

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА)

Автор: **О. В. Гушин**

ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ВИРОБНИЦТВА ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Навчальний посібник

**для студентів денної і заочної форм навчання
спеціальності 131 – «Прикладна механіка»
спеціалізації «Технологія машинобудування»**

До друку пр.
Перший проректор
_____ А. М. Фесенко

Затверджено
на засіданні вченої ради
Протокол № від

Краматорськ
ДДМА
2019

УДК 621.7
Г 98

Рецензенти:

Кіяновський М. В., доктор технічних наук, професор, Криворізький національний університет;

Анділахай О. О., доктор технічних наук, професор, Приазовський державний технічний університет.

Гущин О. В.

Г 98

Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин : посібник для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 131 – «Прикладна механіка» спеціалізації «Технології машинобудування» / О. В. Гущин. – Краматорськ : ДДМА, 2019. – 159 с.
ISBN

Посібник розроблений для студентів вищих технічних навчальних закладів для вивчення курсу «Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин», що читається для спеціалізації «Технології машинобудування».

В посібнику розглядаються основні види заготовок та способи їх отримання, операції термічного оброблення заготовок та види браку, який виникає в процесі технологічного виготовлення.

Посібник розрахований на студентів, що навчаються за відповідною спеціалізацією та може бути корисним для викладачів при підготовці до занять.

ISBN

УДК 621.7

© О. В. Гущин, 2019

© ДДМА, 2019

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ВИРОБНИЦТВО ЗАГОТОВОК У МАШИНОБУДУВАННІ	8
1.1 Загальні аспекти заготівельного виробництва	8
1.1.1 Основні терміни і визначення	8
1.1.2 Основні способи отримання заготовок	8
1.1.3 Класифікація заготовок.....	10
1.2 Вибір методу і способу отримання заготовок	16
1.3 Оцінка технологічності заготовки	24
1.4 Основні конструкційні матеріали	28
1.5 Точність заготовок.....	31
2 ВