути оцінена за його вартістю і дефіцитністю. На вибір матеріалу істотно впливає економічність методів виготовлення з нього заготовок та їхнього подальшого оброблення, що залежить головним чином від його технологічних властивостей. Крім того, при сучасній тенденції все ширше застосовувати якісніші, а отже, й дорожчі матеріали, необхідно враховувати, як їх використання вплине на зниження маси та собівартості деталі в цілому, на збільшення строку її експлуатації та ремонтпридатність.

1.2.3 Якість заготовок

Якість заготовок оцінюється наявністю чи відсутністю у них дефектів, точністю та якістю поверхневого шару. Технологічні процеси заготівельного виробництва не повинні допускати виникнення дефектів і повинні передбачати методи контролю для їх своєчасного виявлення та усунення. З точки зору виготовлення і подальшого оброблення заготовки найважливішими характеристиками її якості є точність заготовки та якість поверхневого шару.

Під *точністю заготовки* розуміють її відповідність до вимог креслення і технічних умов на її виготовлення. Відхилення реальної заготовки від вимог креслення (або еталону) називається похибкою. Похибки неминучі на всіх етапах виготовлення заготовки.

Точність заготовки характеризується як геометричними параметрами, так і фізико-механічними властивостями. До першої групи відносяться відхилення форми і розмірів поверхонь заготовок, а також їх взаємного розташування; до другої – відповідність механічних властивостей (міцності, твердості, пластичності та ін.) заданим кресленням, стабільність хімічного складу і структури матеріалу заготовок в усій виготовленій партії. Друга група забезпечується правильним вибором матеріалу і стабільністю технології виготовлення заготовок.

Для кожного методу виготовлення заготовок розрізняють можливу і економічну точність. Точність, яка може бути досягнута на даному етапі виробництва висококваліфікованим робітником у найсприятливіших умовах, називається *можливою*. *Економічна точність* досягається при даному технологічному методі у нормальних умовах виробництва. При проектуванні технологічних процесів технолог повинен орієнтуватися на середньоекономічну точність, яка подається у довідковій літературі [23].

Якість поверхневого шару заготовки – це сукупність усіх службових властивостей поверхневого шару, яка формується в результаті впливу на нього одного або кількох послідовно застосованих технологічних процесів. Поверхневий шар заготовки якісно відрізняється від матеріалу осердя заготовки.

Якість поверхневого шару характеризують дві групи параметрів: геометричні (хвилястість, шорсткість, сумбікронерівність) та фізико-механічні (хімічний склад; мікроструктура; мікротвердість; величина, знак і глибина поширення залишкових напружень тощо).

Якість поверхневого шару визначається властивостями матеріалу і технологією виготовлення заготовки. Наприклад, внаслідок гарячого штампування на поверхні заготовки з'являється окалина. Шорсткість поверхні заготовки, виготовленої холодним штампуванням, значно нижча, ніж заготовки, виготовленої гарячим штампуванням, але її поверхневий шар

має наклеп. Якщо заготовка піддавалася хіміко-термічному обробленню, її поверхневий шар має інший хімічний склад і структуру, ніж осердя.

Геометричні параметри якості поверхневого шару і точність заготовки у певному розумінні взаємопов'язані. Наприклад, якщо заготовку одержують литтям у піщані форми, то макро- і мікронерівності поверхні не дозволяють одержати високу точність розмірів. Обираючи вид заготовки і технологію її виробництва, необхідно знати, які точність розмірів і якість поверхневого шару заготовки можуть бути досягнуті при цьому.

1.3 Напуски, припуски. Номінальний розмір заготовки

Заготовка ані за формою, ані за розмірами ніколи точно не співпадає з готовою деталлю. В одних випадках способи виготовлення заготовки не можуть забезпечити потрібні за кресленням деталі точність розмірів і якість поверхневого шару. В інших наявними технологічними способами виробництва заготовок не можна забезпечити потрібної якості або конфігурації деталі з технологічних причин або за економічною недоцільністю (дорожнечою). Тому заготовка відрізняється від готової деталі за рахунок припусків і напусків.

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

На величину припуску впливають: матеріал і розміри деталі, вид заготовки і спосіб її отримання, точність розмірів і чистота поверхонь, а також передбачена технологія механічного оброблення їх, наявність (або

відсутність) термічного оброблення, тип виробництва та ін. Припуск вимірюється по нормалі до поверхні, яка розглядається.

Величина припуску істотно впливає на собівартість виготовлення деталі. Завищений припуск збільшує витрати праці, матеріалу, різального інструменту і електроенергії. Занижений припуск вимагає застосування коштовніших способів виготовлення заготовки, ускладнює встановлення заготовки на верстаті, вимагає вищої кваліфікації робітників. Крім того, він часто є причиною браку при механічному обробленні. Тому призначений припуск повинен бути оптимальним для даних умов виробництва.

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

***Напуск** - це надлишок металу на поверхні заготовки (понад припуск), обумовлений технологічними вимогами спростити конфігурацію заготовки для полегшення умов її виготовлення. Залежно від конкретного способу виготовлення заготовки та конфігурації деталі напуск може визначатися за досвідом, за допомогою довідників або розрахунком. У більшості випадків напуск видаляється механічним обробленням, рідше залишається у виробі (штампувальні нахили, збільшені радіуси заокруглень та ін.).*

На рис. 1.1 показаний приклад можливого розташування напуску (на отвір) та припусків (на зовнішні поверхні деталі) для заготовки-поковки.

Новий номінальний розмір заготовки визначається залежно від розміру деталі, припусків та взаємного розташування поверхонь, які зв'язує той чи інший розмір. Припуск z_0 звичайно призначається на бік деталі. Тому якщо йдеться про зовнішній (охоплюваний) номінальний розмір деталі ($d_{дi}$, $l_{дi}$, рис 1.2), то розмір відповідних поверхонь заготовки ($d_{зi}$, $l_{зi}$) збільшується:

$$d_{3i} = d_{ди} + 2z_0; \quad (1.1)$$

$$l_{3i} = l_{ди} + 2z_0. \quad (1.2)$$

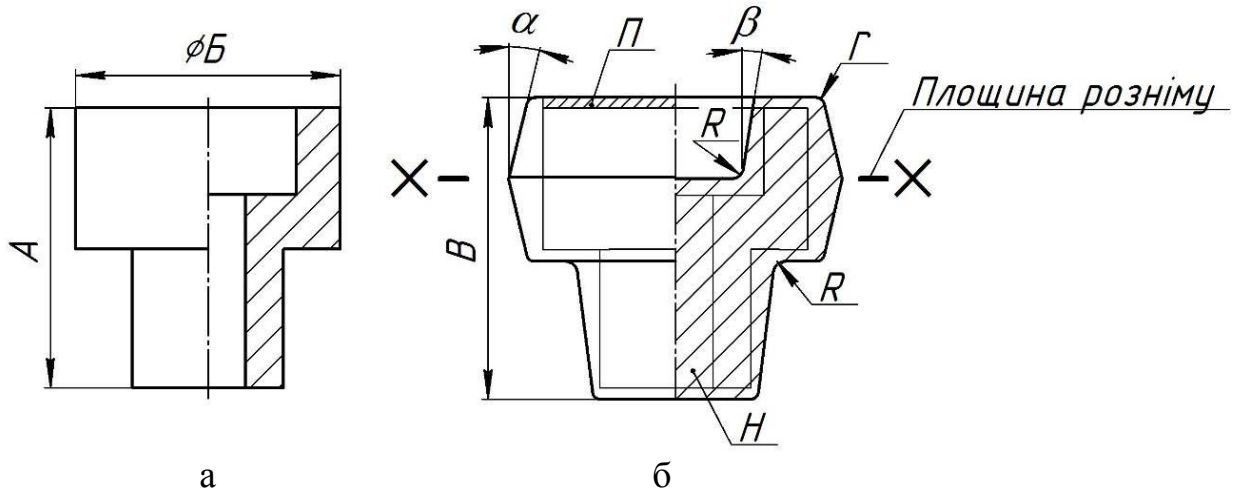


Рис. 1.1 Креслення деталі (а) і поковки (б):

A , ϕB – розміри деталі; B – розмір поковки; $П$ – припуск на механічне оброблення; H – напуск; α і β – кути зовнішніх та внутрішніх штампувальних нахилів; R і r – внутрішні і зовнішні радіуси заокруглення

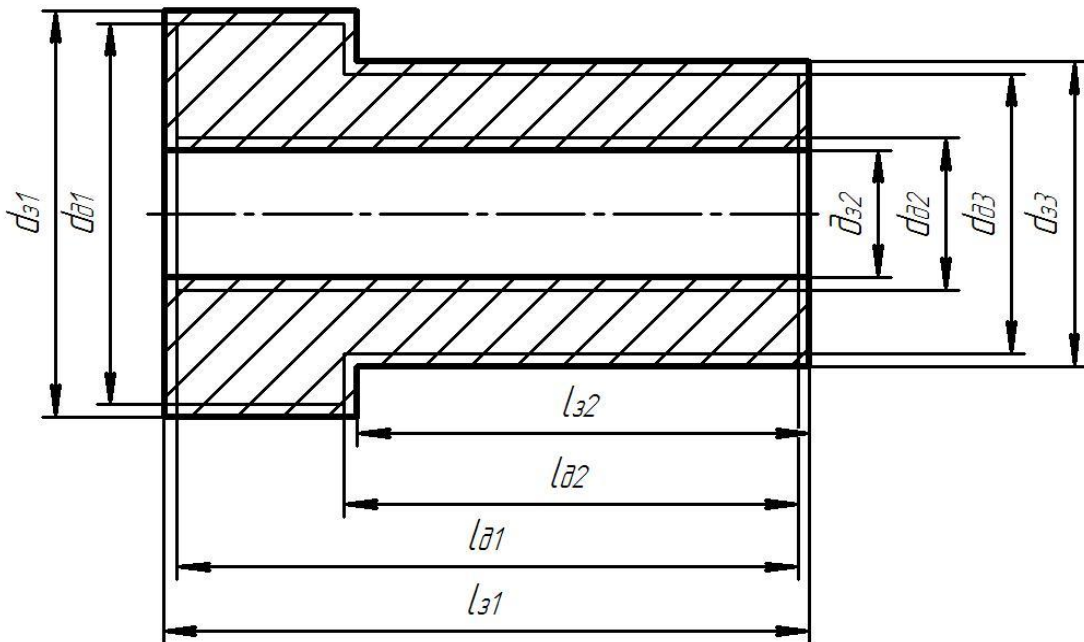


Рис. 1.2 Взаємне розташування поверхонь і номінальних розмірів деталі $d_{ди}$, $l_{ди}$ та заготовки d_{3i} , l_{3i}

Номинальний розмір внутрішньої (охоплювальної) поверхні заготовки за рахунок припуску зменшується:

$$d_{32} = d_{д2} - 2z_0. \quad (1.3)$$

У випадках, коли визначається розмір між уступами заготовки, його величина практично не змінюється ($l_{32} \approx l_{д2}$, рис. 1.2), оскільки припуски лише зміщують відповідні поверхні заготовки в один бік.

1.4 Технологічність заготовок

Технологічність виробу – це сукупність властивостей його конструкції, яка визначає її пристосованість до досягнення мінімальних витрат при виробництві, експлуатації та ремонті для заданих показників якості, обсягу випуску та умов виконання робіт.

Будь-який виріб повинен бути технологічно раціональним для заданих умов виробництва. Тому відпрацювання на технологічність обов'язкове на всіх стадіях його виготовлення.

Питання технологічності повинні вирішуватися комплексно, починаючи зі стадії проектування заготовки та вибору методу її виготовлення і закінчуючи процесом механічного оброблення і складання всього виробу. Відпрацьована на технологічність заготовка не повинна ускладнювати подальше механічне оброблення. Технологічність, як правило, закладається на стадії проектування, тому від конструктора вимагається високий рівень його технологічної підготовки.

Технологічність – поняття відносне. Конструкція заготовки може бути технологічною при одному типі виробництва і зовсім нетехнологічною при іншому. Технологічність залежить також від виробничих можливостей даного підприємства. Розвиток виробничої бази підприємства (наприклад,

впровадження верстатів з ЧПК, автоматизованого обладання) змінює вимоги до технологічності.

Порядок і правила забезпечення технологічності встановлюються державними стандартами. Сучасні тенденції полягають у тому, що відпрацювання конструкції на технологічність все більшою мірою зміщується на стадію розроблення конструкторської документації. Це вимагає ділового і творчого співробітництва конструкторів і технологів як при виборі виду заготовки, так і при проектуванні технології її подальшого оброблення.

Розрізняють *показники технологічності* двох видів: якісні і кількісні.

Якісну оцінку ("добре – погано", "допустимо – недопустимо") дають шляхом порівняння двох чи більше варіантів заготовок. Критерієм у цьому випадку є довідкові дані та досвід технолога і конструктора. Звичайно така оцінка проходить на стадії ескізного проектування і завжди передує кількісній оцінці.

Кількісні показники дають можливість об'єктивно і досить точно оцінити технологічність порівнюваних заготовок (деталей). Вибір показників залежить від призначення заготовки або деталі, типу виробництва і умов експлуатації. У кожному випадку обирають свої, найхарактерніші показники. Стосовно заготовок найчастіше у ролі показників технологічності використовують трудомісткість виготовлення, технологічну собівартість і коефіцієнт використання матеріалу.

Трудомісткість виготовлення заготовки – це сумарні витрати часу на виробництво заготовки за всіма технологічними операціями. Складові норми часу на виконання робіт за окремими операціями наводяться у відповідних довідниках.

На ранніх стадіях проектування застосовують наближені методи оцінки трудомісткості. Наприклад, "за масою" трудомісткість оцінюється за

відомою трудомісткістю типової заготовки, аналогічної за формою, точністю і технологією виготовлення:

$$T_{\text{пр}} = T_{\text{тип}} \sqrt[3]{\left(\frac{M_{\text{пр}}}{M_{\text{тип}}}\right)^2}, \quad (1.4)$$

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

Для оцінки технологічності використовують також *відношення* трудомісткості механічного оброблення заготовки $T_{\text{мех}}$ до трудомісткості її виготовлення $T_{\text{заг}}$. Чим менше відношення $T_{\text{мех}} / T_{\text{заг}}$, тим технологічніша заготовка, оскільки зменшується обсяг механічного оброблення. Відношення $T_{\text{мех}} / T_{\text{заг}}$ залежить також від типу виробництва (зокрема, для одиничного виробництва воно максимальне).

Технологічна собівартість – це виражена у грошовій формі сукупність матеріальних і трудових витрат, пов'язаних безпосередньо з виробництвом замовленого обсягу продукції. До них входять вартість основного матеріалу, зарплата виробничих робітників, витрати на утримання та експлуатацію обладнання, а також витрати на енергію, виготовлення і ремонт оснащення тощо.

Усі елементи собівартості взаємопов'язані. Наприклад, зміна виду заготовки викликає зміну витрат на механічне оброблення. Зміна конструкційного матеріалу може викликати зміну виду заготовки і номенклатури технологічного обладнання. Із порівнюваних варіантів обирають той, для якого технологічна собівартість мінімальна незалежно від окремих її складників.

Коефіцієнт використання матеріалу - це безрозмірна величина, яка визначається відношенням маси виробу до маси використаного матеріалу:

$$K_{\text{вм}} = \frac{M_{\text{д}}}{M_{\text{в.м}}}, \quad (1.5)$$

де $M_{\text{д}}$ – маса готової деталі; $M_{\text{в.м}}$ – загальна маса всього використаного матеріалу, що включає масу литників, облою, окалини, браку і т.п.

Загальну масу використаного матеріалу, $M_{\text{в.м}}$, кг, (на одну деталь) можна розрахувати за такою формулою:

$$M_{\text{в.м}} = M_{\text{д}} + M_{\text{т.в}} + M_{\text{з.в}}, \quad (1.6)$$

де $M_{\text{д}}$ – маса готової деталі; $M_{\text{т.в}}$ – маса технологічного відходу; $M_{\text{з.в}}$ – маса заготівельного відходу.

Масу готової деталі $M_{\text{д}}$ можна розрахувати за формулами на основі даних креслення або безпосереднього обмірювання, а у випадку особливо складної конфігурації деталі – контрольним зважуванням зразка.

Маса технологічного відходу $M_{\text{т.в}}$ – це неминучі для даного виробництва витрати матеріалу у вигляді припусків і напусків, які знімаються при обробленні заготовки різанням. Маса заготівельного відходу $M_{\text{з.в}}$ – це технологічні витрати матеріалу на угар, облой, надливи, литникову систему тощо. Повний обсяг відходів знаходиться у прямій залежності від типу виробництва і зменшується з удосконаленням технологічних процесів та застосуванням прогресивних методів оброблення.

Коефіцієнт використання матеріалу можна розглядати як:

$$K_{\text{в.м}} = K_{\text{в.п}} \cdot K_{\text{в.т}}, \quad (1.7)$$

де $K_{\text{в.п}}$ – коефіцієнт виходу придатного; $K_{\text{в.т}}$ – коефіцієнт вагової точності.

$$K_{в.п} = \frac{M_3}{M_{в.м}}, \quad (1.8)$$

де M_3 - маса заготовки.

Коефіцієнт виходу придатного характеризує ефективність заготівельного виробництва. Чим він вище, тим менше відходів існує при виготовленні заготовки.

$$K_{в.т} = \frac{M_d}{M_3}, \quad (1.9)$$

Коефіцієнт вагової точності характеризує ефективність механічного оброблення заготовки. Чим він вище, тим менше обсяг оброблення заготовок різанням і тим менше стружки.

За інших рівних умов виробництва вигідніші високі значення $K_{в.м}$.

1.5 Забезпечення технологічності заготовок на стадії проектування

Забезпечення технологічності заготовок повинне вирішуватися з урахуванням взаємодії всіх служб заводу (конструктори, технологи, робітники технічного постачання тощо) і конкретних виробничих умов (наявність на заводі певного обладання, матеріалів, виробничих площ). Способи підвищення технологічності значною мірою залежать від типу виробництва, обсягу партії, виду заготовки та інших факторів. Тому далі наводяться лише деякі рекомендації щодо підвищення технологічності заготовок.

1. Бажано, щоб контур заготовки становив поєднання найпростіших геометричних форм.

2. Форма і розміри окремих елементів заготовки (галтелі, нахили радіуси заокруглень та ін.) повинні бути уніфіковані.

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

4. Бажано максимально використовувати способи виготовлення заготовок, які не потребують наступного зняття стружки (рис. 1.3).

5. При неможливості обійтися без механічного оброблення необхідно намагатися максимально зменшити його обсяг за рахунок зменшення кількості і довжини оброблюваних поверхонь (рис. 1.4).

6. Якщо конструкція суцільної деталі складна, вона повинна допускати можливість її виготовлення з двох або більше частин (рис. 1.5).

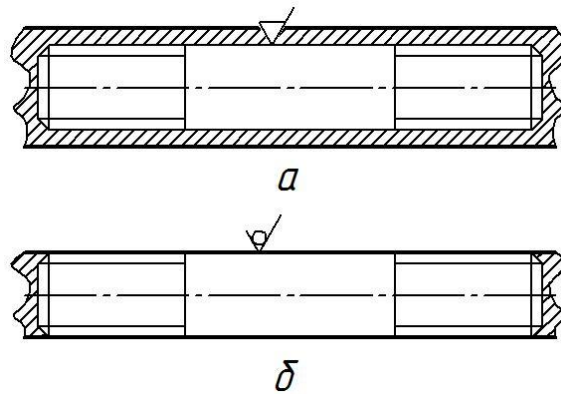


Рис.1.3. Шпилька, виготовлена обробленням різанням (а) і накочуванням (б)

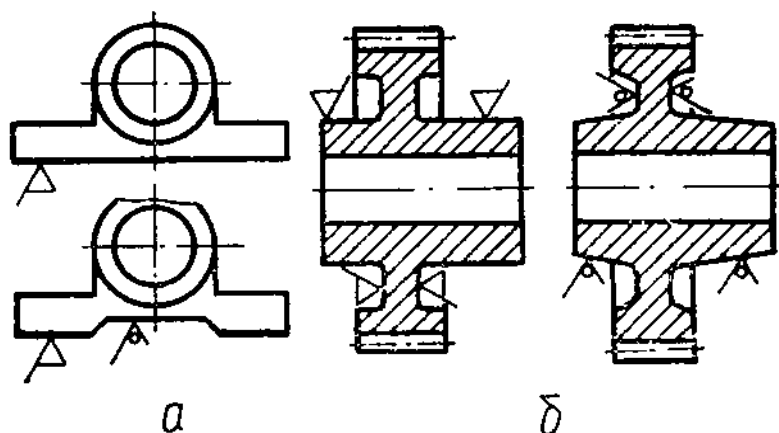


Рис.1.4. Приклади зменшення обсягу механічного оброблення за рахунок зменшення довжини оброблюваних поверхонь (а) та їх кількості (б)

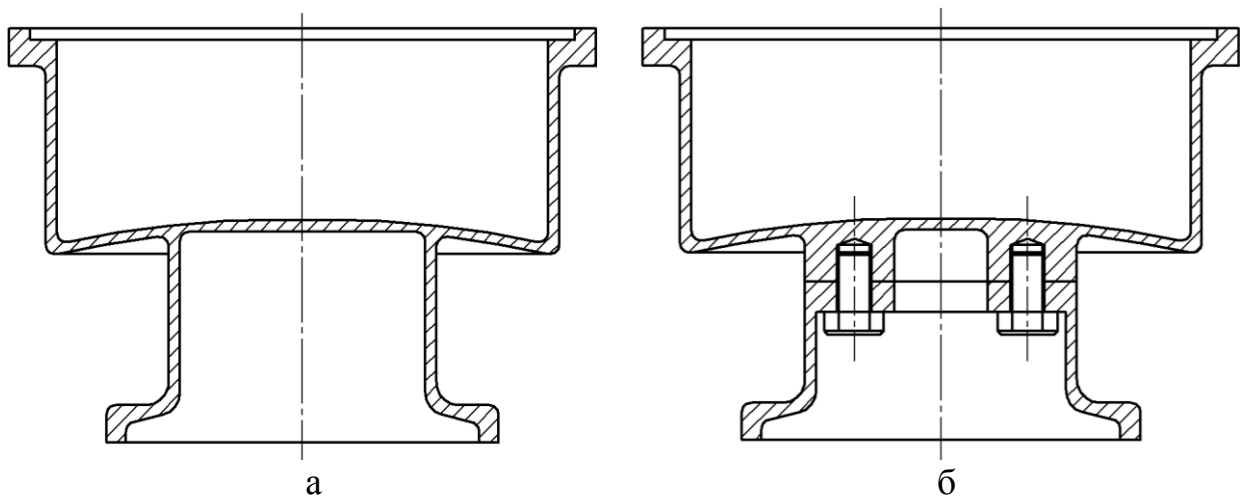


Рис.1.5. Конструкція суцільної (а) і складеної (б) деталі

Контрольні запитання

1. Що називається заготовкою? Як класифікують заготовки?
2. Що таке напуск і припуск; у яких випадках вони призначаються і як визначаються?
3. Які найважливіші характеристики заготовок Ви знаєте?
4. Які властивості конструкційних матеріалів враховують при виготовленні заготовок?
5. Які типи показників характеризують якість заготовки?
6. Що розуміють під якістю поверхневого шару заготовки і які фактори на нього впливають?
7. Що розуміють під технологічністю заготовки і якими показниками вона оцінюється?
8. Якими основними засобами забезпечується технологічність заготовок на стадії проектування ?

2 Організація заготівельного виробництва

2.1 Заготівельні цехи

Основне призначення заготівельного виробництва полягає у забезпеченні механічних цехів якісними заготовками, зручними для оброблення різанням. Сучасне заготівельне виробництво має можливість формувати заготовки найскладнішої конфігурації та найрізноманітніших розмірів і точності. Середня трудомісткість заготівельних робіт у машинобудуванні становить 15...35% загальної трудомісткості виробництва машин. У машинобудуванні використовують металеві заготовки, які виготовляють литтям, обробленням металів тиском, зварюванням, а також заготовки з пластмас і порошкових матеріалів (табл.2.1).

Таблиця 2.1 Приблизна структура виробництва заготовок у машинобудуванні

Вид заготовки	Частка виробництва заготовок, % (за масою)	Вид заготовок	Частка виробництва заготовок, % (за масою)
Прокат і зварні конструкції	50,0	Поковки:	8,2
		штамповані	2,1
Виливки:	39,6	ковані	
		Вироби з металевих порошків	0,05
		у тому числі з:	
чавуну	28,3	Вироби з неметалевих матеріалів	0,05
сталі	9,3		
кольорових металів	2,0		

Заготовки можуть виготовлятися на спеціалізованих заготівельних підприємствах (наприклад, на сталеливарних заводах), у заготівельних цехах

машинобудівних заводів (виливки, поковки), а також у заготівельних відділеннях механічних цехів (заготовки з прокату). Найпоширенішим є виробництво заготовок у заготівельних цехах, що входять до складу майже кожного машинобудівного заводу. Такими цехами є: чавуноливарний, сталеливарний, ливарний кольорового литва, ковальський, ковальсько-штампувальний, заготівельний (для заготовок з прокату) та ін.

Чавуноливарний цех звичайно має відділення: землеприготувальне, стрижньове, формувальне, сушильне, плавильне, заливальне; відділення обрубубання та очищення; склади для опок, виливків, металобрухту, формувальних матеріалів і палива.

На скрапному, або шихтовому, дворі ливарних цехів передбачається копер для розбивання металевого брухту.

Чавуноливарні цехи поділяються на цехи для виготовлення виливків з сірого та ковкого чавуну.

Сталеливарний цех (для фасонного литва) у своїй структурі має такі ж відділення, як і чавуноливарний. Плавильне відділення сталеливарного цеху обладнане електропечами або конверторами. На невеликих заводах сталеливарний цех часто розташовують в одному приміщенні з чавуноливарним.

Сталеливарний цех проектують як самостійну структурну одиницю лише у тому випадку, коли завод має потребу у сталевому литві у великому обсязі. Частіше за все фасонне сталеве литво малі та середні машинобудівні заводи одержують за кооперацією від інших заводів, які мають великі сталеливарні цехи.

Ливарний цех кольорового литва також має вищезазначену структуру і може бути самостійною одиницею лише в економічно обґрунтованих випадках (у разі великої потреби заводу в заготовках з кольорових металів). Якщо випуск кольорового литва невеликий, то ливарний цех кольорових металів розташовується в одному приміщенні з чавуноливарним і є його

відділенням, внаслідок чого забезпечується значна економія допоміжних площ.

Склади металу, формувальних матеріалів і палива, звичайно, спільні для всіх ливарних цехів заводу.

Ковальські і ковальсько-штампувальні цехи (вибір однієї з цих організаційних структур залежить від характеру продукції заводу) мають ковальське і пресове відділення, де встановлено кувальне і пресове обладнання (молоти, преси, горизонтально-кувальні машини, нагрівальні печі і т.п.). У цих цехах виконуються ковальські та штампувальні роботи. У цехах є також термічні, травильні відділення, а також відділення для різання прокату на вихідні заготовки; склади металу і готових поковок. Автомобілебудівні заводи мають дуже великі пресові цехи, і вони звичайно виділяються у самостійні (окремо від ковальських) цехи.

Заготівельний цех призначений для виготовлення заготовок з сортового прокату. У ньому виконують попередні операції: розрізання, виправлення, центрування і обдирання сортового матеріалу для всіх механічних пехів заводу. Якщо завод має тільки один механічний цех, то замість заготівельного цеху в структурі механічного цеху влаштовують заготівельне відділення (поруч зі складом сортових матеріалів і заготовок).

Заготовки з пластмас або порошкових матеріалів виготовляють у самостійних цехах, а при невеликому обсязі випуску – у відділеннях, які можуть знаходитись у структурі інших цехів. Такі заготовки часто одержують за кооперацією зі спеціалізованих підприємств.

Майже всі процеси, що відбуваються у заготівельних цехах, є шкідливими з точки зору забруднення довкілля. Особливо небезпечними є ливарні і ковальські цехи, цехи та дільниці з виробництва зварних заготовок і заготовок з пластмас. Шкідливість того чи іншого заготівельного виробництва перш за все залежить від рівня технології та обладнання, що

використовується. Останнє у свою чергу багато в чому залежить від типу виробництва.

2.2 Типи виробництв

Тип виробництва – класифікаційна категорія виробництва, яка виділяється за ознаками широти номенклатури, регулярності, стабільності та обсягу випуску виробів.

У загальному виробництві розрізняють три основних типи: масове, серійне та одиничне. Приналежність виробництва до того чи іншого типу визначається кількісними і якісними характеристиками.

Кількісною характеристикою є коефіцієнт закріплення операцій:

$$K_{3.0} = \frac{O}{P}, \quad (2.1)$$

де O – кількість операцій, які виконуються на робочих місцях ділянки (цеху) за певний період часу; P – кількість робочих місць, на яких виконуються ці операції.

Коефіцієнт закріплення операцій характеризує серійність виробництва і спеціалізацію робочих місць. Чим менше коефіцієнт закріплення операцій, тим вужче спеціалізація робочих місць. Робітник у цьому випадку виконує, як правило, дуже мало операцій, які не вимагають високої кваліфікації.

Якісною характеристикою типу виробництва можуть бути вид технологічного обладнання, інструментів та пристроїв; кваліфікація робітників, собівартість продукції та ін.

Масове виробництво має $K_{3.0} \leq 1$. Це означає, що на одному робочому місці протягом , наприклад, одного місяця виконується не більше однієї

операції. Значення $K_{3,0} < 1$ свідчить про те, що є операції, які виконуються на двох і більше робочих місцях.

Масове виробництво характеризується безперервним виготовленням обмеженої номенклатури заготовок на вузькоспеціалізованих робочих місцях. Масове виробництво дозволяє механізувати і автоматизувати технологічний процес в цілому і організувати його більш економічно.

Серійне виробництво загалом має $1 < K_{3,0} < 40$. При $1 < K_{3,0} < 10$ виробництво вважається крупносерійним, при $10 < K_{3,0} < 20$ – середньосерійним і при $20 < K_{3,0} < 40$ – дрібносерійним.

Воно характеризується виготовленням обмеженої номенклатури заготовок партіями, які повторюються через певний проміжок часу, і досить широкою спеціалізацією робочих місць.

Поділ серійного виробництва на крупно-, середньо- і дрібносерійне умовний, тому що у різних галузях машинобудування при одній і тій же кількості заготовок у виробничій партії, але при значній різниці у їхніх розмірах, складності та трудомісткості виробництво може бути віднесене до різних типів. За рівнем механізації і автоматизації крупносерійне виробництво наближається до масового, а дрібносерійне – до одиничного.

Одиничне виробництво відрізняється виготовленням у невеликих кількостях широкої номенклатури заготовок, які не повторюються або повторюються через невизначені проміжки часу, на робочих місцях, що не мають певної спеціалізації (крім професійної). В одиничному виробництві значний відсоток технологічних операцій виконують вручну.

Якісні характеристики різних типів виробництв заготовок за головними ознаками наведені у табл. 2.2. Підвищення ступеня спеціалізації робочих місць, тобто перехід від одиничного до серійного та від серійного до масового виробництва, дозволяє ширше застосовувати спеціальне обладнання і технологічне оснащення, прогресивні технологічні процеси, передові

методи організації праці і в кінцевому результаті – підвищувати продуктивність праці та якість продукції і знижувати її собівартість.

2.3 Форми організації заготівельного виробництва

Від правильної організації виробничого процесу залежать результати виробничо-господарської діяльності підприємства, економічні показники його роботи: собівартість продукції, прибуток та рентабельність виробництва.

Таблиця 2.2 Якісні характеристики різних типів виробництва заготовок

Характерна ознака	Виробництво		
	Одиничне	Серійне	Масове
Повторюваність партії (серії)	Відсутня	Періодична	Безперервний випуск одних і тих же заготовок
Технологічне обладнання	Універсальне	Універсальне, частково спеціалізоване та спеціальне	Широке використання спеціального обладнання і автоматичних ліній
Технологічне оснащення	Переважно універсальне	Спеціальне, переналагоджуване	Спеціальне, часто органічно пов'язане з обладнанням
Характер технологічних розробок	Найпростіші	Детальні	Дуже детальні
Кваліфікація робітників	Висока	Різна	Низька (при наявності висококваліфікованих настрювачів)
Собівартість готової заготовки	Висока	Середня	Найнижча

Форми і методи організації технологічних процесів залежать від установаного порядку виконання операцій, розташування технологічного обладнання, кількості виробів і напрямку їх руху при виготовленні. Найчастіше використовуються дві форми організації технологічних процесів: групова і потокова.

Основа *групової форми* організації виробництва - групування заготовок, що виготовляються, за однорідними конструктивно-технологічними ознаками. Вона характеризується єдністю засобів технологічного оснащення і спеціалізацією робочих місць. При груповій формі організації виробництва обладнання в цеху розташовують за його типами, і заготовки різних груп виготовляють на різних ділянках. Наприклад, у ливарному цеху може існувати окрема ділянка для виробництва виливків литтям під тиском. На ній зосереджені відповідні машини для лиття під тиском і плавильні агрегати. Перехід від виготовлення одного виробу до іншого зводиться до заміни прес-форм.

Потокова форма характеризується спеціалізацією кожного робочого місця, узгодженим та ритмічним виконанням усіх операцій технологічного процесу на основі такту випуску, розміщенням робочих місць у послідовності, яка відповідає послідовності виконання технологічних операцій.

Потокова форма організації виробництва реалізується у вигляді потокової лінії на одній ділянці цеху. Потокові лінії, на яких заготовки виготовляються по черзі, партіями, називаються змінно-потоківими. Вони характерні для серійного виробництва і використовуються при виготовленні конструктивно близьких заготовок з відповідними переналагоджуваннями обладнання та оснащення. Зокрема, такі поточкові лінії часто використовуються у ливарних цехах автомобілебудівних заводів. У цих цехах, як правило, використовується машинне формування і конвеєри (або рольганги) для переміщення півформ, їх складання і заливання.

Якщо на потоковій лінії всі процеси автоматизовані, то вона називається автоматичною.

Основним принципом раціональної організації виробничого процесу в обох випадках є спеціалізація робочих місць.

Спеціалізація – одна з форм поділу праці, яка полягає у тому, що підприємство в цілому або його окремі підрозділи та робочі місця виготовляють продукцію обмеженої номенклатури. Скорочення номенклатури продукції, яка виготовляється на кожному робочому місці, у цеху і на заводі, веде до збільшення випуску однойменної продукції, до покращення економічних показників за рахунок використання спеціального і продуктивнішого обладнання, підвищення ступеня механізації й автоматизації всіх процесів, набуття робітниками високої кваліфікації у роботі, що вони виконують, покращення організації праці тощо. Зменшенню номенклатури продукції, яка випускається, сприяють стандартизація, нормалізація й уніфікація виробів та їх складових частин.

2.4 Роль технологічної підготовки виробництва

Технологічна підготовка виробництва (ТПВ) за ДСТУ 2974-85 – це сукупність заходів, яка охоплює проектування технологічних процесів, вибір та розміщення устаткування, визначення технологічного оснащення, розроблення методів технічного контролю, нормування матеріально-технічних витрат, і забезпечує випуск продукції потрібного рівня якості за встановлених термінів та обсягів виробництва. Вона повинна забезпечити повну технологічну готовність підприємства випускати вироби вищої категорії якості відповідно до заданих техніко-економічних показників, тобто при мінімальних трудових і матеріальних витратах. Під повною технологічною готовністю виробництва розуміють наявність на підприємстві повного комплексу технологічної документації та засобів технологічного

оснащення, які забезпечують випуск виробів. Технологічна підготовка виробництва містить вирішення багатьох завдань, які можуть бути згруповані за такими основними функціями: забезпечення технологічності конструкції виробу; розроблення технологічних процесів; проектування та виготовлення технологічного оснащення; організація і керування ТПВ.

Правильна і своєчасна ТПВ істотно впливає на якість виробництва заготовок. У свою чергу на вибір оптимальної технології їх виробництва впливає як проведена розробка конструкції (формування) заготовки, так і існуючі можливості власного виробництва. У той же час на етапі ТПВ закладаються технології на майбутнє, на певний період часу. Тому треба вчасно передбачити можливий розвиток технологій, що використовуються, і проаналізувати можливість впровадження прогресивних типових технологічних процесів, стандартного технологічного оснащення та обладнання, засобів механізації і автоматизації виробничих процесів, інженерно-технічних та управлінських робіт наскільки це дозволяють обрані технології виробництва заготовок і тип виробництва. Упровадити новий, кращий технологічний процес, коли виробництво уже встановилося, буде значно важче.

2.5 Основні способи виробництва заготовок

Сучасні технологічні способи виробництва заготовок характеризуються великою різноманітністю. Кожному з них притаманні свої конструкційні матеріали, обладнання і технологічне оснащення. Спосіб виробництва тієї чи іншої заготовки залежить від службового призначення деталі і вимог, які ставляться до неї, від її конфігурації та розмірів, технологічних властивостей матеріалу, типу виробництва та інших факторів.

Основними напрямками виробництва заготовок є лиття, оброблення металів тиском, зварювання і формування.

Литтям виготовляють заготовки – *виливки* – практично будь-яких розмірів як простої, так і дуже складної конфігурації. При цьому виливки можуть мати складні внутрішні порожнини з криволінійними поверхнями, які перетинаються під різними кутами. Точність розмірів і якість поверхонь залежить від способу лиття. Деякими спеціальними способами лиття (наприклад, литтям під тиском, за витоплюваними моделями) можна одержати заготовки, які потребують у подальшому мінімального механічного оброблення.

Виливки можна виготовляти практично з усіх металів і сплавів. Механічні властивості виливків значною мірою залежать від умов кристалізації металу в формі. У деяких випадках у середині стінок можливе утворення дефектів (пухкість, пористість, гарячі або холодні тріщини), які виявляються лише після чорнового механічного оброблення при знятті ливарної кірки.

Оброблення металів тиском (ОМТ) ґрунтується на пластичному деформуванні металів. Способами ОМТ можна виготовляти машинобудівні профілі та штучні заготовки.

Машинобудівні профілі виготовляють прокатуванням, пресуванням і волочінням. Ці способи дозволяють виготовити заготовки, близькі до готової деталі за поперечним перерізом (круглий, шестигранний, квадратний сортовий прокат, зварні і безшовні труби). *Прокат* випускають *гаряче-* і *холоднокатаний*. Профіль, необхідний для виготовлення заготовки, можна *прокалібрувати* волочінням. При виготовленні деталей з каліброваних профілей механічне оброблення зводиться до мінімуму. Різанням прокату виготовляють або штучні заготовки для механічного оброблення, або вихідні заготовки для подальшого оброблення тиском.

Штучні заготовки виготовляють куванням або штампуванням.

Кування застосовується для виготовлення заготовок в одиничному виробництві. Отримані куванням заготовки називають *кованими поковками*.

При виготовленні крупних і унікальних заготовок (масою до 200...300 т) кування – єдиний можливий спосіб оброблення тиском.

Штампуння поділяється на об'ємне і листове.

Об'ємне штампуння дозволяє одержати заготовки, близькі за конфігурацією до готової деталі (масою до 500 кг). Внутрішні порожнини *штампованих поковок* мають простішу конфігурацію, ніж у виливків, і розташовуються тільки уздовж напрямку руху робочого органу молота (преса). Точність і якість заготовок, одержаних холодним штампунням, не поступається точності та якості виливків, виготовлених спеціальними методами лиття.

Листовим штампунням отримують складні за конфігурацією заготовки з листового матеріалу. Такі заготовки, як правило, мають невисоку жорсткість, що утруднює оброблення їх різанням.

Механічні властивості заготовок, виготовлених обробленням металів тиском, завжди вищі, ніж литих. Оброблення тиском створює волокнисту макроструктуру металу, що треба враховувати при розробленні конструкції і технології виготовлення заготовок. Наприклад, у зубчастому колесі, виготовленому з катаної заготовки, напрямок волокон не сприяє підвищенню міцності зубів. При виготовленні заготовки штампунням зі штаби або осаджуванням з прутка можна одержати сприятливіше розташування волокон.

Зварні заготовки виготовляють різними способами зварювання – від електродугового до електронно-променевого. У низці випадків зварювання окремих елементів з фасонного прокату спрощує виготовлення заготовки, особливо складної конфігурації. Слабким місцем зварної заготовки є зварний шов або навколошовна зона. Як правило, їхня міцність нижча, ніж міцність основного металу. Крім того, неправильні конструкція заготовки або технологія зварювання можуть призвести до дефектів (жолоблення,

пористість, залишкові напруження), які важко виправити механічним обробленням.

Комбіновані заготовки складної конфігурації дають значний економічний ефект при виготовленні складових елементів різними методами – штампуванням, литтям, прокатуванням – з наступним з'єднанням їх зварюванням, заливанням тощо. Комбіновані заготовки застосовують при виготовленні крупних колінчастих валів, станин ковальсько-пресового обладнання, рам будівельних машин і т.п.

Формування – виготовлення заготовок або виробів з полімерного, порошкового або волокнистого матеріалу шляхом заповнення ним порожнини інструмента заданих форми і розмірів з наступним стискуванням.

До заготовок, отримуваних формуванням, належать порошкові заготовки і заготовки з пластмас. Характерною особливістю таких заготовок є те, що вони за формою і розмірами наближаються до готових деталей і лише іноді вимагають незначних, переважно обробних операцій.

Залежно від вимог до деталей в спеціальних галузях машинобудування застосовують й інші способи виготовлення заготовок, особливо з композиційних матеріалів, залізобетону, дерева, пінопласту та інших нетрадиційних матеріалів.

Контрольні запитання

1. У чому полягає призначення заготівельного виробництва?
2. Які заготовки використовують у машинобудуванні? Яка питома вага окремих видів заготовок?
3. Схарактеризуйте заготівельні цехи та відділення машинобудівного заводу.
4. Які є типи виробництва?
5. Назвіть якісні та кількісні характеристики типів виробництва.
6. Які є форми організації технологічних процесів?

7. Яку роль відіграє спеціалізація робочих місць в організації технологічних процесів?

8. Що таке технологічна підготовка виробництва і які задачі вона вирішує?

3. Виробництво литих заготовок

3.1 Технологічні можливості основних способів лиття та області їх використання

Основними способами виготовлення виливків є: лиття у піщані форми та оболонкові форми, лиття за витоплюваними моделями, кокільне і відцентрове лиття, лиття під тиском.

За характером використання лиття у піщані форми вважається найуніверсальнішим способом лиття. Останні п'ять способів називають спеціальними, оскільки мають ті чи інші обмеження або за формою чи розмірами вилівка, або за його матеріалом.

За конструкцією ливарної форми способи лиття поділяються на дві групи: лиття у разові і багаторазові форми. До першої групи відносяться лиття у піщані й оболонкові форми, а також лиття за витоплюваними моделями. Їхньою спільною рисою є те, що ливарні форми виготовляються з формувальної суміші на основі піску та тієї чи іншої зв'язувальної речовини. У такі форми можна відливати виливки практично будь-якої конфігурації, оскільки для вилучання вилівка ливарна форма руйнується. Але одночасно це вимагає перед заливанням виготовляти стільки форм, скільки треба виготовити виливків. До групи лиття у багаторазові форми відносяться кокільне і відцентрове лиття та лиття під тиском. Ливарні форми цих способів лиття виготовляються з металу. Це дає можливість використовувати одну форму тисячі й десятки тисяч разів. Але щоб вилівок можна було легко вийняти з форми, він повинен мати просту зовнішню конфігурацію.

Лиття у піщані форми - найпоширеніший спосіб лиття. У машинобудуванні ним виготовляють 75...80% виливків (за масою). Залежно від розмірів вилівка і типу виробництва застосовують ручне і машинне формування, а також формування у стрижнях. У піщаних формах можна

виготовити виливок найскладнішої конфігурації і масою від декількох грамів до сотень тонн.

Одержувані заготовки характеризуються низькою точністю, високими параметрами шорсткості і великими припусками на механічне оброблення, особливо при використанні ручного формування. Вартість виготовлення виливків мінімальна, але вартість їх механічного оброблення більша, ніж заготовок, одержуваних іншими способами лиття. Лиття у піщані форми потребує найбільших витрат металу. У піщаних формах виготовляють переважно виливки зі сталі, чавуну, рідше – з кольорових металів. Цей спосіб лиття найчастіше використовується в одиничному і серійному виробництвах. Застосування його у масовому виробництві можливе тільки при високому ступені механізації.

При виготовленні особливо крупних виливків (декілька сотень тонн) замість піщаних форм використовують цементні.

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

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

Лиття в оболонкові форми дозволяє зменшити обсяг обрубних і очисних робіт приблизно на 50%, витрати металу – на 30...50%, скорочує обсяг подальшого механічного оброблення на 40...50%, а витрати

формувальної суміші – у 10...20 разів. Процес виготовлення виливка може бути повністю механізований.

Головним недоліком лиття в оболонкові форми є висока вартість зв'язувальної речовини (фенолформальдегідна смола). Формування провадиться з використанням дорожчого металевого модельного оснащення. Лиття в оболонкові форми застосовується в основному для виготовлення дрібних і середніх виливків. Добре ллються тонкостінні виливки з чавуну, вуглецевої і легованої сталей та кольорових сплавів. Порівняння економічних показників лиття у піщані і оболонкові форми наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 Собівартість заготовок, виготовлених литтям у піщані й оболонкові форми, та деталей, виготовлених з них

Показник	Ви- пуск, тис. шт.	Ви- пуск, т	Кіль- кість робіт- ників- ливар- ників	Осно- вна зарп- лата робіт- ників- ливар- ників*	Осно- вна зарп- лата робіт- ників мех. це- хів*	Вар- тість обла- днан- ня*	Собі- варт- ість вими- вків*	Собі- варт- ість деталей*
Лиття у форми:								
- піщані	1288	1886	31	1	1	1	1	1
- оболонкові	1288	1500	20	0,68	0,46	2,82	1,12	0,75

* – у відносних одиницях

Як видно з таблиці, перехід з лиття у піщані форми до лиття в оболонкові форми зразу знижує витрати металу на 25%. При зменшенні кількості робітників-ливарників істотно зменшуються витрати на заробітну плату, але збільшуються витрати на обладнання. І хоч собівартість виливка збільшується на 12%, сумарна собівартість виготовленої з такого виливка деталі зменшується на 25% за рахунок зменшення обсягу механічного оброблення і зарплати робітників механічних цехів.

Лиття за витоплюваними моделями застосовується для виготовлення складних і точних заготовок практично з будь-яких сплавів. У цьому разі для кожного виливка виготовляється разова модель з елементами литникової системи з легкоплавкої модельної маси (на основі парафіну, стеарину, церезину та інших матеріалів). Формувальна суміш у вигляді рідкої суспензії наноситься у декілька (до 12) шарів з сушінням кожного шару на повітрі протягом 2...4 годин. Після витоплення моделей і прожарювання одержують міцну тонкостінну оболонку товщиною 1,5...4,0 мм.

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

Механічне оброблення виготовлених цим способом заготовок зводиться до мінімуму або може повністю виключатися. У той же час це найскладніший, тривалий і трудомісткий, а отже, й найдорожчий спосіб лиття. Використовується для виготовлення заготовок розмірами від 0,5 до 1250 мм.

Литтям за витоплюваними моделями найвигідніше виготовляти дрібні, але складні за конфігурацією заготовки, до яких ставляться високі вимоги щодо точності розмірів і шорсткості поверхні або які складаються (зварюються) з двох і більше елементів. Звичайно цим способом ллють деталі з кольорових сплавів, високолегованих сталей, жароміцних сплавів, що погано обробляються різанням, або мають низькі ливарні властивості. Основна частина економії при цьому методі лиття досягається за рахунок зменшення маси заготовки і обсягу її механічного оброблення.

Подальшим розвитком лиття за витоплюваними моделями є технологія *монокристалічного лиття*. Її суть полягає у спрямованій кристалізації металу у формі з метою отримання виливка, який складається з одного зерна.

Найчастіше на сьогодні використовується технологія монокристалічного лиття, пов'язана з використанням затравок. За цією технологією ливарна форма, виготовлена, як правило, за допомогою витоплюваних моделей, установлюється на водоохолоджуваному холодильнику (рис. 3.1). На холодильнику встановлена затравка, яка має певну кристалографічну орієнтацію залежно від розподілу і напрямку головних напружень, які діють у перерізах виробу під час експлуатації. Затравка оточена керамічною оболонкою таким чином, щоб залитий метал контактував лише з торцем затравки. При заливанні торець затравки підплавляється, і монокристалічна структура передається виробу. Лише один кристал, що зростає від затравки, проходить через діафрагму, а решта кристалів, якщо вони й утворюються, відсікається.

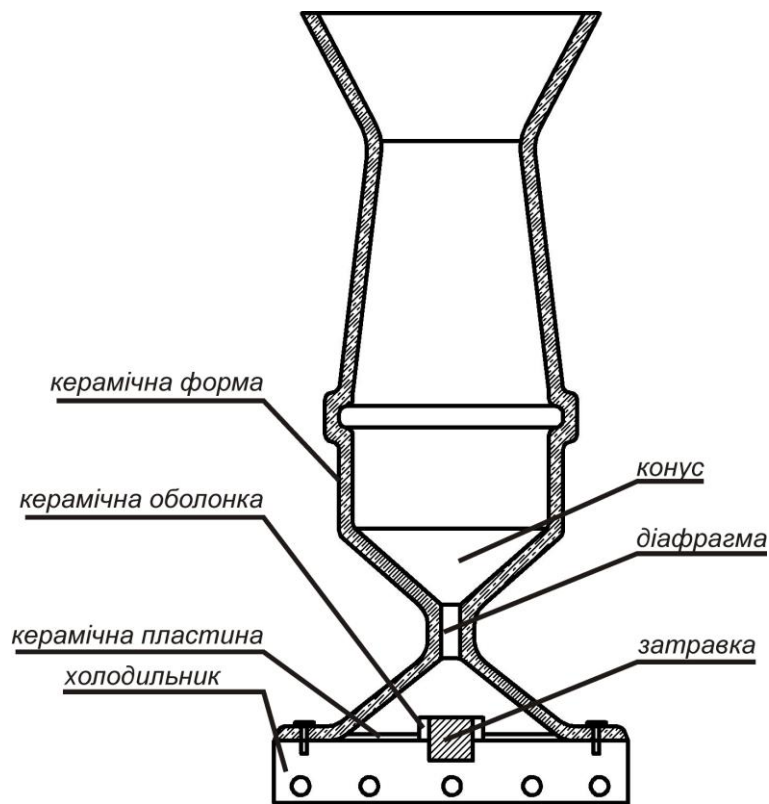


Рис. 3.1 Схема ливарної форми для отримання монокристалічного виливка від затравки

Процес виготовлення виливка відбувається так. Ливарна форма, нагріта до температури, що перевищує на 150..200°C температуру плавлення сплаву, поміщається у нагрівач спеціальної установки. Після заливання розплаву і витримки протягом 5 хв. до форми знизу підводиться холодильник, і починається витягування форми з нагрівача. Швидкість витягування має відповідати швидкості зростання кристалу з тим, щоб фронт кристалізації залишався на одному й тому ж місці. Залежно від типу установки швидкість зростання кристалу може становити від 3,0...3,5 мм/хв. до 10...12 мм/хв.

Монокристалічне лиття складне технологічно і коштовне. Воно використовується для виготовлення деяких деталей газотрбінних двигунів з жароміцних сплавів (турбінні лопатки, заготовки дисків турбін та ін.).

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

Кокілі дозволяють отримувати виливки зі стабільними і точними розмірами (до 12-го квалітету). Параметр шорсткості може досягати $R_a = 5$ мкм. У зв'язку з великою теплопровідністю матеріалу форми швидкість кристалізації дуже велика. Це підвищує механічні властивості виливка (за рахунок одержання дрібнозернистої структури) на 10... 15%, але водночас утруднює виготовлення виливків з тонкими стінками. Кокіль практично не має піддатливості і газопроникності, що необхідно враховувати під час формування виливка.

Перехід з лиття у піщані форми на кокільне супроводжується зменшенням витрат металу на 10...20% за рахунок менших розмірів литникової системи. Внаслідок високої точності розмірів, а отже й зменшення припусків, трудомісткість механічного оброблення заготовки зменшується у 1,5...2,0 рази.

Одночасно необхідно враховувати, що самі кокілі коштують досить дорого, що в них можна виготовляти виливки порівняно простої конфігурації і що можливе жолоблення їх через значні усадкові та термічні напруження.

Кокільне лиття доцільно застосовувати в умовах серійного виробництва при одержанні з кожної форми не менше 300...500 дрібних або 50...200 середніх, виливків за рік. Кокільним литтям виготовляють виливки простої конфігурації з мідних, алюмінієвих і магнієвих сплавів, а також зі сталі та чавуну.

Заміна лиття в піщані форми на кокільне при досить великій програмі випуску знижує собівартість виливків приблизно на 30% і підвищує продуктивність праці у 4...6 разів.

Витрати на організацію ділянки кокільного лиття і ділянки для наступного відпалювання виливків окупаються за 2...3 місяці.

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

За рахунок обертання форми досягається висока щільність структури виливка, збільшується рідиноплинність, практично відсутні витрати на виготовлення стрижнів. При цьому способі лиття значно знижуються витрати металу, оскільки відсутня або дуже мала литникова система. За рахунок відцентрових сил домішки, неметалеві включення збираються на внутрішній поверхні виливка і можуть бути видалені механічним обробленням.

До недоліків відцентрового лиття слід віднести: неточність розмірів і низьку якість внутрішньої порожнини виливка; трудність одержання виливків зі сплавів, схильних до ліквідації; можливість виникнення поздовжніх і поперечних тріщин внаслідок високих відцентрових сил і утрудненої усадки виливка.

Відцентрове лиття застосовується для виготовлення труб, втулок, махових і зубчастих коліс, ободів тощо. Зокрема, чавунні труби ллють діаметром 50...1000 мм з продуктивністю до 40...50 труб за годину. Відцентровим литтям ллють заготовки з чавуну, вуглецевих і легованих сталей, іноді з кольорових сплавів (наприклад, фасонні виливки з титанових сплавів). Можливе виготовлення біметалевих виливків.

Лиття під тиском полягає у тому, що рідкий метал з великою швидкістю заповнює порожнину металевої прес-форми і кристалізується під тиском. Лиття здійснюється на поршневих (1000...3600 заливок за годину) і компресійних (60...500 заливок за годину) машинах.

Головні особливості процесу: всі елементи прес-форми (включаючи й стрижні) металеві; високий тиск на рідкий метал. У зв'язку з цим можна одержати заготовки з товщиною стінок до 0,5 мм, точністю розмірів до 9-го квалітету і параметром шорсткості поверхні $R_a = 10 \dots 2,5$ мкм.

Недоліком лиття під тиском є складність і тривалість виготовлення прес-форми, її висока вартість і невелика стійкість, особливо при виготовленні виливків зі сплавів з високою температурою плавлення (наприклад, сталеве литво). У металевих прес-формах важко виготовити і видалити виливки зі складними порожнинами. Через негіддатливість форми можливе виникнення залишкових напружень. Це обмежує номенклатуру виливків і сплавів, з яких вони можуть бути виготовлені.

Литтям під тиском одержують складні, близькі за конфігурацією до готових деталей тонкостінні заготовки масою від декількох грамів до декількох десятків кілограмів з цинкових, алюмінієвих, магнієвих, мідних та інших сплавів. Можливе виготовлення армованих виливків. Найчастіше лиття під тиском застосовують в автомобільній, авіаційній, електро- і радіопромисловості, у приладобудуванні. У порівнянні з литтям у піщані форми маса вилівка різко зменшується, а витрати на виготовлення одного вилівка (при досить великій партії заготовок) зменшуються на 16...36%. У

той же час збільшуються витрати на обладнання і його ремонт (до 70%). Але у собівартості виготовлення деталі ці витрати становлять близько 15%. Через це економія витрат на матеріал вилівка і зменшення його трудомісткості набагато перевищують витрати на виготовлення і відновленні технологічного оснащення.

При електрошлаковому литті металева ливарна форма–кристалізатор виконує дві функції: є агрегатом для плавлення металу і одночасно поступово, знизу ввверх, формує вилівок (рис. 3.2).

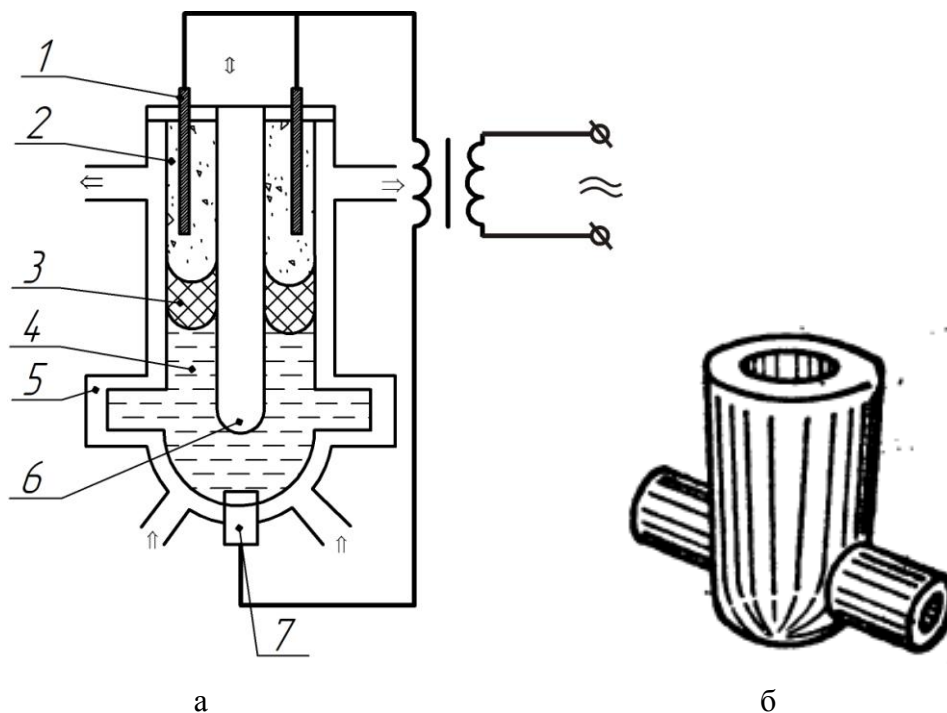


Рис. 3.2 Схема електрошлакового лиття методом заповнювання:
 а – установка для електрошлакового лиття; б – вилівок;
 1 – витрачуваний електрод; 2 – шлак; 3 – рідкий метал у зоні плавлення; 4 – рідкий метал у ливарній формі-кристалізаторі; 5 – ливарна форма-кристалізатор; 6 – водоохолоджуваний стрижень; 7 – затравка для первинного збудження дуги

Цим забезпечується спрямована кристалізація вилівка, відсутність дефектів усадкового походження, гальмування розвитку ліквациї. Рідкий шлак очищує метал, що плавиться, від шкідливих домішок і запобігає насиченню його киснем та азотом повітря.

Електрошлаковим литтям можна отримувати складні за конфігурацією заготовки шляхом з'єднання їхніх частин у формі.

Переваги цього методу лиття: висока чистота металу виливка; відсутність лікваций, раковин, напружень, формувальної суміші, литникової системи, надливів; високі точність форми й розмірів та якість поверхонь виливка; значно менші виробничі площі. Крім того, немає потреби у плавильних і розливальних агрегатах; ліпші умови праці; можливість механізації та автоматизації процесу виготовлення заготовки. Електрошлакове лиття застосовується у масовому і крупносерійному виробництвах для виготовлення заготовок корпусів атомних реакторів, судових гребних валів, деталей потужних двигунів, валків прокатних станів та ін. відповідальних і, як правило, масивних деталей.

Перехід на виготовлення виливків електрошлаковим литтям дозволяє значно зменшити масу заготовки. При цьому коефіцієнт використання металу може становити 0,98.

Недоліком цього процесу є висока вартість технологічного обладнання та спорядження.

Порівняльну характеристику способів лиття наведено у додатку 1.

3.2 Ливарні властивості сплавів та їхній вплив на технологію виготовлення і якість заготовок

До ливарних властивостей сплавів належать рідиноплинність, усадка, схильність до ліквации і газопоглинання.

Рідиноплинність – це здатність рідкого металу повністю заповнювати порожнину ливарної форми і чітко відтворювати обриси виливка.

Рідиноплинність залежить від хімічного складу, температури сплаву, що заливається у форму, теплопровідності матеріалу форми. Фосфор, кремній і вуглець покращують її, а сірка погіршує. Сірий чавун містить

вуглецю і кремнію більше, ніж сталь, і тому має кращу рідиноплинність. Підвищення температури рідкого металу покращує рідиноплинність, і чим більший його перегрів, тим більш тонкостінний вилівок можна одержати. Збільшення теплопровідності матеріалу форми знижує рідиноплинність. Так, піщана форма відводить тепло повільніше, і розплавлений метал заповнює її краще, ніж металеву форму, яка інтенсивно охолоджує розплав. Мінімум товщина стінки вилівки для різних ливарних сплавів неоднакова через їх різну рідиноплинність. Наприклад, у випадку лиття в піщані форми для виливків з сірого чавуну вона становить: для дрібних – 3...4 мм, середніх – 8... 10, великих – 12...15 мм; для виливків зі сталі – відповідно 5...7 мм, 10...12 та 15...20 мм.

Оскільки рідиноплинність металу залежить не лише від хімічного складу сплаву, але й від технології лиття, її визначають шляхом заливання спеціальних технологічних проб та характеризують лінійними розмірами заповненої порожнини каналу стандартної форми. Заливаючи метал при різних температурах перегріву, знаходять для даного сплаву оптимальну температуру заливання у ливарну форму певного типу.

Усадка – властивість ливарних сплавів зменшувати об'єм при затвердінні й охолодженні. Усадкові процеси у виливках проходять з моменту заливання розплавленого металу в ливарну форму аж до повного його охолодження. Розрізняють лінійну і об'ємну усадку, %:

$$\varepsilon_{\text{лін}} = \frac{(l_{\text{ф}} - l_{\text{вил}})100}{l_{\text{вил}}}; \quad (3.1)$$

$$\varepsilon_{\text{об}} = \frac{(V_{\text{ф}} - V_{\text{вил}})100}{V_{\text{вил}}}. \quad (3.2)$$

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

Лінійна і об'ємна усадка зв'язані співвідношенням

$$\varepsilon_{об} \approx 3\varepsilon_{лін} \quad (3.3)$$

На усадку (табл. 3.2) впливає хімічний склад сплаву, температура його заливання, швидкість охолодження сплаву в формі, конструкція виливка і ливарної форми. Так, усадка сірого чавуну зменшується, якщо збільшити вміст вуглецю і кремнію, алюмінієвих сплавів – якщо збільшити вміст кремнію.

Збільшення температури заливання і швидкості відведення тепла від залитого до форми сплаву призводить до збільшення усадки виливка.

При охолодженні виливка виникає механічне і термічне гальмування

Таблиця 3.2 Лінійна усадка деяких сплавів

Сплави	Категорія виливка	Усадка, %%
Чавуни: - сірі	дрібні середні крупні	1,0... 1,25 0,75...1,0 0,5...0,75
- модифіковані і леговані		1,0...1,25
- високолеговані		1,25...1,75
- високоміцні		0,5...1,25
- ковкі		0,5...2,0
- білі		1,5...2,0
Сталі вуглецеві	дрібні середні крупні	1,8...2,2 1,6...2,1 1,4...1,8
Бронзи: - олов'яні		1,0...1,2
- безолов'яні і латуні	дрібні середні крупні	1,4...1,6 1,0...1,4 0,8...1,2
- алюмінієві		1,2...1,8
Алюмінієві та магнієві сплави	дрібні середні крупні	0,8...1,2 0,5... 1,0 0,3...0,8

Примітка. Більші значення усадки відносяться до простих виливків з вільною усадкою, а менші - до складних з утрудненою усадкою.

усадки. Механічне гальмування виникає внаслідок тертя між виливком і формою або недостатньої піддатливості матеріалу форми. Термічне гальмування зумовлене різними швидкостями охолодження окремих частин виливка. Складні за конфігурацією виливки підпадають спільній дії механічного і термічного гальмувань. Внаслідок цього форма та розміри виливка порушуються, а іноді виникають тріщини.

Окрім спотворення лінійних розмірів усадка у виливках виявляється у вигляді усадкових раковин, пористості, тріщин і жолоблень. При правильному врахуванні усадкових процесів затвердіння виливка повинно йти знизу вгору з утворенням концентрованої усадкової раковини у спеціальному елементі ливарної форми – надливі (рис. 3.3). Інакше у тілі виливка може виникнути усадкова пористість.

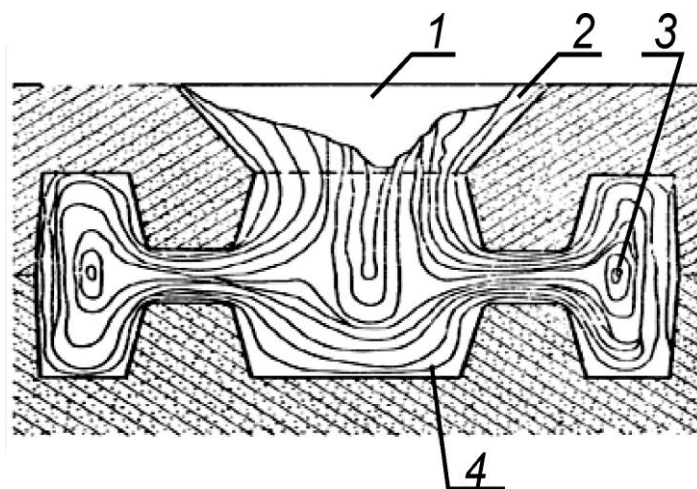


Рис. 3.3 Схема процесу кристалізації виливка:

1 – усадкова раковина; 2 – надлив; 3 – виливок; 4 – місце зосередження усадкової пористості

Ліквация – це неоднорідність будови в різних частинах виливка. Можлива ліквация за хімічним складом (зональна або дендритна), за густиною, неметалевими включеннями та іншими факторами. Зональна ліквация - це хімічна та інші неоднорідності в об'ємі всього виливка,

дендритна - в межах одного зерна (дендрита). Схильність до ліквації залежить від хімічного складу сплаву, швидкості його охолодження і розмірів вилівка. Чим довше охолоджується вилівок, тим більше ймовірність ліквації.

Неоднорідність хімічного складу і структури у перерізі призводить до неоднорідності механічних властивостей вилівка. Для зменшення ліквації збільшують швидкість охолодження вилівка.

Схильність до газопоглинання – це здатність ливарних сплавів у рідкому стані розчиняти кисень, азот і водень. Їхня розчинність зростає зі збільшення температури заливання. Рух металу у формі дрібними струмочками або турбулентними потоками також сприяє підвищенню розчинності газів. При охолодженні в ливарній формі газонасиченого розплаву розчинність газів знижується, і вони, виділяючись з металу, можуть утворювати у вилівку газові раковини.

3.3 Механічні властивості вилівоків

Механічні властивості литого металу завжди гірші, ніж пластично здеформованого, через більший розмір зерна, неоднорідність структури, можливу пористість та інші ливарні дефекти. У зв'язку з особливостями кристалізації механічні характеристики вилівоків у перерізі неоднорідні. Метал на поверхні має більшу твердість і міцність, ніж в осьовій зоні поперечного перерізу.

Міцність литої заготовки залежить від температури заливання, товщини стінки, способу лиття і характеру охолодження вилівка в формі. Існує оптимальна температура заливання, що забезпечує найвищу міцність завдяки досягненню сприятливих умов для рідиноплинності і швидкості охолодження. При збільшенні товщини стінки через сповільнення швидкості охолодження границя міцності литого металу зменшується (рис. 3.4). Отже,

загальна міцність литої заготовки підвищується непропорційно збільшенню товщини її стінок.

Таким чином, змінюючи спосіб лиття і швидкість охолодження (практично – за рахунок зміни товщини стінок виливка), можна впливати на міцність і частково на густину заготовки. Про те, як спосіб лиття впливає на механічні властивості і густину бронзового виливка, можна довідатись з табл. 3.3.

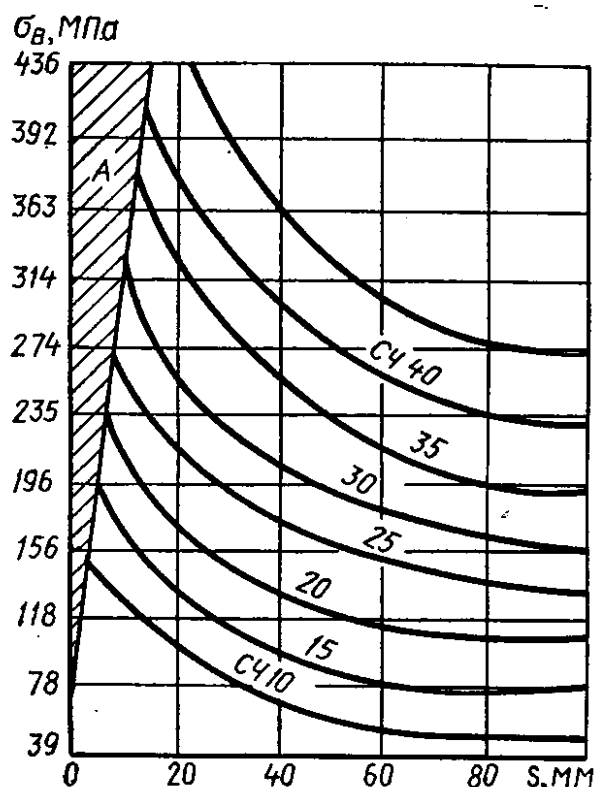


Рис. 3.4 Залежність границі міцності σ_v сірого чавуну від товщини стінок виливка S (А – зона відбілювання)

Таблиця 3.3 Механічні властивості і густина бронзового виливка

Властивості виливка	Спосіб лиття:			
	у піщані форми	кокільне	під тиском	відцентрове
Границя міцності, σ_v , МПа	250	270	315	385
Відносне видовження, δ , %	11	2	3	10
Твердість, НВ	86	110	118	124
Густина, ρ , кг/м ³	8410	8780	8770	8890

3.4 Галузі раціонального застосування ливарних сплавів

Вибір матеріалу деталі (а отже, й майбутнього виливка) насамперед залежить від її призначення і умов експлуатації: від діючих під час експлуатації навантажень; температури й агресивності навколишнього середовища та інших факторів. Велике значення має також складність і точність майбутнього виливка. Матеріал деталі обирає конструктор, але при цьому він повинен передбачати майбутню технологію виготовлення заготовки і враховувати технологічні властивості її матеріалу.

Складні фасонні деталі, що зазнають ударних навантажень, дію розтягу або згинання, виготовляються найчастіше з чавуну. Для виготовлення фасонних деталей машин, які працюють у важких умовах і зазнають великих навантажень, застосовують сталь. Виготовлення крупних виливків зі сталі ускладнене.

Сірий чавун є досить дешевим конструкційним матеріалом, який має добрі технологічні властивості (чудову рідиноплинність, малу усадку, добру оброблюваність різанням). Механічні, фізичні, технологічні та інші властивості чавуну можна змінювати у досить широких межах, що значно розширює галузь застосування цього матеріалу.

З сірого чавуну марок СЧ15, СЧ20 відливають корпусні деталі металорізальних верстатів, сільськогосподарських машин, відцентрових насосів, редукторів тощо. Відповідальні деталі автомобільних і тракторних двигунів (блоки, головки циліндрів), які повинні мати підвищену міцність, виготовляють з сірого чавуну марок СЧ25, СЧ30.

Для корпусних деталей, які працюють в умовах вібрації, піддаються значним згинальним і крутним моментам або ударним навантаженням, застосовують *ковкий чавун* або *сталь* (наприклад, корпуси редукторів самохідних комбайнів, корпуси заднього мосту, диференціалу, руля).

Корпуси високонапорних відцентрових насосів виготовляють з *високоміцного чавуну або сталевого литва*.

Корпуси парових турбін, що працюють під тиском до 2 МПа при температурі до 250°C, ллюють із сірого чавуну марки СЧ25 і *модифікованого чавуну* марки СЧ30. Корпуси парових турбін, що працюють при температурі 250...400°C, виробляють з вуглецевої сталі марки 30Л. Для парових турбін, які працюють при температурі 400...500°C, застосовують молібденові і хромомолібденові сталі марок 30ХНМЛ, 35ХГСЛ. При вищій температурі експлуатації корпуси турбін виготовляють зі сталей, додатково легованих ванадієм і титаном (наприклад, сталь марки 13ХНДФТЛ).

Для деталей, що працюють у специфічних умовах, застосовують *високолеговані сталі* з спеціальними властивостями: корозійностійкі (25Х18Л та ін.), кислототривкі (15Х18Н9ТЛ та ін.), окалиностійкі (15Х9С2Л та ін.), жароміцні (15Х22Н19Л та ін.), з високою зносостійкістю при абразивній і ударній дії у різних умовах експлуатації (110Г13Л, 15Х34Л та ін.). Проте слід пам'ятати, що всі високолеговані сталі мають низькі ливарні властивості.

Більшість *кольорових сплавів* мають відмінні рідиноплинність і оброблюваність різанням.

Мідні сплави використовують найчастіше для виготовлення деталей, які працюють в агресивних середовищах і в умовах тертя ковзання. Однак застосування їх у машинобудуванні обмежене нижчими, ніж у чорних металів, механічними властивостями і, головним чином, значно вищою вартістю і дефіцитністю.

Корпуси насосів, що перекачують морську воду, виготовляють з бронз або латуней.

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

Магнієві сплави набули широке застосування у приладобудуванні та авіаційній промисловості для виготовлення корпусів приладів, деталей двигунів, деяких інструментів, корпусів фотоапаратів тощо.

Особливу групу становлять *зносостійкі підшипникові сплави*, що застосовуються для заливання підшипників. Ці сплави (бабіти Б83, Б16, БК та ін.) складаються зі свинцю й олова з добавками твердих складників (сурми, кадмію, нікелю, телуру, кальцію та ін.). Для важко навантажених підшипників застосовують бронзу і латунь.

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

Тугоплавкі матеріали дорогі й знайшли застосування переважно у деяких специфічних галузях машинобудування і приладобудування

3.5 Формування литої заготовки

3.5.1 Аналіз вихідних даних до формування литої заготовки

Мета *формування* (проектування) заготовки – визначення її форми і розмірів з урахуванням, з одного боку, можливостей обраного способу виробництва заготовки і, з іншого, зручності та ефективності наступного оброблення її різанням.

Вихідними даними для проектування заготовки є креслення готової деталі, відомості про її масу, матеріал та службове призначення, річна програма випуску, відомості про технологічні можливості підприємства чи цеху, де заготовка буде виготовлятися. На початку проектування повинні бути відомі технологічні бази первинного механічного оброблення, які або задаються конструктором деталі, або своєчасно узгоджуються технологами ливарного і механічного цехів.

Аналіз *креслення деталі* повинен з'ясувати складність конструкції деталі та її окремих елементів: простота або складність зовнішньої поверхні, наявність отворів або порожнин, їх конфігурація. Необхідно розглянути вимоги до точності та шорсткості всіх поверхонь деталі, звернувши при цьому увагу на поверхні з найвищими та найнижчими вимогами за цими параметрами. *Габарити і маса* деталі можуть визначити можливі способи лиття для виготовлення заготовки. За *масою деталі і річною програмою випуску* можна визначити серійність виробництва, що також впливає на вибір способу лиття. Що стосується *матеріалу деталі*, то на етапі аналізу найважливішими є його технологічні властивості.

Під *службовим призначенням* розуміються відомості про діючі навантаження, умови роботи деталі в експлуатації, специфічні експлуатаційні вимоги та ін. Впливаючи на температуру заливання і швидкість кристалізації окремих ділянок виливка, можна змінити їхні механічні властивості.

Технологічні можливості підприємства (цеху) іноді можуть обмежити вибір можливих способів лиття і тим самим вплинути на конструкцію заготовки.

Поняття «технологічні бази» детально розглядається в курсі «Технологія машинобудування». Вибір *технологічних баз первинного механічного оброблення* залежить як від особливостей технологічного процесу виготовлення виливка, так і від складності та послідовності технології механічного оброблення заготовки. Тому вже на стадії проектування виливка необхідно враховувати певні вимоги, які пред'являються до технологічних баз. Без вирішення питання з базами неможливо правильно встановити положення виливка в формі, що у свою чергу не дає можливості правильно призначити припуски, напуски та формувальні нахили.

У випадках, коли поверхні виливка не задовільняють вимогам, які пред'являються до технологічних баз, у конструкції виливка передбачаються

штучні технологічні бази (приливи, виточки, платики тощо), які при наступному механічному обробленні видаляються.

Технологічні бази звичайно обираються спільно технологами – механіками і ливарниками.

При формуванні виливків необхідно прагнути до виконання низки вимог.

1. Конструкція виливка повинна мати простий зовнішній обрис з мінімальною кількістю ребер, виступів і внутрішніх порожнин.

2. Конструкція виливка повинна забезпечувати високий рівень її службових характеристик (міцність, жорсткість, герметичність та ін.) при заданій масі і точності конфігурації.

3. Конструкція виливка повинна враховувати взаємодію виливка з формою для того, щоб забезпечити правильне формування основних властивостей виливка: густини, структури, механічних властивостей, стабільності розмірів та параметрів шорсткості поверхні.

4. Конструкція виливка має бути достатньо технологічною, тобто зручною для виготовлення обраним способом лиття. Відпрацювання на технологічність необхідно вести на всіх стадіях проектування заготовки.

5. Конструкція виливка повинна забезпечувати мінімальну кількість і протяжність місць обробування й очищення, зручність здійснення цих операцій, а також зручність і мінімальний обсяг подальшого механічного оброблення.

6. Базові поверхні виливка повинні мати зручне для оброблення різанням розташування. Бажано, щоб бази мали просту форму, були позбавлені формувальних нахилів, решток литників тощо. Розміри баз повинні бути за можливістю максимальними. У цьому випадку при базуванні на верстаті заготовка займає більш стаке положення.

7. Матеріал виливка повинен бути достатньо технологічним та ощадливим для даного способу лиття.

8. Конструкція виливка для даних умов виготовлення повинна передбачати мінімальні витрати металу.

9. Виливок повинен бути компактним. Надмірно великі виливки бажано розчленувати на декілька частин.

Крім перелічених вище загальних вимог до конструкції виливків існує багато інших специфічних вимог, зумовлених особливостями того чи іншого способу лиття. Формування (проектування) заготовки можна розпочинати лише після остаточного вибору способу її виготовлення.

3.5.2 Обрання способу лиття

Конфігурація і розміри виливка істотно залежать від того, яким способом він виготовляється. Тому обрання способу лиття заготовки для даної деталі має важливе значення.

Обрання починається з визначення типу виробництва (серійності) виготовлення заготовки згідно з поставленою задачею проектування. Тип виробництва обмежує коло способів лиття, з яких можна обирати найпридатніший з урахуванням інших вимог і особливостей конструкції деталі. Тип виробництва обирається залежно від маси виливка і кількості виливків у замовленні (річній програмі випуску заготовок) (табл. 3.4). Для визначення орієнтовної маси виливка на етапі проектування треба збільшити масу деталі приблизно на 50%.

Вибираючи спосіб лиття, слід враховувати, що при масовому і крупносерійному виробництві можна використовувати дорожчі способи лиття (наприклад, лиття в оболонкові форми), а при одиничному і дрібносерійному – дешевші (наприклад, лиття у піщані форми).

Аналізуючи *зовнішню конфігурацію* деталі, слід звернути увагу на те, який тип ливарної форми можна використати у кожному конкретному випадку. Як відзначалося раніше, разові ливарні форми з цієї точки зору не

мають обмежень, оскільки для видалення виливка з форми вони руйнуються. Якщо передбачається використання металевої (багаторазової) форми, то зовнішня конфігурація майбутнього виливка має бути більш-менш простою, щоб забезпечити легке видалення виливка з форми.

Таблиця 3.4 Типи виробництв виливків

Маса виливка, кг	Кількість виливків (шт.) у замовленні за типом виробництва				
	масове	крупно-серійне	середньо-серійне	дрібно-серійне	одиничне
до 0,25	1000001.. 2000000	200001... 1000000	35001... 200000	2501... 35000	не більше 2500
понад 0,25 до 0,63	700001... 1400000	150001... 700000	30001... 150000	2001... 30000	не більше 2000
понад 0,63 до 1,0	500001... 1000000	100001... 500000	20001... 100000	1501.. 20000	не більше 1500
понад 1,0 до 2,5	350001... 700000	75001... 350000	12001... 75000	1001... 12000	не більше 1000
понад 2,5 до 10	200001... 400000	30001... 200000	6001... 30000	501... 6000	не більше 500
понад 10 до 25	100001... 200000	15001... 100000	3001... 15000	301... 3000	не більше 300
понад 25 до 63	60001... 120000	10001... 60000	2501... 10000	201... 2500	не більше 200

Внутрішня конфігурація виливка формується, як правило, стрижнями. Стрижні разових форм після видалення виливка з ливарної форми руйнуються тим чи іншим способом. Тому вони дозволяють відтворити практично будь-яку конфігурацію отвору (порожнини) виливка.

При кокільному литті стрижень може бути і піщано-глинястим, і металевим. У першому випадку для внутрішньої порожнини також нема обмежень. А у другому отвір (порожнина) має бути лише прямолінійним. Щоб забезпечити зручне виймання металевого стрижня з виливка, він повинен мати певну конусність. Якщо довжина отвору значно перевищує діаметр, такий стрижень має бути до того ж східчастим.

Якщо планується використати відцентрове лиття, треба враховувати, що весь отвір виливка буде мати один діаметр, який відповідає найменшому отвору деталі з урахуванням припуску на нього.

Обмеження щодо розміру (маси) деталі мають практично всі спеціальні способи лиття. Але тут мова йде про маси понад 80...100 кг. При виборі способу лиття треба враховувати матеріал деталі, зважаючи на його рідиноплинність і взаємодію з матеріалом форми, особливо якщо розмір виробничої партії достатньо великий, і це може вплинути на стійкість ливарної форми. Іноді (наприклад, при виготовленні виливків з титанових сплавів) треба враховувати хімічну активність матеріалу деталі і відповідно обирати спосіб лиття і матеріал ливарної форми.

3.5.3 Характеристика виливків за складністю, точністю і рядом припусків

На вибір способу формування виливка істотний вплив справляє складність деталі, її розміри (маса), ливарний сплав та тип виробництва. Розрізняють складність конструктивну і технологічну. Під конструктивною складністю виливка розуміють складність його зовнішніх і внутрішніх контурів. Технологічна складність – це складність забезпечення тих чи інших якостей і властивостей (міцність, щільність, шорсткість та ін.).

Виливки за *конструктивно-технологічною складністю* поділяються на шість груп. Група конструктивно-технологічної складності виливка залежить від багатьох ознак: імовірний спосіб лиття, конфігурація литих поверхонь, розміри (маса) виливка, середня товщина основних стінок, кількість стрижнів, необхідних для формуванні наявних отворів і порожнин, відповідальність призначення та ін. При оцінці впливу таких різноманітних факторів на визначення складності виливка бажано врахувати ступінь впливу кожного з них на його загальну технологічність. Орієнтовну оцінку

конструктивно-технологічної складності вилівка можна зробити за допомогою додатка 2.

ГОСТ 26645-85 передбачає 22 класи точності розмірів (від 1 до 16; перед деякими класами є класи підвищеної точності – 3т, 5т та ін.) вилівоків. Чим вище номер розмірної точності, тим нижче точність вилівка. Визначальними для призначення класу розмірної точності є у першу чергу спосіб лиття, у другу – максимальний габаритний розмір вилівка і у третю – ливарний сплав деталі (а отже, його ливарні властивості). Класи точності розмірів вилівоків наведені у додатку 3.

Ряд припусків на оброблення вилівоків призначається залежно від ступеня точності *поверхні* вилівка. Згідно з ГОСТ 26645-85 діапазони класів точності розмірів і ступенів точності поверхонь вилівоків доволі широкі і практично співпадають для всіх способів лиття і сплавів, згаданих у стандарті. Зважаючи на це для визначення ряду припусків за додатком 4 можна користуватися діапазоном класів точності вилівоків (див. додаток 3).

3.5.4 Вибір положення вилівка у формі

Положення вилівка у формі може істотно вплинути як власне на конфігурацію вилівка (наявність або відсутність напусків, більші або менші нахили тощо), так і на процес заповнення форми металом та на його кристалізацію.

Вилівок у формі слід розташовувати так, щоб загальна висота форми була мінімальна, а півформи мали приблизно однакову висоту. Вилівки, що мають видовжені поздовжні розміри (патрубки, пустотілі коробки, рами, плити) слід розміщати так, щоб максимальний габаритний розмір був розташований у горизонтальній площині. У цьому разі поверхні різної форми і моделі матимуть зручніше (горизонтальне) положення.

Вилівок повинен розташовуватися так, щоб забезпечити спокійне заповнення форми струменем металу без руйнування окремих ділянок форми

або стрижнів. Конструкція форми повинна забезпечувати спрямовану кристалізацію вилівка знизу вгору для того, щоб усадкові раковини, домішки, неметалеві включення виводилися в частини вилівка, що видаляються при обрубіванні і очищенні (випори, надливи). У зв'язку з цим, щоб зменшити дефекти, масивні та відповідальні елементи вилівоків слід розташовувати в нижній половині форми, у крайньому разі – вертикально. Поверхні, зв'язані між собою точними розмірами, бажано розташовувати в одній половині форми (бажано у нижній), щоб не виникало спотворень внаслідок зміщення півформ під час складання.

Елементи вилівоків з малою і рівномірною товщиною стінок слід розташовувати у верхній частині форми для забезпечення оптимального підводу металу відповідною конструкцією живильників. Тонкостінні елементи вилівоків бажано розташовувати вертикально або похило, щоб у них не накопичувалися газові пухирі.

Короткі вилівки типу тіл обертання з отворами слід формувати з вертикальним розташуванням отворів, щоб забезпечити верхнє відведення газів зі стрижнів. Але тут є небезпека порушення правильного положення стрижнів при встановленні верхньої півформи на нижню. Якщо у таких вилівках довжина отвору значно перевищує діаметр, вісь отвору, а отже й стрижня, краще розташовувати горизонтально. Тоді стрижень має точне розташування, але вихід газів з нього утруднений.

Крім того, вибираючи положення вилівка у формі, слід передбачити, щоб точність баз не залежала від точності складання ливарної форми. Базові поверхні не повинні перетинатися поверхнею розніму форми. Щоб запобігти їх спотворенню у разі перекосів та зміщень півформ, базові поверхні слід розташовувати в одній півформі.

Треба зауважити, що одночасне забезпечення всіх вищезазначених рекомендацій щодо конкретної заготовки практично неможливо, оскільки деякі з них протирічать одна одній, а іноді навіть виключають одна одну. У

цьому разі необхідно знайти компромісний варіант, який найбільшою мірою відповідав би конкретним умовам виробництва.

3.5.5 Визначення конструктивної форми і розмірів виливка

Конструктивна форма виливка визначається загальною конфігурацією деталі, наявністю чи відсутністю напусків, припусків, формувальних нахилів, радіусів заокруглень тощо.

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

Відомо, що занадто збільшувати товщину стінок виливка не вигідно. Потрібну міцність і жорсткість тонких стінок виливка краще забезпечувати за рахунок використання ребер жорсткості. Проте, якщо товщина стінок занижена, то виливок важко одержати технологічно (можливе незаповнення форми, незлитини, тріщини тощо). Крім того, у виливках складної конфігурації з тонкими стінками за рахунок усадкових і термічних напружень можуть виникати жолоблення і тріщини.

Мінімальна товщина стінки залежить як від способу лиття, так і від ливарних властивостей матеріалу виливка.

Якщо виливок виготовляється *литтям у піщані форми* або *кокілним литтям*, спочатку знаходять зведений габарит виливка за формулою

$$N = \frac{2l + b + h}{3}, \quad (3.4)$$

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

За зведеним габаритом залежно від матеріалу заготовки за графіками (для кокільного лиття – рис. 3.5,а, для лиття у піщані форми – рис. 3.5,б, в) знаходять мінімальну товщину стінки S_{\min} .

Якщо зведений габарит N виявиться більшим 8 м, товщину стінок для сталевих і чавунних виливків приймають відповідно не менше 40 і 30 мм. Для N не більше 0,1 м мінімальну товщину стінок допускається приймати: для алюмінієвих сплавів – до 2 мм; для мідних олов'янистих сплавів – 2,5, а для мідних безолов'янистих сплавів – 4 мм.

Залежно від матеріалу вилівка і умов охолодження у деяких випадках в одержані значення мінімальної товщини стінок вносяться певні корективи. Так, товщина внутрішніх стінок для чавунних і алюмінієвих виливків повинна бути на 10...20% меншою від товщини зовнішніх стінок. Для виливків з модифікованого і високоміцного чавунів товщину стінок збільшують на 15...20% порівняно з виливками з сірого чавуну. Якщо виливок виготовляється з легованих сталей, товщину стінки збільшують на 20...30% порівняно з однотипними виливками з вуглецевих сталей.

При *литті в оболонкові форми* не рекомендується проектувати товщину стінок менше 2...2,5 мм для дрібного литва і 3...4 мм для середнього литва. При цьому слід враховувати рідиноплинність сплава і конфігурацію вилівка. Оптимальна товщина стінок виливків при литті в оболонкові форми лежить у межах 2...8 мм.

При *литті за витоплюваними моделями* мінімально можлива товщина стінки вилівка для більшості сплавів становить 1,5...2,0 мм при протяжності стінок до 50 мм. При більшій довжині мінімальну товщину стінки слід збільшити на 0,5...2,0 мм. Оптимальна товщина стінок вилівка при цьому способі лиття становить 6 мм, оскільки при більшій товщині та недостатньому живленні вилівка рідким металом можуть з'явитися усадкові та газові раковини й пористість.

Литтям під тиском можна отримати досить тонкі стінки (див. табл. 3.5).

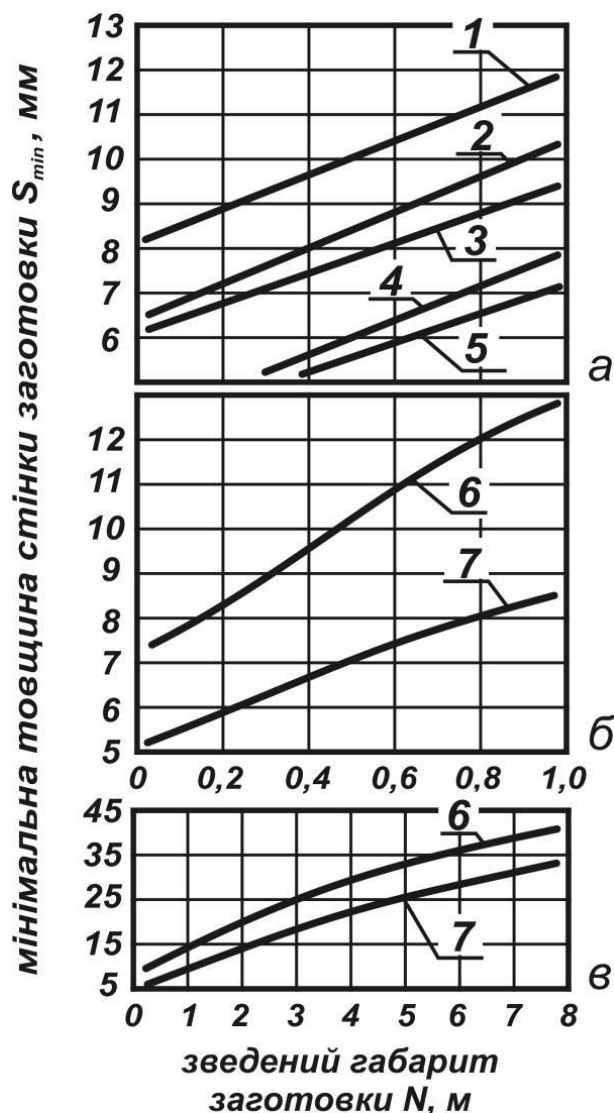


Рис. 3.5. Графіки визначення мінімальної товщини стінок S_{\min} виливків, виготовлених кокільним литтям (а) та литтям у піщані форми (б, в):
 1 – вуглецеві сталі; 2 – безолов’яністі мідні сплави; 3 – сірі чавуни; 4 – олов’яністі мідні сплави; 5 – алюмінієві сплави; 6 – вуглецеві сталі; 7 – сірі чавуни

Табл. 3.5 Мінімальна товщина стінок виливків, отримуваних литтям під тиском

Площа поверхні виливка, см ²	Сплави			
	магнієві	алюмінієві	мідні	сталі
до 25	1,3	1,0	1,5	-
понад 25 до 100	1,8	1,5	2,0	-
понад 100 до 225	2,5	2,0	3,0	3,0
понад 225 до 400	3,0	2,5	3,5	4,0

Стінки заготовок слід передбачати мінімальної товщини, а у випадках недостатньої жорсткості або міцності – укріпляти їх ребрами жорсткості. Товщина ребер жорсткості повинна становити 0,8...0,9 товщини стінки. Стінки виливків бажано передбачати однакової товщини з метою усунення термічних вузлів, в яких можуть утворюватися усадкові пористість або раковини.

При *відцентровому литті* за рахунок відцентрових сил покращується рідіноплинність, а отже й можливість отримання тонких стінок навіть при контакті з металевою виливницею. Залежно від методу відцентрового лиття можна отримати мінімальну товщину стінки 3...5 мм. Проте треба враховувати, що якість внутрішньої поверхні вилівка (за розмірною точністю, шорсткістю поверхні) завжди невисока, і після механічного оброблення товщина стінки може виявитися ще меншою.

Якщо одержана розрахунком мінімальна товщина стінки виявиться більшою від указаної на кресленні, необхідно за згодою конструктора внести відповідні корективи. Товщина стінки має бути збільшена до мінімальної, а потім доведена до необхідної величини механічним обробленням. Якщо з якихось причин це неможливе, треба обрати інший спосіб лиття, що може забезпечити меншу мінімальну товщину стінки.

Напуски призначаються на ті ділянки вилівка (отвори, канавки, заглиблення, шліцові канавки, пази і т.п.), які отримати певним способом лиття важко або неможливо. У разі необхідності напуски видаляються потім механічним обробленням. Напуски призначаються за досвідом, за допомогою довідників або на підставі розрахунків.

Наприклад, як показує досвід, западини зубів шестерен, шліцові канавки майже ніколи не виготовляються литтям; на них зразу ж призначають напуск. При виготовленні виливків литтям у піщані форми напуски можна визначати *методом «тіней»* (рис. 3.6). Призначення напусків

у "тіньових" ділянках дає можливість спростити технологічне оснащення, технологію виготовлення і одержати якісніші виливки.

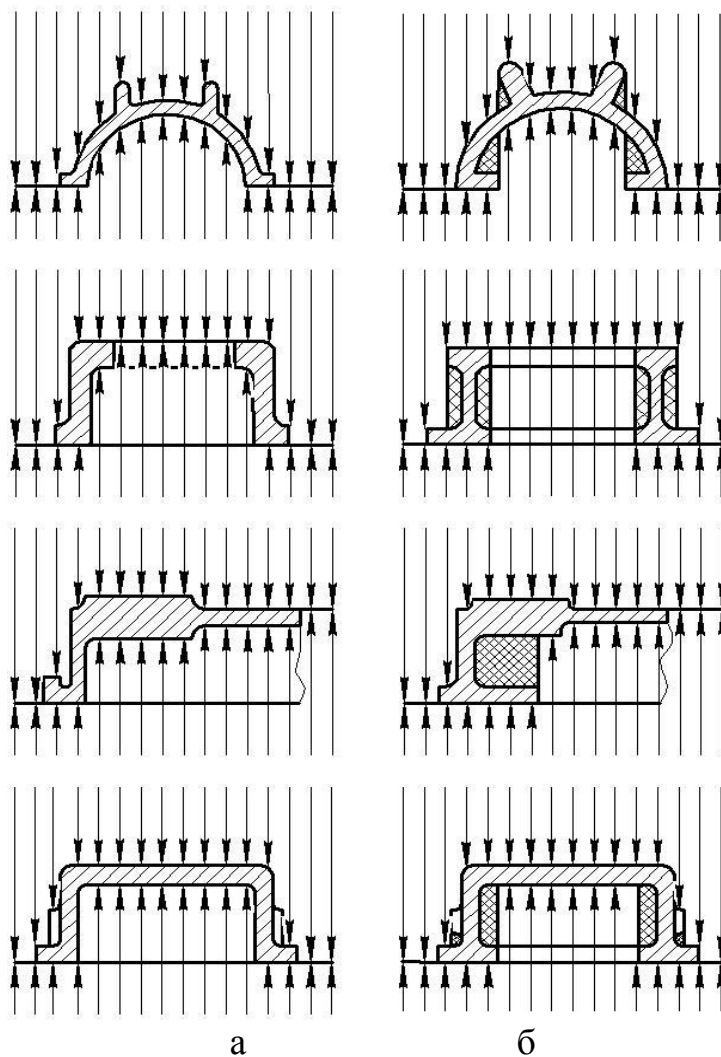


Рис 3.6 Визначення напусків методом «тіней»:

а – напуски не потрібні; б – напуски потрібні (заштриховані ділянки)

Певні розрахунки необхідні при визначенні напусків на отвори. Якщо для виготовлення отвору використовується *разовий стрижень* (на основі піску і зв'язувальної речовини), необхідно визначити мінімальний діаметр отвору, який можна виготовити даним способом лиття. Стрижень повинен бути достатньо міцним, щоб при заливанні металу уникнути руйнування, сильного перегріву або пригорання стрижня до стінок отвору. Можливість витримати дію розплавленого металу визначається співвідношенням довжини стрижня (тобто товщини стінки, через яку він проходить) і його мінімального діаметра, який можна визначити за формулою:

$$d_{\min} = d_0 + 0,1S , \quad (3.5)$$

де d_0 – вихідний діаметр; S – товщина стінки, через яку проходить отвір (тобто довжина стрижня), мм

Вихідний діаметр d_0 на практиці обирається залежно від матеріалу вилівка: для мідних сплавів – 5 мм, для чавунів і алюмінієвих сплавів – 7, для сталей – 10 мм.

Отвір може виготовлятися за допомогою й *металевих стрижнів*. Щоб полегшити виймання такого стрижня з отвору після кристалізації вилівка, йому надається конусність і обмежується глибина отвору h відношенням до його діаметра d . Мінімальний діаметр d_{\min} , конусність металевих стрижнів та максимально допустиме відношення h/d отвору наведені у табл. 3.6.

Якщо діаметр механічно оброблюваного отвору з урахуванням передбачуваного припуску виявиться меншим d_{\min} , отриманого розрахунком або з табл. 3.6, отвір литтям не виготовляється, і на нього призначається напуск.

Перед призначенням припусків, які змінять конфігурацію вилівка, необхідно призначити допуски на відповідні розміри.

Згідно з ГОСТ 26645-85 *допуски* на лінійні розміри конструктивних елементів вилівка залежать від визначеного класу розмірної точності вилівка (див. п. 3.5.3) та від номінального розміру конструктивного елемента. Номінальний розмір вилівка дорівнює номінальному розміру деталі для необроблюваних поверхонь і сумі фактичного розміру деталі та загального припуску на оброблення – для оброблюваних поверхонь. При визначенні номінальних розмірів вилівоків враховують також технологічні напуски.

Допуски на лінійні розміри конструктивних елементів вилівка незалежно від того, змінюються чи не змінюються вони при подальшому обробленні, повинні відповідати вказаним у додатку 5.

Таблиця 3.6 Граничні розміри отворів у стінках виливків, які виготовляються за допомогою металевих стрижнів

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

Допуски розмірів елементів виливка, які утворюються двома півформами або півформою і стрижнем, установлюють відповідними класу розмірної точності виливка. Допуски розмірів, утворені однією частиною ливарної форми або одним стрижнем, установлюють на 1...2 класи точніше. Допуски розмірів, утворених трьома або більше частинами ливарної форми, декількома стрижнями або нерухомими елементами форми, установлюють менш точними на 1...2 класи. Аналогічно знижується точність допусків на товщини стінок, утворених двома і більше частинами ливарної форми або формою і стрижнем.

Якщо за особливостями конструкції виливка або обраного способу лиття при визначенні допусків необхідно врахувати допуски форми і взаємного розташування поверхонь, визначають загальний допуск. Загальні допуски елементів виливків наведені у ГОСТ 26645-85, таблиця 16.

Для оброблених поверхонь виливків установлено симетричне розташування полів допусків. Для необроблених поверхонь допускається

симетричне і несиметричне (частково або повністю) розташування полів допусків розмірів.

Припуски на оброблення різанням (на бік) призначаються диференційовано на кожну оброблювану поверхню виливка.

Перед призначенням припусків необхідно проаналізувати, чи може обраний спосіб лиття забезпечити розмірну точність і якість поверхонь, задані на кресленні деталі. Якщо даний спосіб лиття для конструктивного елемента (поверхні) деталі, що розглядається, може забезпечити точність (квалітет) та шорсткість, указані на кресленні (див. табл. 3.7, 3.8), то ця поверхня не потребує подальшого оброблення різанням, і припуск на неї не призначається.

Припуски за своїм функціональним призначенням поділяються на три групи:

- мінімальний ливарний припуск на механічне оброблення виливка;
- загальний припуск на механічне оброблення поверхонь конструктивних елементів;
- технологічні припуски на окремі елементи виливка.

Мінімальний ливарний припуск на оброблення поверхні виливка призначається для усунення нерівностей і дефектів, зменшення шорсткості литої поверхні при відсутності необхідності підвищення її розмірної точності. Мінімальні ливарні припуски наведені у табл. 3.9.

Загальний припуск на механічне оброблення призначається для усунення похибок розмірів, форми, нерівностей та інших дефектів поверхні, які утворюються при виготовленні виливка. Значення загальних припусків для виливків, що обробляються при *середньому рівні точності* оброблення, залежно від допуску на розмір і ряду припусків виливка наведені у додатку 6.

Таблиця 3.7 Точність виливків, отримуваних різними способами лиття

Спосіб лиття		Тип виробництва	Квалітет точності за ДСТУ 2500-94										
			8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
у піщані форми		одиничне										+	+
		серійне									+	+	+
		масове								+	+	+	+
кокільне і відцентрове (зовнішні поверхні)	чорні сплави	серійне							+	+	+		
	кольорові сплави	серійне						+	+	+	+		
за витоплюваними моделями		масове та серійне				+	+	+	+				
в оболонкові форми		масове та серійне				+	+	+	+				
під тиском		масове та серійне	+	+	+	+	+	+	+				

Таблиця 3.8 Шорсткість поверхонь виливків, отримуваних різними способами лиття

Спосіб лиття		Шорсткість поверхні R _a за ДСТУ 2409-94, мкм							
		80...40	40...20	20...10	10...5	5...2,5	2,5...1,25	1,25...0,63	0,63...0,32
у піщані форми		+	+	+	+	+			
кокільне і відцентрове (зовнішні поверхні)	чорні сплави			+	+	+			
	кольорові сплави				+	+	+		
за витоплюваними моделями				+	+	+	+		
в оболонкові форми				+	+	+	+		
під тиском				+	+	+	+	+	+

Таблиця 3.9 Мінімальні ливарні припуски

Ряд припусків вливка	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Мінімальний ливарний припуск на бік, мм, не більше	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2
Ряд припусків вливка	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Мінімальний ливарний припуск на бік, мм, не більше	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0

Значення загального припуску для кожного інтервалу загальних допусків обирається у додатку 6 залежно від того, який очікується вид наступного механічного оброблення: чорнове, напівчистове, чистове або тонке. Вид остаточного оброблення обирають залежно від співвідношення між необхідною точністю обробленої поверхні *деталі* та вихідною точністю поверхні *вливка* (табл. 3.10). Проте в умовах сталого виробничого процесу вид остаточного механічного оброблення на етапі проектування заготовки може бути визначений шляхом узгодження між технологами ливарного і механічного цехів.

ГОСТ 26645-85 встановлює чотири рівні точності оброблення заготовок: високий, підвищений, середній і знижений. Чим вищий рівень точності оброблення вливка, тим менше значення загального припуску на оброблення. Рівень точності оброблення залежить від типу верстатів, що використовуються: високий – це автоматизоване обладнання, яке оснащено пристроями для стабілізування і керування точністю оброблення; підвищений – звичайне автоматизоване обладнання (напр., агрегатні

Таблиця 3.10 Визначення виду остаточного механічного оброблення

Допуски розмірів вливка	Співвідношення між допусками розмірів деталі (ДСТУ 2500-94) і вливка (ГОСТ 26645-85)	Вид остаточного механічного оброблення
До 0,5	Понад 0,4 0,15...0,40 0,10...0,15 До 0,10	Чорнове Напівчистове Чистове Тонке
0,5...1,0	Понад 0,3 0,1...0,3 0,05...0,10 До 0,05	Чорнове Напівчистове Чистове Тонке
1,0...2,0	Понад 0,2 0,1...0,2 0,05...0,10 До 0,05	Чорнове Напівчистове Чистове Тонке
2,0...5,0	Понад 0,15 0,05...0,15 0,02...0,05 До 0,02	Чорнове Напівчистове Чистове Тонке
Понад 5,0	Понад 0,10 0,05...0,10 0,02...0,05 До 0,02	Чорнове Напівчистове Чистове Тонке

верстати, верстати з ЧПК тощо); знижений, а іноді й середній – неавтоматизоване обладнання з ручним керуванням. При високому і підвищеному рівнях точності оброблення слід приймати значення припусків, які відповідають інтервалам загальних допусків, розташованих у додатку 6 відповідно на 1...2 рядки вище інтервалу дійсного допуску; при зниженому рівні точності оброблення – на 1 рядок нижче інтервалу дійсного допуску.

Для виливків дрібносерійного та одиничного виробництва допускається призначати збільшені значення припусків, які відповідають інтервалам загальних допусків, розташованим у додатку 6 відповідно на 1...2 рядка нижче інтервалу дійсного допуску.

Значення припусків, наведені у додатку 6, є граничними для встановлених норм точності. За узгодженням між замовником і виробником

допускається зменшення або збільшення значень припусків на окремі поверхні вилівка при умові уточнення відповідних норм точності оброблюваної поверхні.

Технологічні припуски – це різноманітні стовщення стінок вилівка, технологічні надливи і т.п., які призначаються понад загальний припуск на механічне оброблення для вирішення різних технологічних задач при виготовленні вилівка (напр., стовщення стінки вилівка до мінімальної товщини при тому чи іншому способі лиття, фомувальні нахили, усадкові напуски і ребра тощо).

Формувальні нахили служать для полегшення виймання моделі або вилівка з ливарної форми і стрижня зі срижньового ящика або вилівка. Вони призначаються на поверхні, вздовж яких рухається модель (або вилівок) при видаленні з форми, тобто на поверхні, перпендикулярні до поверхні розніму форми. Для способів лиття у разові форми величину нахилу призначають у залежності від висоти формотвірної поверхні (зовнішньої h_z або внутрішньої h_v), вздовж якої рухається модель (рис. 3.7), співвідношення діаметра (ширини) заглиблення у формі d (також зовнішнього або внутрішнього) та висоти h відповідної формотвірної поверхні, способу лиття та типу модельного комплекту. Рекомендовані формувальні нахили модельного комплекту наведено у табл. 3.11.

На оброблюваних поверхнях вилівка нахил установлюється понад припуск на механічне оброблення за рахунок збільшення розмірів вилівка (рис. 3.7, а), на необроблюваних поверхнях, які не сполучаються по контуру з іншими деталями, – шляхом одночасного збільшення і зменшення розмірів вилівка (рис. 3.7, в), на необроблюваних, але сполучуваних з іншими деталями поверхнях — шляхом зменшення (рис. 3.7, б) або збільшення (рис. 3.7, г) розмірів вилівка залежно від поверхні сполучення.

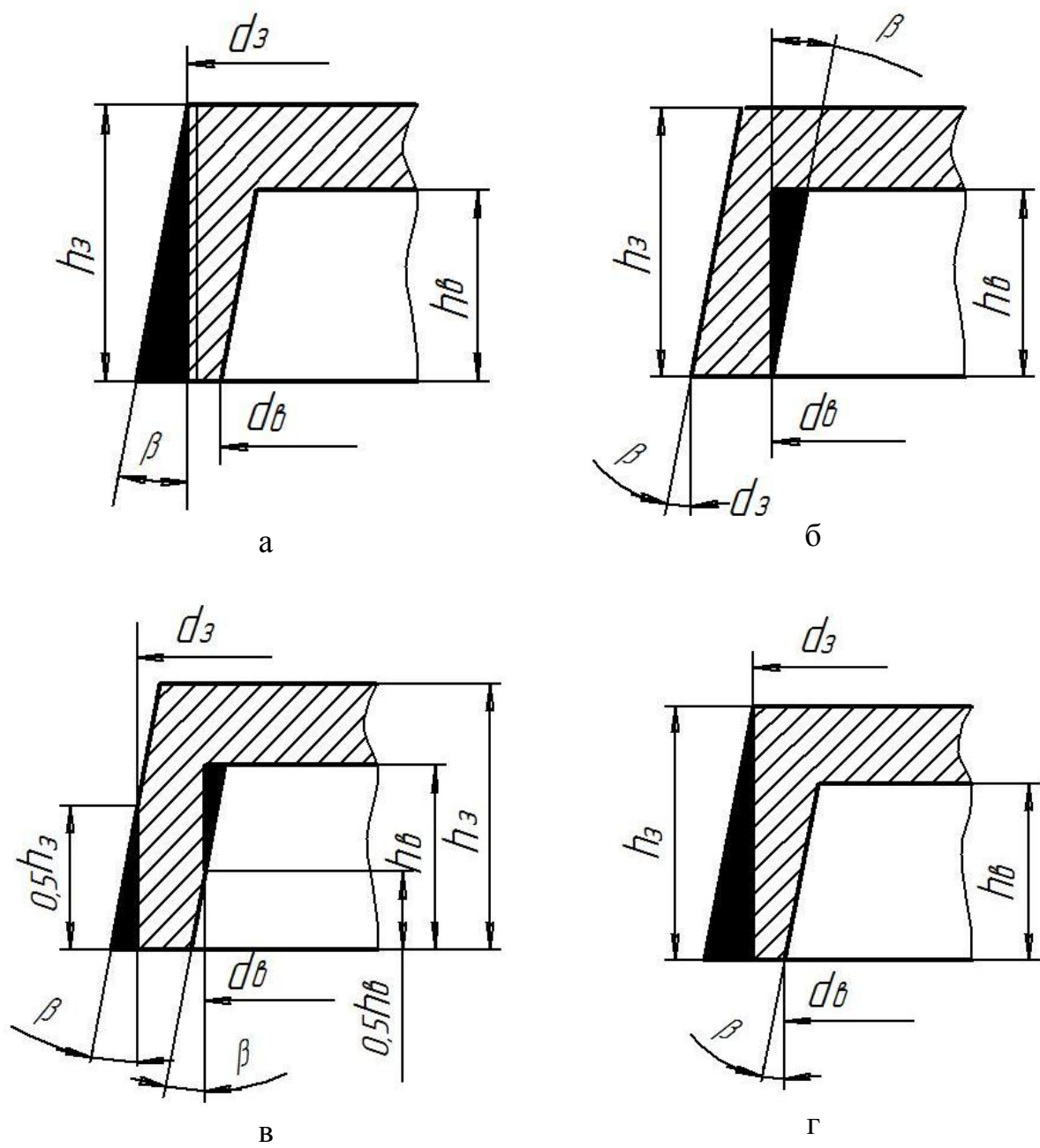


Рис. 3.7 Формувальні нахили

Таблиця 3.11 Формувальні нахили модельного комплекту

Висота головної формотвірної поверхні, h мм	Формувальний нахил								
	При застосуванні піщаноглинястої суміші і комплекту				При застосуванні сумішей, що твердіють у контакті з оснащенням, і комплекту			Для лиття за витоплюваними моделями	
	металевого, пластмасо- вого		дерев'я- ного		металевого для оболонкової форми	металевого, пластмасового	дерев'яного	для зовнішніх (охоплюваних) поверхонь	для внутрішніх (охоплювальних) поверхонь
	d≤h	d>h	d≤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°45'	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'	0°42'	1°02'	2°06'	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°38'	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'	-	-

LL

У виливках коробчастої конструкції нахил стінки отримують за рахунок формувальних нахилів і форми, і стрижня. У цьому випадку для отримання рівномірної товщини стінки необхідно передбачувати однакові формувальні нахили на моделі і у стрижньовому ящику.

Формувальні нахили можуть спотворювати форму необроблених поверхонь (рис. 3.8), тому на кресленні литої заготовки доцільно їх показувати. Виникнення уступів не слід допускати.

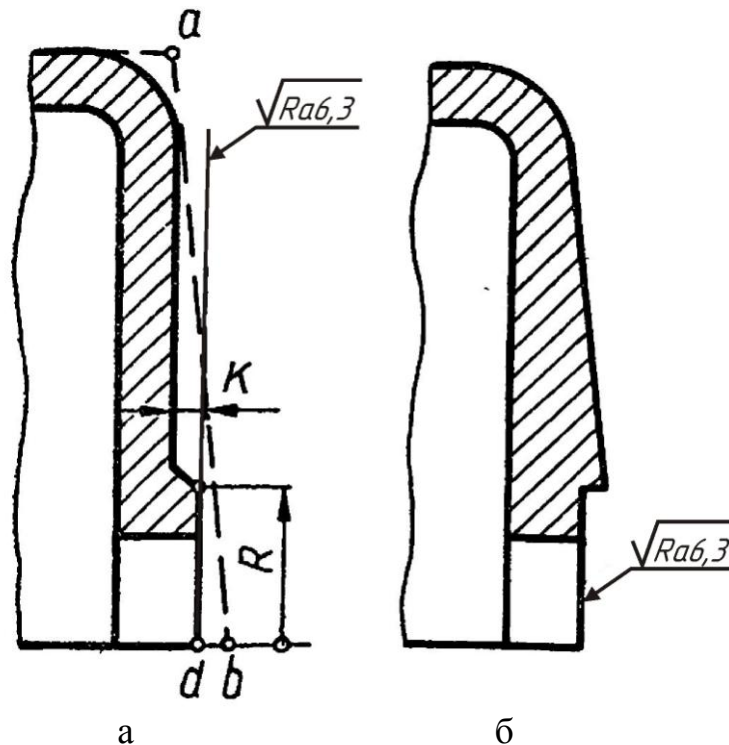


Рис. 3.8 Приклад спотворення конфігурації деталі формувальним нахилом:

а – прокреслювання нахилу при проектуванні моделі; б – фактична конфігурація литої деталі після механічного оброблення

Для кокільного лиття нахил стінок форми у бік її розніму обирають у межах $0,5...1,5^\circ$. Величини нахилів при відцентровому литті залежать від конструкції форми. Якщо це металева форма, то нахили відповідають вимогам до форм кокільного лиття. Якщо форма має піщану або керамічну вставку, нахили обирають згідно з вимогами відповідного способу лиття.

На якість литої заготовки суттєво впливає правильний вибір радіусів заокруглень у місцях переходу від одного перетину (товщини тіла) виливка

до іншого – так званих *внутрішніх радіусів заокруглень* $R_{вн}$. Замалий радіус заокруглень призводить до утворення тріщин, зовеликий – до утворення усадкової пухкості. Радіус заокруглення, який забезпечує отримання найякіснішого металу вилівка, залежить від матеріалу вилівка, середньої товщини елементів, що сполучуються (двох стінок, валів та стовщень або дисків на них, стінки та дна отвору і т.п.), та кута, утвореного між ними. Оптимальний внутрішній радіус заокруглень обирають за графіком (рис. 3.9).

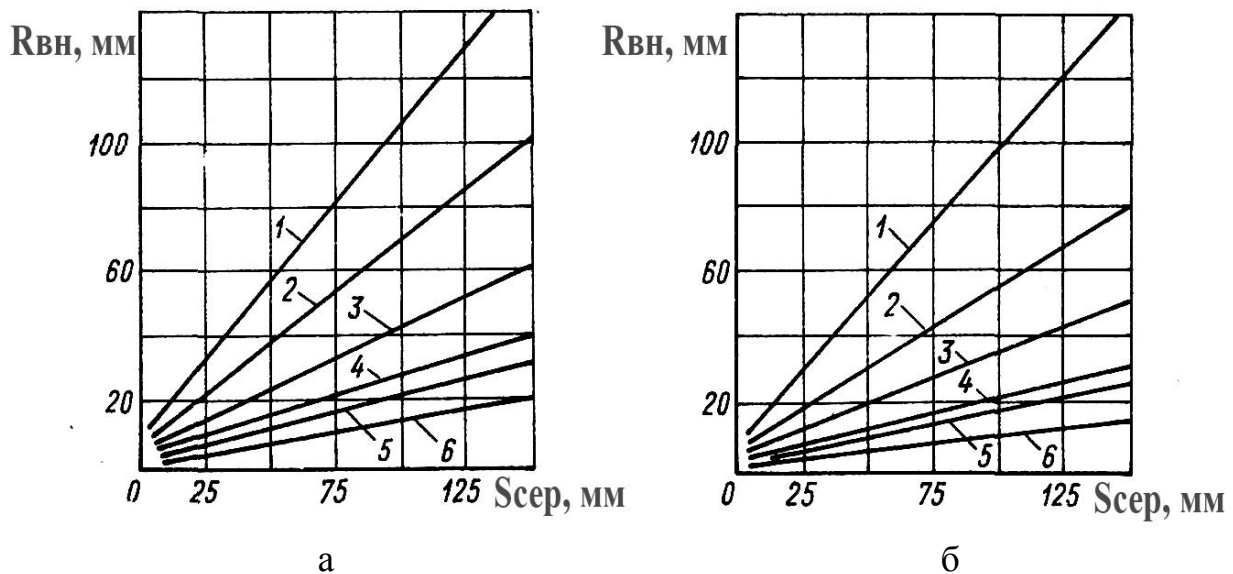


Рис. 3.9 Графіки для визначення внутрішніх радіусів заокруглень $R_{вн}$ при сполученні елементів вилівок:

а – зі сталі та мідних сплавів; б – з чавуну, алюмінієвих та магнієвих сплавів; $S_{ср} = 0,5(S_1 + S_2)$; 1 – $\alpha > 165^\circ$; 2 – $\alpha = 133 \dots 165^\circ$; 3 – $\alpha = 105 \dots 135^\circ$; 4 – $\alpha = 75 \dots 105^\circ$; 5 – $\alpha = 50 \dots 75^\circ$; 6 – $\alpha < 50^\circ$

При куті між елементами вилівка, що сполучуються, від 50 до 135° , який зустрічається найчастіше,

$$R_{вн} = 0,5 k(S_1 + S_2) \quad (3.6)$$

де k – коефіцієнт, який залежить від матеріалу вилівка; S_i – товщина елементів (стінок, ребер жорсткості і т.п.), що сполучуються.

Коефіцієнт k дорівнює 0,3...0,5 для сталевих і мідних виливків та 0,25...0,40 для виливків з чавунів, алюмінієвих та магнієвих сплавів. Товщина елементів S_1 і S_2 береться з урахуванням припуску.

Заокруглення треба виконувати з одного центра (рис. 3.10, а) як для зовнішнього радіуса стінки, так і для внутрішнього, якщо сполучаються стінки однієї товщини. Внутрішні радіуси при сполученні стінок різної товщини (рис. 3.10, б) визначають за середньою товщиною стінок, що сполучуються.

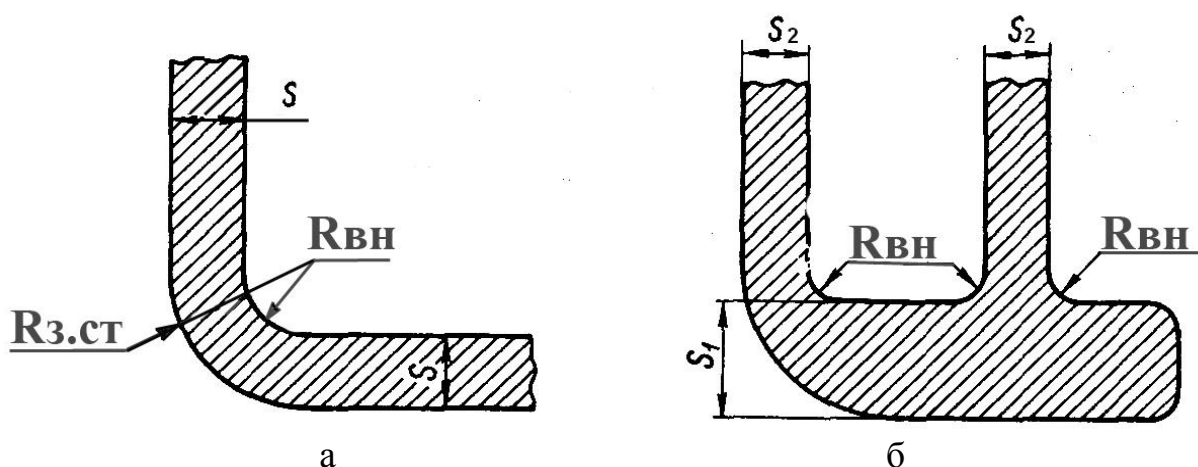


Рис. 3.10 Схема сполучення стінок виливка: а – однієї товщини; б – різної товщини

Зовнішні радіуси заокруглень R_3 призначені для притуплення зовнішніх гострих кромek виливка. Їх величина залежить від кута між сполучуваними поверхнями та найменшого габаритного розміру h поверхні, перпендикулярної до твірної поверхні заокруглення (рис. 3.11).

Величини радіусів заокруглень R_3 визначаються за табл. 3.12. На одному виливку всі сполучення доцільно виконувати одним радіусом заокруглення.

3.5.6 Оформлення креслення литої заготовки

Визначені конструктивну форму і розміри виливка слід оформити кресленням. Креслення литої заготовки виконується відповідно до вимог

стандартів ЄСКД і ГОСТ 3.1125-88. Воно повинно містити всі дані, необхідні для виготовлення, контролю і приймання виливка.

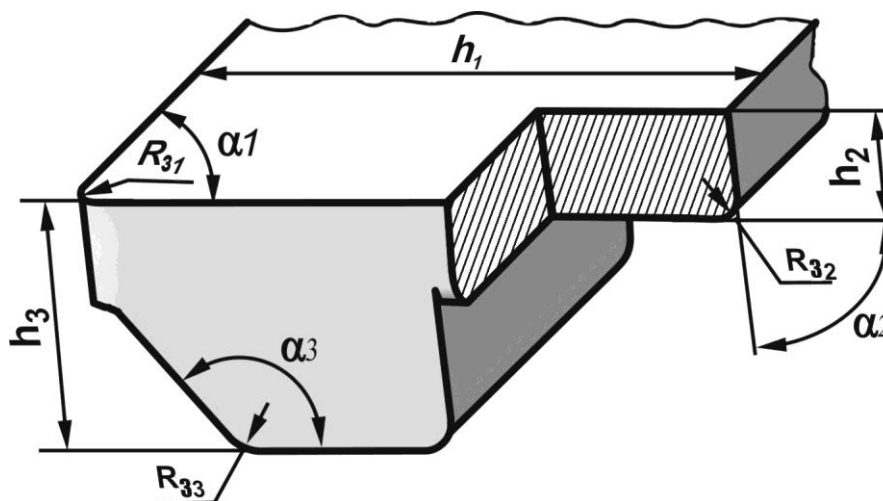


Рис. 3.11 Правило визначення найменших габаритних розмірів h та кута між сполучуваними поверхнями α

Таблиця 3.12 Мінімальний зовнішній радіус заокруглення гострих кутів R_z , мм

Найменший габаритний розмір поверхні, перпендикулярної до поверхні заокруглення h , мм (див. рис. 3.11)	Кут між сполучуваними поверхнями α , град. (див. рис. 3.11)			
	50...70	75...105	105...135	136...165
до 25	2	2	4	6
25...50	4	4	6	10
51...250	4	6	8	16
251...400	8	10	16	25
401...600	8	12	18	32

В одиничному виробництві креслення виливка допускається робити на копії креслення деталі. При цьому елементи виливка виконуються червоним кольором. Згідно з визначеним положенням виливка у формі на кресленні деталі вказують напуски, припуски, нахили, радіуси заокруглень, визначені відповідно до наведених вище правил.

У серійному та масовому виробництвах на литу заготовку виконують самостійне креслення (рис. 3.12), на якому на відміну від основних елементів вилівка тонкими суцільними лініями вказують контури оброблених поверхонь, а також отворів, западин та виточок, які не виконуються литтям. Усадкові ребра, технологічні приливи, проби і т.п., які не видаляються у ливарному цеху, виконуються на кресленні вилівка повністю суцільною основною лінією.

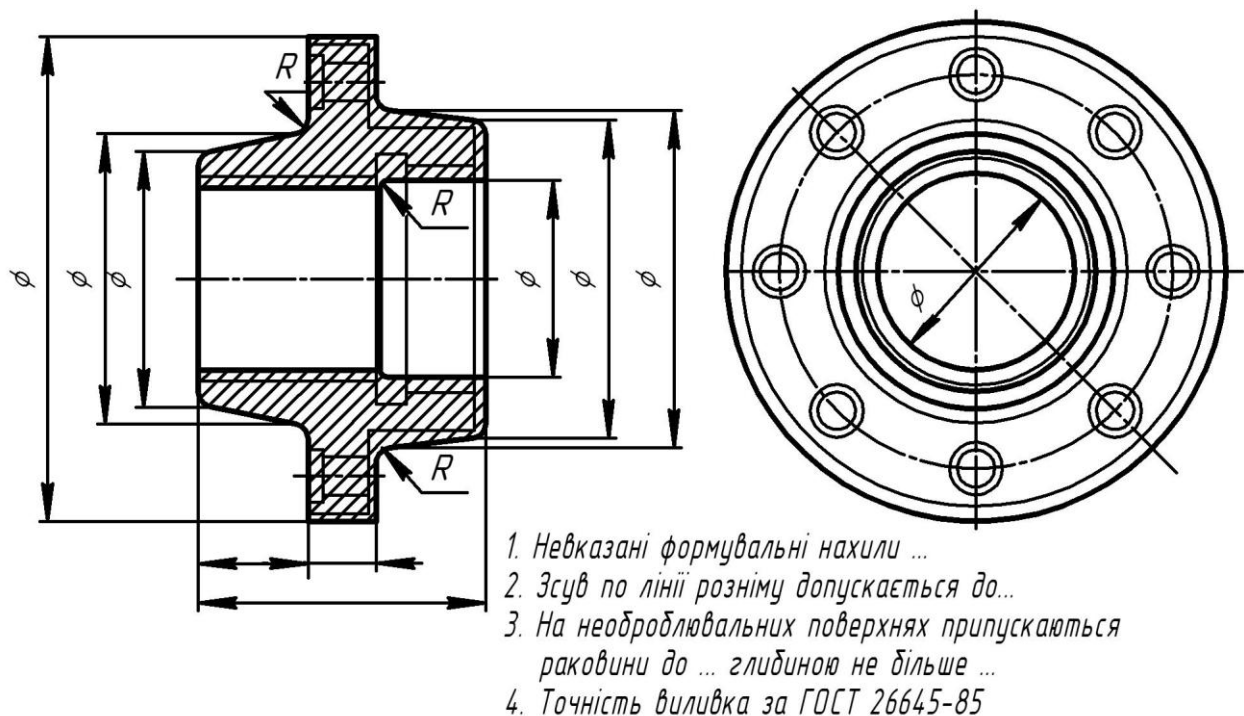


Рис. 3.12 Приклад оформлення креслення вилівка

Залишки живильників, випорів, надливів та інших подібних елементів, якщо вони не відокремлюються повністю у ливарному цеху, також зображуються на кресленні вилівка. Якщо вони відрізані різцем, фрезою або пилкою, лінія відрізування зображується суцільною тонкою прямою лінією; якщо вогневим різанням або обламуванням, то хвилястою.

При проставлянні розмірів з базами чорнового оброблення пов'язують усі необроблювані поверхні; при цьому слід уникати проставляння розмірів ланцюжком. Необхідно прагнути до того, щоб кількість додаткових розмірів була мінімальною, оскільки при проставлянні за одним напрямом двох і

більше розмірів їх допуски підсумовуються. Замикальним розміром (що не проставляється на кресленні), звичайно, обирається товщина фланця, прилива або іншого невідповідального елемента, розмір якого буде коливатися у межах суми допусків на ланцюжок розмірів.

Усі оброблювані поверхні рекомендується пов'язати з базою чистового механічного оброблення. Пов'язувати з нею необроблювані поверхні не бажано.

У технічних умовах креслення згідно з ГОСТ 2.115-70 зазначають:

- вимоги до матеріалу вилівка або відомості про його замітник;
- вказівки щодо виду термічного оброблення, встановлені межі твердості, методи і місце її вимірювання;
- невказані на кресленні радіуси заокруглень, формувальні нахили і т.п.;
- допустиме зміщення опок (найчастіше вказується на кресленнях великих корпусних деталей);
- відомості про вид, кількість, розміри і місце розташування допустимих ливарних дефектів (усадкова пористість, раковини, тріщини тощо);
- клас точності розмірів і маси, ступінь жолоблення та ряд припусків на механічне оброблення згідно з ГОСТ26645-85.

У разі необхідності в технічних умовах зазначаються додаткові вимоги: наприклад, допустима глибина відбілювання для виливків з чавуну; вимоги до макро- та мікроструктури, жаростійкості або корозійної стійкості, герметичності тощо. У цьому випадку додатково вказуються методи контролю та норми відбраковування виливків за відповідними показниками.

Для достатньо великих виливків може зазначатися місце маркування вилівка, зміст і шрифт маркування.

3.6 Забезпечення технологічності виливків

Оцінюючи технологічність виливка з точки зору його форми і розмірів, слід прагнути до спрощення конфігурації як зовнішніх, так і внутрішніх поверхонь. Необхідно уникати поверхонь, які надмірно виступають або западають, перевіряючи їх наявність за допомогою правила "тіней".

Товщини стінок і конструктивні нахили повинні призначатися залежно від призначення стінок, механічних і технологічних властивостей матеріалу і з урахуванням умов, зазначених у п.3.5. Якщо ливарні нахили не показані на кресленні, необхідно перевірити, чи не спотворюють вони конфігурацію виливка. Бажано, щоб габаритні розміри виливка були мінімальними особливо за висотою, оскільки в іншому випадку ускладнюється процес виготовлення форми.

Конструкція виливка повинна дозволити виготовлення ливарної форми з мінімальною кількістю розмірів. Конфігурація і розташування стрижнів у формі повинні забезпечувати вільний вихід газів зі стрижнів. Кількість стрижнів у формі має бути мінімальною (рис. 3.13). Встановлювання стрижнів у формі на жеребійках небажане, тому що жеребійки не завжди добре зварюються з основним металом.

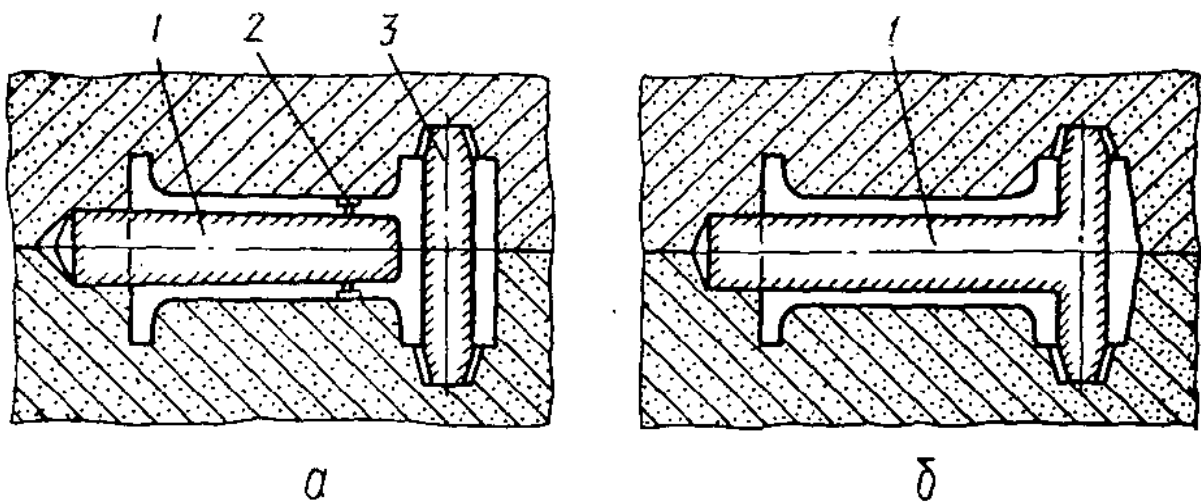


Рис. 3.14 Конструкція виливка кронштейна:
а – нетехнологічно; б —технологічно; 1, 3 – номери стрижнів; 2 – жеребійка

При організації *спрямованої кристалізації* знизу вгору одержують щільний виліток без усадкових раковин та пористості. Це досягається переважно за рахунок устанавлення надливів. Однак вони призводять до ускладнення формування та збільшення витрати металу. Одночасно підвищується небезпека виникнення тріщин.

Усадкові раковини та пухкості виникають у виливку через некомпенсовану усадку в процесі кристалізації. Вона може виникнути при неправильному розподілі маси металу за перерізом виливка. Для того, щоб запобігти виникненню цього дефекту, роблять перевірку конструкції стінки методом "*вписаних кіл, що викочуються*" (рис. 3.14). Суть його полягає в тому, що з наближенням фронту кристалізації до надливу діаметр кіл, вписаних у переріз виливка, повинен збільшуватися. Іншими словами, будь-яке вписане коло повинне без перешкод "*викочуватися*" у напрямку надливу.

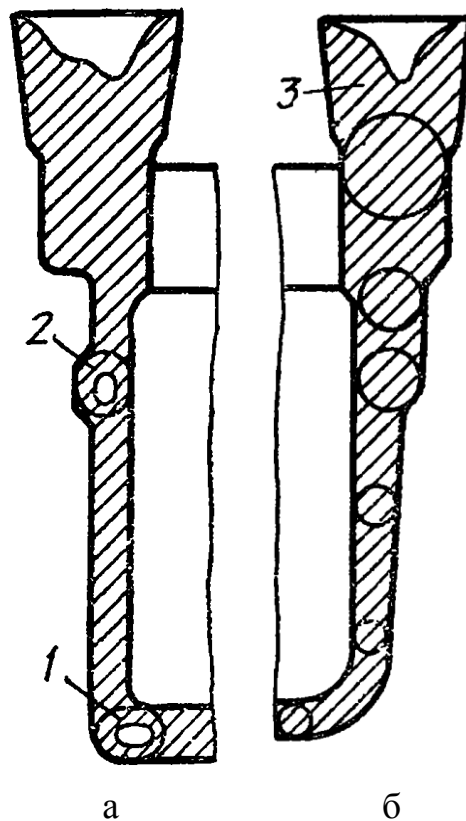


Рис. 3.14 Схема спрямованої кристалізації:
а – нетехнологічно; б – технологічно; 1, 2 – усадкові пухкості; 3 – надлив

Іноді для забезпечення технологічності використовують *принцип одночасної кристалізації*, який полягає у тому, що всі стінки вилівка – від нижньої частини до верхньої – мають однакову товщину і застигають практично одночасно. Цей принцип застосовується переважно для дрібних та середніх виливків з тонкими стінками із сплавів з невеликою усадкою. Однак при цьому не завжди забезпечується висока міцність та щільність вилівка.

Значна увага приділяється забезпеченню рівностінності виливків та плавності переходів від однієї поверхні до іншої. Плавний перехід від тонких перерізів до товстих та правильне сполучення стінок дає можливість одержати якісний вилівок без ливарних дефектів та жолоблення стінок. Можливі варіанти деяких сполучень стінок різної товщини наведені на рис. 3.15.

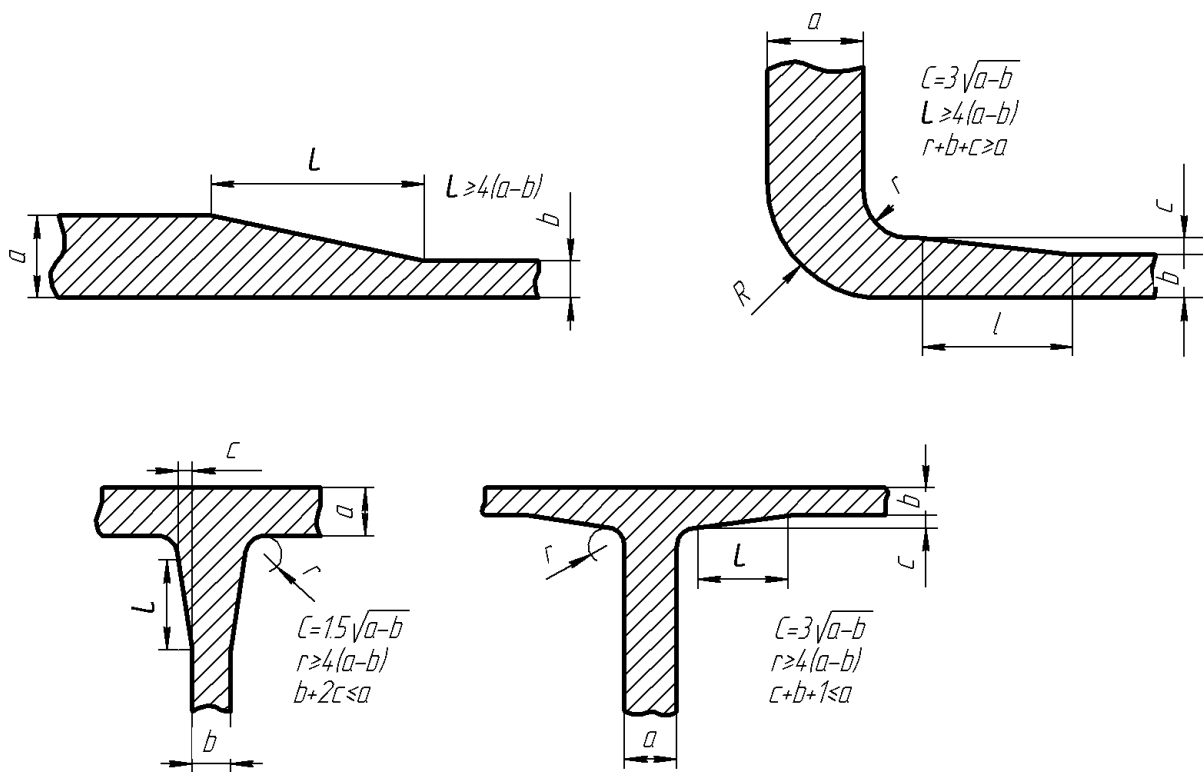


Рис. 3.15 Приклади сполучення стінок різної товщини

Необхідно відзначити, що кутове сполучення стінок при правильному конструюванні має найменшу схильність до утворення усадкової раковини. Таврове ж сполучення найнебезпечніше щодо цього, особливо при наявності

гострих кутів, великої різниці товщини з'єднаних стінок та великих радіусах заокруглень, оскільки всі ці фактори створюють скупчення металу і несприятливі умови для його охолодження та кристалізації (рис. 3.16).

У зв'язку з тим, що в литих конструкціях необхідно забезпечити мінімальну товщину стінок, для підвищення міцності та жорсткості виливків

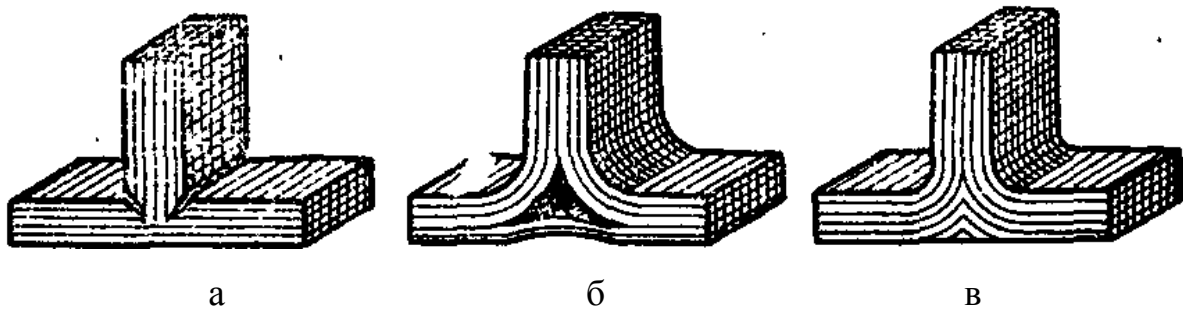


Рис. 3.16 Таврове сполучення стінок:
а – без внутрішніх радіусів заокруглень (зовнішні дефекти); б – завеликий внутрішній радіус заокруглень (внутрішні дефекти); в – оптимальний внутрішній радіус заокруглень (без дефектів)

слід застосовувати оребрення навантажених стінок. Однак це веде до збільшення концентрації напружень, а в місцях перетину ребер зі стінками – до скупчення металу. Тому для підвищення технологічності конструкції вилівка необхідно подбати про вільну деформацію ребер при усадці. Для цього їх необхідно розташовувати перпендикулярно до площини розліву форми.

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

Для зменшення скупчення металу в місцях перетину ребер слід уникати їх хрестоподібного перетину. Технологічнішим є шахматне і сотоподібне розташування ребер (рис. 3.17). Останнє забезпечує найрівномірніший розподіл залишкових напружень як у процесі

оохолодження виливка, так і під час експлуатації деталі. Однак такий виливок децю складніший і дорожчий для виготовлення.

Якщо ребро жорсткості з'єднує дві перпендикулярні стінки, то для зменшення скупчення металу у місці стику рекомендується передбачати у ребрі литий отвір, а самому ребру надати криволінійну форму (рис. 3.18).

При виготовленні литих заготовок маховиків, шківів, зубчастих коліс виникнення жолоблення та тріщин пов'язане з різною швидкістю

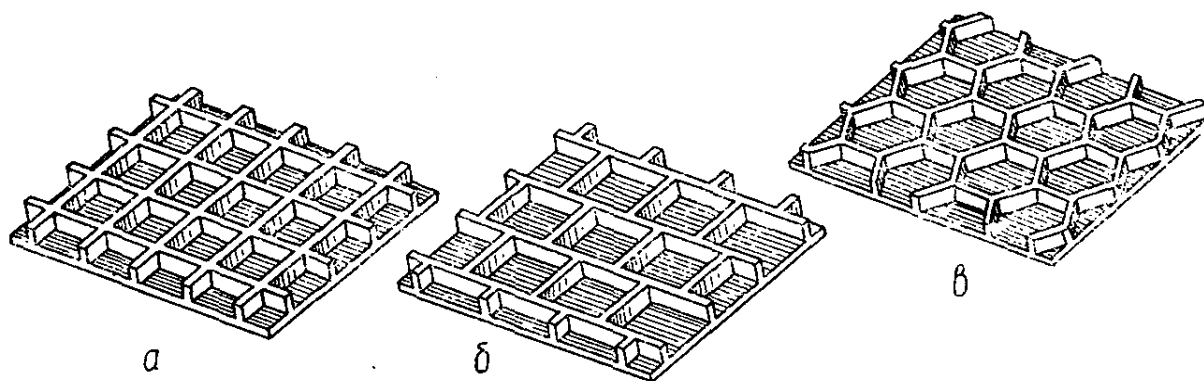


Рис. 3.17 Розташування ребер:
а - хрестоподібне; б - шахматне; в - сотоподібне

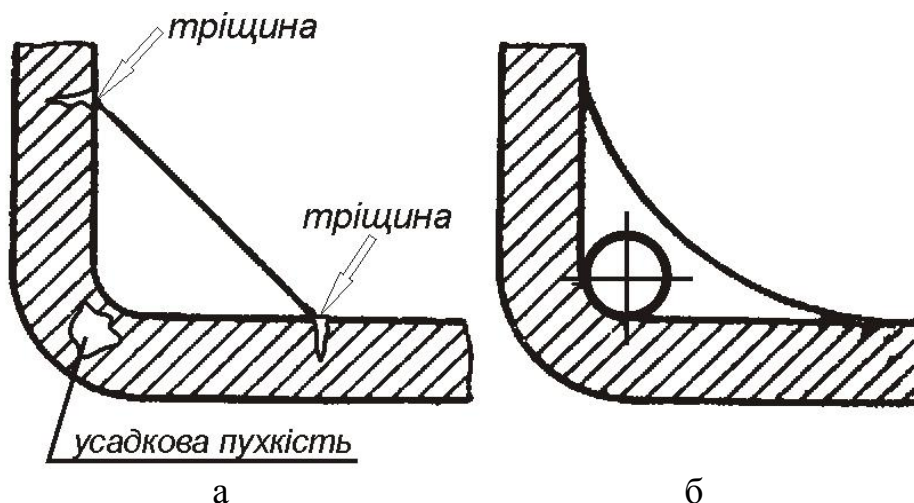


Рис. 3.18 Ребро жорсткості на стику двох стінок:
а - нетехнологічно; б - технологічно

оохолодження обода, маточини й спиць. Якщо обід масивний та оохолоджується повільніше за спиці, у ньому виникають значні розтягувальні

напруження, які можуть призвести до втрати циліндричної форми. Якщо обід тонший за спиці, він кристалізується раніше, і у спицях поблизу обода можуть виникнути тріщини. Якщо раніше кристалізуються спиці, тріщина може виникнути в ободі. Якщо співвідношення перерізів обода і спиць обрано так, що кристалізація проходить одночасно, а маточина охолоджується повільніше, то тріщини можуть виникати у спицях біля маточини.

Для зниження залишкових напружень у литих маховиках з парною кількістю спиць рекомендується робити зігнуті спиці, а з непарною – прямі (рис. 3.19).

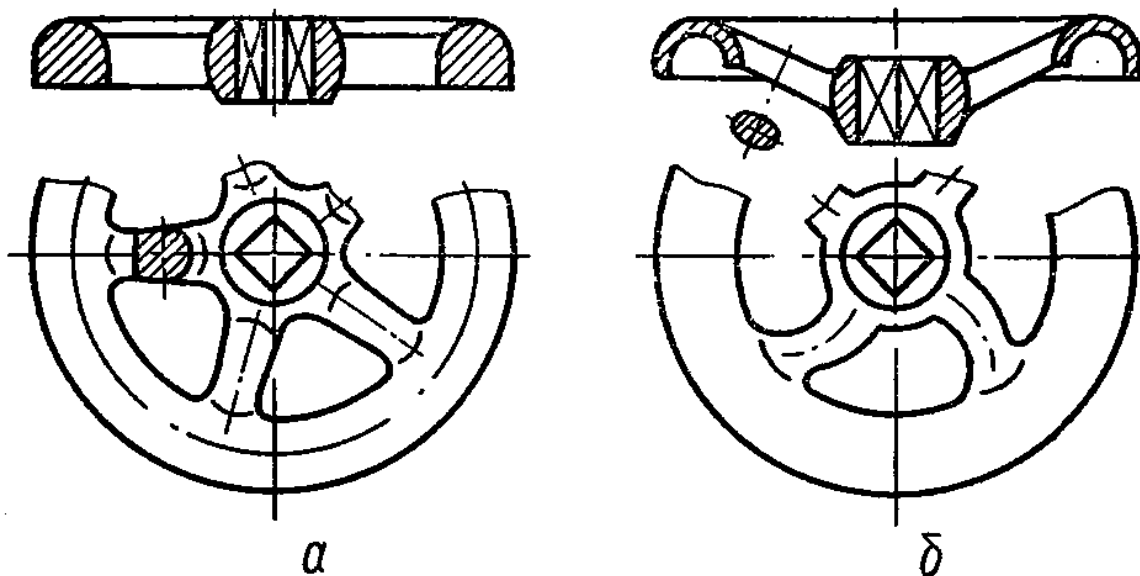


Рис. 3.19 Литі маховики з прямими (а) та зігнутими (б) спицями

Поперечні перерізи спиць бажано робити овальними, при великих навантаженнях – двотаврового перерізу, зі скругленими гострими кутами і сполученнями. Маточини не повинні бути товстостінними, оскільки біля основи спиць можуть виникати усадкові раковини та пухкості. У маточинах великої довжини рекомендується робити канавки (рис. 3.20). На ділянках з місцевим стоншенням стінки (над шпонковою канавкою) рекомендується робити надливи.

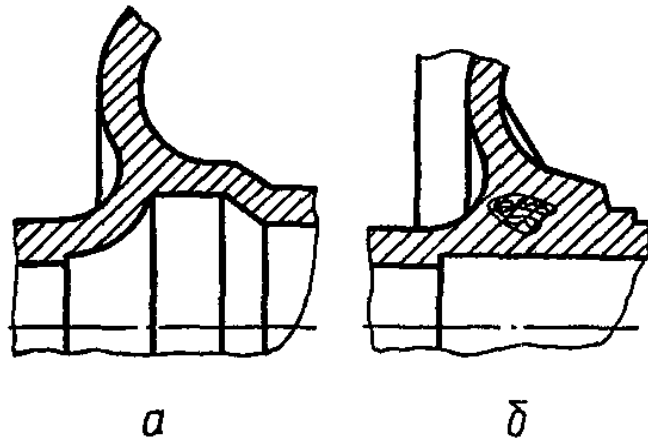


Рис. 3.20 Розташування канавки у маточині колеса:
а – технологічно; б – нетехнологічно

Для зменшення усадкових і термічних напружень та ймовірності виникнення тріщин слід забезпечувати вільну усадку вилівка і уникати термічних вузлів. Останні виникають у тих місцях, де перетинаються теплові потоки, що йдуть від поверхні вилівка у форму (рис. 3.21, а).

Для поліпшення тепловідводу у цьому місці змінюють конструкцію термічного вузла (рис. 3.21, б) або встановлюють усадкові ребра (рис. 3.22), які охолоджуються швидше і зміцнюють цю зону. Якщо встановлення усадкових ребер не дає позитивного результату, то вирівнювання швидкості охолодження в усіх перерізах вилівка досягають за допомогою холодильників, які встановлюються у ливарній формі.

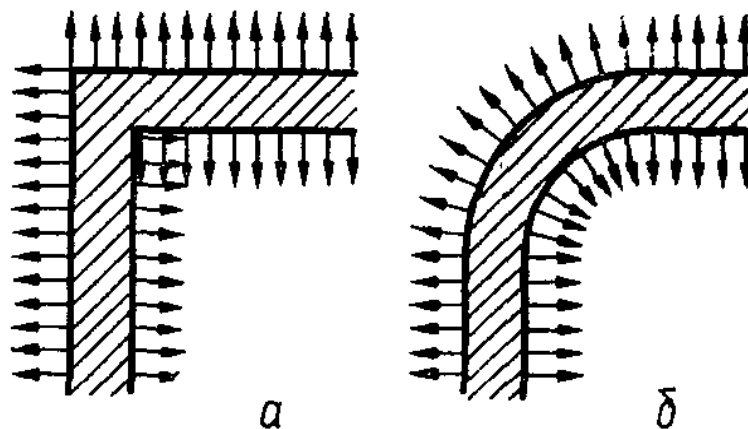


Рис. 3.21 Конструкція термічного вузла:
а – нетехнологічно; б – технологічно

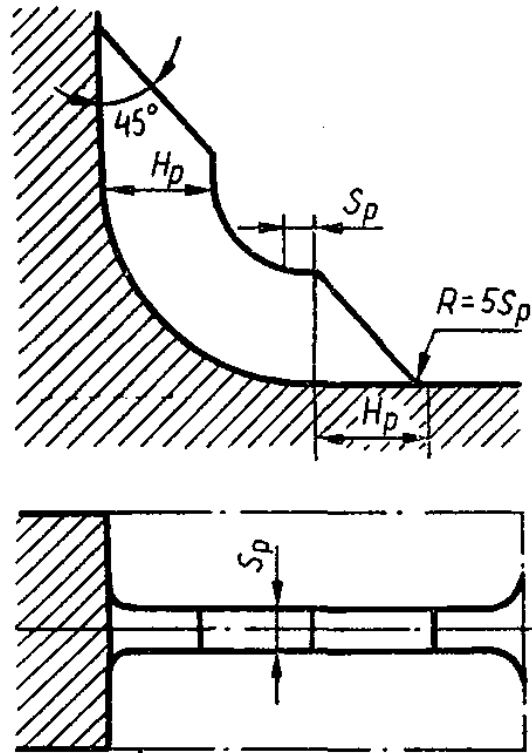


Рис. 3.22 Приклад усадкового ребра

Заготовку великої довжини слід робити зі стінками, рівномірними за товщиною. Її конструкція повинна бути якомога симетричнішою і достатньо жорсткою. Одночасно слід уникати великих плоских поверхонь, надаючи їм зігнутої форми (рис. 3.23).

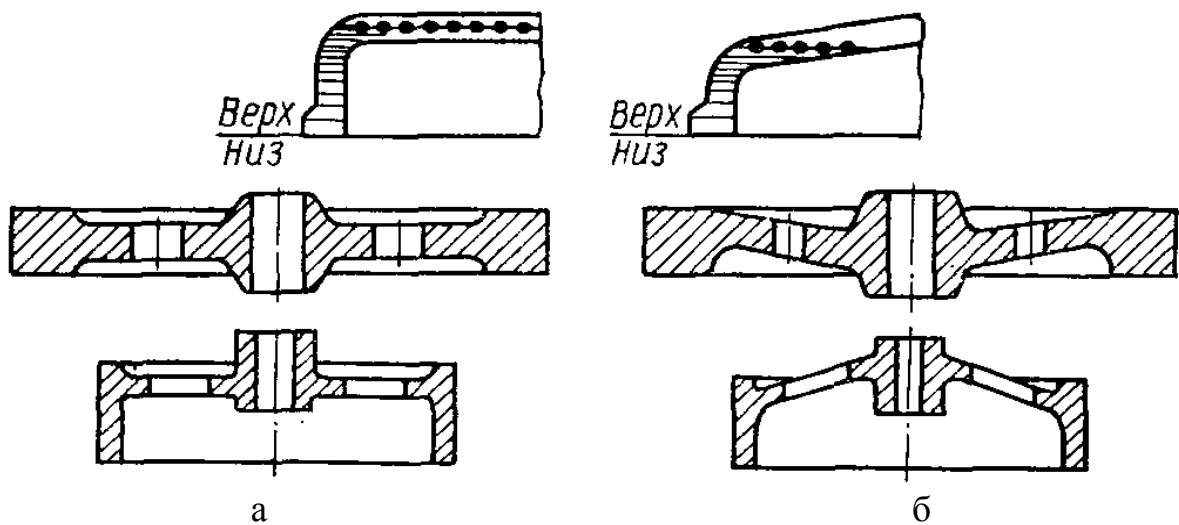


Рис. 3.23 Попередження утворення усадкових і газових раковин:
а – нетехнологічно; б – технологічно

Великі горизонтальні стінки слід замінювати на похилі, східчасті або опуклі. Якщо таку поверхню необхідно все ж таки одержати плоскою, рекомендується при формуванні розташувати її у нижній півформі. У цьому випадку закінчення заповнення форми проходить при малій вільній поверхні рідкого металу, і можливість виникнення газових пор зменшується.

3.7 Підготовка литих заготовок до оброблення різанням

Мета підготовки литих заготовок до оброблення різанням – підвищення оброблюваності різанням і стабілізація її розмірів. Для цього заготовки піддають термообробленню. Характер термооброблення залежить від ливарного сплаву, способу лиття, розмірів виливка та інших факторів.

Термічне оброблення чавунних заготовок застосовується для зміни структури металевої основи чавуну (матриці), ступеня графітизації, зниження залишкових напружень, стабілізації розмірів. При цьому форма графіту в чавуні не змінюється.

Відпалювання, що графітизує, використовують для розкладання карбідів (усунення відбілення) у виливках з усіх видів чавуну і зменшення твердості поверхневого шару. Воно здійснюється при температурі 850...980°C. Тривалість відпалювання залежить від розмірів виливка, товщини стінок, хімічного складу чавуну та звичайно приймається з розрахунку 1 год. на кожні 25 мм товщини стінки виливка.

Для зменшення твердості в усьому перерізі виливка і одержання феритної структури матриці проводять другу стадію відпалювання при температурі 700...720°C. Перехід з температури 850...980°C до 720°C бажано проводити повільно. Це дає можливість одержати більше фериту і надає порівняно більшої пластичності виливку. Остаточне охолодження виливків в інтервалі температур 500...300°C проводять швидко, щоб уникнути відпускної крихкості.

Нормалізування чавуну здійснюється при температурі 850...950°C з метою одержання виливків підвищеної міцності і зносостійкості, тобто одержання виливків зі структурою перліту. Одночасно відбуваються подрібнення зерен перліту і часткове зняття залишкових напружень. Після повного прогрівання виливки тримають у печі ще 30...120 хвилин з метою вирівнювання структури в усьому об'ємі. Охолодження проводиться на повітрі. Використовуючи нормалізування, можна підвищити марку чавуну приблизно на два класи.

Відпускання як самостійний вид термооброблення застосовують лише для знімання залишкових напружень виливків з сірого чавуну. При цьому їх нагрівають до температури 500...550°C, витримують 2...8 год. і охолоджують разом з піччю.

Сталеві виливки, як правило, мають крупнозернисту неоднорідну структуру і низьку пластичність. Залежно від хімічного складу сталеве литво *відпалюють* при температурі 850...900°C з витримкою протягом 2...4 год. і охолоджують з піччю. У цьому випадку одержують найбільшу пластичність і мінімальний рівень залишкових напружень.

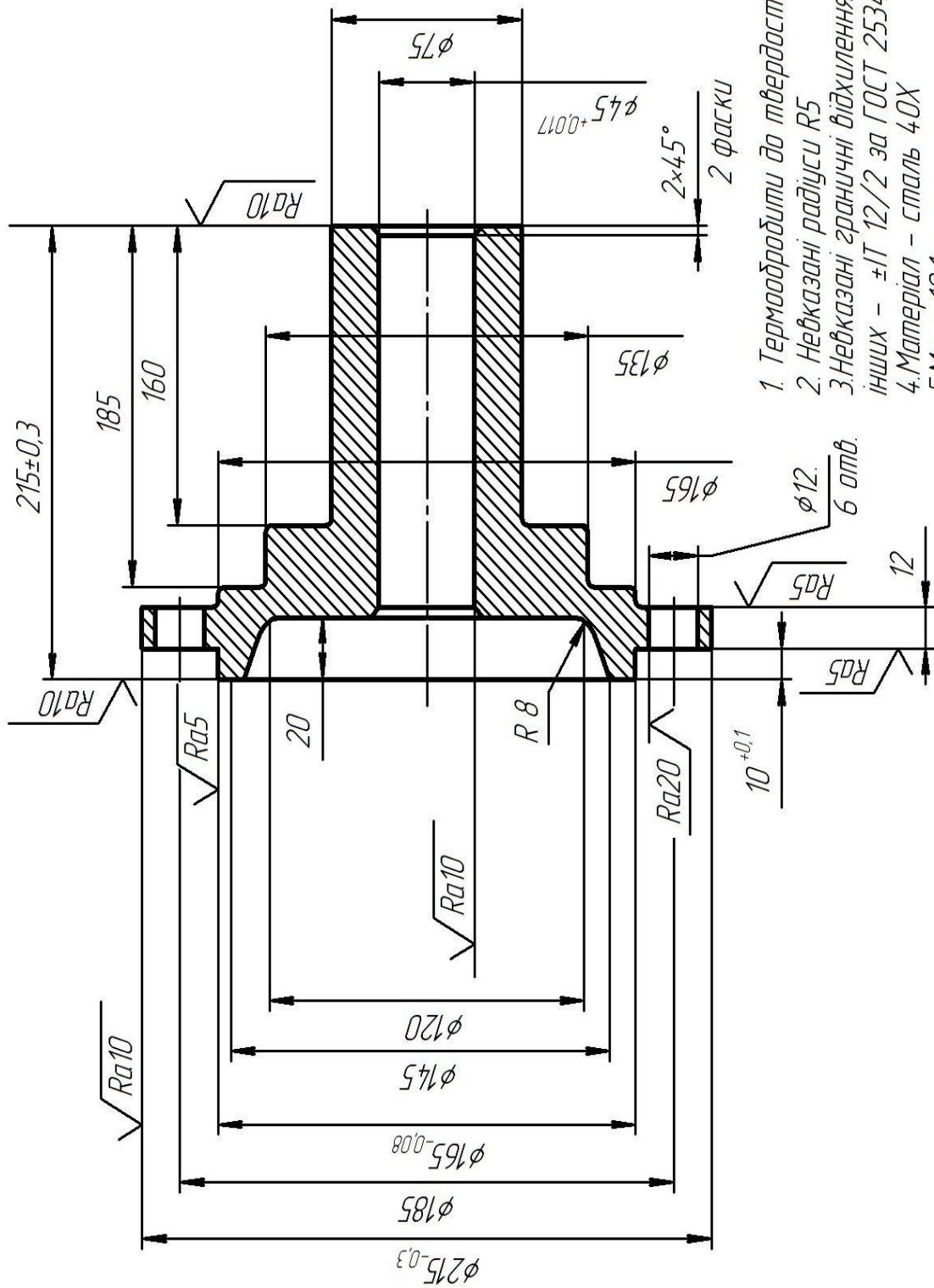
При *нормалізуванні* виливки нагрівають до тієї ж температури, витримують 4...5 год., потім охолоджують на повітрі. Це приводить до вирівнювання і подрібнення структури. Для середньо- і високовуглецевих сталей нормалізування дає вищу твердість і меншу пластичність, ніж відпалювання. Для низьковуглецевих сталей нормалізування як дешевший вид термооброблення може повністю замінити відпалювання.

Термічне оброблення виливків з кольорових металів застосовується рідко, головним чином не для поліпшення оброблюваності різанням, а для поліпшення механічних властивостей заготовки. Вид термічного оброблення визначається технічними умовами на виливок. Для зняття залишкових напружень, що виникають у великих виливках з нерівномірним перерізом стінок, застосовують відпускання. Режим відпускання залежить від виду сплаву, товщини стінок і конфігурації виливка.

3.8 Приклад вибору технології виготовлення заготовки

Необхідно обрати технологію виробництва литої заготовки для деталі, зображеної на рис. 3.24. Матеріал деталі – сталь 40Х, маса – 10,1 кг, річне замовлення (програма випуску) – 500 шт.

Відповідно до орієнтовної маси вилівка та за кількістю заготовок у замовленні за табл. 3.4 визначаємо тип виробництва заготовки: *дрібносерійний*.



1. Термообробити до твердості 32...36 HRC
2. Невказані радіуси R5
3. Невказані граничні відхилення валів h12, отворів H12, інших - ±IT 12/2 за ГОСТ 25347-82
4. Матеріал - сталь 40X
5. Маса 10.1кг

Рис. 3.24 Креслення деталі

Аналіз можливостей застосування різних способів лиття для виготовлення заготовки для деталі, що розглядається, дає наступні результати.

За *зовнішньою конфігурацією* деталі вилівок принципово може бути виготовлений будь-яким способом лиття – і у разових, і у багаторазових формах. Конфігурація досить проста, і на більшості поверхонь не вимагає наступного механічного оброблення.

Внутрішню конфігурацію виливків у більшості випадків задає стрижень. Найкраще наближення конфігурації внутрішньої поверхні вилівка до поверхні готової деталі дають разові стижні (на основі сумішей піску та зв'язки). Можна використати металевий стрижень (кокільне лиття або лиття під тиском). Але при виготовленні отвору малого діаметра ($\varnothing 40\dots 45$ мм) і великої протяжності (до 200 мм) стрижень повинен мати конусність, що буде створювати труднощі при наступному обробленні різанням. Без стрижня отвір можна виготовити відцентровим литтям. У цьому випадку отвір буде циліндричним, але одного діаметра на всій довжині вилівка. Щоб при відцентровому литті можна було виготовити заглиблення у фланці діаметром $\varnothing 145$ мм, для кожного вилівка треба буде формувати вставний стрижень-вкладень, що ускладнить технологію лиття.

Отже, з огляду на конфігурацію деталі для виготовлення вилівка для неї нераціонально використовувати лиття відцентрове і під тиском.

Вертикальне розташування осі вилівка у формі вигідне тим, що поліпшуються умови відводу газів зі стрижня. Площина розніму може проходити або по зовнішньому торцю фланця для способів лиття у разові форми, або по осі вилівка для кокіля. Недоліком такого розташування вилівка є те, що необроблювана поверхня $\varnothing 75$ мм на довжині понад 160 мм спотвориться: замість циліндричної вона отримає конічну форму за рахунок формувального нахилу, що не відповідає вимогам креслення деталі. Тому краще розташувати вісь вилівка у формі горизонтально, і площина розніму проходитиме по її осі.

Зважаючи на те, що тип виробництва для виливків даної деталі дрібносерійний, треба обрати спосіб лиття з досить дешевим обладнанням, яке можна було б виготовити порівняно швидко.

На підставі аналізу всіх вищезазначених чинників для виробництва виливка обираємо **лиття у піщані форми з дерев'яним модельним комплектом**.

За способом лиття, матеріалом виливка, його максимальними габаритами та рекомендаціями ГОСТ26645-85 визначаємо характеристики виливка: група складності – 2 (додаток 2), клас точності – 10 (додаток 3), ряд припусків – 5 (додаток 4)

За формулою (3.4) визначаємо зведений габаритний розмір заготовки $N = 0,287$ м, а потім за графіком (див. рис. 3.5) – мінімальну товщину стінки (з поправкою на те, що сталь легована): 9,8 мм. Отже, всі стінки заготовки можна виготовити обраним способом литтям.

Мінімальний діаметр отвору, отриманий за формулою (3.5), вказує на те, що литтям у піщані форми може виготовлятися лише центральний отвір: $d_{\min} = 32,5$ мм. Для отворів у фланці $\varnothing 12$ мм одержано $d_{\min} = 11,2$ мм. Виготовити їх литтям неможливо, оскільки припуск (на бік) у цьому разі становить 2,0...2,5 мм, а отже, діаметр литого отвору має бути 7...8 мм, менше d_{\min} . Тому на отвори $\varnothing 12$ мм призначаємо напуск.

Визначаємо допуски на розміри виливка для 10 класу точності за додатком 5: $\varnothing 215$ і $l = 215 - 3,6$ мм; $\varnothing 165 - 3,6$ мм; $\varnothing 135 - 3,4$ мм; $\varnothing 75 - 2,8$ мм; $\varnothing 45 - 2,8$ мм; $l = (10+12) - 2,4$ мм; $l = (215...160) - 2,8$ мм.

Обраний спосіб лиття не може забезпечити для оброблюваних поверхонь заданих кресленням деталі ані точності, ані параметрів шорсткості, тому не маємо можливості призначити на жодну з них *мінімальний* припуск, і для кожної з них призначаємо *загальний* припуск.

Вважаємо, що заготовки оброблятимуться на обладнанні *середнього* рівня точності, тобто величини припусків будуть відповідати значенням ГОСТ26645-85, наведеним у додатку 6.

Залежно від співвідношення між необхідною точністю обробленої поверхні деталі та вихідною точністю поверхонь вилівка за табл. 3.10 визначаємо вид наступного механічного оброблення. Аналіз допусків на розміри деталі і відповідних ливарних допусків показує, що для більшості поверхонь передбачається наступне *напівчистове* оброблення.

З урахуванням одержаних допусків, обраного ряду припусків і видом остаточного механічного оброблення поверхонь за додатком 6 вибираємо загальні припуски на механічне оброблення: $\varnothing 215$ і 1 = 215 – 3,6 мм; $\varnothing 165$ – 3,6 мм; $\varnothing 145$ – 3,4 мм; $\varnothing 45$ – 2,8 мм; 1 = (10 + 12) – 2,4 мм; 1 = (215...160) – 2,8 мм.

Для даного вилівка всі порожнини півформ мають ширину заглиблень d більше висоти відповідних формотвірних поверхонь h , тому для лиття в піщані форми з дерев'яним модельним комплектом з табл. 3.11 вибираємо кути формувальних нахилів: $3^{\circ}03'$ та $3^{\circ}49'$.

Усереднюючи значення внутрішніх радіусів заокруглень, отримані з рис. 3.10 та за формулою (3.6), можна зробити висновок, що для більшості сполучень можна вибрати радіус 10 мм. За табл. 3.12 вибираємо зовнішній радіус заокруглень для всіх гострих кромки 4 мм.

За одержаними даними визначаємо номінальні розміри вилівка та оформляємо креслення литої заготовки (рис. 3.25).

У п.6 технічних умовах креслення наведено умовне позначення точності вилівка: 10 – клас точності розмірів і маси, 5 – ступінь жолоблення і ряд припуску на механічне оброблення.

Розрахункова маса литої заготовки - 13,8 кг.

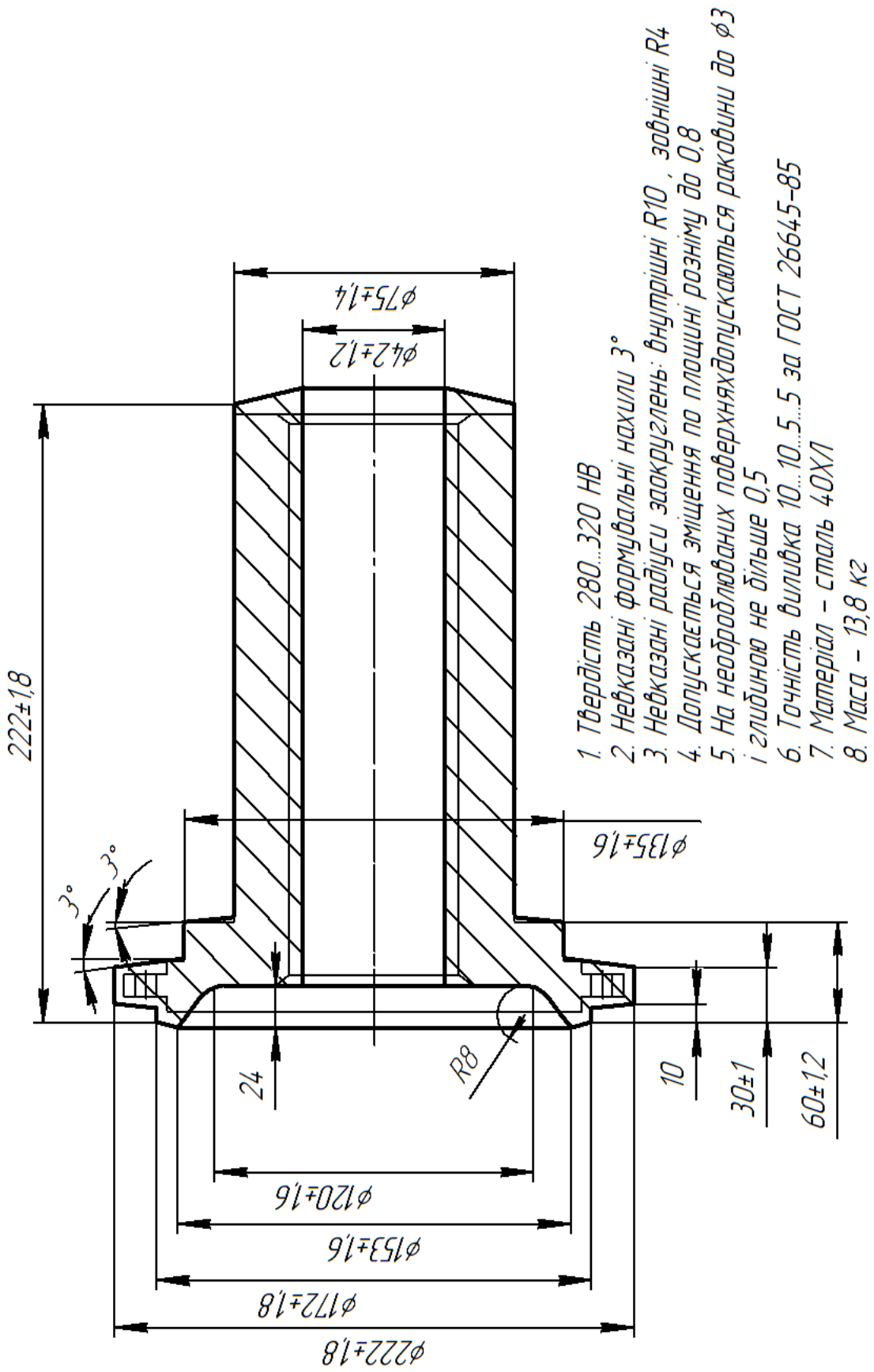


Рис. 3.25 Креслення литої заготовки деталі

Контрольні запитання

1. Назвіть основні способи виготовлення виливків.
2. Охарактеризуйте суть, переваги, недоліки і галузь застосування лиття у піщані форми.
3. Які ливарні властивості сплавів необхідно враховувати при виборі матеріалу вилівка у першу чергу? Дайте їх визначення.
4. Назвіть чинники, що впливають на міцність вилівка, і вкажіть шляхи керування ними.
5. Яка послідовність розроблення конфігурації литої заготовки?
6. Як обирається положення вилівка в формі?
7. Від чого залежать і як призначаються припуски на механічне оброблення, формувальні нахили, радіуси заокруглень?
8. Перерахуйте основні правила оформлення креслення вилівка.
9. У чому полягають особливості формування заготовок, що виготовляються спеціальними способами лиття?
10. Які основні правила поліпшення технологічності виливків?
- 11 Як готують литі заготовки до оброблення різанням?

4 Виробництво заготовок обробленням металів тиском

4.1 Роль методів оброблення металів тиском у виробництві заготовок

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

На даний час оброблення тиском є одним з головних способів формоутворення заготовок деталей машин. При цьому існує близько 400 способів об'ємного формоутворення, за допомогою яких оброблюють понад 90% усієї виплавленої сталі і більше половини усіх кольорових металів. Точні методи ОМТ у низці випадків можуть взагалі виключити подальше механічне оброблення. Ефект зменшення обсягу механічного оброблення можна оцінити коефіцієнтом вагової точності (відношення маси готової деталі до маси заготовки). Як приклад на рис. 4.1 показано, як змінюються коефіцієнти вагової точності $K_{в.т}$ і використання металу $K_{в.м}$ при різних способах виготовлення заготовки штуцера.

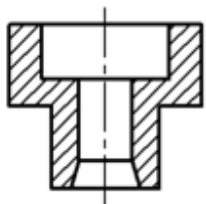
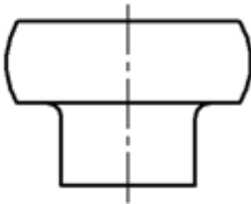
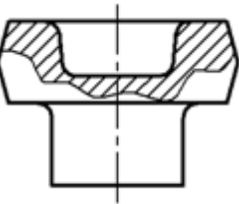
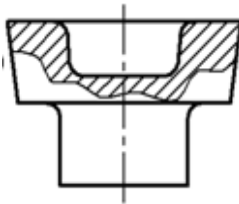
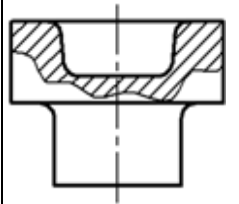
				
Готова деталь	а	б	в	г
$K_{в.м}$	0,28	0,41	0,47	0,49
$K_{в.т}$	0,30	0,44	0,50	0,52

Рис. 4.1 Форми поковок і значення коефіцієнтів використання металу $K_{в.м}$ і вагової точності $K_{в.т}$ заготовки, яка одержана:
 а – куванням; б – штампуванням на молоті у відкритому штампі; в – штампуванням на молоті у закритому штампі; г – штампуванням на ГKM

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

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

Наявність певного запасу пластичності є головною умовою для вибору матеріалу заготовок, які виготовляються методами ОМТ. Проте пластичність не є лише заздалегідь притаманною властивістю матеріалу. Її можна поліпшити, використовуючи низку технологічних факторів. Пластичність металів суттєво залежить від їхнього *хімічного складу*. Для сталей зі збільшенням вмісту вуглецю, кремнію, сірки пластичність знижується. Як правило, із збільшенням *температури оброблення* пластичність металу підвищується. У багатьох випадках із збільшенням *швидкості деформування* пластичність матеріалу зменшується. На пластичність значний вплив має *напружений стан* у зоні деформування. Чим більші в ній стискальні напруження і менші напруження розтягу, тим вище технологічна пластичність металу.

Отже, створюючи відповідні умови деформування, можна отримати необхідну технологічну пластичність металу при обробленні тиском.

Головними видами ОМТ при виготовленні заготовок є: прокатування, пресування, волочіння, кування і штампування. Вони класифікуються:

- *за призначенням*: на методи, які виготовляють вироби постійного поперечного перерізу – машинобудівні профілі (прутки, труби, рейки, лист) – прокатування, пресування, волочіння та методи, якими виготовляють штучні (фасонні) заготовки - кування, листове та об'ємне штампування;

- за температурою деформування: на гаряче і холодне деформування (при температурі деформування відповідно вище або нижче температури рекристалізації металу заготовки).

Можливість отримання заготовок різної маси та розмірів різними способами ОМТ наведена у табл.4.1

Таблиця 4.1 Можливі маса та розміри заготовок, які виготовляються різними способами ОМТ

Назва методу виготовлення заготовки	Максимально допустимі значення	
	Маса, кг	Розмір поперечного перерізу, мм
Прокатування машинобудівних профілей	250	100
Пресування: - суцільних профілей - труб	2000 300	300 400
Волочіння: - суцільних профілей - труб - дроту	400 350 -	150 500 0,005...10,000
Кування на молотах і пресах	25000	≈ Ø250
Кування на молотах у підкладних штампах	100	
Штампування на молотах: - у відкритих штампах - у закритих штампах	400 100	
Штампування на ГKM	30	
Штампування на КГШП	150	

4.2 Зміна властивостей заготовки при виготовленні її обробленням тиском

Вихідними заготовками для ОМТ, як правило, є зливки і виливки, у макроструктурі яких можуть бути дефекти, пов'язані з процесом кристалізації: різні розміри зерен первинної кристалізації (різномірність), газова та усадкова пористість, ліквіація, неметалеві домішки тощо. При ОМТ

під дією пластичного деформування при певній температурі відбуваються зміни структури металу та його фізико-механічних властивостей. Рівень цих змін визначається, у першу чергу, температурно-швидкісними умовами деформування, за якими розрізняють холодне та гаряче деформування. При тому чи іншому способі деформування температура нагрівання заготовки залежить від температури рекристалізації матеріалу заготовки $T_{рек}$:

$$T_{рек} = \alpha T_{пл.}, \quad (4.1)$$

де $T_{пл}$ – температура плавлення металу, К; α - коефіцієнт, який залежить від чистоти металу; для технічно чистих металів $\alpha = 0,3...0,4$, для сплавів $\alpha = 0,6...0,8$.

При *холодному деформуванні* деформований метал нагрівається не вище $T_{рек}$. При цьому виникає певне орієнтування кристалічної ґратки металу (текстура). Зерно деформується, витягується у напрямку плину металу. У середині зерна дробляться блоки мозаїки, збільшується ступінь їх розорієнтування. Межі зерен і дефекти витягуються у напрямку плину металу, і створюється так звана смугастість. З'являється анізотропія властивостей та збільшуються залишкові напруження. Одночасно збільшуються міцність та твердість, але зменшується пластичність (створюється наклеп) (рис. 4.2).

При правильному використанні наклепу та смугастості у структурі заготовки можна підвищити надійність та довговічність готової деталі у процесі її експлуатації (рис.4.3). Тому при виготовленні заготовок методами ОМТ завжди враховують вимоги до готових деталей: характер навантаження, сприятливе розташування волокон у найвідповідальніших перерізах, бажаний розподіл внутрішніх і зовнішніх шарів металу вихідної заготовки тощо.

Гаряче деформування здійснюється при температурі вище $T_{рек}$. При цьому співвідношення швидкостей деформування та рекристалізації забезпечує утворення нових рівноосних зерен в усьому об'ємі заготовки та її

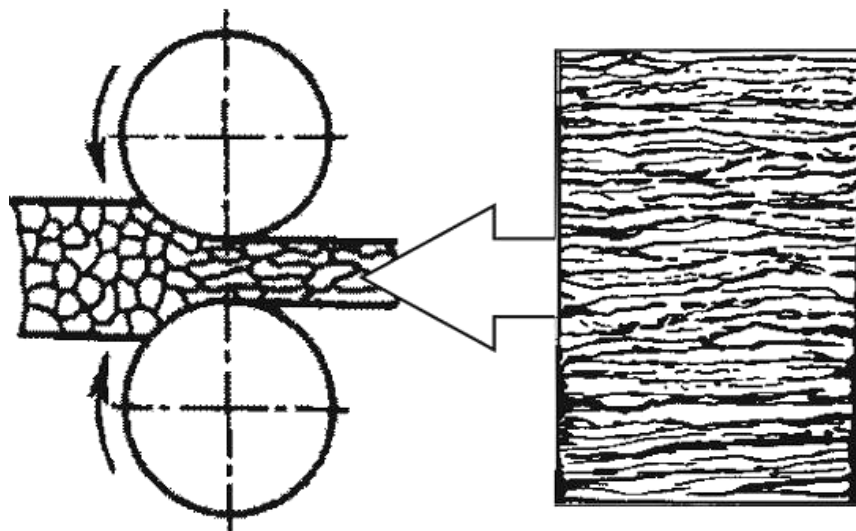


Рис. 4.2 Зміна мікроструктури металу після прокатування

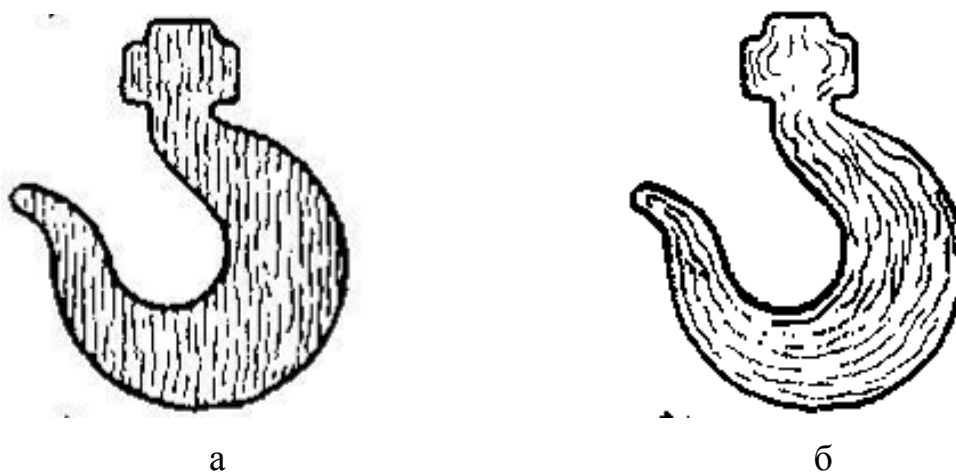


Рис. 4.3 Макроструктура металу гака, виготовленого: різанням з прокату (а) – неправильне розташування волокон; куванням (б) – правильне розташування волокон.

знеміцнення. Проте волокниста макроструктура зберігається. У зв'язку з підвищенням пластичності опір деформуванню приблизно у 10 разів менший, ніж при холодному деформуванні.

Але при нагріванні погіршується шорсткість поверхневого шару заготовки внаслідок процесів окиснення (утворення окалини). Крім того,

змінюються показники механічних властивостей поверхневого шару сталевих заготовок за рахунок його знеуглецьовування. Отже, окалиноутворення та знеуглецьовування на поверхні заготовок вимагають додаткових технологічних операцій для їх попередження або усунення.

4.3 Виробництво машинобудівних профілей

4.3.1 Виробництво машинобудівних профілей прокатуванням

Основним способом виробництва машинобудівних профілей є прокатування. *Прокатування* – це процес ОМТ, при якому заготовка обтискається валками прокатного стану, які обертаються назустріч один одному. Як правило, при прокатуванні збільшується довжина та частково ширина заготовки, але зменшується її товщина.

При прокатуванні підвищується густина металу за рахунок «заліковування» дефектів кристалізації – усадкової та газової пористості, мікротріщин та інших. Це надає заготовкам з прокату високі механічні властивості. Прокатування дозволяє виготовляти вироби, які повністю відтворюють передбачений конструктором поперечний переріз деталі або максимально наближаються до нього. Прокатування має вищі техніко-економічні показники порівняно з іншими способами оброблення металів: високу продуктивність, низьку собівартість і високий коефіцієнт використання металу. Заготовки з прокату використовують при безпосередньому виготовленні з них деталей на металорізальних верстатах та як вихідні заготовки для одержання поковок.

Сукупність профілей і розмірів прокатуваного металу визначає *сортамент прокату*. За сортаментом продукцію прокатного виробництва поділяють на: сортовий і листовий прокат, труби, спеціальний і періодичний прокат.

Круглий сортовий прокат (постійного поперечного перерізу) після розрізання його на штучні або групові заготовки використовують для

виготовлення гладких і східчастих валів з невеликим перепадом ступеней, стаканів діаметром до 50 мм і втулок із зовнішнім діаметром до 25 мм.

Квадратний, шестигранний і прямокутний сортовий прокат використовують для виготовлення заготовок деталей кріплення, невеликих деталей типу тяг, важелів і планок, а також як вихідні заготовки для штампування заготовок гайкових ключів, лопаток турбін, шатунів, вилок, та інших тонких деталей.

Прокатуванням виготовляють *шовні (зварні) і безшовні труби* постійного або змінного перерізу. Безшовні труби міцніші, мають зовнішній діаметр до 600 мм, шовні – від 10 до 1420 мм. Труби можуть слугувати вихідною заготовкою для деяких способів штампування.

Деякі види сортового прокату наведені на рис. 4.4.

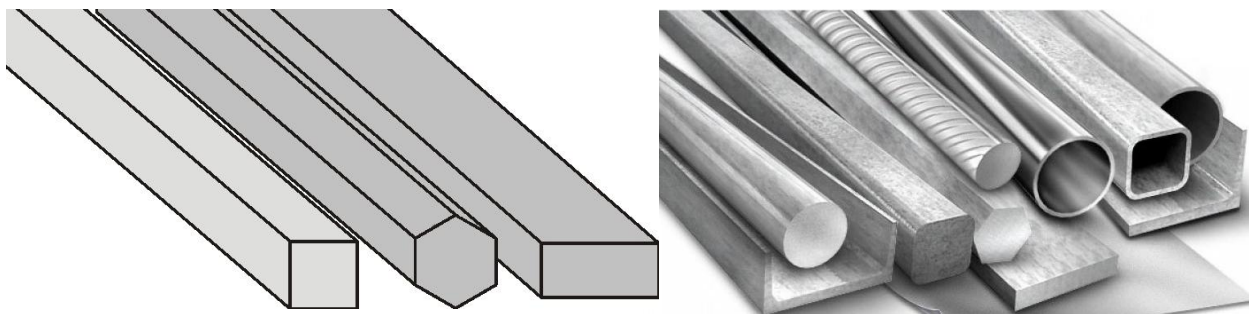


Рис. 4.4 Приклади деяких видів сортового прокату.

Листовий прокат (рис 4.5) використовується як вихідна заготовка для листового штампування деталей різноманітної форми, так і для виготовлення циліндричних порожнистих заготовок (труб). У свою чергу труби використовують у подальшому для виготовлення заготовок циліндрів, втулок, гільз, стаканів, барабанів, роликів, фланців тощо.



Рис. 4.5 Листовий прокат у рулонах

Періодичний профільний прокат (зі змінним по довжині поперечним перерізом) може бути поздовжнім і поперечно-гвинтовим. З поздовжнього періодичного прокату одержують заготовки гайкових ключів, лопаток компресорів, шатунів, вилок, важелів і тонких деталей. Застосування його дозволяє порівняно із звичайним прокатом знизити витрати металу на 15%, підвищити продуктивність праці на 25...30% і зменшити собівартість заготовок на 10...20%.

З *поперечно-гвинтового прокату* виготовляють кулі для підшипників кочення, вуглерозмельних і цементних млинів, заготовки валів гвинтового профілю, порожнисті профільовані трубчасті заготовки та ін.

Спеціальний прокат, що застосовується у крупносерійному і масовому виробництві, нерідко майже повністю виключає оброблення різанням, на долю якого залишається в основному відрізання, оброблення отворів та обробні операції.

Останні способи прокатування та їх продукція детальніше розглядаються у п. 4.3.3.

4.3.2 Наближення конфігурації машинобудівних профілей до конфігурації деталі

Виробництво заготовок вальцюванням

Вальцювання виконується на кувальних вальцях, які становлять прокатний стан з секторними валками (рис. 4.6). Вальцювання буває одно- і багаторівчаковим, здійснюється у гарячому та холодному стані.

На вальцях виготовляють поковки порівняно нескладної конфігурації (типу ланок ланцюгів, важелів, гайкових ключів і т. п.), а також фасонують заготовки для наступного штампування, найчастіше на кривошипних гарячештампувальних пресах. При багаторівчаковому вальцюванні рівчаки розташовуються паралельно уздовж осі валків або послідовно у двох чи більшій кількості клітей.

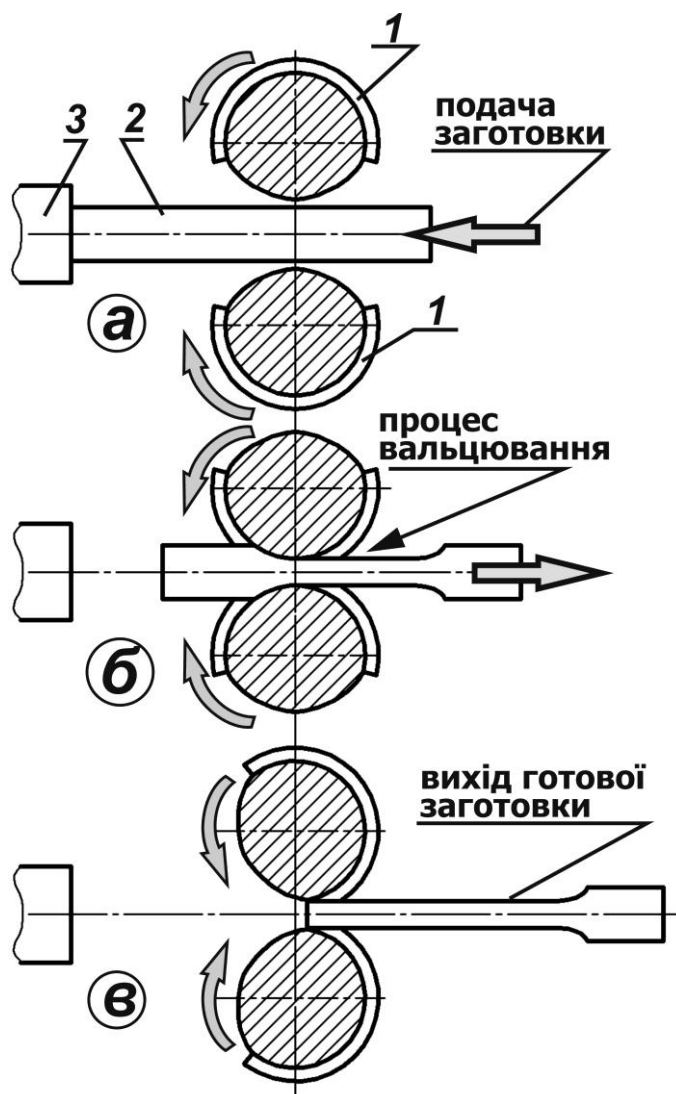


Рис.4.6 Схема вальцювання:

а, б, в – стадії вальцювання; 1 – секторні штампи; 2 – заготовка; 3 – упор

Поковки отримують у вигляді "стрічки" по кілька штук, розташованих послідовно і з'єднаних між собою облоєм. Параметр шорсткості поверхні таких поковок $R_a = 80 \dots 10$ мкм. Допуски на розміри вальцьованої заготовки приймають приблизно такі: за довжиною $\pm(0,006l+4)$, за висотою $\pm(0,025h+1)$, за шириною $\pm(0,013b+0,35)$, де l , h , і b - відповідні розміри заготовки, мм.

Для одержання точніших заготовок, наприклад, турбінних лопаток з припуском до $0,20 \dots 0,15$ мм і параметром шорсткості поверхні $R_a = 1,6 \dots 0,8$ мкм застосовують обробне вальцювання, що звичайно проводиться у холодному стані. При цьому витрати металу зменшуються на 35%, трудомісткість – на 20%, собівартість – на 35%. Продуктивність процесу – тисячі заготовок за зміну.

Виробництво заготовок ротаційним і радіальним обтисканням (куванням)

Ротаційне і радіальне обтискання призначені для отримання з прутків і труб заготовок, які мають циліндричні, конічні або східчасті поверхні. Деформування може зосереджуватися на кінці вихідного прутка чи на деякій відстані від нього в одному чи кількох місцях одночасно. Застосовують холодне і гаряче ротаційне кування.

Для поковок невеликих перерізів застосовують ротаційно-обтискні машини. Звичайно вони мають два бойки, що рухаються назустріч один одному (рис. 4.7, а). Ступінь обтиску, який можна отримати при обробленні циліндричних поверхонь, становить $1,4 \dots 1,7$, при обробленні конічних поверхонь – $1,5 \dots 2,0$. Число обтискань для різних машин коливається від кількох сотен до кількох тисяч за хвилину. На таких машинах виготовляють східчасті вали, шпінделі діаметром до 100 мм, порожнисті поковки діаметром до 125 мм з внутрішнім профілюванням за складним контуром та інші види заготовок (рис. 4.8).

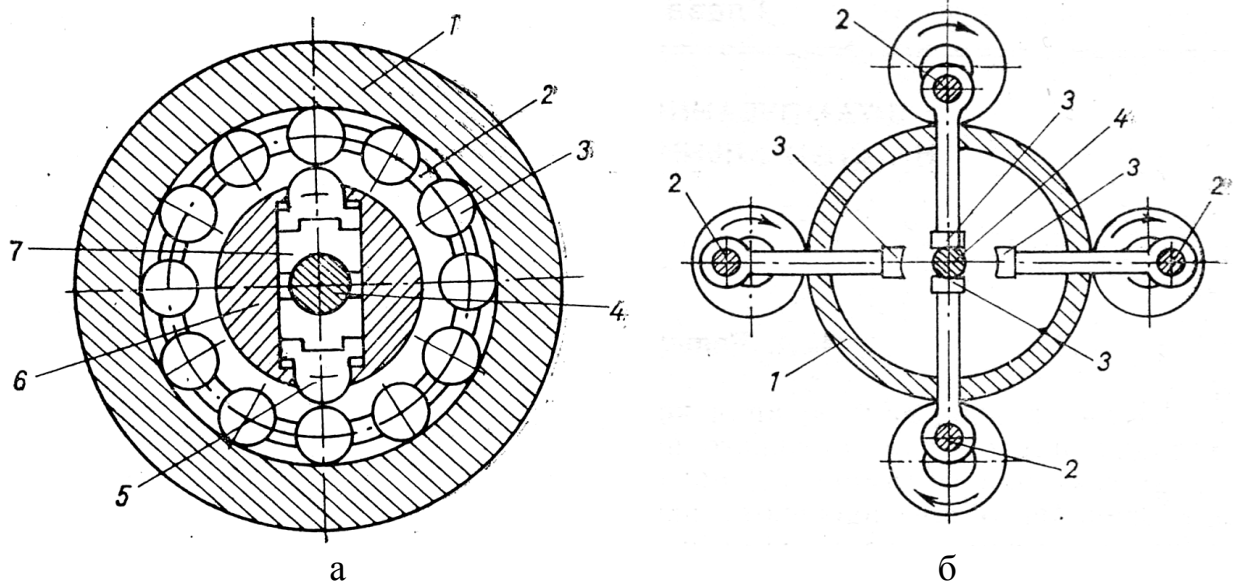


Рис. 4.7 Схеми формування заготовок
а – на ротаційно-обтискних машинах: 1 – барабан; 2 – обойма; 3 – ролики; 4 – заготовка; 5 – бойок; 6 – шпindelь; 7 – матриця;
б – на радіально-обтискних машинах: 1 – корпус; 2 – ексцентрикові вали; 3 – бойки; 4 – заготовка

Точність оброблення при холодному обтисканні досягає 6...8-го, при гарячому – 11...13-го квалітетів, а параметр шорсткості поверхні $R_a = 0,4...0,1$ мкм та $0,8...0,5$ мкм відповідно. Міцність деталей зростає на 30%. Переведення виробів типу східчастих валів з штампування або механічного оброблення на гаряче обтискання знижує витрати металу на 40...60%, продуктивність порівняно з токарним обробленням зростає у 4...5 разів.

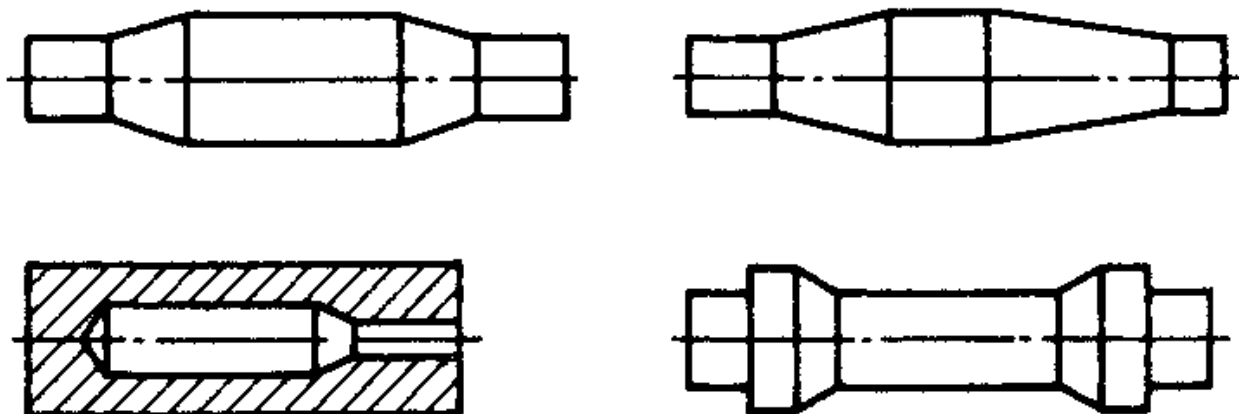


Рис. 4.8 Типові заготовки, які одержують ротаційним деформуванням

Радіально-обтискні машини (рис. 4.7,б) застосовують для виготовлення поковок великих перерізів (трубних діаметром до 200 мм, пруткових – до 140 мм). Вони мають кривошипно-ексцентриковий привід бойків, розташованих радіально в одній площині через рівні кути. Ці машини відзначаються меншим шумом при роботі.

Радіальне обтискання застосовують в основному для одержання східчастих валів. Точність розмірів заготовок при обтисканні у холодному стані досягає 6...10-го, у гарячому – 11...13-го квалітетів. Воно дозволяє зменшити виграє металу і забезпечує одержання заготовок з допусками у 1,5...2 рази меншими, ніж при штампуванні на молотах. Продуктивність радіального обтискання невелика, тому його застосовують у дрібносерійному виробництві замість кування або чорнового токарного оброблення.

4.3.3 Прокатування штучних заготовок

Поперечно-клинове прокатування дозволяє одержати точно дозовані за масою проміжні заготовки для наступного штампування у закритих штампах, для висаджування деталей, що не потребують у подальшому складного механічного оброблення, а лише незначного оброблення окремих поверхонь (наприклад, безцентрового шліфування).

Існують схеми поперечно-клинового прокатування з використанням валкового, плоского і валково-сегментного інструменту. Найпоширеніша схема – з використанням плоского клинового інструменту. При використанні цієї схеми (рис. 4.9, а), що здійснюється на спеціальних верстатах, вихідна циліндрична заготовка піддається дії робочих інструментів клиновидної форми, які рухаються один відносно іншого.

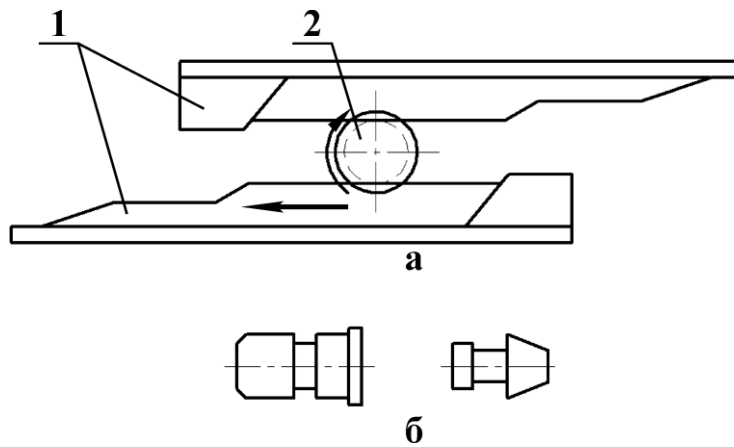


Рис. 4.9 Схема поперечно-клинового прокатування:
 а – процес прокатування, б – типові заготовки; 1 – робочі клини; 2 – заготовка

Метод досить продуктивний: деформування завершується за 1,3..1,5 оберти заготовки. При гарячому прокатуванні можна одержати заготовки з допусками на діаметральні розміри 0,2...0,4 мм, на лінійні – 0,3...0,5 мм. Інструмент досить простий за конструкцією, має високу стійкість і забезпечує виготовлення валів складної конфігурації та невеликої довжини (рис. 4.9, б).

Поперечно-гвинтове прокатування використовують для одержання фасонних періодичних профілів – валів (рис. 4.10, а), будівельної арматури, куль діаметром 25...125 мм (рис. 4.10, б), циліндричних заготовок діаметром 25...110 мм, заготовок колець і втулок зовнішнім діаметром 60...120 мм та довжиною 15...50 мм, оребрених труб, заготовок деталей з зовнішньою гвинтовою поверхнею (гвинтів, черв'яків, черв'ячних фрез) та ін.

Здійснюють поперечно-гвинтове прокатування на спеціальних станах, серед яких широке розповсюдження дістали тривалкові стани, які дозволяють виготовляти заготовки діаметром 12...220 мм, довжиною до 5100 мм. Особливо ефективні ці стани для виготовлення заготовок таких деталей, як півосі автомобілів і тракторів.

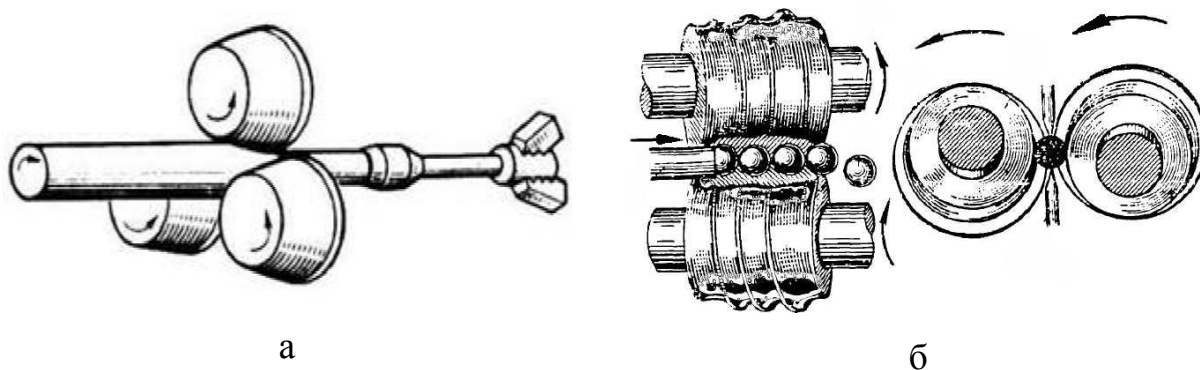


Рис. 4.10 Схема поперечно-гвинтового прокатування:
 а – прокатування валів періодичного профілю, б – прокатування
 кульок

Прокатування (радіальне розкочування) заготовок кілець, коліс, бандажів (зокрема для залізничного транспорту) виконується у гарячому стані на спеціальних прокатних станах (рис. 4.11, а). Розкочуванням надають заготовкам складніший профіль і точніші розміри, ніж штампуванням, забезпечують тангенціальну спрямованість волокон, виконують кільцеві піднутріння. Наприклад, з кільцевої заготовки (рис. 4.11, б) отримують зовнішнє кільце підшипника (рис. 4.11, в) з біговою доріжкою для кульок. Щоб уникнути утворення окалини, для сталевих заготовок звичайно застосовують індукційне або безокиснювальне нагрівання не вище 1040°C . Розкочуванню піддаються заготовки із зовнішнім діаметром від 60 мм до 1 м і більше при висоті оброблюваного обода до 150 мм.

Точність розмірів розкочених поковок за зовнішнім діаметром залежить головним чином від своєчасності зупинення процесу, тобто від налаштування і якості роботи контрольного ролика, а за внутрішнім діаметром – від точності об'єму вихідної заготовки. Практично допуск на зовнішній діаметр становить близько $0,01D$, на внутрішній – $0,02d$ (рис. 4.11, в). Параметр шорсткості поверхні після розкочування $R_a = 2,5 \dots 0,8$ мкм.

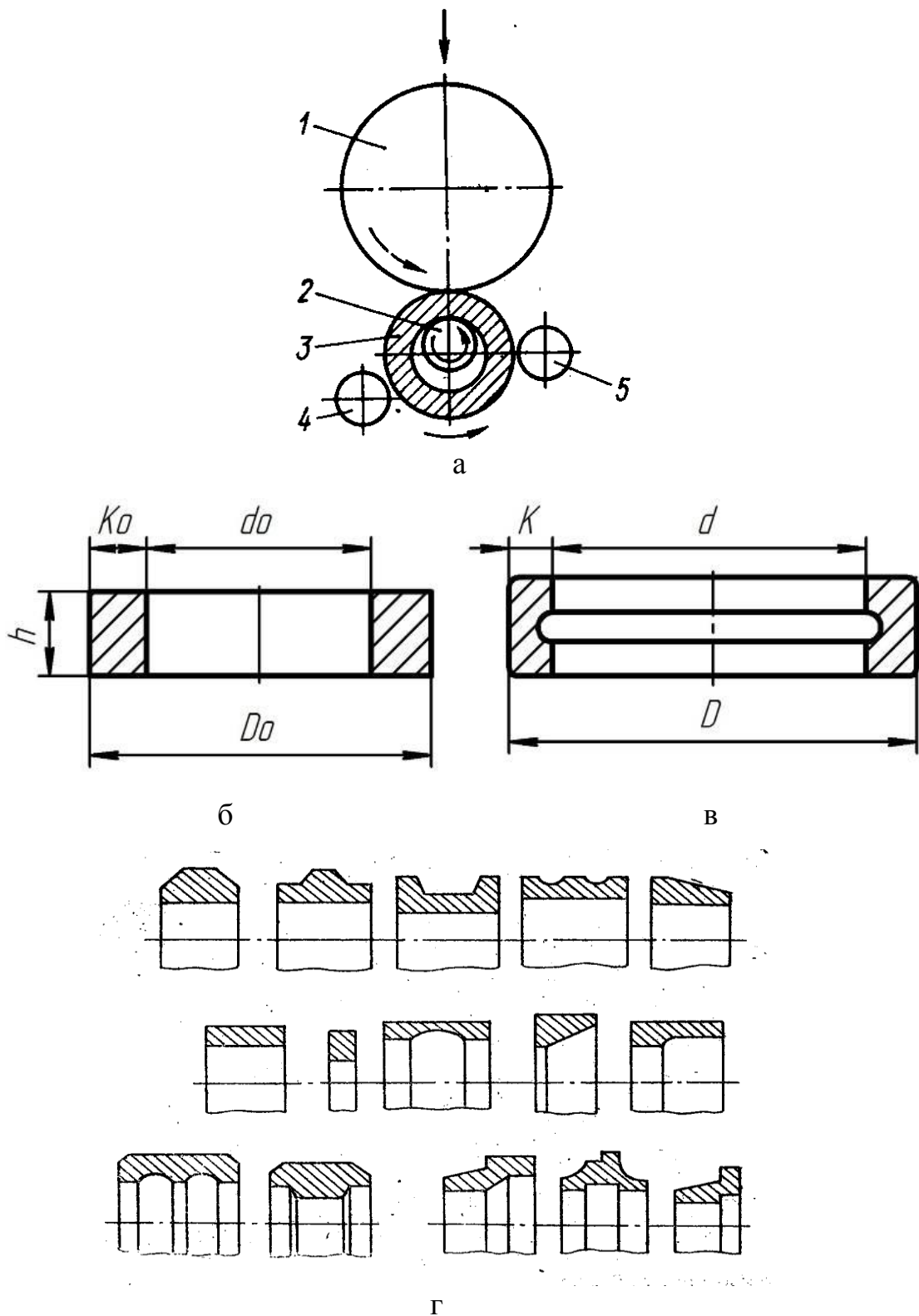


Рис. 4.11 Схема розкочування кілець (а):
 1 – опорний ролик; 2 – обтискний ролик; 3 – заготовка; 4, 5 –
 обмежувальні ролики;
 вихідна заготовка (б) і розкочене зовнішнє кільце підшипника (в);
 типи кілець, отримуваних розкочуванням (г)

При встановленні заготовок і зніманні поковок вручну продуктивність розкочування становить для дрібних кілець до 500, для крупних – 100... 250 шт/год.

Крім радіального застосовують також торцеве розкочування, при якому силовий тиск валками здійснюють не у радіальному, а в осьовому або похилому до торця заготовки напрямку. Вихідними заготовками як при радіальному, так і при торцевому розкочуванні можуть бути відрізки труб, спеціально виточені втулки, поковки і виливки з центральним отвором, заготовки типу втулки, отримані з листового матеріалу зварюванням, тощо. Наприклад, за такою технологією виготовляють залізничні колеса (рис. 4.12).

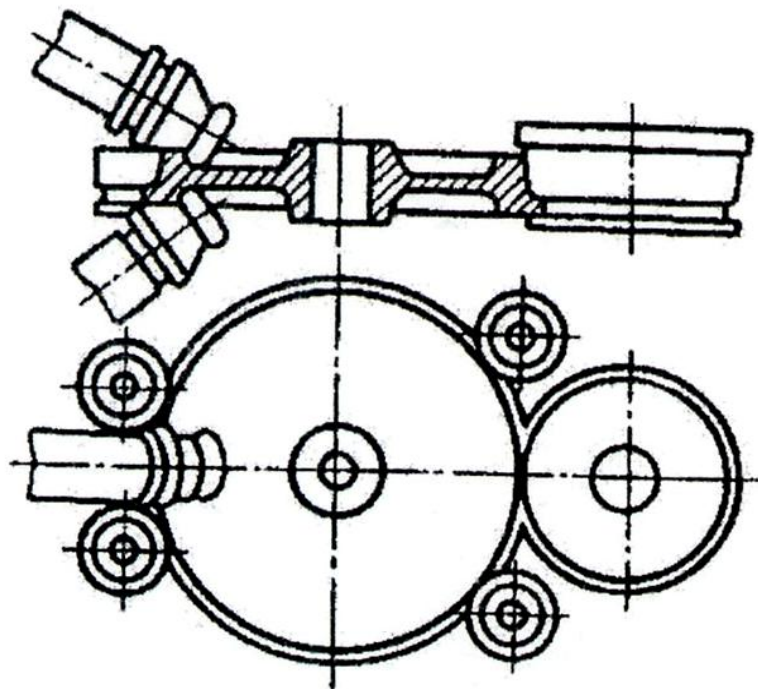
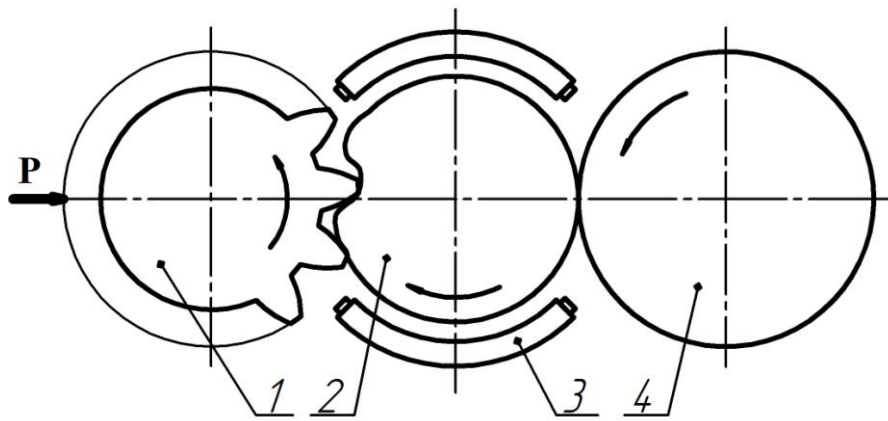
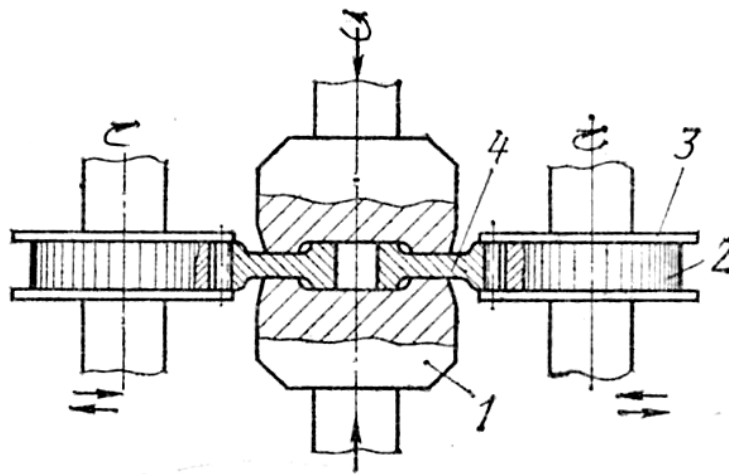


Рис. 4.12 Схема розкочування залізничного колеса

Накочування зубів зубчастих коліс і шліців на валах здійснюється на заготовках у вигляді прутків або окремих дисків, зібраних на стрижнях або прутках. Заготовки підігрівають завчасно за допомогою кільцевих або секторних індукторів на глибину 6...10 мм залежно від модуля зуба. У процесі накочування зубчастий валок (майстер-шестерня) втискається у поверхню заготовки зусиллям P (рис. 4.13).



а



б

Рис. 4.13 Накочування зубів на заготовках зубчастих коліс:
 а – схема наковчування (вид зверху): : 1 – зубчастий валок; 2 – заготовка; 3 – секторні індуктори; 4 – опорний валок;
 б – процес наковчування (вид збоку): 1 – привідний вал; 2 – зубчастий валок; 3 – обмежувальні фланці; 4 – заготовка

Цим способом виготовляють заготовки прямозубих і косозубих циліндричних коліс, шліців на валах, зубів зірочок ланцюгових передач з модулем до 4 мм і діаметром до 200 мм. Частота обертання валків – $3,8 \dots 60 \text{ хв}^{-1}$.

Продуктивність прокатування зубів значно перевищує продуктивність виготовлення їх механічним обробленням. Одержані зуби мають сприятливу макроструктуру поверхневого шару, тому наступне механічне оброблення по поверхні зубів повинне бути мінімальним. Зараз розроблені також способи формоутворення наковчуванням зубів заготовок конічних зубчастих коліс.

4.3.4 Пресування машинобудівних профілей

Пресування здійснюють на пресах шляхом витискання металу з контейнера крізь отвір у матриці. Цим способом виготовляють профілі з кольорових металів (алюмінієві, мідні, цинкові, титанові сплави), рідше – з вуглецевих і легуваних сталей. Умови деформування при пресуванні найсприятливіші у порівнянні з іншими способами оброблення тиском: висока температура і дуже мала швидкість деформування, напружений стан у зоні деформування складається лише з сприятливих стискальних напружень. Тому ступінь деформації за один прохід може становити 95%. Це надає можливість отримувати пресуванням суцільні і порожнисті машинобудівні профілі дуже складної конфігурації (рис. 4.14).

Розрізняють пряме і зворотне пресування. Частіше застосовують пряме пресування. При зворотньому пресуванні зусилля пресування у 1,25...1,30 рази, а прес-залишок приблизно у 3 рази менші, ніж при прямому. Однак при зворотньому пресуванні нижча продуктивність і якість поверхні. Крім того, обладнання для зворотного пресування складніше, тому вон використовується порівняно рідко.

Швидкість пресування впливає на якість заготовки. Пластичніші метали звичайно пресують з більшою швидкістю, ніж малопластичні. Наприклад, швидкість витікання сталі становить 6...8, алюмінію – до 25, а у магнієвих сплавів – лише 0,01... 0,05 м/с.

Пресуванням виготовляють прутки, труби різноманітних перерізів, що використовуються потім як заготовки. Пресування труб діаметром менше 20 мм економічно вигідніше, ніж прокатування.

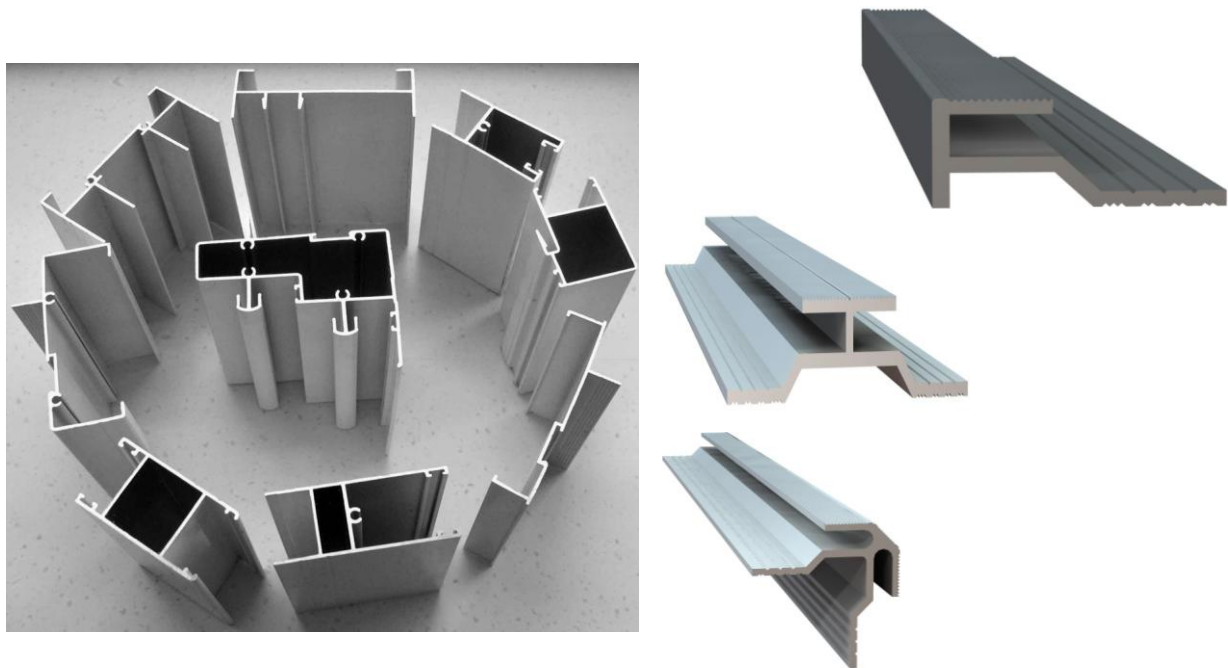
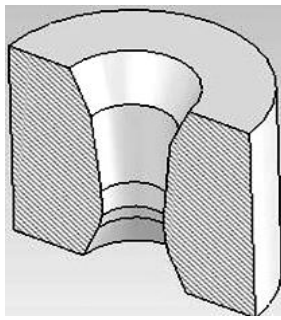


Рис. 4.14 Приклади різноманітних профілів, отримуваних прямим пресуванням

4.3.5 Виробництво машинобудівних профілей волочінням

Волочіння – процес оброблення тиском, який полягає у протягуванні суцільних або порожнистих заготовок крізь отвір у волоці (фільєрі), поперечний переріз якої менший за переріз заготовки. Волочіння здійснюється на волочильних станах за допомогою волок (рис. 4.15, а, б) або волочильних дощок (рис. 4.15, в).

Головна особливість волочіння – це наявність розтягувального напруження, яке діє вздовж осі заготовки. Щоб заготовка при волочінні не розірвалася або не змінила форми поперечного перерізу після виходу з волоки, його найчастіше проводять у холодному стані. Тому ступінь деформації виробу обмежений і не перевищує за один прохід 30...35%.



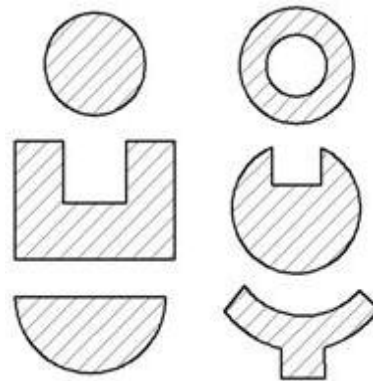
а



б



в



г

Рис. 4.15 Профільні волокни (а, б); волочильна дошка (в); приклади профілів, які можна отримувати волочінням (г)

При холодному волочінні утворюється наклеп, що не завжди потрібне. Для його усунення необхідне проміжне відпалювання. Окалина, що утворюється при цьому, усувається травленням.

Профілі, одержані волочінням, можуть мати простий чи фасонний поперечний переріз (рис.4.15, г). Волочінням обробляють заготовки зубчастих і храпових коліс, шпонок, труби діаметром 0,6...400,0 мм з товщиною стінки 0,05... 15 мм, дріт діаметром від 0,002 до 10...15 мм. Волочіння труб проводиться як з потоншенням, так і без потоншення стінок.

Волочіння у холодному стані з невеликим обтиском (ступінь деформації – 8...12%) називають *калібруванням*. При калібруванні можна досягнути точності розмірів, що відповідає 7...8 квалітетам, і параметра шорсткості $R_a = 0,08$ мкм. Таким чином, калібрований профіль у більшості випадків не вимагає подальшого механічного оброблення (крім різання на штучні заготовки) та може становити вже готовий виріб (рис. 4.16).

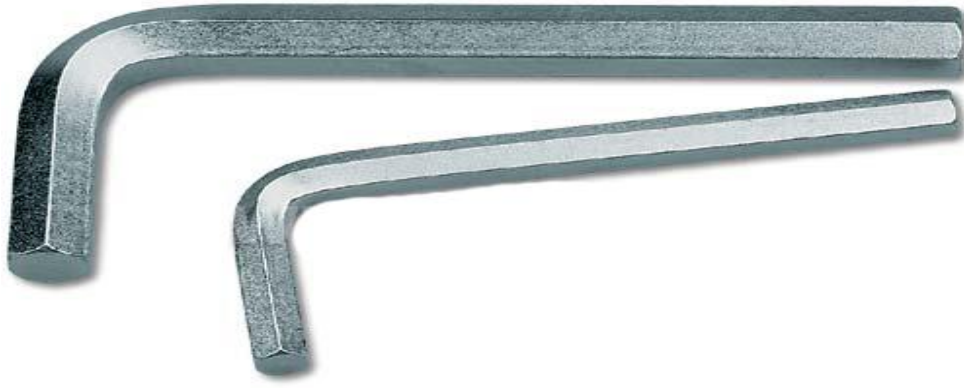


Рис. 4.16 Виріб – шестигранний ключ, виготовлений з каліброваного волочінням профілю

4.3.6 Виробництво штучних заготовок різанням машинобудівних профілей

Перед різанням на заготовки зігнуті профілі правлять на правильних машинах, вальцях або під пресом.

Штучні і групові заготовки одержують різанням на сортових ножицях, ламанням на штампах-холодноламах, різанням на металорізальних і анодно-механічних верстатах, кисневим різанням.

Різання на сортових ножицях і на прес-ножицях (рис. 4.17 а)

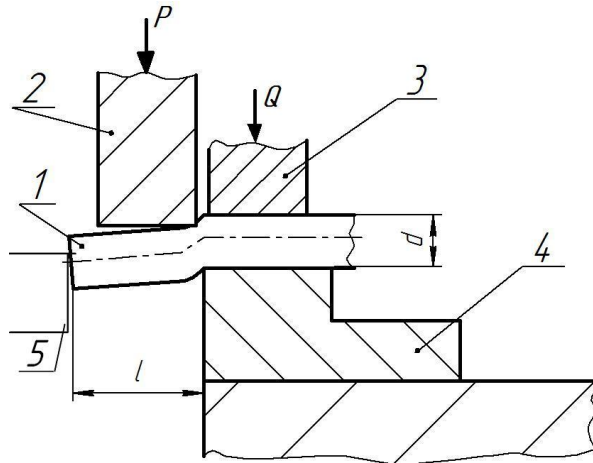
застосовується в основному для сталевих прутків. На кривошипних пресах ріжуть прутки діаметром до 20 мм, на ексцентрикових – до 200 мм.

Пруток автоматично чи вручну подається на необхідну довжину (до упора). Ніж здійснює 10...60 ходів за хвилину. Але відрізані заготовки мають порівняно велику довжину ($l/d \geq 1,0...1,5$) та значне спотворення торців заготовки (рис.4.17 б). На них можливе утворення дефектів: торцевих тріщин, косини зрізу, утяжки і зім'ятини (рис. 4.18).

Ймовірність їх появи збільшується при зниженій пластичності металу, збільшенні перерізу заготовки, при зберіганні прутків на холоді. Тому сталеві прутки великого діаметра (понад 80 мм) і прутки з малопластичних сталей у місці розрізу підігрівають до 450...650°C. Прутки кольорових сплавів ріжуть у холодному стані.



а



б

Рис. 4.17 Різання прутка на сортових ножицях:
 а – зовнішній вигляд механічних сортових ножиць;
 б – схема різання прутка: 1 – пруток; 2 – верхній ніж; 3 – притискач;
 4 – нижній ніж; 5 – упор

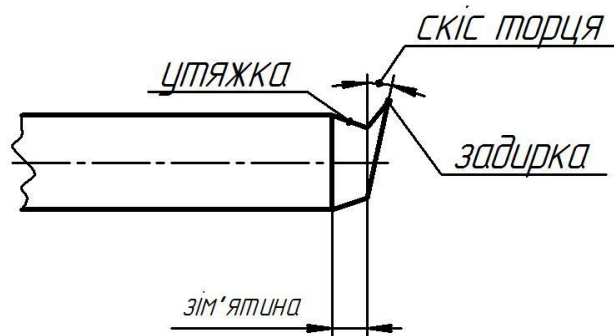


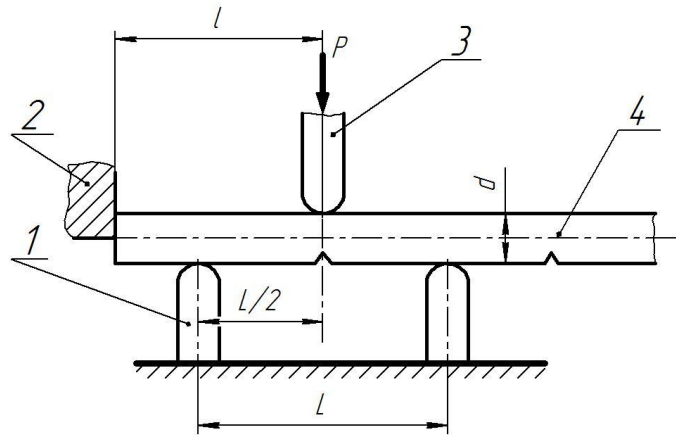
Рис. 4.18 Спотворення торця заготовки при різанні на сортових ножицях

Різання на сортових ножицях має дуже високу продуктивність (наприклад, при різанні прутка діаметром 65 мм – 3...20 розрізів за хвилину), але низьку точність за довжиною і великі дефекти торця.

Ламання на штампах-холодноламах застосовується для сталевих прутків діаметром понад 70 мм. У місці зламу за розміткою роблять надріз пилкою чи кисневим різанням (рис. 4.19). Ширина надрізу 2...3 мм, глибина $h = \sqrt[3]{d}$, де d – діаметр прутка, мм.



а



б

Рис.4.19 Зовнішній вигляд пресу-холодноламу (а) та схема ламання прокату на штампах-холодноламах (б):

1 – опора; 2 – упор; 3 – штовхач; 4 – заготовка-прокат

Робочий хід штовхача, що ламає заготовку, становить 5...10% від діаметра прутка. Руйнування відбувається майже миттєво. Торець заготовки виходить досить рівним, але залишається уступ у місці надрізу.

Ламання дає кращі результати для крихких матеріалів. Для підвищення крихкості м'яку сталь нагрівають до 300°C. Перевагами ламання є висока продуктивність, можливість одержання порівняно коротких заготовок ($l_{\min} \leq 0,8d$), контроль якості металу за виглядом зламу.

Різання прокату на металорізальному обладнанні може здійснюватися: на дискових та стрічкових пилках; приводних ножівках; верстатах, що працюють тонким абразивним кругом; відрізних та інших верстатах.

Дискові пилки обладнані дисковими фрезами діаметром 300...800 мм. Різання прутків здійснюють по одному або пакетом (рис. 4.20).

Сучасні дискові пилки забезпечуються гідравлічними затискними пристроями. Для сталевих заготовок різання на дискових пилках застосовується тоді, коли потрібні висока точність щодо довжини та перпендикулярність торця осі заготовки. Для кольорових металів це основний метод різання, оскільки різання їх на сортових ножицях дає великі

зім'ятини. Продуктивність різання низька. Ширина розрізу 3...8 мм, тому при різанні мають великі відходи.

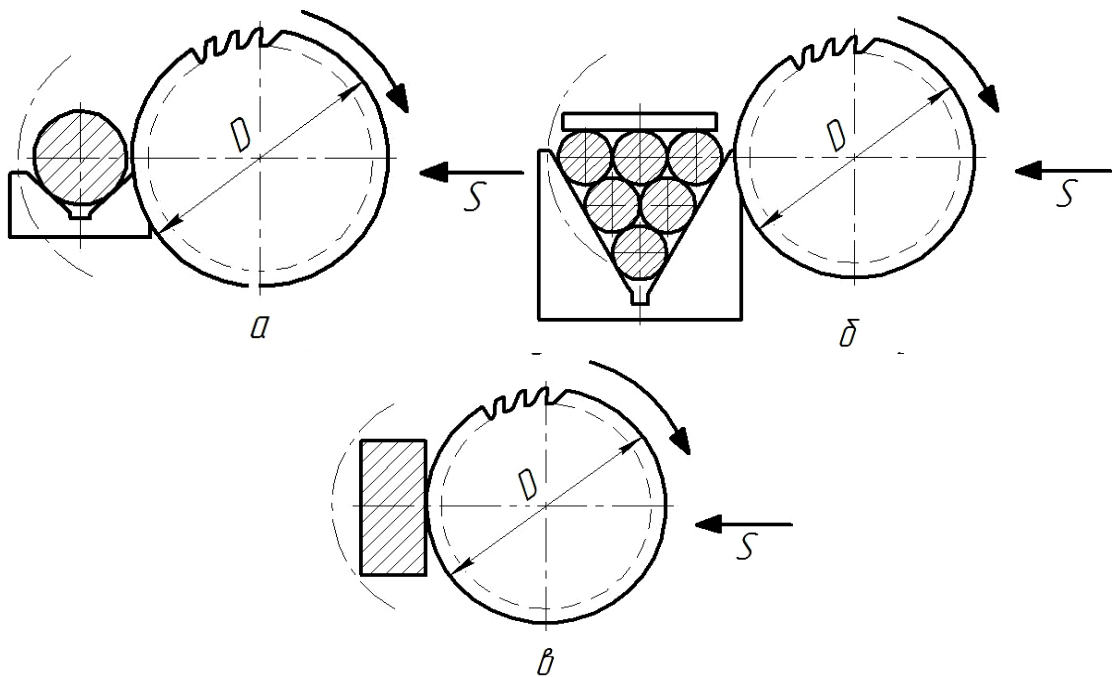


Рис.4.20 Схеми різання прокату дисковою пилкою:
а – одного прутка; б – пакета прутків; в – проката прямокутного перерізу

Стрічкові пилки мають форму нескінченної стрічки товщиною 1,0...1,5 мм (рис. 4.21). Утрати на розріз у цьому випадку малі, але сам інструмент



Рис. 4.21 Зовнішній вигляд стрічкопильного верстата

(пилкова стрічка) коштує дорого. Стрічкові пилки застосовуються головним чином для розрізування прокату кольорових металів (міді, латуні, алюмінію та ін.).

Приводні ножівки ріжуть прокат ножівковим полотном, яке здійснює під деяким тиском зворотньо-поступальний рух від механічного приводу. Ширина розрізу – 2...3 мм. Продуктивність різання мала, але ножівки прості в обслуговуванні. Один робітник може обслуговувати 5...6 ножівок одночасно. Ножівки часто дають косий розріз, знижуючи ефект застосування тонких ножівкових полотен.

На *верстатах*, які працюють тонким абразивним кругом, як інструмент використовують абразивні круги на вулканітовій зв'язці товщиною 1...3 мм і діаметром до 500 мм. Продуктивність різання абразивними кругами досить висока. Наприклад, пруток діаметром 40..50 мм ріжеться за 5...6 сек. Цей метод забезпечує високі точність за довжиною та якість торця. Інструмент за час роботи не потребує перезагострення, але швидко спрацьовується і коштує досить дорого.

Відрізні верстати служать для різання різних прутків та труб. У цих верстатах на міцній станині розмішена передня бабка з порожнистим шпинделем, з обох кінців якого розташовані самоцентрівні затискні патрони. Перевагами цього способу є велика продуктивність і невисока вартість верстата та інструментів (різців). Недолік – велика ширина розрізу (3...5 мм), що призводить до надлишкової втрати металу.

Різання прутків та зливків на анодно-механічних верстатах виконується дисковими чи стрічковими катодами з низьковуглецевої сталі. Інструмент дешевий, легко виготовляється. Швидкість різання 10...25 мм/хв, ширина розрізу – 0,5...2,5 мм. На рис. 4.22 наведено схему анодно-механічного різання металу, на основі якої побудовані різні верстати такого типу. Рухомий металевий диск 2 (катод) разом з прутком - заготовкою 1 (анод) знаходяться у середовищі електроліту. Під дією струму утворюється плівка продуктів анодного розчинення, яка безперервно видаляється диском.

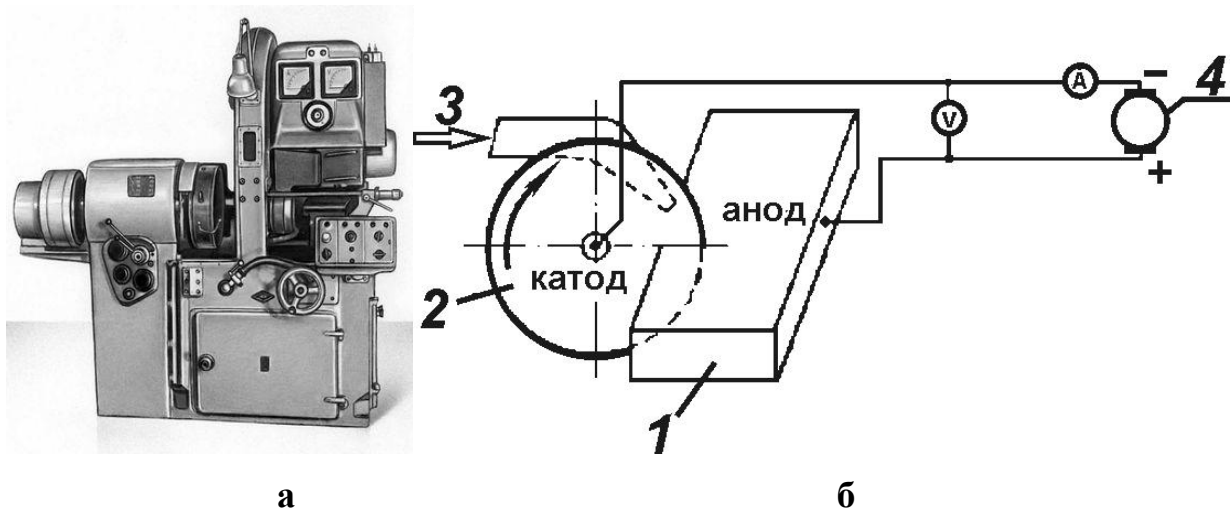
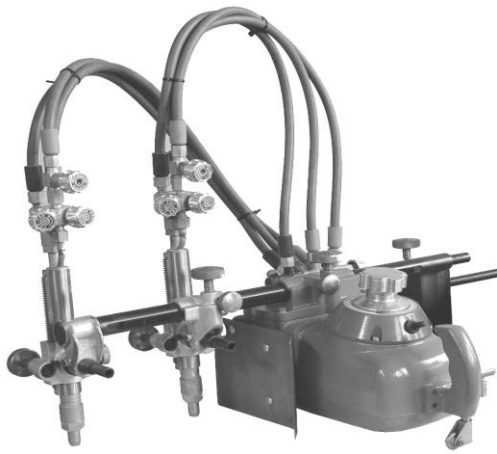


Рис. 4.22 Верстат для анодно-механічного різання (а); схема анодно-механічного різання металу (б):
 1 – оброблювана заготовка; 2 – інструмент; 3 – подача електроліту; 4 – генератор постійного струму

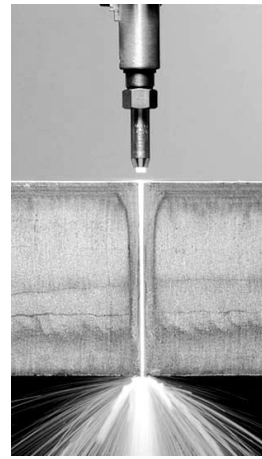
Разом з тим диск усуває з розрізу дрібні частки металу, оплавленого тепловими імпульсами внаслідок дії електричного струму.

Як електроліт застосовується водний розчин рідкого скла. Інтенсивність різання залежить від електричних та механічних режимів верстата і становить від 2000 до 6000 мм³/хв. З підвищенням інтенсивності різання знижується точність та чистота оброблення. Анодно-механічне різання застосовують для оброблення твердих чи надто в'язких металів і сплавів (нікелеві, хромонікелеві сплави). Анодно-механічні верстати порівняно дорогі, потребують кваліфікованої експлуатації.

Кисневе різання засноване на згорянні нагрітого металу у струмені ріжучого кисню. Таке різання застосовується в основному для сталей, які містять до 0,7% вуглецю. Продуктивність кисневого різання досить велика, особливо у разі застосування автоматів з кількома різачками, які працюють одночасно (рис. 4.23, а). Якість розрізу задовільна, точність за довжиною невелика. Ширина розрізу становить 4...8 мм. Застосовується в основному для різання великих профілей та вирізання контурно-фасонних заготовок з листа (рис. 4.23, б).



а



б

Рис. 4.23 Обладнання для кисневого різання двома різаками (а); процес кисневого різання при вирізанні контурно-фасонних заготовок з листа (б)

Вибір способу різання залежить від форми та розмірів заготовки, а також можливостей способу різання (табл.4.2) і цеху (заводу).

Табл.4.2 Порівняння способів різання прутків на заготовки

Спосіб різання	Характеристика способу		
	За продуктивністю, бал	За використанням металу, бал	Точність довжини заготовок, ±мм
на сортових ножицях	1	1	0,8...4,5
на холодноламах	1	1	1,0...3,5
дисковими пилками	3	4	0,8...2,5
абразивними кругами	2	2	0,5...1,5
приводними ножівками	6	3	0,8...2,5
анодно-механічний	5	2	0,1...0,5
кисневий	4	5	1,0...3,0

Примітка: Збільшення балу в таблиці вказує на погіршення характеристики.

Якщо штучна заготовка використовується для подальшого оброблення тиском, її називають *вихідною заготовкою*. З метою підвищення стійкості

інструменту, що застосовується у процесах ОМТ, поверхні вихідної заготовки підлягають додатковому обробленню, яке полягає в очищенні від дефектів, окалини, забруднень, у фосфатуванні та ін. Операції, які застосовуються при обробленні поверхонь вихідної заготовки, поділяють на механічні, термічні, хімічні. Вони можуть виконуватися послідовно або одночасно.

Контрольні запитання

1. Чим характеризується якість різних способів різання?
2. У чому суть різання на сортових ножицях, пресах-холодноламах і яка якість отриманих цими способами заготовок?
3. Порівняйте якість заготовок, які отримують різанням дисковими та стрічковими пилками.
4. Порівняйте якість заготовок, отриманих різанням дисковими пилками та абразивними кругами.
5. У чому суть та технологічні особливості газокисневого різання?
6. Які зміни властивостей металу відбуваються у торці заготовки при різних способах різання?

4.4 Виробництво кованих заготовок

4.4.1 Особливості виробництва кованих заготовок

Кування – процес ОМТ, при якому інструмент (бойок) здійснює багаторазову переривчасту дію на гарячу заготовку, деформуючи її у локальних об'ємах, в результаті чого метал плине у напрямках, не обмежених поверхнями інструмента, а заготовка, пластично деформуючись, набуває заданої форми.

Основні операції при куванні поділяють на три групи: заготівельні, власне кувальні, завершальні і обробні. До заготівельних належать

підготовка зливків або прутків до кування, різання їх на штучні вихідні заготовки, додаткове оброблення і нагрівання. До *кувальних* належать усі операції, що ведуть до суттєвої зміни форми оброблюваної вихідної заготовки. Операції кування послідовно чергуються і супроводжуються поздовжніми пересуваннями і поворотами заготовки. До *завершальних* відносяться операції обрізування зайвого металу, що утворюється в поковках при деяких операціях кування, прошивання отворів та термічне оброблення поковок. До *обробних* операцій належать правлення і калібрування поковок, очищення їх від окалини. Складні поковки потребують збільшеної кількості операцій, серед яких однойменні можуть повторюватися два чи більше разів. При цьому напівфабрикат поковки надходить у піч для додаткового підігрівання (один чи більше разів, залежно від складності поковки).

Як вихідний матеріал для кування застосовують метал у вигляді зливків, прокату найпростіших профілів, пресованих прутків та литі заготовки. Зливки з вуглецевих сталей можуть мати масу від 1,2 до 350 т. З високолегованих сталей застосовують зливки менших розмірів (але не менше 200 кг),

Кування виконують на кувальних молотах і гідравлічних пресах, використовуючи універсальні (бойки) або спеціальні інструменти (підкладні штампи).

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

Вибір послідовності операцій технологічного процесу в умовах конкретного підприємства здійснюється за технологією кування аналогічної деталі, виробництво якої вже опановано. У цьому випадку повністю

враховується попередній досвід і можливості обладнання підприємства. Якщо ж розробляється технологія кування для нового виробництва, то, використовуючи класифікацію поковок за групами, підбирають типовий технологічний процес, за яким і визначають перелік та послідовність операцій, необхідне обладнання та інструмент [9].

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

При партіях поковок одного найменування понад $30 \dots 50$ штук застосовують відкриті чи закриті підкладні штампи (рис. 4.24). Це дозволяє одержати поковки відносно складної форми без напусків з припусками та допусками на $15 \dots 20\%$ менше, ніж при куванні універсальним інструментом.

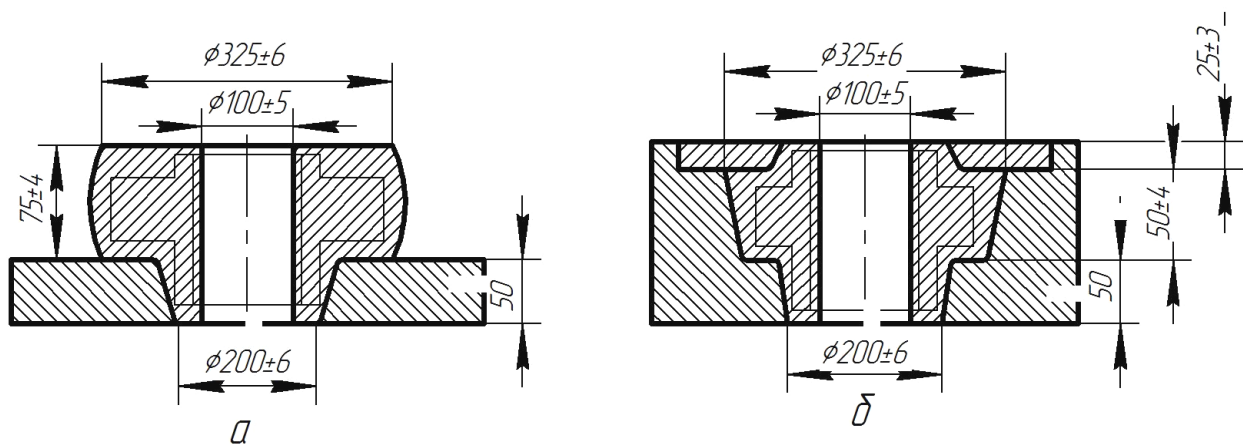


Рис. 4.24 Поковки, отримані звичайним куванням (а) і у підкладних штампах (б)

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

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

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

4.4.2 Класифікація кованих заготовок

За *конструктивно-технологічною складністю* поковки поділяють на п'ять груп. Для кожного виду поковок класифікація здійснюється за співвідношенням розмірів перерізів, габаритними розмірами і особливостями конфігурації (додаток 7).

Для поковок круглого перерізу з уступами, фланцями, буртами, виступами група складності визначається у залежності від співвідношення діаметра основного перерізу $D_{\text{осн}}$ і довжини деталі L . Основний переріз визначають так. Для валів з одним уступом основним вважають переріз, для якого добуток діаметра D_i і довжини l_i відповідного уступу має максимальне значення. Для валів з двома уступами основним вважають переріз, що має максимальний діаметр D_1 при умові $D_1 l_1 > D_2 (l_2 + l_3)$. У решті випадків основним вважають переріз уступу з діаметром D_2 .

Для валів з виїмкою основним вважають переріз з максимальним діаметром D_1 при умові $D_1 (l_1 + l_3) > D_2 l_2$. У решті випадків основним вважається переріз виїмки діаметром D_2 . Для валів, що мають більше двох уступів або сполучення уступів і виїмок, основним вважають переріз максимального діаметра D .

Класифікація поковок за групами з метою вибору типової технології кування здійснюється за формою поперечного перерізу і зміною його по довжини, наявністю чи відсутністю отворів, прямолінійністю чи зігнутістю головної осі заготовки. З цієї точки зору всі поковки поділяються на 7 груп.

I група – циліндричні суцільні поковки, гладкі і з виступами – штоки, осі, вали, колони, цапфи, ротори і т. ін.

II група – поковки прямокутного перерізу гладкі і з виступами – плити, пластини, штампові кубики, вкладиші та ін.

III група – поковки змішаних перерізів з розташуванням окремих частин в одній, двох і більше площинах – колінчасті вали тощо.

IV група – циліндричні порожнисті поковки гладкі і з малими виступами – диски, фланці, колеса, кришки, шестерні і т.п.

V група – циліндричні порожнисті гладкі поковки з малим відношенням довжини до розміру перерізу – бандажі, кільця і т. ін.

VI група – циліндричні порожнисті гладкі поковки з великими виступами і великим відношенням довжини до розміру перерізу – барабани, порожнисті вали, циліндри тощо.

VII група – поковки з криволінійною віссю – гаки, бугелі, скоби, днища і т.п.

Класифікація поковок за групами серійності здійснюється в залежності від маси і кількості поковок у замовленні (таблиця 4.3).

4.4.3 Формування кованої заготовки

Вихідними даними для розроблення креслення поковки є креслення готової деталі, кількість поковок у замовленні, власні умови виробництва.

Процес формування поковки складається з низки етапів: аналіз креслення і технічних вимог на виготовлення деталі; вивчення умов її експлуатації; призначення припусків на механічне оброблення і допусків на розміри поковки; попередній вибір кувального обладнання та інструменту; встановлення напусків на елементи, які не можуть бути виконані на обраному обладнанні; призначення напусків на захват при механічному обробленні, на проби для випробувань; доведення форми і розмірів поковки до технологічних; оформлення креслення поковки; розрахунок її маси.

Таблиця 4.3 Групи серійності кованих поковок

Маса поковки, кг	Кількість поковок (шт.) у замовленні за групами серійності			
	1	2	3	4
До 2,5	Понад 600	301...600	151...300	150 і менше
2,5...10,0	Понад 500	251...500	126...250	125 і менше
10...25	Понад 400	201...400	101...200	100 і менше
25...63	Понад 300	151...300	76...150	75 і менше
63...160	Понад 200	101...200	51...100	50 і менше
160...250	Понад 100	51...100	26...50	25 і менше
250...630	Понад 80	41...80	21...40	20 і менше
630...1000	Понад 60	31...60	16...30	15 і менше
1000...2500	Понад 40	21...40	11...20	10 і менше
2500...4000	Понад 30	16...30	8...15	7 і менше
4000...10000	Понад 24	13...24	7...12	6 і менше
10000...16000	Понад 20	11...20	5...10	4 і менше
16000...30000	Понад 16	9...16	4...8	3 і менше
30000...45000	Понад 12	7...12	3...6	2 і менше
Понад 45000	Понад 10	6...10	2...5	1

Примітка: Групи серійності відповідають таким типам виробництва: 1, 2 – дрібносерійне; 3, 4 – одиничне.

Поковкам намагаються надати просту форму, обмежену плоскими чи циліндричними поверхнями. Небажаними є конічні та клинові форми поковок, перетин кількох циліндричних елементів та призматичних з циліндричними. Однобічні виступи кращі за двобічні. Не можна виконувати куванням платики та ребра жорсткості. Заготовки зі значною різницею поперечних перерізів, а також складної форми доцільно виконувати звареними з кількох поковок чи з поковок і виливків.

Намагаючись максимально наблизити конфігурацію поковки до конфігурації деталі, необхідно оцінити можливість виготовлення куванням уступів, фланців, виступів та виїмок. Якщо довжина уступу значно менше ширини бойка, є небезпека утворення небажаної конічної або клинової поверхні. Тонкий і високий фланець під ударами бойка може здеформуватися настільки, що відновити його форму механічним обробленням буде

неможливим. Кування коротких за довжиною виступів з невеликою висотою економічно недоцільне. При відсутності спеціального інструменту виїмки виконуються у тому випадку, якщо їх довжина дорівнює чи більше ширини бойків. Якщо розміри уступу, виступу або виїмки малі, на ці ділянки поковки призначають напуски (рис. 4.25), тому що для невеликої кількості поковок виготовлення спеціального інструменту часто коштує дорожче, ніж втрати металу на напуски та на збільшення обсягу механічного оброблення.

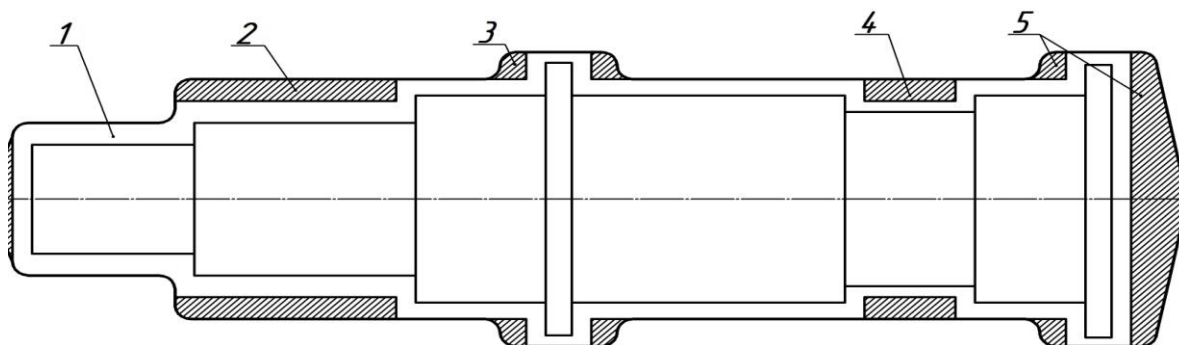


Рис. 4.25 Схема розташування напусків на поковці типу вала:
1 – припуск на механічне оброблення;
напуски: 2 – на уступ; 3 – на борт; 4 – на виїмку; 5 – на фланець

Отвори у молотових поковках допускається не прошивати, якщо їх діаметри менші 40 мм або якщо висота поковки перевищує діаметр отвору більше, ніж у три рази. У порожнистих валах отвори діаметром до 120 мм не виготовляються куванням, якщо довжина вала більше шести діаметрів отвору або якщо товщина стінки порожнистого вала менша 30 мм.

При встановленні *напусків* слід пам'ятати, що технологічні поковки суцільних валів мають не більше трьох виступів і не більше восьми уступів між сусідніми перерізами, а поковки порожнистих валів – не більше двох виступів і п'яти уступів.

Технологічні обмеження при куванні на молотах включають також специфічні параметри для окремих типів поковок. Для суцільних валів значення відношення $l_{об}/D_{об}$, $l_{пр}/B$, l_k/B повинні бути не менші за 0,33. Тут $l_{об}$, $D_{об}$ – довжина та діаметр обрубубування; $l_{пр}$ – довжина просікання; l_k – довжина кінцевого ступеня; B – ширина бойка.

Для дисків, циліндрів, втулок відношення діаметра поковки до її висоти не повинно перевищувати шести, а відношення висоти заготовки до діаметра прошивання – трьох.

Відношення висоти відходу при прошиванні (товщини перемички) до діаметра прошивання має бути не менше 0,25, а різниця між діаметром отвору підставного кільця і діаметром прошивача при прошиванні з одного боку не – менш 10 мм.

Для крупногабаритних поковок валів, які після обдирання підлягають термічному обробленню, призначають напуск на захват у вигляді циліндричного уступу з отвором. Місце розташування цього напуску визначають з урахуванням місця розташування проб для визначення властивостей поковки, оскільки допускається суміщення напуску і проби. З урахуванням умов вирізання зразків проба повинна мати довжину не менше 120 мм.

З метою зменшення витрат металу і підвищення технологічності поковок можливе об'єднання декількох заготовок в одну поковку. Деталі типу сектора або тонкого диска, наприклад, об'єднують в складене кільце або циліндричний пакет з урахуванням припусків на розрізання і підрізання торців. Деталі типу коротких циліндрів об'єднують у порожнистий вал і т.п.

Можливість призначення напусків на уступи, виїмки, фланці, бурти і отвори визначають після призначення основних і додаткових припусків.

Припуски і допуски залежать від конфігурації поковки, її розмірів, матеріалу і способу виготовлення. Для поковок з вуглецевої та легованої сталі круглого чи квадратного перерізу з виступами та виїмками, що виготовляються *куванням на молотах*, згідно з ГОСТ 7829-70 (додаток 8) спочатку призначають *основні припуски* і гранично допустимі відхилення на діаметр (розмір перерізу) залежно від загальної довжини і діаметра (розміру) перерізу, що розглядається.

Припуски і граничні відхилення на відстані від *базового перерізу* до уступів, виступів або виїмок приймають рівними 1,5 припуски на діаметр

(розмір) виступу найбільшого перерізу. За базовий переріз приймають переріз ділянки з найбільшим діаметром, яка не є торцем поковки.

Припуск (допуск) на загальну довжину поковки приймають рівним 2,5 припуски (допуски) на діаметр (розмір) виступу найбільшого перерізу.

Для компенсації неспіввісності ступенів за додатком 9 на діаметри (розміри) всіх перерізів (крім базового) призначають *додатковий припуск* залежно від різниці діаметрів (розмірів) найбільшого (базового) перерізу і того, що розглядається. Таким чином, загальний припуск на діаметр (розмір перерізу) визначається як сума основного і додаткового припуску.

Припуски, указані у додатку 8, установлені з розрахунку оброблення поковки з двох боків. При обробленні поковки з одного боку припуск треба зменшити у 2 рази. Верхнє граничне відхилення при цьому зберігається, а нижнє зменшується також у 2 рази. На необроблювані поверхні граничні відхилення на розміри обирають з додатку 8, а припуск беруть рівним 0.

Скоси між виступами, косина відрубів на торцях, нахили призначаються не більше 10° .

Формування поковок, що виготовляються *куванням на пресах*, ведеться майже аналогічним чином. Відмінність полягає лише у тому, що кількісні норми (припуски, допуски тощо) регламентуються ГОСТ 7062-90, а для поковок з високолегованих сталей, кольорових сплавів чи масою понад 100 т – стандартами галузей і підприємств.

При оформленні креслення кованої поковки керуються ГОСТ 7829-70 і ГОСТ 7062-90. Креслення поковки, як правило, виконується у тому ж масштабі, що й креслення деталі. Контур деталі наноситься тонкою штрихпунктирною лінією з двома крапками. Після оцінки можливостей виготовлення виступів і виїмок наносять напуски на відповідні поверхні. Встановивши припуски, визначають номінальні розміри поковки. Розміри проставляються із зазначенням гранично допустимих відхилень (рис.4.26).

На кресленні завжди проставляється загальна довжина поковки. У поковках типу вала довжину елемента, який кують останнім (елемент

діаметром 380 ± 9 мм на рис.4.26), не проставляють, а визначають шляхом розрахунків. Розміри поковок типу вала з виступами проставляють від базового перерізу (правий торець ділянки діаметром 740 ± 11 мм).

Вище розмірної лінії проставляють розміри, що належать до поковки. Під розмірами поковки у круглих дужках допускається проставляти розміри готової деталі чи заготовки після обдирання. У цьому випадку граничні відхилення зазначаються тільки для розмірів поковки.

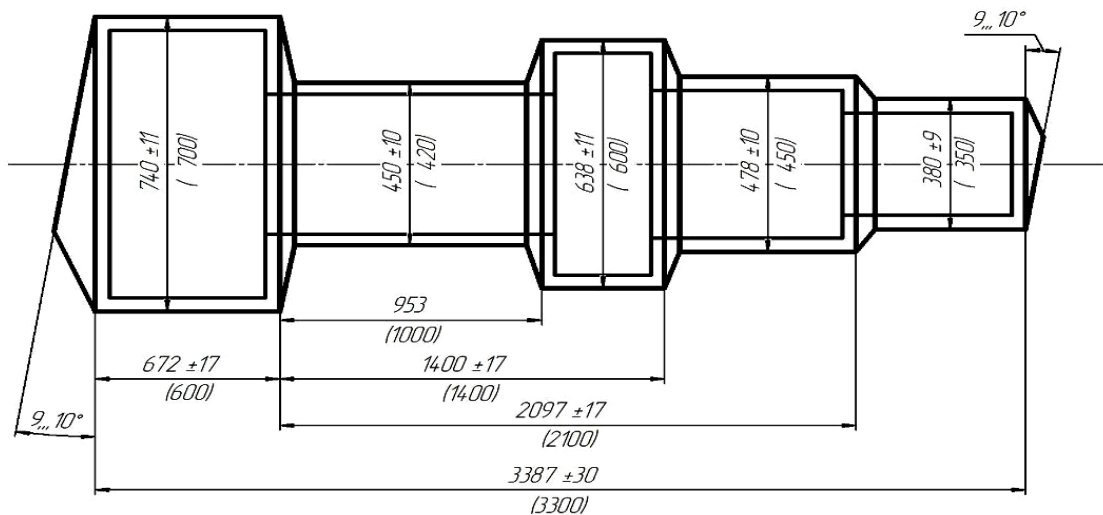


Рис.4.26 Приклад креслення поковки, яку виготовляють куванням на пресі

У технічних умовах креслення зазначаються такі дані: допустимі відхилення форми і розмірів поковки, що не вказані на кресленні; види, розміри і кількість допустимих дефектів; вид термооброблення; твердість заготовки, спосіб і місце її вимірювання; місце і умови відбору технологічних проб; вимоги до мікро- і макроструктури поковки.

4.4.4 Вибір технологічного обладнання для кування

Тип необхідного ковальського обладнання визначають за розмірами заготовки та схемою операцій кування. При цьому орієнтуються на найскладнішу операцію даного технологічного процесу.

Масу частин, що падають, G , кг, визначають за формулою:

$$G = 1,5 \cdot 10^5 p_{\text{пит}} V \varepsilon, \quad (4.2)$$

де $p_{\text{пит}}$ – тиск пресування, МПа; V – об’єм металу, що деформується, м^3 ; ε – ступінь деформації при останньому ударі (змінюється від 0,025 – для крупних і до 0,06 – для дрібних поковок).

Тиск пресування знаходять у залежності від операції кування за формулами:

$$\text{при осаджуванні} - p_{\text{пит}} = \sigma_T(1+0,17D/H), \quad (4.3)$$

$$\text{при протягуванні} - p_{\text{пит}} = v \sigma_T(1+0,17L/H), \quad (4.4)$$

$$\text{при прошиванні} - p_{\text{пит}} = \sigma_T(1+0,17d/h+ 1,1\ln(D/d)), \quad (4.5)$$

де σ_T – границя плинності металу при температурі деформування, МПа; D – середній діаметр заготовки після деформування, мм; H – висота поковки після деформування, мм; L – подача при протягуванні, мм; v – коефіцієнт, що враховує форму бойків (для плоских бойків $v=1$, для вирізних $v=1,25$); d – діаметр отвору, мм; h – товщина відходу при прошиванні, мм.

Необхідне для кування зусилля преса P , МН:

$$P = \psi p_{\text{пит}} F, \quad (4.6)$$

де ψ – масштабний коефіцієнт (коливається від 1,0 – для дрібних поковок, до 0,4...0,5 – для поковок масою 100...200 т); F – площа поперечного перерізу заготовки у зоні деформування, м^2 .

Орієнтовно масу частин, що падають, молотів та необхідне зусилля пресування можна визначити також за табл. 4.4 та 4.5.

Таблиця 4.4 Дані для вибору маси частин, що падають, кувальних молотів

Маса частин, що падають, кг	Маса поковок, кг			Найбільша сторона перерізу заготовки, мм
	фасонних		Найбільша для гладких валів	
	середня	найбільша		
100	0,5	2	10	50
150	1,5	4	15	60
200	2,0	6	25	70
300	3,0	10	45	85
400	6,0	18	60	100
500	8,0	25	100	115
750	12	40	140	135
1000	20	70	250	160
2000	60	180	500	225
3000	100	320	750	275
5000	200	700	1500	350

Таблиця 4.5 Дані для визначення зусилля пресування при куванні на пресах

Зусилля пресу, МН	Вихідна заготовка	
	маса, кг	діаметр, мм
6	500...2000	200...150
8	2000...3000	250...600
10	4000...8000	300...800
20	15000...30000	400...1200
30	30000...60000	600...1600
60	60000...120000	1000...2500
100	150000...350000	2000...2800

Для автоматизування процесів кування застосовують кувальні комплекси з програмним керуванням. Такі автоматизовані кувальні комплекси призначені для кування зливків та заготовок з розмірами поперечного перерізу від 100 до 1500 мм та масою від 50 кг до 40 тонн широкого марочного та профільного сортаменту. На них застосовуються чотирибойкові кувальні пристрої, які дозволяють здійснювати високоякісне та високопродуктивне чотирибичне радіальне кування зливків. Використання автоматизованого кованого комплексу забезпечує:

- підвищення продуктивності процесу кування у 2...3 рази у

порівнянні з традиційним кування на пресі двома бойками;

– отримання високої якості металу за рахунок спеціальних режимів перероблення структури металу у процесі пластичного деформування зі спрямованими зсувами певних ділянок заготовки;

– температурний режим кування максимально наближений до сприятливих ізотермічних умов, що дозволяє отримувати поковки більшої довжини за одне нагрівання;

– отримання порожнистих поковок діаметром до 1400 мм, у тому числі й змінного перерізу, з порожнистих зливків або труб.

Контрольні запитання

1. Назвіть переваги і недоліки заготовок, виготовлених куванням.
2. Яке обладнання використовується для кування?
3. З яких міркувань призначаються напуски при формуванні кованих поковок?
4. Як визначається загальний припуск на розміри поверхонь, що обробляються різанням?
5. Як оформляється креслення кованої поковки?
6. Як обираються параметри технологічного обладнання для кування?
7. Що дає автоматизування процесу кування?

4.5 Виробництво заготовок об'ємним штампуванням

4.5.1 Загальна характеристика об'ємного штампування

Одним із самих розповсюджених способів оброблення металів тиском є штампування.

Штампування – процес ОМТ, при якому отримання заготовок та готових деталей здійснюється за допомогою спеціального інструменту – штампа, робочі порожнини якого (рівчаки) обмежують плин металу та визначають кінцеву конфігурацію штампованої поковки. При об'ємному штампуванні відбувається вимушений перерозподіл металу по довжині заготовки. Об'ємне штампування може здійснюватися у гарячому і холодному стані (див. п. 4.2). Найчастіше використовується гаряче об'ємне штампування. Його звичайно застосовують у серійному та масовому виробництві для виготовлення різноманітних поковок масою від декількох грамів до 400 кг. Воно особливо ефективно для виготовлення поковок з малопластичних сталей і сплавів.

Залежно від типу штампа розрізняють гаряче об'ємне штампування у відкритих (рис. 4.27, а) і закритих штампах (рис. 4.27, б) та штампах для витискання.

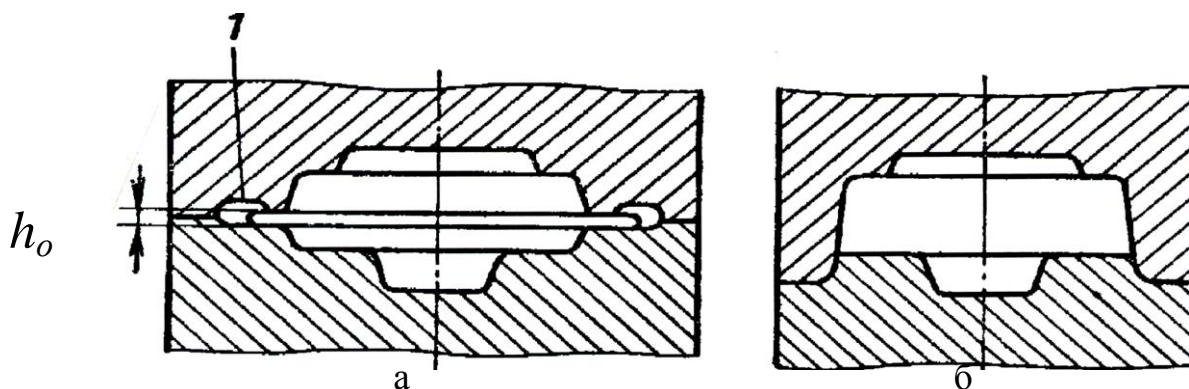


Рис. 4.27 Штампи для об'ємного штампування:

а – відкритий (1 – облойна канавка, h_0 – товщина облою); б – закритий
Штампування у відкритих штампах характеризується тим, що зазор між верхньою і нижньою частинами штампа є змінним і зменшується у процесі деформування металу (рис. 4.28, а-д).

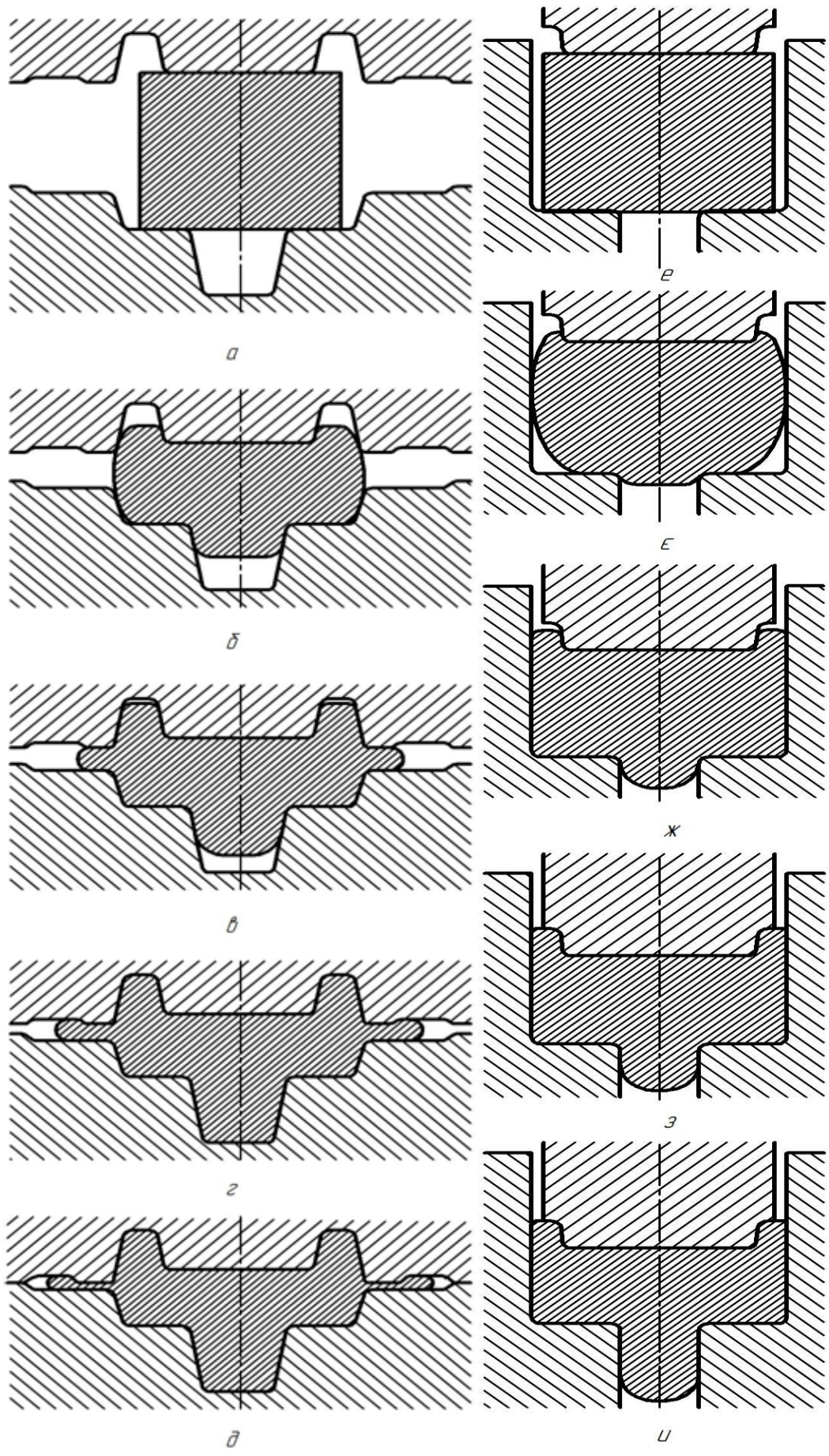


Рис.4.28 Стадії штампування у відкритих (а-д) і закритих (е-и) штампах

У зазор витікає надлишок металу, який утворює *облою*. Він є небажаним відходом, однак необхідним для забезпечення повного заповнення рівчака штампа.

Штампування у закритих штампах відрізняється тим, що невеликий зазор між верхньою і нижньою частинами штампа забезпечує лише їх взаємну рухомість і в процесі деформування металу залишається постійним (рис. 4.28, е-и). Відсутність облою у закритих штампах зменшує витрати металу, виключає необхідність обрізання облою. Однак цей тип штампів потребує використання точних вихідних заготовок з каліброваного чи попередньо обробленого прокату і застосовується для порівняно простих деталей, в основному тіл обертання.

При *штампуванні у штампах для витискання* (рис. 4.29) витрати металу на виготовлення поковок знижуються (до 30%), поковки виходять точні, максимально наближені за формою і розмірами до готових деталей, трудомісткість механічного оброблення зменшується у 1,5...2,0 рази.

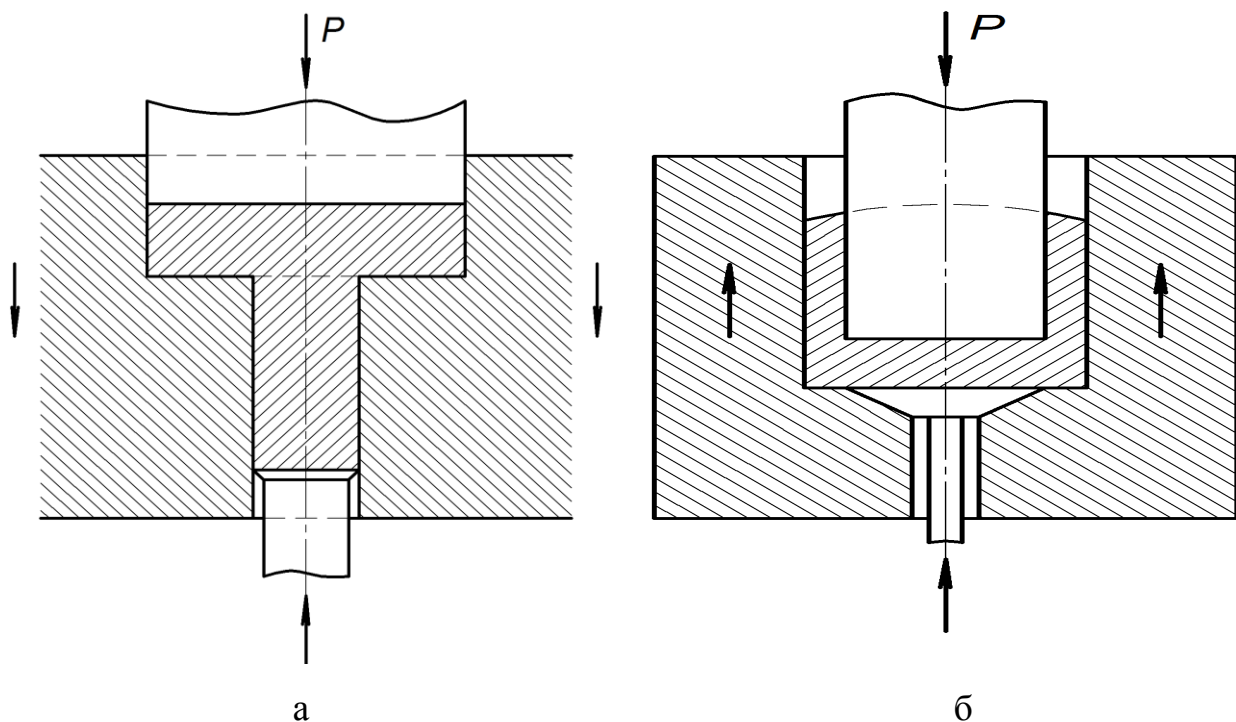


Рис.4.29 Схеми штампування у штампах при прямому (а) і зворотньому (б) витисканні

Поковки мають високу якість поверхні, щільну макроструктуру. Точність розмірів досягає 12-го квалітету. Однак потрібна ретельна підготовка вихідних заготовок під штампування, висока точність виготовлення та налагоджування штампів, використання спеціальних мастил. Цим методом одержують заготовки з вуглецевих і легированих сталей, алюмінієвих, мідних та титанових сплавів. Широке застосування штампування витисканням стримується високими питомими зусиллями деформування, великими енергозатратами та низькою стійкістю штампів.

Перспективним є застосування штампування рідкого металу з кристалізацією під тиском.

Штампування рідкого металу займає проміжне положення між звичайним штампуванням та литтям під тиском. Цим методом одержують тонкостінні заготовки, різноманітні за складністю та масою (до 10 кг), з високою щільністю металу та підвищеними механічними властивостями: заготовки зубчастих коліс, фланці, корпусні деталі і кришки, прес-форми для перероблення пластмас, барабани тощо.

Порівняно з куванням гаряче об'ємне штампування має такі *переваги*: можливість виготовлення поковок складнішої форми з високою якістю поверхні (параметр шорсткості $R_a = 20 \dots 5$ мкм, після холодного калібрування $R_a = 2,5 \dots 0,4$ мкм); менші допуски на розміри (при точному штампуванні такі ж, як і при обробленні різанням); зниження припусків у 2...3 рази, одержання деяких поверхонь такими, що не потребують наступного оброблення різанням; підвищення продуктивності праці (десятки і сотні поковок за годину).

До його *недоліків* відносяться: обмеження у масі одержуваних поковок; додатковий відхід металу в облой, що досягає 10...30 % від маси поковки; більші зусилля деформування; інструмент (штамп) значно складніший і дорожчий, ніж універсальний інструмент для кування.

4.5.2 Технологічні особливості використання штампувального обладнання

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

Штамування на молотах малих і середніх поковок часто економічно невигідне, тому їх виготовляють по дві, по три і більше в одному штампі. Крупногабаритні поковки масою понад 60 кг через обмежену потужність пресів можуть бути відштамповані лише на важких штампувальних молотах.

Штамування на молоті застосовують при серійному виробництві поковок масою 0,01...1000 кг.

Молоти мають малий коефіцієнт корисної дії (не більше 30%). Висока вартість експлуатації молотових установок пов'язана з використанням котельних чи компресорних станцій та громіздких фундаментів.

Штамування на молотах характеризується невисокою продуктивністю праці, низькою точністю розмірів поковок (допуск досягає кількох міліметрів), великими витратами металу на напуски від штампувальних нахилів внаслідок обмеженого застосування виштовхувачів.

Штамування на кривошипних гарячештамувальних пресах. Кривошипні гарячештамувальні преси (КГШП) витіснили молоти і набули розповсюдження у багатосерійному і масовому виробництві поковок складної форми масою до кількох сотен кілограмів. Вони відзначаються більшою вартістю, але пристосовані для високо механізованого і автоматизованого виробництва поковок, допускають ексцентричне розташування рівчаків у штампі, обладнані нижнім та верхнім виштовхувачами. Нерегульований кінець робочого ходу КГШП не дозволяє

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

При штампуванні на КГШП одержують поковки, ближчі за формою до готової деталі (рис. 4.30) з точнішими розмірами (особливо за висотою), ніж при штампуванні на молотах. Досконаліша конструкція штампів забезпечує меншу величину відносного зміщення половинок штампа, зменшення припусків (на 20...30%), напусків, штампувальних нахилів (у 2...3 рази), допусків і, як наслідок, – збільшення коефіцієнта використання металу.

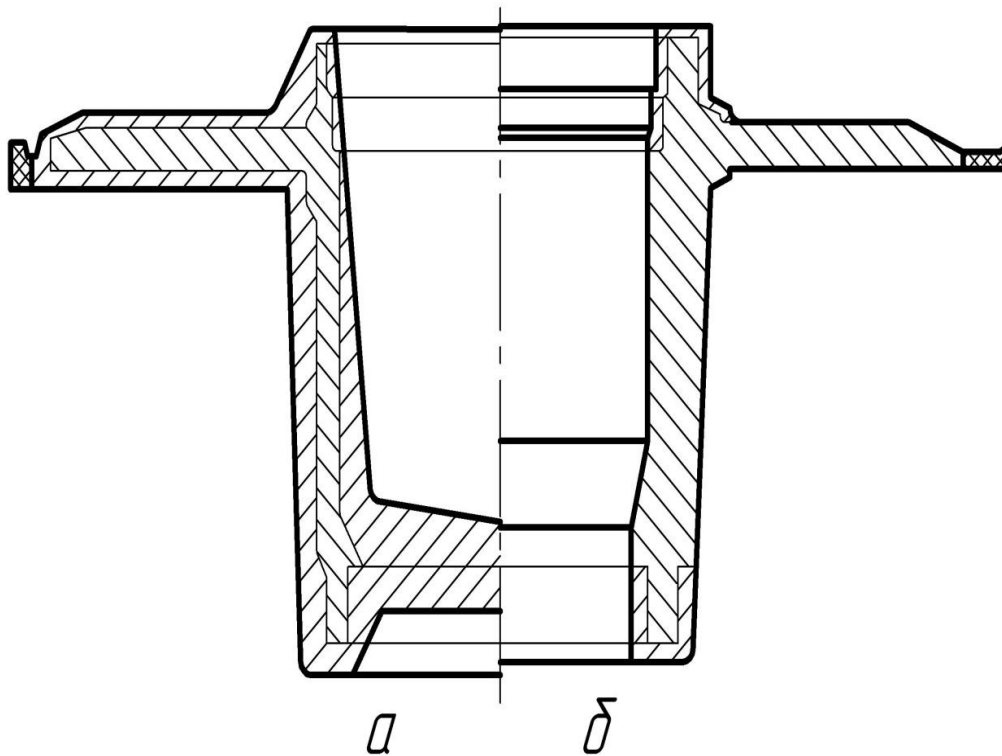


Рис.4.30 Заготовка деталі, отримана штампуванням на молоті (а) і на КГШП (б)

Продуктивність штампування підвищується приблизно у 1,4 раза за рахунок скорочення числа ударів у кожному ривчаку до одного. Собівартість поковок знижується на 10...30% за рахунок зменшення витрат металу та експлуатаційних витрат.

До числа основних недоліків КГШП відносяться: їх висока вартість (приблизно у 3...4 рази вища, ніж у молотів); менша універсальність; гірше заповнення глибоких порожнин через малу швидкість деформування; складніша конструкція, регулювання та експлуатація штампів; небезпека заклинювання преса у нижній позиції штампа внаслідок переохолодження металу поковок.

Штампуння на гвинтових пресах. Гвинтові преси (фрикційні та гідрогвинтові) за принципом дії на заготовку становлять машини проміжного виду між пресом та молотом. Повзун гвинтового преса у кінці ходу вниз ударяє зі швидкістю 1...3 м/с, що в 4...8 разів менше швидкості удару бойка молота. Ця особливість гвинтових пресів визначила їх використання для штампування поковок з малопластичних сталей і сплавів, які важко деформуються. Порівняно мала швидкість на початку робочого ходу преса і можливості застосовувати замість суцільноблочних збірні штампи і рознімні матриці дозволяють одержати поковки досить складної конфігурації.

Гвинтові фрикційні преси виготовляють з номінальними зусиллями 0,4...16 МН. Фрикційні преси малопридатні для багаторівчакового штампування, оскільки значні ексцентричні навантаження тут неприпустимі. Тому їх застосовують переважно для однорівчакового торцьового штампування у відкритих і закритих штампах, а також для гнуття, правлення та деяких інших операцій. Наявність великого ходу у цих пресів (200...710 мм) дозволяє штампувати високі поковки. Фрикційні преси дуже зручні у дрібносерійному виробництві. При виготовленні дрібних поковок вони здатні замінити штампувальні молоти, кривошипні преси і навіть горизонтально-кувальні машини.

Гідрогвинтові преси виготовляють із зусиллям пресування 1...100 МН. Преси оснащені нижнім виштовхувачем та пристосовані для штампування у рознімній матриці. Вони менш швидкохідні, ніж гвинтові фрикційні преси, компактні та потужніші (енергія удару у десятки разів більша енергії найбільших гвинтових фрикційних пресів). На гідрогвинтових пресах

одержують поковки з алюмінієвих сплавів з високими ребрами товщиною до 0,5 мм.

Штамування на гідравлічних пресах. Гідравлічний прес має неударний характер роботи. Робочий хід його повзуна здійснюється при дуже невеликій, але постійній швидкості, звичайно до 0,15...0,2 м/сек. Штампувальні гідравлічні преси виготовляють зусиллям до 750 МН зі звичайним чи збільшеним робочим ходом рухомої поперечини і обладнують гідравлічними вштовхувачами, а також висувним столом для зручності переміщення та зміни штампів мостовим краном. Гідравлічний штампувальний прес значно дорожчий, тихохідніший та менш продуктивний, ніж штампувальний молот з еквівалентною масою частин, що падають.

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

Гідравлічні преси використовують також для штампування металів і сплавів з невеликою температурою початку штампування (алюмінієві та магнієві сплави) і для штампування крупних поковок, які не можна одержати на іншому обладнанні через брак потужності.

Штамування на горизонтально-кувальних машинах. Горизонтально-кувальні машини (ГКМ) становлять горизонтальні кривошипні гарячештампувальні преси зусиллями 6,3...125 МН.

Основною ознакою ГКМ є наявність штампів з двома взаємно перпендикулярними рознімами: один – між верхньою і нижньою частинами матриці, другий – між матрицею та пуансоном. На ГКМ штампують у

відкритих, закритих штампах і в штампах для витискання. Типовим процесом є багаторівчачкове висаджування у закритих дворознімних штампах.

Максимальне зусилля штампування на ГKM – 5..125 МН, найбільший діаметр оброблюваних вихідних заготовок – до 270 мм, робочий хід повзуна – 200...700 мм, кількість робочих ходів – 20...95 за хвилину.

Поковки, що виготовляються на ГKM, звичайно мають форму тіл обертання з прямою віссю, спрямованою по осі вихідної заготовки, якою може бути пруток або труба. ГKM часто застосовують для виготовлення заготовок, що не вимагають деформування по всій довжині або для виконання кінцевої операції типу висаджування фланця чи потовщення з обох кінців заготовки. Основні види типових поковок наведено на рис. 4.31. Поковки, форма яких суттєво відрізняється від форм тіл обертання, на ГKM звичайно не штамнують. Поковки, що виготовляються на ГKM, за припусками і допусками ближчі до молотових поковок, ніж до поковок, що виготовляються на КГШП. Продуктивність цих машин приблизно однакова.

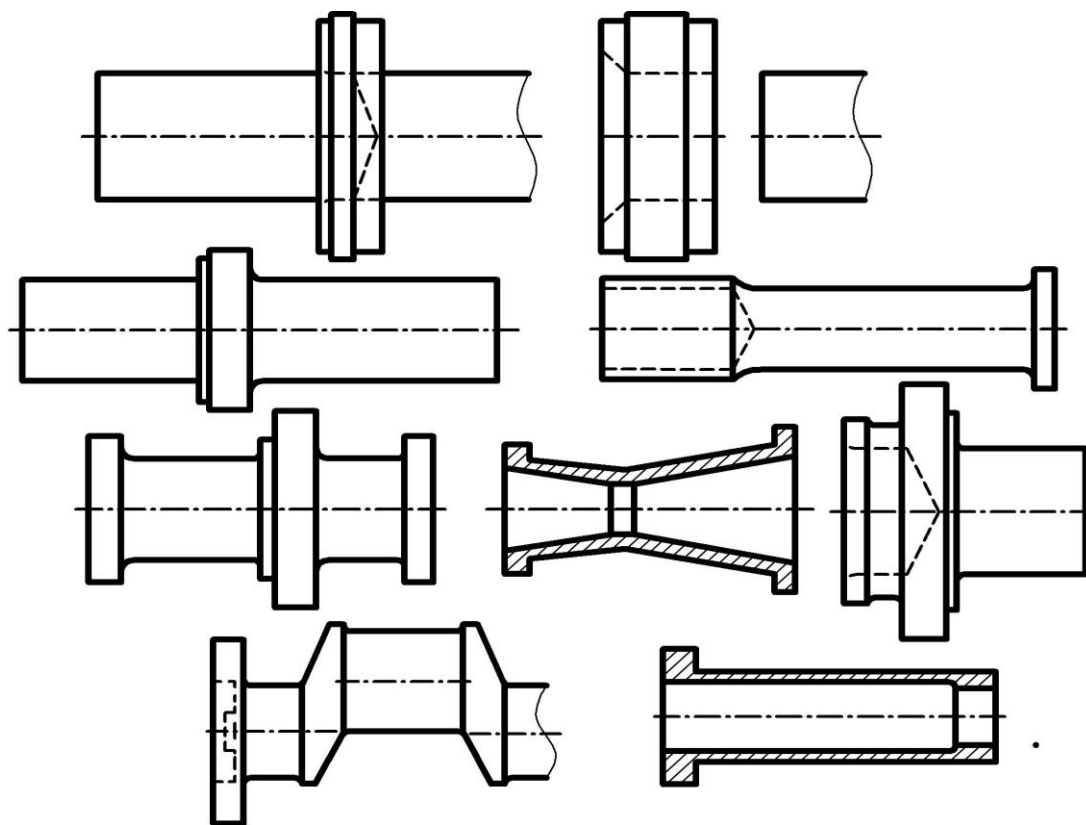


Рис. 4.31 Типові поковки, які штамнують на ГKM

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

4.5.3 Класифікація штампованих поковок

Згідно з ГОСТ 7505-89 [6] штамповані поковки класифікуються за ознаками: точність виготовлення, група сталі, ступінь складності і конфігурація поверхні розніму штампа.

Клас точності виготовлення встановлюється залежно від виду обладнання (обраного технологічного процесу) за табл. 4.6. З п'яти класів точності клас точності Т1 відповідає найвищій точності, клас точності Т5 – найнижчій.

Таблиця 4.6 Класифікація штампованих поковок за точністю

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

Групу сталі поковки визначають за вмістом вуглецю і за сумарною масовою часткою легувальних елементів. ГОСТ 7505-89 поділяє сталі за масовою часткою вуглецю і сумарною масовою часткою легувальних елементів на такі групи: М1 – вуглецю до 0,35% і легувальних елементів до

2% включно; М2 – вуглецю понад 0,35% і до 0,65% або легувальних елементів понад 2 до 5% включно; М3 – вуглецю понад 0,65% або легувальних елементів понад 5%.

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

Ступінь складності поковки С визначають шляхом обчислювання відношення

$$C = M_{п.р}/M_{ф}, \quad (4.7)$$

де $M_{п.р}$ – розрахункова маса поковки; $M_{ф}$ – маса геометричної фігури мінімального об'єму, в яку вписується поковка (рис. 4.32).

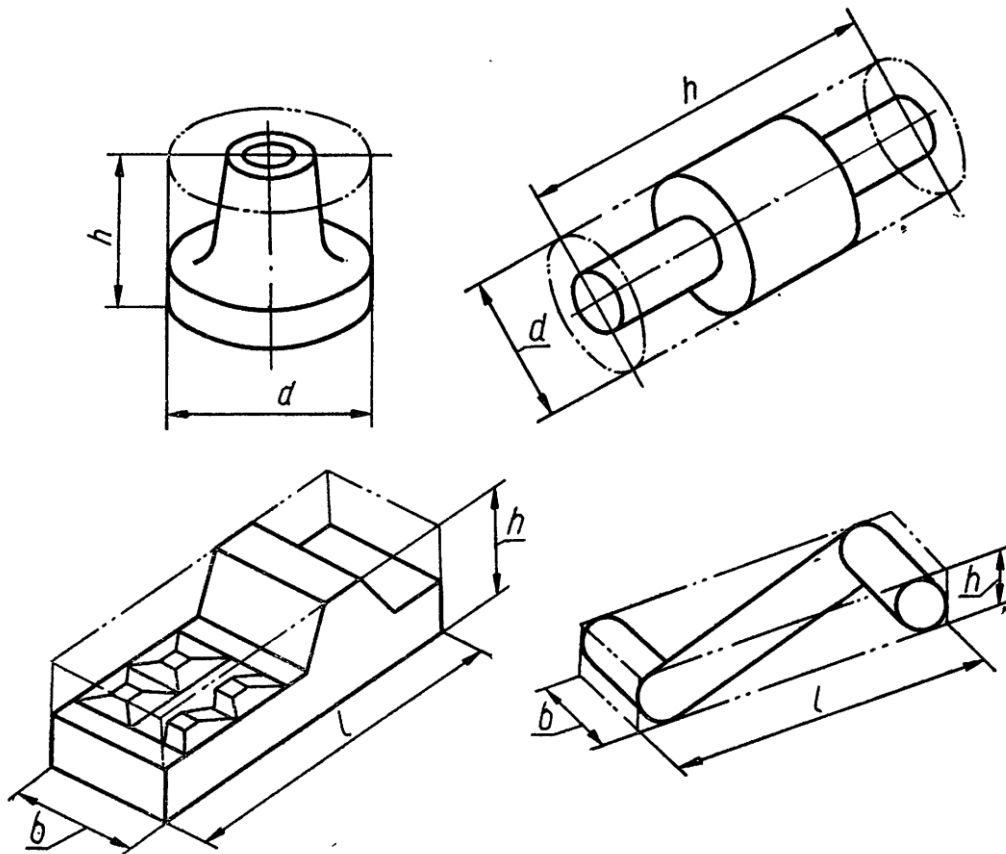


Рис. 4.32 Приклади поковок і геометричних фігур, в які вписуються поковки

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

$$M_{п.р} = K_p M_d, \quad (4.8)$$

де K_p – розрахунковий коефіцієнт, який попередньо можна прийняти у межах 1,4...1,5; M_d – маса деталі, кг (визначають за кресленням або зважуванням).

При визначенні маси геометричної фігури, в яку вписується поковка, M_ϕ спочатку визначають її об'єм. При розрахунку об'єму габаритні лінійні розміри деталі, що визначають положення її оброблених поверхонь, треба збільшити на 3...5%. За густину сталевих поковок слід брати $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$.

Ступеням складності поковок відповідають такі числові значення відношення C :

Ступінь складності	C
C1	0,63...1,0;
C2	0,32...0,62;
C3	0,16...0,32;
C4	до 0,16.

За *конфігурацією поверхні різніу використовуваного штамп* розрізняють поковки з плоскою (П) і симетрично (3_c) або несиметрично (3_n) зігнутою поверхнею різніу.

Для поковок з тонкими елементами (диски, фланці, кільця з перемичками), а також для поковок зі стрижневими елементами (шатуни, важелі), якщо товщина їх не перевищує 25 мм і становить не більше 20 % від максимального розміру (діаметра, довжини) тонкого елемента, установлюється ступінь складності C4.

Для поковок, які одержують на ГKM, допускається визначати ступінь складності у залежності від числа переходів: C1 – не більше двох переходів;

C2 – при трьох переходах; C3 – при чотирьох переходах; C4 – при п'яти і більше переходах або при виготовленні поковки у двох кувальних машинах.

За способом виготовлення поковки поділяються на молотові, штамповані па пресах (кривошипних гарячештампувальних, гідравлічних, гвинтових) та горизонтально-кувальних машинах, а також одержані спеціалізованими методами штампування. Поковки кожного виду додатково поділяють на групи, що значною мірою визначає характер технологічного процесу [10].

4.5.4 Формування штампованої поковки

Вихідною інформацією для формування поковки є: креслення деталі з зазначеними на ньому розмірами, гранично допустимими відхиленнями розмірів, шорсткістю поверхонь та маркою матеріалу; програма випуску деталей (розмір замовлення) і тип виробництва; умови експлуатації деталі; основні відомості про технологію оброблення поковки після штампування. На початку формування визначають *спосіб штампування*, який може суттєво вплинути на конструкцію, розміри і точність поковки, особливо якщо вона штампується на горизонтально-кувальних машинах чи гідравлічних пресах (див. п. 4.5.2). Тип виробництва істотно впливає на вибір штампувального обладнання, оскільки обмежує вибір з точки зору допустимої для даних умов виробництва його вартості і продуктивності. Тип виробництва обирається залежно від маси поковки і кількості заготовок у замовленні (табл. 4.7). Для визначення орієнтовної маси поковки на етапі проектування треба збільшити масу деталі приблизно на 50%.

Спосіб штампування обирається, виходячи з конструктивних розмірів і форми готової деталі, технічних умов на її виготовлення, характеру плину металу у штампі, типу виробництва, а також з можливостей різних способів штампування.

Після цього треба встановити положення поковки у штампі та розташування поверхні його розніму.

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

Таблиця 4.7 Типи виробництва штампованих поковок

Маса поковки, кг	Кількість поковок (шт.) у замовленні за типом виробництва			
	масове	крупносерійне	середньосерійне	дрібносерійне
До 0,25	понад 500000	150001...500000	6001...150000	6000 і менше
від 0,25 до 0,63	понад 300000	8001...300000	3001...8000	3000 і менше
від 0,63 до 1,6	понад 150000	5001...150000	1501...5000	1500 і менше
від 1,6 до 2,5	понад 120000	4501...120000	1401...4500	1400 і менше
від 2,5 до 4,0	понад 100000	4001...100000	1251...4000	1250 і менше
від 4 до 10	понад 75000	3501...75000	1001...3500	1000 і менше
від 10 до 25	понад 50000	3001...50000	751...3000	750 і менше
від 25 до 63	понад 30000	2001...30000	501...2000	500 і менше
від 63 до 160	понад 1000	601...1000	401...600	400 і менше
від 160 до 400	понад 600	401...600	301...400	300 і менше
понад 400	понад 400	301...400	251...300	251 і менше

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

ширше заготовки, рис. 4.33, а), ніж утискування (рівчак вужче заготовки, рис. 4.33, б, в).

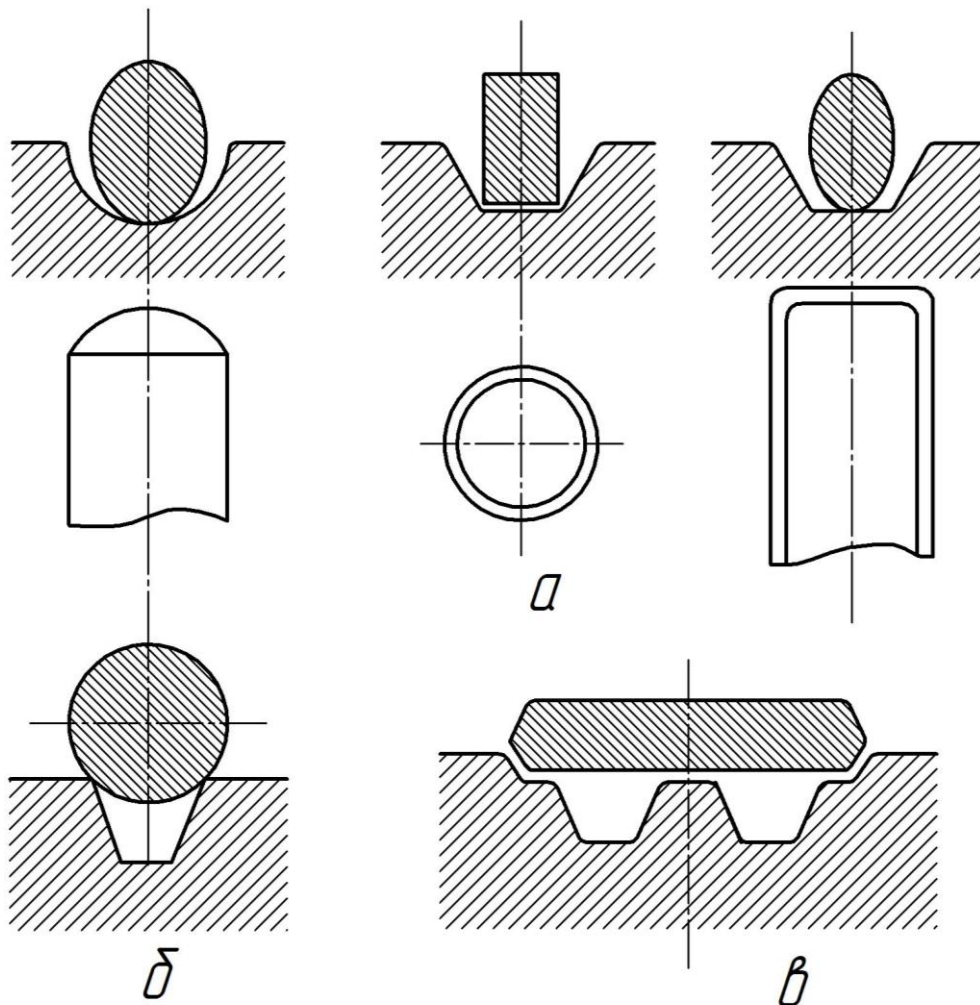


Рис. 4.33 Штампування осаджуванням (а) і втискуванням (б, в)

Для зменшення напусків та нахилів поковку бажано розташовувати так, щоб можна було використати її природні нахили (рис. 4.34).

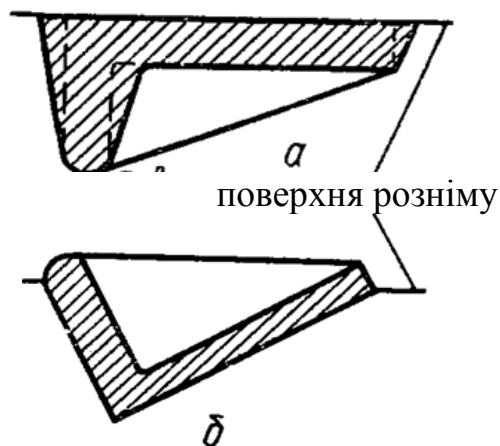


Рис. 4.34 Положення поковки в штампі: без використання (а) і з використанням (б) природних нахилів

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

У більшості випадків рознім установлюють у площині найбільших габаритних розмірів поковки. У цьому випадку порожнини штампів виявляються неглибокими, полегшується їх заповнення, зменшуються напуски, але збільшується периметр і об'єм облою (рис. 4.35, б,г). Якщо інше положення дає суттєве зменшення маси поковки за рахунок намітки отвору (рис. 4.35, а) чи відходів за рахунок зменшення периметра поковки (рис. 4.35, в), допускається розташовувати рознім і в площині менших габаритних розмірів. При цьому бажано використовувати природні нахили.

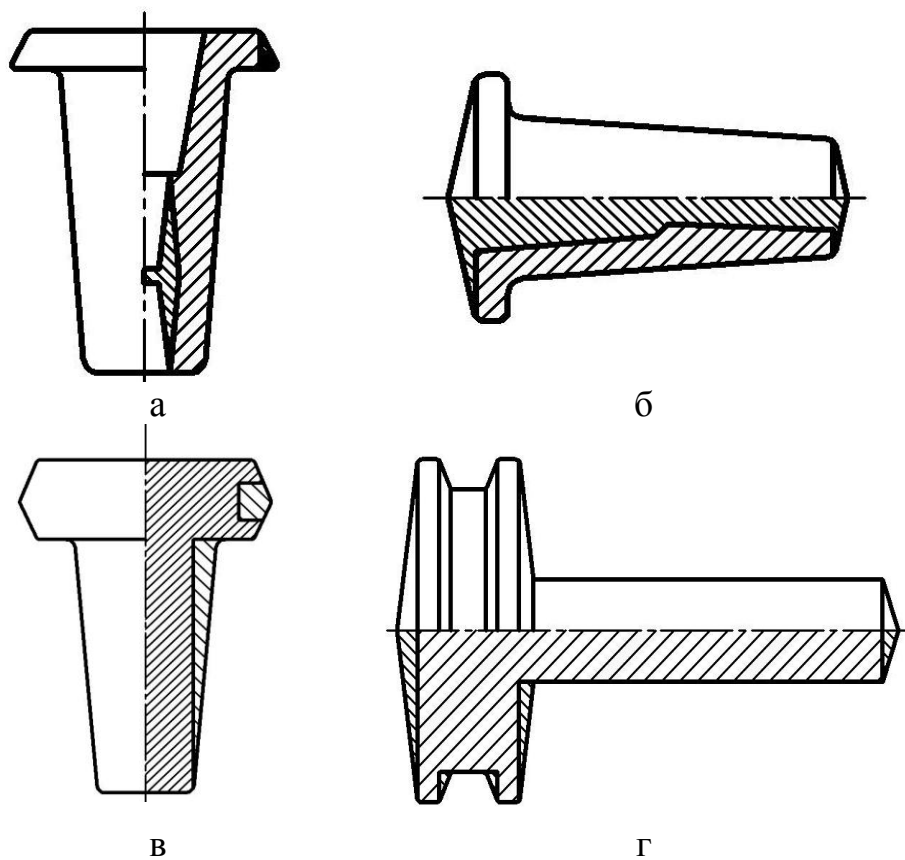


Рис. 4.35 Вплив розташування поверхні розніму штампа на форму поковки

По можливості поверхня розніму повинна проходити по осі симетрії деталі з тим, щоб в обох половинах штампа розташовувався приблизно однаковий об'єм металу (наприклад, рис. 4.35, б,г). Елементи штампа, що важко заповнюються і формують тонкі високі ребра, бобишки і т. п., повинні розташовуватися у його верхній половині. На бічних поверхнях поковки не повинно бути піднутріль.

Лінія перетину поверхні розніму з поковкою повинна проходити по тілу поковки (рис. 4.36, а). У цьому випадку вже невелике зміщення однієї з половинок штампа відносно іншої легко виявити. Якщо рознім проходить по торцевій поверхні (рис. 4.36, б), зміщення помітити важко. Якщо деталь має бобишку з одного боку, поковку можна розташовувати в одній половині штампа (рис. 4.36, в, г).

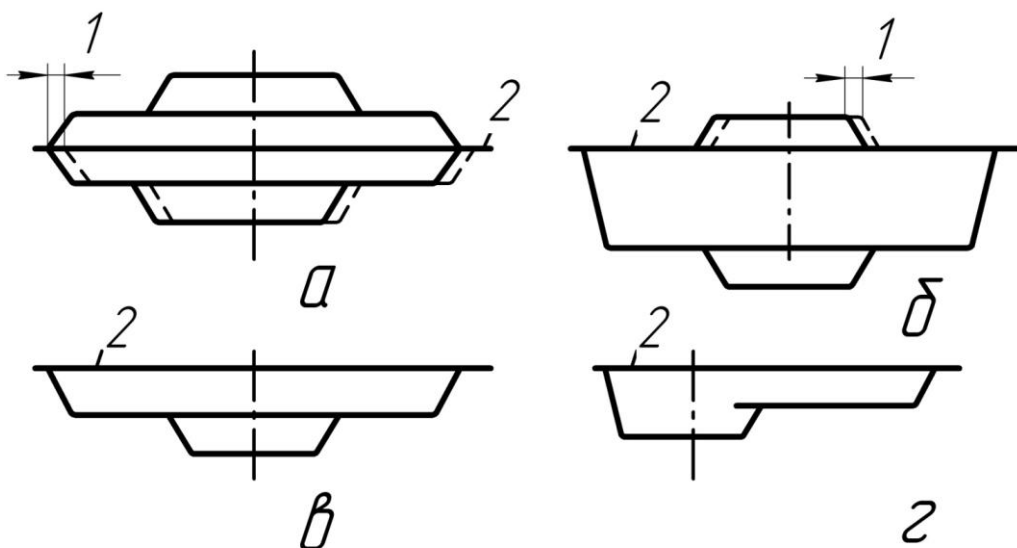


Рис. 4.36 Положення поверхні розніму: а – правильне; б – неправильне; в, г – зміщене для поковок з однобічною бобишкою; 1 – зміщення половини штампа; 2 – поверхня розніму

Бажано, щоб поверхня розніму штампа була плоскою (рис. 4.37, а), що забезпечує відносно просте виготовлення штампів і добрі умови обрізання облою. Ламана лінія розніму (рис. 4.37, б) знижує витрати металу за рахунок зменшення висоти нахилів, але ускладнює виготовлення штампів. При штампуванні видовженої поковки простої форми і невеликої товщини доцільно використовувати рознім штампа по плоскій частині поковки.

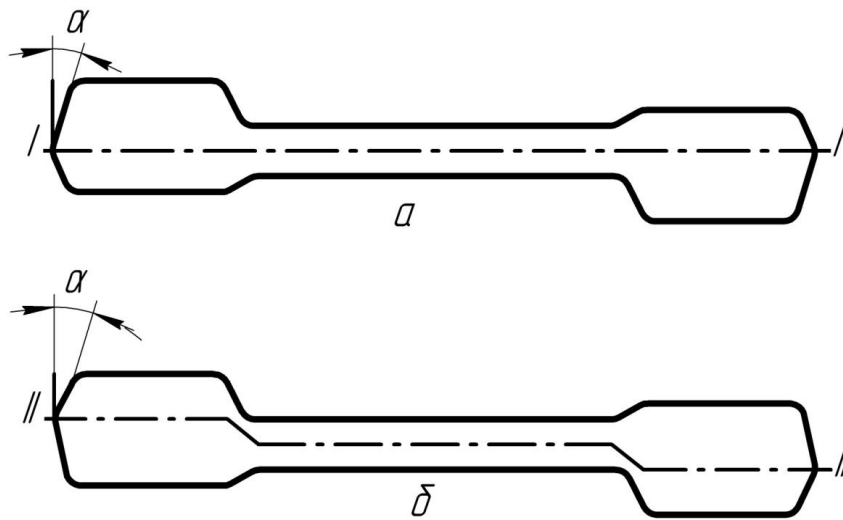


Рис. 4.37 Рознім штампа для видовжених поковок: I-I – плоска і II-II – зігнута площина розніму

Далі встановлюють розрахункову масу і конструктивні характеристики поковки.

Уточнену *розрахункову масу* визначають за допомогою формули 4.8, при цьому розрахунковий коефіцієнт K_p знаходять за допомогою таблиці 4.8.

Конструктивні характеристики поковки (клас точності, групу сталі, ступінь складності, конфігурацію поверхні розніму) встановлюють у порядку, наведеному в п. 4.5.3.

Знаючи розрахункову масу і конструктивні характеристики поковки, необхідно знайти **вихідний індекс** поковки. Вихідний індекс I_v , необхідний для призначення основних припусків і допусків, визначається у залежності від розрахункової маси, групи сталі, ступеня складності та класу точності поковки за допомогою номограми, наведеної у додатку 10. Правила користування номограмою викладені у ГОСТ 7505-89. На номограмі (додаток 10) пунктирною стрілкою наведений приклад знаходження вихідного індексу для поковки масою від 1,8 до 3,2 кг, група сталі М2, ступінь складності С2, клас точності Т4 (результат – $I_v = 12$).

Напуски призначають на порожнини, западини, виїмки, отвори, які неможливо одержати штампуванням через несприятливе положення їх відносно поверхні розніму штампа, малі розміри тощо. До напусків також

належать штампувальні нахили, внутрішні радіуси заокруглень, перемички отворів, що доповнюють припуски.

Табл. 4.8 Коефіцієнт K_p для визначення розрахункової маси поковки

Група	Характеристика деталі	Типові представники групи	K_p
1	Видовжені форми: - з прямою віссю - із зігнутою віссю	Вали, осі, шатуни Важелі, сошки рульового керування	1,3...1,6 1,1...1,4
2	Круглі і багатогранні в плані: - круглі - квадратні, прямокутні, багатогранні - з відгалузками	Шестерні маточини Фланці, гайки, кришки Хрестовини, вилки	1,5...1,8 1,3...1,7 1,4...1,6
3	Комбіновані (такі, що містять елементи першої і другої груп)	Кулаки поворотні, колінчасті вали	1,3...1,8
4	З великою кількістю поверхонь, що не обробляються різанням	Балки передніх осей, важелі пермикання, буксирні гаки	1,1...1,3
5	З отворами, поглибленнями, порожнинами, що не оформляються у поковці штампуванням	Порожністі вали, блоки, фланці, шестерні	1,8...2,2

Припуск на оброблення різанням сталевих штампованих поковок складається з основного і додаткового припусків. *Основні припуски* знаходять залежно від вихідного індексу, лінійних розмірів і шорсткості поверхні деталі за додатком 11.

При визначенні величини припуску на поверхню, положення якої визначається двома і більше розмірами поковки, приймають найбільше значення припуску для даної поверхні. Якщо заготовка піддається полуменовому нагріванню чи проходить додаткові технологічні операції (подвійне термічне оброблення, зварювання, калібрування тощо),

допускається за згодою зі споживачем збільшити припуск на сторону на 0,5...1,0 мм.

Додатковий припуск може призначатися з метою врахувати зміщення штампів у площині розніму (додаток 12), зігнутість і відхилення від площинності та прямолінійності (додаток 13). Додаткові припуски призначаються лише на ті поверхні, на положення яких можуть вплинути відповідні відхилення форми поковки.

За згодою між виробником і споживачем може бути також встановлено додатковий припуск, що враховує відхилення кутових розмірів.

Номінальні розміри поверхонь поковок, які обробляються різанням, визначають складанням (відніманням) відповідних розмірів деталі і основних та додаткових припусків. Одержані розрахунком лінійні розміри необхідно округлити з точністю 0,5 мм.

Допуски і допустимі граничні відхилення лінійних розмірів поковок призначають на всі розміри поковки залежно від вихідного індексу і відповідного розміру поковки за додатком 14. Для поковок, які одержують висаджуванням з обох боків (на ГМК), допуск на довжину недеформованого стрижня подвоюють. При цьому відхилення від перпендикулярності торців стрижня в допуск не входить. Припуски і допуски на оброблення різанням каліброваних (за товщиною) поковок залежать від величини площі поверхонь, що калібруються, і знаходяться у межах 0,25... 0,70 мм та 0,26...0,8 мм відповідно.

Штампувальні нахили служать для полегшування заповнення порожнини штампа і видалення з неї поковки. Вони повинні встановлюватися на поверхні, паралельні руху баби молота або повзуна преса, або, інакше кажучи, перпендикулярні площині розніму штампа.

Штампувальні нахили поділяються на зовнішні α і внутрішні β (рис. 4.38, а). Зовнішні нахили призначаються на поверхні, по яким між поковкою і стінкою штампа утворюються зазори внаслідок усадки при

остиганні поковки, а внутрішні нахили – на поверхні, які при остиганні щільно стискають виступи штампа.

При складній конфігурації поковки один і той же нахил може неодноразово переходити із зовнішнього у внутрішній і навпаки. На поковках, що мають форму тіл обертання, з метою економії металу роблять подвійні нахили: вхідний γ і основний α (рис. 4.38, б).

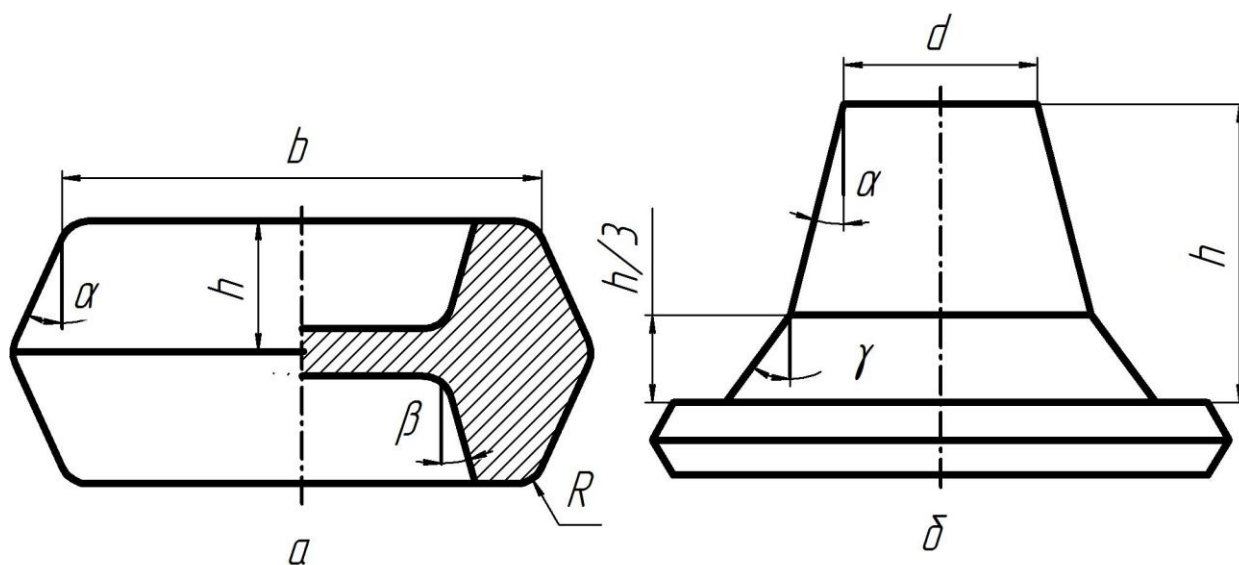


Рис. 4.38 Шампувальні нахили: а – звичайні; б – подвійні; α – зовнішній; β – внутрішній; γ – вхідний

Шампувальні нахили залежать від форми та розмірів порожнини штампа в плані, її глибини, матеріалу поковки, способу штампування, наявності виштовхувачів тощо. Рекомендовані значення нахилів наведено в табл. 4.9. Менші значення приймають при малому відношенні глибини до ширини порожнини штампа.

Після призначення шампувальні нахили корегують таким чином, щоб лінія контуру розніму у верхньому і нижньому штампах була однаковою (рис. 4.39).

Допустимі відхилення шампувальних нахилів для сталевих поковок встановлюють у межах $\pm 25\%$ від їх номінальних значень.

Табл. 4.9 Штампувальні нахили

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

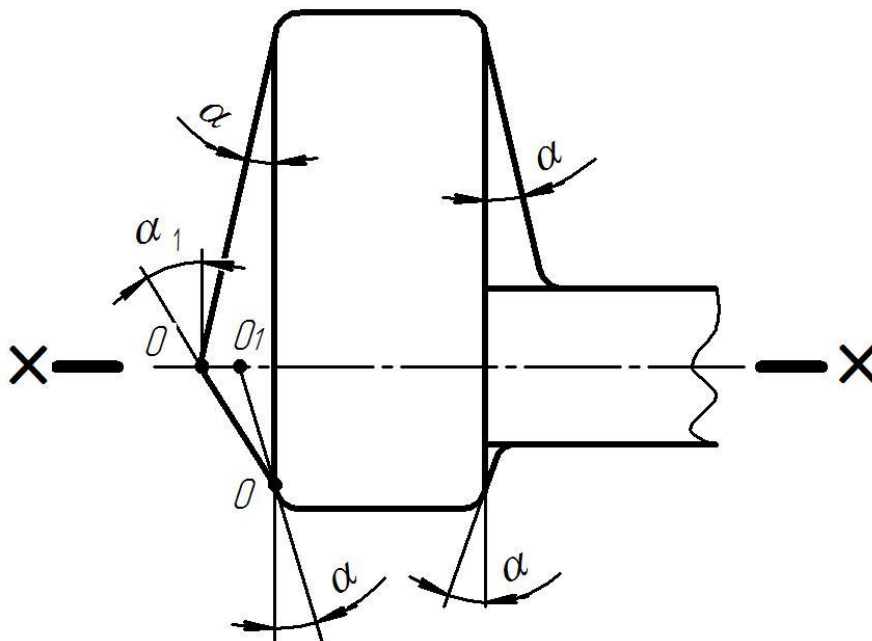


Рис.4.39 Коригування кута штампувального нахилу при несиметричному відносно поковки розташуванні поверхні різниму

На всі перетини поверхонь поковки призначають *радіуси заокруглень*, які зменшують концентрацію напружень у кутах рівчака штампа, покращують заповнення металом порожнини штампа і зменшують знос гострих кутів та кромки штампів.

Розрізняють два види радіусів заокруглення поковок: внутрішні $R_{вн}$ та зовнішні $R_з$ (рис. 4.40). Зовнішні радіуси заокруглюють всі гострі кромки поковки, а внутрішні створюють плавний перехід від однієї поверхні поковки до іншої.

Зовнішній радіус R_3 у поковок важко виконати малим: метал заповнює куток штампа з малим радіусом в останню чергу. Чим більша глибина порожнини штампа, яка заповнюється втисканням, тим важче одержати малий радіус заокруглення у поковки. Зниження внутрішніх радіусів поковок $R_{вн}$ веде до утворення «затисків» у тілі поковок.

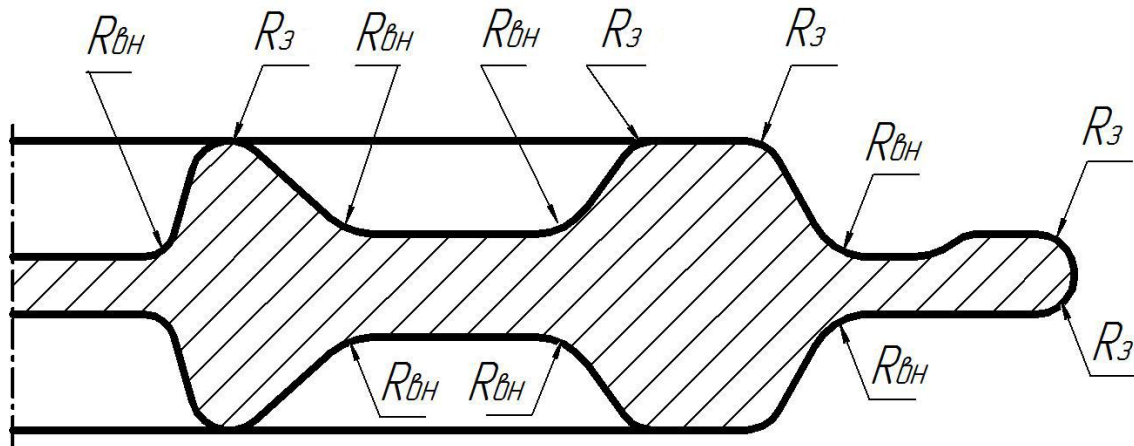


Рис. 4.40 Зовнішні та внутрішні радіуси заокруглень поковки

Згідно з ГОСТ 7505-89 зовнішні радіуси заокруглень гострих кутів поковок вибирають за табл. 4.10 залежно від маси поковки і глибини порожнини рівчака штампа.

Табл. 4.10 Найменший радіус заокруглень зовнішніх кутів поковок R_3 , мм

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

Зовнішні радіуси заокруглень на необроблюваних поверхнях звичайно збільшують. Для полегшення заповнення ривчаків для ребер і бобишок рекомендується максимальні радіуси на їх вершині обирати таким чином,

щоб на останній залишалась невелика плоска ділянка або виходило повне закруглення вершини одним радіусом.

Внутрішні радіуси приблизно у 3 рази більші відповідних зовнішніх. Досить того, щоб значення цих радіусів були на 0,5...1 мм більші припуску на механічне оброблення відповідних поверхонь поковки. Якщо для оброблюваних кромek рекомендований радіус виявиться меншим суми значень зовнішнього радіуса заокруглення (або фаски) на обробленій деталі і призначеного припуску, то корисно радіус збільшити до вказаної суми.

Для спрощення виготовлення рівчаків штампів значення прийнятих радіусів заокруглень рекомендується уніфікувати у кожній поковці, призначаючи різні радіуси лише у тих випадках, коли це спрощує виготовлення штампа.

Допуски радіусів заокруглень внутрішніх і зовнішніх кутів поковок можуть досягати 12,5...50% від їх номінальних значень.

При наявності у деталі порожнини або отвору планують **наскрізний отвір** або **намітку отвору**. При штампуванні таких поковок у найважчих умовах працюють виступи штампів, так звані *знаки*. Внаслідок їх малої стійкості порожнини діаметром менше 30 мм при гарячому штампуванні не виконують.

Виконання *наскрізних отворів* у поковках обов'язкове, якщо діаметр отворів більше або дорівнює висоті поковок.

У випадках, коли одержати наскрізний отвір при штампуванні неможливо, застосовують *намітку отвору*. Намітки отвору можуть бути однобічними, двобічними і глухими (рис. 4.41).

Однобічні намітки використовуються при невеликій висоті поковки з неглибоким глухим отвором або порожниною (рис. 4.41, а, д). При наявності отвору у поковці більшої висоти виконують двобічну намітку (рис. 4.39, в, г, е, є, ж). У такому випадку намітка у середині отвору має *перемичку*, яка запобігає співударінню знаків при штампуванні, а отже й їх швидкому зношуванню. Перемички звичайно видаляються у просічних штампах

одночасно з обрізанням облою. Залишковий облой – виступ, який залишається на поковці по контуру обрізування облою або пробивання отвору, – залежить від маси поковки і не повинен перевищувати 2...6 мм.

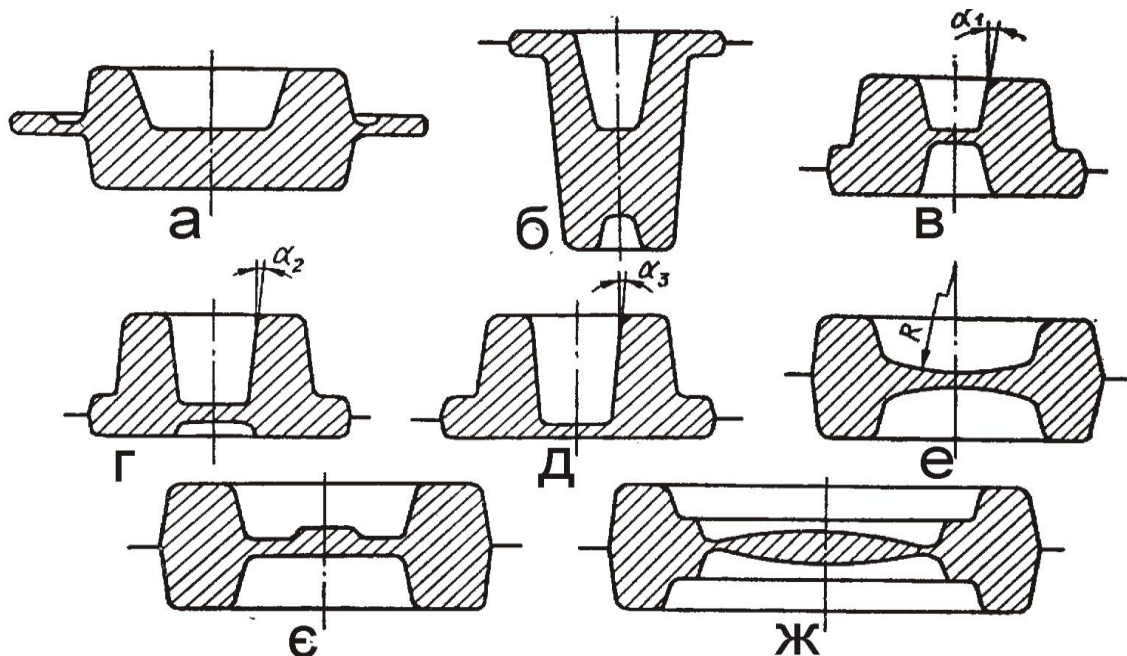


Рис. 4.41 Типові поковки з намітками

Найчастіше плоску перемичку (рис. 4.42, а) одержують у невеликих отворах з діаметром його основи $d_{\text{осн}}$ (тобто з фактичним діаметром отвору з урахуванням припуску) не більше

$$d_{\text{осн min}} = 24 + 0,0625D_{\text{п}}, \quad (4.9)$$

де $D_{\text{п}}$ – найбільший діаметр поковки, мм.

Намітка верхнім знаком робиться глибиною $h \leq d_{\text{осн}}$, а нижнім – глибиною $h < 0,8d_{\text{осн}}$. Щоб зберегти стійкість інструменту і не допустити зайвої витрати металу, перемичка повинна мати товщину

$$S = 0,45\sqrt{d_{\text{осн}} - 0,25h} - 5 + 0,6. \quad (4.10)$$

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

Детальніші рекомендації щодо використання наміток з різними видами перемичок, а також щодо їх розташування відносно площини розніму наведені у довіднику [10].

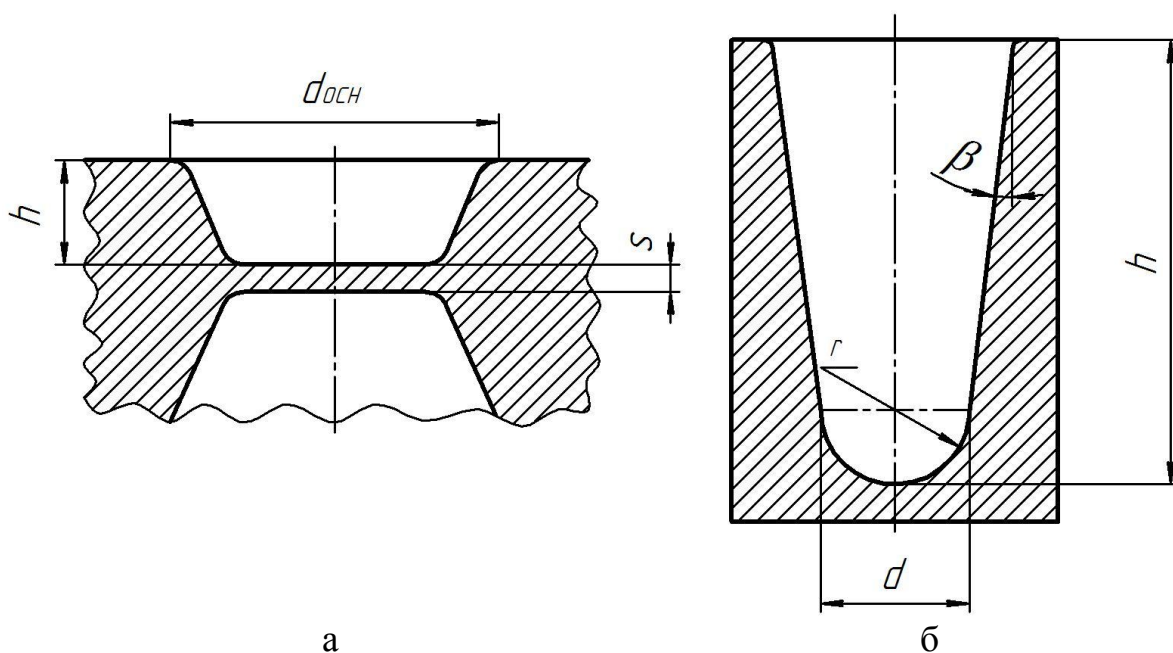


Рис 4.42 Намітка отвору з плоскою перемичкою (а): h – глибина намітки, S – товщина перемички; глуха намітка (б)

При штампуванні поковок великої висоти обмежуються одержанням лише глухих наміток (рис. 4.42, б) без подальшого просікання отворів. Якщо глибина отвору, що намічається, $h > 1,7d_{очн}$ або після призначення радіуса закруглення не залишається плоскої ділянки, то обмежуються глухою наміткою з радіусом закруглення глухої намітки

$$r = \frac{d_{очн}}{2\text{tg}(45^\circ - \frac{\beta}{2})}, \quad (4.11)$$

де β – кут внутрішнього нахилу намітки, град.

У разі необхідності визначають *розміри ребер і відстані між ними*. До головних розмірів поковок з ребрами (рис. 4.43) належать внутрішні радіуси сполучень R , радіуси заокруглень R_1 , і висота ребер h ; товщина ребра, яка дорівнюється $2R_1$, кути нахилу γ полотна між ребрами. Мінімальна відстань a між ребрами для всіх марок матеріалів залежить від висоти ребра h і товщини полотна S : при висоті ребра $h \leq 16\text{мм}$ $a = (30...35)S$; при $h < 35\text{мм}$ $a = (25...30)S$; при $h \leq 70\text{мм}$ $a = (20...25)S$. При відстані між ребрами до 125 мм кут γ приймають рівним 2° , при a понад 125мм – від 0 до $1^\circ 30'$.

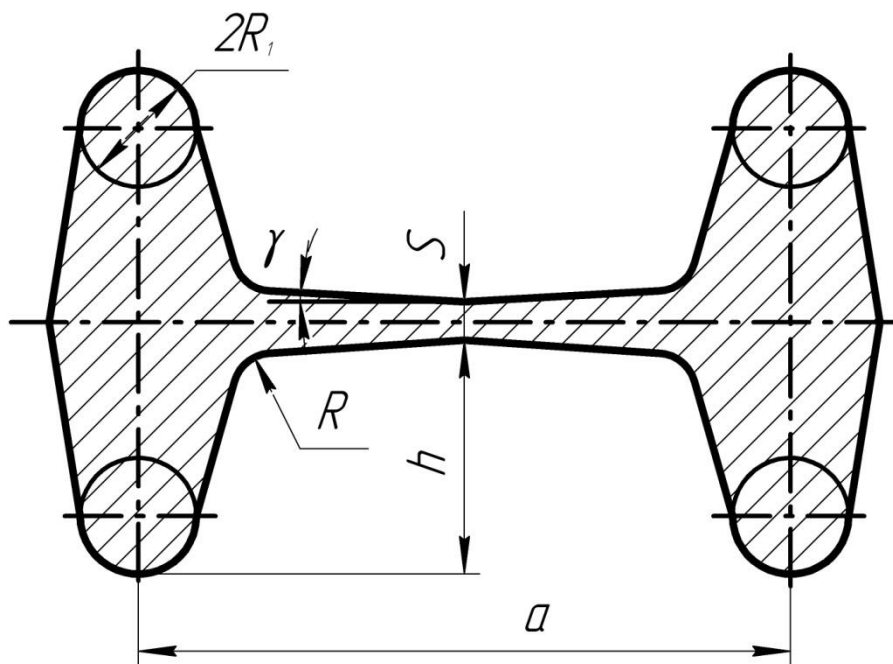


Рис. 4.43 Переріз штампованої заготовки з ребрами

4.5.5. Оформлення креслення штампованої поковки

Креслення поковки за ГОСТ 3.1126-88 і згідно з рекомендаціями ГОСТ 7505-89 виконується, як правило, у масштабі креслення деталі, переважно – 1:1. Поковки простої форми або з розмірами більше 750 мм можна виконувати в іншому масштабі, але й для них складні перерізи рекомендується виконувати у натуральну величину. Поковки складної форми з розмірами менше 50 мм бажано зображати в масштабі 2:1.

Контур деталі на кресленні поковки наносять тонкою штрихпунктирною лінією з двома точками, при цьому зображення деталі можна трохи спростити. Допускається виконувати креслення поковки на копії креслення деталі. Бажано зображення поковки давати в розрізах і перерізах на мінімальній кількості проєкцій. На кресленні поковки поверхню розніму штампа зображають тонкою штрихпунктирною лінією, яка позначається на кінцях знаком: X—.—X, а місця відбору зразків для випробувань (проб), якщо вони передбачені, указують тонкою суцільною лінією.

На кресленні поковки (рис. 4.44) на основі технологічної документації вказують вихідні бази для механічного оброблення на першій операції. В ролі таких баз рекомендується вибирати ділянки поковки з найбільшим діаметром і торцем або інші поверхні, зручні для захоплення і фіксації. Іноді для цієї мети на поковці роблять спеціальні виступи.

Розміри на кресленні відповідають холодній поковці і вказуються від базових поверхонь поковки. При цьому необхідно враховувати зручність перевірки величин припусків і розмірів на поковці, а також простоту розмічування поковки при контролі.

Слід уникати проставляння розмірів від лінії розніму, якщо вона не збігається з віссю деталі. Розмірні лінії для поставляння розмірів поверхонь з нахилами проводять від вершин нахилів.

Під розмірами поковки допускається наносити розміри готової деталі в круглих дужках. При проставлянні розмірів, радіусів, нахилів і допусків на полі креслення доцільно вказувати їх мінімальну кількість, а про інші розміри і допуски зробити написи у технічних умовах.

У технічних умовах креслення при необхідності слід також вказувати: невказані штампувальні нахили, радіуси заокруглень, допуски на вертикальні і горизонтальні розміри; допустимі залишки облою, види і величини зовнішніх дефектів форми поковки; стан поверхні і спосіб її очищення; вид термооброблення, твердість і місце її вимірювання; місце і спосіб клеймування поковки; розміри зразків для випробувань.

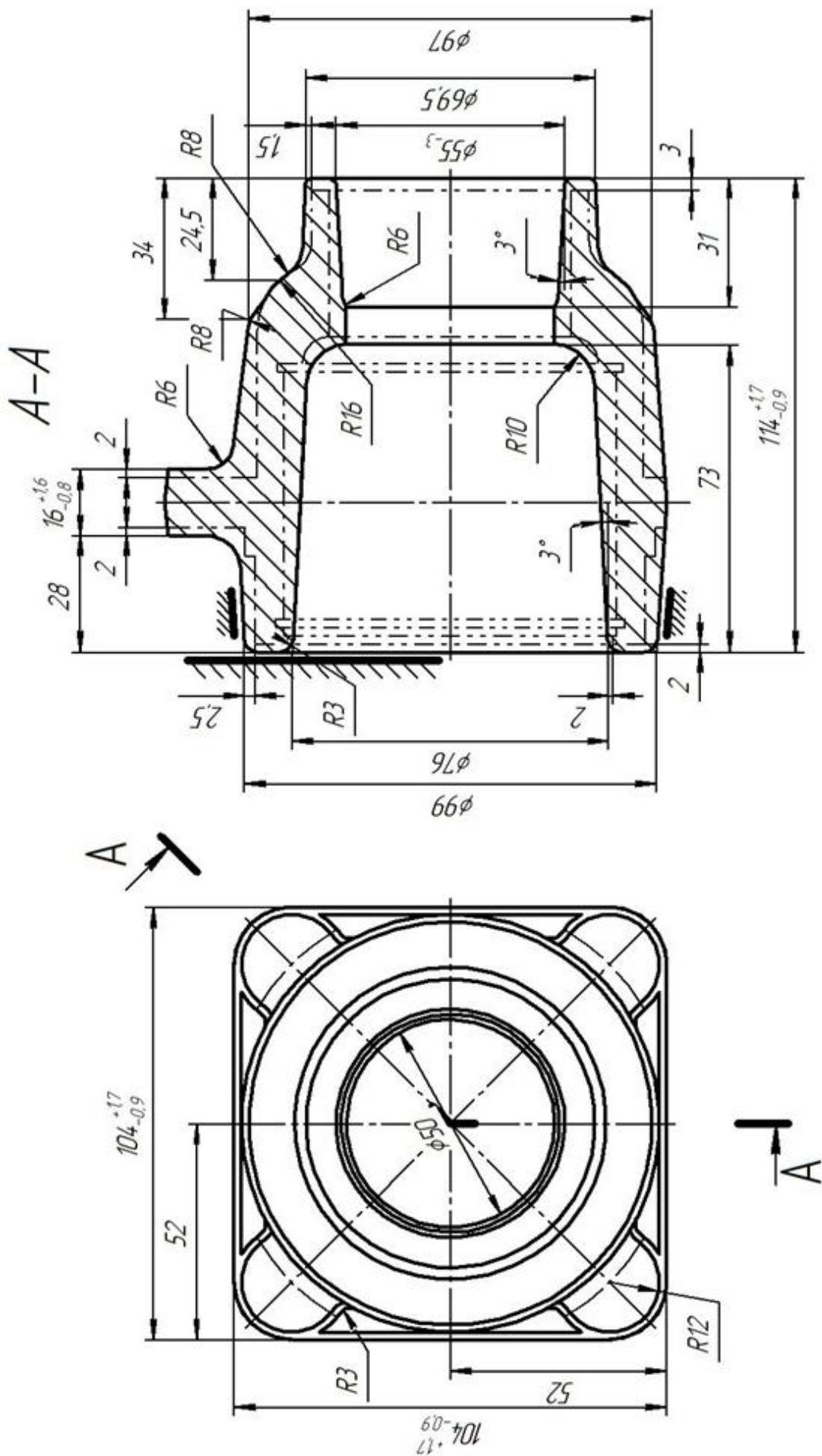


Рис. 4.44 Приклад оформлення креслення штампованої поковки

4.5.6 Забезпечення технологічності штампованої поковки

Одночасно з визначенням раціональних форм і розмірів конкретних конструктивних елементів поковки (припуски, допуски, напуски, нахили, намітки, радіуси заокруглень та ін.) слід подбати про забезпечення технологічності цілому.конструкції заготовки в цілому.

Форма заготовки визначається конфігурацією деталі і прийнятим способом штампування. Раціональною формою вважають таку, при якій всі елементи конструкції мають просту геометричну форму і плавно сполучені один з одним. Розміри конструктивних елементів повинні відповідати можливостям технологічного процесу штампування. При відпрацюванні конструкції штампованої поковки на технологічність слід перевірити можливість зміни конструкції деталі чи її елементів з метою спрощення форми поковки.

Технологічно доцільну форму поковки вибирають з урахуванням таких рекомендацій.

Слід уникати різких переходів по перерізу деталі (площа поперечного перерізу за довжиною деталі не повинна змінюватися більше, ніж у 3 рази), а також ребер, що мають змінний за довжиною переріз. Якщо висота ребер змінна, то необхідно застосовувати змінний радіус сполучення ребер з полотном і постійний штампувальний нахил, який дорівнює середньому для наявних відношень товщини ребра до його висоти. Раціональне однобічне розташування ребер, бобишок та інших елементів, які виступають над полотном (рис. 4.45).

Товщину полотна не слід робити занадто малою для уникнення швидкого остигання поковки, що веде до зниження стійкості штампа. При штампуванні (висаджуванні) потовщень на кінцях стрижнів діаметр висадженої частини не повинен бути більшим чотирьох діаметрів вихідної заготовки, а висота висадженого потовщення повинна бути більшою 0,05...0,125 діаметра потовщення. Якщо висаджується потовщена частина

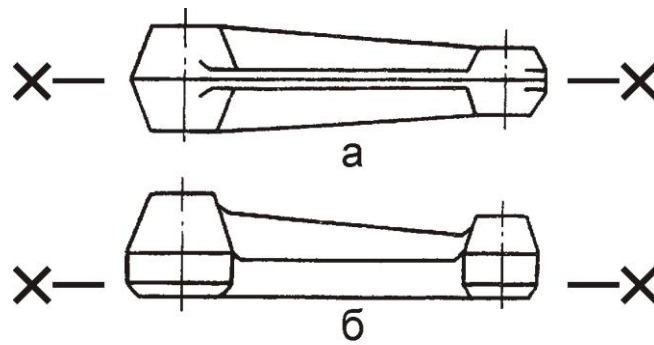


Рис. 4.45 Нераціональне (а) і раціональне (б) розташування ребер у штампованій заготовці

складної форми, то її об'єм не повинен бути більшим $6d^3$, де d – діаметр вихідної заготовки. Поковка не повинна мати довгих вузьких відгалужків у площині полотна, які призводять до великих витрат металу і створюють небезпеку незаповнення ривчака штампа.

Необхідно перевірити можливість виготовлення поковки у закритому ривчаку замість відкритого чи переведення штампування з молота на інші, більш придатні для даної поковки ковальські машини. Іноді раціональнішим методом одержання поковки є комбінування штампування на молоті з подальшим обробленням на інших ковальських машинах.

Необхідно прагнути до одержання готової чи майже готової деталі з прокату шляхом різання його на мірні заготовки з подальшим гнуттям, пробиванням отворів та іншими нескладними операціями (тобто без об'ємного штампування), а також зі спеціального чи періодичного прокату. Бажане скасування деяких операцій механічного оброблення за рахунок застосування калібрування штампованих заготовок.

Для зменшення витрат металу та спрощення штампування іноді раціонально розбити деталь на дві чи більше частин простої форми для штампування їх окремо з подальшим зварюванням (рис. 4.46, а). Для дрібних поковок вигіднішим є штампування двох і більше заготовок в одній поковці з подальшим розрізуванням (рис. 4.46, б).

Праві та ліві деталі за можливістю слід проектувати так, щоб їх можна було виготовляти з однієї й тієї ж заготовки (рис. 4.47).

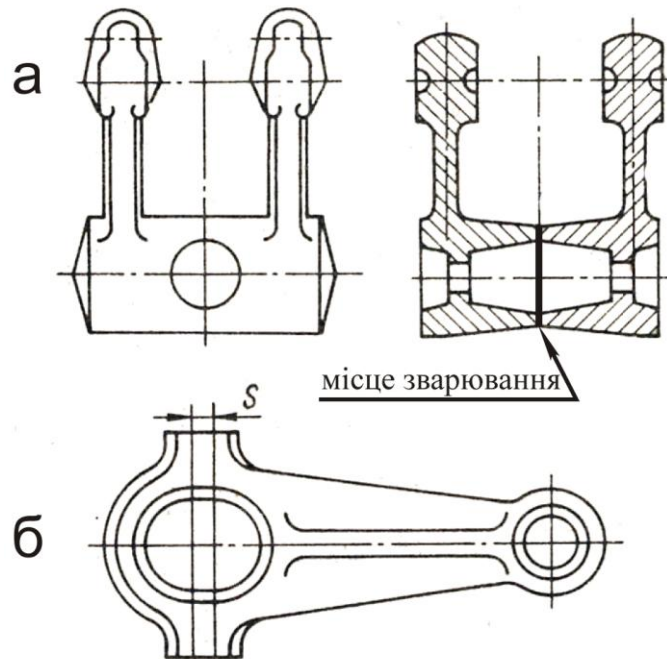


Рис. 4.46 Спрощення конструкції поковки за рахунок: а – розділення на два елементи; б – об'єднання двох поковок в одну (S – ширина розрізу)

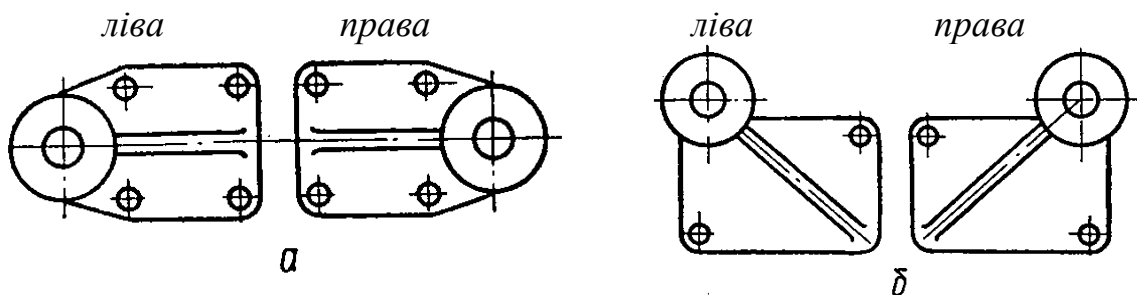


Рис. 4.47 Раціональна (а) і нераціональна (б) конструкція правих і лівих деталей

Необхідно прагнути до уніфікації поковок та їх елементів для різних деталей з метою зменшення вартості технологічного оснащення. Цю ж мету переслідує застосування групових поковок, з яких обробленням різанням можна виготовити невеликі партії однакових за формою, але різних за розмірами деталей.

4.5.7 Підготовка штампованих поковок до оброблення різанням

Обрізні операції. Використовують гаряче і холодне обрізування облою і прошивання отворів. *Гаряче обрізування* виконується безпосередньо після штампування на пресі, який входить до складу штампувального агрегату. Це приводить до економії енергії, яка витрачається на обрізування. Зусилля при гарячому обрізуванні у 5...6 разів менше, ніж при холодному.

Холодне обрізування облою порівняно легко піддається механізації та автоматизації, високопродуктивне, забезпечує вищу якість заготовок. Його використовують при виробництві малих і середніх поковок.

При обрізуванні облою сусідні ділянки металу не повинні зазнавати навіть незначних залишкових деформацій, оскільки поковка може викривитися або буде зім'ята. Велика кількість дефектів поковок пов'язана з неоднаковим спрацюванням основного і обрізного штампів, що вимагає налагоджування обрізного преса для кожної партії поковок окремо. Неоднакова усадка поковок і недостатня точність розмірів інструмента ще більше це посилює. Тому при обрізуванні може зрізатись частина штампувальних нахилів разом з облоєм або, навпаки, по контуру поковки може залишитися частина облою, втягнутого в зазор. Залишки облою і перемичок по периметру обрізування повинні бути мінімальними.

Очищення поковок. Для підвищення строку служби різального інструменту при обробленні поковок, а також для полегшення контролю якості поверхні поковки очищають від окалини. Застосовують три способи очищення поковок: галтування, оброблення дробом і травлення.

При *галтуванні* (обробленні поковок у барабанах) окалина видаляється під час удару поковок одна об одну і об спеціальні металеві «зірочки», які закладаються в барабан. Цей спосіб застосовують тільки для невеликих поковок, щоб уникнути значних забоїв на їх поверхні. Продуктивність одного барабана – 2 т поковок за годину.

У *дробометних апаратах* очищають дрібні та середні поковки складної форми. Для дробометного очищення застосовують чавунний або сталевий

дріб діаметром від 0,5 до 2,0 мм. Швидкість удару дробинок досягає 60 м/с. Застосовують пневматичну і механічну (лопатками швидкообертового ротора) подачу дробу. Використовують установки періодичної або безперервної дії продуктивністю до 4...6 т поковок за годину.

Травлення застосовують для крупних поковок складної форми. Вид травлення залежить від матеріалу поковки. Наприклад, сталеві поковки травлять у 15%-му розчині соляної кислоти. Після травлення поковки промивають у воді з додаванням лугів. У даний час травлення втрачає практичне значення внаслідок низької економічності і зростання екологічних вимог.

Правлення поковок. Правленням усувають викривлення поковок, одержані при штампуванні, обрізуванні, термічному обробленні, додаткових технологічних операціях. Найчастіше викривлення зазнають поковки значної довжини, з тонкими ребрами, з різкою різницею в розмірах суміжних перерізів. Залежно від причин, що викликають викривлення, поковки можна правити у гарячому стані (після обрізування облою) або у холодному після термічного оброблення.

Гаряче правлення можна проводити в остаточному рівчаку основного штампа, на обрізному пресі або на додатковому правильному молоті (пресі). Гаряче правлення краще впливає на структуру і механічні властивості сталі, ніж холодне. Холодне правлення застосовується в основному для поковок, які zdeформувалися при термічному обробленні. Для цього використовують дешеві й прості в експлуатації фрикційні молоти. Форма порожнини рівчаків правильних штампів збігається з формою порожнини остаточних рівчаків. При необхідності виправляти поковки можна поступово у двох взаємно перпендикулярних площинах.

Калібрування поковок. Калібрування застосовують для підвищення точності поковок (за масою та розмірами) і покращення якості поверхні. Воно полягає в незначному, звичайно холодному, обтисканні поковок. Обтискання між плоскими плитами називають *площинним калібруванням*.

Воно підвищує точність вертикальних розмірів на одній або декількох ділянках поковки.. Можна калібрувати і неплоскі поверхні поковок. Після двократного калібрування точність розмірів може бути з допуском $\pm 0,025$ мм і параметром шорсткості поверхні $R_a = 0,8 \dots 0,4$ мкм. *Об'ємне калібрування* служить для уточнення розмірів поковки у різних напрямках, а при витисканні певної кількості металу в облой – і для уточнення маси. Заготовку калібрують у відкритому штампі. Точність об'ємного калібрування нижче, ніж площинного.

Для збереження досягнутої при калібруванні мінімальної шорсткості поверхні поковки доцільно калібрувати після останнього нагрівання. Звичайно калібрують поковки, які вже пройшли термічне оброблення. Калібрування, що виконується при температурі $700 \dots 800^\circ\text{C}$, часто називається *гарячим калібруванням*. Воно не забезпечує такої низької шорсткості поверхні, яка досягається при *холодному калібруванні*, але відбувається при нижчих питомих зусиллях. Гаряче калібрування застосовують до термічного оброблення поковок.

Застосовують також *комбіноване калібрування*. У цьому випадку спочатку за допомогою об'ємного калібрування поверхні поковок роблять рівними, а потім окремі плоскі елементи піддають площинному калібруванню для одержання точних розмірів між відповідними площинами.

Для усунення дефектів, які виникли при нагріванні і обробленні тиском (перегрів, залишкові напруження), поліпшення оброблюваності різанням, підготовки структури металу до остаточного термічного оброблення (уже після оброблення різанням) застосовують термічне оброблення поковок.

Особливість термічного оброблення поковок полягає у тому, що через велику різницю поперечних перерізів в окремих ділянках поковки можливе одержання відмінних структур. Крім того, перепад температур по перерізу поковки може призвести до виникнення нових залишкових напружень.

Вид і режим термічного оброблення залежать від його призначення, хімічного складу матеріалу поковки, термомеханічного режиму

попереднього штампування, розмірів і форми оброблюваної поковки. Найпоширенішими видами термічного оброблення поковок є відпалювання і нормалізування.

Відпалювання полягає у нагріванні поковки вище критичної температури і повільному охолодженні з піччю. Воно служить для одержання рівноважної структури, поліпшення пластичності, зниження твердості і зняття залишкових напружень. Відпалювання застосовується найчастіше для крупних поковок, при охолодженні яких у межах температур 700...750°C повинна бути забезпечена мінімальна швидкість охолодження. Заготовки, для яких особливо важлива добра оброблюваність різанням (наприклад, заготовки зубчастих коліс), піддають ізотермічному відпалюванню з додатковою тривалою витримкою при температурі 620...670°C.

Нормалізування проводиться з метою зменшення залишкових напружень, подрібнення зерна і, як наслідок, підвищення механічних властивостей поковки. Воно полягає у нагріванні поковок до температури вище критичної та охолодженні на повітрі. Це найпростіша і дешева операція термічного оброблення. Нормалізуванню піддаються поковки з низько-, середньовуглецевих і низьколегованих сталей. Сталі з більшим вмістом вуглецю і легувальних елементів у результаті нормалізування можуть одержати підвищену твердість, що ускладнить їх подальше механічне оброблення. У цьому випадку після нормалізування проводять відпускання при температурі 600...700°C.

Орієнтовні режими термооброблення поковок з різних матеріалів наводяться у довідковій літературі [9].

Термічному обробленню піддають також поковки з кольорових сплавів. Види термооброблення у цьому випадку пов'язані з особливостями цих сплавів. Наприклад, поковки з алюмінієвих сплавів піддають гартуванню та старінню, з титанових сплавів – відпалюванню або гомогенізації.

4.5.8 Вплив способу штампування на якість і собівартість

штампованої поковки

При виборі способу виготовленні заготовок методами ОМТ насамперед ураховують вимоги до готових деталей: характер навантаження, найвідповідальніші перерізи, потрібне розташування волокон, бажаний розподіл зовнішніх і внутрішніх шарів металу вихідної заготовки тощо. Різні методи ОМТ можуть надати заготовці необхідні властивості, забезпечити максимальну міцність деталі та інші експлуатаційні вимоги. Наприклад, при куванні або штампуванні заготовок зубчастих коліс катана вихідна заготовка з поздовжнім розташуванням волокон (рис. 4.48, а) піддається осаджуванню в торець. Внаслідок цього волокна розташовуються радіально (рис. 4.48, б). Менш якісне осердя може бути видалене у відхід (рис. 4.48, в).

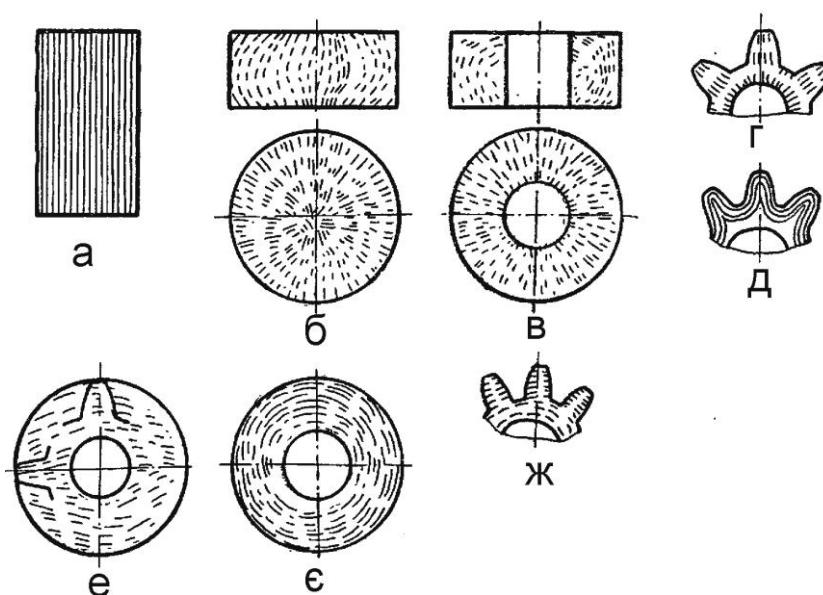


Рис. 4.48 Розташування волокон у шестерні при різних способах кування і штампування

При радіальному розташуванні в поковках волокна залишаються сприятливо розташованими в зубах шестерен і після нарізання останніх (рис. 4.48, г). Ще краще розташовуються волокна в зубах, одержаних штампуванням або накочуванням (рис. 4.48, д), а при штампуванні дрібних

шестерен від прутка на молотах з підкочуванням замість осаджування зуби шестерен виходять неоднакової міцності (рис. 4.48, е).

Щоб при виготовленні заготовок бандажів коліс, кілець підшипників кочення та інших подібних поковок одержати сприятливе для них тангенціальне розташування волокон (рис. 4.48, є), їх заготовки після осаджування і прошивання (рис.4.48, в) піддають роздаванню або розкочуванню. Використання розкочених поковок для виготовлення з них шестерен приводить до одержання зубів (після їх нарізання) низької якості (рис. 4.48, ж).

Для кожного виду штампувального обладнання (молоти, КГШП, ГKM, гідравлічні преси) характерні певні типи поковок. Якщо поковку можна виготовити різними способами, то вибір способу штампування залежить від матеріалу, розмірів і конфігурації поковки, типу виробництва, необхідної точності та собівартості наступного механічного оброблення. При цьому треба враховувати вартість штампувального обладнання і оснащення, його обслуговування, переналагоджування та ремонту. Одночасно треба враховувати продуктивність і точність поковки, які можна досягнути на даному обладнанні. Застосування обладнання з вищими параметрами точності збільшує витрати на його утримання і та експлуатацію.

Собівартість поковок значною мірою визначається групою складності та класом точності поковки, оскільки саме від них залежить складність і вартість виготовлення штампа. Більшу частину собівартості становлять витрати на метал. Угар, облой і кліщовина істотно підвищують масу вихідної заготовки. Частка витрат металу, пов'язана з ними, відносно збільшується зі зменшенням маси поковки та збільшення її складності.

4.5.9 Приклад вибору технології виробництва штампованої поковки

Необхідно обрати технологію виробництва штампованої заготовки для деталі, зображеної на рис. 3.24. Матеріал деталі – сталь 40X, маса – 10,1 кг, річне замовлення (програма випуску) – 5000 шт.

Орієнтовано розрахункову масу поковки 12,5 кг знаходимо за формулою 4.8. За таблицею 4.7 визначаємо тип виробництва: при масі 12,5 кг і замовленні 5000 шт. – крупносерійне виробництво. Це означає, що для штампування заготовки ми можемо орієнтуватися на високопродуктивне обладнання – КГШП або ГKM.

За зовнішньою конфігурацією: деталь – витягнуте вздовж осі тіло обертання, – поковку бажано розташувати у штампі так, щоб її вісь була горизонтальною і співпадала з площиною розніму штампа. У такому випадку висота штампа і глибина рівчаків будуть мінімальними, і тоді поковку можна відштампувати на КГШП.

Але деталь має *отвір* досить малого діаметра і великої довжини. Щоб отримати отвір (намітку отвору) на КГШП, вісь поковки повинна розташовуватися вертикально, вздовж напрямку руху повзуна преса. Це означає, що тоді матимемо значний напуск за рахунок кута нахилу вздовж поверхні $\varnothing 75$ мм. На деталі вона не вимагає оброблення різанням, але щоб готова деталь відповідала кресленню, її доведеться обробляти. На КГШП отвір $\varnothing 45$ мм можна намітити з двох боків на глибину не більше 30 мм з кожного боку, а приблизно 120 мм залишаються під оброблення різанням.

З іншого боку, зовнішня форма деталі: – стрижень з потовщенням на одному кінці – якнайкраще відповідає конфігурації поковок, які штампують на ГKM. Але тут виникає проблема з виготовленням отвору. Вихідною заготовкою на ГKM може бути і стрижень, і труба. Якщо використати стрижень, то намітка отвору буде лише однією. У зв'язку із значною довжиною отвору напевно треба буде планувати східчасту намітку. Якщо використати як вихідну заготовку трубу, її внутрішній діаметр повинен відповідати мінімальному діаметру деталі з урахуванням припусків на механічне оброблення. Тоді виникає потреба у товстостінній трубі, сортамент якої може бути непередбачений чинними стандартами.

На підставі аналізу всіх вищезазначених чинників для виробництва вилівка обираємо *штампування на ГKM з прутка*.

Згідно з ГОСТ 7505-89 (див.п.4.5.3) установлюємо конструктивні характеристики поковки: клас точності – Т4, група сталі – М2, ступінь складності – С3, поверхня розніму штампа – П.

За додатком 10 визначаємо вихідний індекс поковки: 16. З урахуванням вихідного індексу, розмірів і шорсткості на оброблювані поверхні деталі призначаємо основні (додаток 11) і додаткові (додатки 12 і 13) припуски: $\varnothing 215$ і $\varnothing 165 - (2,4+0,5)$ мм; $1 = 215 - (2,4+0,4)$ мм; $\varnothing 45 - (2,0+0,4)$ мм: $1 = 12 - (1,9+0,5)$ мм. На отвори $\varnothing 12$ мм призначаємо напуски.

Після визначення номінальних розмірів поковки за додатком 14 встановлюємо допуски і допустимі граничні відхилення на всі розміри поверхонь.

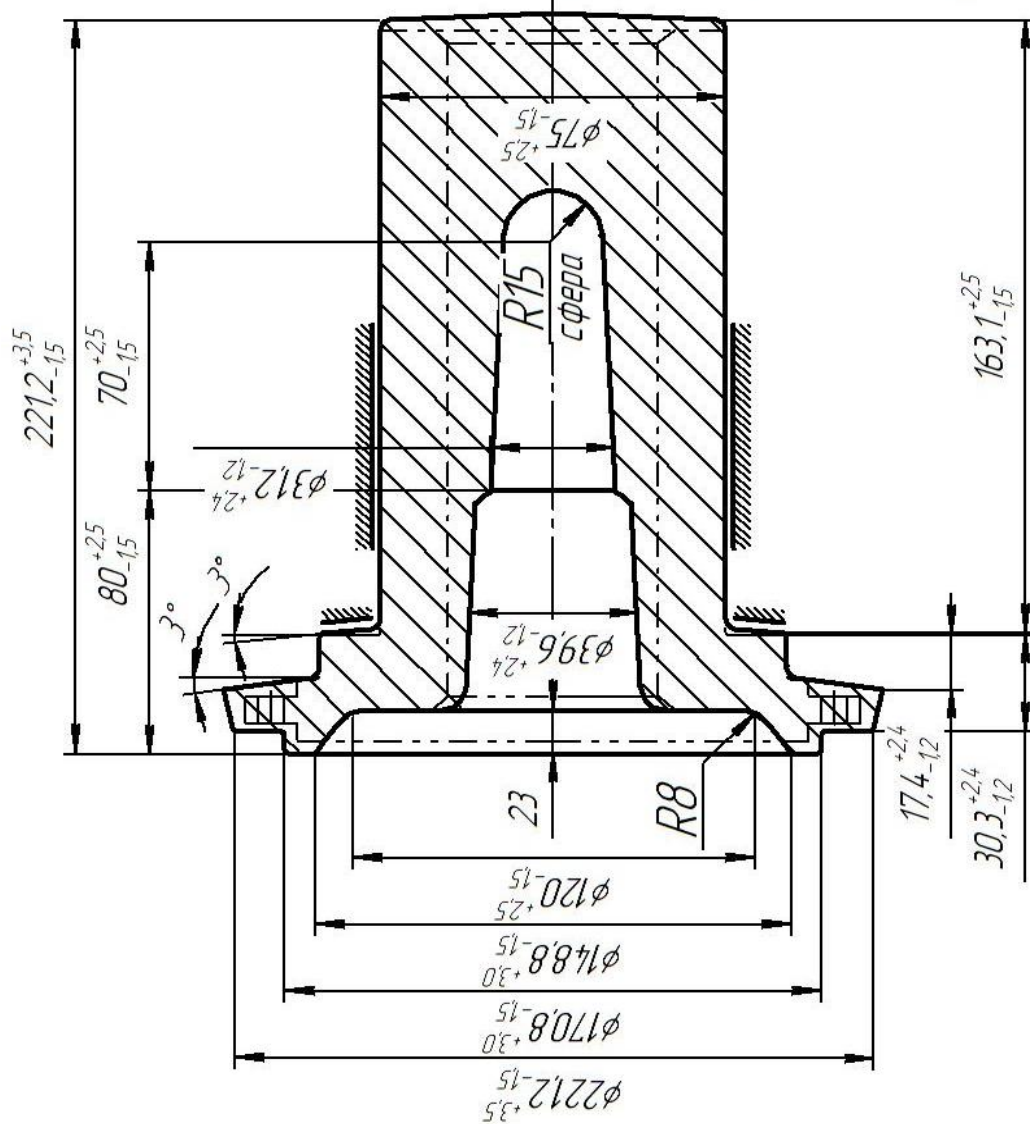
Нахили встановлюємо з урахуванням рекомендацій п. 4.5.4 і табл.4.9: для зовнішніх поверхонь, що формуються пуансоном – $15'$; для тих, що формуються матрицею – 3° .

Згідно з рекомендаціями табл. 4.10 і з урахуванням вимог креслення готової деталі встановлюємо радіуси заокруглень: зовнішніх – 2,5, внутрішніх – 5 мм. У зв'язку з великою глибиною центрального отвору проектуємо однобічну намітку східчастого глухого отвору з глибиною кожної сходинки $h \approx 2d_{\text{осн}}$. і нахилом порожнини 3° (формується пуансоном).

Одержані дані дозволяють оформити креслення (рис. 4.49). Фактична маса штампованої заготовки - 12,8 кг.

4.5.10 Вибір технологічного обладнання для штампування

Від правильного вибору штампувального обладнання залежать точність отриманих заготовок, продуктивність штампування, зношування штампів, витрати енергії та ін. Занижена маса частин молота, що падають, призводить до зменшення стійкості штампів і збільшення витрат на експлуатацію молота.



1. Невказані штампувальні нахили 15'
2. Невказані радіуси заокруглень:
внутрішні R5; зовнішні R2,5
3. Припустима задирка – до 7,5
4. Припустимий зсув по площині розрізу
не більше 1,2
5. Клас точності виготовлення – Т4; група
сталі – М2; ступінь складності – С3
6. За ГОСТ 7505-89

Рис. 4.49 Креслення штампованої заготовки деталі (рис. 3.24)

Маса частин, що падають, G , кг, штампувального молота визначається за номограмою, наведеною у довіднику [10], або за емпіричною формулою:

$$G = \alpha F_{\text{пок}} \gamma / nh, \quad (4.12)$$

де α – питома робота, яка витрачається на 1 м^2 поверхні поковки, Дж/м²; $F_{\text{пок}}$ – повна поверхня поковки, м²; n – число ударів молота при штампуванні у чистовому рівчаку; h – висота падіння баби молота, м; γ – відношення границі міцності сталі заготовки при температурі кінця штампування до тієї ж величини для сталі з $\sigma_{\text{в}} = 490 \text{ МПа}$.

Для розрахунків рекомендується приймати $n = 3 \dots 4$, $\alpha = 2,4 \text{ Дж/м}^2$ для сталі з $\sigma_{\text{в}} = 490 \text{ МПа}$ і $h = 1,5 \dots 1,8 \text{ м}$. При розрахунку маси частин, що падають, молота подвійної дії вплив верхньої пари враховують введенням у знаменник коефіцієнта, який дорівнюється 1,8. Для спрощення розрахунків використовують співвідношення між повною поверхнею поковки і площею її проекції: $F_{\text{пок}} \approx 2,3 F_{\text{пр}}$

Орієнтовні дані про необхідну масу частин, що падають, штампувального молота наведені у табл. 4.11.

Таблиця 4.11 Орієнтовна продуктивність і маса поковок у залежності від маси частин, що падають, штампувального молота

Маса частин, що падають, кг	Маса поковок, кг	Продуктивність, кг/год.
630	1	200
1000	1,00...1,25	300
2000	25...7,0	600
3150	7...17	1000
5000	20...40	1750
10000	70...100	3000
16000	180...360	5000

Необхідне зусилля пресування для вибору преса можна визначити за формулою 4.6 (див. п. 4.4.4) або використати наближене співвідношення між зусиллям преса P , МН, та масою частин молота, що падають, G , т:

$$P = (10 \dots 12) G. \quad (4.13)$$

Зусилля пресування на ГКМ, необхідне для штампування у відкритих штампах, визначається за наведеними вище співвідношеннями для пресів. У випадку штампування у закритих штампах зусилля пресування розраховується за формулами, наведеними у довіднику [10].

Орієнтовні дані про необхідне зусилля пресування КГШП наведені у табл. 4.12.

Таблиця 4.12 Орієнтовна продуктивність і маса поковок у залежності від зусилля пресування на КГШП

Маса поковки, кг	Зусилля преса, МН	Продуктивність, кг/год.
0,1...1,0	6,3	400
1,0...2,5	10	600
2,5...7,0	16	800
7...18	25	1100
18...30	40	1800
30...50	63	2800

4.5.11 Особливості холодного об'ємного штампування

Холодним називають штампування, яке здійснюється при температурі нижче температури рекристалізації матеріалу заготовки (див. п. 4.2).

Холодне об'ємне штампування – один з найпоширеніших способів виготовлення заготовок і деталей машин зі сталей та кольорових металів і сплавів. Він знайшов широке розповсюдження завдяки таким перевагам, як висока точність форми і розмірів, висока якість поверхні, низька трудомісткість, висока продуктивність праці, придатність для механізації та

автоматизації виробничих процесів, малий обсяг подальшого механічного оброблення, висока міцність і зносостійкість матеріалу.

Принципово процеси холодного об'ємного штампування подібні до процесів гарячого штампування. Але у порівнянні з гарячим об'ємним штампуванням холодне штампування має низку *переваг*: нема операції нагрівання металу, не треба видаляти окалину, нема знеуглецьовування поверхневого шару металу та ін.

Недоліками холодного штампування є потреба у більших зусиллях деформування металу, обмеження гранично допустимих деформацій та марок матеріалів, які штампуються у холодному стані.

Вихідними заготовками для штампування здебільшого служить сортовий прокат (дріт, прутки тощо). Точність розмірів заготовок, отриманих холодним штампуванням може досягати 6-го квалітету, а параметр шорсткості – $R_a = 0,32$ мкм.

Об'ємне штампування здійснюється на кривошипних або гідравлічних пресах. Операції холодного об'ємного штампування подібні до об'ємного калібрування, і вони виконуються звичайно на кривошипно-колінних пресах. Холодне висаджування здійснюється на холодновисаджувальних автоматах, подібних до горизонтально-кувальних машин. Вони забезпечують автоматичну подачу прутка, відрізання заготовки, переміщення її з рівчака до рівчака штампа.

Число ударів, необхідне, для висаджування головки болта або іншої деталі, визначають, виходячи з відношення довжини вільної частини вихідної заготовки (прутка) l до її діаметра d . За один удар без поздовжнього вигина заготовки можна висадити головку (стовщення) при відношенні l/d не більше 2,25; за два удари – при $l/d \leq 4,5$. У залежності від необхідного числа ударів застосовують одно-, дво-, три- і чотириударні холодновисаджувальні автомати.

Великий економічний ефект, який отримують при виготовленні кріпильних деталей, а також різного роду виробів східчастої форми зі

стовщеннями або буртами, сприяє широкому впровадженню у виробництво холодновисаджувальних автоматів.

Виготовлення заготовок великих розмірів (до 10 м) здійснюється високоенергетичними методами формоутворення за допомогою імпульсних навантажень [12], створюваних дією вибуху, високовольтним електричним розрядом у рідині або потужними імпульсами магнітного поля. Особливістю цих методів є висока швидкість деформування, короткочасність процесу штампування та значна потужність устаткування. Це дає змогу виготовляти заготовки навіть з малопластичних і крихких металів і сплавів.

4.5.12 Заготовки, які виготовляються холодним об'ємним штампуванням

Серед найпоширеніших методів холодного об'ємного штампування є холодне висаджування і витискання, формування, калібрування і карбування.

Холодним висаджуванням виготовляють гвинти, болти, шурупи, цвяхи, спиці тощо. Висаджування звичайно виконують за 1...5 переходів (ударів) залежно від складності заготовки. Висаджуванням також отримують великогабаритні заготовки довжиною до 300...400 мм на автоматичному та до 1800 мм на напівавтоматичному устаткуванні. Продуктивність висаджування може досягати 800 шт./хв.

Для холодного висаджування як вихідні заготовки використовують калібрований матеріал, переважно круглого перерізу з допусками за 8...11-м квалітетами. Найчастіше для цієї мети застосовують сталі марок від 08 до 45; інструментальні сталі У10А, У12А, леговані сталі І5Г, 20Г, 35Г2, І5Х, 20Х, 30Х, 35Х, 40Х, 40ХН, 15ХФ, 20ХФ, ШХ15; сплави кольорових металів: дюралюміній Д1, Д16, латунь ЛС59-1, мідь М1, М2 та ін.

Холодним витисканням виготовляють порожнисті тонкостінні та товстостінні деталі з виступами і без них, а також фасонні деталі: стакани, болти, клапани, поршневі пальці, гільзи, корпуси та оболонки для різноманітних радіо- та електричних приладів та ін. Профіль поперечного

перерізу деталей, що виготовляються, може бути круглим, квадратним, прямокутним та ін.

Об'ємне формування застосовують для виготовлення складних за формою заготовок з площею горизонтальної проекції до 5000 мм² і висотою до 25 мм. Об'ємне формування виконують у закритих і відкритих штампах з одним або декількома рівчачками.

Калібрування застосовується головним чином для виправлення форми і розмірів заготовок, отриманих гарячим штампуванням (див. п.4.5.7).

Карбування – це процес виготовлення точних і якісних виробів (наприклад, монет, орденів, дрібних деталей годинників) або нанесення рельєфу (рисуноків, написів) на поверхню заготовок чи готових виробів. Рельєф на поверхні деталі отримують за рахунок перерозподілу матеріалу під дією великих зусиль і заповнення робочих порожнин штампа.

Значне місце у виробництві заготовок у холодному стані займає наочування різей та інших профілей на поверхні тіл обертання. Таким чином отримують різеві поверхні на гвинтах, болтах, шпильках, шурупах; зубці на зубчастих колесах, шнеках, шліцевих валах, а також зміцнюють циліндричні та сферичні поверхні на роликах, кульках, валах, гільзах і т.п.

Контрольні запитання

- 1 Охарактеризуйте основні методи штампування заготовок.
- 2 У чому полягає різниця між заготовками, отриманими куванням і гарячим об'ємним штампуванням?
3. Які завершальні і обробні операції використовуються після виготовлення заготовок гарячим об'ємним штампуванням?
4. За якими ознаками класифікують штамповані заготовки?
5. Як проводиться формування штампованих заготовок? Яких технологічних вимог слід при цьому дотримуватись?
6. Наведіть порядок визначення припусків і допусків для штампованих заготовок.

7. Що треба враховувати при визначенні положення поверхні розніму штампа?

8. В яких випадках при формуванні поволок призначаються напуски?

9. Які особливості слід враховувати при формуванні заготовок, що виготовляються на горизонтально-кувальних машинах?

10. Які існують різновиди холодного об'ємного штампування? Укажіть на його переваги і недоліки та галузі застосування.

4.6 Виробництво заготовок листовим штампуванням

4.6.1 Особливості листового штампування

Листове штампування – це технологічний оброблення тиском заготовок з листового або фасонного прокату без обумовленого значного перерозподілу металу поперечного перерізу вихідної заготовки. У спеціальних штампах здійснюється повне або часткове відокремлення деталі від вихідної заготовки або зміна її просторової форми, але товщина заготовки при цьому не змінюється (рис. 4.50).

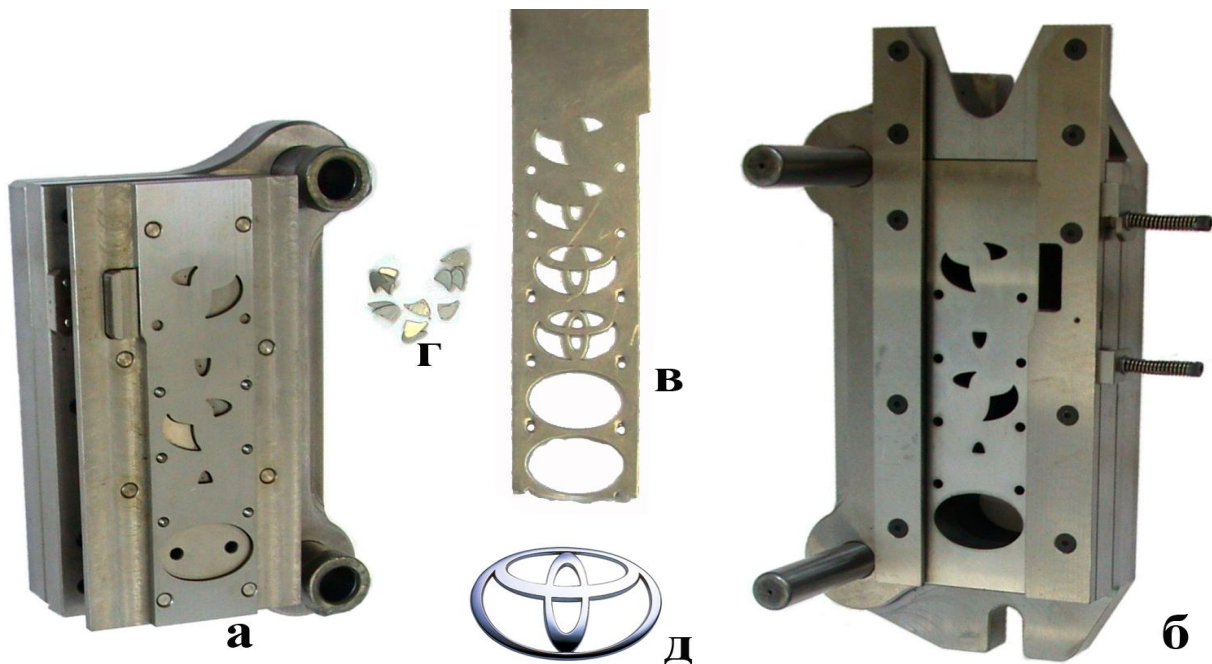


Рис. 4.50 Листовий штамп для виготовлення логотипу автомобіля Toyota: а – верхній штамп; б – нижній штамп; в – листова заготовка; г – відходи металу; д – виріб.

Листовим штампуванням виготовляють заготовки і дрібні деталі годинників і приладів; деталі середніх розмірів, металевий посуд, консервні банки, кришки, кронштейни, диски; крупні облицювальні елементи автомобілів, тракторів; заготовки та деталі літаків, вагонів, авіаційних двигунів; товстостінні заготовки деталей парових котлів і резервуарів, корпусів морських суден тощо.

Перевагами листового штампування є: можливість виготовлення міцних, легких і жорстких тонкостінних виробів простої та складної форми, які отримати іншими способами неможливо; висока продуктивність та економне використання металу; широкі можливості автоматизації та механізації виробничих процесів; взаємозамінність і висока чистота поверхні виробів. Заготовки, виготовлені холодним листовим штампуванням, майже не потребують наступного механічного оброблення.

Для виготовлення деталей листовим штампуванням застосовують різноманітні металеві і неметалеві матеріали. Метал для листового штампування випускається у вигляді листів, полос і стрічок. При виборі матеріалу для листового штампування необхідно враховувати його експлуатаційні властивості та здатність до пластичного деформування.

Заготовки деталей, які не несуть великих навантажень, виготовляють з якісної вуглецевої сталі 05, 08кп, 10кп, 15кп або сталі звичайної якості марок Ст1, Ст2, Ст3, Ст4 та ін. Відповідальні заготовки штампують з легованих конструкційних сталей 10Г2А, 12Г2А, 20ХГСА, 25ХГС та ін. З кольорових металів найбільше поширення знайшли мідь, алюміній, нікель, магній, титан та їхні сплави. У деяких галузях промисловості широке застосування знаходить дво- і тришаровий прокат з основою з вуглецевої сталі, плакованої міддю, оловом, цинком, свинцем, корозійностійкими сплавами, а також полімерними плівками.

З неметалевих сплавів найчастіше використовують гетинакс, текстоліт, вініпласт, оргскло, гуму та ін.

Операції листового штампування поділяються на розділювальні, формозмінювальні та штампоскладальні [26]. Розділювальні операції (напр., різання, пробивання, вирубування) призначені для повного або часткового відділення однієї частини металу від іншої. Формозмінювальні операції (напр., гнуття, відбортування, витягування) призначені лише для пластичної формозміни заготовки і до її руйнування не доводять. Штампоскладальні операції застосовують для об'єднання двох або декількох деталей в одну складальну одиницю (рис. 4. 51).

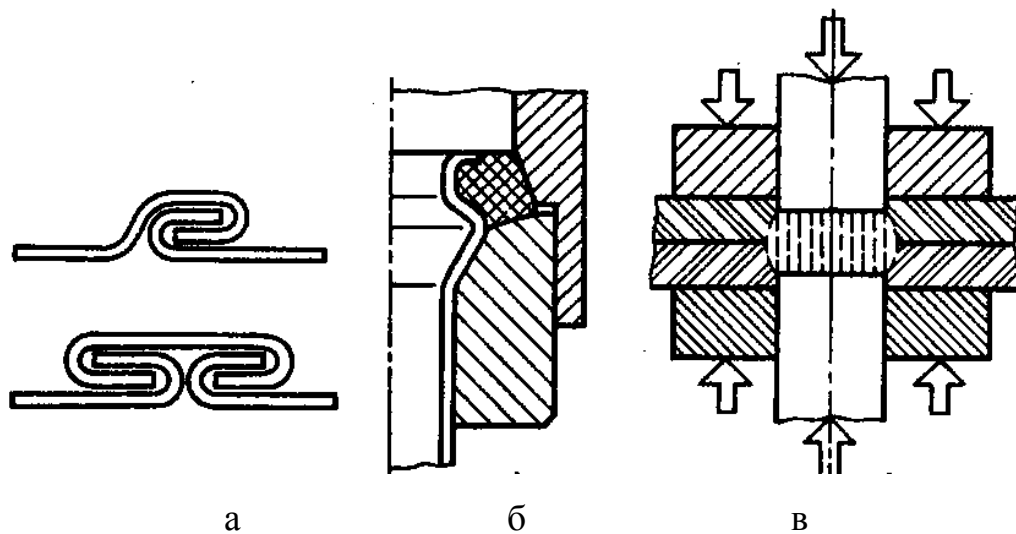


Рис. 4.51 Схеми штампоскладальних операцій, які виконуються:
а – гнуттям; б – роздаванням; в – холодним зварюванням

Як обладнання для листового штампування застосовують механічні та гідравлічні преси, молоти, ротаційні машини, автомати, різного роду ножиці, установки для штампування із застосуванням енергетичних імпульсів тощо. Найбільше застосування у штампувальних цехах знаходять універсальні та спеціальні механічні та гідравлічні преси і автомати.

4.6.2 Правила розкроювання листових заготовок

Типовою розділювальною операцією є вирубування – відокремлювання від вихідної заготовки частини матеріалу у вигляді заготовки або плоскої деталі по замкненому контуру. Для цієї операції важливу роль відіграє оптимізація розкроювання листового матеріалу.

Розкроювання – це відшукування найефективнішого розміщення заготовок (або плоских деталей) на листі (полосі, стрічці) відносно один одного і кромки прокату. Показником ефективності розкроювання служить коефіцієнт використання металу K_B . Враховуючи те, що товщина виробів при листовому штампуванні залишається незмінною і дорівнює товщині вихідного прокату, коефіцієнт використання металу розглядається як відношення площі всіх деталей, отриманих з листа, до площі листа:

$$K_B = fn/BL, \quad (4.14)$$

де f – площа вирубленої заготовки (деталі), m^2 ; n – кількість заготовок (деталей), отриманих з листа (полоси, стрічки); B – ширина листа (полоси, стрічки), m ; L – довжина листа (полоси, стрічки), m .

У виробництві використовують три способи розкроювання листового прокату: з відходами, маловідходне і безвідходне (рис. 4.52).

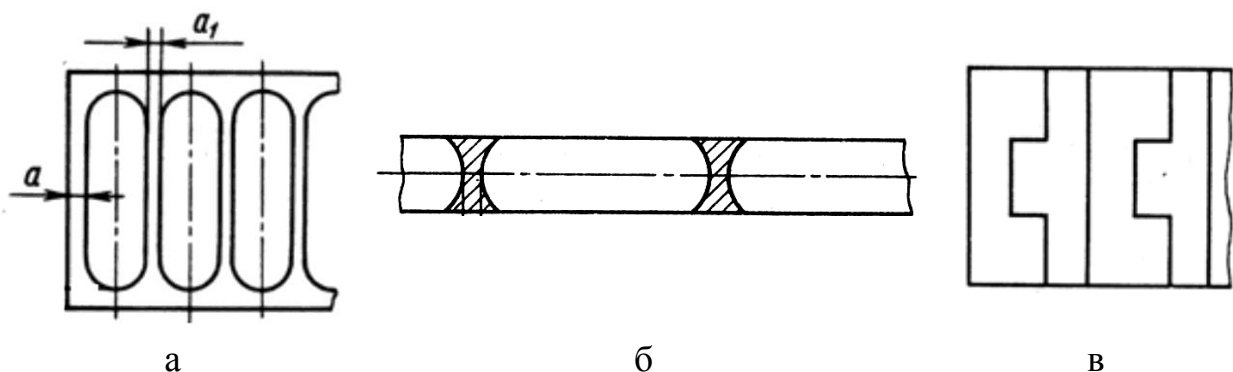


Рис. 4.52 Типи розкроювання:

а – з відходами; б – маловідходне; в – безвідходне

При розкроюванні з відходами між виробами, а також між виробами і кромкою листа (полоси, стрічки) залишаються *перемички*; останні називаються бічними. Ширина бічних перемичок a у 1,15...1,30 рази більше, ніж перемички між деталями a_1 (рис. 4.52, а).

Ширина перемичок впливає на K_B , точність розмірів вирублених виробів та стійкість пуансонів і матриць. Перемички повинні бути досить жорсткими. При малій жорсткості вони втрачають сталість і можуть бути

втягненими у зазор між пуансоном і матрицею, що призводить до зниження стійкості та навіть поламки штампа. Крім того, мала жорсткість перемичок знижує точність кроку штампування.

Величина перемичок залежить від товщини і твердості матеріалу розмірів і конфігурації виробу, типу розкроювання, способу подавання полоси, типу упора штампа та ін.

Залежно від форми і розмірів виробу застосовують різні *типи розкроювання* (пряме, зустрічне, похиле та ін.), наведені у [19].

Зменшення величини перемичок є дуже ефективним способом зменшення витрат матеріалу у відходи, які іноді досягають 40..50%. Зменшення перемичок може бути досягнуто різними способами, зокрема, за рахунок використання у штампі бічного притискача полоси.

Величини перемичок для основних видів вирубування у масовому виробництві наведені у табл. 4.13.

Таблиця 4.13 Найменші величини перемичок

Товщина матеріалу, мм	Ширина перемичок, мм		Товщина матеріалу, мм	Ширина перемичок, мм	
	a i b	a₁ i b₁		a i b	a₁ i b₁
0,3	1,4	2,3	3,5	2,2	3,2
0,5	1,0	1,8	4,0	2,5	3,5
1,0	1,2	2,0	5,0	3,0	4,0
1,5	1,4	2,2	6,0	3,5	4,5
2,0	1,6	2,5	7,0	4,0	5,0
2,5	1,8	2,8	8,0	4,5	5,5
3,0	2,0	3,0	9,0	5,0	6,0

Примітка. Перемички: **a** – між невеликими деталями простої форми; **a₁** – між крупними деталями або деталями складної форми; **b** – бічна при роботі з бічним притискачем; **b₁** – бічна при роботі без бічного притискача.

У дрібносерійному виробництві застосовують дослідно-графічний спосіб розкроювання. Для цього з картону вирізають 2...3 шаблони деталей,

які планується штампувати, і обирають їх взаємне розташування на місці таким чином, щоб відходи металу були найменшими. У масовому виробництві застосовують розрахунково-аналітичний метод, коли встановлений функціональний зв'язок між параметрами розкрюювання і коефіцієнтом K_v . При цьому використовується обчислювальна техніка, яка дозволяє з великої кількості варіантів обрати найекономічніший.

Маловідхідне розкрюювання (рис. 4.52, б) характеризується відсутністю бічних перемичок. При цьому ширина полоси повинна дорівнюватися ширині деталі. Коефіцієнт використання металу K_v при маловідходному розкрююванні вище, ніж при штампуванні з відходами.

Безвідхідне розкрюювання (рис. 4.52, в) застосовують при штампуванні деталей, контур яких сполучується один з одним. Коефіцієнт використання K_v у цьому випадку наближається до одиниці.

Проте відсутність бічних перемичок при маловідходному та безвідходному розкрююванні призводить до зниження стійкості інструмента, а з часом і до утворення торцевого заусенця на виробі.

4.6.3 Формування заготовки при листовому штампуванні

При формуванні заготовок з листового матеріалу найчастіше використовуються формозмінювальні операції гнуття, витягування і відбортування.

При використанні *операції гнуття* необхідно правильно визначити розміри заготовки, мінімальний радіус гнуття, кут пружинення матеріалу заготовки, умови гнуття (уздовж чи поперек волокон прокату, з калібруванням чи без калібрування).

Істотне значення при гнутті має розташування лінії гнуття відносно напрямку волокон металу. Оптимальний варіант – розташування лінії гнуття перпендикулярно до напрямку волокон. Іноді допускається кут між лінією гнуття і напрямком волокон зменшити до 45° . При менших кутах і малих радіусах гнуття можливе руйнування матеріалу.

Мінімально допустимий радіус гнуття залежить від пластичності та анізотропії матеріалу заготовки, її товщини, якості поверхні, стану кромки. Крім того, на величину мінімально допустимого радіуса технологічно впливає спосіб гнуття, кут вигину і ширина заготовки. Експериментально встановлені мінімальні відносні радіуси гнуття (відношення радіусу r до товщини листа S) для матеріалів, які найширше використовуються у машинобудуванні, наведені у таблиці 4.14.

Таблиця 4.14 Мінімальні відносні радіуси гнуття r/S

Матеріал	Розташування вигину відносно до напрямку волокон прокату	
	поперек	уздовж
Алюміній, мідь відпалена, латунь	0	0,3
Сталі 08...10, Ст1, Ст2	0	0,4
Сталі 35...40, Ст5	0,3	0,8
Сталі 55...60, Ст7	0,7	1,3
Корозійностійка сталь 12Х18Н9Т	1,0	2,0
Дуралюмін:		
- м'який	1,0	1,5
- твердий	2,0	3,0
Титанові сплави при нагріванні до 300...400 ⁰ С:		
- BT1	1,5	2,0
- BT5	3,0	4,0

Мінімально допустимі радіуси гнуття призначаються лише при крайній конструктивній необхідності. У решті випадків радіуси гнуття збільшують на 10...20% у порівнянні з мінімально допустимими.

Після зняття зусилля деформування зігнута заготовка пружно розвантажується. При цьому її розміри змінюються на величину кута пружинення β (рис. 4.53). Пружинення може бути у межах 4...12⁰.

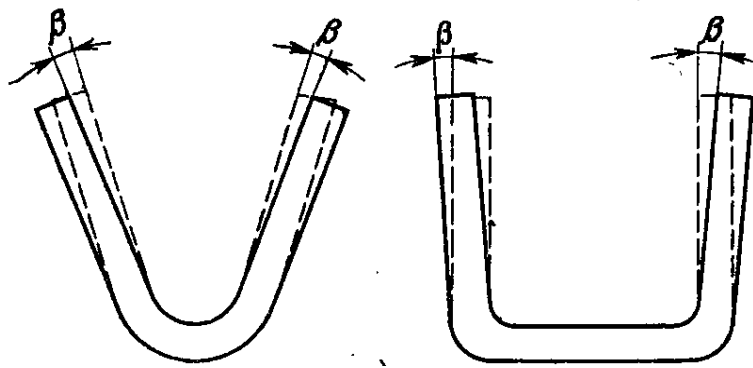


Рис. 4.53 Пружинення заготовки при гнутті

Для компенсації пружинення відповідно змінюють кути у пуансонів і матриць або виготовляють штамп з компенсатором. Наступне калібрування дозволяє отримати зігнуті заготовки 8...11-го квалітетів точності.

Витягування – утворення порожнистої заготовки з плоскої – характеризується коефіцієнтом витягування:

$$K_v = d/D_3, \quad (4.15)$$

де d – зовнішній діаметр витягнутої заготовки; D_3 – діаметр плоскої вихідної заготовки.

Напруження, які виникають у циліндричній частині заготовки, що витягується, вельми значні. Для попередження відривання дна глибоке витягування здійснюється за декілька переходів (рис. 4.54).

Витягування здійснюють з мінімальним числом переходів. Число переходів, необхідне для витягування заданої заготовки, залежить від загальної величини витягування та допустимого коефіцієнта витягування K_{vi} за один перехід. Величину K_{vi} обирають залежно від виду і властивостей матеріалу заготовки, її відносної товщини Δ ($\Delta = (S/D_3) \cdot 100\%$) і номера переходу. Для сталей 08, 10Г, 15, м'якої латуні, відпаленого алюмінію та інших аналогічних сплавів значення K_{vi} наведені у таблиці 4.15, де індекс при коефіцієнті витягування означає номер переходу при багатоопераційному витягуванні.

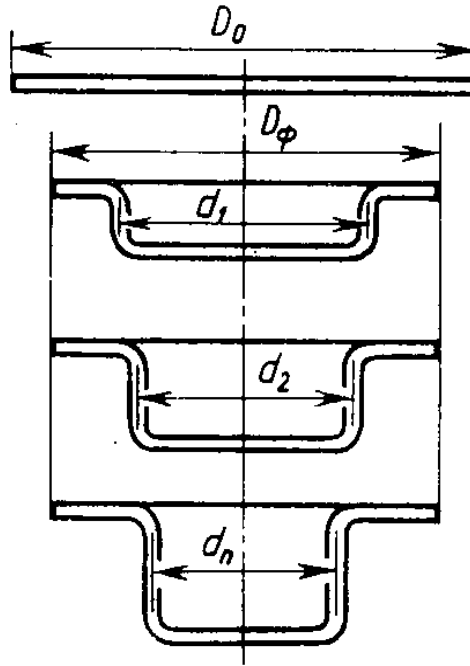


Рис. 4.54 Переходи витягування заготовок з широким фланцем: D_0 – діаметр вихідної заготовки; D_ϕ – діаметр фланця заготовки; $d_1, d_2 \dots d_n$ – діаметр циліндра на n -ному переході

Таблиця 4.15 Коефіцієнт витягування K_B циліндричних деталей

K_{B_i}	Значення K_{B_i} при відносній товщині заготовки Δ , %				
	2,00...1,50	1,50...1,00	1,00...0,50	0,50...0,20	0,20...0,06
K_{B_1}	0,46...0,50	0,50...0,5	0,53...0,56	0,56...0,58	0,58...0,60
K_{B_2}	0,70...0,72	0,72...0,74	0,74...0,76	0,76...0,78	0,78...0,80
K_{B_3}	0,72...0,74	0,74...0,76	0,76...0,78	0,78...0,80	0,80...0,82
K_{B_4}	0,74...0,76	0,76...0,78	0,78...0,80	0,80...0,82	0,82...0,84

Радіус заокруглення пуансона r_n впливає на зусилля при витягуванні, ступінь деформування, можливість утворення зморщок і т.п. Радіус заокруглення залежить від матеріалу заготовки. Для м'якої сталі радіус пуансона $r_n = (4 \dots 10)S$, для алюмінію і латуні – $r_n = (3 \dots 5)S$. При витягуванні у декілька переходів оптимальний радіус беруть більше, а для останнього – як для однопереходного витягування [19].

Витягуванням виготовляють як осесиметричні, так і коробчасті та асиметричні заготовки.

Відбортування – це операція отримання бортів по зовнішньому або внутрішньому контуру заготовки (рис. 4.55).

При відбортуванні в холодному стані відбувається зміцнення металу (наклеп) і зменшення товщини заготовки у зоні деформування (стоншення борту). Якісне виконання відбортування залежить від чистоти зрізу і стану кромки, що деформується (отвір отриманий пробиванням чи свердлінням; є наклеп чи проведено відпалювання). При наявності заусенців і наклепу по краю отвору неминуче утворюються тріщини або розриви. Ступінь деформування при відбортуванні визначається коефіцієнтом відбортування:

$$K_{\text{вб}} = d_0/D, \quad (4.16)$$

де d_0 – діаметр технологічного отвору, мм; D – діаметр горловини, мм.

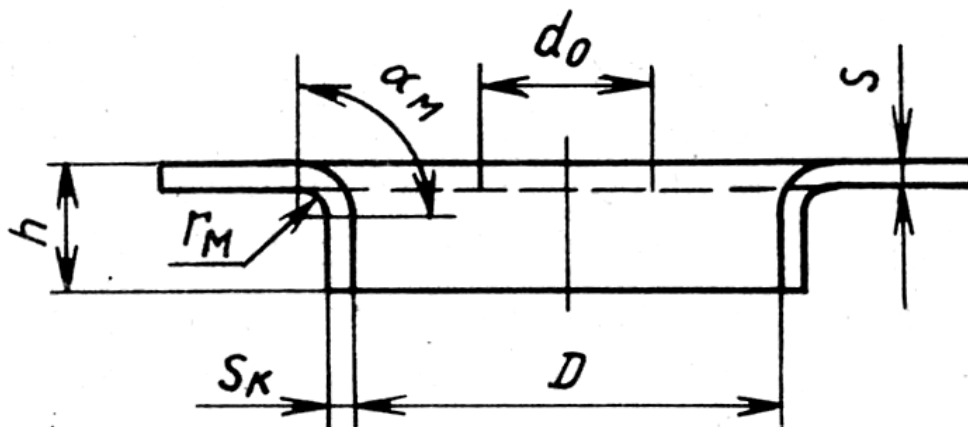


Рис. 4.55 Схема відбортування: D – діаметр горловини; d_0 – діаметр технологічного отвору; S – товщина вихідної заготовки; S_k – товщина борту; r_M – радіус заокруглення матриці; α_M – кут охоплення робочої кромки матриці; h – висота борту

$K_{\text{вб}}$ залежить від виду і властивостей матеріалу, радіуса заокруглення матриці та кута охоплення її кромки, а також від відносної товщини заготовки ($\delta = (S/d_0) \cdot 100$). Для сталі, яка містить 1% вуглецю, при $\delta = 3 \dots 9$ $K_{\text{вб}} = 0,60 \dots 0,45$, а при $\delta = 67 \dots 100$ $K_{\text{вб}} = 0,23 \dots 0,20$. Для інших матеріалів $K_{\text{вб}}$ визначається експериментально і наводиться у довідниках [19].

Звичайно висота борту h задається кресленням. Можливість досягнення її залежить від діаметрів технологічного отвору і горловини, радіуса заокруглення матриці, товщини заготовки.

Радіус заокруглення r_m при товщині вихідної заготовки до 2 мм рекомендується брати не менше $(2...3)S$, при товщині понад 2 мм – більше $(1,5...2,0)S$.

Як правило, висоту борту призначають не більше $0,3D$. Якщо потрібна висота борта більше максимально допустимої, то спочатку виконують витягування, а потім пробивають отвір у дні і відбортовують.

Відбортування краще проводити при великому зазорі між пуансоном і матрицею або при значно збільшеному радіусі заокруглення матриці. Таке відбортування характеризується великим радіусом заокруглення, але малою циліндричною частиною борту. Його застосовують для збільшення жорсткості конструкції при малій її масі (наприклад, при відбортовуванні великих отворів і вікон в авіаційних, транспортних і суднових конструкціях).

Відбортування з малим радіусом заокруглення матриці і великою циліндричною частиною борту застосовують лише при відбортовуванні невеликих отворів під різі, запресовування осей або коли треба мати циліндричні відбортовані отвори.

Відбортуванням можна отримати горловини не лише на плоских, але й на циліндричних пустотілих заготовках. Щоб горловина мала приблизно однакову висоту по всьому контуру, технологічний отвір повинен мати форму овала, більша вісь якого має розташовуватися вздовж осі симетрії циліндричної заготовки (рис. 4.56).

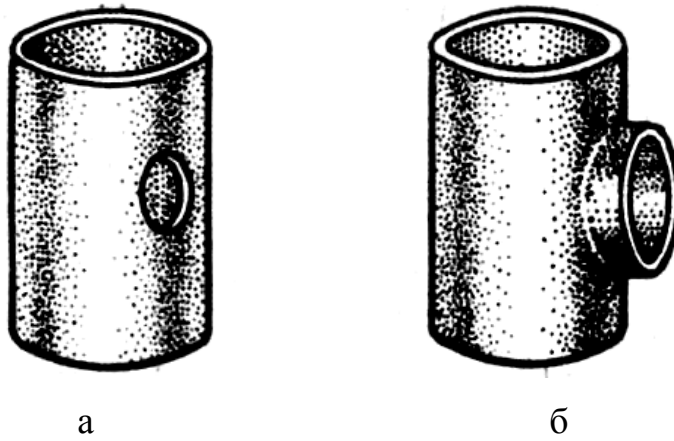


Рис. 4.56 Горловина на циліндричній пустотілій заготовці:
а – було; б – стало

Контрольні запитання

1. У чому суть листового штампування?
2. У якому стані найчастіше здійснюється листове штампування?
3. Назвіть основні види операцій листового штампування.
4. Що називається розкроюванням?
5. Які способи розкроювання використовуються найчастіше?
6. Які Ви знаєте розділювальні (формозмінювальні) операції листового штампування?
7. Як визначаються мінімальні радіуси заокруглення при гнутті (витягуванні, відбортовуванні)?
8. Чим характеризується ступінь деформування при витягуванні (відбортуванні)?

5. Виробництво зварних і комбінованих заготовок

5.1 Загальна характеристика зварювання

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

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

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

Сьогодні практично всі метали та їхні сплави, а також багато неметалевих матеріалів успішно зварюються. За допомогою зварювання отримують надійні та якісні з'єднання як однорідних, так і різнорідних матеріалів, а також з'єднання металів з неметалами.

5.2 Зварні та комбіновані заготовки та їх застосування у машинобудуванні

5.2.1 Класифікація зварних заготовок

Зварні заготовки складаються з окремих частин, виконаних різними способами (литтям, обробленням тиском, холодним штампуванням та ін.) з однакових або різних матеріалів. Зварні заготовки доцільно використовувати,

якщо виготовлення їх суцільними пов'язане з великими виробничими труднощами (відсутність обладнання, ускладнення механічного оброблення, великий відсоток браку та ін.), або якщо окремі частини готової деталі працюють в особливо важких умовах, що вимагає для їх виготовлення застосування дорогих і дефіцитних матеріалів.

Зварні конструкції заготовок класифікують за методом виготовлення вихідних заготовок (листові, листовозварні, кованозварні, штамповозварні), за цільовим призначенням (вагонні, суднові, авіаційні тощо), за товщиною зварюваних елементів (тонкостінні, товстостінні) або за матеріалами (сталеві, алюмінієві, титанові та ін.). Залежно від характерних особливостей роботи і конструктивних факторів виділяють такі типи конструкцій зварних елементів: балки, колони, оболонкові конструкції, корпусні транспортні конструкції і деталі машин та приладів.

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

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

До *корпусних транспортних конструкцій* відносять корпуси суден, вагонів, кузови автомобілів. Вони становлять просторову конструкцію з плоских або зігнутих листових елементів. Корпуси вагонів та суден мають ґратчасту основу, до якої кріпиться листова обшивка. Для цієї групи заготовок у широких масштабах застосовується автоматичне дугове і контактне зварювання. Велика кількість елементів, що перетинаються, ускладнює технологію зварювання. Зварювальні напруження, що виникають, технологічно не знімаються.

Деталі машин і приладів мають різноманітні форми і розміри. Це можуть бути станини, вали і колеса, корпуси приладів, тяги, шатуни та ін. Елементи зварних заготовок деталей машин виготовляються з різноманітних матеріалів при товщині від десятих часток міліметра до 100 мм і більше. Тому в різних випадках застосовують різні способи зварювання. Практично всі зварні заготовки деталей машин перед кінцевим механічним обробленням проходять термооброблення для зняття залишкових напружень. Якщо конструкція заготовки складається з елементів, одержуваних різними технологічними методами (литтям, куванням, штампуванням та ін.), то така заготовка називається комбінованою.

5.2.2 Види зварних і комбінованих заготовок

Зварні заготовки. Багато зварних заготовок виготовляють з листового прокату, фасонних і гнутих профілів, що забезпечує можливість одержання легких деталей підвищеної жорсткості і стійкості. До таких заготовок належать рами, станини, барабани, корпуси редукторів, зубчасті колеса (рис. 5.1), штанги, тяги (рис. 5.2), підшипникові опори різних систем (рис. 5.3) тощо. Всі вони виготовляються головним чином з листового прокату з підсиленням корпусів приварюванням ребер жорсткості.

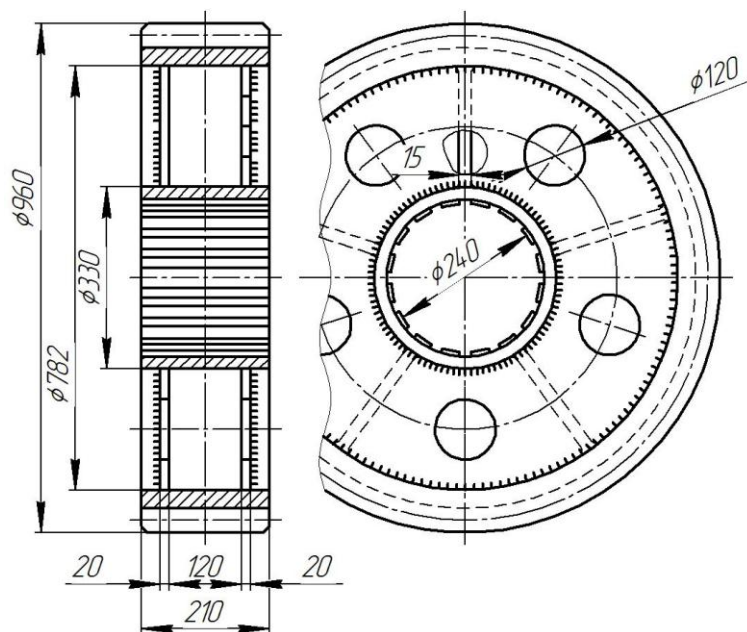


Рис. 5.1. Зварне зубчасте колесо

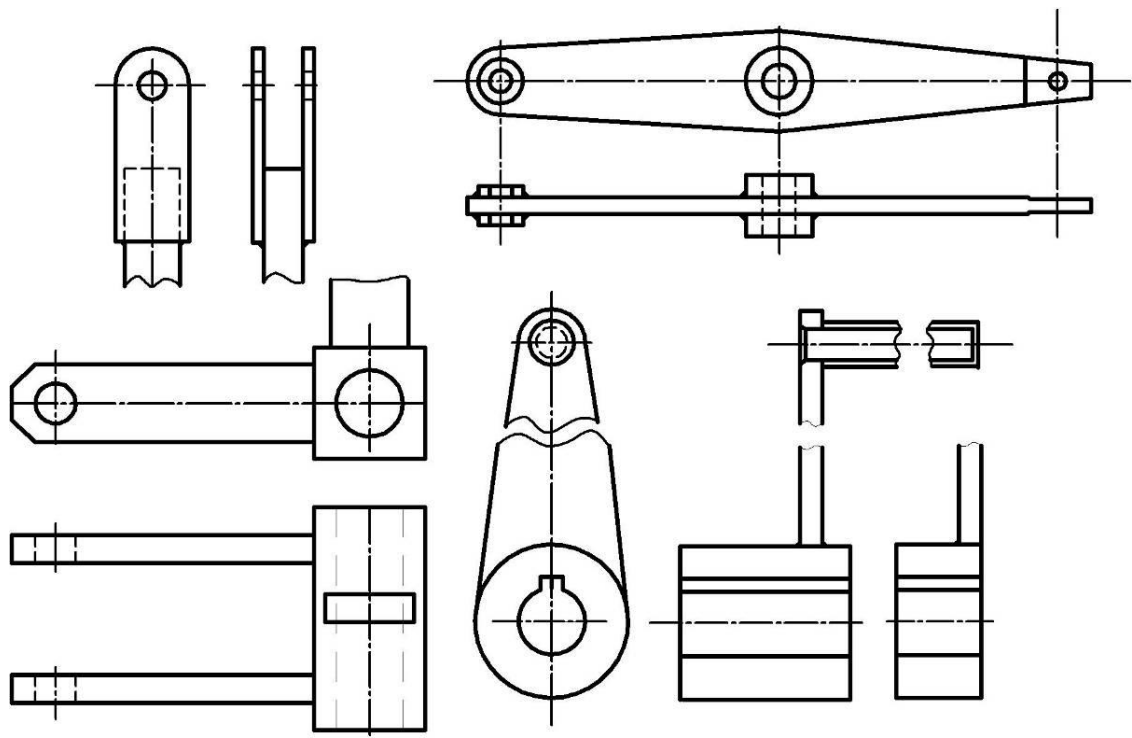


Рис. 5.2. Зварні тяги

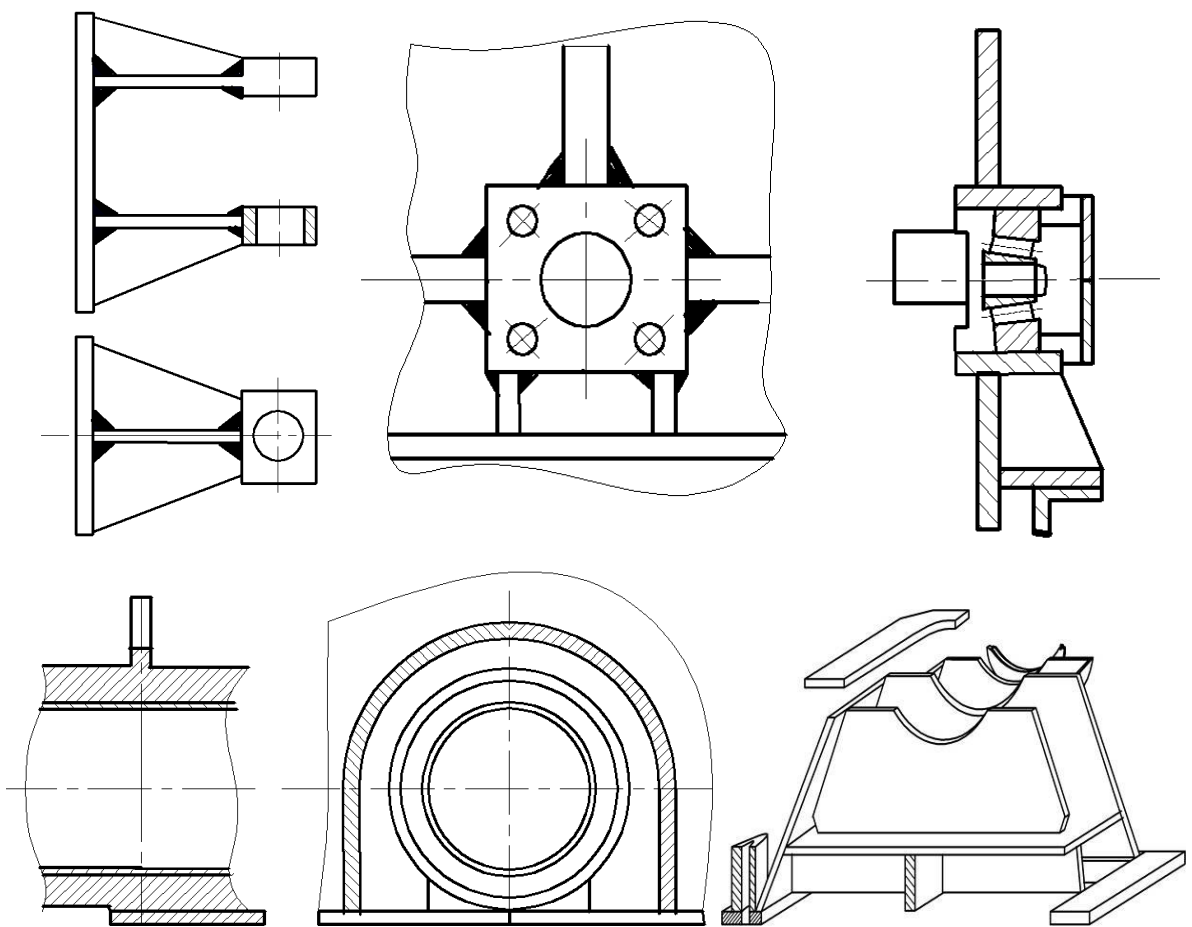


Рис. 5.3. Зварні підшипникові опори

У низці випадків застосування зварювання дає істотний економічний ефект і знижує трудомісткість механічного оброблення заготовки. Так, перехід з лиття за витоплюваними моделями на рельєфне зварювання при виготовленні вушок амортизаторів автомобілів і мотоциклів (рис. 5.4) зменшив витрату металу на 35%, а трудомісткість – на 90%.

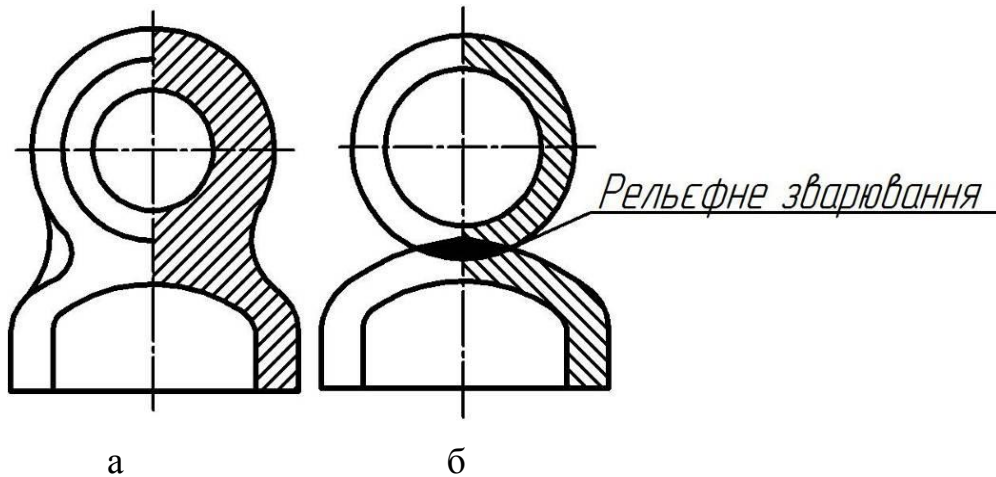


Рис. 5.4. Провушина амортизатора:
а – лита; б – зварна

Прикладом використання зварювання для підвищення технологічності конструктивного рішення може служити піввісь трактора (рис. 5.5). Якщо піввісь поділити на дві частини, то внутрішні шліці можна легко обробити протягуванням. Для виготовлення заготовок таких півосей використовують зварювання тертям на спеціальній машині.



Рис. 5.5. Піввісь трактора

Економічна доцільність використання зварних заготовок та конструкцій зростає зі збільшенням їхньої маси та габаритних розмірів.

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

Зварно-литі заготовки виготовляють при виробництві станин пресів, прокатних станів, верстатів, корпусів редукторів, картерів тепловозних двигунів, товстостінних посудин, різних деталей вагонів тощо. Розділення крупногабаритних суцільнолитих заготовок дозволяє використати точніші способи лиття (кокільне, під тиском), застосування яких різко знижує обсяг механічного оброблення. При наявності в деталі стінок товщиною понад 30 мм, що сполучуються зі стінками малої товщини або з елементами, які мають складний профіль, застосовують зварно-литу заготовку. При сполученні стінок товщиною до 30 мм зі складними фасонними профілями змінного перерізу застосовують зварно-штампо-литі заготовки.

Залежно від розмірів поперечного перерізу, типу зварного шва і матеріалу заготовки зварювання її елементів виконують різними видами дугового, контактного або електрошлакового зварювання.

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

У табл. 5.1 наведено марки сталей, які найчастіше використовуються для зварно-литих заготовок, а також області їх застосування.

Штампо-зварні заготовки (рами, кожухи, ободи, шківни, ємності та ін.) виготовляють з листового матеріалу. Вони дозволяють замінити литі або

штамповані заготовки, які потребують у подальшому досить дорогого механічного оброблення. Конструкція штампо-зварної заготовки повинна одночасно відповідати умовам технологічності і листового штампування, і зварювання.

Таблиця 5.1 Марки сталей та області їх застосування для зварно-литих заготовок

Марка	Область застосування зварно-литих деталей	Температура та стійкість при експлуатації
20Л, 25Л, 30Л, 35Л (вміст сірки та фосфору до 0,05%)	Енергомашинобудування (циліндри, клапани, арматура трубопроводів, деталі турбомашин, конструкції з великим обсягом зварювальних робіт)	450°C
20 ГСЛ, 25ГСЛ	Загальне та енергомашинобудування (литі деталі машин підвищеної міцності, лопаті та вали гідротурбін)	100°C
<u>20ХМЛ</u> 20ХМФЛ	Парові та газові турбіни (циліндри, арматура та ін.)	500°C, 510...540°C
15ХМФЛ	Енергомашинобудування (циліндри, парові та соплові коробки та ін.)	565...580°C
20Х13НЛ, 10Х12НДЛ	Деталі гідротурбін, які працюють в умовах кавітації, лопаті робочих коліс	Стійкість проти кавітаційного зношування
10Х18НЗГЗД2Л	Деталі енергомашинобудування, які працюють при звичайних температурах в умовах кавітаційного та ерозійного зношування (робочі колеса та інші деталі крупних гідротурбін)	Стійкість проти кавітаційного та ерозійного зношування
10Х20Н12ТЛ	Деталі енергетичних та інших установок (деталі арматури та турбін)	600°C

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

Виготовлення крупних суцільнокованих деталей звичайно пов'язане з великими відходами матеріалу, значною неоднорідністю властивостей металу за перерізом поковки, використанням унікального обладнання. Застосування зварної заготовки з окремих поковок приводить до значного зниження трудових, матеріальних і енергетичних витрат і підвищення якості деталей. Проте на відміну від лиття точність і форма поковок обмежуються можливостями обладнання і інструментів, що застосовуються. У таких випадках перед зварюванням звичайно потрібне значне механічне оброблення.

Прикладами конструкцій, виготовлених зварюванням з поковок, є різноманітні зварні вали (рис. 5.6).

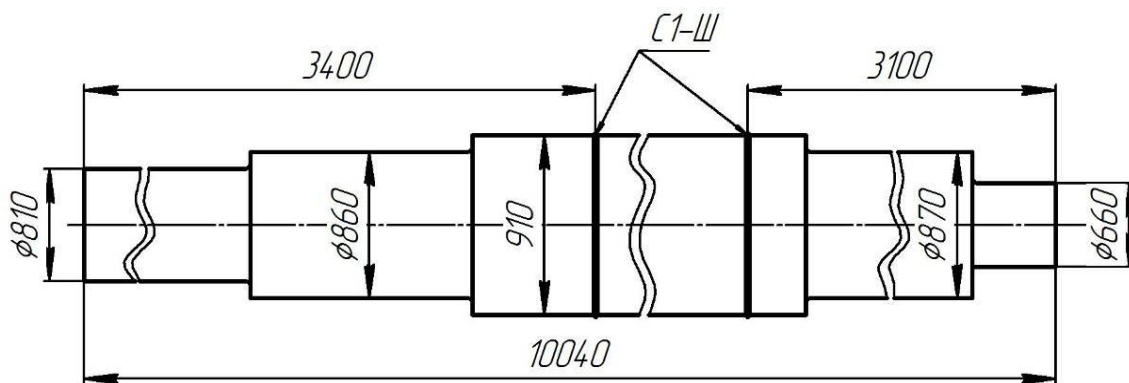


Рис. 5.6. Зварний вал шахтної підіймальної машини

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

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

Наприклад, при виготовленні шокової дробарки маса литої станини становила 115 т. Перехід до зварної конструкції дозволив знизити масу на 26,5 т і скоротити строк виготовлення з 6 до 3 місяців. Перехід від литої до зварно-ковано-литої конструкції рами екскаватора знизив масу на 32%, а трудомісткість виготовлення – з 300 до 147 годин.

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

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

Ефективним напрямком є використання в різних частинах зварних конструкцій різнорідних матеріалів, які найповніше відповідають вимогам експлуатації, застосування двошарового прокату зі спеціальними властивостями облицювального шару та інших сполучень. Прикладом може бути ротор газової турбіни. По ободу диск ротора піддається дії високих температур і порівняно невеликих зусиль, а центральна частина працює в умовах невисоких температур при великих зусиллях. Підібрати матеріал, який однаково добре працює в таких різних умовах, дуже важко. Тому доцільно виготовити зварний ротор: центральну частину з високоміцної сталі перлітного класу, а обід – з жароміцної аустенітної сталі (рис. 5.7).

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

Техніко-економічне порівняння варіантів виготовлення суцільних литих або штампованих заготовок, з одного боку, і зварно-литих або зварно-

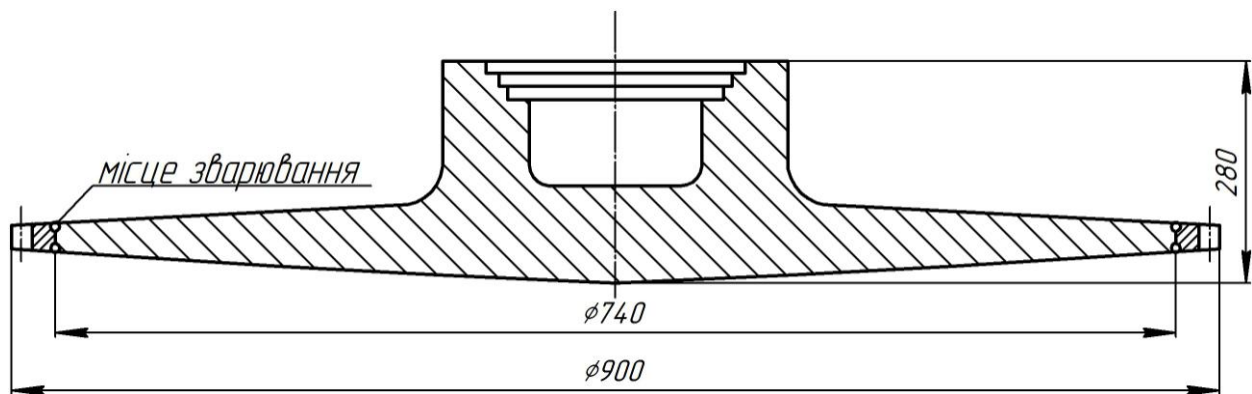


Рис. 5.7. Зварний ротор газової турбіни

штампованих, з іншого, проводиться за зменшенням (або збільшенням) маси заготовки; витратами на виготовлення модельного оснащення, штампів та інших пристроїв; часом циклу підготовки і освоєння виробництва; собівартістю виготовлення заготовки.

При оцінці різних варіантів у кожному конкретному випадку слід враховувати особливості даної конструкції, технологічні властивості матеріалу, тип виробництва, потрібну точність виготовлення та інші фактори. Як приклад розглянемо три варіанти виготовлення заготовки шестерні великого розміру (рис 5.8).

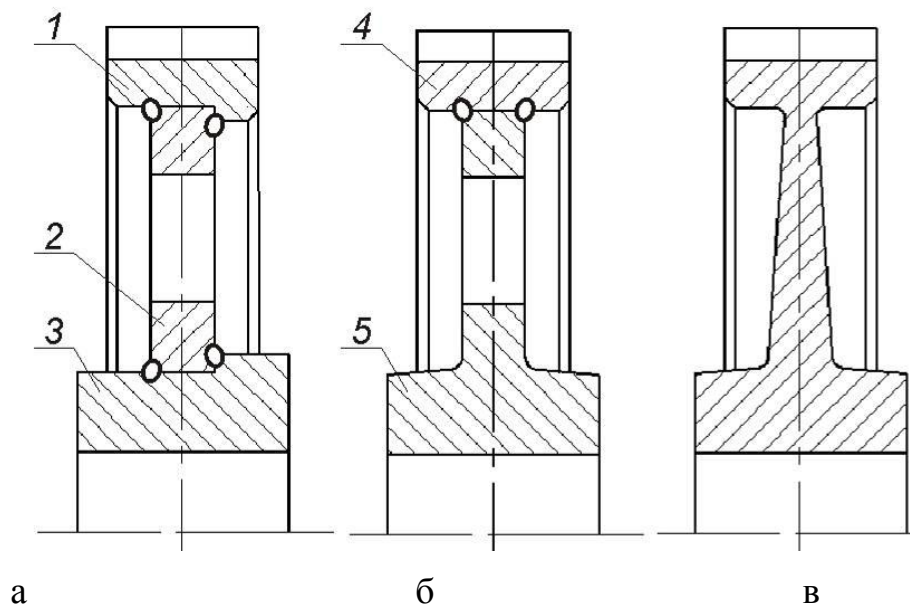


Рис. 5.8. Конструктивні варіанти заготовки шестерні:
 а – зварно-кований: 1 – обід кований; 2 – ребро з листового прокату; 3 – маточина з товстостінної труби;
 б – зварно-литий: 4 – обід катаний; 5 – маточина лита; в – литий

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

$$N = \frac{B_o}{C_k - C_c}, \quad (5.1)$$

де B_o – вартість оснащення, необхідного для виготовлення суцільної заготовки (модельного комплекту, штампів та ін. пристроїв); C_k – собівартість однієї комбінованої заготовки; C_c – собівартість однієї суцільної заготовки.

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

Найраціональніший технологічний процес виробництва зварної заготовки треба обирати на основі аналізу декількох можливих варіантів її виготовлення, при оцінюванні яких необхідно звертати увагу як на технічний, так і на економічний бік технології, інакше обраний технологічний процес може виявитися неоптимальним.

5.3 Технологічні особливості основних способів зварювання

Спосіб зварювання та вид зварного шва добирають залежно від матеріалів складових частин заготовки, їх конфігурації та розмірів, зварності матеріалів, експлуатаційних вимог до якості заготовки (міцності, точності

форми та розмірів, герметичності, шорсткості поверхонь, стану поверхневих шарів тощо) та необхідної продуктивності праці. Рекомендації щодо застосування різних способів зварювання та їх суть розглядаються в курсах «Технологія конструкційних матеріалів», «Технологія виробництва та оброблення матеріалів». Наприклад, для виконання довгих зварних швів придатне дугове зварювання, товстостінні елементи з'єднують електрошлаковим, а листові, стрічкові та пруткові заготовки – контактним зварюванням.

Зупинимось на характерних особливостях технології і економіки найпоширеніших і перспективних способів зварювання.

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

Контактне зварювання (стикове, точкове, шовне) відзначається високою продуктивністю і економічністю. Ним добре зварюються вуглецеві, низьколеговані і деякі корозійностійкі сталі, а також алюміній, титан та їх сплави.

При стиковому зварюванні заготовки зварюються по всій поверхні їх дотику. Можна зварювати сталеві стрижні, рейки, прутки, труби, прокат перерізом до 10000 мм², а також прутки, труби, прокат, поковки з кольорових

металів перерізом до 4000 мм². Точковим зварюванням з'єднують листові заготовки внапусток в окремих місцях (точками). Цим способом зварюють заготовки (листи, прутки, швелери, кутики тощо) однакової чи різної товщини від сотих часток міліметра до 12 мм. Шовним зварюванням зварюють внапусток листові заготовки безперервним щільноміцним швом (кузов автомобіля, герметичні ємності тощо).

Зварювання тертям замість контактної зменшує у 2...4 рази припуски на оброблення і у 1,5...2 рази брак. При застосуванні зварювання тертям одержують істотну економію матеріалів. Так, гладкі і різеві калібри (пробки) раніше виготовлялись з дорогої сталі ШХ15 методом кування за кілька переходів (рис. 5.9, а). Після впровадження зварювання тертям хвостовик зі сталі 45 приварюється до робочої частини зі сталі ШХ15 (рис. 5.9, б).

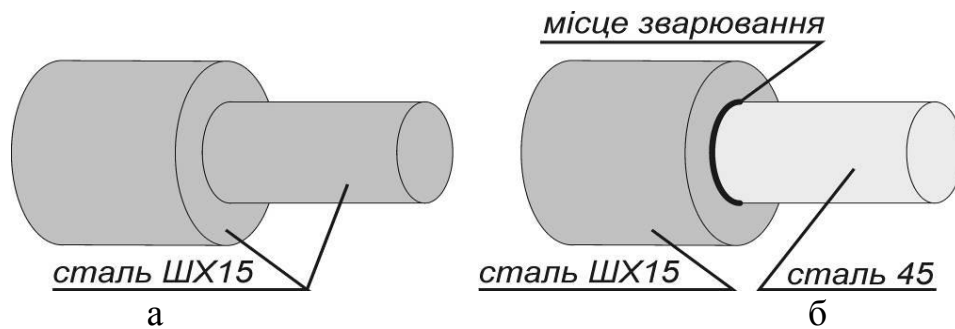


Рис. 5.9. Виготовлення калібр-пробки:

а – за звичайною технологією; б – із застосуванням зварювання тертям

Валики центрів точилися з прутка з інструментальної сталі (рис. 5.10, а). Впровадження зварювання тертям (рис. 5.10, б) збільшило кількість операцій – відрізання від двох прутків і зварювання, але в цілому скоротило витрати робочого часу і значно – інструментальної сталі.

Виготовлення штампо-зварних заготовок клапанів двигунів внутрішнього згоряння дозволило різко скоротити витрати жароміцної сталі і спростити гаряче штампування (рис. 5.11).

Електрошлакове зварювання при виробництві товстостінних (до 1 м і більше) зварних конструкцій у важкому машинобудуванні забезпечує високу



Рис. 5.10 Обертіві центри:
а – за звичайною технологією; б – із застосуванням зварювання тертям

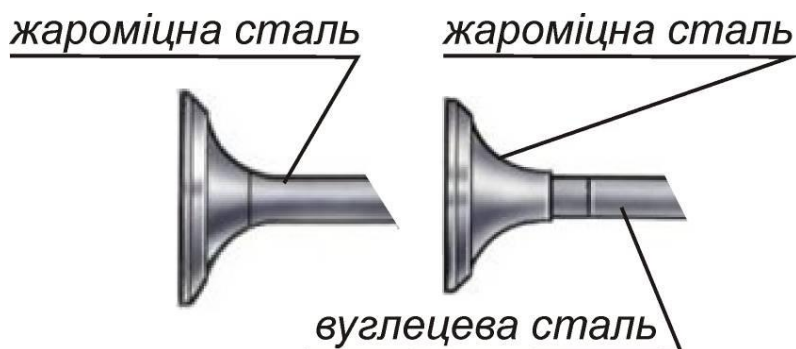


Рис. 5.11. Виготовлення клапана ДВЗ:
а – за звичайною технологією; б – із застосуванням зварювання тертям

економічну ефективність: зняття продукції з 1 м^2 виробничої площі збільшується у 2 рази, цикл виробництва зменшується у 1,5...2 рази, економиться метал, знижуються витрати електроенергії у 1,5...2 рази, а флюсу – у 20...40 разів, відпадає необхідність у попередньому розкритті крайок, знижується собівартість.

Електронно-променеве зварювання дозволяє одержати зварні заготовки з остаточно оброблених складових елементів без їх істотного деформування (наприклад, блоки зубчастих коліс замість крупних поковок). Електронно-променеве зварювання гарантує високу якість зварного з'єднання деталей з тугоплавких металів, жароміцних, жаростійких та інших матеріалів зі швидкістю, яка не поступається дуговому зварюванню.

Дифузійне зварювання дозволяє поєднувати різномірні матеріали, зварювати деталі різної товщини; забезпечувати рівномірність основного

металу і зварного з'єднання. У процесі зварювання виключається несприятливий вплив металургійних та низки термічних факторів. Дифузійне зварювання застосовується при виготовленні різців, магнітів, мікрометрів з п'ятою з твердих сплавів, дисків газових турбін.

При виготовленні заготовок обмежено застосовують також газове, плазмове, ультразвукове, лазерне та інші види зварювання.

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

У виробках складної геометричної форми (телескопічні з'єднання трубчастих елементів, сотові конструкції та ін.), при виготовленні яких накладання зварних швів виявилось би утрудненим, доцільно застосовувати паяння. На цей час паяння поруч зі зварюванням завойовує все міцніші позиції у створенні різноманітних виробів від дзеркал гігантських радіотелескопів, силових конструкцій в автомобіле- та суднобудуванні до тонкоплівкових мікросхем у радіоелектроніці.

Паянням називають технологічний процес з'єднання матеріалів у твердому стані за допомогою металу-посередника (припою), який розплавляється, змочує поверхні, що з'єднуються, затікає у зазор між ними і при кристалізації утворює паяний шов. При змочуванні відбувається часткове розчинення основного металу у припої та їхня взаємна дифузія.

Внаслідок цього між основним металом і припоєм встановлюється міжатомний зв'язок. Особливості процесів деяких різновидів паяння наближають їх до зварювання, тому іноді важко провести межу між паянням та зварюванням.

Найважливішим елементом технології паяння є припої. Припої розрізняють за їх металевими основами – олов'яні, кадмієві, цинкові, алюмінієві, мідні, нікелеві тощо; за легувальними елементами – срібні, золоті, паладієві, індієві, галієві тощо; за технологічними особливостями – металеві, самофлюсувальні, металокерамічні тощо; за спеціальними властивостями – теплостійкі, жароміцні, кислотостійкі та ін. Проте найважливішою характеристикою припою є інтервал температур його кристалізації. За температурою плавлення припої поділяються на особолегкоплавкі, легкоплавкі, середньоплавкі, високоплавкі та тугоплавкі (табл. 5.2).

Перевагою паяння перед зварюванням є відсутність розплавлення та незначне нагрівання металу основних деталей, що забезпечує незмінність його хімічного складу, структури та механічних властивостей. Паяння у багатьох випадках дає чисті з'єднання з гарним зовнішнім виглядом, які не вимагають наступного механічного оброблення. Дуже часто паяння виявляється дешевшим, ніж зварювання і добре піддається автоматизації.

Головним *недоліком* паяння є те, що міцність паяного з'єднання залежить лише від міцності припою, а не матеріалу деталей, що з'єднуються.

Паяння знаходить широке застосування у виробництві автомобілів, тракторів, велосипедів, корабельних силових установок, різноманітних виробів радіоелектронної промисловості тощо.

5.4 Формування зварної заготовки

Формування зварних заготовок проводиться з урахуванням забезпечення міцності (зокрема, втомної міцності, опору крихкому

руйнуванню) і технологічності зварного з'єднання. На стадії проектування необхідно також продумати послідовність складально - зварювальних

Таблиця 5.2 Класифікація припоїв за температурою плавлення

Група	Температура плавлення, °С	Метали, які становлять основу припоїв	Найпоширеніші марки припоїв	Галузь застосування
Особливо-легкоплавкі	до 145	Вісмут, олово, галій, індій, кадмій, цинк	ПОСК 50, ПОВС 50, ПСр3И, ПГМ	Вторинне паяння деяких електротехнічних приладів, скла; паяння напівпровідникових приладів, чутливих до перегрівання
Легкоплавкі	понад 145 до 450	Олово, свинець, кадмій, цинк, срібло	ПОС 90, ПОС 61, ПОС 50, ПОС 40, ПОС 18, ПСр3, К 3, П425А	Паяння харчового посуду, хімічної апаратури, електротехнічних виробів, радіомонтаж
Середньо-плавкі	Понад 450 до 1100	Мідь, срібло, нікель, магній, золото	ПСр92, ПСр72, ПСр50, МФ1, МФ2, МФ3, Л62, Л68, ВПр2, ВПр4, ЗЛСРМ	Паяння вакуумних приладів; силових конструкцій зі сталі та мідних сплавів; ажурних конструкцій з жаростійких та нержавіючих сталей; титанових сплавів; ювелірних виробів
Високоплавкі	понад 1100 до 1850	Молібден, нікель, кремній	СМ 50, СМ 52, СМ 53	Паяння нержавіючих сталей, німоників, молібдену, вольфраму, металокераміки
Тугоплавкі	понад 1850	Сплави тугоплавких металів		Паяння деталей з тугоплавких металів

операцій, оцінити очікувані зварювальні деформації (жолоблення) і точність розмірів та конфігурації заготовки після механічного оброблення. Всі зміни, пов'язані з цими питаннями, повинні бути узгоджені з конструктором.

Таким чином, на першому етапі на підставі креслення готової деталі робиться загальний аналіз її конструкції, матеріалу, технологічності і оцінюється можливість одержання заготовки зварюванням. Після цього обирають оптимальний спосіб зварювання.

Вибір *способу зварювання* визначається конструкцією деталі в зоні зварювання, її габаритами, ступенем відповідальності зварного з'єднання і технологічними можливостями процесу зварювання (п. 5.3). Одночасно з вибором способу зварювання визначають тип зварного з'єднання.

Потім провадиться *розбивання заготовки на частини, що зварюються*. Вибір місця поділу заготовки робиться з урахуванням двох точок зору. З одного боку, в результаті розподілу повинні утворюватися елементи (вихідні заготовки), технологічні для виготовлення литтям або обробленням тиском. З іншого боку, зона зварювання повинна бути зручною для обраного способу зварювання (доступною для зварювального інструменту, присадкових матеріалів та ін.) і забезпечувати проварювання зварного з'єднання на всю глибину. Особливу увагу при виборі місця зварювання слід приділяти розташуванню зварних швів поза зоною дії значних зовнішніх навантажень.

На основі конструктивних розмірів зони зварювання і способу зварювання, призначають *тип зварного шва*: для ручного дугового зварювання – за ГОСТ 5264-80; для автоматичного зварювання під флюсом – за ГОСТ 8713-79, для електрошлакового зварювання – за ГОСТ 15164-78; для контактного зварювання – за ГОСТ 15878-79. Конструктивні елементи зварних швів наведені також у довідниках. Типи зварних з'єднань, указані в стандартах, можуть зберігатися і для інших методів зварювання, для яких стандарти ще не розроблені, наприклад, для лазерного або електронно-променевого зварювання. Але в цьому випадку конструктивні елементи крайок, форма і розміри зварних швів і допуски на них повинні бути

скоригованими з урахуванням технологічних особливостей цих способів зварювання.

Формування зварюваних частин робиться на наступному етапі. Якщо вихідною заготовкою є виливок або поковка, то її проектування робиться відповідно до вказівок 3-ї і 4-ї глав. Якщо вихідна заготовка – прокат, то проектування зводиться до вибору його оптимальних розмірів і визначення розкриття крайок відповідно до обраного типу зварного шва. При необхідності на вихідних заготовках передбачаються складальні і фіксувальні елементи, а також припуски для механічного оброблення після зварювання.

У зв'язку з жорстким зв'язком між міцністю зварної конструкції, формою зварного з'єднання і технологією зварювання розроблення конструкції заготовки повинно вестись одночасно з пророблянням технології її виготовлення.

Креслення зварної заготовки виконується відповідно до прийнятих правил. На кресленні заготовку подають у такому вигляді, в якому вона повинна бути після зварювання (рис. 5.12). Креслення повинне містити: зображення заготовки з проекціями, перерізами і розрізами у кількості, необхідній для розуміння конструкції; габаритні, установні і приєднувальні розміри; номери позицій складових частин; дані про матеріал заготовки тощо. Всі зварні шви повинні мати умовні позначення відповідно до вимог ГОСТ 2.312-72.

У технічних умовах креслення вказуються вимоги до якості матеріалу або відомості про його замітник; зварювальні матеріали (якщо це необхідно); контрольні операції. Додатково можуть зазначатися допустимі дефекти, підстави для бракування, способи виправлення браку, спеціальні випробування зварних з'єднань.

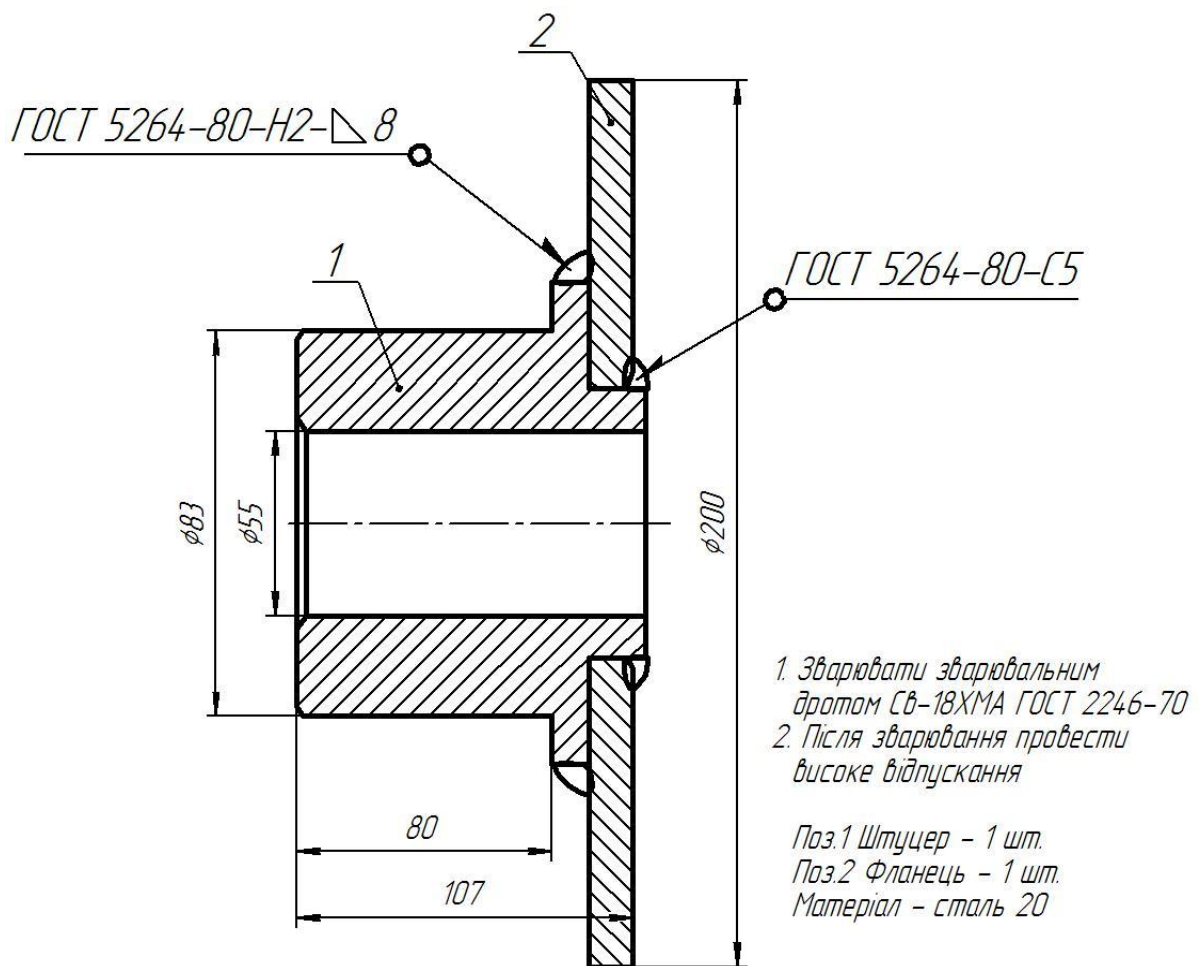


Рис.5.12. Приклад оформлення креслення зварної заготовки

5.5 Технологічність зварних і комбінованих заготовок

5.5.1 Зварність металів

Вибір матеріалів для елементів зварних заготовок здійснюється конструктором ще на стадії проектування деталі, тому питання про доцільність використання того чи іншого металу тісно пов'язане з поняттям про зварність металів.

Сукупність технологічних характеристик основного металу, яка забезпечує можливість при прийнятному технологічному процесі створювати економічне і надійне в експлуатації зварне з'єднання, називають *зварністю*. Зварність не є невід'ємною властивістю металу, оскільки визначається також способом і режимом зварювання. Практично під доброю зварністю розуміють можливість при звичайній технології одержати зварне з'єднання,

рівномічне з основним металом, без тріщин і без зниження пластичності у навколошовній зоні.

Встановити загальні критерії зварності для всіх металів і сплавів неможливо. У даний час класифікуються за зварністю тільки сталі. Залежно від вмісту вуглецю і легувальних елементів сталі поділяються на добре, задовільно, обмежено і погано зварювані.

Добре зварювані сталі (Ст3, 10, 15НМ, 12Х18Н9Т) легко утворюють зварні з'єднання за звичайною технологією. Для зварювання *задовільно зварюваних* сталей (Ст5, 30, 35, 15ХСНД, 12Х14А) необхідне попереднє підігрівання і наступне термооброблення. *Обмежено зварювані* сталі (Ст6, 40, 50, 30ХГСА, 5ХНМ) в звичайних умовах зварювання схильні до утворення тріщин. Перед зварюванням їх найчастіше піддають термообробленню і нагрівають. Для більшості сталей необхідне також термооброблення після зварювання. Зварювання *погано зварюваних* сталей (60Г, 50ХГА, У8, У10А, Р18, Х12, 3Х2В8Ф) виконують з обов'язковим підігріванням у процесі зварювання і наступним термообробленням.

У будові зварного з'єднання розрізняють три зони (рис. 5.13): зварний шов, ділянка неповного розплавлення металу та зона термічного впливу.

Зварний шов після твердіння має типову литу структуру з крупними витягнутими зернами, орієнтованими у напрямку відводу тепла. Ця ділянка може бути враженою газовими та усадковими раковинами, а також шлаковими включеннями.

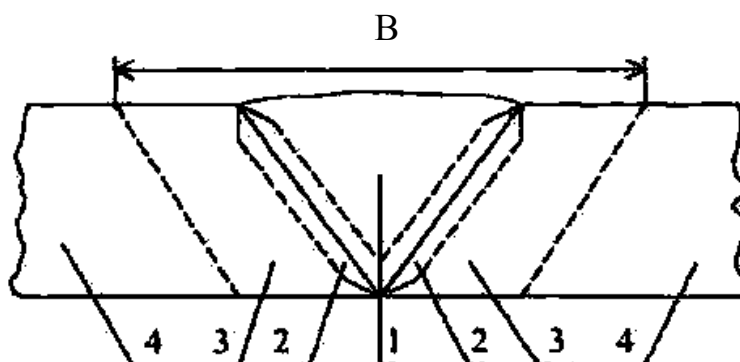


Рис. 5.13. Схема будови зварного з'єднання: 1 – зварний шов; 2 – ділянка неповного розплавлення металу; 3 – зона термічного впливу; 4 – основний метал; В – загальна величина зони термічного впливу

На ділянці неповного розплавлення метал знаходиться у рідко-твердому стані, при цьому відбувається оплавлення зерен основного металу. Ця ділянка по суті є власне місцем зварювання, її хімічний склад є перехідним від хімічного складу зварного шва до складу основного металу. Її властивості, а отже й якість зварного з'єднання залежать від взаємодії рідкого металу зварного шва з основним, від ступеня взаємної дифузії елементів та інших факторів.

Зоною термічного впливу (ЗТВ) називається частина основного металу, яка межує з ділянкою неповного розплавлення металу та на яку поширюється тепловий вплив зварювальної ванни. У ЗТВ метал не плавиться, хімічний склад не змінюється, а відбувається лише зміна структури внаслідок нагрівання та наступного охолодження. Характер змін структури (а отже й властивостей) металу залежить від температури, до якої нагрівається ця ділянка зони, швидкості охолодження після зварювання та хімічного складу металу. Чим ближче до зварювальної ванни, тим більше зміни у розмірі зерен та структурі металу. При цьому механічні властивості металу у ЗТВ можуть помітно знижуватися.

Величина зони термічного впливу залежить від способу та режиму зварювання, а також від хімічного складу сталі, що зварюється. При дуговому зварюванні маловуглецевих сталей величина ЗТВ становить 6...10 мм, при газовому досягає 25...30 мм.

При кристалізації метал зварного шва зменшується у розмірах внаслідок усадки, а основний метал, якій не нагрівався при зварюванні, не змінює своїх розмірів, що спричиняє виникнення напружень розтягу у ЗТВ. Одночасно при зварюванні середньо- та високовуглецевих, а також легованих сталей у ЗТВ утворюються гартівні структури. Ці явища можуть призвести до жолоблення зварної конструкції або утворення тріщин. Щоб запобігти цим небажаним явищам, застосовують підігрівання деталей перед зварюванням або термічне оброблення після нього. В останньому випадку

усувається літа структура шва та помітно підвищуються механічні властивості зварних з'єднань.

У деяких конструкціях, які працюють в умовах ударних і вібраційних навантажень або виготовляються з матеріалів, що не зварюються чи не допускають нагрівання, наприклад, при виготовленні фюзеляжу літака в авіації, зварювання не витіснило клепання.

5.5.2 Забезпечення технологічності зварних і комбінованих заготовок

Технологічність забезпечується вибором матеріалу заготовки, типу зварного з'єднання, конструкції зварюваних елементів, виду і технології зварювання.

При *виборі матеріалу* заготовки слід враховувати не тільки його експлуатаційні властивості, а й зварність. Зварювання не повинне погіршити роботу зварної конструкції в реальних умовах експлуатації. Наприклад, якщо конструкція працює при низьких температурах, то матеріал вихідних заготовок повинен забезпечити шву і навколошовній зоні поріг холодноламкості нижче передбачуваної температури експлуатації. Якщо прагнення вибрати матеріал з найкращими експлуатаційними характеристиками і доброю зварністю вступають у протиріччя, то слід вибрати компромісний варіант з якомога меншою вартістю матеріалу. Необхідно також пам'ятати, що термооброблення до чи після зварювання і нагрівання перед зварюванням може істотно покращити зварність матеріалів.

Типи зварних з'єднань і підготовка зварюваних частин до зварювання (розкриття крайок) залежить від способу зварювання, товщини деталей та інших факторів. Найпростішими і технологічними при способах зварювання плавленням є стикові шви (рис. 5.14,а). Якщо товщина деталей велика, застосовують двобічне зварювання. Таврові та кутові з'єднання характерні для виготовлення просторових конструкцій. Якщо габарити дозволяють повертати конструкцію в зручне для зварювання (нижнє) положення, такі шви також досить технологічні для способів зварювання плавленням.

Напусткові з'єднання найчастіше застосовують для зварювання листових заготовок. Найбільш технологічно зварювати їх контактним зварюванням. Напусткові з'єднання, виконані зварюванням плавленням (рис. 5.14, б), порівняно зі стиковими з'єднаннями менш міцні і менш економічні.

Вибір конструкції зварюваних елементів провадиться, виходячи з їх товщини, взаємного розташування, вільного доступу до лицьової і кореневої частин шва, з прагнення звести до мінімуму довжину зварних швів.

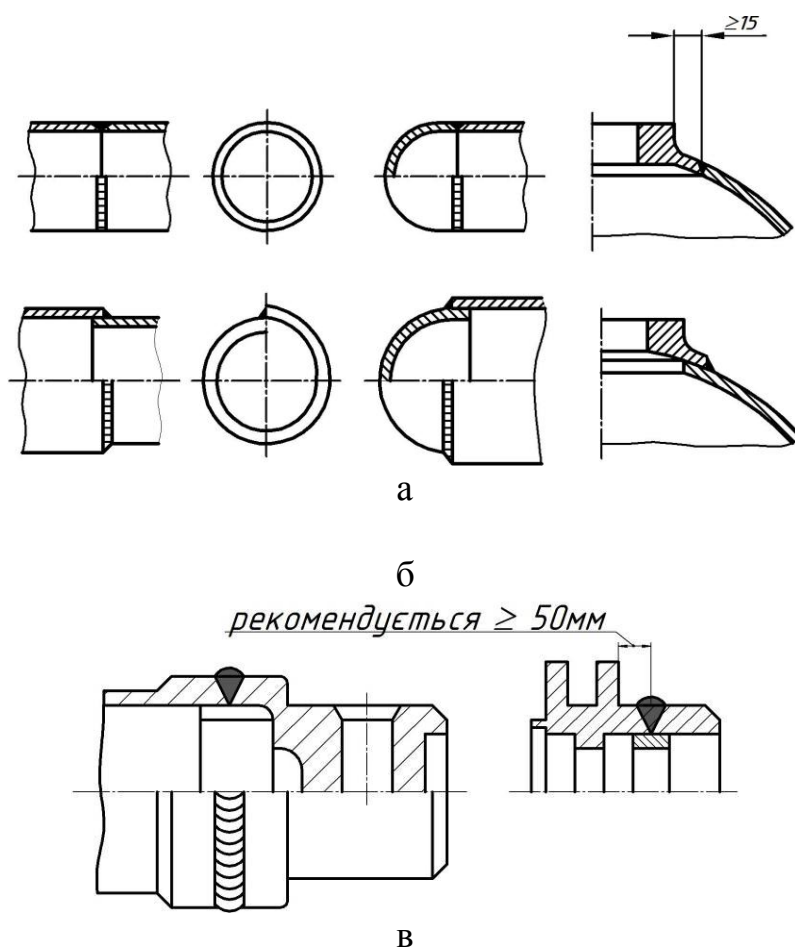


Рис. 5.14 Типові конструкції, які одержують зварюванням плавленням

При проектуванні зварних заготовок необхідно враховувати такі основні фактори.

1. Кількість зварних з'єднань повинна бути мінімальною, оскільки міцність з'єднання може бути меншою, ніж міцність основного металу

деталі. Зварні шви по можливості слід передбачати прямолінійними і безперервними за довжиною.

2. Конструкція і взаємне розташування зварюваних елементів повинні забезпечувати зручність доступу зварювального інструмента у зону зварювання. Так, при приварюванні стінок, перегородок бажано вносити зварні шви з тісного простору між ними назовні (рис. 5.15, 1).

При приварюванні фланців до труб (стінок) бажано збільшити зазор між ними ($l \rightarrow L$) або винести зварний шов на зовнішню поверхню фланця (рис.5.15, 2). У випадку контактного зварювання слід прагнути до того, щоб використовувалися стандартні прямі електроди, а не спеціальні. Для цього

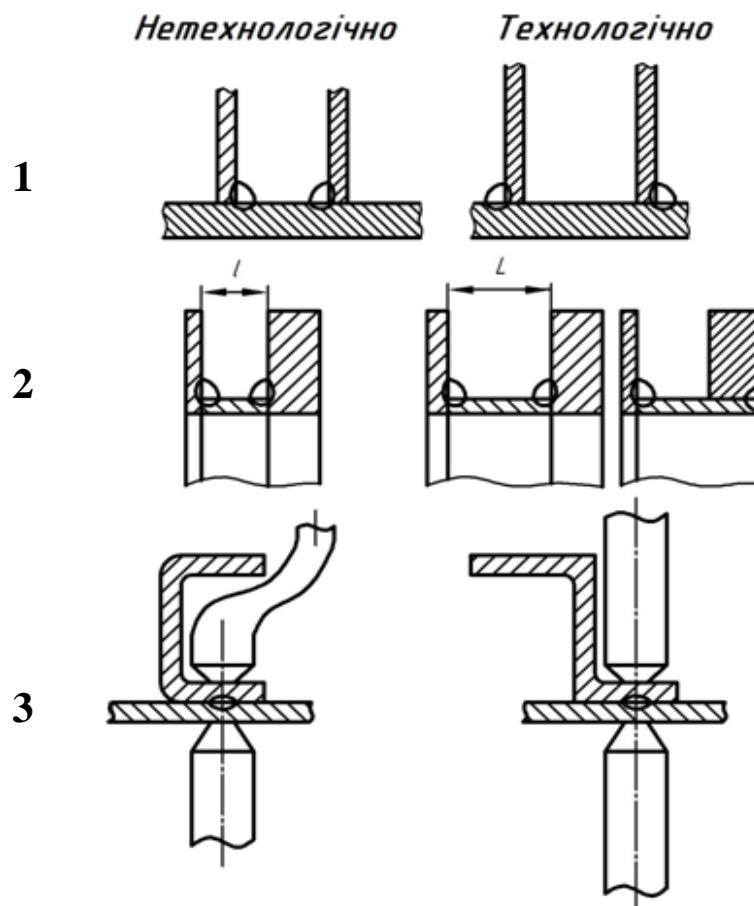


Рис. 5.15. Забезпечення зручності доступу зварювального інструмента у зону зварювання

необхідно змінити конструкцію зварюваних елементів або передбачити технологічні вирізи, отвори та ін. (рис. 5.15, 3). Розташування зварного шва

напроти бурту або поряд з частиною заготовки, що виступає над поверхнею (рис. 5.14, в), ускладнює зварювання і рентгенівський контроль.

3. За наявності кількох можливих варіантів зварювання слід застосовувати найпростіші та найпродуктивніші способи. Наприклад, при приварюванні важеля до осі раціональніше замінити кільцеві шви електрозаклепкою (рис. 5.16, 1). При зварюванні листових конструкцій або фланців з трубами слід замінювати дугове зварювання контактним (рис. 5.16, 2, 3).

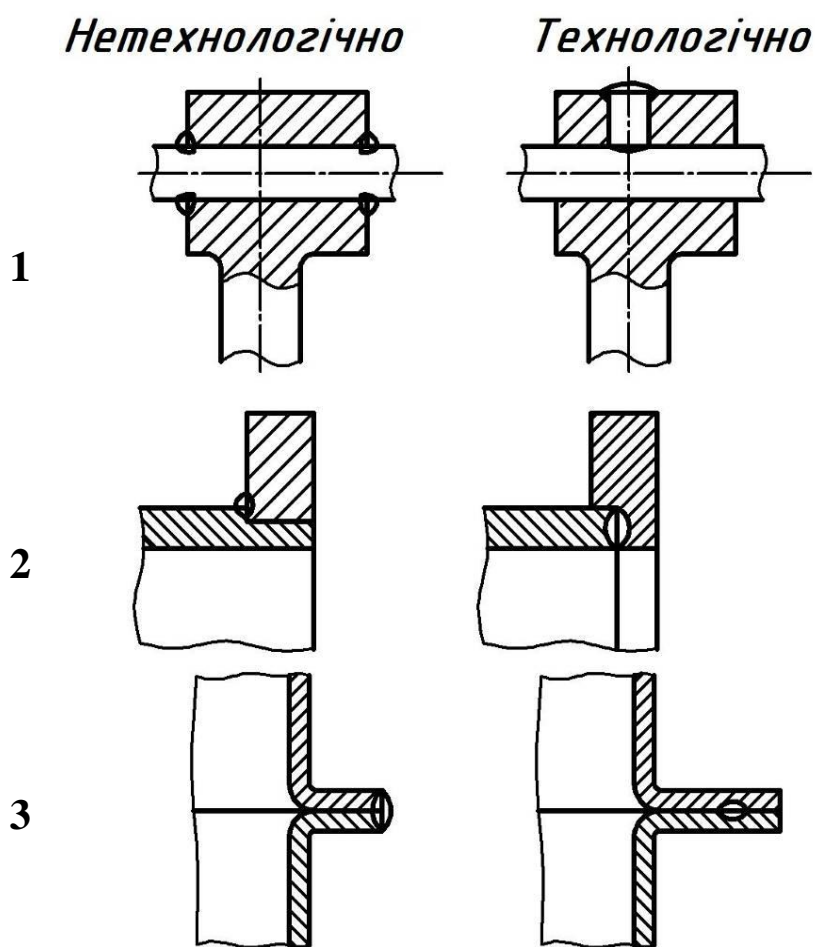


Рис. 5.16 Приклади застосування різних способів зварювання

4. У зварній конструкції не повинно бути різких (східчастих) переходів за товщиною металу (рис. 5.17), відхилень від симетричності розташування елементів за товщиною; не повинно бути також різких переходів форм конструкції (малих радіусів заокруглення, вирізів). У протилежному випадку

можливе руйнування конструкції внаслідок місцевої концентрації напружень. Це особливо важливо для конструкцій, які працюють в умовах знакозмінних навантажень і вібрації. Для таких конструкцій необхідно передбачувати плавні переходи від металу шва до основного металу.

При контактному зварюванні конструкція вихідних елементів повинна забезпечити необхідну за величиною контактну поверхню. При стиковому зварюванні слід прагнути до того, щоб зварювані деталі поблизу стику мали однакові чи близькі за формою і розмірами перерізи. Відхилення від співвісності зварюваних частин не повинне перевищувати 15% при зварюванні

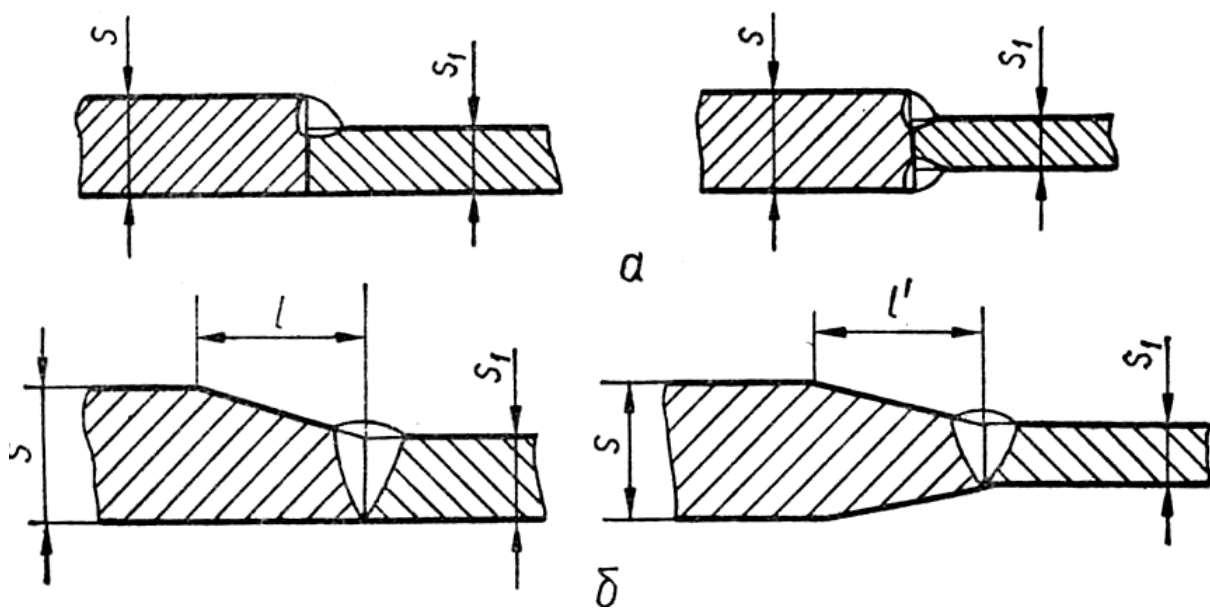


Рис. 5.17 Зварювання вихідних заготовок різної товщини:
а – при $S/S_1 < 3$; б – при $S/S_1 > 3$; при цьому $l > 5(S - S_1)$ і $l' > 3(S - S_1)$

циліндричних стрижнів і 10% при зварюванні стрижнів прямокутного перерізу.

5. Розкриття крайок повинне забезпечувати проварювання шва за всією товщиною. Водночас слід уникати трудомісткого розкриття крайок. Замість цього бажано утворювати зварювальну ванну шляхом правильного розміщення елементів конструкції (рис. 5.18).

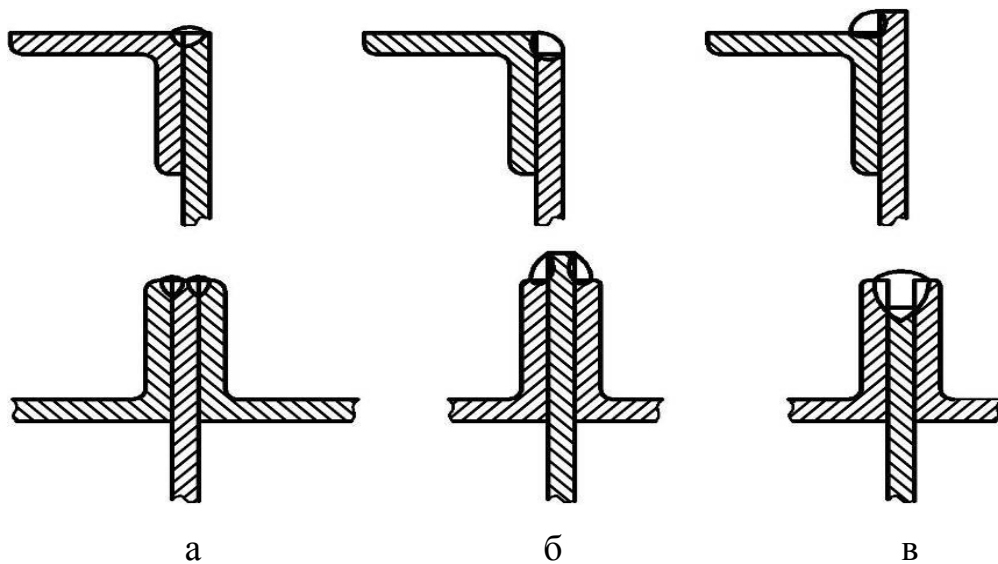


Рис. 5.18 Забезпечення проварювання зварного шва:
а – нетехнологічно; б, в – технологічно

б. З метою забезпечення точного положення з'єднаних елементів необхідно передбачити їх взаємну фіксацію (рис. 5.19,а). Якщо зварювані елементи мають точні або оброблені поверхні, то їх слід розташовувати подалі від зони зварювання, щоб на них не попадали бризки металу, а зварювальна дуга не чинила теплового впливу (рис. 5.19, б; $L > l$).

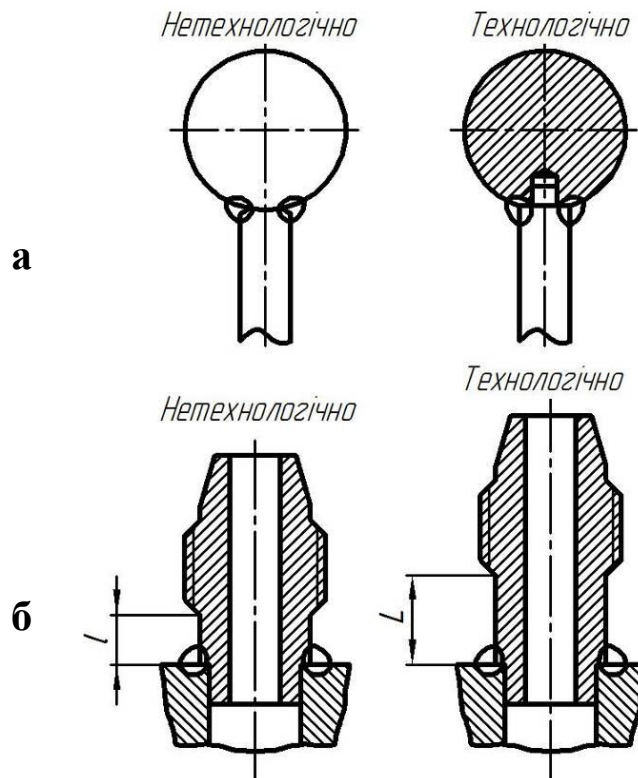


Рис. 5.19 Фіксація положення вихідних заготовок перед зварювання:
а – сфери та прутка; б – штуцера та отвору

7. Для зниження концентрації зварювальних напружень необхідно уникати перетину зварних швів в одному вузлі і зводити до мінімуму кількість наплавленого металу (рис. 5.20).

8. Габарити зварних заготовок повинні відповідати можливості їх оброблення у термічних печах. Якщо термічне оброблення не дає потрібного ефекту, неможливе або економічно невигідне, рівномірність зварних з'єднань може бути досягнута за рахунок потовщення елементів конструкції на ширині не менше зони термічного впливу.

Важливим завданням є правильний вибір способу зварювання відповідно до призначення, форми і розмірів конструкції. Призначення

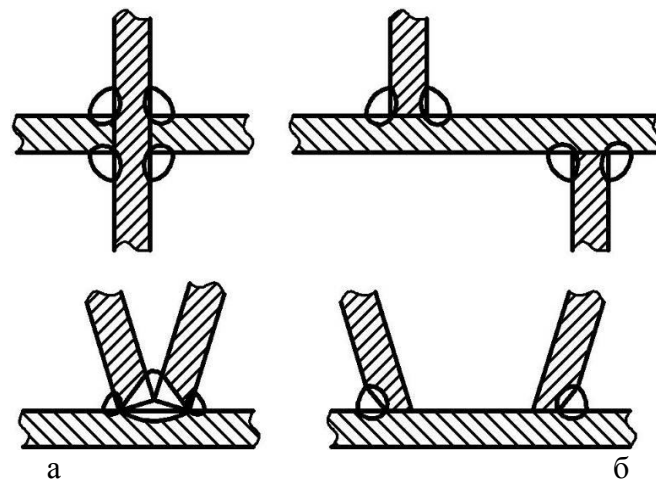


Рис.5.20 Приклади конструкцій зварних вузлів:
а – нетехнологічно; б – технологічно

способу зварювання значною мірою визначається зварністю матеріалу, особливо при з'єднуванні різнорідних матеріалів, конструктивним оформленням зварних з'єднань, ступенем їх відповідальності і продуктивністю процесу. Необхідно також враховувати тип з'єднань, присадковий матеріал, забезпечення зручності виконання складально-зварювальних робіт. Ці умови визначають механічні властивості з'єднань і допустимі напруження при розрахунках конструкції на міцність. Так, для зварювання довгих швів технологічнішим є застосування автоматичного дугового зварювання. Товстостінні елементи з'єднують електрошлаковим зварюванням. Для зварювання внапусток тонколистових матеріалів

раціонально застосовувати контактне зварювання. Деякі види зварюваних матеріалів (алюмінієві і титанові сплави, нержавіючі сталі тощо) вимагають надійного захисту зони зварювання від окиснення, тобто застосування аргонно-дугового, електронно-променевого або дифузійного зварювання. Необхідно також враховувати можливості механізації і автоматизації обраного способу зварювання.

Раціональна *технологія зварювання* повинна забезпечити мінімальний рівень зварювальних напружень і, як наслідок, – зварювальних деформацій. Це досягається за рахунок спеціальних технологічних заходів. Зокрема, зварювання при підвищених густині струму і швидкості зварювання забезпечує менші деформації. Попереднє нагрівання, зменшуючи різницю температур між основним і розплавленим металами, веде до зниження залишкових напружень.

Зменшення розмірів зварного шва, перехід від однобічного розкриття крайок до двобічного підвищує технологічність конструкції, оскільки знижуються зварювальні деформації.

Найменші деформації після зварювання мають конструкції, в елементах яких з'єднання розташовуються так, що сума статичних моментів об'єму металу швів відносно центра ваги перерізу елемента дорівнює нулю або близька до нього. Тому рекомендується розташовувати шви в елементах заготовки симетрично (рис. 5.21, а). При з'єднанні оболонок кільцевими

швами необхідно поздовжні шви розміщувати не по одній лінії, а зміщувати один відносно одного (рис. 5.21, б). При цьому вдається знизити концентрацію напружень і підвищити працездатність виробу. Для зменшення залишкових напружень у конструкції заготовки слід уникати швів, що перетинаються, а також їх скупчення. Для врівноваження деформацій слід застосовувати раціональну послідовність накладення зварних швів: при багатопрохідному зварюванні товстих деталей рекомендується послідовно переходити з одного на другий бік перерізу (рис. 5.22, а); довгі прямолінійні шви рекомендується розбивати на ділянки, зварювання яких повинно

здійснюватись у протилежних напрямках (рис. 5.22, б); при зварюванні просторових конструкцій необхідний перехід з одного боку елемента на інший (рис. 5.22, в).

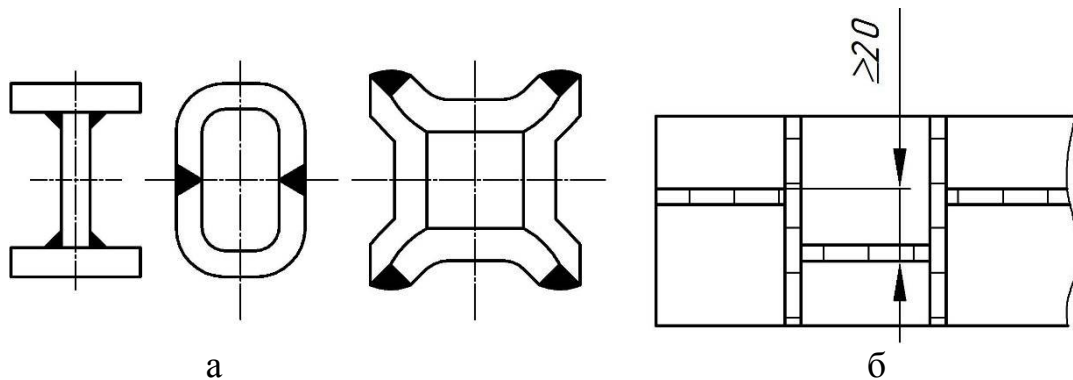


Рис. 5.21 Розташування швів:

а – симетричне у перерізі заготовки; б – при зварюванні оболонок

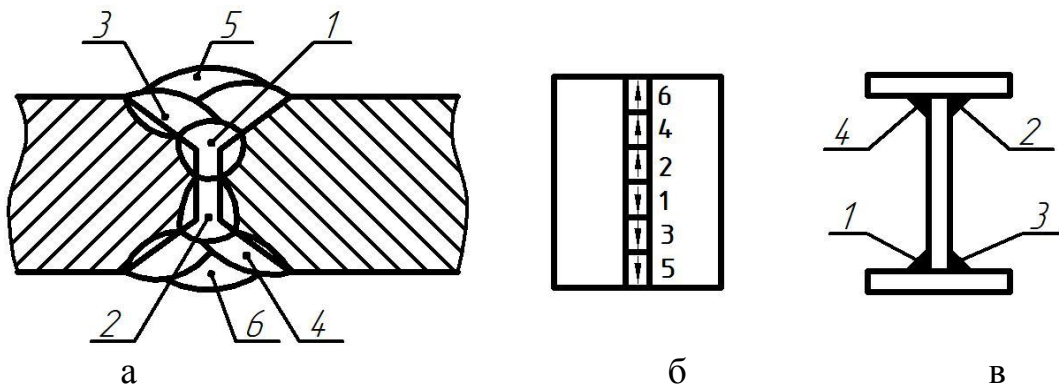


Рис. 5.22 . Раціональна послідовність (1, 2, ...) накладання зварних швів: а – при багатопрохідному зварюванні у межах поперечного перерізу; б – при зварюванні довгих швів; в – при зварюванні просторових конструкцій

Добрі результати дає попередній вигин зварюваних елементів у бік, протилежний зварювальній деформації (рис. 5.23).

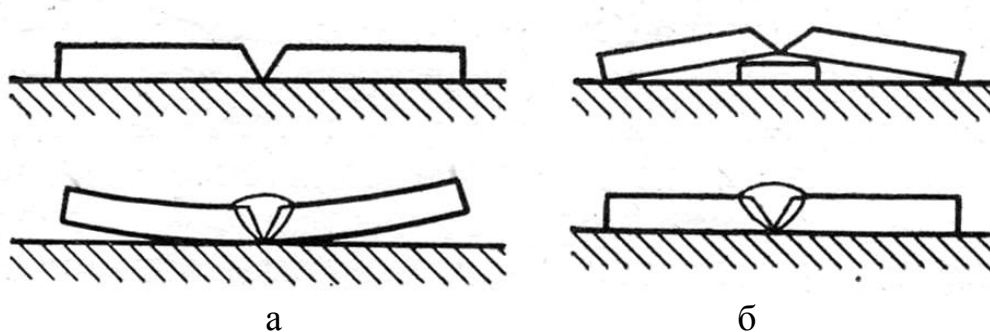


Рис. 5.23 Зварювання вихідних заготовок: а – без попереднього згинання; б – з попереднім згинанням у зоні зварювання

Зварювання складних деталей нежорсткої конструкції проводять у спеціальних пристроях (кондукторах). Жорстке закріплення елементів під час зварювання та їх підігрівання перешкоджають жолобленню конструкції заготовки, оскільки при високих температурах матеріал має підвищену пластичність. Після закінчення зварювання при тих же залишкових напруженнях великих деформацій не виникає.

При виконанні стикових з'єднань заготовок з алюмінієвих сплавів необхідно передбачити можливість видалення оксидних плівок зі стику у проплав, застосовуючи зварювальні підкладки з профільованими канавками 170або спеціальне оформлення конструкції з'єднання. Оксидні включення, які залишаються у швах, служать причиною зародження тріщин і порушення герметичності.

Механічне оброблення зварних заготовок, як правило, проводять після відпускання, оскільки видалення частини металу перерізу викликає перерозподіл залишкових напружень і викривлення раніше оброблених поверхонь. Проте ступінь викривлення залежить від жорсткості оброблюваної заготовки і розміру шару металу, що знімається, і може бути невеликим. Тому часто зварні заготовки обробляються без попереднього термооброблення.

5.6 Підготовка зварних заготовок до оброблення різанням

Термічне оброблення зварних заготовок провадиться з метою покращення властивостей металу шва і навколошовної зони і для зняття зварювальних напружень. Режим термооброблення визначається хімічним складом, теплофізичними і механічними властивостями матеріалу заготовки. Термооброблення зварних заготовок сприяє забезпеченню точності їх подальшого механічного оброблення, а також стабільності розмірів і форми деталей в процесі експлуатації.

Найповніше зняття напружень досягається за допомогою загального високого відпускання у термічних печах. Сталеву заготовку нагрівають до 600...650°C і витримують протягом часу, який визначають з розрахунку 2..3 хв. на 1 мм товщини металу. Положення заготовки в печі повинно запобігати її деформуванню за рахунок провисання під власною вагою. Охолодження після відпускання проводиться повільно, щоб у металі знову не виникли напруження. Заготовки з середньовуглецевих сталей часто охолоджують до температури 300°C з піччю, а потім – на повітрі. Для сталей, схильних до крихкості при температурі 600...620°C, температура відпускання знижується до 550...560°C.

Місцеве високе відпускання застосовується для крупних заготовок у місцях, де безпосередньо проводилося зварювання, з метою зниження рівня зварювальних напружень і підвищення пластичності металу. Нагрівання у цьому випадку проводиться за допомогою переносних індукційних термічних печей або газових пальників. Нагрівання може також здійснюватися накладанням додаткового шару металу із застосуванням відповідного режиму зварювання. Місцеве відпускання проводять у кондукторах відразу ж після зварювання. При цьому слід зазначити, що нерівномірне місцеве нагрівання може викликати небажані залишкові напруження.

Термопластичне відпускання – це нагрівання суміжних зон основного металу, паралельних шву. Пластичне деформування при нагріванні знімає залишкові напруження стискання у навколошовній зоні. Цей метод вимагає ретельного регулювання джерела нагрівання і певної швидкості переміщення його вздовж шва.

Необхідно пам'ятати, що високе відпускання – коштовна операція, яка значно збільшує вартість виготовлення заготовки, і її слід застосовувати в обґрунтованих випадках, наприклад, коли заготовка піддається наступному механічному обробленню з метою одержання точних приєднувальних розмірів тощо.

5.7 Приклад вибору технології виготовлення зварної заготовки

Необхідно спроектувати зварну заготовку для деталі, наведеної на рис. 3.24. Матеріал деталі – сталь 40Х, маса – 10,1 кг, обсяг замовлення – 5000 шт.

Дану зварну заготовку, залежно від типу виробництва та можливостей способу зварювання, можна виготовляти із застосуванням різних способів зварювання.

Так, якщо ми маємо одиничне виробництво, то доцільно використання ручного дугового або механізованого зварювання. Це скорочує час на підготування деталі до зварювання, але, виходячи з товщини частин заготовки, які з'єднуються, виникає необхідність нанесення зварювальних швів у декілька шарів, тобто за декілька проходів.

При застосуванні автоматичного зварювання, з урахуванням вищої продуктивності, це можливо виконати за один прохід. Але тоді необхідна фіксації окремих частин заготовки у спеціальному кондукторі з можливістю надання їй обертового руху, що ускладнює процес підготування до зварювання. У той же час в умовах серійного та масового виробництва ця технологія має значні переваги, які дозволяють підвищити продуктивність виготовлення та якість заготовки.

Для підвищення технологічності виготовлення складових частин даної зварної заготовки бажано виготовляти окремо фланець і хвостовик. Через досить великий розмір замовлення і кільцеву форму зварного шва оптимальним способом зварювання у цьому випадку може бути механізоване дугове зварювання.

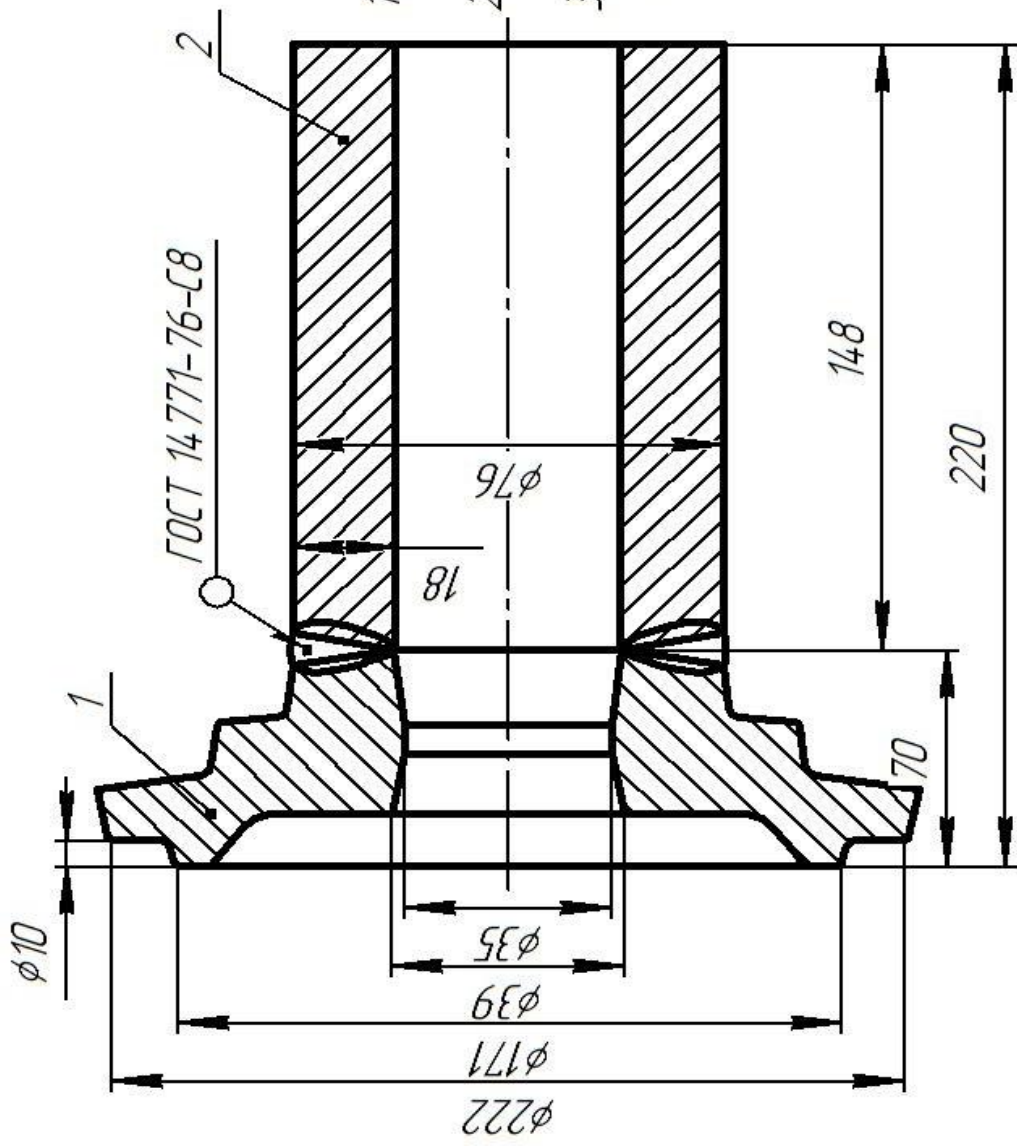
Для дугового зварювання найтехнологічнішим є *стикове зварне з'єднання*, тому лінію поділу проводимо на відстані 12 мм від торця $\varnothing 135$ мм. Оскільки зовнішній діаметр у зоні зварювання менший 80 мм, застосування зварювання під флюсом неможливе. Враховуючи технологічні міркування, обираємо *механізоване аргонно-дугове зварювання*

зварювальним дротом Св-18ХМА. За ГОСТом 14771-78 обираємо *тип зварного шва С8*, який при однобічному багатопрохідному зварюванні забезпечує повне проварювання з'єднання.

Ліва частина заготовки (фланець) проектується як *поковка*, яку одержують штампуванням на КГШП. Права частина заготовки (хвостовик) становить *трубу 76x18* (ГОСТ 8732-76) довжиною 148 мм. На торці труби виконується розкриття крайок згідно з розмірами шва С8. Знаючи конфігурацію і розміри вихідних частин заготовки, оформлюємо її креслення (рис. 5.24). Розрахункова маса заготовки – 12,4 кг.

Контрольні запитання

1. Перелічте і охарактеризуйте основні види зварних і комбінованих заготовок.
2. Які фактори визначають доцільність застосування зварних і комбінованих заготовок?
3. Перелічте і охарактеризуйте основні види зварювання, які застосовуються при виготовленні зварних заготовок.
4. Яким вимогам повинні відповідати зварні заготовки та матеріали для їх виготовлення.
5. Перелічте і охарактеризуйте основні етапи проектування зварних заготовок.
6. Назвіть рекомендації щодо забезпечення технологічності зварних і комбінованих заготовок.
7. Назвіть і охарактеризуйте основні види термічного оброблення зварних заготовок.



1. Зварювати зварювальним дротом Св-18ХМА ГОСТ 2246-70
 2. Після зварювання провести високе відпускання
 3. Наявність дефектів у зварювальному шві після зняття опуклості не припустимо
- Поз 1 Поковка - 1 шт.
 Поз 2 Труба 76x18
 ГОСТ 8732-78 - 1 шт.
 Матеріал - сталь 40Х

Рис. 5.24 Креслення зварної заготовки деталі (рис. 3.24)

6 Заготовки, які виготовляються методами порошкової металургії

6.1 Суть і можливості порошкової металургії

Порошкова металургія – галузь науки і техніки, яка охоплює виробництво металевих порошків та виробів з них або із сумішей їх з неметалевими порошками. Виготовлення виробів здійснюється без розплавлення основного компонента.

Виробництво заготовок методами порошкової металургії охоплює одержання і підготовку порошків вихідних матеріалів (металів, сплавів, металоїдів та ін.); формування виробів необхідної форми; термічне оброблення (спікання) відформованих виробів, яке забезпечує їм кінцеві властивості. Іноді застосовують поєднання операцій формування і спікання, інфільтрування пористого брикету розплавленим металом, допресування або калібрування спеклих напівфабрикатів та ін.

Методи порошкової металургії дозволяють одержати матеріали як аналогічні за структурою і властивостями традиційним, так і такі, які мають комплекс зовсім інших властивостей. При цьому процеси створення конструкційних матеріалів поєднуються з формоутворенням заготовок. Останні часто не потребують наступного розмірного оброблення або піддаються лише термічному обробленню.

У залежності від умов експлуатації конструкційні порошкові матеріали (КПМ) поділяють на дві групи: матеріали, що замінюють звичайні вуглецеві і леговані сталі; чавуни та кольорові метали, та матеріали зі спеціальними властивостями (зносостійкі, інструментальні, жароміцні, жаростійкі, корозійностійкі, для атомної енергетики), з особливими фізичними властивостями (магнітними, електро-, теплофізичними та ін.), важкі сплави, матеріали для вузлів тертя (антифрикційні або фрикційні) та ін. Фізико-механічні властивості КПМ за інших рівних умов визначаються щільністю

(або пористістю) виробів, а також умовами їх виготовлення. За ступенем навантаженості порошкові деталі поділяють на чотири групи (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 Характеристика конструкційних порошкових матеріалів

Ступінь навантаженості деталей	Група щільності матеріалу	Пористість матеріалу, %	Границя міцності, % границі міцності безпористих матеріалів	Пластичність та ударна в'язкість, % даних властивостей безпористих матеріалів	Густина порошкових сталей, г/см ³
Малонавантажені	1	25...16	30...45	25...35	6,0...6,6
Помірнонавантажені	2	15...10	45...65	35...60	6,7...7,1
Середньонавантажені	3	9...2	65...95	60...90	7,2...7,7
Важконавантажені	4	≤ 2	95...100	90...100	≥ 7,7

Міцність та жорсткість *малонавантажених деталей* не розраховують, їх розміри вибирають з конструктивних чи технологічних міркувань. При виготовленні з традиційних литих чи деформівних матеріалів такі деталі мають надто великий запас міцності та підвищену масу. Тому масове виготовлення заготовок цих деталей методами порошкової металургії дозволяє економити значну кількість металу. Причому можуть бути використані найдешевші порошки металів без їх легування (звичайно порошки заліза чи шихти на його основі з добавками вуглецю).

До *помірнонавантажених деталей* умовно відносять такі, працездатність яких протягом всього періоду експлуатації при діючих напруженнях можуть забезпечити КПМ з границею міцності, що не перевищує при статичному одноосьовому розтягу 45...65% (а в умовах динамічного навантаження - 35...60%) границі міцності безпористого

матеріалу аналогічного складу. Звичайно їх виготовляють з порошків вуглецевих чи низьколегованих сталей. Більшість помірновантажених деталей не піддається розрахункам на міцність та жорсткість. Їхні розміри також вибирають з конструктивних чи технологічних міркувань.

Середньовантажені деталі знаходяться під дією значних статичних чи помірних динамічних навантажень. Їх виготовляють з порошків вуглецевих чи легованих сталей, кольорових металів та сплавів. Необхідний рівень міцності деталей забезпечує матеріал з пористістю 2...9%.

На *важковантажені деталі* діють статичні або динамічні напруження великої інтенсивності. Працездатність таких деталей забезпечують КПМ, відносна міцність яких близька до міцності безпористого матеріалу.

Для одержання високих характеристик міцності КПМ використовують складніші технологічні процеси, які містять подвійне (чи навіть потрійне) пресування, калібрування, гаряче пресування, гаряче об'ємне штампування та ін. Фізико-механічні властивості найпоширеніших вуглецевих порошкових сталей різних підгруп щільності наведені у табл. 6.2.

Перевагами виробництва заготовок методами порошкової металургії є: можливість застосування матеріалів з різними властивостями – тугоплавких псевдосплавів (мідь-вольфрам, залізо-графіт та ін.), пористих (фільтри, самозмащуванні підшипники) та інших; маловідходність виробництва (відходи не перевищують 1...5%); виключення забруднення порошкових матеріалів, що перероблюються; використання робітників порівняно невисокої кваліфікації; легкість автоматизації технологічних процесів та ін.

До *недоліків* порошкової металургії відносять: обмеженість розмірів та відносна простота конфігурації одержуваних виробів; економічність застосування лише при досить великих масштабах виробництва; кінцева пористість заготовок, яка у деяких випадках не дозволяє одержати такі ж фізико-механічні властивості, як у виливків та поковок.

Таблиця.6.2 Фізико-механічні властивості порошкових вуглецевих сталей без термічного оброблення

Марка сталі	Границя міцності, σ_B , МПа	Відносне видовження, δ , %	Відносне звуження, ψ , %	Ударна в'язкість, КСУ, кДж/м ²	Модуль пружності, Е, ГПа	Твердість за Брінелем, НВ
	Не менше					
СП10-1	100	6	10	200	80	50...70
СП10-2	120	8	15	350	120	70...80
СП10-3	150	12	28	500	150	80...90
СП10-4	250	18	35	700	200	90...130
СП30-1	120	6	10	200	80	50...60
СП30-2	160	8	12	350	120	70...80
СП30-3	200	12	25	500	150	80...90
СП30-4	250	18	35	700	200	90...130
СП70-1	120	5	10	150	84	50...70
СП70-2	200	8	15	300	125	70...90
СП70-3	280	10	0	400	160	90...110
СП70-4	360	15	30	600	210	110...150
СП90-1	120	2	8	100	85	60...800
СП90-2	200	4	12	220	125	80...100
СП90-3	300	6	20	300	160	100...120
СП90-4	450	10	25	450	210	120...180

Примітка. Перше число після індексу СП у марці сталі відображує середній вміст загального вуглецю у сотих частках відсотку, цифра після дефісу – група щільності.

Технологічний процес виготовлення порошкових заготовок складається здебільшого з таких основних операцій: виготовлення порошків, приготування порошкових сумішей, формування, спікання, калібрування та контроль якості заготовок. Заготовки виготовляють з порошків різних матеріалів, отриманих механічними та хімічними методами з розмірами, окремих часток 0,5...500 мкм.

До *механічних методів отримання порошків* відносяться: розпорошування рідкого металу струменем води чи газу під тиском 50...100 МПа, розмелювання стружки та інших відходів металооброблення у вихрових чи кульових млинах, роздрібнювання твердих і крихких матеріалів (карбідів, оксидів, кераміки тощо) у вібраційних млинах.

Хімічні методи отримання порошків – це відновлення металів з оксидів чи солей вуглецем, воднем або природним газом та дисоціація карбонілів, яка забезпечують високу чистоту порошків.

Механічними методами отримують порошки з металів, їхніх сплавів і неметалів, а хімічними – тільки порошки чистих металів. Для порошків, отриманих механічними методами застосовують відпалювання. Відпалювання порошків сприяє відновленню оксидів, видаленню домішок, знімає наклеп, що поліпшує їх здатність до подальшого формування.

Порошки з розмірами понад 50 мкм сортують за розмірами за допомогою наборів сит, а дрібніші – повітряною сепарацією. До порошків часто додають різні наповнювачі, що полегшують процеси пресування, екструдкування (витискування) та механічне оброблення заготовок.

Приготування порошкових сумішей – це змішування їх у заданому співвідношенні та введення наповнювачів. Змішування проводиться у спеціальних змішувачах або різного роду млинах. Наповнювачі полегшують процеси пресування, екструдкування (витискання) та наступне механічне оброблення заготовок.

Процес *формування заготовок* полягає в ущільненні порошкової суміші під дією тиску з метою отримання заготовкою заданої форми та

розмірів. Заготовки формують шляхом пресування, екструдування, штампування та прокатування.

Пресування звичайно виконують у холодних чи гарячих прес-формах під тиском 0,1...2 ГПа. Великі заготовки отримують гідростатичним пресуванням. Однобічне пресування здійснюють у матриці одним пуансоном, двобічне - двома пуансонами, що рухаються назустріч один одному. Двобічне пресування забезпечує кращу однорідність заготовок, більшу міцність і щільність матеріалу, вимагає менших зусиль і дає змогу отримувати заготовки більших розмірів і складнішої форми.

Гаряче пресування об'єднує дві операції – формування та спікання заготовки. Цей процес відбувається у графітових прес-формах з індукційним чи електроконтактним нагріванням. Внаслідок нагрівання робочий тиск значно менший. Гаряче пресування забезпечує вищу якість заготовок, однак відзначається меншою продуктивністю та швидшим зношуванням прес-форм. Гарячим пресуванням формують здебільшого заготовки з жаростійких і високолегованих сталей, твердих сплавів, тугоплавких металів тощо.

Ізостатичне пресування полягає в обтискуванні суміші порошків у спеціальних еластичних (наприклад, гумових) оболонках за допомогою рідини в гідростатах під високим тиском (до 2 ГПа). Цим методом отримують заготовки значної довжини (циліндри, поршні) з рівномірною щільністю.

Екструдуванням (витискуванням чи випресовуванням матеріалу через отвір матриці) виготовляють прутки та труби різного перетину.

Прокатуванням порошкової шихти між валками формують стрічки, штаби, листи товщиною 0,02...3 мм і шириною до 300 мм з порошків заліза, нікелю, нержавіючої сталі, титану тощо. Можливе отримання біметалевих заготовок.

Штампування порошкових заготовок здійснюють двома способами: пресуванням у спеціальних формах (штампах) з наступним спіканням чи без нього та штампуванням після попереднього пресування заготовки.

Штамування здебільшого виконують на швидкісних пресах або молотах у закритих, іноді відкритих штампах. Ця операція не вимагає заготівельних рівчаків, тому стійкість цих штампів і продуктивність устаткування високі. Пористі заготовки деформуються меншими зусиллями, а значні зусилля виникають тільки у короткі проміжки часу, наприкінці процесу штампування.

Спiкання виконують звичайно в електричних печах з нейтральним чи захисним середовищем протягом 30...90 хв. при температурі, яка дорівнює двом третинам температури плавлення основного компонента.

Для отримання заготовок високої точності спечені заготовки піддають *калібруванню* – додатковому пресуванню у спеціальних сталевих прес-формах чи протисканню прутка та дроту через отвір матриці. Спечені заготовки за необхідністю піддають термічному чи термохімічному обробленню, а пористі інколи просочують розплавленим металом.

Основним устаткуванням є кривошипні та гідравлічні преси зусиллям від 0,01 до 10 МН і більше, резистивні та індукційні вакуумні електропечі.

Приклади деталей, що отримують з порошкових матеріалів, за складністю поділяють на три групи: просту, складну та дуже складну. Кожна група має свої підгрупи складності. Деталі для відповідних груп складності наведено на рис. 6.1.

6.2 Якість заготовок, виготовлених методами порошкової металургії

Точність виготовлення заготовок з порошкових матеріалів залежить від точності преса, прес-форм, лінійних розмірів напівфабрикатів, умов їх зберігання та інших факторів. Пружна післядія зформованої пресовки залежить від низки технологічних факторів: дисперсності і форми частинок порошку та їх твердості, наявності оксидів, тиску пресування, наявності мастил та ін. Пружна післядія у заготовках з порошків крихких та твердих матеріалів завжди більша, ніж у виробках з м'яких і пластичних порошків.

Вона сильніше виявляється за висотою заготовок (до 5...6%), ніж за діаметром (не більше 2...3%). У всякому разі допуски на розміри за довжиною та поперечним перерізом лежать у межах точності механічного оброблення.

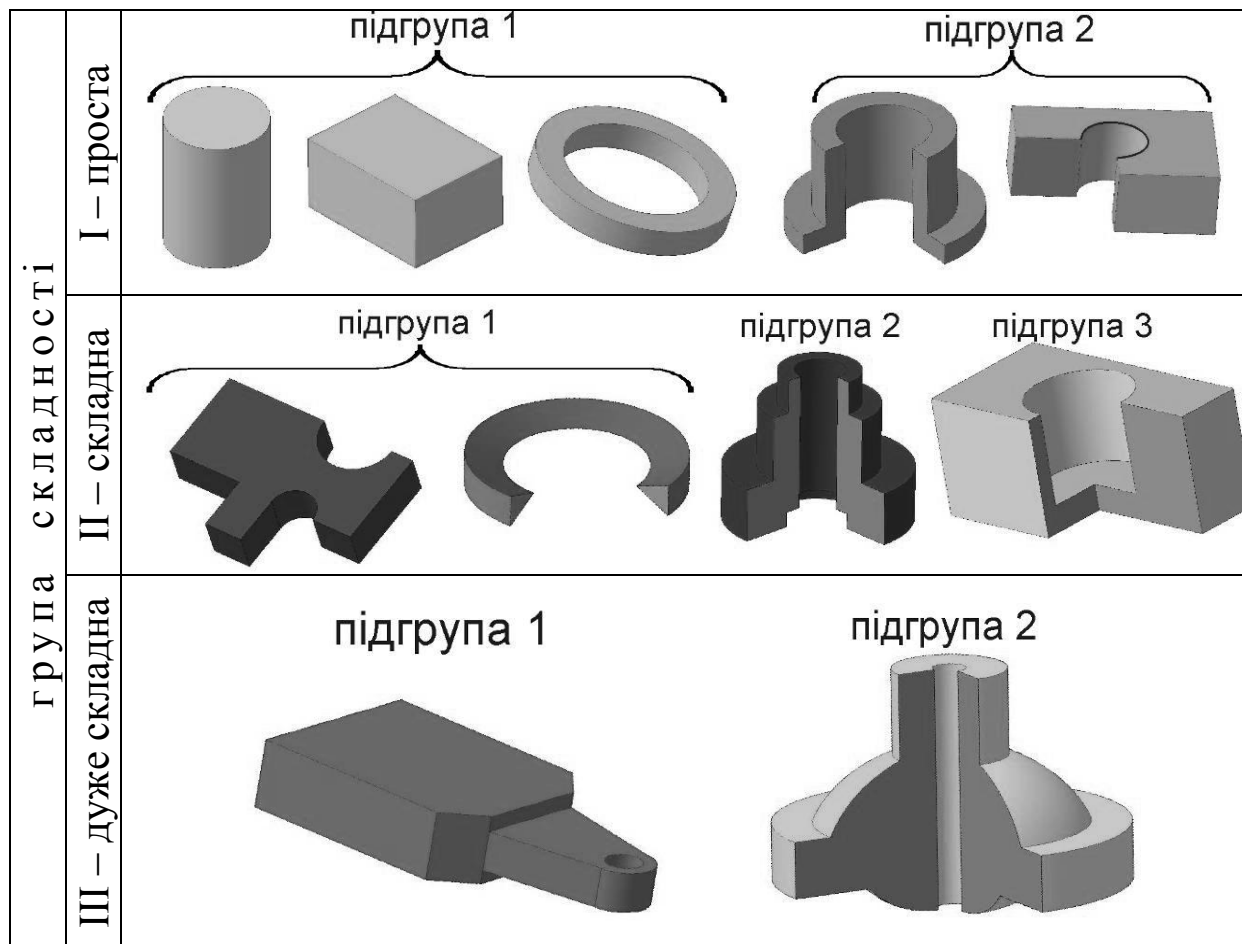


Рис. 6.1. Деталі – представники різних груп складності

Точність розмірів холоднопресованих пресовок при ущільненні «за тиском» відповідає: для висотних розмірів 12...14-му, для діаметральних – 6...8-му квалітетам. При ущільненні з обмежувачем для висотних розмірів точність відповідає 12-му, а для діаметральних – 8...11-му квалітетам. Спікання призводить до зниження точності розмірів на 1...2 квалітета.

Точність геометричної форми та взаємного розташування поверхонь пресовок (круглість, співвісність) практично не залежить від схеми пресування і визначається в основному точністю прес-форми. Тому точність

виготовлення прес-форм повинна бути на 1 квалітет вище необхідної точності заготовок або деталей.

Розподіл відхилень від номінальних діаметральних розмірів деталей типу втулок при ущільненні «за тиском» піддається нормальному закону, дисперсія якого залежить від точності виготовлення деталей прес-форми. Дисперсія нормального закону розподілу для співвідношення втулок чисельно дорівнює зазору між рухомими деталями прес-форм. Для забезпечення точності заготовок по 6...7-му квалітетам за співвідношенням прес-форми виготовляють за 3...6-м квалітетами. При цьому рекомендуються наступні мінімальні зазори між рухомими елементами: при діаметрі виробів 18 мм – 4...14 мкм; 26 мм – 4...18 мкм; 45 мм – 8...26 мкм. При використанні прес-форми з параметром шорсткості формотвірних поверхонь $R_a = 2,5...0,02$ мкм досягається параметр шорсткості поверхонь холоднопресованих пресовок $R_a = 5,0...0,16$ мкм. Параметр шорсткості спечених виробів становить $R_a = 2,5...0,8$ мкм.

Для підвищення точності заготовок застосовують їх калібрування після спікання у калібрувальних прес-формах з припуском 0,5...1,0% від номінального розміру. Зусилля при калібруванні становить 10...25% зусилля холодного пресування. Пружне розширення після калібрування досягає 0,1%. Відхилення діаметральних розмірів каліброваних заготовок від відповідних розмірів матриці або стрижня калібрувальної прес-форми не перевищує 5...10 мкм.

Калібруванню піддаються зовнішні і внутрішні поверхні заготовок. Припуск на калібрування встановлюють таким чином, щоб ступінь ущільнення не перевищував 3%. Крім того, для зовнішніх поверхонь призначають більший припуск, ніж для внутрішніх, особливо при необхідності зберегти на них виходи пор. Зокрема, середній припуск для зовнішнього діаметра втулок із залізографіту пористістю 15...30% становить 0,8...1,2% від діаметра, для втулок із заліза – 0,8...1,4%.

6.3 Формування заготовок з порошкових матеріалів

Перед оформленням креслення порошкової заготовки необхідно ретельно проаналізувати технологічність її конструктивної форми.

З ускладненням форми заготовки ускладнюється досягнення рівномірної щільності в усіх її частинах. При пресуванні переміщення частинок порошку здійснюється в основному тільки у напрямку, паралельному руху пресування. Тому іноді доводиться застосовувати складені пуансони, частини яких мають незалежний одна від одної рух. У такому випадку кожний перехід перерізу заготовки необхідно пресувати окремим пуансоном і в окремій частині матриці.

Чим складніша форма заготовки, чим більше переходів перерізу, тим складніше і дорожче прес-форма. При виготовленні заготовок підвищеної складності доводиться застосовувати розрізні матриці.

Складність виготовлення прес-форм, їх стійкість і вартість – це найчастіше головні фактори, що визначають доцільність виготовлення заготовок методами порошкової металургії. Іноді, особливо в умовах масового виробництва, для забезпечення технологічності слід змінити конфігурацію порошкової та сполученої з нею деталей. Наприклад, канавки в отворі порошкової деталі бажано перенести на сполучену деталь (рис. 6.2).

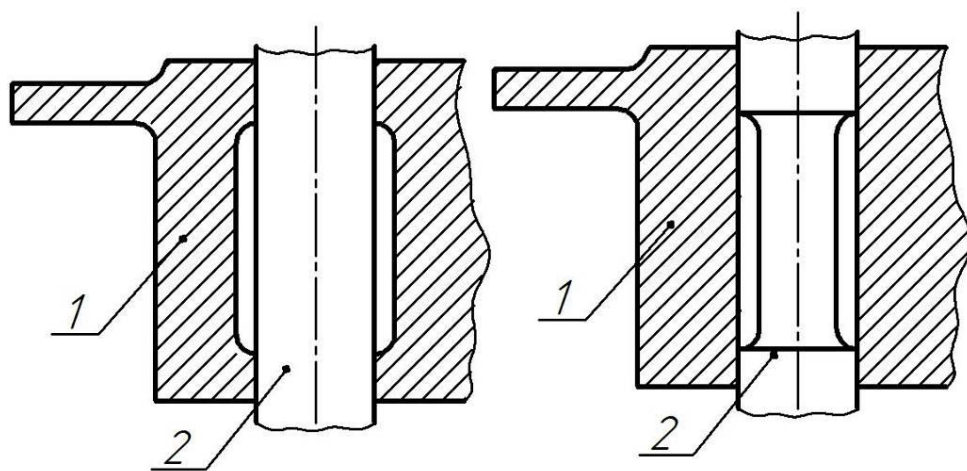


Рис. 6.2 Забезпечення технологічності порошкової деталі 1 за рахунок зміни конфігурації сполученої деталі 2

Для збереження форми порошкові заготовки не повинні мати конструктивних елементів, які є перешкодою вільному їх виштовхуванню з прес-форми (різних виступів і заглиблень, розташованих під кутом до осі пресування, косих ребер та ін.). Застосування прес-форм з двома і більше площинами розніму виправдано лише у виняткових випадках, оскільки вони мають високу вартість і низьку продуктивність праці. Слід максимально зменшувати кількість змін товщини або діаметра заготовки уздовж осі, особливо тоді, коли це не викликано конструктивною необхідністю (рис. 6.3, 1). Також необхідно уникати різких змін товщини стінок (рис. 6.3, 2).

	технологічно	нетехнологічно		технологічно	нетехнологічно
1			7		
2			8		
3			9		
4			10		
5			11		
6			12		

Рис. 6.3 Приклади конструкції порошкових заготовок

Товщина стінок заготовок діаметром 10...15 мм і висотою 15...20 мм повинна бути не менше 1,2...1,5 мм. У більших заготовках мінімальна

товщина стінки зростає (орієнтовно по 0,8 мм на кожні 25 мм довжини). При висоті пресовки менше діаметра мінімальна товщина стінки становить 1,6 мм. Товщина донної частини глухих отворів повинна бути не менше 2...3 мм. Отвори повинні розташовуватися на відстані не менше 2...3 мм від краю заготовки та один від одного. При товщині стінок або фланців до 2,5 мм їх зовнішні кути заокруглюють, а при більших товщинах виконують фаску під кутом 45°. Біля основи конічних поверхонь передбачають циліндричний поясок шириною не менше 0,5 мм. В конструкціях заготовки рекомендується уникати застосування вузьких та довгих виступів (рис. 6.3, 3) або довгих і вузьких виїмок (рис. 6.3, 4) (ширина таких виступів та виїмок повинна бути не менше 3...4 мм), зворотньої конусності (рис. 6.3,5), гострих кутів (рис. 6.3, 6). Необхідно передбачати невеликі площадки на кінцях скосів і кутів, які дозволяють притупляти гострі кути на торцях пуансонів. При сполученні поверхонь слід передбачати радіуси заокруглення не менше 0,25 мм для внутрішніх і не менше 2,5 мм для зовнішніх поверхонь. Заокруглені кути сприяють зниженню опору руху порошку у порожнині матриці.

Рекомендується замінювати фігурні отвори у деталях круглими (рис. 6.3, 7), що спрощує і здешевлює конструкцію прес-форми. У прямокутних отворах для полегшення руху порошку кути виконують заокругленими. Замість косокутної насічки слід проектувати крупну прямокутну, яку легше виконати у прес-формі.

Слід уникати застосування радіальних канавок (рис. 6.3, 8), виїмок або отворів, розташованих перпендикулярно до осі пресування (рис. 6.3, 9). Якщо ж такі елементи форми необхідні, то їх одержують обробленням різанням після спікання пресовки.

Фланці, розташовані на невеликій відстані від краю циліндра, краще пресувати товстішими з припуском під оброблення різанням після спікання. Різанням виготовляють також внутрішню та зовнішню різі. Виїмки або радіальні канавки, які розташовані паралельно осі пресування, можуть бути виконані прес-інструментом. Маточини шестерень слід виконувати на

2...3 мм менше діаметра кола западин (рис. 6.3, 10). У випадках, коли це можливо, слід замінювати криволінійні та непаралельні поверхні паралельними. Це, зокрема, стосується деталей, які раніше виготовлялись литтям або куванням. У залежності від зручності пресування поглиблення та пази доцільно замінювати виступами (рис. 6.3, 11), а кільцеві (опорні) виступи замінювати заглибленнями (рис. 6.3, 12). З метою полегшення виштовхування пресовок, особливо фланців, з прес-форм їх слід виконувати з конусністю $K = 0,007\varepsilon$, де ε – пружня післядія матеріалу заготовки по діаметру, %.

При виготовленні виробів складної форми з метою одержання рівномірного розподілу щільності частини заготовки можуть формуватися окремо, а потім при спіканні або інфільтруванні легкоплавким металом їх з'єднують в одне ціле. Якщо деталь має довгу частину, що виступає, то для збільшення жорсткості її пресують з додатковими ребрами. У таких випадках рекомендується змінити конструкцію деталі, збільшуючи товщину частини, що виступає, або наблизивши її до одного з торців деталі (рис. 6.4, а, б, в). При пресуванні заготовок з виступами та виїмками, які оформлюються верхнім пуансоном, для полегшення виштовхування їх забезпечують конусністю $5...10^\circ$ (рис. 6.4, г).

6.4 Техніко-економічна ефективність застосування заготовок з порошкових матеріалів

Методи порошкової металургії дозволяють економити трудові і матеріальні ресурси в машинобудуванні та при експлуатації машин. У низці випадків порошкові конструкційні матеріали за своїми винятковими властивостями не мають аналогів і дозволяють забезпечувати випуск якісно нової продукції.

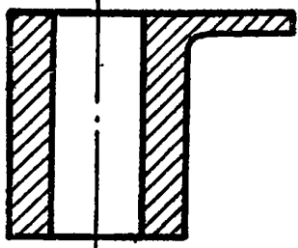
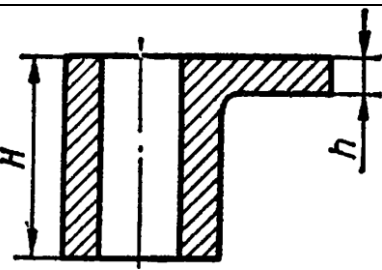
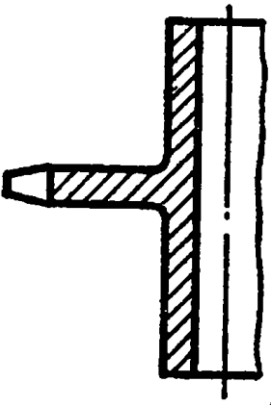
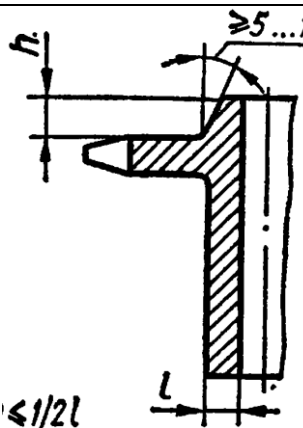
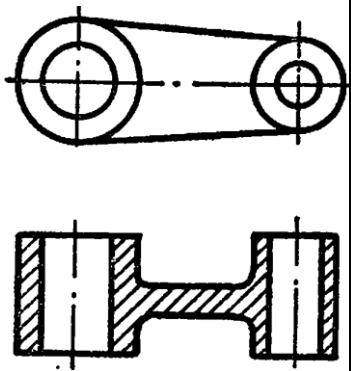
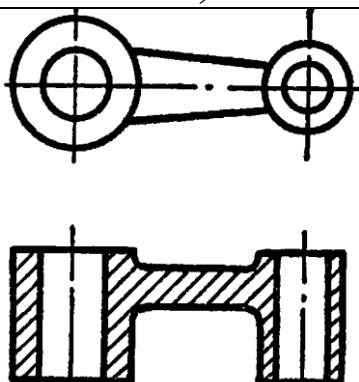
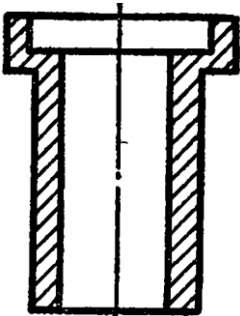
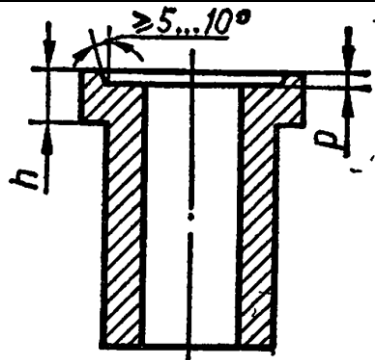
	нетехнологічно	технологічно
а		 $h \geq H/10 \geq 2...3 \text{ мм}$
б		 $h \leq 0,5l$ $\geq 5...10^\circ$
в		 $\geq 5...10^\circ$
г		 $p \leq h/4$ $\geq 5...10^\circ$

Рис. 6.4 Забезпечення технологічності заготовок з виступами і виїмками

Економічна ефективність виготовлення заготовок тим більша, чим більша їх серійність. Тому така технологія доступна тільки при при обсязі замовлення в декілька тисяч штук. Досвід промисловості свідчить, що литі і катані заготовки з чорних металів доцільно переводити на виготовлення з порошків при розмірі партії не менше 10000 штук, а заготовки з кольорових металів – при замовленні не менше 2000...3000 штук. При використанні групової технології виготовлення порошкових заготовок може бути доцільним і при річній програмі у декілька сотень штук. Економічно ефективний обсяг випуску порошкових заготовок залежить від їхньої групи складності, маси, виду порошкового матеріалу та інших факторів. Порівняння потенційних можливостей виробництва заготовок методами порошкової металургії і лиття наведено у таблиці 6.3.

Таблиця 6.3. Порівняння потенційних можливостей і обмежень виробництва заготовок методами порошкової металургії та лиття

Критерії порівняння	Порошкова металургія	Лиття за витоплюваними моделями та під тиском
Використання вихідного матеріалу, %	98...100	60...80
Маса виробів, що одержують, кг	0,1...1,0	0,1...10,0
Формування	Відносно просте; висота виробу звичайно менше довжини та ширини	Відносно складне; довжина і ширина не обмежені у межах розмірів виробів
Кількість деталей при рентабельному виробництві, тис. шт.	10	2...3
Чистота кінцевого продукту	Дуже чистий	Можливе попадання матеріалу форми
Мікроструктура	Тонка	Можлива груба
Однорідність	Дуже добра	Середня
Параметр шорсткості R_a , мкм	0,25...12,5	Звичайно 2,5...6,3, іноді 0,5
Вартість виробництва	Порівнянна	Порівнянна

Коефіцієнт використання матеріалу порошкових заготовок найвищий у порівнянні з іншими видами заготовок (литими, кованими, штампованими) і може досягати 0,90...0,95. Ця особливість найвигідніша при виготовленні заготовок з матеріалів, які мають низькі технологічні властивості. При цьому значна частка економії досягається за рахунок зменшення обсягу механічного оброблення.

При оцінці вартості виготовлення порошкових заготовок з урахуванням наступного механічного оброблення необхідно також враховувати зменшення витрат матеріалу в стружку, підвищення продуктивності праці, вивільнення металорізальних верстатів, кваліфікованих робітників та ін. Техніко-економічні показники виробництва 1 т заготовок із залізобуглецевих сплавів традиційними методами механічного оброблення і методами порошкової металургії наведені у табл. 6.4.

Крім того, деталі, виготовлені з конструкційних порошкових матеріалів, дають значну економію у сфері експлуатації, забезпечуючи високі експлуатаційні властивості (наприклад, деталі вузлів тертя - підшипники, кільця, шайби, підп'ятники, поршневі кільця та ін.).

Введення до складу антифрикційних матеріалів речовин, які відіграють роль твердих мастил, а також наявність у матеріалі підшипника залишкових пор (15...30%), просочених мастильними рідинами, збільшують строк служби деталей у 1,5...10 разів.

Наприклад, виготовлення порошкових заготовок поршневих кілець різко зменшує витрати металу і знижує вартість кілець на 30...40%. Для підвищення зносостійкості виготовляють двошарові кільця: у зовнішній шар заготовки вводять 6% хрому, до 4% сульфїду цинку як твердого мастила і збільшують вміст графіту до 3,5%. Застосування таких кілець збільшує ресурс автомобільного двигуна і скорочує витрату мастила у 1,2...1,5 рази.

Таблиця 6.4 Основні техніко-економічні показники виробництва 1 т заготовок із залізовуглецевих сплавів

Показники	Механічне оброблення	Порошкова металургія	
		Абсолютні значення	У % до механічного оброблення
Матеріаломісткість, т	2,3	1,05	46
Коефіцієнт використання матеріалу	0,3...0,5	0,95	190...320
Відносна щільність матеріалу	1,0	0,8...0,95	80...95
Кількість технологічних операцій	30...40	4...6	13...15
Виробіток на одного робітника, т	2,4	5,0	200
Питомі енергетичні витрати, ум.од.	1,0	0,6	60
Питомі капітальні вкладення, ум.од.	1,0	0,65	65
Собівартість, ум.од.	1	0,4	40
Вивільнення робітників, чол.	-	0,19	-
Вивільнення металорізальних верстатів, шт.	-	0,08	-
Окупність капітальних вкладень, рік	-	1,4	-

Застосування спеклих алюмінієвих сплавів СПАК-4, СПАК-4В замість сплаву АК4-1 для виготовлення поршнів важко навантажених двигунів внутрішнього згорання та інших виробів, які працюють при підвищених температурах, дозволило підвищити їх жароміцність і корозійну стійкість.

Контрольні запитання

1. Які переваги має виробництво заготовок методами порошкової металургії?
2. На які види поділяють порошкові конструкційні матеріали за умовами експлуатації?
3. Яких вимог необхідно дотримуватися при формуванні конструкції заготовок з порошкових матеріалів?
4. Які фактори впливають на точність заготовок і деталей, одержаних методами порошкової металургії?
5. Які фактори визначають доцільність застосування заготовок з порошкових конструкційних матеріалів?

7 Заготовки з пластмас

7.1 Пластмаси, їхні властивості та області застосування

Пластмаси – це матеріали, отримувані на основі природних або синтетичних полімерів, які на певній стадії виробництва або перероблення мають високу пластичність.

Пластмаси мають ряд цінних якостей, завдяки яким їх питома вага у машинобудуванні має тенденцію до збільшення.

До головних експлуатаційних переваг пластмас відносять: малу густину (900...1800 кг/м³ для більшості пластмас), високу демпфувальну здатність, порівняно високу стійкість до агресивного середовища, високі електро-, тепло-, звукоізоляційні, фрикційні та інші властивості.

До технологічних переваг пластмас відносяться простота і легкість одержання заготовок складної форми при невисоких (у порівнянні з металами) температурах формоутворення, технологічна простота армування пластмасових деталей металевими елементами або іншими матеріалами, висока точність одержуваних розмірів, яка у багатьох випадках не потребує механічного оброблення, відмінна оброблюваність різанням при порівняно низьких енерговитратах.

У той же час пластмаси мають досить вагомі *недоліки*: низькі характеристики міцності, особливо контактної (сталеві зубчасті передачі здатні витримувати у 3,0...3,5 рази більші контактні напруження, ніж пластмасові); невисокий температурний режим експлуатації та вузький його діапазон (для більшості пластмас він становить від -60 до +200⁰С); обмеженість у розмірах, яка обумовлена неможливістю виготовити прес-форму великих розмірів; низька теплопровідність (у 500...600 разів менше, ніж у металів); старіння і втрата певних властивостей під час експлуатації.

Для надання пластмасам різноманітних властивостей у їхній склад, крім полімерів, вводять низку інших компонентів, серед яких дуже важливу

роль відіграють наповнювачі. *Наповнювачами* служать органічні або неорганічні речовини у вигляді порошків (деревинне або кварцове борошно, графіт), волокон (паперових, бавовняних, азбестових або скляних) або листів (тканини, паперу, слюди, деревинного шпону). Наповнювачі підвищують міцність, зносо- та теплостійкість або інші властивості пластмас і можуть становити до 40...80% їхнього об'єму.

За поведінкою при нагріванні пластмаси поділяють на дві основні групи: терморективні (реактопласти) і термопластичні (термопласти).

Реактопласти при нагріванні спочатку переходять у в'язкотекучий стан, а потім перетворюються у необоротні неплавкі та нерозчинні речовини. Тому вони не можуть перероблятися повторно. До реактопластів відносяться пластмаси на основі фенолформальдегідних, меламінформальдегідних, полісилоксанових та інших смол.

На відміну від них *термопласти* при нагріванні і охолодженні здатні багаторазово переходити із твердого стану у в'язкотекучий і навпаки, тобто змінюються поворотно. Вони можуть перероблятися повторно. До термопластів відносяться: поліетилен, полістирол, поліпропилен, вініпласт, фторопласт, АБС-пластик та інші.

Як терморективні, так і термопластичні пластмаси мають багато різних виробничих назв і марок. Вони розрізняються між собою за своїми фізичними, механічними, технологічними і експлуатаційними властивостями. Незважаючи на притаманні пластмасам недоліки з них виготовляють досить велику номенклатуру деталей: зубчасті колеса, зірочки, штурвали, важелі, корпуси і панелі приладів та інструментів, кронштейни, втулки, кулачки, кришки, ковпаки, різноманітні труби і профілі, кріпильні та інші деталі. Особливо велика питома вага пластмасових деталей у електронній, електротехнічній та побутовій техніці, при виготовленні меблів, посудин, посуду, дитячих іграшок тощо.

7.2 Способи виготовлення заготовок з пластмас

Спосіб перероблення пластмас у заготовки залежить головним чином від типу полімера-основи (термопластичний чи терморезистивний) і виду наповнювача. Залежно від фізичного стану полімера при температурі перероблення заготовки з пластмас виготовляються різними способами у в'язкотекучому, високоеластичному або рідкому стані.

При виготовленні виробів у в'язкотекучому стані вихідні матеріали завантажуються у вигляді порошків, гранул, волокон або таблеток, нагріваються до переходу прес-матеріалів у в'язкотекучий стан, а потім здійснюється формування і твердіння заготовки. Серед цих способів найважливішими є гаряче пресування, лиття під тиском та пресування листів і плит.

Гаряче пресування застосовується для виготовлення заготовок з терморезистивних пластмас з порошковими чи волокнистими наповнювачами. Гаряче пресування може бути прямими і литтєвим.

Пряме пресування здійснюється у закритих підігріваних прес-формах на гідропресах (рис. 7.1, а).

Пластмасовий матеріал засипають безпосередньо у матрицю і стискають пуансоном. Після твердіння прес-форма відкривається, і заготовка виштовхується з матриці виштовхувачем. Прямим пресуванням виготовляють заготовки коліс, втулок, шестерен і т.п.

У процесі *литтєвого пресування* (рис. 7.1, б) пластмасу завантажують у завантажувальну камеру, що підігрівається і з якої після нагрівання і переходу у в'язкотекучий стан вона під дією пуансону перетікає у матрицю прес-форми. Після витримання та твердіння заготовка виймається з прес-форми виштовхувачем. Литтєве пресування дозволяє отримувати складні за формою заготовки з порівняно тонкими стінками, глибокими отворами та різню, а також заготовки, армовані металевими елементами.

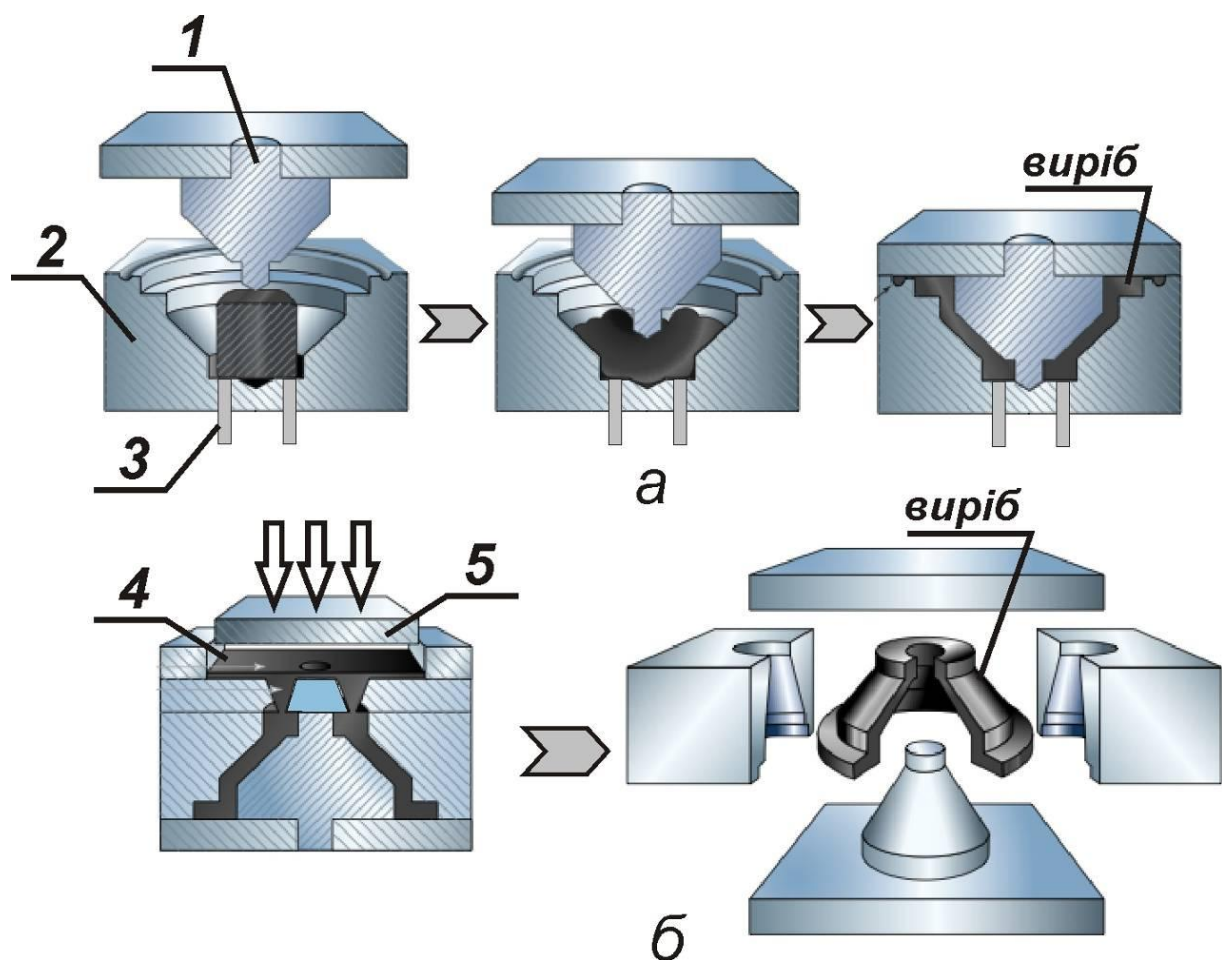


Рис. 7.1 Схема прямого (а) і литтєвого (б) пресування заготовок з пластмас:

1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – виштовхувач; 4 – завантажувальна камера; 5 – додатковий пуансон

Лиття під тиском є найпродуктивнішим способом одержання деталей з пластмас. Застосовується у масовому виробництві заготовок простої і складної конфігурації з термопластів. Здійснюється на спеціальних автоматичних ливарних машинах (рис. 7.2). Процес виконується при тиску 10...250 МПа і температурі 150...300°C. Прес-форми для лиття під тиском можуть бути одно- і багатомісними. Лиття під тиском відрізняється високою продуктивністю. Ним отримують заготовки складної конфігурації зі стінками різної товщини, з глибокими отворами та різью, ребрами жорсткості, масою від кількох грамів до декількох кілограмів, з точними розмірами (6...8 квалітети точності) та чистими поверхнями (параметр шорсткості R_a до 0,16 ...0,32 мкм).

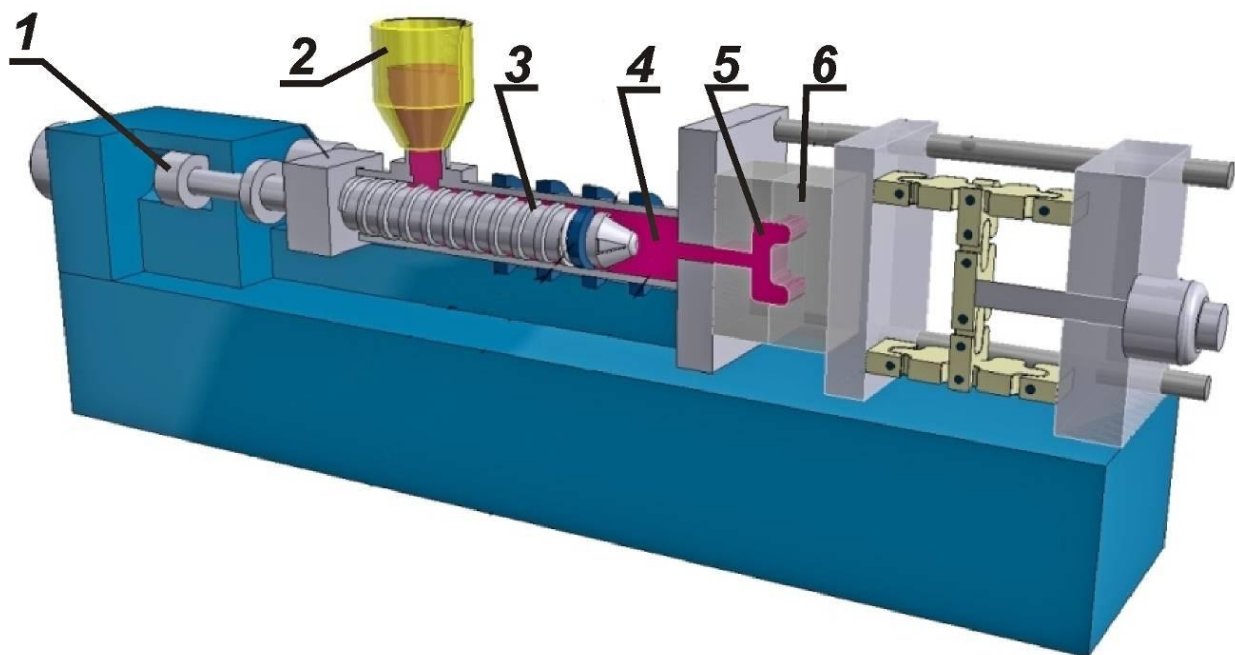


Рис. 7.2 Схема машини лиття під тиском пластмасових виробів:

1 – електродвигун з редуктором; 2 – бункер з дозувальним пристроєм;
3 — шнек ; 4 – циліндр з розтопленою пластмасою; 5 – заготовка; 6 — прес-форма

Пресування листів і плит здійснюється на багатоярусних гідравлічних пресах між плитами, що підігріваються парою. Листовий матеріал (папір, тканину, шпон), просочений смолами, укладають на металеві пластини (яруси) у вигляді пакетів. Тиск до необхідної величини підіймається поступово. Смола під дією температури і тиску плавиться, заповнює пори і порожнини, з'єднуючи окремі шари наповнювача у суцільний лист або плиту. Одночасно йдуть складні реакції полімеризації та твердіння смоли. Так отримують листи і плити з гетинаксу, текстоліту, азботекстоліту, деревинно-шаруватого пластика тощо. З таких заготовок виготовляють деталі обробленням різанням.

У вискоеластичному стані переробляють листові термопласти (з оргскла, вініпласту, полістиролу, поліпропілену та ін.) методом формування з метою отримання з них крупногабаритних заготовок. При цьому головними проблемами формування є: певна крихкість та анізотропія властивостей пластмас, низька твердість, внаслідок чого поверхня виробів легко псується елементами формувального обладнання.

До основних способів такого формування відносяться пневматичне та вакуумне формування та штампування.

При *пневматичному формуванні* вихідну листову заготовку з термопластичного матеріалу нагрівають і затискають між матрицею та притискним колектором (рис. 7.3, а). Заготовка набуває форму матриці за

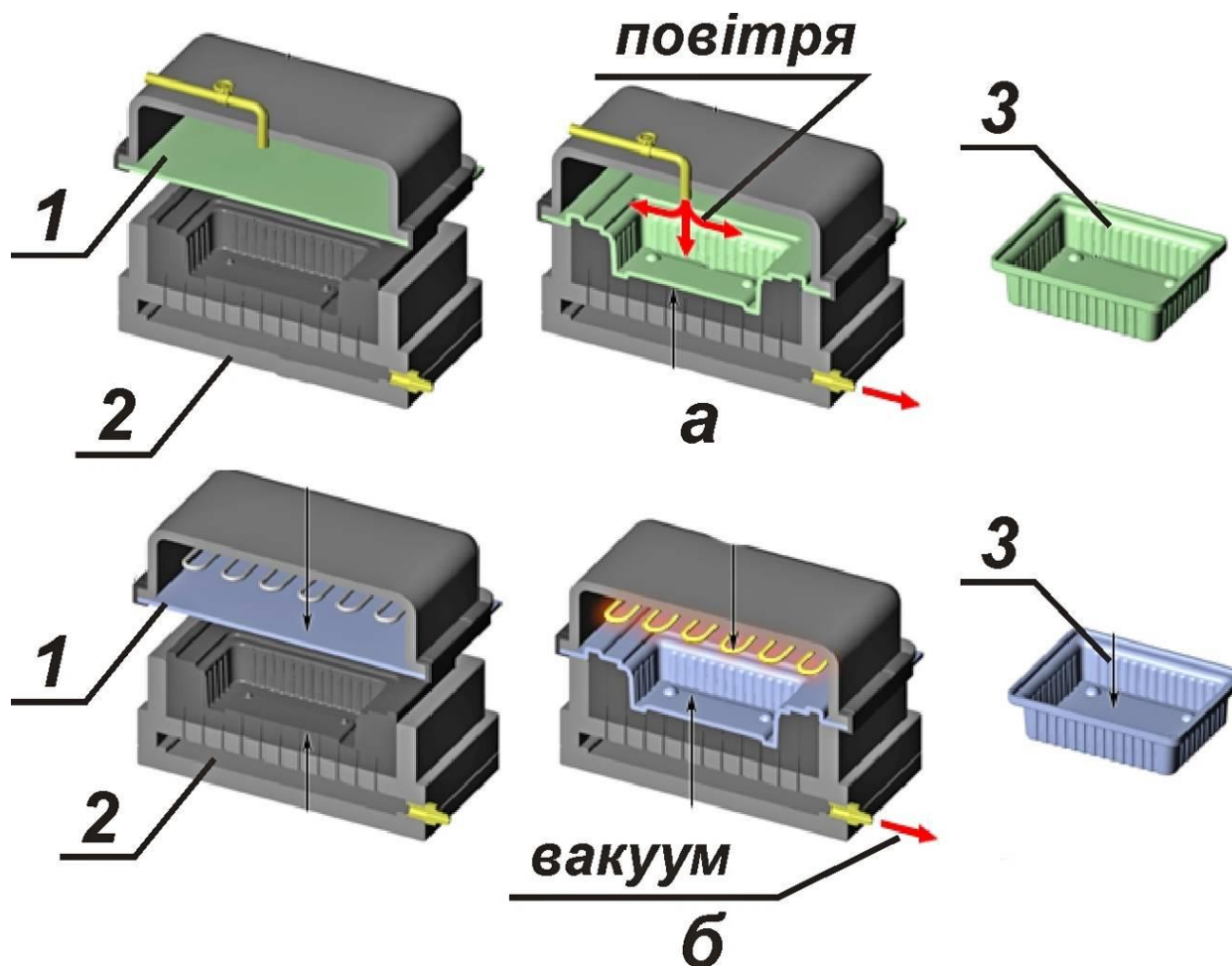


Рис. 7.3 Схема пневматичного (а) та вакуумного (б) формування заготовок з листових пластмас:

1 – термопласт; 2 – матриця; 3 – заготовка

допомогою стисненого повітря, який подається у колектор під тиском до 2,5 МПа. Для заготовок типу сфер формування може здійснюватися без матриці, лише за допомогою опорного кільця. Так виготовляють порожнисті заготовки (баки, пляшки, кришки, контейнери) товщиною 1,5...4,0 мм.

Вакуумне формування (рис. 7.3, б) здійснюється аналогічно пневматичному. Відмінність полягає у тому, що з порожнини між матрицею і заготовкою відсмоктується повітря, а власне формування відбувається за

рахунок атмосферного тиску. Цей спосіб застосовують для виготовлення простих за формою, невеликих за розмірами і неглибоких заготовок товщиною до 2 мм.

Штамування – це процес формування нагрітих листових термопластів у формах-штампах при двобічному контакті матеріалу з формою, тобто з пуансоном і матрицею (рис. 7.4). Для зменшення небезпеки псування поверхні виробу деталі штампів виготовляються з текстоліту, дерева, ДШП або металів при обклеюванні їхньої поверхні м'якими матеріалами. Штамування застосовують для виготовлення неглибоких виробів типу дашків, скельць освітлювальних приладів тощо.

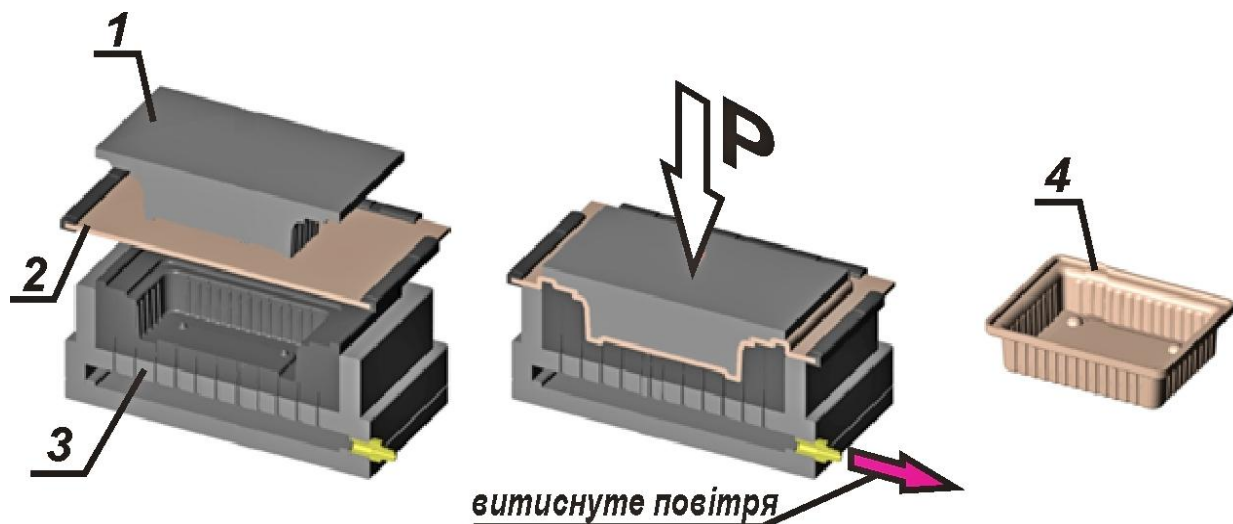


Рис. 7.4 Схема штамування заготовок з листових пластмас:
1 – пуансон; 2 – термопласт у в'язкотекучому стані; 3 – матриця; 4 – заготовка

Виробництво заготовок з рідких полімерів ґрунтується на тому, що смоли, які знаходяться у рідкому стані при кімнатній температурі, твердіють при тій же температурі при додаванні затвердників і дії незначного тиску або взагалі без нього. З цих смол найширше застосування знайшли поліефірні та епоксидні смоли, які добре сполучаються зі скловолокном або склотканиною.

Існує декілька способів формування заготовок з рідких полімерів. У загальних рисах технологія виробництва полягає у тому, що на робочу поверхню форми (шаблону), яка відповідає за конфігурацією майбутньому виробу, наносять шар за шаром склотканину або намотують скловолокно,

одночасно просочуючи їх смолою. Можливе спільне нанесення подрібненого наповнювача і смоли за допомогою пульверизатора. Процес повторюється кілька разів залежно від того, яку товщину стінки треба мати. Після цього дається витримка 10...12 год. для твердіння заготовки.

Таким чином виготовляють заготовки досить великих корпусних деталей: кришки, контейнери, труби, корпуси човнів, автомобільні крила тощо.

7.3 Формування пластмасових заготовок

Вимоги до формування заготовок з пластмас та відпрацювання їх на технологічність обумовлені здатністю пластмаси заповнювати порожнини прес-форми та можливістю видалення виробів з прес-форм після твердіння. Тому, формуючи заготовку, необхідно знати основні рекомендації, вироблені практикою, з оформлення товщин стінок, радіусів заокруглень, зовнішніх та внутрішніх поверхонь, дрібних елементів типу потовщень чи стоншень, отворів, різей та інших особливостей конструкції, які, як правило, впливають з можливостей технології.

Товщина стінок. При проектуванні пластмасових заготовок необхідно забезпечити їхню рівностінність. На рис. 7.5 наведені приклади створення рівностінних заготовок за рахунок ліквідації локальних потовщень та зниження товщини стінок. При збільшенні товщини стінок зростає тривалість витримки виробів у прес-формі і небезпека жолоблення їх у процесі пресування. При литті під тиском у товстих перерізах можуть утворюватись повітряна та усадкова пористості. Рекомендовані товщини стінок наведені у табл. 7.1.

При пресуванні малогабаритних заготовок зі скловолокнистим наповнювачем та при литті під тиском поліамідів товщину стінок можна зменшити до 0,3 мм, оскільки ці матеріали мають підвищені механічні властивості.

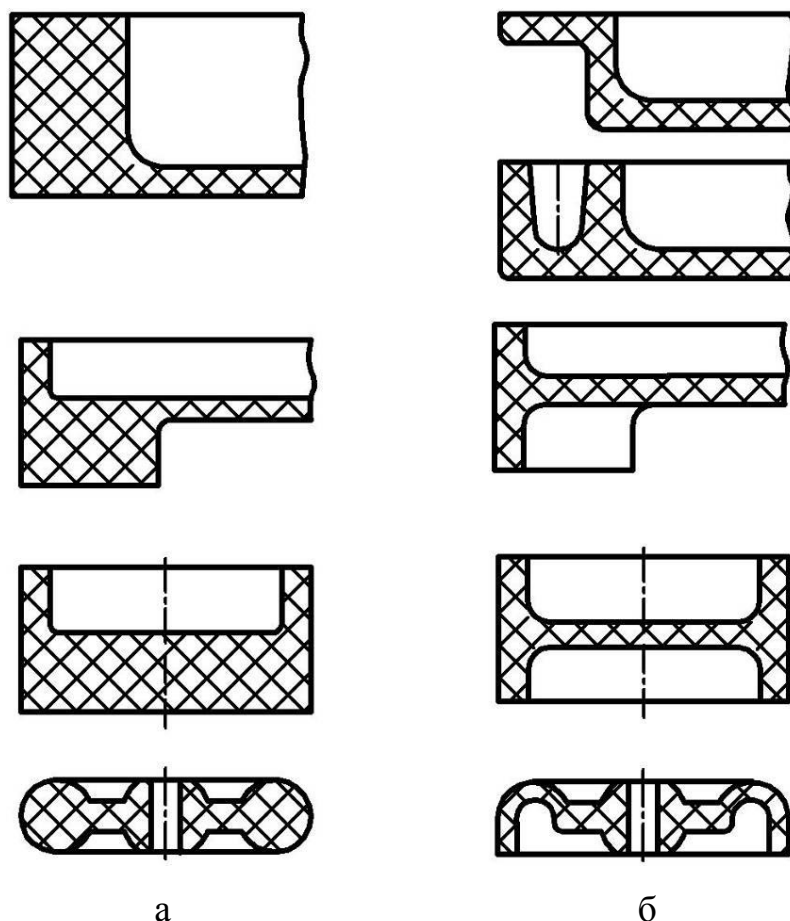


Рис. 7.5 Приклади усунення локальних потовщень:
а – нетехнологічно; б – технологічно

Таблиця 7.1 Товщина стінок пластмасових заготовок, мм

Матеріал	Габаритні розміри заготовки, мм				
	До 20	20...50	50...100	100...250	Понад 250
Прес-порошки: - фенопласти - амінопласти	0,8...1,0	1,0...1,5	1,5...3,0	3,0...5,0	5,0...6,0
	0,5...0,8	0,8...1,0	1,0...2,5	2,5...4,0	4,0...6,0
Волокнисті прес-матеріали	0,4...0,5	0,5...1,0	1,0...3,5	3,5...6,0	6,0...8,0
Термопласти	0,4...0,5	0,5...1,0	1,0...1,5	1,5...2,0	2,0...3,0

Міцність та жорсткість деталей рекомендується підвищувати шляхом застосування ребер жорсткості (рис. 7.6), товщина яких у найбільшому перерізі не повинна перевищувати товщину основної стінки δ (рис. 7.6, в). Для круглих деталей не рекомендуються концентричні та суцільні радіальні ребра жорсткості, оскільки вони заважають усадці.

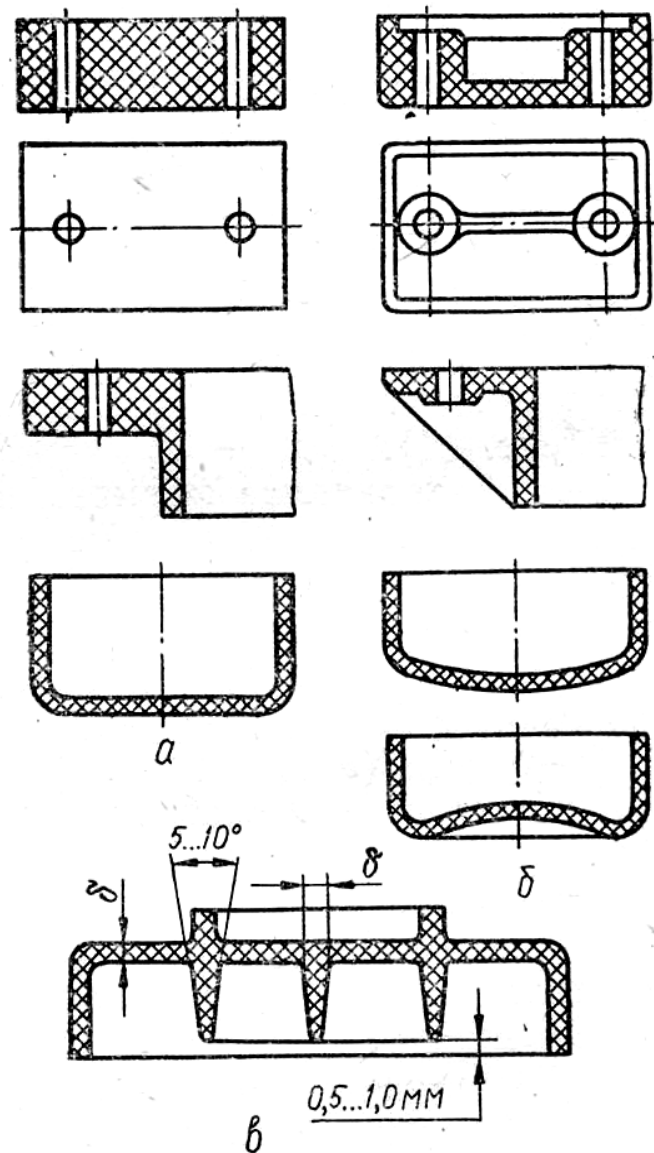


Рис. 7.6 Підвищення міцності деталі за допомогою ребер жорсткості: а – нетехнологічно; б – технологічно; в – конфігурація перерізу ребер жорсткості, що рекомендується

Радіуси заокруглень у місцях сполучення поверхонь покращують заповнюваність прес-форми та зовнішній вигляд деталей. Гострі кромки допустимі лише на поверхнях, по яким проходить площина розніму прес-форми. Після зачищення облою на цих кромках утворюють фаски величиною 0,2...0,3 мм.

Міцність корпусних деталей підвищується з плавним потовщенням стінок у місцях заокруглень (рис. 7.7), яке досягається сполученням зовнішніх і внутрішніх поверхонь однаковими радіусами зі зміщеними

центрами. Радіус R повинен бути більше половини товщини стінки δ . Для термореактивних матеріалів мінімально допустиме значення радіусу заокруглення 0,5 мм. Для термопластичних матеріалів з підвищеною в'язкістю типу полістиролу або поліметилметакрилату допускається мінімальний радіус 0,8 мм.

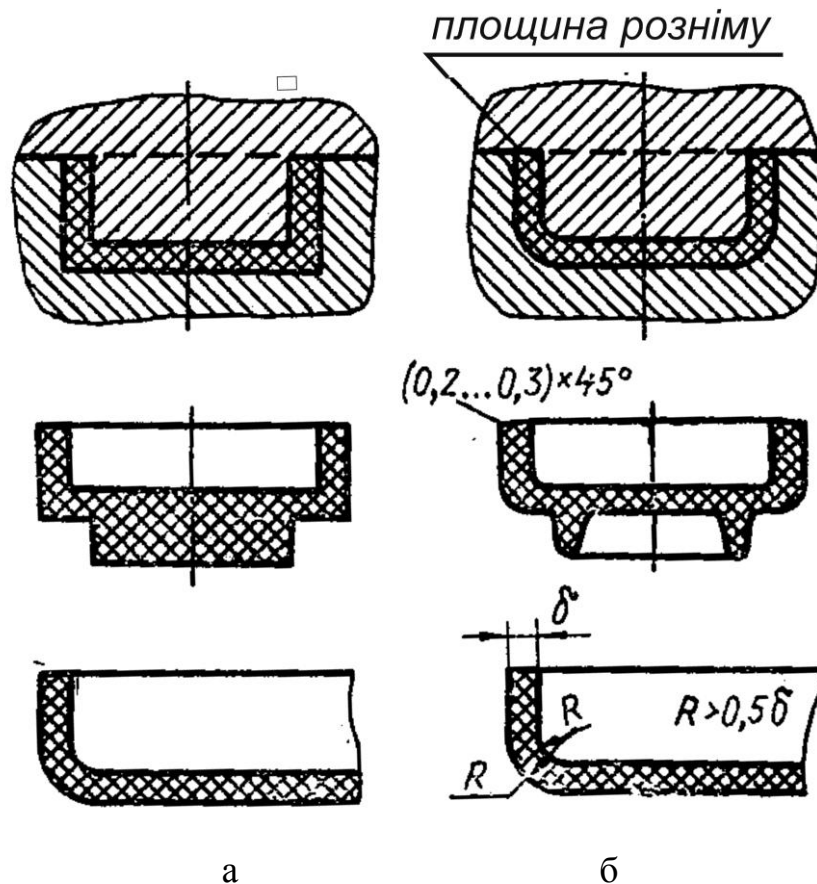


Рис. 7.7 Приклади оформлення радіусів заокруглень:
а – нетехнологічно; б – технологічно

На зовнішніх і внутрішніх бокових поверхнях стінок слід передбачати *технологічні нахили* у напрямку площини розніму (рис. 7.8), які полегшують видалення заготовок з прес-форми. Кут нахилу (табл. 7.2) впливає на розмірну точність елементів заготовки, які лежать у площині розніму або перпендикулярних напрямку переміщення рухомих частин прес-форми.

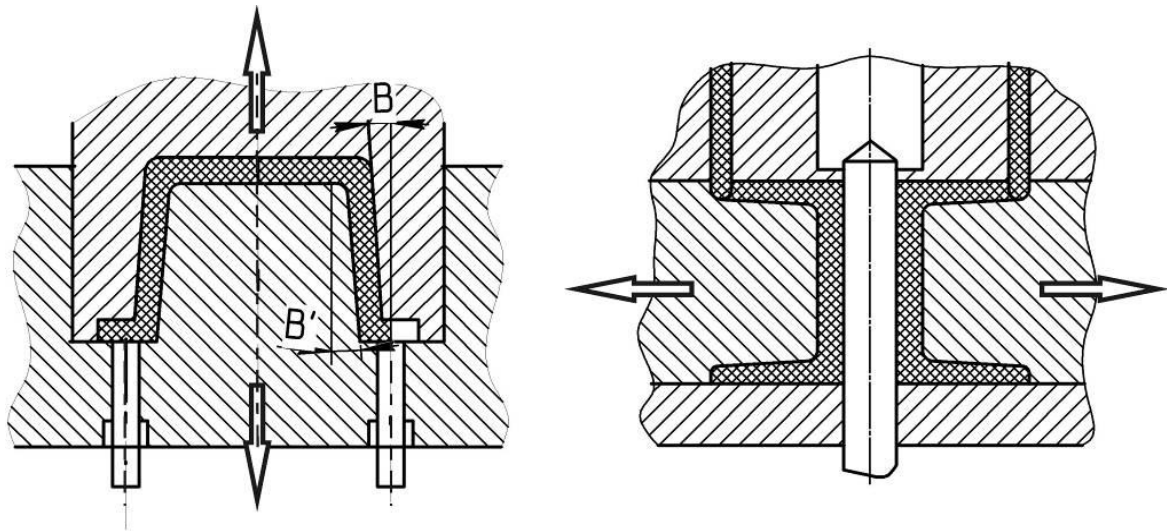


Рис. 7.8 Розташування технологічних нахилів у залежності від напрямку рознімання прес-форми

Таблиця 7.2 Рекомендовані нахили для різних поверхонь пластмасових заготовок

Види поверхонь	Стінки заготовки	
	тонкі та сполучувані	інші
Зовнішні	15°	30°...1°
Внутрішні	30°	1...2°
Отвори глибиною до 1,5d	15°	30°...45°
Ребра жорсткості, виступи, бобишки та інше	2°, 3°, 5°, 10°	

Оформлення поверхонь. На бокових поверхнях пластмасових деталей недопустимі піднутріння, які перешкоджають розніманню прес-форми та видаленню виробу (рис. 7.9).

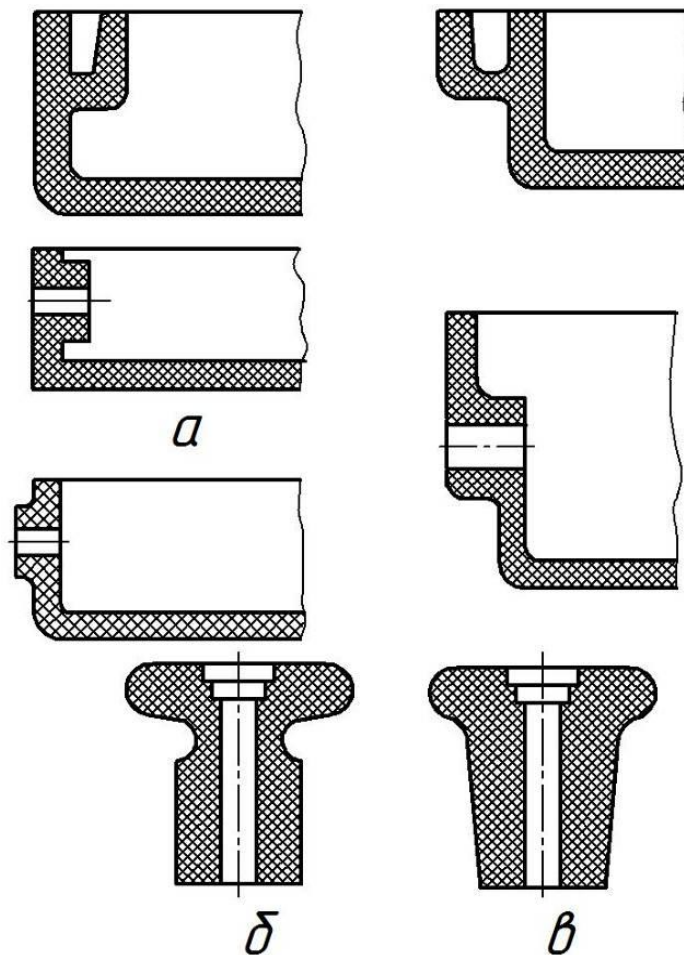


Рис. 7.9 Приклади усунення зовнішніх і внутрішніх піднутріль:
а, б – нетехнологічно; в – технологічно

Бобишки на зовнішніх бокових поверхнях (рис. 7.9, б) допустимі лише при наявності додаткового вертикального розніму, що значно ускладнює конструкцію прес-форми. Приклади усунення піднутріль і виступів показані на рис. 7.9, в.

Опорні поверхні великих розмірів рекомендується замінювати опорними площинками, буртиками, виступами по периметру (рис. 7.10), що підвищує жорсткість деталей, знижує їх жолоблення і сприяє щільному примиканню сполучуваних поверхонь.

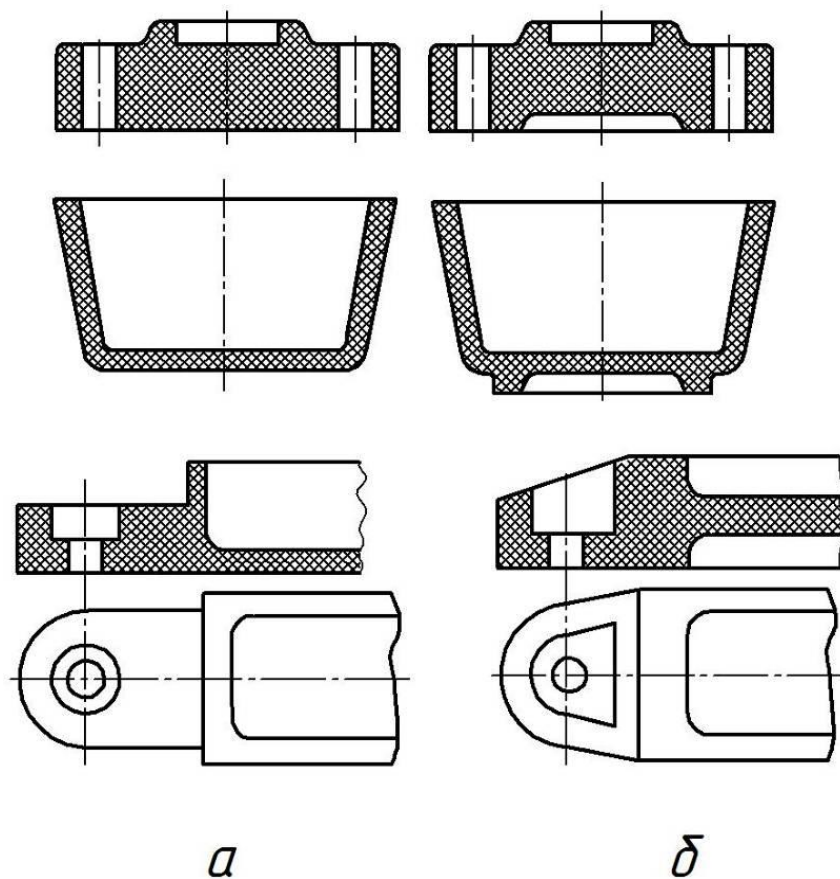


Рис. 7.10 Оформлення опорних поверхонь:
а – нетехнологічно; б – технологічно

З метою полегшення видалення облою слід зменшувати кількість площин розніму і розташовувати лінію утворення облою на ділянках простої конфігурації.

Отвори. Розміри отворів у пластмасових заготовках призначають точно так, як і для металевих виробів. При цьому необхідно враховувати можливість виникнення напружень внаслідок утрудненої усадки. Допустима глибина отвору h залежить від його діаметра d і методу виготовлення заготовки (табл. 7.3).

Рекомендовані мінімальні значення діаметра отвору d_{\min} при глибині $h \leq 2d$: для поліамідів – 0,5 мм; інших термопластів – 0,8 мм; скловолокнитів – 1,0 мм; прес-порошків – 1,5 мм; текстолитів – 2,5 мм.

Таблиця 7.3 Граничні співвідношення глибини і діаметра отворів h/d у залежності від методу виготовлення заготовок

Діаметр отвору d , мм	Пряме гаряче пресування		Литтєве гаряче пресування, лиття під тиском	
	Отвори			
	наскрізні	глухі	наскрізні	глухі
До 3	2,5	1,2	5	2
Понад 3 до 6	3	1,3	6	2,5
Понад 6 до 10	4	1,4	8	3
Понад 10	5	1,5	10	4

Різь. Пресуванням і литтям під тиском можна виготовити різеві елементи заготовок, які не потребують подальшого механічного оброблення. Не рекомендуються для пластмасових деталей прямокутні різі та різі з кроком менше 0,4 мм внаслідок їхньої недостатньої міцності. Мінімально допустимий діаметр різі для заготовок з термопластів і волокнистих прес-матеріалів 2 мм, а для деталей з прес-порошків – 3 мм. Бажано, щоб довжина різі не перевищувала двох її діаметрів.

Для зміцнення різі необхідно передбачити циліндричні пояски висотою h біля заходу і h_1 на виході витків (рис. 7.11).

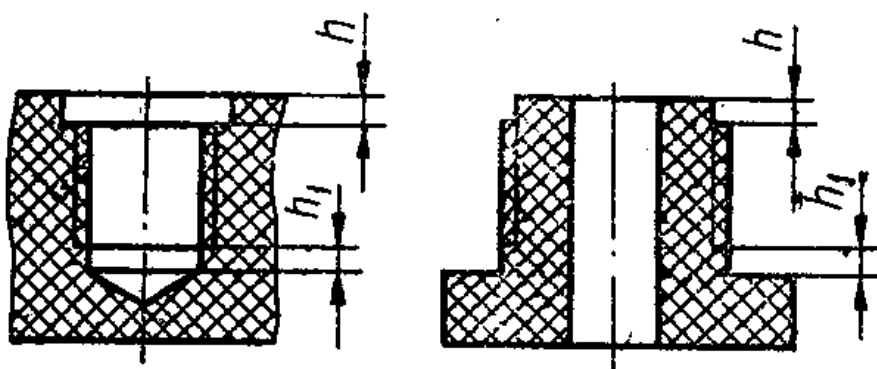


Рис. 7.11 Оформлення різей

У пластмасових заготовках з різями різних діаметрів рекомендується брати однаковий крок різі з метою спрощення конструкції прес-форми.

Армування пластмас металевими елементами значно підвищує сферу застосування пластмасових виробів.

Найпоширеніша арматура: штифтова (гладкі та різеві шпильки, гвинти), втулкова (рівні та різеві втулки), плоска (пелюстки, контакти) і дротяна (рис. 7.12, а). Для попередження повертання або виривання з виробу на штифтовій арматурі роблять наконечня або кільцеві виточки (рис. 7.12, б, 1, 2), на плоскій – отвори або вирізи (рис. 7.12, б, 6), на дротяній – розплющування або вигини арматури (рис. 7.12, б, 3, 4, 5).

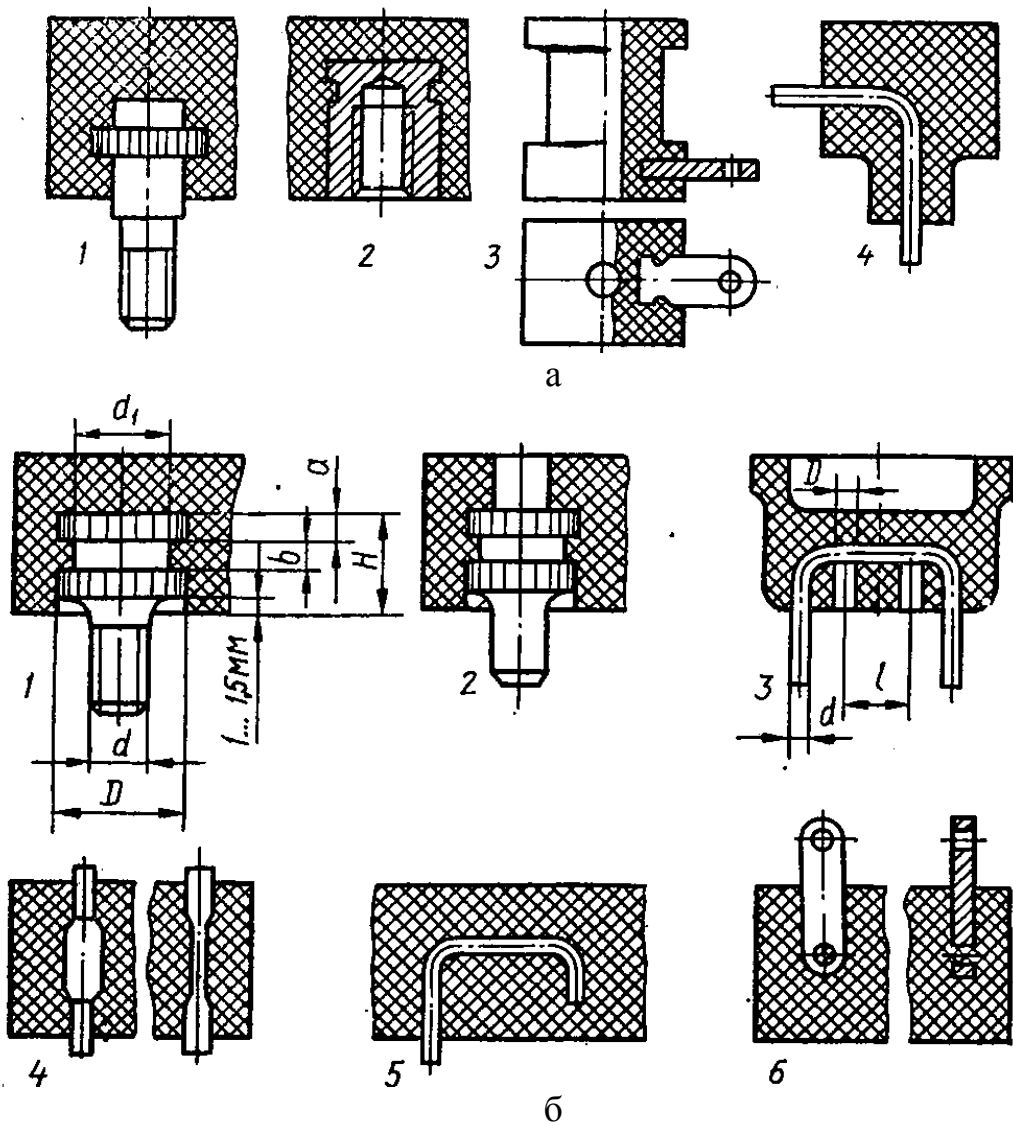


Рис. 7.12 Арматура і способи її закріплення:
 а – типи арматур: 1 – штифтова; 2 – втулкова; 3 – плоска; 4 – дротяна;
 б – закріплення арматури: 1, 2 – наконечня і кільцева виточка; 3, 6 – фіксування через технологічні отвори; 4, 5 – розплющення і згинання дротяної арматури

Щоб попередити виникнення тріщин, переріз металеві арматури повинен бути невеликим у порівнянні з перерізом пластмаси і

розташовуватися симетрично відносно останнього. Арматура не повинна знаходитися близько до краю або до поверхні заготовки, щоб уникнути здуття пластмаси.

Написи та малюнки на пластмасових заготовках слід робити опуклими, що спрощує виготовлення прес-форми. З метою усунення викришування висота шрифту або малюнку не повинна перевищувати 0,2 мм. Якщо треба збільшити висоту шрифту, напис притоплюється нижче поверхні заготовки.

7.4 Якість заготовок з пластмас

Якість пластмасових заготовок визначається головним чином отриманими точністю розмірів та шорсткістю поверхонь.

Точність розмірів заготовок з пластмас залежить від усадкової деформації та розмірної стабільності матеріалу. При оцінці точності розмірів заготовок з пластмас необхідно враховувати додатково вплив технологічних нахилів, які можуть позначатися на поверхнях заготовки, паралельних напрямку замикання форми.

Точність для розмірів елементів заготовок, які формуються в одній з частин форми, може знаходитися у межах 7...17-го квалітетів. При цьому найвища точність досягається у дрібних заготовок (розмірами 1...50 мм), виготовлених з матеріалів з мінімальним (до 0,1%) коливанням усадки та нульовим технологічним нахилом. Точність виготовлення заготовок з різних матеріалів наведена у табл. 7.4.

Допуски і посадки на гладкі деталі з пластмас розміром 1...500 мм, які сполучаються з металевими або пластмасовими деталями, регламентовані стандартами. При цьому слід пам'ятати, що граничні відхилення і допуски встановлені для деталей, які працюють при температурі 20°C і відносній вологості повітря 65%. Пластмаси у порівнянні з металами відрізняються великою розмірною чутливістю. Тому експлуатація пластмасових сполучень в умовах значних перепадів температур небажана.

Таблиця 7.4 Точність виготовлення заготовок з пластмас

Вид матеріалу		Квалітети точності залежно від матеріалу					
		8...10	10...11	11...13	12...14	14...15	15...16
Реактопласти:	прес-порошки	—	—	ОФП-6, ФКПМ	К-114-35, К-211-3	К-17-81 К-18-82	—
	волокнити	—	К-6, КФ-3, КФ-3Н	Фаоліт, ФГ-4, текстоліт, ТВФЭ-2	К-18-36, моноліти, амініпласт, волокнит К-41-5	КМК-9, КМК-218	—
Термопласти		Сополімери полістиролу МС2, МС3 МСН; полідіхлорстирол	АК-7	Сополімер полістиролу СНП; поліаміди 54, 68, 548; поліуретан ПУ-1	Полістирол блоковий; полівінілхлорид	Полістирол емульсійний; поліпропілен	Етроли УДТ, АБЦЭ

Примітка: Указані у таблиці квалітети належать заготовкам нормальної та підвищеної точності. Для заготовок невідповідальних деталей вимоги точності доцільно знижувати до 14...17-го квалітетів.

Шорсткість поверхні пластмасових заготовок залежить від якості оброблення прес-форм, виду наповнювача та технологічних режимів формування. Параметр шорсткості поверхонь заготовок, які виготовляються литтям під тиском і пресуванням, відповідає $R_a = 1,25...0,32$ мкм, а в окремих випадках досягає $R_a = 0,32...0,08$ мкм. На шорсткість поверхні значною мірою впливає знос формотвірних елементів прес-форми.

При механічному обробленні якість поверхні пластмасових виробів погіршується. Параметр шорсткості R_a поверхонь, оброблених різальним інструментом, визначається кресленням деталі та звичайно відповідає $R_a = 40...20$ мкм.

Якщо на поверхнях заготовки неможливо або економічно недоцільно одержати точність, яку вимагає конструктор для деталі, то на такі поверхні слід передбачати припуски, які залежать від способу оброблення заготовки, її матеріалу, а також її форми та розмірів. Орієнтовні значення припусків на бік для різних матеріалів коливаються у межах: для точіння – 0,1...2,5; фрезерування – 1...4; шліфування – 0,3...0,4 мм.

Контрольні запитання

1. Опишіть переваги, недоліки і сфери застосування пластмас.
2. Дайте характеристику реактопластів і термопластів. У чому їх принципова відмінність?
3. Назвіть і охарактеризуйте основні способи виготовлення заготовок з пластмас.
4. Які вимоги пред'являються до конструктивного оформлення поверхонь стінок, радіусів заокруглень, отворів, різей і чим вони зумовлені?
5. Назвіть чинники, які впливають на розмірну точність і шорсткість поверхонь заготовок з пластмас.
6. В яких випадках і в яких межах призначають припуски на механічне оброблення заготовок з пластмас?

8 Вибір технології виробництва заготовок

8.1 Основні принципи вибору технології виробництва заготовок

У створенні виробів, їх деталей і заготовок на різних стадіях беруть участь конструктори і технологи. Причому їхня роль у виробництві заготовок багато у чому залежить від типу деталей, які умовно можна поділити на дві групи.

Першу групу становлять деталі, виготовлення яких можливе тільки з одного виду заготовок. Це, перш за все, зумовлено властивостями матеріалу, розмірами та конфігурацією деталей. Сюди належать деталі з чавуну, які можуть бути виготовлені лише литтям, (наприклад, станини верстатів), а також тонкостінні деталі коробчастої конструкції (рамі), які доцільніше отримувати зварюванням з окремих елементів, деталі з порошкових матеріалів та ін. Вирішальна роль у виборі виду і способу технології виготовлення заготовок для деталей цієї групи належить конструктору.

Другу групу становлять деталі, виготовлення яких можливе з різних видів заготовок: виливків, поковок, прокату та ін. Типовими представниками цієї групи є вали, зубчасті колеса, важелі та ін.

Найскладнішим є питання виробу заготовок і способів їх виготовлення для деталей саме другої групи. Переважна роль у вирішенні цього питання належить технологу.

Одним з основних принципів, яким керуються конструктори і технологи при визначенні технології виготовлення заготовки, є орієнтація на такий метод, який забезпечує максимальне наближення її за формою і розмірами до готової деталі. У цьому випадку істотно скорочуються витрати металу, обсяг механічного оброблення і виробничий цикл виготовлення деталі. Проте при цьому у заготівельному виробництві збільшуються витрати на технологічне обладнання і оснащення, їх ремонт і обслуговування. Тому при виборі способу виготовлення заготовок необхідно проводити техніко-

економічний аналіз обох етапів виробництва деталі: і заготівельного, і оброблення заготовки різанням. Принципи і способи техніко-економічного оцінювання методів виробництва заготовок наведені у гл. 9.

Розроблення технологічних процесів виготовлення заготовок повинно здійснюватися на основі технічного і економічного принципів. Згідно з технічним принципом обраний технологічний процес повинен повністю забезпечити виконання всіх вимог креслення і технічних умов на заготовку. Згідно з економічним принципом виготовлення заготовки повинне вестись з мінімальними виробничими витратами.

З кількох можливих варіантів технологічного процесу при інших рівних умовах обирають найекономічніший; при рівній економічності — найпродуктивніший. Якщо ставляться спеціальні завдання (наприклад, терміновий випуск якої-небудь важливої продукції), вирішальними можуть виявитися інші чинники — вища продуктивність, мінімальний час підготовки виробництва тощо.

8.2 Чинники, що впливають на вибір технології виробництва заготовок

8.2.1 Форма і розміри заготовки

Найскладніші за конфігурацією заготовки можна виготовляти різними методами лиття. Лиття у піщані форми і за витоплюваними моделями дозволяє одержувати заготовки складної зовнішньої конфігурації з різноманітними за формою порожнинами і отворами. Тим часом деякі методи лиття у багаторазові форми (наприклад, лиття під тиском) висувають певні обмеження щодо зовнішньої форми виливка і отворів, а також умов його виготовлення.

Заготовки, виготовлені куванням і штампуванням, повинні бути простішими за формою. Виготовлення отворів і порожнин при цьому у низці випадків ускладнене і можливе лише у напрямку руху робочого органу

обладнання, а використання напусків різко збільшує обсяг подальшого механічного оброблення.

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

Для лиття і кування розміри заготовки обмежуються тільки можливостями даного підприємства. Нерідко обмежувальним параметром у цьому випадку є певні мінімальні розміри (наприклад, мінімальна товщина стінки вилівка, мінімальна маса поковки). Штампування і більшість спеціальних методів лиття обмежують масу заготовки (до кількох десятків або сотень кілограмів).

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

8.2.2 Вимоги до точності розмірів та якості поверхневого шару заготовок

Потрібна точність геометричних форм і розмірів заготовок істотно впливає на їх собівартість. Чим вищі вимоги до точності виливків, поковок та інших заготовок, тим вища вартість їх виготовлення. Це визначається головним чином збільшенням вартості формотвірного оснащення (моделі, штампи, прес-форми), зменшенням допуску на його спрацювання, використанням обладнання з вищими параметрами точності (а отже, й дорожчого), збільшенням витрат на його утримання і експлуатацію. В оптових цінах на заготовки це подорожчання виражається у вигляді надбавок до базової ціни. Розміри надбавок становлять для виливків 3...6%, для

поковок — 5...15%. Перехід до деяких спеціальних методів лиття та штампування підвищує ціну заготовок у 2...10 разів.

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

Як приклад порівнюємо заготовки, виготовленні литтям у піщані форми і під тиском. У першому випадку виготовляють виливки з грубими неточними поверхнями. При обробленні такої заготовки різанням виникає нерівномірне навантаження на інструмент, що у свою чергу знижує точність оброблення. Особливо яскраво це проявляється при обробленні внутрішніх поверхонь.

У другому випадку одержують заготовки вищої точності з низькою висотою мікронерівностей її поверхонь, але у зв'язку з великою швидкістю охолодження і відсутністю піддатливості у поверхневому шарі металу створюються залишкові напруження розтягу. Останні можуть призвести до жолоблення вилівка і тріщин. Іноді залишкові напруження виявляються не відразу, а лише при подальшому механічному обробленні. Знімання шару металу з поверхні порушує рівновагу напружень і призводить до деформування готової деталі.

8.2.3 Технологічні властивості матеріалу заготовки

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

Технологічні властивості впливають на собівартість виготовлення заготовок. Наприклад, зміна при виготовленні вилівка чавуну на сталь підвищує собівартість лиття (без урахування вартості матеріалу) на 20...30%. Застосування легованих і високовуглецевих сталей замість низьковуглецевих при виробництві заготовок штампуванням підвищує вартість їх виготовлення на 5...7%.

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

8.2.4 Розмір виробничої партії заготовок

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

$$C_{\Pi} = a\Pi + b \quad (8.1)$$

або однієї заготовки:

$$C_1 = a + b/\Pi, \quad (8.2)$$

де a – поточні витрати (вартість використаного матеріалу, заробітна плата основних робітників, витрати на експлуатацію обладнання і інструменту тощо); b – одноразові витрати (на придбання або виготовлення обладнання, інструменту; його амортизацію та ремонт); Π – розмір виробничої партії, шт.

Очевидно, що збільшення розміру партії веде до зниження собівартості заготовки. Проте таке зниження відбувається не однозначно. Збільшення виробничої партії понад критичне значення Π_1 вимагає введення додаткового обладнання або технологічного оснащення. Залежність собівартості від розмірів партії набуває у цьому випадку складнішого (ступінчастого) характеру (рис. 8.1).

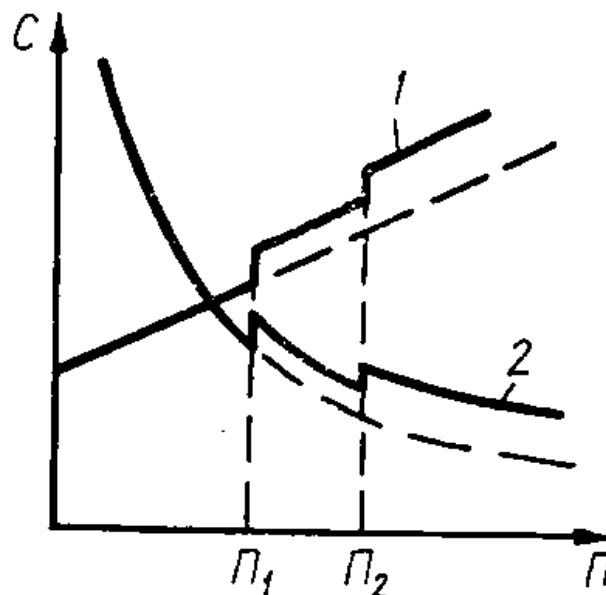


Рис. 8.1 Залежність собівартості C партії заготовок (1) і однієї заготовки (2) від розміру виробничої партії Π ; Π_1, Π_2 – критичні значення розмірів партії

Порівняння двох (або кількох) варіантів технологічних процесів виготовлення заготовок можна здійснити графічно (рис. 8.2). Точка перетину дає розмір критичної виробничої партії Π_k , яка поділяє сфери раціонального застосування двох технологічних процесів.

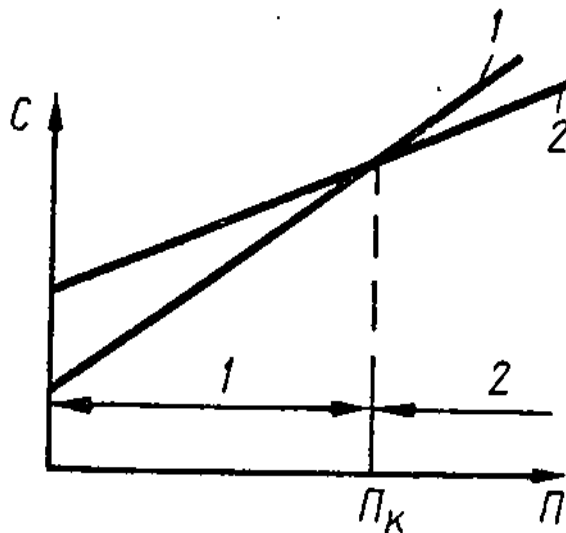


Рис. 8.2 Порівняння собівартості технологічних процесів виготовлення заготовки (варіанти 1 і 2) у залежності від розміру виробничої партії

Програма випуску дозволяє також визначити межі економічно доцільних галузей застосування тих чи інших способів виготовлення заготовок (рис. 8.3).

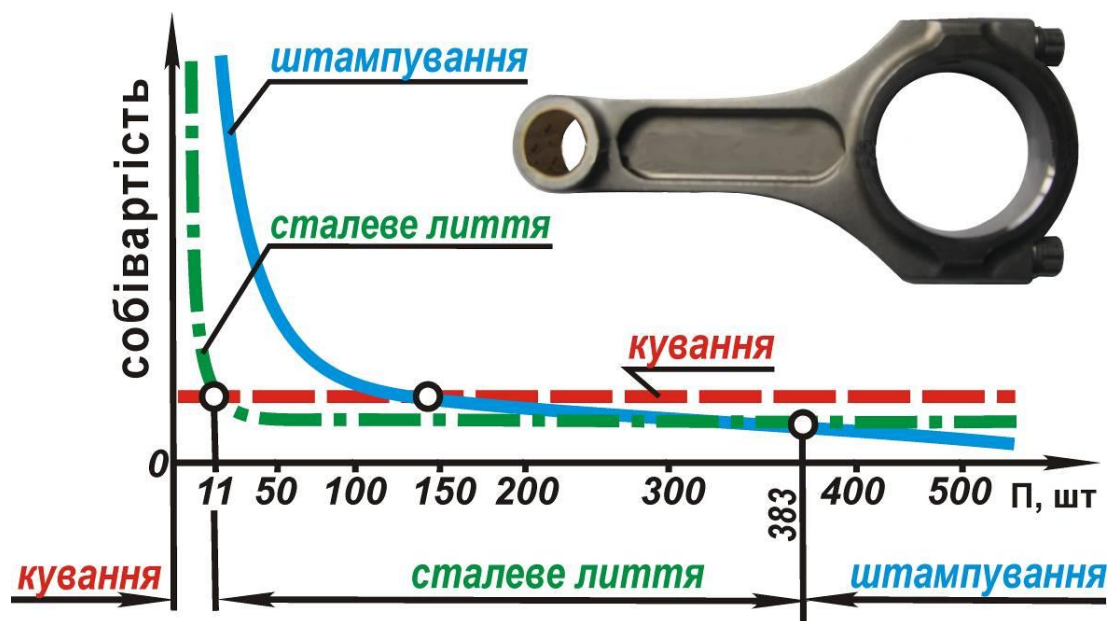


Рис. 8.3 Залежність собівартості заготовки (повідок) від методу її виготовлення та розміру виробничої партії

8.2.5 Виробничі можливості підприємства

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

При проектуванні технологічного процесу для *чинного* підприємства треба зорієнтувати його на можливості цього підприємства. Для цього необхідно мати відомості про тип і кількість наявного обладнання, його завантаженість, виробничі площі, можливості ремонтної бази тощо. Слід також урахувати, що названі вище чинники взаємопов'язані. Наприклад, впровадження лиття у металеві форми (кокіль) дозволяє значно знизити потребу у виробничих площах у ливарному цеху (зменшуються габаритні розміри машин, знижується витрата формувальних матеріалів тощо). Але, з іншого боку, виготовлення та ремонт кокілей вимагає додаткових витрат в інструментальних і ремонтних цехах.

Певний вплив на вибір способу виготовлення заготовки справляють також наявність та рівень кваліфікації робітників та інженерно-технічних працівників (ІТП). Чим нижча кваліфікація робітників і більша виробнича програма, тим детальніше необхідно розробляти технологічну документацію, тим більше навантаження на технологічні служби підприємства і вищі вимоги до кваліфікації ІТП.

8.2.6 Тривалість технологічної підготовки виробництва

У процесі технологічної підготовки виробництва вирішуються такі завдання: технологічне проектування (розроблення технологічних процесів, маршрутних карт і т. п.); технологічне нормування (розрахунок трудомісткості операцій і матеріаломісткості деталей, видів та кількості необхідних оснащення і робочої сили); проектування і виробництво спеціального обладнання і технологічного оснащення.

Складність періоду технологічної підготовки виробництва полягає у тому, що всі роботи повинні вестись у найкоротші строки з мінімальною трудомісткістю і вартістю. Продовження періоду підготовки виробництва може призвести до морального застаріння виробу і зниження фондівіддачі капіталовкладень. Тому технологічну підготовку бажано починати ще під час проектування виробу.

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

8.2.7 Можливості механізації та автоматизації технологічних процесів виробництва заготовок

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

У ливарному виробництві в умовах серійного та масового виробництва застосовується машинне формування, яке забезпечує механізоване або напівавтоматичне виготовлення ливарних форм і стрижнів. При машинному формуванні механізується: встановлення опок і стрижньових ящиків на

машину, засипання та ущільнення формувальної (стрижньової) суміші, видалення моделі з форми або стрижнів зі стрижньового ящика, транспортування і складання ливарної форми.

Основною операцією машинного формування є ущільнення формувальної суміші в опоці. Найбільше поширення отримали такі методи ущільнення: пресуванням, струшуванням, плівково-вакуумним формуванням та ін.

Загальним недоліком пресових машин є обмеження висоти опок (а отже й моделей) до 250...300 мм у зв'язку з нерівномірністю ущільнення по висоті. Струшувальні машини обмежені розмірами (загальною масою) опоки. Вони дають якісну щільність суміші лише у нижніх шарах опоки, біля моделі. Пресово-струшувальні машини досконаліші у порівнянні з пресовими та струшувальними. У них суміш ущільнюється комбінованим способом: струшуванням з наступним підпресовуванням, щоб забезпечити рівномірніший розподіл щільності суміші по висоті опоки.

Для виготовлення стрижнів часто використовуються піскодувно-пресові машини, які мають високу продуктивність і, на відміну від струшувальних і пресово-струшувальних, безшумні під час роботи.

Для виготовлення крупних форм (розмір опоки більше 1 м) та стрижнів застосовують стаціонарні та пересувні пісcomedети, які мають систему подавання суміші за допомогою стрічкових транспортерів, і робочий орган — металеву головку, яка викидає грудки суміші в опоку на модель або модельну плиту.

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

стрижнів, пристроями для вибивання виливків, для транспортування вибитої суміші та пустих опок і т. д.

Головним недоліком конвеєрної системи є участь людини у виконанні монотонних одностипних операцій: виготовлення нижньої і верхньої півформ, встановлення стрижня, складання форми, заливання металу в форму і т. п.

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

Маніпулятор – пристрій для захоплювання і переміщення заготовки у просторі. Маніпулятори мають виконавчу руку з захоплювальним пристроєм, що має декілька ступенів рухомості. Ковальські маніпулятори керуються людиною-оператором.

Промислові роботи, які застосовуються у ковальсько-штампувальному виробництві, найчастіше становлять роботи-маніпулятори з переналагоджуваною програмою дій. Промислові роботи характеризуються вантажопідіймальністю та точністю позиціонування його робочої руки. Вони використовуються для маніпуляцій із заготовками, відходами виробництва і служать для виконання нудної та монотонної роботи людини, підвищення продуктивності та якості продукції.

Роботизований технологічний комплекс – це сукупність одиниць технологічного обладнання (наприклад, преса або молота, одного або декількох промислових роботів та ін. оснащення), яка функціонує автоматично і багаторазово здійснює певні цикли роботи під дією диспетчерської числової програми керування (ЧПК). Система ЧПК керує

рухами маніпулятора- робота, обертанням захоплювача з заготовками, рухами бойка преса (молота). Звичайно система ЧПК дозволяє чергування автоматичного режиму керування процесом кування (штампування) з ручним, оскільки повна автоматизація технологічного процесу викликає значні труднощі. Приклад РТК при листовому штампуванні наведений на рис. 8.4.

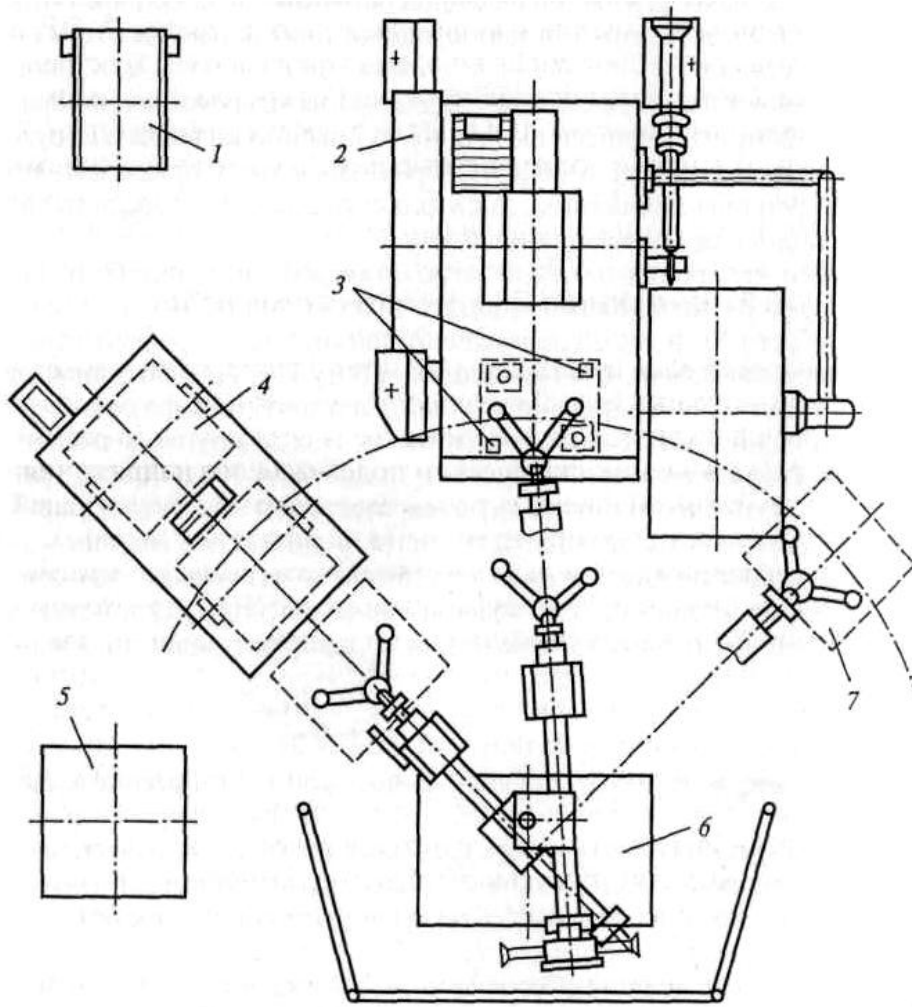


Рис. 8.4 Приклад РТК при листовому штампуванні:
 1 — електрошафа; 2 — кривошипний прес; 3 — датчики зовнішньої інформації; 4 — пристрій видачі вихідних заготовок; 5 — система керування; 6 — промисловий робот; 7 — тара готових заготовок

При виготовленні заготовок достатньо широко використовується автоматичне дугове зварювання. У промисловості використовують багато найрізноманітніших зварювальних автоматів загального призначення та спеціалізованих. Для захисту зони зварювання від окиснення

використовується зварювальний флюс або захисні гази. Шов, отриманий автоматичним зварюванням, характеризується великою однорідністю за розміром, формою, хімічним складом, має кращу якість, ніж при ручному зварюванні.

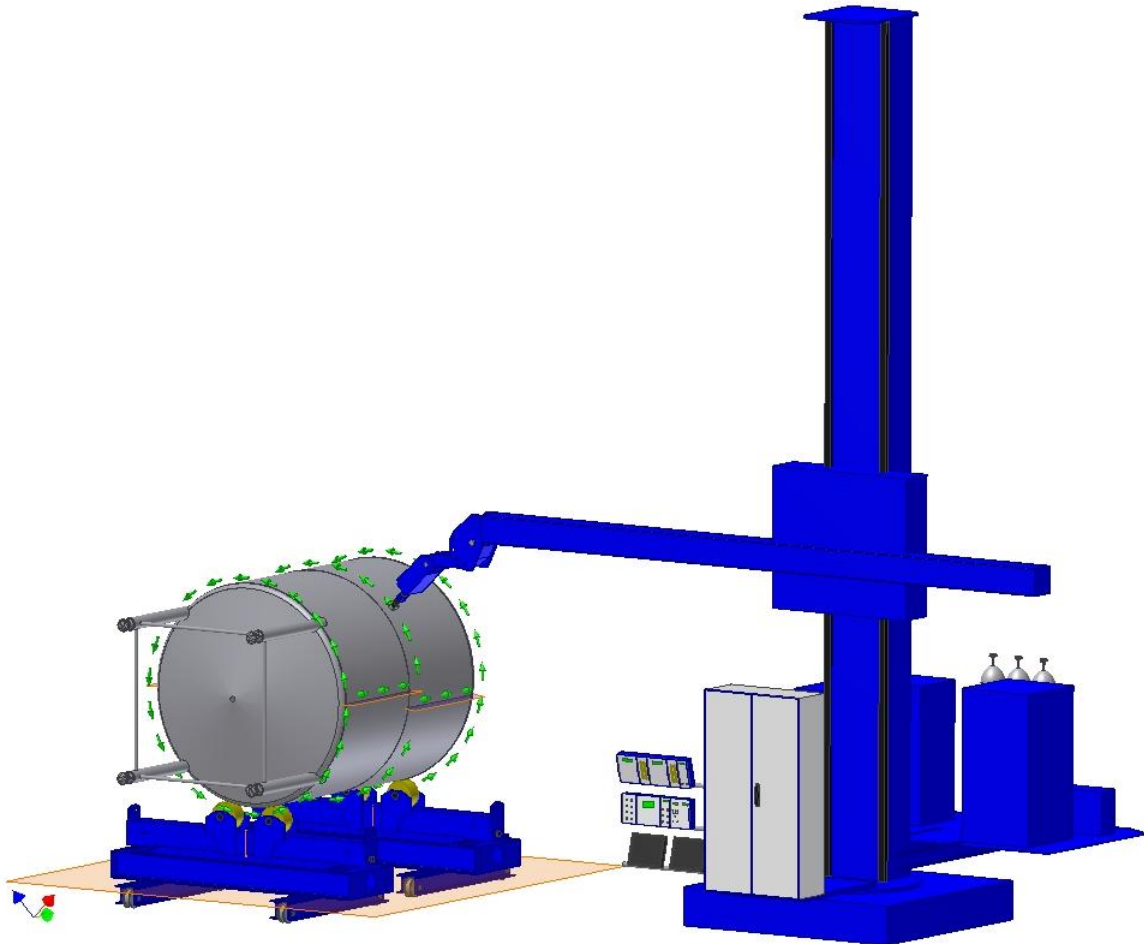


Рис. 8.5 Приклад використання спеціалізованого зварювального автомата для зварювання ємності

Перевагами автоматичного зварювання є висока продуктивність (у 8...10 разів більше, ніж при ручному дуговому зварюванні), велика глибина проплавлення, майже повна відсутність утрат металу на угар і розбризкування, висока якість зварних швів, поліпшення умов праці зварників. Недоліками автоматичного дугового зварювання під шаром флюсу є можливість зварювання лише у нижньому положенні порівняно довгих прямолінійних швів, неможливість спостереження за процесом зварювання.

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

Впровадження різноманітних способів механізації та автоматизації у заготівельне виробництво слід оцінювати з точки зору технологічного, економічного або соціального ефекту. При використанні їх у ливарному, ковальсько-штампувальному або зварювальному виробництві необхідно забезпечити злагодженість робочих циклів засобів механізації і основного технологічного обладнання. Крім того, необхідно також оцінити окупність додаткових капіталовкладень, збільшення амортизаційних відрахувань, витрат на ремонт і обслуговування, пов'язаних з впровадженням у виробництво і експлуатацію запланованих засобів механізації.

8.2.8. Вимоги до заготовок з точки зору подальшого механічного оброблення

Крім мінімальної металомісткості і трудомісткості, до заготовок ставлять низку вимог з точки зору їх подальшого механічного оброблення. До числа таких вимог відносяться: мінімальні припуски на оброблення; раціональне розташування ливарних і штампувальних нахилів; підвищена точність розмірів; мінімізація або повне усунення дефектних поверхневих шарів та ін.

Мінімізація припусків зменшує кількість проходів і переходів механічного оброблення і тим знижує його вартість.

Штампувальні та ливарні нахили обмежують можливість використання окремих поверхонь заготовки у ролі технологічних баз при механічному обробленні, знижують його точність. Відповідним вибором метода

виготовлення заготовки конструктор може створити найприйнятнішу її форму, яка дозволить здійснювати механічне оброблення з найменшими трудовитратами. Основною вимогою тут є таке розташування поверхні розніму штампа або ливарної форми, при якому базові поверхні заготовки будуть позбавлені нахилів і слідів розніму.

Точність розмірів заготовок, одержаних різними способами, коливається від сотих часток до кількох десятків міліметрів. Природно при цьому прагнення одержати точність заготовки, максимально наближеною до вимог креслення готової деталі. У цьому випадку іноді вдається обійтись без механічного оброблення. Особливо зростають вимоги до точності заготовок і стабільності розмірів при обробленні їх на різного роду автоматах, верстатах типу "обробний центр", у гнучких виробничих системах, робототехнічних комплексах та ін. Низька точність заготовок в автоматизованому виробництві часто є причиною відмови цих складних систем і ліній. Тому точність заготовок перед запуском їх на оброблення в автоматизованому виробництві часто доводиться підвищувати шляхом попереднього оброблення базових поверхонь.

Наявність дефектного шару на поверхні, яка підлягає механічному обробленню, з одного боку, призводить до збільшення припусків, з іншого — до зниження стійкості різального інструменту. Дефектний шар у чавунних виливках, одержаних у піщаних формах за дерев'яними моделями, становить 1...5 мм, у кованих поковок — 1,5...3, у штампованих — 0,5...1,5, у гарячекатаного прокату — 0,5...1,0 мм. Без урахування впливу вищезазначених чинників на подальше механічне оброблення неможливо кваліфіковано вибрати спосіб виготовлення заготовки. Все це має безпосереднє відношення до собівартості виготовлення деталей. Тому в кожному конкретному випадку треба шукати такий компромісний варіант виготовлення заготовки, який забезпечував би мінімальну собівартість виготовлення деталі. Для цього необхідно детальніше ознайомитися зі структурою собівартості виготовлення деталі. Собівартість деталі C_d можна навести у вигляді:

$$C_d = C_m + C_3 + C_{\Pi} + C_{\text{ч}} + C_0, \quad (8.3)$$

де C_m – вартість вихідного матеріалу, який іде на виготовлення заготовки; C_3 – витрати на виготовлення заготовки; C_{Π} , $C_{\text{ч}}$, C_0 – витрати на попереднє, чистове і остаточне оброблення відповідно.

Практика машинобудування показує таке:

– зі збільшенням поля допуску T (прості і дешеві способи виготовлення заготовок) збільшується вартість вихідного матеріалу C_m ; витрати на виготовлення заготовок C_3 зменшуються, а витрати на механічне оброблення C_{Π} , $C_{\text{ч}}$, C_0 збільшуються;

– із зменшенням поля допуску T зменшується вартість вихідного матеріалу C_m , витрати на попереднє C_{Π} , а іноді й на чистове $C_{\text{ч}}$ оброблення відпадають, проте різко зростають витрати на виготовлення заготовки C_3 .

Викладене вище можна проілюструвати графіком (рис.8.6), з якого випливає, що завжди існує такий метод виготовлення заготовки з оптимальним допуском, при якому собівартість виготовлення деталі буде мінімальною.

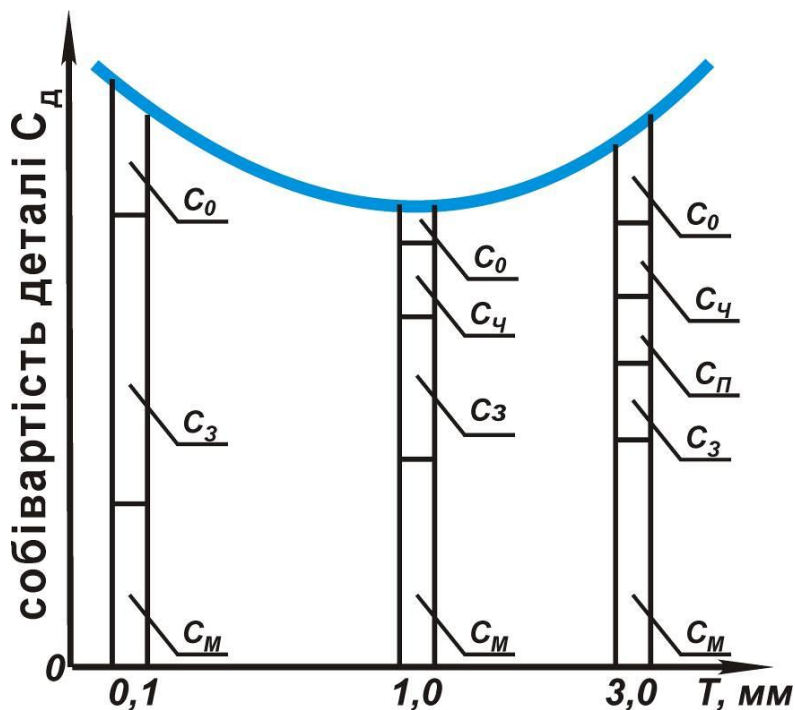


Рис. 8.6 Залежність повної собівартості деталі C_d від поля допуску T заготовки при постійній програмі випуску

8.3 Методика вибору оптимальної технології виробництва заготовок

Вибір виду заготовок і способу її виготовлення здійснюється вже на стадії конструювання машини та розроблення креслень її деталей. Виконуючи розрахунки деталей на міцність, опір втомі, зносостійкість, конструктор виходить з фізико-механічних характеристик матеріалу з урахуванням впливу на нього способу формоутворення заготовки та подальшого термічного оброблення. Наприклад, сталь однієї й тієї ж марки у залежності від способу виробництва заготовки відрізняється за структурою, механічними властивостями та ін. Нижчими значеннями механічних властивостей характеризуються заготовки, одержані литтям, а найвищими – штампуванням. Конструктор, виконуючи розрахунки, користується допустимими напруженнями для заздалегідь визначеного ним виду заготовки. Отже, вибір виду заготовки – це перш за все справа конструктора.

Проте остаточний вибір конкретного методу виробництва заготовок – це спільна справа конструктора і технолога. Він здійснюється на першому етапі технологічної підготовки виробництва. Спочатку ретельно аналізують складальні креслення виробу, взаємозв'язки елементів конструкції при складанні, експлуатації і ремонті. Аналіз супроводжують критичною оцінкою креслень з точки зору технологічності і обґрунтованості технічних вимог. Усі виявлені недоліки виправляє автор конструкції.

Потім, виходячи із заданої програми випуску, конфігурації і розмірів деталей, а також виробничих можливостей підприємства, технолог встановлює тип і характер майбутнього виробничого процесу (одиничне, серійне чи масове; групове або потокове).

Згідно з конструкцією деталі та її технічними умовами встановлюють основні чинники (див. п. 8.2), які визначають вибір виду заготовки і технології її виготовлення. У кожному конкретному випадку ці чинники бажано розташовувати у порядку зменшення їх значущості для даного підприємства.

Аналізуючи ступінь вливу розглянутих вище чинників, технолог обирає один або кілька технологічних процесів, які забезпечують одержання заготовок потрібної якості. Одночасно перевіряється можливість використання комбінованих заготовок. На попередньому етапі вибору оптимального методу виготовлення заготовок можна використати так звану *матрицю впливу чинників* (табл. 8.1.). Оцінка кожного чинника в ній робиться "плюс – мінус" або за допомогою коефіцієнту питомої ваги (від 0 до 1). Кращим вважається спосіб, який набере більшу кількість плюсів або більшу суму коефіцієнтів.

Таблиця 8.1 Приклад оформлення матриці впливу чинників

Спосіб виготовлення заготовки	Чинники					Сума
	Форма і розміри заготовки	Необхідна точність і якість поверхні	Технологічні властивості матеріалу	Виробничі можливості підприємства	Річна програма	
Лиття: - під тиском	+	+	-	-	-	2
- за витоплюваними моделями	+	+	-	+	+	4
Кування	+	-	+	+	-	3
Штампування на ГKM	+	-	+	-	+	3

Після вибору декількох кращих методів виготовлення заготовки для кожного з них конкретизується необхідна послідовність операцій (наприклад, штампування на пресі, потім на ГKM; вальцювання, потім штампування і зварювання), потрібне обладнання, основні і допоміжні матеріали. Якщо у жодного з відібраних способів немає вагомих переваг, схематично проєктують декілька найприйнятніших заготовок і розробляють за ними укрупнені технологічні процеси.

Для розроблених технологічних процесів визначають основні техніко-економічні показники і на основі їх аналізу обирають найраціональніший

метод, для якого на другому етапі підготовки виробництва розробляють детальний технологічний процес.

Контрольні запитання

1. Назвіть основні методи виробництва заготовок і визначте їх характеристики.
2. Які цілі переслідує вибір методу виробництва заготовки?
3. Назвіть чинники, які визначають вибір оптимального методу виробництва заготовок.
4. Як впливає матеріал деталі на вибір методу виготовлення заготовки?
5. Які вимоги ставляться до заготовки з точки зору подальшого механічного оброблення?
6. Як змінюються витрати на матеріал, на виготовлення заготовки і на механічне оброблення з підвищенням точності її форми і розмірів (зі зменшенням поля допусків)?
7. Як змінюються витрати на матеріал, на виготовлення заготовки і на механічне оброблення зі збільшенням програми випуску? Обґрунтуйте.
8. Сформулюйте послідовність вибору виду заготовки та способу її виготовлення.

9 Техніко-економічне обґрунтування вибору технології виробництва заготовок

9.1 Способи техніко-економічного оцінювання методів виробництва заготовок

Якщо заготовку можна одержати кількома способами, виникає необхідність у проведенні техніко-економічного аналізу можливих варіантів, щоб на його основі обрати оптимальний. Вибір оптимального способу виробництва заготовок здійснюють шляхом зіставлення техніко-економічних показників технологічних варіантів, які розглядаються. Зміст, вид і кількість таких показників визначаються конкретними умовами виробництва та метою економічних розрахунків на даному етапі. Завдання полягає у тому, щоб визначити, який з порівнюваних варіантів економічно доцільніший. Тому зіставлення варіантів ведуть тільки за тими показниками, значення яких у даному випадку різні. Оцінити способи одержання заготовки можна за одним або декількома з таких показників одночасно: трудомісткість або собівартість виготовлення заготовок; коефіцієнт використання матеріалу; витрати на технологічне обладнання та оснащення, зварювальні матеріали, паливо та ін.

Трудомісткість (див. п. 1.4) характеризує витрати праці, які необхідні для виготовлення заготовок. Проте визначення трудомісткості на стадії проектування має певні труднощі, оскільки ще не розроблена технологія виготовлення заготовки. Тому загальна трудомісткість у цьому випадку визначається спрощеним розрахунком у нормогодинах шляхом підсумовування часу, який припадає на окремі операції. Розрахунок ведуть нормативним методом за таблицями [напр., 23].

Коефіцієнт використання матеріалу є дуже важливим показником, який характеризує матеріаломісткість як заготовки, так і виробу в цілому. Він настільки яскраво відображає доскональність технології, що його часто застосовують при визначенні доцільності використання сортового чи

листового прокату, чавунного чи сталевих литва тощо. Його величина характеризує розміри припусків і витрат при виготовленні виливків, поковок та ін. заготовок.

Точніше оцінку варіантів можна провести, порівнюючи *собівартості* різних способів одержання заготовки. При цьому розрахунок собівартості повинен враховувати витрати як у заготівельній фазі виробництва, так і при наступному механічному обробленні. Тільки у випадках, коли собівартість механічного оброблення не залежить від способу виробництва заготовки, розрахунки допускається вести за витратами заготівельного виробництва.

9.2 Оцінювання методів виробництва заготовок за собівартістю

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

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

Цікаво проаналізувати формування технологічної собівартості заготовок при різних способах їх виготовлення у залежності від стану технологічного процесу. На рис. 9.1 подано характер нарощування витрат при виготовленні литих і штампованих заготовок C_T на різних стадіях процесу, виражений у відсотках, за повний час виготовлення T .

З рисунка випливає, що всі *способи лиття* (криві 1...4) характеризуються уповільненим нарощуванням витрат на початкових стадіях

процесу, різким зростанням у середній частині і відносно пологим і коротким на завершальних стадіях. Різде зростання собівартості у середині процесу пов'язане з наявністю трудомістких та дорогих операцій складання і заливання ливарних форм, які у більшості випадків здійснюються вручну.

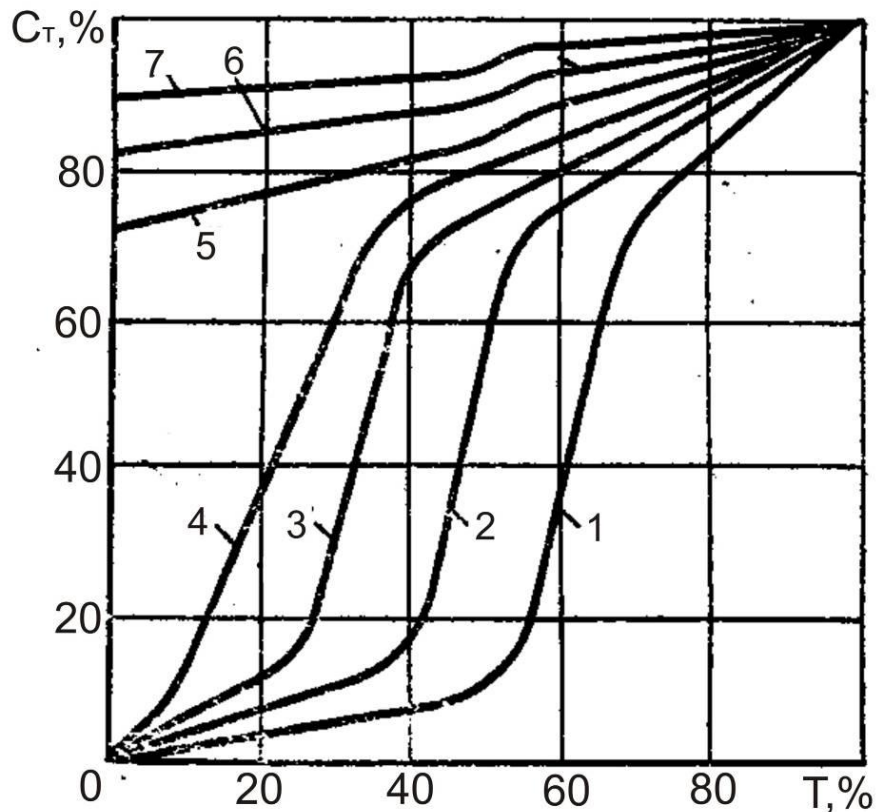


Рис. 9.1 Характер зростання витрат при виготовленні литих і штампованих заготовок:

- 1 — лиття у піщані форми; 2 — лиття за витоплюваними моделями;
 3 — лиття в оболонкові форми; 4 — лиття під тиском; 5 — штампування на молотах; 6 — штампування на ГKM; 7 — штампування на КГШП

Для *штампування* (криві 5...7) характерні великі початкові витрати, які пов'язані зі значними капітальними вкладеннями (вартість обладнання, штамів, оснащення). Зростання витрат по ходу технологічного процесу відбувається досить поступово, що свідчить про невеликий внесок ручної праці при штампуванні.

Перехід кривих, які відображають процеси лиття, від 1 до 4 свідчить про скорочення часу початкових операцій в міру удосконалення технології

виготовлення виливків. Перехід кривих від 5 до 7 також характеризує вищу досконалість відповідних технологічних процесів штампування.

У зв'язку зі вищезгаданим оцінка варіантів за технологічною собівартістю можлива лише тоді, коли виробництво заготовок за порівнюваними технологіями здійснюється у цехах одного типу (ливарних, ковальсько-штампувальних або зварювальних), однакових за обсягом виробництва, рівнем механізації та коли матеріал заготовки залишається одним і тим же. В інших випадках, а також для однотипних процесів різного технологічного рівня, для яких витрати на утримання та експлуатацію обладнання відрізняються істотно, доцільніше вести порівняльні розрахунки за цеховою собівартістю.

Цехова собівартість охоплює витрати на основні та допоміжні матеріали, заробітну плату, утримання та експлуатацію обладнання, оснащення і приміщень, первинні капітальні вкладення, тобто витрати, які більше інших залежать від обраних способів та засобів виробництва заготовки. У загальному випадку величина цехової собівартості заготовки визначається як сума витрат на матеріали, на процес виготовлення заготовки та на загальноцехові витрати. Отже технологічна собівартість становить один з головних складників цехової собівартості. Витрати на матеріали визначають з урахуванням вартості відходів, що реалізуються. Величину загальноцехових витрат знаходять за вартістю роботи обладнання (робочого місця) за 1 годину за довідниками [17]. Цехова собівартість розраховується по окремим виробничим дільницям і процесам, які беруть участь у виготовленні заготовки.

Порядок розрахунку елементів собівартості і нормативні витрати наведені у довідниковій літературі [17].

Повнішу картину впливу технології виробництв заготовки та витрат на її виготовлення дає *собівартість деталі*, яка враховує не лише собівартість виробництва заготовки, але й вартість її наступного механічного оброблення:

$$C_d = C_z + C_{m.o.} \quad (9.1)$$

Досить точний і простий метод визначення собівартості механічного оброблення зводиться до визначення витрат на перетворення в стружку припуску на механічне оброблення даної заготовки:

$$C_{м.о} = C_{стр}(M_з - M_д)/1000, \quad (9.2)$$

де $C_{стр}$ – витрати на механічне оброблення, віднесені до 1 т стружки (табл. 9.1); $M_з$ – маса заготовки, кг; $M_д$ – маса готової деталі, кг.

Таблиця 9.1 Витрати на механічне оброблення, віднесені до 1 т стружки

Галузі машинобудування.	Витрати на 1 т стружки	
	поточні	капітальні
По машинобудування в цілому	495	1085
Важке, енергетичне і транспортне	468	1039
Верстатобудування та інструментальна промисловість	356	1035
Автомобільне та сільськогосподарське	188	566
Машинобудування для легкої та харчової промисловості	563	1000
Інші галузі	1060	2213

Примітка. Витрати на 1 т стружки наведено в умовних грошових одиницях.

Одночасно витрати на механічне оброблення дозволяють оцінити можливості інтенсифікації механічного оброблення або зниження його обсягу. Практика показує, що при умові достатньої тривалості оброблення у галузях промисловості з високою питомою вагою автоматизованих і спеціальних верстатів витрати на 1 т перетвореного в стружку металу у 3,5 рази менші, ніж у середньому по машинобудуванню. Застосування прогресивних маловідходних технологій у заготівельному виробництві і високопродуктивних способів механічного оброблення (верстати з ЧПК, РТК, автоматичні лінії) дозволяє знизити собівартість деталі в цілому.

9.3 Методи розрахунку собівартості заготовки

При зіставному розрахунку користуються технологічною собівартістю, оскільки у цьому випадку враховуються лише ті зведені витрати, за якими відрізняються методи виробництва заготовок, що порівнюються.

Собівартість *ливої заготовки* можна визначити як суму витрат на матеріал, експлуатацію ливарного обладнання, заробітну плату основних робітників та амортизаційні відрахування на експлуатацію оснащення:

$$C_{з.л} = (C_1M + t_{шт}(З_{г.р} + C_г)/60)П_p + KC_{осн}, \quad (9.3)$$

де C_1 — вартість 1 кг матеріалу; M — загальна маса матеріалу, яка витрачається на одну заготовку; $t_{шт}$ — норма штучно-калькуляційного часу на виготовлення заготовки; $З_{г.р}$ — годинна зарплата робітника; $C_г$ — собівартість машино-година роботи ливарного обладнання; $П_p$ — річна програма випуску заготовок; K — коефіцієнт амортизації та експлуатації оснащення; $C_{осн}$ — первинна собівартість оснащення.

Найскладнішим у даному випадку є визначення собівартості машино-години роботи ливарного обладнання. У заводських умовах вона визначається (раз у 2...3 роки), ґрунтуючись на власних заводських даних.

Якщо заготовки отримані литтям у піщані форми, то витрати на формувальні і стрижневі матеріали для різних технологічних процесів відрізняються між собою дуже мало. Ними можна знехтувати, як і невеликими витратами на оснащення (опоки, формувальний інструмент). Тоді у розрахунок входять тільки вартість матеріалу і зарплата виробничих робітників.

Якщо виробництво заготовок пов'язане з роботою складного обладнання (формувальні машини, машини для лиття під тиском і т. п.), витрати на роботу обладнання і оснащення стають визначальними при формуванні собівартості ливої заготовки. Досвід показує, що собівартість

заготовки, отриманої спеціальними методами лиття, завжди помітно вище, ніж при литті у піщані форми. Тому перед остаточним вибором оптимального варіанта технологічного процесу необхідно визначити собівартість наступного механічного оброблення (див. п. 9.2) і зробити вибір за собівартістю деталі в цілому.

Собівартість *кованої (штампованої) заготовки* складається з таких компонентів:

$$C_{з.к} = (C_1M + V_{п.е}C_{п.е} + t_{шт}(Z_{г.р} + C_г)/60)П_p + KC_{осн}, \quad (9.4)$$

де $V_{п.е}$ – норма витрат технологічного палива або енергії на одну заготовку; $C_{п.е}$ – вартість 1 кг технологічного палива або 1 кВт-г. електроенергії.

Структура собівартості і зміст компонентів аналогічні відповідним компонентам собівартості литої заготовки.

Відмінності у собівартості кованої і штампованої заготовок полягає у наступному. При штампуванні витрати металу і технологічного палива (на нагрівання) значно менші, ніж при куванні. Витрати на зарплату виробничих робітників (з-за меншої трудомісткості), а також витрати, пов'язані з роботою обладнання (навіть при роботі на ідентичному обладнанні), при штампуванні також нижчі, ніж при куванні. Проте витрати на технологічне оснащення при штампуванні коливається у широких межах та істотно впливає на собівартість заготовки, особливо при невеликому обсязі виробничої партії.

Витрати на технологічне паливо (енергію) визначають лише тоді, коли порівнюють варіанти виготовлення заготовок, для яких використовують різні способи нагрівання, що різко відрізняються один від одного за витратами виробництва. В інших випадках включати їх у розрахунок собівартості варіантів заготовок, що порівнюються, нема необхідності.

Собівартість *зварних заготовок* складається з собівартості вихідних заготовок, підготовлених до зварювання, собівартості процесу власне зварювання, а також наступних механічного і термічного оброблень.

Розрахункова формула собівартості процесу зварювання:

$$C_{зв} = ((E_T + E_e + \Phi) + t_{шт}(Z_{г.р} + C_T)/60)П_p + B_{п.з} + KC_{осн}, \quad (9.5)$$

де E_T – витрати на технологічну енергію при зварюванні; E_e – витрати на електроди або електродний дріт; Φ – витрати на флюс або захисний газ; $B_{п.з}$ – річні витрати на оплачування підготовчо-заклучних операцій.

Структура витрат при різних способах зварювання відрізняється великим різноманіттям, тому, як правило, розрахунок ведеться за окремими статтями, які мають велику питому вагу у загальній сумі витрат та істотно змінюються при переході від одного варіанта до іншого.

Питома вага витрат на зварювальні та допоміжні матеріали дуже велика при ручному, автоматичному дуговому (особливо аргонно-дуговому) та електрошлаковому зварюванні, а при контактних способах зварювання вона зникло мала. Частка зарплати виробничих робітників у більшості випадків коливається у межах 20...30% від загальної собівартості і знижується при автоматизованих способах дугового зварювання та при контактному зварюванні.

Витрати на технологічну електроенергію звичайно не дуже великі, але при контактному зварюванні (особливо при стиковому) досягають 40...44%. Частка витрат на амортизацію і ремонт також велика при контактному зварюванні; при інших способах вона рідко підіймається до 9...12%.

Трудомісткість зварювання стельових швів приблизно у 1,5 рази більше, ніж нижніх. При цьому збільшуються витрати на електроди, амортизацію і ремонт обладнання, електроенергію. У зв'язку з цим завжди треба намагатися перевести зварювання у нижнє положення. Якщо для цього потрібне впровадження маніпуляторів (кантувачів), то помітно збільшуються

витрати на роботу зварювального обладнання C_r . Тому треба ретельно співставляти їх зі зменшенням інших компонентів собівартості ($E_t, E_e, \Phi, t_{шт}$).

Витрати на оплачування підготовчо-заклучних операцій $V_{п.з}$ збільшуються лише при електродуговому однопрохідному зварюванні (ручному, механізованому, автоматичному) в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва та при електрошлаковому зварюванні:

$$V_{п.з} = nN_{п.з}Z_{г.р}, \quad (9.6)$$

де n – число партій заготовок, що зварюються за рік; $N_{п.з}$ – норма підготовчо-заклучного часу на одну партію.

При розрахунку річних витрат на технологічне оснащення коефіцієнт амортизації K приймається на нижньому рівні. Дані, необхідні для розрахунків собівартості зварювання, наведені у довідниках [2, 17, 27] та у спеціальній літературі зі зварювання.

9.4 Оцінювання методів виробництва заготовок за коефіцієнтом використання матеріалу

Коефіцієнт використання матеріалу $K_{в.м}$ визначають за формулою (1.5). Маса заготовки M_3 визначається з урахуванням усіх припусків, напусків, нахилів тощо. Загальна маса матеріалу, використаного на виготовлення однієї деталі $M_{в.м}$, складається з мас технологічного і заготівельного відходів (див. п. 1.4). Технологічні відходи, тобто відходи, які виникають при обробленні різанням (напуски, припуски та ін.), фактично враховані у масі заготовки. Заготівельні відходи залежать від способу виготовлення заготовки. Так, для литих заготовок враховують втрати металу на литникову систему, випори, надлив, угар і т. п. Масу використаного матеріалу $M_{в.м}$ для литих заготовок орієнтовно можна визначити за масою вилівка M_3 з

урахуванням коефіцієнту виходу придатного $K_{в.п}$ (табл. 9.2) за допомогою формули (1.8).

Таблиця 9.2 Орієнтовний коефіцієнт виходу придатного $K_{в.п}$ литих заготовок

Ливарний сплав	Лиття в піщані форми		Спеціальні методи лиття	
	Виливки масою до 10 кг	Виливки масою понад 10 кг	Виливки масою до 10 кг	Виливки масою понад 10 кг
Сірий чавун	0,50...0,65	0,60 0,75	0,70...0,85	0,75...0,90
Ковкий чавун	0,45...0,55	0,50...0,65	0,60...0,75	0,70...0,85
Чавун з кулястим графітом	0,35...0,50	0,45...0,60	0,50...0,65	0,60...0,80
Сталь	0,40...0,55	0,50...0,65	0,60...0,75	0,70..0,85

Для заготовок, виготовлених обробленням тиском у гарячому стані (наприклад, куванням, штампуванням), загальна маса використаного матеріалу найчастіше визначається як:

$$M_{в.м} = M_3 + M_{об} + M_{уг}, \quad (9.7)$$

де M_3 — маса заготовки, кг; $M_{об}$ — маса облою, кг; $M_{уг}$ — маса металу, витраченого на угар при нагріванні, кг.

Маса облою $M_{об}$ наближено дорівнює 15...30 % від маси заготовки M_3 . Витрати на угар $M_{уг}$ становлять 0,5...1,2 % від маси заготовки M_3 при електричному нагріванні та 1,5...3,5 % при полуменовому.

Чим вище ступінь складності вилівка і чим менше його маса, тим більша відносна частка металу припадає на технологічні відходи (литникову систему, надлив тощо). Тому для виливків малої маси і підвищеної складності з наведених у таблиці 9.2 діапазонів коефіцієнту виходу придатного треба брати менші значення $K_{в.п}$. Чим менше маса поковки, тим більші значення відсотків з наведених вище діапазонів треба брати для визначення маси облою $M_{об}$ і тим менші — для визначення маси угару $M_{уг}$.

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

Контрольні запитання

1. У чому полягає техніко-економічне обґрунтування вибору способу виробництва заготовок?
2. Які показники використовуються для техніко-економічної оцінки порівнюваних варіантів технологічних процесів виготовлення заготовок?
3. Що таке технологічна собівартість та з яких елементів вона складається?
4. Що називається цеховою собівартістю та з яких елементів вона складається?
5. В яких випадках оцінювання порівнюваних заготовок проводиться за технологічною, а в яких — за цеховою собівартістю?
6. Як проводиться оцінювання порівнюваних заготовок за коефіцієнтом використання матеріалу?

10. Шляхи підвищення ефективності заготівельного виробництва

10.1. Підвищення серійності виробництва заготовок

Найсуттєвіший вплив на собівартість заготовок і деталей чинить їх кількість, яка підлягає виготовленню за одиницю часу (зміну, місяць, рік), і життєвий цикл виробів, тобто тривалість випуску їх за незмінними кресленнями. Кількість заготовок (деталей), що виготовляється за одиницю часу, визначається ринковою потребою у тих чи інших výroбах. Життєвий цикл виробів машинобудування залежить також від їхньої моральної довговічності.

Чим краще у конструкцію машини (або будь-якого іншого виробу) втілені останні досягнення, тенденції і перспективи розвитку науки і техніки, тим вище її техніко-економічні показники, тим менше при інших рівних умовах буде її моральний знос. Тим довше у часі зберігатиметься попит на цю машину, а значить і в більшій кількості вона буде виготовлятися без змін. Збільшення обсягу виробництва машини змінює структуру її собівартості: зменшується частка витрат живої праці і збільшується частка витрат уречевленої праці при одночасному зменшенні їх суми. Пояснюється це тим, що зі збільшенням кількості машин (а отже й заготовок), які підлягають виготовленню, зростає можливість використання дорожчого, але й продуктивнішого обладнання, інструментів та іншого технологічного оснащення, яке сприяє скороченню трудомісткості виготовлення заготовок. З графіка (рис. 10.1) видно, як зі збільшенням обсягу випуску машин скорочується частка початкових витрат, що припадає на одну машину (виріб).

Зі сказаного вище випливає, що одним з головних заходів, які сприяють зниженню собівартості та підвищенню якості заготовок, є збільшення обсягу їх виробництва. Засобами для цього є: широка уніфікація деталей та їх заготовок на основі конструктивної спадковості, тобто використання у різних

машинах одних і тих же складальних одиниць і деталей; спеціалізація заводів і цехів на випуску обмеженої номенклатури машин, їх складальних одиниць і заготовок.

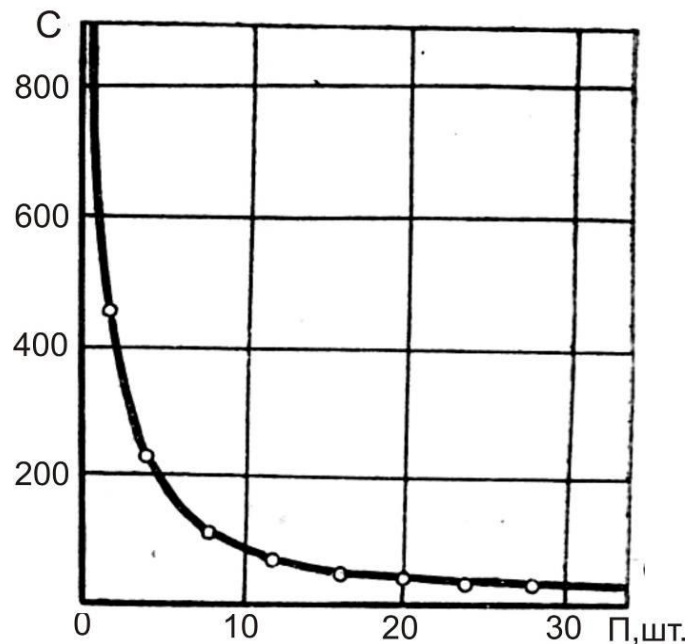


Рис. 10.1 Залежність витрат C на обладнання і технологічне оснащення від обсягу випуску машин Π

10.2. Типізація технологічних процесів

Сучасне машинобудування характеризується великою різноманітністю деталей і заготовок. При цьому існують великі групи заготовок, близьких за формою, розмірами, вимогами точності, видами і властивостями конструкційних матеріалів та іншими характеристиками. Для таких груп може бути застосований один (або декілька) спільних технологічних процесів їх виробництва, при яких забезпечується мінімальна собівартість продукції і найвища продуктивність при дотриманні необхідної якості.

Проте дуже часто заготовки, близькі за формою, розмірами та іншими вимогами, виготовляються на різному обладнанні, за різними технологічними процесами. Навіть якщо виготовлення й ведеться за оптимальною технологією, то на розроблення її кожного разу витрачається багато часу і коштів. З метою підвищення ефективності виробництва у таких випадках застосовується типізація технологічних процесів.

Типізацією технологічних процесів називається такий напрямок у справі вивчення і побудови технології, який полягає у класифікації заготовок та їх елементів, а потім у комплексному вирішенні всіх завдань, які виникають при здійсненні технологічних процесів для кожної класифікаційної групи.

На першому етапі типізації технологічних процесів проводиться розподіл заготовок за відповідними класифікаційними групами. У кожній групі обирається типовий представник, тобто заготовка, яка має план операцій, виконуваних на однорідному обладнанні із застосуванням однотипних приладів та інструментів. Основними ознаками для класифікації заготовок є їх конструктивна схожість, близький діапазон розмірів основних формотвірних поверхонь, близькість хімічного складу і фізико-механічних властивостей матеріалу.

На другому етапі типізації розробляється спільний технологічний процес для кожного типу заготовок з встановленням оптимальних послідовності й змісту операцій, обладнання та оснащення, що використовується.

Типізацією технологічних процесів забезпечуються такі переваги:

- скорочується цикл і трудомісткість технологічної підготовки виробництва, а також кількість технологічної документації;
- створюються умови для систематизації та узагальнення виробничого досвіду підприємства, для широкого застосування найбільш передових і досконалих технологічних процесів;
- створюються умови для застосування спеціального (або спеціалізованого) обладнання, оснащення, створення поточних і автоматизованих ліній;
- створюються умови для кооперування виробництва і спеціалізації окремих цехів і заводів на виготовленні однотипних заготовок;
- поліпшується ступінь завантаженості обладнання, оснащення та інших виробничих потужностей;

– поліпшуються умови праці та підвищується загальна культура виробництва.

10.3. Групова технологія виробництва заготовок

В одиничному та серійному виробництві на кожному робочому місці виконується декілька операцій. З переходом від однієї операції до іншої виникають прості обладнання, пов'язані з його переналагоджуванням. Скоротити їх або виключити зовсім дозволяє застосування групових технологічних процесів.

Використання групових технологій ґрунтується на тому, що збільшується обсяг виробів, які виготовляються на одному й тому ж спеціальному обладнанні й оснащенні. Собівартість кожної заготовки у такому випадку знижується за рахунок застосування групових блоків, стандартизованого ливарного обладнання і прогресивних форм організації цехів або дільниць.

Організація групового виробництва заготовок включає наступні етапи:

- уніфікування конструктивних елементів (отворів, уступів, радіусів заокруглень і т. п.), габаритних розмірів, матеріалу заготовок;
- розроблення класифікаторів кованих, штампованих, литих і зварних заготовок;
- розроблення конструкцій комплексних заготовок і групових технологічних процесів для них;
- вибір, проектування і виготовлення спеціалізованого технологічного оснащення;
- вибір необхідного обладнання;
- вирішення завдань з механізації і автоматизації технологічного процесу;
- планування групового виробництва.

Технологічне завдання у загальному вигляді полягає у тому, щоб для деталі даної конфігурації знайти оптимальний за встановленими критеріями (наприклад, собівартість, матеріаломісткість) технологічний процес виготовлення заготовки, вид вихідного матеріалу, формотвірний інструмент, необхідне обладнання, технологічні режими з метою одержання заготовки потрібної якості.

Вибір системи класифікації заготовок повинен проводитися з урахуванням головних ознак, які впливають не тільки на якість їх виготовлення, але й на їх собівартість. Основними ознаками, які визначають віднесення заготовки до тієї чи іншої групи, є її габаритні розміри, маса, матеріал і т. п., а також дані про технологічне оснащення і обладнання. Для спеціальних методів лиття (наприклад, лиття під тиском) до головних ознак відносять також наявність або відсутність бічних порожнин і отворів, положення виливка у формі, спосіб видалення виливка з форми та ін.

На підставі конструктивно-технологічної спільності окремих груп виливків розробляється стандартизоване модельно-опочне оснащення (модельні плити, опоки, стрижневі ящики тощо). Використання такого оснащення призводить до того, що при освоєнні нового виробу необхідно виготовити лише його формотвірні частини. Стандартне оснащення вдається застосовувати і для виготовлення крупних виливків, які випускають малими партіями. Форми у даному випадку утворюються шляхом складання стрижнів.

При використанні лиття під тиском у ролі прес-форм застосовують *групові блоки*. В основі їх конструкції лежить *принцип змінності формовкладнів*, які оформлюють конфігурацію заготовок. При цьому переналагоджування блоку намагаються проводити безпосередньо на ливарній машині з мінімальною втратою часу на зміну формовкладнів. У залежності від габаритних розмірів виливків, скомплектованих у групи, блоки можуть бути виготовлені однаковими за конструкцією, але різними за габаритами.

Групова технологія у дрібносерійному виробництві дозволяє замінити кування штампуванням у штампах зі змінними робочими вкладнями. У такому разі за основну (номенклатурну) одиницю для розроблення групової технології беруть не конкретну, а *комплексну поковку*, яка має всі конструктивні елементи групи.

Головними передумовами успішного впровадження групової технології штампування є максимально можливий ступінь уніфікації поковок, що дозволяє збільшити розмір партії, і узагальнення передового досвіду з розроблення і застосування групових технологічних процесів. Групування заготовок ведеться таким чином, щоб у межах кожної групи застосовувалось одне й те ж обладнання і технологічне оснащення.

Найбільший економічний ефект групової технології досягається в одиничному і дрібносерійному виробництвах. Групова технологія дозволяє також впроваджувати у дрібносерійне і серійне виробництво виготовлення заготовок з пластмас і порошкових матеріалів.

Суть групового методу у цьому випадку полягає в тому, що замість індивідуальних прес-форм використовують групові блоки зі змінними елементами (вкладнями). Інші частини прес-форми (опорні плити, напрямні колонки тощо) залишаються постійними при виготовленні багатьох різних заготовок.

Групова технологія виробництва заготовок має такі переваги у порівнянні з методом індивідуального проектування і виготовлення:

- різко скорочується собівартість проектування і виготовлення технологічного оснащення і час технологічної підготовки виробництва;
- для проектування і виготовлення технологічного оснащення використовуються робітники нижчої кваліфікації;
- зменшуються витрати металу на виготовлення технологічного оснащення;
- підвищується продуктивність праці за рахунок заміни знімних прес-форм і штампів стаціонарними;

– створюються передумови для розроблення і впровадження гнучких виробничих систем при виготовленні заготовок.

10.4. Економія матеріалів

Однією з найгостріших технологічних проблем сучасності є створення безвідходних і маловідходних технологій, тобто повсюдна економія чорних і кольорових металів.

Економічний ефект від зниження відходів у машинобудуванні виявляється не тільки у кращому використанні металу, але й у зменшенні витрат на механічне оброблення. Витрати на зняття 1 кг стружки з урахуванням заробітної плати, електроенергії, амортизації обладнання та ін. значно більші, ніж вартість 1 т металу.

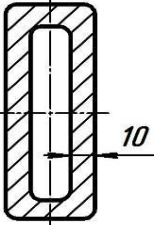
Проблема економії матеріалів, і зокрема чорних і кольорових металів, у більшості випадків вирішується у сфері заготівельного виробництва, оскільки, створюючи креслення заготовки, технолог закладає у неї втрати матеріалу у вигляді припусків, напусків та інших технологічних відходів.

Основні напрямки економії металу при виробництві заготовок можна розділити на дві групи: конструкторські і технологічні.

До *конструкторських напрямків* відносяться: раціоналізація форм перерізів прокату, виливків і поковок, створення попередньо напружених і армованих конструкцій; призначення раціональних марок матеріалів і застосування термічних і хіміко-термічних методів оброблення, заміна металів неметалевими і композиційними матеріалами.

Як приклад у табл.10.1 показано, як форма поперечного перерізу впливає на міцність і вартість прокату при однаковій площі перерізу і масі. Зменшення поперечного перерізу за рахунок застосування раціональнішої форми прокату дає велику економію металу. У зв'язку з цим необхідно ширше використовувати спеціальні профілі (у тому числі прямокутні і овальні труби, гнуті профілі і т. п.).

Таблиця 10.1 Сіввідношення допустимих згинальних і крутних моментів для різних перерізів профілей прокату та відносної вартості металу за оптовими цінам

Поперечний переріз			За допустимими напруженнями				за вартістю
Форма	Ескіз	Площа, см ²	при згинанні		при крутінні		
			за напруженням	за угином	за напруженням	за згином	
Прямокутна $h/b = 4$		29	1	1	1	1	1
Кругла порожниста		28,3	1,2	1,15	4,3	8,8	1,1
Прямокутна порожниста		29,5	1,4	1,6	3,85	3,2	0,9
Двотаврова $h/b = 1$		29,5	1,8	1	4,5	1,9	0,6

Примітка. Маса 1 м прокату для всіх перерізів становить 22 кг.

Застосування матеріалів підвищеної міцності знижує масу конструкції. При оцінюванні характеристик міцності матеріалу необхідно враховувати можливе зміння його властивостей у процесі виготовлення заготовки, механічного оброблення і експлуатації (наклеп, поверхневі тріщини,

структурні зміни тощо). У випадку вибору матеріалу-замінника, який забезпечує зниження маси деталі, економічним орієнтиром може служити співвідношення

$$[\sigma_1] / [\sigma_2] > (C_1 / C_2)^{2/3}, \quad (10.1)$$

де $[\sigma_1]$, $[\sigma_2]$ – допустимі напруження для порівнюваних матеріалів; C_1 , C_2 – оптові ціни порівнюваних матеріалів.

Зниження маси може бути досягнуто також шляхом змінювання перерізів деталі за довжиною, якщо відомі напруження, які діють у кожному перерізі. При цьому прагнуть видалити метал з ненавантажених ділянок деталі (наприклад, технологічних нахилів) або застосовують штампозварні заготовки з листового матеріалу замість литих.

До *технологічних напрямків* відносяться: впровадження аналітичного методу розрахунку припусків на оброблення; застосування прогресивних способів виготовлення заготовок; прогресивних схем розкрою листових матеріалів; маловідходних способів різання; раціоналізація литникових і облойних систем; оптимізація температурних режимів при одержанні заготовок; застосування зміцнювальних технологій; застосування бездефектних транспортувальних та навантажувально-розвантажувальних пристроїв, що виключають пошкодження заготовок; створення належних умов зберігання металу і заготовок; підвищення якості вхідного та міжопераційного контролю якості одержуваних та оброблюваних заготовок.

10.5. Зменшення витрат на ливарне і штампувальне оснащення

Продуктивність і якість виготовлення заготовок залежать від оснащення, його кількості, складності і якості, які у свою чергу знаходяться у прямій залежності від серійності виробництва. Наприклад, в одиничному виробництві при виготовленні десяти колосників для печей випалювання

агломерату застосування кокіля економічно недоцільне, оскільки його вартість буде розкладена лише на десять виробів. Якщо виробництво колосників масове (600 тис. шт. на рік), то на один колосник припадатиме дуже мала частка вартості кокіля. У цьому випадку економічна ефективність застосування кокіля поза будь-яким сумнівом. Більше того, при такій програмі випуску навіть виготовлення спеціальної напівавтоматичної ливарної машини для виробництва колосників економічно виправдовує себе. Саме такі спеціальні машини застосовують на підприємствах, що випускають вищезгадані колосники.

Вартість виготовлення оснащення при одержанні будь-яких заготовок у всіх типах виробництва завжди впливає на собівартість продукції. Тому як конструкторам, так і технологам машинобудівного виробництва необхідно знати основні шляхи зменшення витрат на ливарне та штампувальне оснащення. Такими шляхами є наступні заходи.

1. Створення простого у виготовленні, але досить надійного в експлуатації оснащення. Чим складніше оснащення, тим вища його вартість і тим вища собівартість основного виробництва. Однак спрощення конструкції оснащення не повинно зменшувати продуктивність та погіршувати якість одержуваних заготовок.

2. Застосування при виготовленні штампів, кокілей, пуансонів та матриць спеціальних легованих сталей, які відрізняються достатньо високою механічною міцністю та теплостійкістю.

3. При підготовлянні виробництва нового типу заготовок бажано застосування найновіших методів їх одержання і використання для виготовлення оснащення найраціональніших конструкційних матеріалів. Цей напрямок не повинен завдавати збитків надійності і довговічності оснащення. Оснащення повинно найкращим чином (при мінімальній кількості ремонтів) забезпечувати випуск основної продукції. Особливо ефективним при виробництві штампів є застосування заготовок кубиків штампів, одержаних методом електрошлакового лиття.

4. Уніфікування деталей та окремих складальних одиниць технологічного оснащення. При виготовленні штампів і форм необхідно максимально використовувати стандартні кубики і блоки, а також уніфіковані деталі: плити, напрямні колонки, втулки, штирі, пальці, хвостовики та інші деталі. Найширше застосовують стандартні та уніфіковані деталі при виготовленні штампів холодного штампування (до 90% деталей). Необхідно всіляко прагнути до збільшення коефіцієнта використання стандартних та уніфікованих деталей, технологія виготовлення яких уже відпрацьована на підприємстві.

5. Застосування найефективніших способів механічного оброблення деталей оснащення. Це особливо стосується деталей складних, а також виготовлених з важкооброблюваних матеріалів. Особливої актуальності тут набувають електрофізичні та електрохімічні методи оброблення, що застосовуються при виготовленні найскладніших внутрішніх порожнин штампів гарячого та холодного об'ємного штампування, які на деяких підприємствах все ще обробляються за розмічуванням методом фрезерування спеціальними фрезами.

6. Виготовлення технологічного оснащення пластичним деформуванням. Холодним витискуванням можна одержувати формотвірні порожнини у деталях оснащення різного призначення: матрицях для холодного і гарячого штампування; прес-формах для пластмасових, порошкових та волокнистих матеріалів, гуми, витоплюваних моделей; у формах для кокільного лиття, лиття під тиском та ін. Порожнини, які виготовляються таким чином, відрізняються сталою повторюваністю форм і розмірів і підвищеною зносостійкістю. При цьому помітно зменшуються витрати інструментальних сталей і трудомісткість механічного оброблення.

7. Повсюдне впровадження у машинобудівну практику САПР оснащення і САПР технологічних процесів для виготовлення оснащення. Останні дозволяють скоротити витрати на проектування оснащення,

покращують якість документації, скорочують цикл підготовки виробництва, зменшують собівартість не тільки допоміжного, але й основного виробництв.

10.6. Застосування роботів у заготівельному виробництві

Особливої актуальності у даний час набули питання автоматизації заготівельного виробництва, тому що саме тут відбуваються найбільш трудомісткі і шкідливі (з точки зору охорони праці) процеси. Повсюдне впровадження різного роду машин і механізмів зменшує у заготівельних процесах частку ручної праці. Проте завдання зараз стоїть таким чином, щоб комплексно автоматизувати всі ділянки машинобудівного перероблення, починаючи з виробництва заготовок і закінчуючи пакуванням готової продукції. У зв'язку з цим особливе місце повинно відводитися питанням створення безлюдної або малолюдної технології шляхом застосування роботів і маніпуляторів.

Як відомо, промисловими роботами прийнято називати універсальні автоматичні системи, здатні у процесі активної взаємодії з навколишнім середовищем імітувати різноманітні операції, які здійснюються людиною у процесі фізичної або розумової праці. Це універсальний автомат з великою кількістю (від 3 до 10) ступенів рухомості, який керується засобами програмного керування. Основним типом виконавчих органів промислового робота є його механічні руки – маніпулятори, призначені для "маніпулювання" об'єктами праці.

На сьогодні застосовується понад 200 роботів різних конструкцій. 25% з них призначено для використання у заготівельному виробництві. Так, у ливарних цехах набули розповсюдження роботи-дозувальники, які використовуються для порційного заливання металу у машини лиття під тиском. Ці роботи мають максимальну порцію (дозу) для заливання рідкого металу до 4...6 кг і точність позиціонування – 3...5 мм. Як приклад можна навести промисловий робот фірми АВВ (рис. 10.2), який, крім заливання

металу, може також видаляти вилівок з форми, занурювати його у гартувальну ванну і передавати на прес для обрубання облою.

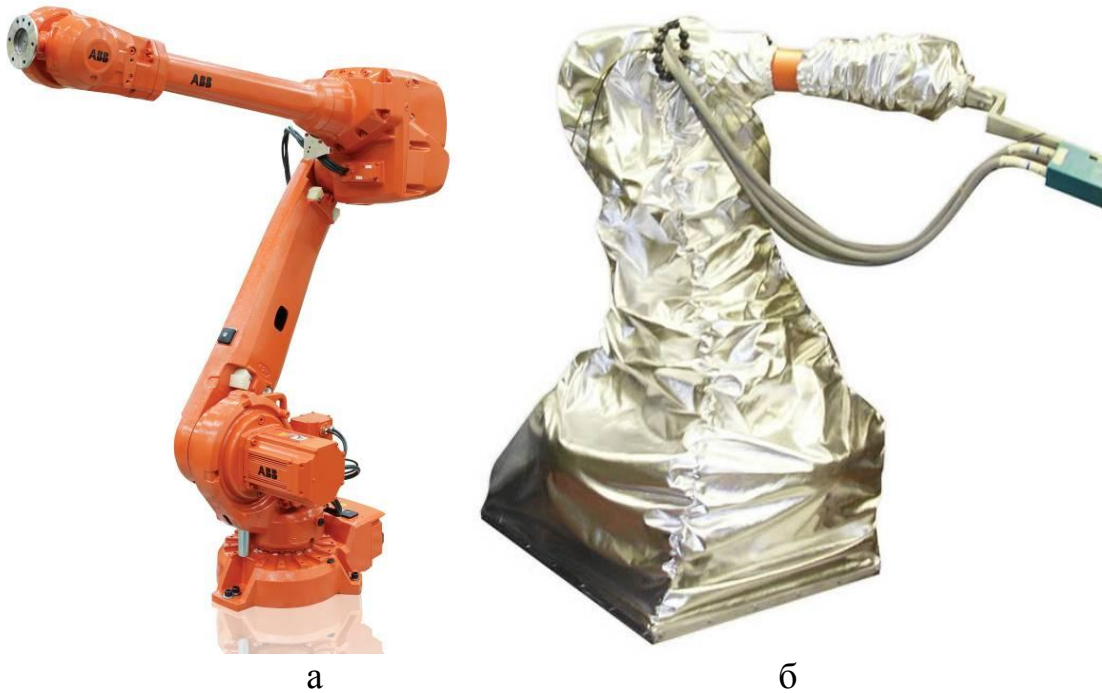


Рис. 10.2 Зовнішній вигляд промислового роботу фірми АВВ:
а – загальний вигляд; б – робот, підготовлений до роботи у високотемпературному середовищі

Добре зарекомендував себе робот-дозувальник РДП-5. Використання його у ливарних цехах підвищує продуктивність праці на 10...15% і до 30% зменшує технологічні відходи металу.

Промислові роботи, які використовуються у ковальсько-штампувальному виробництві, мають максимальну вантажопідйомність до 30 кг. Точність позиціонування ковальських роботів вище, ніж ливарних, і знаходиться у межах $\pm (0,1...0,5)$ мм. Схема ділянки ковальського цеху із застосуванням робота показана на рис. 10.3.

Найбільша кількість різновидів роботів застосовується у цехах холодного штампування. Їхня вантажопідйомність знаходиться у широкому діапазоні – від кількох грамів до 5 кг; точність позиціонування – $\pm 0,1$ мм.

Роботи системи "Імпульс" на вимогу замовника можуть укомплектовуватися однією, двома або трьома руками вантажопідйомністю до 0,7 кг кожна. Використання роботів у штампувальному виробництві, окрім

підвищення продуктивності праці, дозволяє повністю виключити травматизм. Завдяки роботам гнучкі автоматизовані модулі раніше за все з'явилися у штампувальному виробництві.

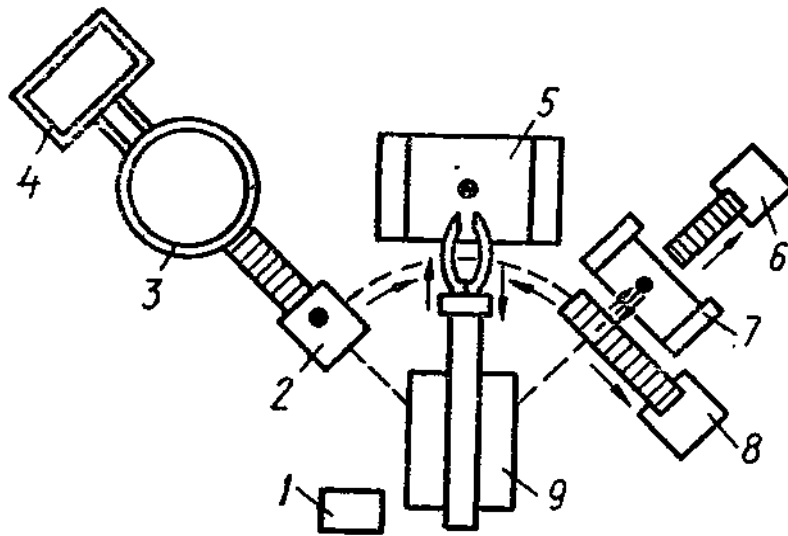


Рис. 10.3. Схема ділянки ковальського цеху, яка обслуговується роботом:

1 — пульт керування; 2 — орієнтатор заготовок; 3 — нагрівальний пристрій; 4 — бункер; 5 — ковальсько-штампувальний прес; 6 — тара для поковок; 7 — обрізний прес; 8 — тара для облою; 9 — промисловий робот

У даний час роботи застосовують при виготовленні ливарних форм і стрижнів, при складанні форм, при вибиванні виливків, при виконанні різних операцій у термічних і зварювальних цехах. За допомогою роботів здійснюють завантаження печей, переміщення заготовок у гартувальних ваннах. Спеціалізовані роботи здійснюють контроль твердості заготовок, їх клеймування, фарбування і складування. Створені також конструкції роботів для перероблення пластмас, порошкових та інших конструкційних матеріалів.

Застосування роботів дозволяє скоротити кількість робочих на підсобних роботах, замінити важку, утомливу, одноманітну ручну працю у небезпечних умовах. Роботи дозволяють повніше використовувати можливості технологічного обладнання і підвищити продуктивність праці.

Впровадження промислових роботів у заготівельне виробництво слід оцінювати з точки зору технологічного, економічного та соціального ефекту.

При використанні промислових робіт у сполученні з ливарним, ковальсько-штампувальним або зварювальним обладнанням необхідно забезпечити узгодженість робочих циклів робіт і основного технологічного обладнання. Крім того, необхідно також оцінити окупність додаткових капіталовкладень, збільшення амортизаційних відрахувань, витрат на ремонт і обслуговування, пов'язаних з впровадженням у виробництво і експлуатацію промислових робіт.

Контрольні запитання

1. Перерахуйте основні шляхи підвищення ефективності заготівельного виробництва.
2. Перерахуйте основні джерела економії матеріалів при виробництві заготовок.
3. Як впливає на ефективність заготівельного виробництва застосування САПР на стадії технологічної підготовки виробництва?
4. Охарактеризуйте вплив робіт на ефективність заготівельного виробництва. Яке соціальне значення має застосування робіт у заготівельному виробництві?

11 Виробництво заготовок типових деталей машин

11.1 Заготовки корпусних деталей

Корпусні деталі є базовими деталями машин, на яких монтуються окремі складальні одиниці. За службовим призначенням і конструктивною формою вони розподіляються на групи (рис. 11.1):

– корпусні деталі коробчастої форми у вигляді паралелепіпеду – корпуси редукторів, коробок швидкостей, шпindelних бабок і т. п.;

– корпусні деталі з отворами і порожнинами, довжина яких перевищує розміри їх поперечного перерізу – блоки циліндрів двигунів, компресорів; корпуси задніх бабок;

– корпуси деталей складної просторової форми – корпуси парових і газових турбін, відцентрових насосів, колекторів, вентилів і т. п.;

– корпуси деталей з напрямними – столи, каретки, полозки, планшайби і т. п.;

– корпусні деталі типу кронштейнів, косинців, стояків, плит, кришок і т. п.

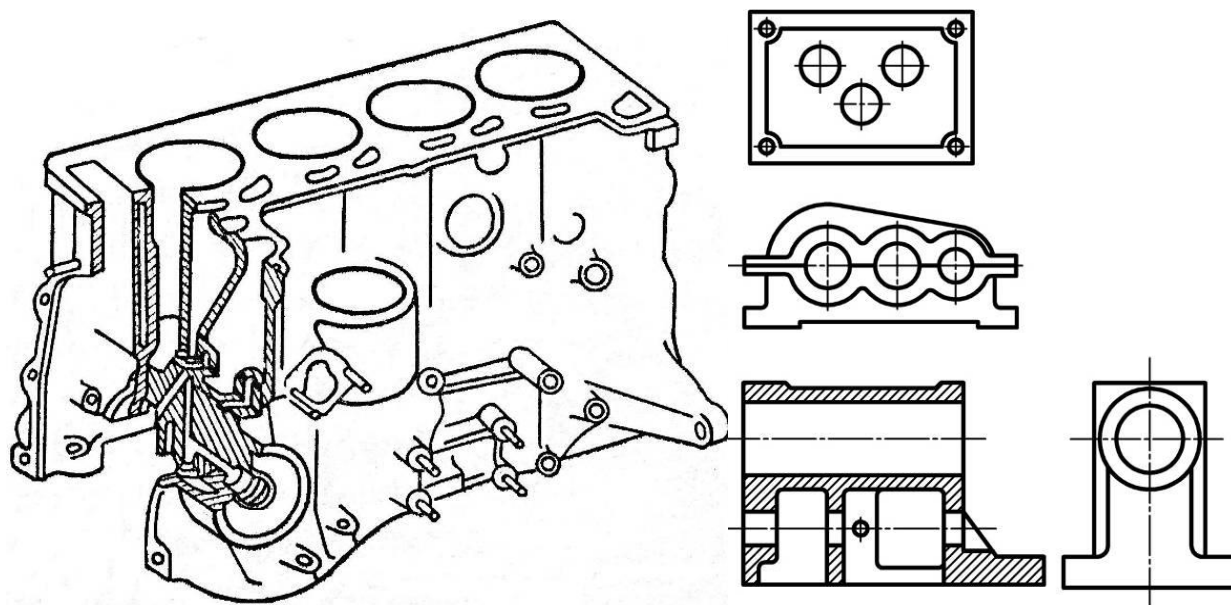


Рис. 11.1 Різновиди корпусних деталей

Слід відзначити, що поділ деталей на групи є умовним, тобто деякі з них неможливо віднести до певної групи. Тому віднесення деталі до тієї чи іншої групи застосовується лише для зручності користування загальними технологічними рішеннями.

Технологічні вимоги до корпусних деталей полягають у високих вимогах до точності геометричної форми, розмірів і відносного розташування базових поверхонь. Іноді також вимагається дотримання точності кутового розташування одних поверхонь відносно інших або осей отворів відносно плоских поверхонь.

Більшість корпусних деталей виготовляють з сірого чавуну марок СЧ15, СЧ18, СЧ20. Сірий чавун є досить дешевим технологічним матеріалом і має низку важливих експлуатаційних властивостей: добра зносостійкість, висока демпфувальна здатність, низька чутливість до надрізів та інших концентраторів напружень. Якщо до деталі пред'являються підвищені вимоги за міцністю і зносостійкістю, то її виготовляють з сірого чавуну марок СЧ24, СЧ32, СЧ35. Для одержання тонкостінних виливків застосовують чавуни з підвищеним вмістом фосфору (до 1,2%) і кремнію (до 2,8%) – елементів, що сприяють поліпшенню рідиноплинності. Для корпусних деталей, які працюють в умовах знакозмінних навантажень або ударів, використовують ковкий чавун марок КЧ35-10, КЧ37-12.

Корпуси високонапірних насосів, турбін виготовляють з чавунів підвищеної міцності або сталевого литва. Плити, косинці, кронштейни, корпуси електродвигунів ллють зі сталей 15Л, 30Л, 40Х, 12Х2Н4А. Невеликі корпусні деталі виготовляють з бронзи, алюмінієвих і спеціальних сплавів. Для дрібносерійного і одиничного виробництва іноді доцільніше застосовувати зварні заготовки корпусних деталей з листової сталі марок Ст3, Ст4, Ст5. Штампо-зварні картери задніх мостів автомобілей роблять зі сталей 35, 40.

Обраний матеріал заготовки значною мірою визначає й спосіб її виготовлення. Більшість чавунних заготовок, особливо великих розмірів,

одержують литтям у піщані форми. У залежності від серійності та складності вилівка можливе ручне або машинне формування. При машинному формуванні використовуються металеві моделі, які забезпечують у 1,2...1,5 рази менший припуск. Проте вони окуповуються тільки при партії заготовок не менше 40...50 шт. на місяць і тривалості використання не менше 3...4 років.

Заготовки корпусних деталей невеликого розміру одержують спеціальними методами лиття. При литті у металеві форми (кокільне, під тиском) слід звернути увагу на можливість видалення металевих стрижнів і самого вилівка з форми. У деяких випадках цими способами можна одержати армовані заготовки, наприклад, алюмінієві вилівки з трубками з корозійностійкої сталі всередині.

Зварні заготовки застосовують в одиничному і дрібносерійному виробництві при виготовленні корпусів відносно простої геометричної форми. У цьому випадку відсутні первісні витрати, пов'язані з виготовленням модельного комплекту, кокілю і т. п. Проте необхідно враховувати витрати, пов'язані з розкромом і різанням листової сталі, розкриттям крайок, виготовленням зварювальних пристроїв. Застосування зварних і штампо-зварних заготовок у серійному виробництві вимагає добре обладнаного зварювального цеху.

При проектуванні заготовок корпусних деталей, розроблянні технологічного процесу їх виробництва і під час виготовлення необхідно вжити усі заходи для зменшення їх деформування внаслідок нерівномірного охолодження, усадки або зварювальних напружень, особливо якщо деталь має напрямні отвори для встановлювання валів, осей і т. п. Дуже часто заготовки корпусних деталей після виготовлення піддають термообробленню для зняття залишкових напружень, стабілізації розмірів, поліпшення структури і оброблюваності різанням.

11.2 Заготовки станин

Станини верстатів (рис. 11.2), транспортних, енергетичних та інших машин і агрегатів служать для забезпечення потрібних відносних положень і рухів інших деталей і складальних одиниць.

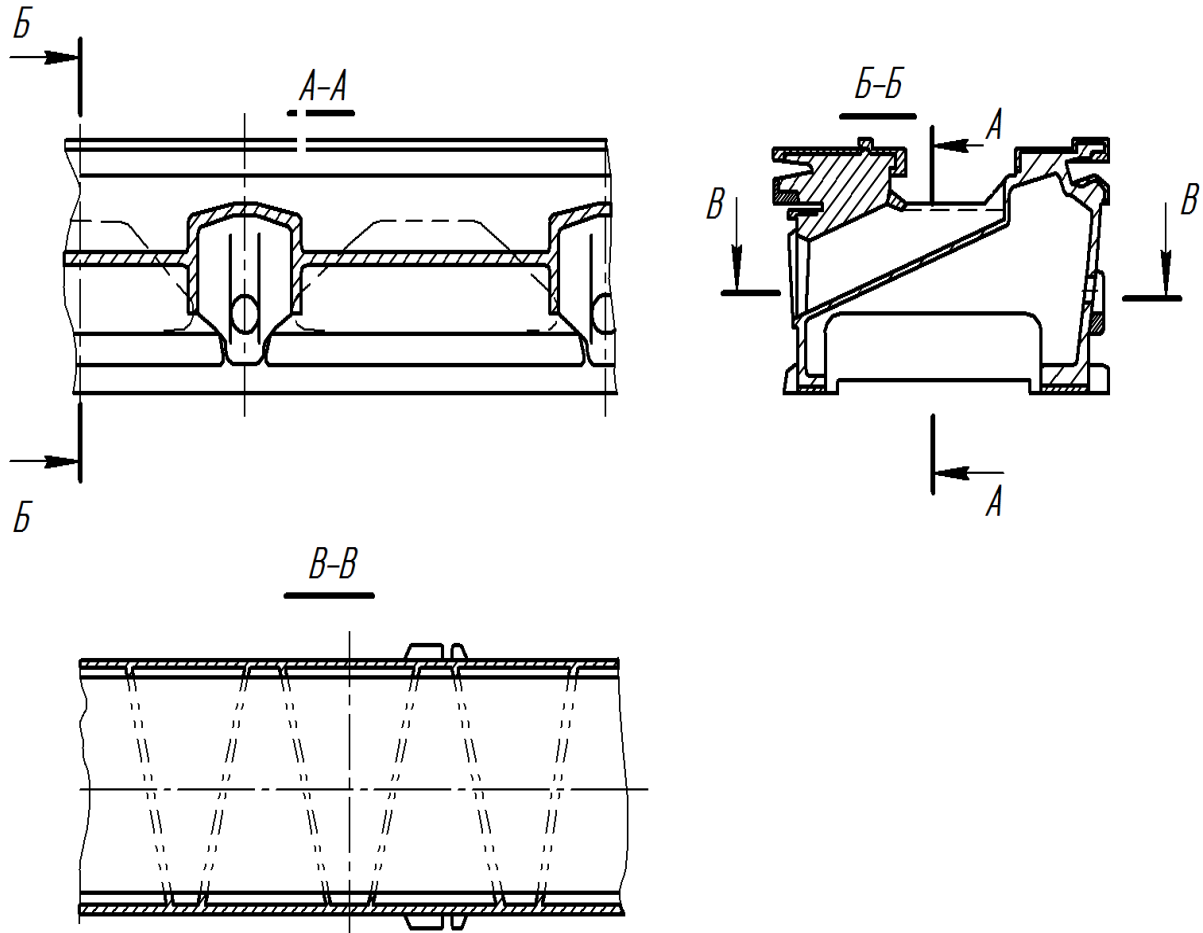


Рис. 11.2 Станина металорізального верстата

За розташуванням станини можуть бути горизонтальними, вертикальними і похилими; за конструкцією — суцільними і складеними; за службовим призначенням — з напрямними і без напрямних. Напрявні можуть бути накладними і виконаними разом зі станиною.

Основні вимоги, які пред'являються до станин, аналогічні вимогам до корпусних деталей. На відміну від них до станин пред'являються вищі вимоги щодо точності виготовлення та якості напрямних. До матеріалу станин пред'являються вимоги за хімічним складом, фізико-механічними

властивостями, однорідністю і щільністю матеріалу, особливо у найвідповідальніших місцях. З метою забезпечення високої зносостійкості підвищені вимоги пред'являються до мікроструктури і твердості поверхневого шару напрямних.

Більшість станин верстатів виготовляються литими з сірого чавуну марок СЧ20, СЧ25, СЧ30. Для зменшення металомісткості станин використовують сірий легований чавун або пошарове заливання у форму: спочатку ллють легований чавун під напрямні, а потім нелегований чавун.

Станини ллють у піщані ливарні форми. Для одержання якіснішого металу у зоні напрямних формування станини проводиться напрямними вниз. Масивні станини з монолітними напрямними і тонкими стінками відливають з використанням холодильників. Холодильники, прискорюючи охолодження, попереджають виникнення усадкових пухкостей, підвищують твердість поверхневого шару.

Зварні станини виготовляють з листової сталі марок Ст3, Ст4, Ст5, та інших товщиною 3...12 мм. У їх конструкціях застосовують також прокат: швелери, труби прямокутного перерізу, гнуті профілі. Переважно зварними роблять станини (рами) транспортних машин.

Зварювання заготовок станин найчастіше здійснюють електродуговими способами у середовищі захисних газів, під флюсом та електрошлаковим зварюванням. Найпоширенішим є автоматичне дугове зварювання у вуглекислому газі порошковим дротом. При зварюванні під флюсом використовують збільшений виліт електроду, зварювання пульсуючою дугою, багатоелектродне зварювання. Металомісткість зварних станин на 30...40% менша, ніж литих. Вони потребують приблизно удвічі меншого обсягу робіт по обробленню різанням. Однак трудомісткість виготовлення заготовок крупних зварних станин набагато більша, ніж литих.

Для станин велике значення має запобігання жолобленню у процесі виготовлення, складання та експлуатації. З цією метою литі заготовки станин верстатів перед механічним обробленням, як правило, піддають *природному*

старінню. Суть його полягає у тому, що заготовки після чорнового оброблення витримують на відкритому повітрі: протягом не менше 3 місяців для верстатів нормальної точності та не менше 6 місяців для верстатів підвищеної точності. Природне старіння не потребує додаткового обладнання, але є надто тривалою операцією, яка значно здовжує виробничий цикл виготовлення станини. Замість природного старіння можуть застосовуватися й інші види термооброблення: неповне або прискорене відпалювання, штучне старіння. Для зменшення жолоблення застосовують також неповне відпалювання з наступним природним старінням.

11.3 Заготовки валів, осей та шпинделів

Вали та осі становлять 10...13% у загальному обсязі виробництва деталей машин. Вали, осі та шпінделі дуже різноманітні за своїм призначенням, конструктивною формою, розмірами і конструкційним матеріалом.

За технологічною ознакою вали, осі та шпінделі поділяються на гладкі та східчасті; суцільні та порожнисті; вали з фланцями; шліцові вали та вали-шестерні, а також комбіновані з різноманітним сполученням указаних вище типів (рис. 11.3).

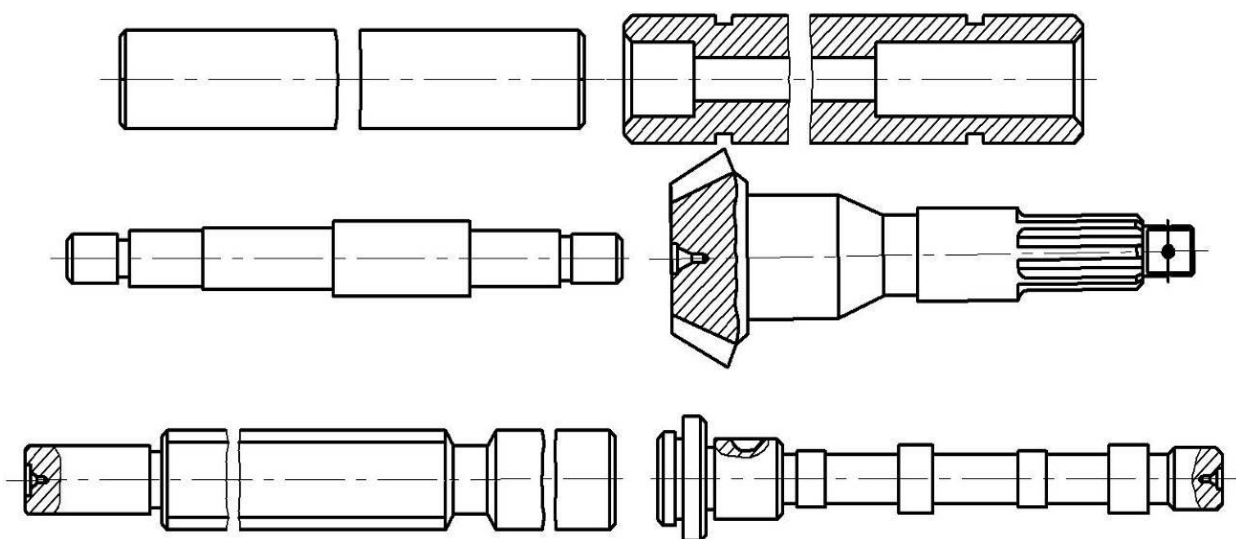


Рис. 11.3 Різновиди деталей типу валів

За довжиною l вали поділяються на 4 групи: I – $l \leq 150$ мм; II – $l = 150 \dots 500$ мм; III – $l = 500 \dots 1200$ мм; IV – $l \geq 1200$ мм. Вали II і III груп становлять 85% загальної кількості валів. За співвідношенням довжини l та середнього діаметра d вали поділяються на *жорсткі* ($l/d \leq 8 \dots 12$) та *нежорсткі* ($l/d > 12$).

Технологічні вимоги до деталей цієї групи складаються з необхідності одержати: зовнішні поверхні з потрібним ступенем точності; концентричність внутрішніх та зовнішніх поверхонь; мінімальну неспіввісність окремих оброблюваних поверхонь; паралельність шпоночних пазів та шліців осі вала та ін. Для шпінделів особливе значення має вимога стабільності положення осі обертання шпінделя, що досягається за рахунок рівності радіусів у кожному з перерізів його опорних шийок, співвісності і потрібного параметра шорсткості поверхонь.

Вали та осі виготовляють з вуглецевих та легованих сталей, яким притаманна висока міцність, добра оброблюваність різанням, здатність зміцнюватися внаслідок термічного оброблення. До них відносяться сталі: 35, 40, 45, 40X, 30XH, 50X, 40Г2, 45XH2МФ та ін. Для виготовлення шпінделей застосовують (високоміцний) чавун з кулястою формою графіту ВЧ450, ВЧ500, а для деяких важких верстатів застосовують виливки з сірого чавуну СЧ15, СЧ21 та ін.

В умовах одиничного виробництва майже всі вали виготовляють або безпосередньо з прокату, або з кованих поковок (крупні вали). Вали та осі з фланцями доцільно виготовляти складально-зварними. Суцільна кована заготовка валу гідротурбіни забезпечує коефіцієнт використання металу $K_{в.м} = 0,25 \dots 0,30$. У складально-зварній конструкції центральна частина валу виготовляється з прокату, а фланець – куванням, після чого вал і фланець зварюють. У цьому випадку $K_{в.м} = 0,7 \dots 0,8$.

Гладкі вали та осі, а також східчасті вали з невеликим перепадом між найбільшим та найменшим діаметрами (до 15...25%) виготовляють з прутка

незалежно від типу виробництва. Але якщо $K_{в.м}$ знижується до 0,65...0,75, пруток необхідно обробити тиском, наближуючи конфігурацію заготовки до форми готової деталі. Відносно короткі заготовки ($l/d < 5$) штампують на молотах чи пресах. Причому, штампування на молотах дає вищий $K_{в.м}$ (0,70...0,75), ніж на пресах (0,65...0,70) через більші можливості формоутворення.

У масовому і крупносерійному виробництвах впроваджуються методи профілювання заготовок на ротаційно- і радіально-обтискних машинах, на станах поперечного, поперечно-гвинтового і поперечно-клинового прокатування. Ці методи забезпечують виробництво заготовок зі значним перепадом поперечних перерізів, доброю якістю поверхневого шару, високою точністю і продуктивністю. $K_{в.м}$ при цьому досягає 0,90... 0,95, що дозволяє знизити собівартість деталей.

Заготовки валів і осей довжиною 150... 1200 мм з фланцями або значними перепадами перерізів в умовах серійного і масового виробництва найраціональніше виготовляти на горизонтально-кувальних машинах (ГКМ). Для відносно простих заготовок, особливо для заготовок з місцевими стовщеннями, застосовують електровисаджувальні машини.

Заготовки крупних валів (довжиною понад 1200 мм) виготовляють куванням на гідравлічних пресах. У той же час слід відзначити, що для довгих валів (понад 2 м) це єдиний можливий спосіб виробництва заготовок, хоч і характеризується низьким коефіцієнтом використання металу.

Для заготовок шпінделів використовують прокат (труби), поковки, чавунне чи сталеве литво. Прокат, поковки, чавунне литво застосовують в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва. У серійному виробництві заготовки шпінделів одержують штампуванням на ГКМ чи радіально-обтискних машинах. У порівнянні з куванням $K_{в.м}$ зростає з 0,2...0,3 до 0,5...0,8. Для забезпечення прямолінійності осі шпінделя у низці випадків заготовка піддається правленню на спеціальних правильно-

калібрувальних станах, які забезпечують відхилення від прямолінійності осі не більше 0,05 мм на 1 м довжини.

Після зняття поверхневого шару заготовки може відбутися значний перерозподіл залишкових напружень, який призводить до помітної деформації шпінделя якщо не відразу після оброблення, то під час експлуатації. Тому всі заготовки шпінделів, одержані куванням чи штампуванням, перед механічним обробленням піддаються термічному обробленню (нормалізуванню, покращенню).

11.4 Заготовки втулок

За конструкцією втулки поділяються на гладкі, з буртиком, з фланцем, різні і т. п. (рис. 11.4).

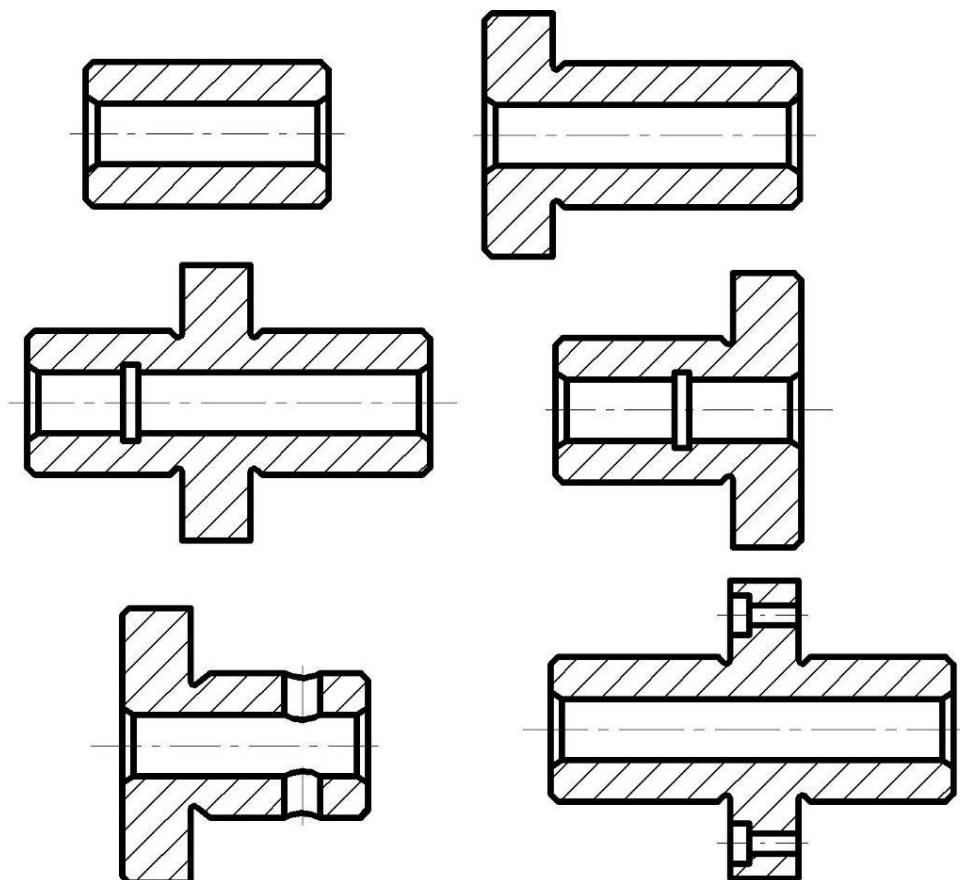


Рис. 11.4 Різновиди втулок

Головна вимога, що пред'являється до подібних деталей, полягає у досягненні концентричності зовнішніх і внутрішніх поверхонь та перпендикулярності торців до осі центрального отвору. Досягнення концентричності може бути забезпечено різними способами механічного оброблення заготовки, а це, у свою чергу, впливає на вибір чорнових баз механічного оброблення і на розподіл припусків при проектуванні заготовки.

Для виготовлення втулок застосовують найрізноманітніші конструкційні матеріали: чавуни – СЧ15, СЧ20, КЧ33-8, КЧ35-10; сталі – 20, 25, 30, 35Х, бронзи – БрОС-10-10, БрАЖН 10-4-4, латуні – Л68, ЛН65-5, ЛС59-1, спеціальні сплави, біметали, порошкові матеріали – ЖГ-1, ЖГ-2, БрОГр10-3, ЛЖГр6-3, текстоліт, капрон, деревина та ін.

Втулки діаметром до 20...25 мм виготовляють з гарячекатаних або каліброваних прутків, а також з литих стрижнів. Заготовками для втулок діаметром 20...80 мм є порожнисті виливки; поковки, штамповані на КГШП і ГKM; втулки, пресовані з металевих порошоків. Для виробництва втулок діаметром більше 80...100 мм як заготовки використовуються зварні або безшовні труби; заготовки, скручені з листа; поковки, одержані куванням або штампуванням на ГKM (особливо крупні заготовки).

Заготовки з прокату (пруток, труби, лист) – найдешевші і зручні для виготовлення втулок. Вони широко використовуються для виготовлення гладких або простих за конфігурацією втулок. Високий коефіцієнт використання металу мають тонкостінні заготовки, одержані скручуванням з холоднокатаного листа з наступним зварюванням або без нього.

Штампування на холодновисаджувальних автоматах або ГKM застосовується для виготовлення втулок, які мають виступи, фланці, буртики і т.п. у масовому і крупносерійному виробництві. Серед способів лиття для виробництва втулок найчастіше застосовують лиття у піщані форми або під тиском, кокільне та відцентрове лиття. Останній спосіб для виробництва заготовок втулок є переважним, тому що крім високої точності зовнішніх розмірів дає сприятливий розподіл структури матеріалу по перерізу

заготовки. Крім того, при цьому способі лиття майже повністю відсутні внутрішні ливарні дефекти або вони легко можуть бути видалені при чорновому механічному обробленні. Індивідуальні виливки крупних заготовок одержують литтям у піщані форми.

Тільки заготовки з порошкових матеріалів поряд з високою якістю поверхонь мають мінімальні припуски на механічне оброблення. $K_{в.м}$ у цьому випадку досягає 0,95...0,99. Порошковою металургією легко можна виготовити втулки з заданою пористістю, що дозволяє, наприклад, створити підшипники ковзання, які мають високі антифрикційні властивості без підводу змащення ззовні. У цьому випадку пори втулки заповнюються мастилом у процесі виготовлення або складання.

Виробництво втулок, як правило, відрізняється порівняно низьким $K_{в.м}$. Тому для втулок намагаються використовувати штучні заготовки, які штампують на ГKM, відцентровим литтям, литтям під тиском, порошковою металургією.

11.5 Заготовки зубчастих і черв'ячних коліс

Зубчасті колеса — досить поширена група деталей машин. Їх виробляють мільйонами штук. У залежності від конструкції і службового призначення зубчасті колеса поділяються на декілька типів (рис. 11.5):

I тип — одновінцеві колеса з довгими базовими отворами ($l/d > 1$); II тип — багатовінцеві колеса, які також мають значно більшу довжину базового отвору, ніж діаметр ($l/d \gg 1$); III тип — одновінцеві колеса типу дисків, у яких $l/d < 1$; IV тип — колеса, які після оброблення насаджуються і закріплюються на маточині, утворюючи разом з нею одно- і багатовінцеві колеса; V тип — зубчасті колеса-вали.

Зубчасті колеса повинні бути зносостійкими, працювати плавно і безшумно. Це досягається за рахунок точності виготовлення і низьких параметрів шорсткості робочих поверхонь. При виготовленні зубчастих коліс

високої точності особливо важливо забезпечити потрібне відхилення від перпендикулярності торця до осі центрального отвору.

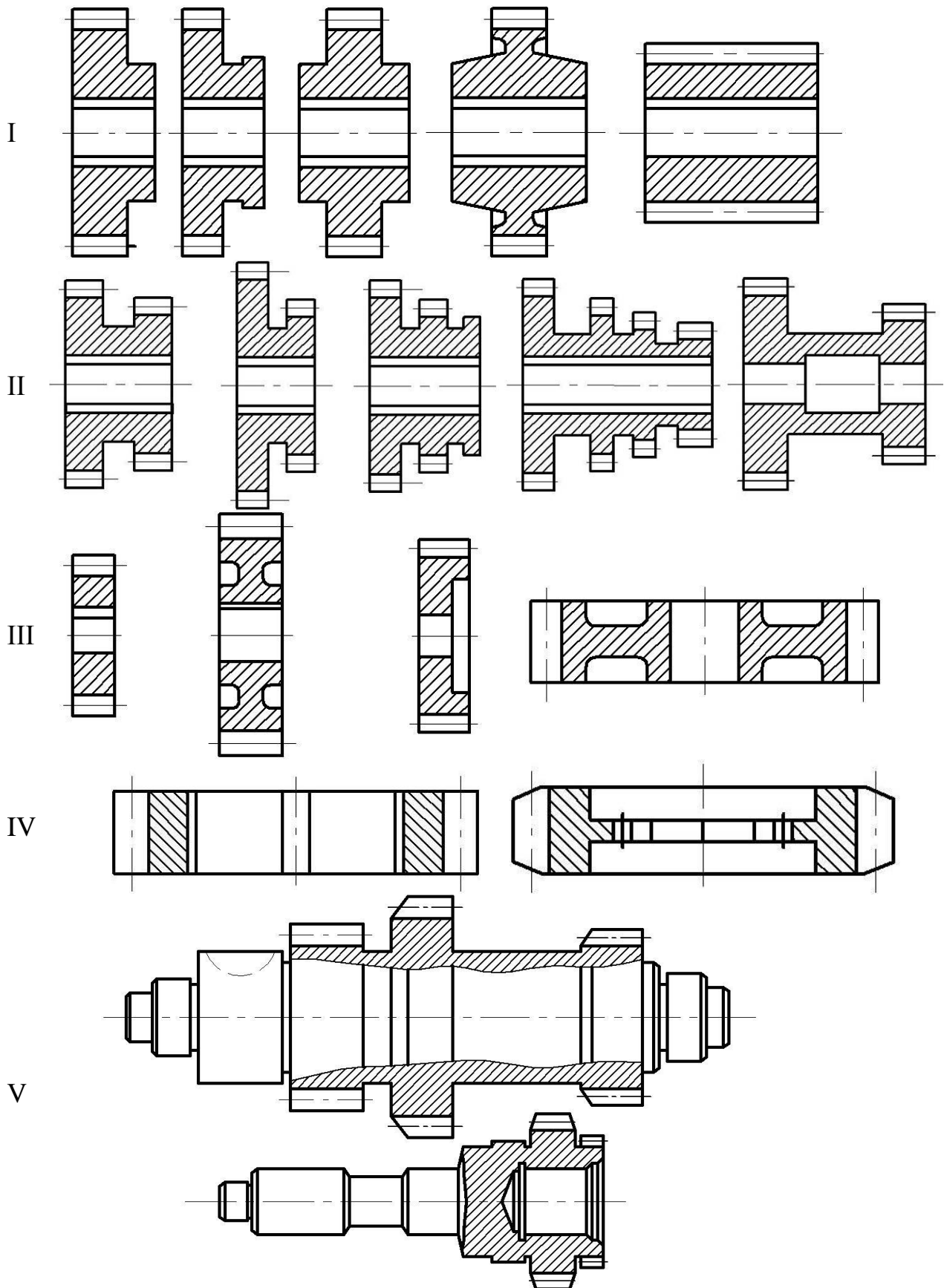


Рис. 11.5 Типи зубчастих коліс

Зубчасті колеса працюють у важких умовах, тому до їх матеріалу пред'являються високі вимоги стосовно однорідності фізико-механічних властивостей, макро- і мікроструктури, наявності внутрішніх дефектів, залишкових напружень і т. п. У залежності від навантаження, умов праці, призначення зубчасті колеса виготовляють з сірого чавуну СЧ20, СЧ24, сталей 40Х, 50Г, 40ХН, 12Х2Н4А, 18ХНВА, 38ХМЮА, бронзового або сталевих литва. Ведені шестерні, які працюють з коловою швидкістю менше 40...50 м/с, роблять також з пластмас (текстолит, лінгофоль-ДШП). Для підвищення зносостійкості для зубчастих коліс зі сталей застосовують різні види термічного і хіміко-термічного оброблення.

Заготовки з чавуну, сталевих і бронзових литва виготовляють литтям у піщані форми, кокільним і відцентровим литтям. Останній метод особливо широко застосовується при виготовленні заготовок крупних зубчастих коліс III і IV типів. Чавунні колеса можуть відливатися з відбіленою зовнішньою поверхнею, що сприяє підвищенню зносостійкості.

Заготовками коліс простої форми малих і середніх розмірів служать прокат або пресовані профілі. Крупні колеса в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва виготовляють з кованих заготовок.

Більшість заготовок зубчастих коліс виготовляється штампуванням, яке дозволяє одержати найсприятливішу макроструктуру. Для виробництва заготовок коліс I і III типів застосовують штампування у закритих і відкритих штампах на молотах і КГШП. Заготовки коліс II і IV, а іноді й V типів частіше виготовляють штампуванням на ГKM. Штампування на ГKM забезпечує одержання більшого $K_{в.м}$ для багатовінцевих зубчастих коліс. Крупні заготовки зубчастих коліс IV типу виготовляють куванням або розкочуванням.

Значна частина заготовок виготовляється з суцільних або кільцевих заготовок методом накочування зубців у холодному або гарячому стані. У цьому випадку виключається чорнове зубонарізання і формується дуже

сприятлива макроструктура металу. Для передач невисокої точності, виготовлених таким чином, взагалі виключається механічне оброблення.

Заготовки зубчастих коліс невеликого розміру виготовляють також чистовим вирубуванням з листа або пресуванням з порошкових матеріалів. У останньому випадку практично виключається механічне оброблення.

Заготовки черв'ячних коліс виготовляють з прокату або литтям. При великій програмі випуску застосовують лиття під тиском, кокільне або відцентрове лиття. Крупні заготовки черв'ячних коліс виготовляють складеними: сталева або чавунна маточина і бронзовий зубчастий вінець. Особливо крупні заготовки виготовляють шляхом заливання вінця на попередньо підготовлену маточину з іншого, дешевшого матеріалу (біметалеві зубчасті колеса).

11.6 Заготовки шківів і маховиків

Шків і *маховик* становлять більші чи менші крупні інерційні деталі циліндричної форми. Деталі цього типу характеризуються невеликим співвідношенням довжини циліндричної частини до зовнішнього діаметру (звичайно не більше 2,5) (рис. 11.6).

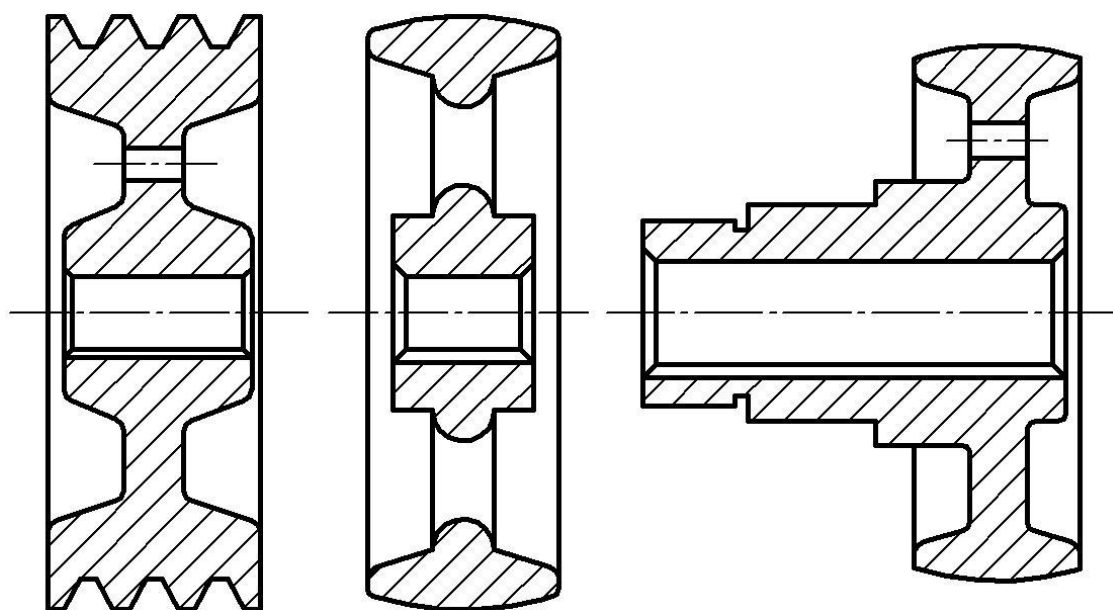


Рис. 11.6 Різновиди шківів і маховиків.

Особливості роботи шківів і маховиків визначають головні вимоги до їх заготовок: концентричність зовнішньої поверхні і посадкового отвору, перпендикулярність торців до осі деталі.

Шківів і маховиків діаметром понад 500 мм виготовляють з сірих чавунів — СЧ15, СЧ18, менших діаметрів — з сірого чавуну або конструкційних сталей 30, 35, 40. Шківів роблять також з алюмінієвих і магнієвих сплавів, бронз, текстолиту та інших матеріалів.

У більшості випадків для виробництва шківів і маховиків застосовують штучні заготовки — виливки, ковані або штамповані поковки. Середні та крупні заготовки з чавуну і сталі ллють у піщані форми. При великому розмірі партії ефективнішим є відцентрове лиття. Невеликі заготовки з кольорових металів в умовах серійного і масового виробництва виготовляють кокільним литтям, литтям в оболонкові форми і під тиском.

У залежності від конфігурації маховика (шківа), матеріалу і виробничих умов для виготовлення заготовок можуть використовуватись різні способи кування і штампування (на молотах, КГШП, рідше — на ГKM). Для невеликих деталей діаметром до 30 мм як заготовку застосовують прокат.

11.7 Заготовки важелів та вилок

До цієї групи деталей відносяться різноманітні важелі, вилки, коромисла, заскочки, шатуни та інші подібні деталі (рис. 11.7).

Вони здійснюють коливальні або обертальні рухи, передаючи необхідні сили й рух сполученим з ними деталям. Силова дія найчастіше спрямована у поздовжньому напрямку; поперечні навантаження, як правило, незначні.

Основні вимоги до виготовлення важелів та вилок полягають у забезпеченні правильної геометричної форми основних отворів та їх торців, досягненні паралельності або перпендикулярності осей отворів у заданих межах, одержанні заданої точності розмірів отворів та відстані між ними. Для

деяких важелів масового застосування (наприклад, для шатунів) такі вимоги встановлюються стандартом.

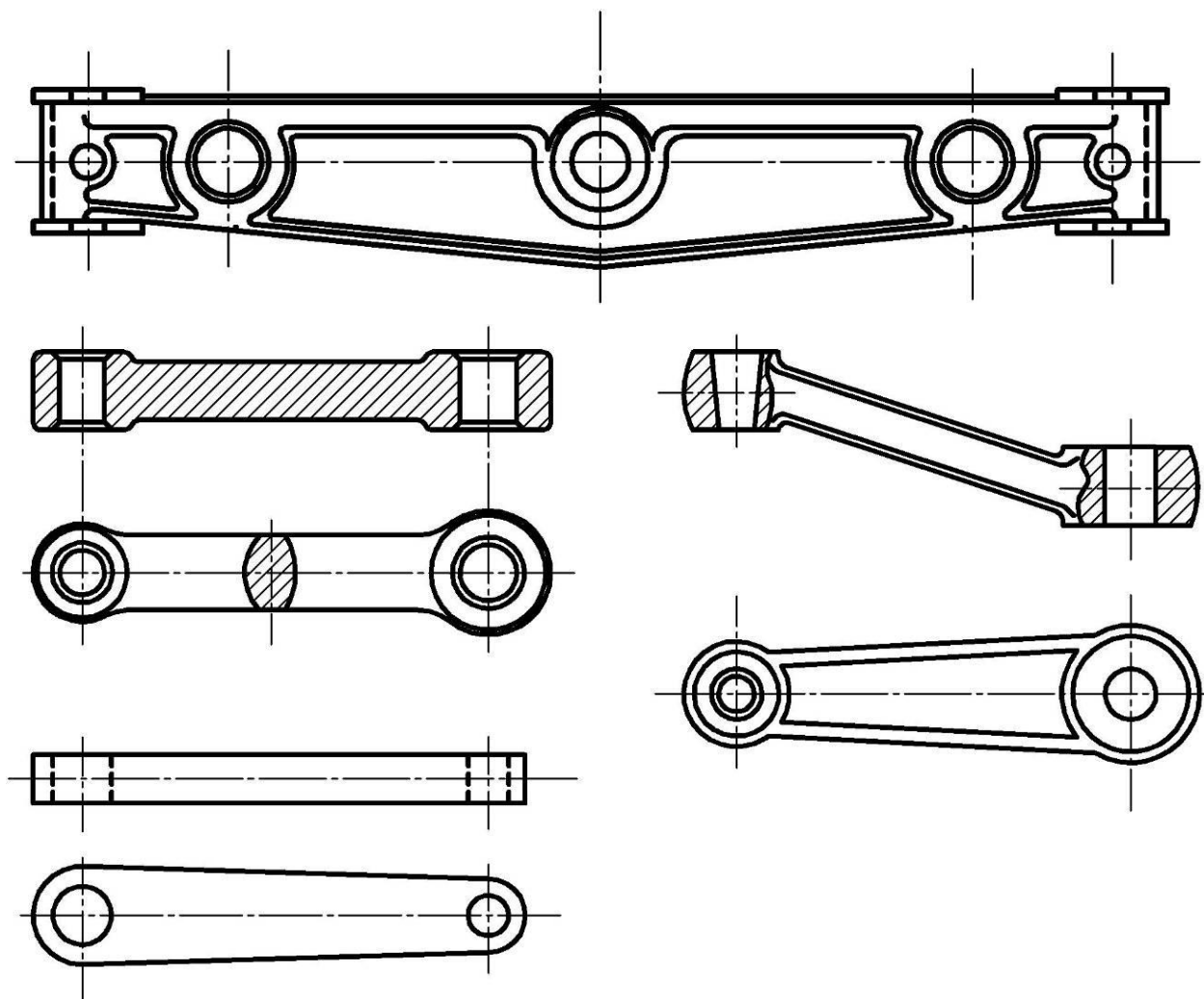


Рис. 11.7 Різновиди важелів і вилок

Для виготовлення важелів та вилок, що не піддаються ударним навантаженням, застосовують сірий чавун марок СЧ12, СЧ18, СЧ21, СЧ24; при наявності ударних навантажень — ковкий чавун марок КЧ35-10, КЧ37-12 та ін. Застосовують також конструкційні сталі Ст5, 20, 35, 45 та ін. Особливо відповідальні важелі виготовляють з легованих сталей 18ХГТ, 30ХГСА, 40Х та ін.

Чавунні заготовки одержують звичайно литтям у піщані форми з ручним чи машинним формуванням. Виливки з ковкого чавуну піддаються графітизувальному відпалюванню (*томління*), а після відпалювання — правленню.

Складні сталеві виливки масою до 10 кг у масовому виробництві одержують литтям в оболонкові форми та за витоплюваними моделями. Особливо це стосується випадків, коли низка поверхонь вилівка не вимагає механічного оброблення. Витрати металу при цьому у порівнянні з литтям у піщані форми знижуються на 30...50%.

Заготовки сталевих важелів простої форми можуть вирізатися з товстого листового прокату. Куванням виготовляють заготовки нескладної форми в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва. У цьому випадку передбачаються значні напуски і припуски, оскільки куванням важко виконати ребра та інші фасонні поверхні. Зі збільшенням масштабу виробництва економічнішим стає штампування на молотах (серійне виробництво) та на КГШП (масове та крупносерійне виробництво). Для підвищення продуктивності штампування, $K_{в.м}$ та зменшення собівартості заготовок застосовують попереднє штампування на кувальних вальцях або поперечно-клинове прокатування. У масовому виробництві штамповані поковки додатково піддаються калібруванню. Отвори діаметром понад 25...30 мм виконують куванням, штампуванням, литтям, менші — механічним обробленням.

11.8 Заготовки колінчастих валів

Колінчасті вали становлять складні та відповідальні деталі. За конструкцією колінчасті вали бувають суцільні, порожнисті (рис. 11.8) та складені.

Суцільні вали порівняно великого розміру застосовуються у автомобільних та тракторних двигунах, у компресорах, кривошипних пресах. *Складені* вали виготовляються невеликими партіями для крупних судових та стаціонарних двигунів внутрішнього згорання. У залежності від конструктивного оформлення колінчасті вали поділяються за кількістю корінних опор та шатунних шийок, їх взаємним розташуванням і т. п. До

колінчастих валів пред'являються високі вимоги з якості виготовлення, які регламентуються відповідними стандартами.

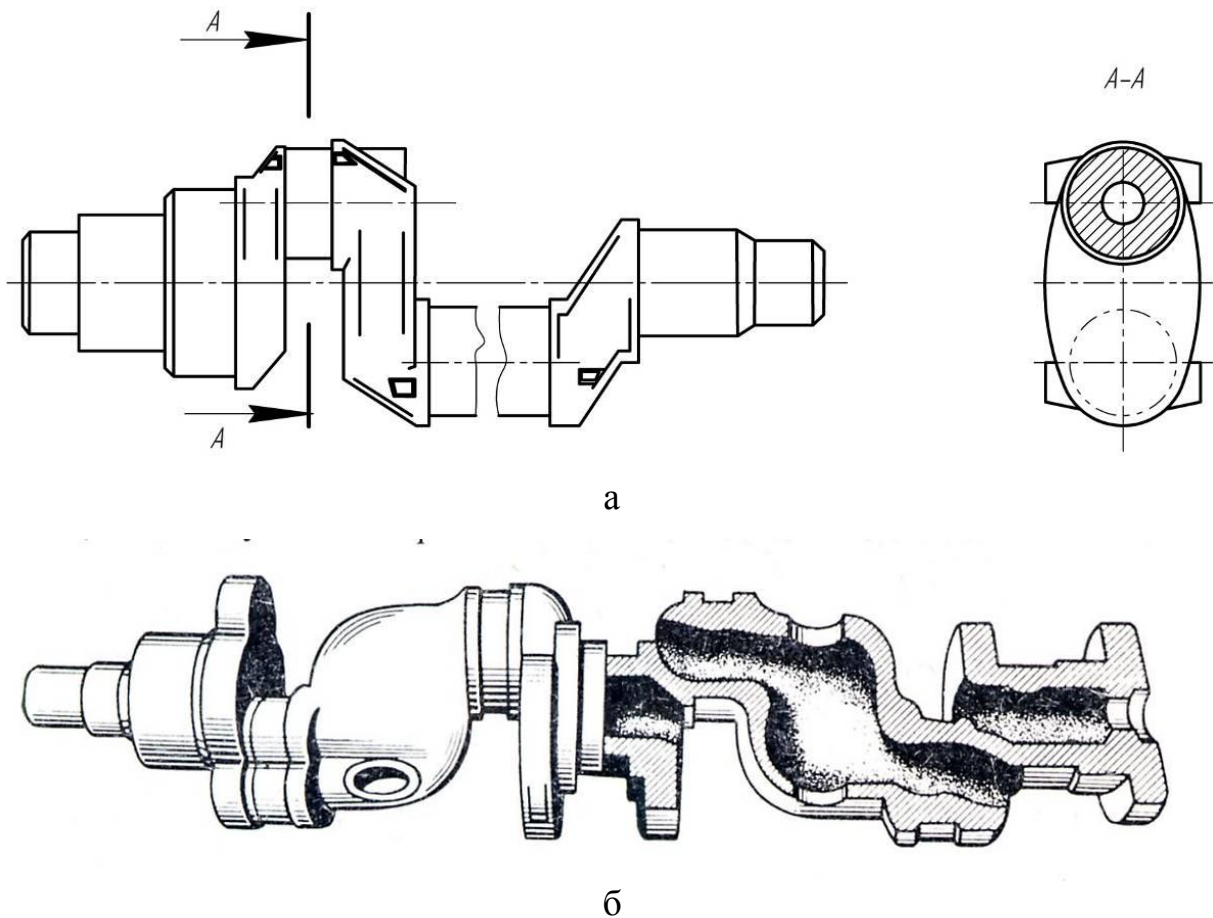


Рис. 11.8 Колінчасті вали: суцільний (а) та порожнистий (б)

Основні технологічні завдання при виробництві заготовок колінчастих валів та їх механічному обробленні полягають в одержанні співвісних корінних шийок високої точності, точних шатунних шийок з відповідною точністю їх взаємного розташування, у досягненні доброго балансування (динамічного та статичного) всього валу при обертанні відносно осі корінних шийок.

Колінчасті вали виготовляють з вуглецевих та легованих сталей марок 45, 45Х, 45Г2, 40ХНМА, 18ХНВА та інших, а також зі спеціальних високоміцних чавунів. Згідно з умовами роботи до матеріалу колінчастих валів пред'являються високі вимоги з якості поверхневого шару металу шийок з точки зору їх зносостійкості та втомної міцності.

Заготовки сталевих колінчастих валів малих та середніх розмірів в умовах крупносерійного та масового виробництва одержують штампуванням на пресах і молотах. Процес штампування відбувається за кілька переходів, а після обрізування облою проводять гаряче правлення. Заготовки для крупних сталевих валів одержують куванням на молотах і пресах. Таким заготовкам притаманні порівняно великі припуски і напуски, але часом це єдиний спосіб одержання заготовки потрібної якості.

Чавунні та сталеві заготовки колінчастих валів середніх розмірів відливають в оболонкові форми або за витоплюваними моделями. Для заготовок масою 100... 150 кг застосовують лиття у піщані форми.

Виробництво литих заготовок дозволяє усунути ряд технологічно складних операцій механічного оброблення. Наприклад, за рахунок установа стрижнів крупні вали можна виготовляти з *порожнистими шийками*, що помітно знижує масу готової деталі.

Значні складності при обробленні колінчастих валів утворює виготовлення оливопровідних каналів, які з'єднують шийки. Їх малі діаметри (5...8 мм) та значна довжина вимагають при механічному обробленні застосування спеціального обладнання для глибокого свердління. Якщо вал виготовляють литтям, у ливарну форму перед заливанням металу встановлюють тонкостінні трубки для підводу оливи. Таким чином повністю виключається низка операцій свердління.

Недоліком литих колінчастих валів є складність забезпечення однорідної структури, механічних та експлуатаційних властивостей по перерізу заготовки, а також можливість утворення внутрішніх дефектів (раковини, пори, шлакові та неметалеві включення).

11.9 Заготовки компресорних і турбінних лопаток ГТД

Лопатки (рис. 11.9) — компресорні і турбінні — одні з найвідповідальніших деталей газотурбінних двигунів (ГТД). Вони мають

досить складну форму, різноманітні за розмірами і матеріалами. Лопатки працюють у складних умовах і повинні витримувати великі навантаження.



Рис. 11.9 Заготовки компресорних лопаток, отримані періодичними прокатуванням (а) і робочі лопатки компресора (б)

Робочі компресорні лопатки призначені для створення потоку повітря високого тиску. Розміри лопаток змінюються від 250...300 мм для першої ступені до 20...30 мм для останньої. Особливістю профіля пера лопаток є те, що він змінюється по довжині пера з поступовим поворотом кожного перерізу відносно поздовжньої осі. Під час експлуатації лопатки зазнають великі відцентрові та знакозмінні навантаження. Робоча температура лопаток останніх ступеней компресора може досягати 300...450⁰С.

Як матеріал для виготовлення компресорних лопаток найчастіше використовують нержавіючі сталі 1X17H2Ш, 1X16H2AM і титановий сплав BT8.

Головним способом виготовлення компресорних лопаток є *точно гаряче штампування*. Воно здійснюється на фрикційних і гідрогвинтових пресах. Вихідною заготовкою служить пруток. Первинна підготовка до штампування може здійснюватися декількома способами.

Найпростіший спосіб — штампування групової заготовки (на 6 деталей). При цьому виконується набирання металу для хвостової частини лопаток і плющення їх тонкої профільної частини.

Другий спосіб — отримання групової заготовки лопаток періодичним прокатуванням. Суть періодичного прокатування у цьому випадку полягає у тому, що прутки нагрівають до необхідної температури і подають у провідку валків спеціального прокатного стану. Валки на робочій поверхні мають рівчак змінного профілю, який при прокатуванні заготовки утворює необхідну геометрію. За один оберт валків формується 4...6 заготовок, зв'язаних перемичками. Під час прокатування виконується набір матеріалу хвостовика лопатки за рахунок стоншування вихідної заготовки у зоні профільної частини.

Вихідну заготовку отримують також штампуванням витисканням. При цьому хвостова частина лопатки формується у матриці штампа, а профільна частина постійного перерізу витискається через матрицю.

Режим наступного гарячого штампування і послідовність технологічних переходів залежить від матеріалу лопатки. Метод точного штампування дозволяє отримувати заготовки з припуском на сторону пера під холодне вальцювання 0,05...0,15 мм, точністю 0,2...0,4 мм, коефіцієнтом використання металу 0,15...0,50, а також високу продуктивність.

Крім точного штампування для виготовлення заготовок лопаток використовують також *ізотермічне штампування*. Суть його полягає у тому, що температура заготовки, яка деформується, інструмента і навколишнього обмеженого простору підтримується постійною впродовж всього циклу деформування. Штампування проводять при низьких швидкостях деформування — 0,5...5,0 мм/с. Охолодження заготовки у процесі деформування практично виключено. Ізотермічним штампуванням виготовляють заготовки лопаток з титанових сплавів з $K_{в.м}$ до 0,3...0,4 і припуском на бік по перу 0,2...0,4 мм.

Лопатки напрямних апаратів компресорів виготовляються також з нержавіючих сталей і титанових сплавів. Вони мають постійний по всій довжині профіль з невеликим розворотом осей одна відносно іншої.

Групову заготовку лопаток отримують прокатуванням з штаби на спеціальному двовалковому прокатному стані у холодному стані. Необхідні розміри перерізу лопатки отримують за декілька переходів прокатування з проміжним відпалюванням. Прокатану заготовку розрізають на штампі на штучні заготовки. Гнуття і закручування лопатки (якщо це необхідне) проводять у штампі на пресі або термофіксацією у стапелі у нагрівальній печі. Коефіцієнт використання металу знаходиться у межах 0,7...0,8; точність профілю – 0,05 мм.

Турбінні лопатки працюють при температурах до 1000⁰С і виготовляються з жароміцних хромонікелевих сплавів ЖС6У, ВЖЛ12У, ВЖЛ14, ЦНК7П та ін. Для їх виготовлення використовують фактично лише лиття за витоплюваними моделями. Воно дозволяє виготовляти заготовки практично необмеженої конфігурації з регламентованою структурою і якістю поверхні, яка майже не вимагає наступного механічного оброблення. У межах цього способу лопатки виготовляють двома методами: рівновісним литтям і литтям зі спрямованою кристалізацією.

При *рівновісному литті* заготовки виготовляються за класичною технологією лиття за витоплюваними моделями. Структура сплаву у литому стані неоднорідна, має грубу дендритну будову. У робочому діапазоні температур спостерігається міжзеренний характер руйнування. Тобто, у діапазоні робочих температур сплави виявляються структурно нестабільними.

Технологія *лиття зі спрямованою кристалізацією* описана у п. 3.1. Перевага цієї технології полягає у тому, що у межах лопатки створюється монокристал, де відсутні межі зерен. Завдяки цьому істотно поліпшуються механічні властивості лопатки, у тому числі й опір утомі.

11.10 Заготовки турбінних дисків ГТД

Турбінні диски (рис. 11.10) масивні відповідальні деталі, які працюють при температурі до 1000°C і великих силових навантаженнях.

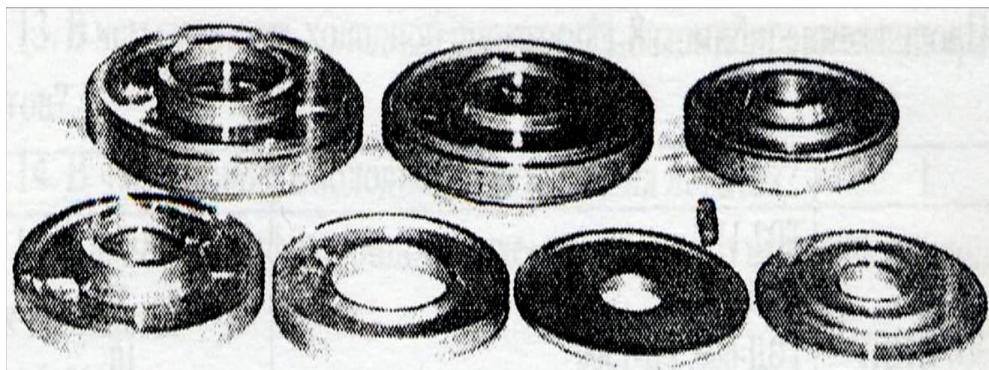


Рис. 11.10 Заготовки турбінних дисків

Диски виготовляються з високолегованих жароміцних сплавів на хромонікелевій основі: ЭИ698-ВД, ЭП742-ИД, ЭК79-ИД, ЭК151-ИД, ЭК152-ИД, ЭП975-ИД. Технологія виробництва заготовок дисків полягає у відливанні масивних дисків, які потім деформуються традиційними методами (наприклад, штампуванням), наближаючи заготовку у більшому або меншому ступені до необхідної форми диска.

Штампування в основному проводиться на пароповітряних молотах. Однак при штампуванні на молотах спостерігається істотна нерівномірність температури, ступеня і швидкості деформування по об'єму заготовки, що призводить до структурної неоднорідності, а отже й до неоднорідності розподілу властивостей по перерізу диску. Перехід до штампування заготовок на гідравлічних пресах дозволяє здійснювати деформування жароміцних сплавів при підвищеній пластичності, що є необхідною умовою для точного штампування поковок складної форми зі стабільно високим рівнем властивостей.

Для отримання заготовок складної конфігурації (наприклад, з масивним ободом і тонким полотном) застосовують технологію штампування заготовок дисків з розкоченого кільця. У такому випадку вихідну заготовку типу шайби нагрівають у печі, а потім укладають у спеціальний розкочувальний верстат. Процес розкочування здійснюють одночасним або роздільним переміщенням роликів у поперечному і поздовжньому напрямках, забезпечуючи підйом реборд, лабіринтових ущільнень, оформлення полотна і обода диска.

З метою підвищення експлуатаційних властивостей дисків, що виготовляються зі сплавів ускладненого хімічного складу та зниженою пластичністю, заготовки виготовляють методом металургії гранул. За цією технологією спочатку виготовляють гранули з відповідного сплаву, потім їх класифікують їх за розмірами і сепарують від шкідливих домішок. Готову суміш піддають гарячому ізостатичному пресуванню та термообробленню. Весь технологічний процес здійснюється в атмосфері надчистого інертного газу або у вакуумі, без винесення гранул на повітря. Така технологія знаходить застосування для виготовлення заготовок таких деталей ГТД, як диски, вали, проставки, крильчатки та ін.

Контрольні запитання:

1. Які способи лиття використовуються для виготовлення заготовок корпусних деталей та станин у одиничному та серійному виробництвах?
2. Які заготовки валів (осей, шпінделів) використовують у масовому, серійному та одиничному виробництвах?
3. Перерахуйте способи одержання заготовок зубчастих коліс у різних типах виробництва.
4. Назвіть основні способи одержання заготовок шківів та маховиків.
5. У чому полягає перевага штампування заготовок турбінних дисків на гідравлічних пресах у порівнянні з штампуванням на молотах?
6. Перерахуйте способи одержання заготовок типу важелів та вилок.

7. Які основні технологічні завдання ставлять при виготовленні колінчастих валів? Які існують способи одержання заготовок для цих деталей?

8. Які технології використовуються для виробництва заготовок робочих компресорних лопаток?

ДОДАТКИ

Додаток 1. Порівняльна характеристика основних способів лиття

Спосіб лиття	Тип виробництва	Матеріал виливків	Маса виливків, кг	Товщина стінок, мм	Досяжна точність розмірів, квалітет	Параметр шорсткості поверхонь R_a мкм	Коефіцієнт використання матеріалу	Відносна собівартість литва, %	Технологічні особливості	Приклади деталей
У піщані форми	О, С, М	Чавуни сталі, кольорові сплави	До 250 т	≥ 3	14...17	80...20	0,55...0,70	Сірий чавун 100; ковкий чавун 105; сталеве литво 88...175	Можливе виготовлення виливків будь-якої конфігурації, особливо таких, що вимагають великої кількості стрижнів. Спосіб механізовано. Низька собівартість	Фланці, кришки, втулки, станини, корпуси насосів та редукторів
В оболонкові форми	С, М	Чавуни, вуглецеві і леговані сталі, кольорові сплави	0,1...80	2...4	12...15	40...5	0,85...0,90	Вуглецеві сталі 110...800	Тонкостінні виливки компактної форми. Спосіб може бути механізованим. Висока чистота поверхні.	Втулки муфти, фланці, кронштейни

Продовження додатка 1. Порівняльна характеристика основних способів лиття

Спосіб лиття	Тип виробництва	Матеріал виливків	Маса виливків, кг	Товщина Стінок, мм	Досяжна точність розмірів, квалітет	Параметр шорсткості поверхонь R _a , мкм	Коефіцієнт використання матеріалу	Відносна собівартість литва, %	Технологічні особливості	Приклади деталей
За витоплюваними моделями	М, С	Високолеговані сталі, жаростійкі сплави, кольорові сплави	0,01...135	≥0,7	11...14	10...2,5	0,85...0,95	Сталі, кольорові сплави 300...1000	Дрібні та середні виливки складної конфігурації, механічне оброблення яких утруднене. Висока точність форми і розмірів	Лопатки турбін, зубчасті колеса, штуцери, фітинги
Кокільне лиття	С	Сталі, чавуни, кольорові сплави	0,1...150	≥3	12...15	20...5	0,70...0,75	Сірий чавун 80...105; Вуглецеві сталі 105...140; алюмінієві сплави 415...520	Виготовлення товстостінних виливків простої та середньої складності. Поліпшена точність розмірів	Муфти і втулки, стакани, маховики, колеса
Відцентрове	М, С	Сірий чавун, сталі, мідні сплави	0,1...3000	4...200	13...15	20...5	0,70...0,90	Сірий чавун 60...80; сталі 70...110	Деталі, що мають вісь симетрії і отвір. Висока продуктивність	Труби, кільця, втулки, гільзи
Під тиском	М, С	Цинкові, алюмінієві, магнієві, мідні сплави	0,001...60	0,5...6,0	9...13	10...2,5	0,90...0,98	Алюмінієві сплави 500...560; цинкові сплави 400...1000	Тонкостінні виливки складної конфігурації. Висока точність і продуктивність	Корпуси приладів, панелі, шестерні, степсельні і різні

Додаток 2. Класифікація виливків за групою складності

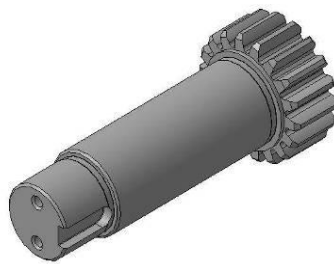
1 група – прості виливки

Виливки плоскі, циліндричні, зовнішні поверхні з невисокими виступами. Внутрішні порожнини відсутні.

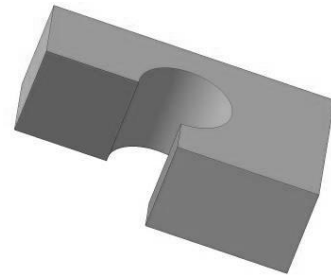
Типові впливи: кришки, фланці, вали простої конфігурації, вал-шестерні, маховики без спиць, притискні кільця.



фланец



вал-шестерня

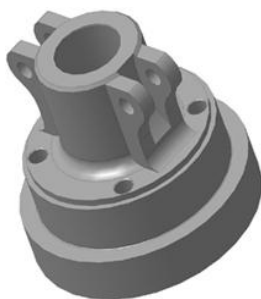


шайба

2 група – нескладні виливки

Виливки плоскі, циліндричні, напівсферичні відкритої коробчатої форми. Зовнішні поверхні прямолінійні і криволінійні з наявністю ребер і буртів. Внутрішні порожнини прямолінійні з широким виходом назовні.

Типові виливки: шківні, зубчасті колеса без литих зубів, вилки, маховики діаметром до 1 м, кронштейни, цапфи.



корпус



маховик



вилка



кронштейн

3 група – виливки середньої складності

Виливки циліндричні, сферичні відкритої коробчастої форми. Зовнішні поверхні прямолінійні та криволінійні з бобишками, заглибленнями і виступами. Внутрішні порожнини середньої складності з незначними виступами і заглибленнями на одній з гладких поверхонь з вільним широким виходом назовні.

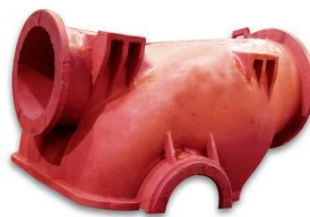
Типові виливки: шківні діаметром понад 1 м, корпуси, кришки редукторів, супорти, планшайби верстатів.



патрубок



**планшайба
верстата**



корпус

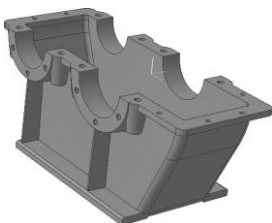


корпус

4 група – складні виливки

Виливки закритої і частково відкритої коробчастої форми. Зовнішні поверхні прямолінійні та криволінійні з бобишками і литими отворами. Внутрішні порожнини в основному прямолінійні з вільним та утрудненим виходом назовні.

Типові виливки: станини металорізальних верстатів, корпуси редукторів, силові головки, циліндри двигунів, компресорів.



**корпус
редуктора**



картер



кришка двигуна



**циліндр
компресора**

5 група – особливо складні виливки

Виливки коробчастої, сферичної або комбінованої форми. Зовнішні поверхні прямолінійні і криволінійні з прилеглими фланцями, патрубками і ребрами. Внутрішні поверхні складної конфігурації з вільними і утрудненим виходом назовні; можлива наявність замкнених порожнин.

Типові виливки: Блоки циліндрів крупних двигунів, компресорів; станини крупних верстатів, рами.



6 група – особливо складні та унікальні виливки

Виливки закритої коробчастої, циліндричної форми. Зовнішні поверхні утворюються сполученням прямолінійних і криволінійних поверхонь з тонкими ребрами і виступами. Внутрішні поверхні особливо складної конфігурації.

Типові виливки: станини крупних спеціальних верстатів, блоки циліндрів великих дизелів, корпуси відцентрових насосів.



Додаток 3. Класи точності розмірів виливків

Технологічний процес лиття	Найбільший габаритний розмір виливка, мм	Тип сплаву			
		Кольорові легкі нетермооброблені сплави	Нетермооброблені чавуни і сталі та кольорові тугоплавкі сплави; термооброблені легкі кольорові сплави	Термооброблені чавуни і тугоплавкі кольорові сплави	Термооброблені сталі
Клас точності розмірів виливка					
Лиття під тиском і за випалюваними моделями	до 100	3т – 6	3 – 7	4 – 7	5т – 8
	100 ... 250	3 – 7т	4 – 7	5т – 8	5 – 9т
	250 -... 630	4 - 7	5т - 8	5 – 9т	6 - 9
Лиття за витоплюваними моделями	до 100	4 – 8	5т – 9т	5 – 9	6 – 10
	100 ... 250	5т – 9т	5 – 9	6 – 10	7т – 11т
	250 ... 630	5 - 9	6 - 10	7т – 11т	7 – 11
Лиття під низьким тиском і кокільне лиття з металевими стрижнями	до 100	5т – 9т	5 – 9	6 – 10	7т – 11т
	100 ... 250	5 – 9	6 – 10	7т – 11т	7 – 11
	250 ... 630	6 – 10	7т – 11т	7 – 11	8 – 12
	630 ... 1600	7т – 11т	7 - 11	8 - 12	9т – 13т
Лиття у сирі піщані форми; лиття за газофікованими моделями; кокільне лиття з піщаними стрижнями	до 100	5 – 10	6 – 11т	7т – 11	7 – 12
	100 ... 250	6 – 11т	7т – 11	7 – 12	8 – 13т
	250 ... 630	7т – 11	7 – 12	8 – 13т	9 – 13
	630 ... 1600	7 - 12	8 – 13т	9 - 13	10 – 14

Продовження додатка 3. Класи точності розмірів виливків

Технологічний процес лиття	Найбільший габаритний розмір виливка, мм	Тип сплаву			
		Кольорові легкі нетермооброблені сплави	Нетермооброблені чавуни і сталі та кольорові тугоплавкі сплави; термооброблені легкі кольорові сплави	Термооброблені чавуни і тугоплавкі кольорові сплави	Термооброблені сталі
Клас точності розмірів виливка					
Відцентрове лиття	до 100	6 – 11Т	7Т – 11	7 – 12	8 – 13Т
	100 ... 250	7Т – 11	7 – 12	8 – 13Т	9Т – 13
	250 ... 630	7 – 12	8 – 13Т	9Т – 13	10 – 14
	630 ... 1600	8 – 13Т	9Т - 13	10 - 14	11Т – 14
Лиття в оболонкові форми; лиття у форми з самотвердних сумішей; лиття у сухі та підсушені піщані форми	до 100	7Т – 11	7 – 12	8 – 13Т	8 – 13Т
	100 ... 250	7 – 12	8 – 13Т	9Т – 13	9Т – 13
	250 ... 630	8 – 13Т	9Т – 13	10 – 14	10 – 14
	630 ... 1600	9Т - 13	10 - 14	11Т – 14	11Т – 14

348

Примітки до додатку 3:

- У таблиці вказані діапазони класів точності розмірів виливків, які забезпечуються різними технологічними способами лиття. Менші їх значення відносяться до простих виливків і умов масового виробництва; більші – до складних виливків в одиничному і дрібносерійному виробництвах; середні – до виливків середньої складності і умов серійного виробництва.
- До кольорових легкоплавких сплавів віднесені сплави з температурою плавлення нижче 700°C, до кольорових тугоплавких – сплави з температурою плавлення понад 700°C.
- До легких сплавів віднесені сплави з густиною до 3,0 г/см³, до важких – сплави з густиною понад 3,0 г/см³.

Додаток 4. Ряди припусків для оброблення виливків

Ступінь точності розмірів	1 - 2	3 - 4	5 - 6	7 - 8	9 - 10	11 - 12	13 - 14	15	16
Ряди припусків	1 - 2	1 - 3	1 - 4	2 - 5	3 - 6	4 - 7	5 - 8	6 - 9	7 - 10

Примітки до додатку 4:

1. Менші значення рядів припусків з діапазону їх значень слід приймати для термооброблених виливків з кольорових легкоплавких сплавів, більші значення – для виливків з ковкого чавуну, середні – для виливків з сірого та високоміцного чавунів, термооброблених виливків зі сталей і кольорових тугоплавких сплавів.

2. Для верхніх при заливанні поверхонь виливків, які виготовляються у разових формах в одиничному та дрібносерійному виробництвах, допускається приймати збільшені на 1 – 3 одиниці значення ряду припусків.

Додаток 5. Допуски лінійних розмірів виливків

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

Інтервал номінальних розмірів, мм	Допуски розмірів виливків, мм, не більше, для класів точності										
	9т	9	10	11т	11	12	13т	13	14	15	16
До 4	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	-	-	-	-	-	-
4...6	0,9	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	-	-	-	-	-
6...10	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	-	-	-
10...16	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7	-	-
16...25	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8	10	12
25...40	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9	11	14
40...63	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10	12	16
63...100	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11	14	18
100...160	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12	16	20
160...250	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14	18	22
250...400	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16	20	24
400...630	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18	22	28
630...1000	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20	24	32
1000...1600	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18,0	22	28	36
1600...2500	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24	32	40
2500...4000	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18,0	22,0	28	36	44
4000...6300	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32	40	50
6300...10000	-	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	40	50	64
Понад 10000	-	-	12,0	16,0	20	24	32	40	50	64	80

Додаток 6. Загальні припуски для виливків (витяг з ГОСТ 26645-85)

Загальний допуск елемента поверхні, мм	Вид остаточного механічного оброблення	Загальний припуск на бік, мм, не більше, для ряду припусків виливка																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0,32...0,36	Чистове	0,3	0,5	0,5	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,9	2,3	2,7	3,3	-	-	-	-	-
	Напівчистове	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5	1,7	2,1	2,5	3,1	3,6	-	-	-	-	-
	Чистове	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8	2,3	2,7	3,3	3,8	-	-	-	-	-
	Тонке	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8	2,3	2,7	3,4	3,9	-	-	-	-	-
0,36...0,40	Чистове	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,9	2,3	2,8	3,3	4,3	-	-	-	-
	Напівчистове	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5	1,7	2,1	2,5	3,2	3,7	4,8	-	-	-	-
	Чистове	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8	2,3	2,7	3,3	3,8	5,0	-	-	-	-
	Тонке	0,6	0,8	0,8	0,9	1,1	1,1	1,4	1,6	1,9	2,4	2,8	3,4	4,0	5,1	-	-	-	-
0,40...0,44	Чистове	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,9	2,3	2,8	3,4	4,3	-	-	-	-
	Напівчистове	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8	2,2	2,6	3,1	3,6	4,8	-	-	-	-
	Чистове	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,7	1,9	2,4	2,7	3,4	3,9	5,0	-	-	-	-
	Тонке	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,7	1,9	2,4	2,8	3,4	4,0	5,1	-	-	-	-
0,44...0,50	Чистове	0,5	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0	2,4	2,8	3,4	4,4	5,3	-	-	-
	Напівчистове	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8	2,2	2,6	3,3	3,8	4,8	5,8	-	-	-
	Чистове	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,7	1,9	2,4	2,8	3,5	3,9	5,2	6,2	-	-	-
	Тонке	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,8	2,0	2,5	2,9	3,6	4,1	5,3	6,3	-	-	-
0,50...0,56	Чистове	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0	2,4	2,9	3,4	4,4	5,5	-	-	-
	Напівчистове	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,7	1,9	2,3	2,7	3,3	3,8	4,9	5,8	-	-	-
	Чистове	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,8	2,0	2,5	2,9	3,4	4,0	5,1	6,1	-	-	-
	Тонке	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,9	2,1	2,6	3,0	3,6	4,3	5,5	6,3	-	-	-
0,56...0,64	Чистове	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	2,1	2,4	2,9	3,5	4,4	5,5	6,5	-	-
	Напівчистове	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,8	2,0	2,4	2,8	3,4	3,9	5,0	6,0	7,1	-	-
	Чистове	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,9	2,1	2,6	3,0	3,6	4,1	5,3	6,3	7,3	-	-
	Тонке	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	2,0	2,2	2,7	3,1	3,8	4,3	5,4	6,5	7,5	-	-

Продовження додатка 6. Загальні припуски для виливків (витяг з ГОСТ 26645-85)

Загальний допуск елемента поверхні, мм	Вид остаточного механічного оброблення	Загальний припуск на бік, мм, не більше, для ряду припусків виливка																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0,64...0,70	Чистове	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	2,1	2,5	3,0	3,4	4,5	5,4	6,5	8,5	-
	Напівчистове	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,9	2,1	2,4	2,8	3,5	3,9	5,0	6,0	7,1	9,3	-
	Чистове	0,9	1,1	1,1	1,3	1,4	1,4	1,6	1,9	2,2	2,6	3,1	3,6	4,1	5,3	6,3	7,5	9,8	-
	Тонке	1,1	1,1	1,3	1,4	1,4	1,6	1,8	2,1	2,3	2,8	3,1	3,9	4,4	5,6	6,5	7,8	9,8	-
0,70...0,80	Чистове	0,6	0,8	0,8	0,9	1,1	1,1	1,4	1,6	1,8	2,2	2,6	3,1	3,6	4,6	5,6	6,5	8,5	-
	Напівчистове	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	2,0	2,1	2,5	2,9	3,6	4,0	5,2	6,2	7,3	9,3	-
	Чистове	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,1	2,3	2,8	3,1	3,8	4,3	5,4	6,5	7,5	9,8	-
	Тонке	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,2	2,4	2,9	3,4	4,0	4,5	5,8	6,7	7,8	10,0	-
0,80...0,90	Чистове	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,6	3,2	3,7	4,6	5,6	6,7	8,5	10,5
	Напівчистове	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,1	2,3	2,7	3,1	3,7	4,1	5,3	6,3	7,3	9,5	11,5
	Чистове	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,2	2,4	2,9	3,4	3,9	4,4	5,6	6,7	7,8	9,8	12,0
	Тонке	1,4	1,4	1,6	1,6	1,8	1,9	2,1	2,4	2,6	3,1	3,4	4,1	4,6	5,8	6,9	8,0	10,5	12,5
0,90...1,00	Чистове	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,7	1,9	2,3	2,7	3,1	3,6	4,8	5,6	6,7	8,8	10,5
	Напівчистове	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1	2,4	2,7	3,2	3,8	4,3	5,3	6,3	7,5	9,5	11,5
	Чистове	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,3	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,8	6,7	7,8	10,0	12,0
	Тонке	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,5	2,7	3,1	3,6	4,3	4,8	6,0	6,9	8,0	10,5	12,5
1,00...1,10	Чистове	8,0	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	2,0	2,4	2,7	3,3	3,8	4,8	5,8	6,7	8,8	10,5
	Напівчистове	1,1	1,3	1,4	1,4	1,6	1,6	1,9	2,2	2,4	2,8	3,1	3,8	4,3	5,3	6,3	7,5	9,5	11,5
	Чистове	1,4	1,4	1,6	1,6	1,8	1,9	2,1	2,4	2,6	3,1	3,4	4,1	4,6	5,8	6,7	7,8	10,0	12,5
	Тонке	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,5	2,7	3,3	3,7	4,4	4,9	6,0	7,1	8,3	10,5	12,5
1,10...1,20	Чистове	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	2,0	2,4	2,8	3,4	3,8	4,8	5,8	6,9	8,8	11,0
	Напівчистове	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,3	2,5	2,9	3,4	3,9	4,4	5,4	6,5	7,5	9,8	12,0
	Чистове	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,5	2,7	3,1	3,6	4,3	4,8	5,8	6,9	8,0	10,0	12,5
	Тонке	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,1	2,4	2,7	2,8	3,4	3,8	4,4	4,9	6,2	7,1	8,3	10,5	12,5

Продовження додатка 6. Загальні припуски для виливків (витяг з ГОСТ 26645-85)

Загальний допуск елемента поверхні, мм	Вид остаточного механічного оброблення	Загальний припуск на бік, мм, не більше, для ряду припусків виливка																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1,20...1,40	Чистове	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,1	2,5	2,9	3,5	3,9	4,9	6,0	6,9	9,0	11,0
	Напівчистове	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,5	2,7	3,1	3,4	4,1	4,6	5,6	6,7	7,8	9,8	12,0
	Чистове	1,8	1,9	1,9	2,1	2,2	2,3	2,5	2,8	3,0	3,4	3,9	4,5	5,0	6,1	7,1	8,3	10,5	12,5
	Тонке	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6	2,9	3,2	3,7	3,4	4,8	5,1	6,5	7,5	8,5	11,0	13,0
1,40...1,60	Чистове	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,7	3,1	3,6	4,0	5,0	6,0	7,1	9,0	11,0
	Напівчистове	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,4	2,7	2,9	3,3	3,6	4,3	4,8	5,8	6,9	8,0	10,0	12,0
	Чистове	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,3	2,6	3,0	3,1	3,6	4,1	4,6	5,1	6,3	7,3	8,5	10,5	13,0
	Тонке	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1	3,4	3,9	4,3	5,0	5,4	6,7	7,8	8,8	11,0	13,5
1,60...1,80	Чистове	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,7	3,2	3,7	4,1	5,2	6,2	7,1	7,1	11,0
	Напівчистове	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,5	2,8	3,0	3,5	3,8	4,4	4,9	6,0	7,1	8,0	8,0	12,5
	Чистове	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8	3,1	3,3	3,8	4,3	4,8	5,3	6,5	7,5	8,5	8,5	13,0
	Тонке	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	3,0	3,4	3,6	4,0	4,4	5,2	5,6	6,9	7,8	9,0	9,0	13,5
1,80...2,00	Чистове	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,8	3,3	3,8	4,3	5,1	6,1	7,3	9,3	11,0
	Напівчистове	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,0	3,1	3,6	4,0	4,6	5,0	6,1	7,1	8,3	10,5	12,5
	Чистове	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	3,0	3,4	3,6	4,0	4,4	5,0	5,4	6,7	7,8	8,8	11,0	13,0
	Тонке	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,3	3,6	3,8	4,3	4,8	5,5	5,8	7,1	8,0	9,3	11,5	13,5
2,00...2,20	Чистове	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,4	2,6	3,0	3,4	3,9	4,4	5,5	6,3	7,3	9,5	11,5
	Напівчистове	2,1	2,3	2,4	2,4	2,5	2,7	2,8	3,2	3,4	3,8	4,1	4,8	5,3	6,3	7,3	8,5	10,5	12,5
	Чистове	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,3	3,6	3,8	4,3	4,6	5,1	5,8	6,9	8,0	9,0	11,0	13,5
	Тонке	2,9	3,0	3,1	3,1	3,3	3,4	3,6	3,9	4,1	4,6	5,0	5,6	6,1	7,3	8,3	9,5	12,0	14,0
2,20...2,40	Чистове	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,5	2,7	3,1	3,4	4,0	4,5	5,4	6,5	7,5	9,5	11,5
	Напівчистове	2,4	2,5	2,6	2,6	2,8	2,9	3,1	3,4	3,6	4,0	4,4	5,0	5,4	6,5	7,5	8,8	11,0	13,0
	Чистове	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	3,3	3,5	3,8	3,9	4,4	4,9	5,5	6,0	7,1	8,3	9,3	11,5	13,5
	Тонке	3,1	3,1	3,3	3,4	3,4	3,6	3,8	4,1	4,3	4,8	5,1	5,8	6,3	7,5	8,5	9,8	12,0	14,0

Продовження додатка 6. Загальні припуски для виливків (витяг з ГОСТ 26645-85)

Загальний допуск елемента поверхні, мм	Вид остаточного механічного оброблення	Загальний припуск на бік, мм, не більше, для ряду припусків виливка																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
2,40...2,80	Чистове	1,8	1,9	1,9	2,1	2,2	2,3	2,5	2,6	2,9	3,3	3,6	4,1	4,6	5,6	6,7	7,8	9,8	11,5
	Напівчистове	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,3	3,6	3,8	4,3	4,6	5,1	5,6	6,7	7,8	9,0	11,0	13,0
	Чистове	3,0	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,8	4,0	4,3	4,8	5,2	5,8	6,1	7,5	8,5	9,5	11,5	14,0
	Тонке	3,5	3,6	3,7	3,8	3,8	3,9	4,1	4,4	4,6	5,2	5,4	6,1	6,7	8,0	9,0	10,0	12,5	14,5
2,80...3,20	Чистове	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,9	3,1	3,4	3,9	4,4	4,9	5,8	6,9	7,8	9,8	12,0
	Напівчистове	3,0	3,1	3,1	3,3	3,4	3,4	3,6	4,0	4,1	4,6	5,0	5,6	6,0	7,1	8,3	9,3	11,5	13,5
	Чистове	3,4	3,6	3,6	3,8	3,9	4,0	4,1	4,5	4,6	5,1	5,6	6,1	6,7	7,8	8,8	9,8	12,0	14,5
	Тонке	3,8	3,9	4,0	4,1	4,3	4,3	4,5	4,8	5,0	5,4	5,8	6,5	7,1	8,3	9,3	10,5	12,5	15,0
3,20...3,60	Чистове	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1	3,3	3,6	4,1	4,6	5,2	6,2	7,1	8,0	10,0	12,0
	Напівчистове	3,3	3,4	3,4	3,6	3,6	3,8	4,0	4,3	4,5	4,9	5,3	5,8	6,3	7,5	8,5	9,5	11,5	14,0
	Чистове	3,9	4,0	4,1	4,3	4,3	4,4	4,6	4,9	5,2	5,6	6,0	6,5	7,1	8,3	9,3	10,5	12,5	15,0
	Тонке	4,3	4,4	4,4	4,5	4,6	4,8	4,9	5,3	5,5	6,0	6,3	7,1	7,5	8,8	9,8	11,0	13,0	15,5
3,60...4,00	Чистове	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,2	3,4	3,6	3,9	4,3	4,8	5,3	6,3	7,3	8,3	10,5	12,5
	Напівчистове	3,6	3,8	3,9	4,0	4,1	4,3	4,4	4,8	4,9	5,3	5,6	6,3	6,7	8,0	9,0	9,8	12,0	14,0
	Чистове	4,3	4,4	4,4	4,5	4,6	4,8	4,9	5,3	5,5	6,0	6,3	6,9	7,5	8,8	9,8	10,5	13,0	15,0
	Тонке	4,8	4,9	5,0	5,2	5,1	5,3	5,4	5,8	6,0	6,5	6,9	7,5	8,0	9,3	10,5	11,5	13,5	16,0

354

Примітки до додатку 6:

1. Для кожного інтервалу допуску у різних рядках наведені сумарні значення загального припуску на всі переходи оброблення: чорнового; чорнового і напівчистового; чорнового, напівчистового і чистового; чорнового, напівчистового, чистового і тонкого.
2. Якщо у додатку 6 нема необхідного значення загального допуску елемента поверхні, треба звернутися до табл. 6 ГОСТ 26645-85.

Додаток 7. Класифікація кованих поковок за конструктивно-технологічною складністю

Вид поковки	Співвідношення розмірів поковки згідно з її типом	Співвідношення розмірів, що визначають групу складності				
		1	2	3	4	5
1. Гладкі круглого і прямокутного перерізу	$L > 1,2D$	$1,2D < L < 5D$	$5D < L < 10D$	$10D < L < 20D$	$L \geq 20D$	–
2. Круглого перерізу з одним уступом, фланцем або виїмкою	$l_1 > 0,3D_1$	–	$1,2D_{\text{осн}} < L < 5D_{\text{осн}}$	$5D_{\text{осн}} < L < 10D_{\text{осн}}$	$L = 10D_{\text{осн}}$	–
3. Круглого перерізу з двома або трьома уступами	$h \leq 0,3D_1$	–	–	$1,2D_{\text{осн}} < L < 10D_{\text{осн}}$	$L \geq 10D_{\text{осн}}$	–
4. Вали колінчасті, ексцентрикові	–	–	–	–	З кількістю колін не більше двох в одній площині	З кількістю колін не більше двох у різних площинах
5. Вали багатоступеневі (кількість уступів, виїмок більше 3-х)	–	–	–	$1,2D_{\text{осн}} < L < 8D_{\text{осн}}$	$L \geq 8D_{\text{осн}}$	–
6. Кільця розкочені	$H_0 \leq 1,2D$ $d \geq 0,5D$	–	–	–	$D \leq 4 \text{ м}$	$D \geq 4 \text{ м}$
7. Муфти, втулки	$0,5D \leq H_0 \leq D$ $d < 0,5D$	–	–	–	–	–

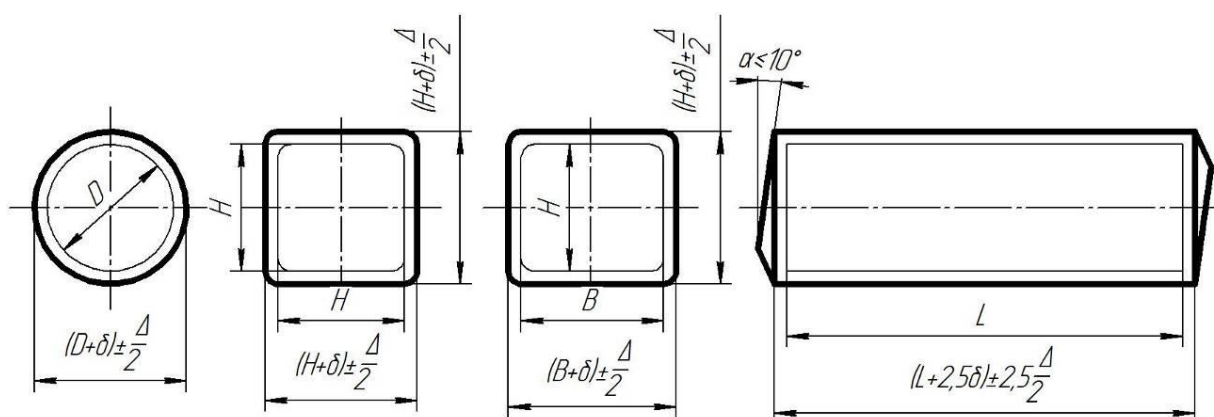
Продовження додатку 7. Класифікація кованих поковок за конструктивно-технологічною складністю

Вид поковки	Співвідношення розмірів поковки згідно з її типом	Співвідношення розмірів, що визначають групу складності				
		1	2	3	4	5
8. Циліндри з отвором	$L > 1,2D$ $d \geq 0,5D$	–	–	–	–	–
9. Диски	$H_0 < 0,5D$	$H_0 \leq 0,25D$	$0,25D < H_0 < 0,5D$	–	–	–
10. Диски з отвором	$H_0 < 0,5D$ $d \geq 0,5D$	–	–	–	–	–
11. Диски з маточиною (з отвором і без нього)	$l_1 < 0,5D_1$ $D_1 - D_2 \geq 0,2D_1$ $d < 0,5D_1$	–	–	–	–	–
12. Бруски, пластини	$H_0 \leq B$ $B \leq L \leq 1,5B$ $L \leq 2,5H_0$	$B/H_0 < 3$	$3 \leq B/H_0 \leq 5$	$B/H_0 \geq 5$	–	–
13. Шатуни, важелі, тяги	–	–	–	Що не вимагають згинання	Що вимагають згинання	–
14. Гаки	–	–	–	–	Однорогі	З двома або більше рогами

Примітка до додатку 7:

Умовні позначення: L – загальна довжина деталі; H_0 – висота прямокутного перерізу поковки, кільця, муфти, диска; B – ширина прямокутного перерізу поковки; D – зовнішній діаметр круглого перерізу поковки, кільця муфти, диска, циліндра; D_1, D_2, \dots – діаметри перерізів уступів, фланців, буртів, починаючи з найбільшого; l_1, l_2, \dots – довжини відповідних уступів, фланців, буртів; d – діаметр отвору.

Додаток 8. Припуски і гранично допустимі відхилення поковок, що виготовляються куванням на молотах, мм



Довжина деталі L (понад...до)	Діаметр деталі D або розмір перерізу B, H (понад...до)								
	До 50	50...70	70...90	90...120	120...160	160...200	200...250	250...300	300...360
	Припуски δ і граничні відхилення ($\pm\Delta/2$)								
До 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

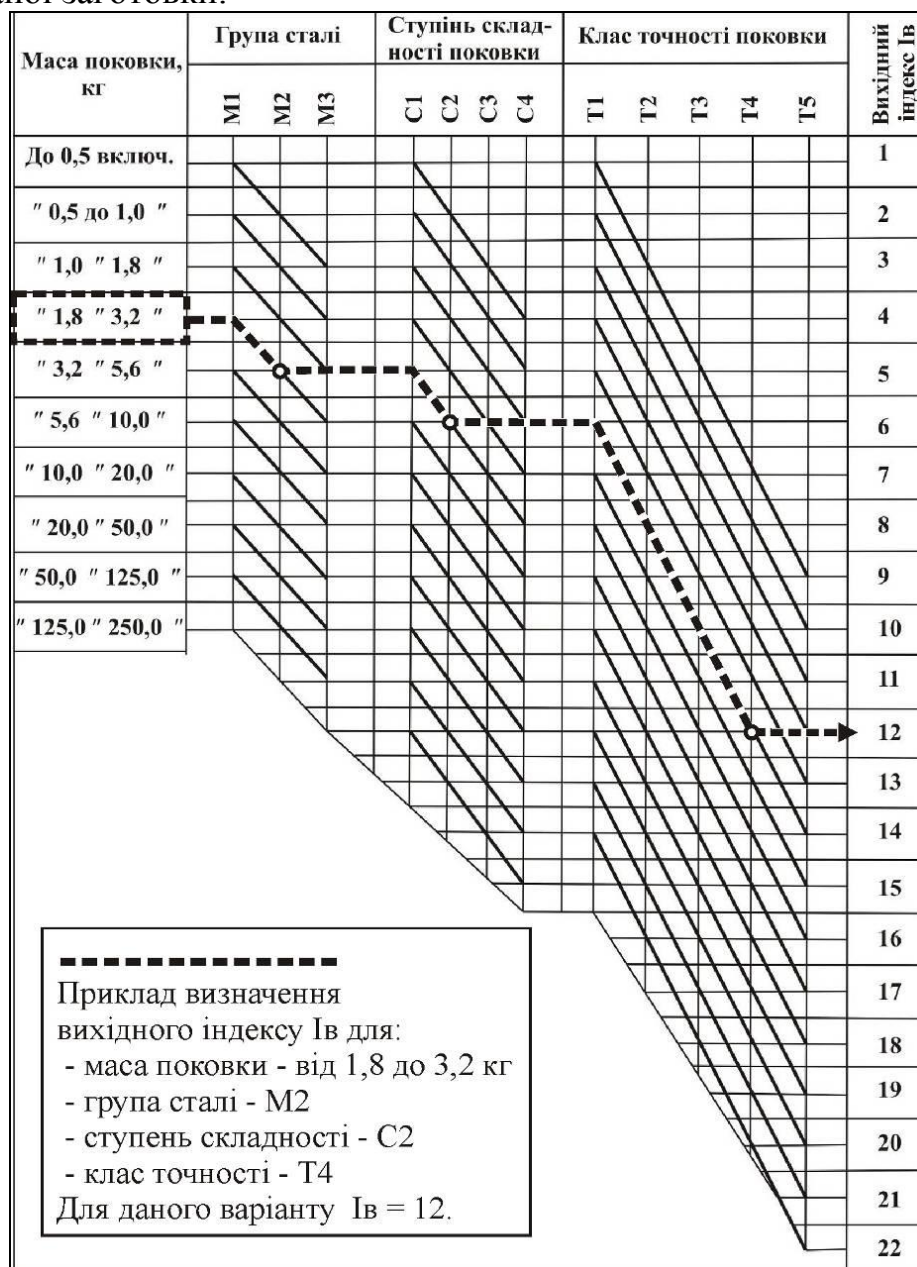
Примітки до додатку 8:

1. Припуски встановлені з розрахунку оброблення з двох боків. При обробленні поковки з одного боку табличний припуск зменшити у 2 рази, а відхилення зберегти.
2. Припуски і граничні відхилення для прямокутного перерізу деталі призначаються у залежності від найбільшого розміру перерізу.
3. У випадку оброблення поверхні до параметру шорсткості $R_a \leq 1,25$ допускається збільшення табличних значень припусків, але не більше, ніж 1 мм на бік.

Додаток 9. Додаткові припуски для поковок з виступами, які виготовляють куванням на молотах, мм

Різниця діаметрів (розмірів) найбільшого перерізу і того, що розглядається (понад...до)	Додатковий припуск на діаметр (розмір)	Різниця діаметрів (розмірів) найбільшого перерізу і того, що розглядається (понад...до)	Додатковий припуск на діаметр (розмір)
До 40	3	120...140	7
40...80	4	140...160	8
80...100	5	160...180	9
100...120	6	Понад 180	10

Додаток 10. Номограма для визначення вихідного індексу штампованої заготовки.



Додаток 11. Основні припуски на механічне оброблення штампованих поковок (на бік), мм

Вихідний індекс	Товщина деталі, мм																							
	До 25			25...40			40...63			63...100			100...160			160...250			Понад 250					
	Довжина, ширина, діаметр, глибина та висота деталі ,мм,при шорсткості Ra, мкм																							
	До 40			40...100			100...160			160...250			250...400			400...630			630...1000			1000...1600		
100 12,5	10 1,6	1,25	100 12,5	10 1,6	1,25	100 12,5	10 1,6	1,25	100 12,5	10 1,6	1,25	100 12,5	10 1,6	1,25	100 12,5	10 1,6	1,25	100 12,5	10 1,6	1,25	100 12,5	10 1,6	1,25	
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	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	0,6	0,8	0,9	0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1	-	-	-	-	-	-
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	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	-	-	-
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	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	-	-	-
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	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	0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	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	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0
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	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	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	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	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	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	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,0	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0
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	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	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	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	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	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	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	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	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	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	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	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	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	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	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	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	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6	4,1	5,7	6,2	4,9	6,2	6,8

Додаток 12. Додаткові припуски, які враховують зміщення половинок штампів у площині розніму (на бік), мм

Маса поковок, кг	Припуски для класів точності							
	Плоска поверхня розніму (П)							
	T1	T2	T3	T4	T5			
				Симетрично зігнута поверхня розніму (З _с)				
				T1	T2	T3	T4	T5
			Несиметрично зігнута поверхня розніму (З _н)					
			T1	T2	T3	T4	T5	
До 0,5 включно	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3
понад 0,5 до 1,0 — // —			0,2	0,2		0,3		
— // — 1,0 до 1,0 — // —	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,4
— // — 1,8 до 3,2 — // —			0,3					0,3
— // — 3,2 до 5,6 — // —	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,6
— // — 5,6 до 10,0 — // —			0,4					0,4
— // — 10,0 до 20,0 — // —	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	0,9
— // — 20,0 до 50,0 — // —			0,5					0,5
— // — 50,0 до 125,0 — // —	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2	1,6
— // — 125,0 до 250,0 — // —			0,6					0,6

Примітки до додатку 12: T1, T2, T3, T4, T5 – класи точності поковки.

Додаток 13. Додаткові припуски, які враховують зігнутість і відхилення від площинності та прямолінійності (на бік), мм

Найбільший розмір поковки	Припуски для класів точності				
	T1	T2	T4	T5	T6
До 100 включно	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4
понад 100 до 160 — // —	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5
— // — 160 до 250 — // —	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
— // — 250 до 400 — // —	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
— // — 400 до 630 — // —	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
— // — 630 до 1000 — // —	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2
— // — 1000 до 1600 — // —	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6
— // — 1600 до 2500 — // —	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0

Додаток 14. Допуски і допустимі відхилення лінійних розмірів штампованих поковок, мм

Вихідний індекс	Найбільша товщина поковки															
	до 40		40...63		63...100		100...160		160...250		понад 250					
	Довжина, ширина, діаметр, глибина та висота поковки															
	до 40		40...100		100...160		160...250		250...4000		400...630		630...1000		1000...16000	
1	0,3	+0,2 -0,1	0,4	+0,3 -0,1	0,5	+0,3 -0,2	0,6	+0,4 -0,2	0,7	+0,5 -0,2	-	-	-	-	-	-
2	0,4	+0,3 -0,1	0,5	+0,3 -0,2	0,5	+0,4 -0,2	0,7	+0,5 -0,2	0,8	+0,5 -0,3	0,9	+0,6 -0,3	-	-	-	-
3	0,5	+0,3 -0,2	0,6	+0,4 -0,2	0,7	+0,5 -0,2	0,8	+0,5 -0,3	0,9	+0,6 -0,3	1,0	+0,7 -0,3	1,2	+0,8 -0,4	-	-
4	0,6	+0,4 -0,2	0,7	+0,5 -0,2	0,8	+0,5 -0,3	0,9	+0,6 -0,3	1,0	+0,7 -0,3	1,2	+0,8 -0,4	1,4	+0,9 -0,5	-	-
5	0,7	+0,5 -0,2	0,8	+0,5 -0,3	0,9	+0,6 -0,3	1,0	+0,7 -0,3	1,2	+0,8 -0,4	1,4	+0,9 -0,5	1,6	+1,1 -0,5	2,0	+1,3 -0,7
6	0,8	+0,5 -0,3	0,9	+0,6 -0,3	1,0	+0,7 -0,3	1,2	+0,8 -0,4	1,4	+0,9 -0,5	1,6	+1,1 -0,5	2,0	+1,3 -0,7	2,2	+1,4 -0,8
7	0,9	+0,6 -0,3	1,0	+0,7 -0,3	1,2	+0,8 -0,4	1,4	+0,9 -0,5	1,6	+1,1 -0,5	2,0	+1,3 -0,7	2,2	+1,4 -0,8	2,5	+1,6 -0,9
8	1,0	+0,7 -0,3	1,2	+0,8 -0,4	1,4	+0,9 -0,5	1,6	+1,1 -0,5	2,0	+1,3 -0,7	2,2	+1,4 -0,8	2,5	+1,6 -0,9	2,8	+1,8 -1,0
9	1,2	+0,8 -0,4	1,4	+0,9 -0,5	1,6	+1,1 -0,5	2,0	+1,3 -0,7	2,2	+1,4 -0,8	2,5	+1,6 -0,9	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,1 -1,1
10	1,4	+0,9 -0,5	1,6	+1,1 -0,5	2,0	+1,3 -0,7	2,2	+1,4 -0,8	2,5	+1,6 -0,9	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,6 -1,1	3,6	+2,4 -1,2
11	1,6	+1,1 -0,5	2,0	+1,3 -0,7	2,2	+1,4 -0,8	2,5	+1,6 -0,9	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,6 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3

Продовження додатку 14. Допуски і допустимі відхилення лінійних розмірів штампованих поковок, мм

362

Вихідний індекс	Найбільша товщина поковки															
	до 40		40...63		63...100		100...160		160...250		понад 250					
	Довжина, ширина, діаметр, глибина та висота поковки															
	до 40		40...100		100...160		160...250		250...4000		400...630		630...1000		1000...16000	
12	2,0	+1,3 -0,7	2,2	+1,4 -0,8	2,5	+1,6 -0,9	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,6 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5
13	2,2	+1,4 -0,8	2,5	+1,6 -0,9	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,6 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7
14	2,5	+1,6 -0,9	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,6 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9
15	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,6 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 =2,1
16	3,2	+2,6 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 =2,1	7,1	+4,7 -2,1
17	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 =2,1	7,1	+4,7 -2,1	8,0	+5,3 -2,7
18	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 =2,1	7,1	+4,7 -2,1	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0
19	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 =2,1	7,1	+4,7 -2,1	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3
20	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 =2,1	7,1	+4,7 -2,1	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3	11,0	+7,4 -3,6

Примітки до додатку 14:

1. Допустимі відхилення внутрішніх розмірів установлюються з оберненими знаками.
2. Допуск розмірів, не вказаний на кресленні поковки, вважається рівним 1,5 допуску відповідного розміру поковки за таблицею з рівними допустимими відхиленнями.

Бібліографічний опис

1. Афонькин М.Г., Звягин В.Б. Производство заготовок в машиностроении.—СПб.: Политехника, 2007. — 464 с.
2. Барташев Л.В. Техничко-економические расчеты при проектировании и производстве машин.— М.: Машиностроение, 1973. — 384 с.
3. Биковський О.Г., Пінковський І.В. Довідник зварника. — К.: Техніка, 2002. — 336 с.
4. Богуслаєв В.О., Ципак В.І., Яценко В.К. Основи технології машинобудування: Навч. посібник. — Запоріжжя: вид. ВАТ «Мотор-Січ», 2003. — 336 с.
5. Богуслаєв В.О., Качан О.Я., Калініна Н.Є. та ін. Авіаційно-космічні матеріали та технології. — Запоріжжя: вид. ВАТ «Мотор-Січ», 2009. — 383 с.
6. Боженко Л.І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок: Підручник. — Львів: Світ, 1996. — 368 с.
7. Виноградов В.М., Черепакін А.А., Шпунькин Н.Ф. Основы сварочного производства: Учеб. пособие. — М.: Академия, 2008. — 272 с.
8. Гуль В.Е., Акутин М.С. Основы переработки пластмасс. — М.: Химия, 1985. — 400 с.
9. Ковка и штамповка: Справ.: В 4 т/Ред. совет: Е.И. Семенов и др. М.: Машиностроение, 1985 — 1987. Т. 1: Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка. — 1985. — 586 с.
10. Ковка и штамповка: Справ.: В 4 т/Ред. совет: Е.И. Семенов и др. — М.: Машиностроение, 1985- 1987. Т.2: Горячая штамповка. — 1985. — 592 с.
11. Ковка и штамповка: Справ.: В 4 т/Ред. совет: Е.И. Семенов и др. — М.: Машиностроение, 1985- 1987. Т.4: Холодная объемная штамповка. — 1985. — 384 с.
12. Либенсон Г.А. Производство спеченых изделий. — М.: Металлургия, 1982. — 256 с.

13. Митрофанов С.П. Групповая технология изготовления заготовок серийного производства. — Л.: Машиностроение, 1985. — 240 с.
14. Могилев В.К., Лев О.И. Справочник литейщика. — М.: Машиностроение, 1988. — 272 с.
15. Попович В.В., Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Підручник. — Львів: Світ, 2006. — 624 с.
16. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения: Справ./ И.М. Федорченко, И.Н. Францевич, И.Д. Радомысельский и др.; Отв. ред. И.М. Федорченко. К.: Наук. думка, 1985. — 624 с.
17. Расчеты экономической эффективности новой техники: Справ./ Под ред. К.М. Великанова. — Л.: Машиностроение, 1975. — 432 с.
18. Рогов В.А., Позняк Г.Г. Современные машиностроительные материалы и заготовки: Учеб. пособие. — М.: Академия, 2008. — 336 с.
19. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. — Л.: Машиностроение, 1979. — 520 с.
20. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. — К.: Вища шк. Головне в-во, 1993. — 413 с.
21. Руденко П.А., Харламов Ю.А., Плескач В.М. Проектирование и производство заготовок в машиностроении. — К.: Вища шк., 1991. — 247 с.
22. Специальные способы литья: Справочник/ Под общ. ред. В.А.Ефимова. — М.: Машиностроение, 1991. — 734 с.
23. Справочник технолога- машиностроителя: В 2 т./ Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. — М: Машиностроение, 1985. — Т. 1. — 655 с.
24. Стеклов О.И. Основы сварочного производства: Підручник. — К.: Вища шк., 1990. — 222 с.
25. Технологичность конструкций изделий: Справ./ Под ред. Ю.Д. Амирова. — М.: Машиностроение, 1985. — 386 с.
26. Технологія конструкційних матеріалів: Підручник/ За ред. М.А. Сологуба. — К.: Вища шк., 2002. — 300 с.

27. Юрьев В.П. Справочное пособие по нормированию материалов и электроэнергии для сварочной техники. — М.: Машиностроение, 1972. — 152 с.

Предметний покажчик

Армування пластмас	261	Групові блоки	301
Балки і колони	196	Деталі машин і приладів	197
Вальцювання	105	Екструдкування	236
Види заготовок	11		
- зварні	36	Заготівельне виробництво	26
- комбіновані	36	Заготовка	11
- машинобудівні профілі	35	- з пластмас	248
- штучні	35	- з порошкових матеріалів	231
Виливок	34	- зварна	197
Виробництво		- катана	103
- масове	29	- кована	124
- одиничне	30	- комбінована	200
- серійне	30	- лита	38
Висаджування	181	- штампована	136, 183
Витискання	181	Заготовки типові	
Витягування	190	- важелів	325
Вихідний індекс поковки	154	- валів	316
Відборткування	191	- вилок	325
Відпалювання	90, 91, 172	- втулок	319
Відпускання	90,226	- дисків турбінних	332
Волочіння	115	- зубчастих і черв'ячних коліс	321
		- корпусних деталей	311
Гнуття	188	- лопаток турбінних	329
Групове виробництво	300	- маховиків	324

- осей	316	Клас точності	
- станин	314	- виливків	60
- шківів	324	- поковок	146
- шпинделів	316	Коефіцієнт	
Зварний шов	215	- вагової точності	22
Зварність	214	- використання матеріалу	21, 185, 245, 285, 293
Зварювання	195	- витягування	190
- газове	209	- виходу придатного	22, 294
- дифузійне	208	- відборткування	192
- дугове	206	- закріплення операцій	29
- електронно-променеве	208	Конструкційні порошкові матеріали	231
- електрошлакове	207	Корпусні транспортні конструкції	196
- контактне	206	Креслення заготовок	
- тертям	207	- зварної	213
Зона термічного впливу	216	- кованої	132
		- литої	78
Калібрування		- штампованої	163
- волочінням	116	Кування	124
- порошкових заготовок	237		
- штампованих заготовок	170, 181	Лиття	34
Карбування	181	- відцентрове	44
Класифікація		- в оболонкові форми	39
- виливків	60	- електрошлакове	46
- пластмас	249	- за витоплюваними моделями	40
- поковок кованих	127	- кокільне	43
- - штампованих	146	- монокристалічне	41

- порошкових матеріалів	231	- під тиском металів	45
- під тиском пластмас	251	- для кування	133
- у піщані форми	38	- для штампування	176
Ліквация	50	Облой	137, 174
Маніпулятор	276	Оболонкові конструкції	196
Маса		Оброблення металів тиском	98
- витраченого матеріалу	294	- гаряче	101
- заготовки	22	- холодне	101
- технологічного відходу	22	Обтискання (прокату)	107
Матриця впливу чинників	283	Оформлення креслення заготовки	
Механічні властивості виливків	51	- кованої	132
Мінімальна величина перемичок	161	- литої	78
Мінімальна товщина стінок вилівка	63	- штампованої	163
Надливи	50	Очищення поковок	169
Наклеп	116	Паяння	209
Накочування зубчастих коліс	113	Підвищення серійності виробництва	296
Намітка отворів	160	Пластмаси	248
Напуск	16,66,130,154	Поверхня різніми	
Нахил		- ливарної форми	61
- формувальний	73	- штампа	152
- штампувальний	156	Показники технологічності	20
Номінальний розмір заготовки	16	Положення	
Нормалізування	90, 91, 172	- вилівка у ливарній формі	61

		- поковки у штампі	149
Обладнання		Порошкова металургія	231
Порошкова сталь	234	Радіуси заокруглень	
Правлення поковок	170	- виливків	76
Пресування		- заготовок з пластмас	257
- пластмас	250, 252	- листових заготовок	192
- порошкових матеріалів	236	- поковок	158
- профілів	114	Реактопласти	249
Прес-форма	250	Ребра жорсткості	
Припуски	16	- литі	85
- для виливків	69	- поковок	162
- для поковок		- усадкові	88
- - - додаткові	132, 156	Рідиноплинність	47
- - - основні	131, 155	Різання	
Програма виробництва заготовок	270	- абразивними кругами	121
Прокат		- анодно-механічне	119
- листовий	104	- дисковими пилками	118
- періодичний	105	- кисневе	122
- поперечно-гвинтовий	105	- на сортових ножицях	117
- сортовий	103	- на штампах-холодноламах	118
- спеціальний	105	- стрічковими пилками	119
Прокатування	103	Розкроювання листового матеріалу	185
- бандажів, коліс	110	Рознім	
- поперечно-гвинтове	109	- ливарної форми	61
- поперечно-клинове	109	- штампа	152
- порошкових заготовок	236	Розрахункова маса штампованої поковки	147, 154
Промисловий робот	276, 307	Ряд припусків	60

		Складність	
Радіус гнуття допустимий	188	- виливків	60
- поковок кованих	127	Технічні вимоги	
- - штампованих	147	- на виливки	81
- порошкових заготовок	237	- на зварні заготовки	214
Собівартість		- на ковані заготовки	133
- деталі	280, 288	- на штамповані заготовки	164
- заготовки		Технологічна підготовка виробництва	33, 273
- - зварної	292	Технологічність	
- - кованої (штампованої)	291	- виливків	81
- - литої	290	- зварних конструкцій	217
- механічного оброблення	289	- основні поняття	19
- технологічна	286	- штампованих поковок	166
- цехова	288	Типізація технологічних процесів	297
Спеціалізація	32	Типи виробництва	29
Спікання	237	- виливків	58
Сполучення стінок	84	- кованих поковок	129
Способи економії матеріалів	302	- штампованих поковок	150
Стрижень разовий	67	Товщина стінок	
Схильність до газопоглинання	51	- заготовок з пластмас	255
		- литих заготовок	62
Температура рекристалізації	101	- порошкових заготовок	241
Термічне оброблення		Точність	
- виливків	90	- виливків	60
- зварних заготовок	226	- заготовок	14, 268

- поковок	171	- - з пластмас	263
Термопласти	249	- - з порошкових матеріалів	237
		- штапованих поковок	146
Травлення	170	- на гвинтових пресах	143
Трудомісткість виготовлення	20, 285	- на гідравлічних пресах	143
		- на горизонтально-кувальних машинах	144
Угар	174, 294	- на кривошипних гарячештаповувальних пресах	141
Усадка	48	- на молотах	140
Усадкові дефекти	50	- об'ємне	136
		- пластмасових заготовок	254
Форма і розміри заготовки	12, 267	- порошкових заготовок	236
Форми організації виробництва	30	- у відкритих штампах	137
- групова	31	- у закритих штампах	137
- потокова	32	- у штампах для витискання	139
Формування заготовки		- холодне	179
- з порошкових матеріалів	235, 240		
- - при листовому штампуванні	188	Якість	
- зварної	210	- вилівка	41,43, 45
- кованої	128	- загальні поняття	14
- литої	55	- поверхневого шару	15, 269
- пластмасової	255	- поковки	172
- штапованої	149		
Чавуни	53		

Штапування	137
- витисканням	138
- гаряче	137
- листове	183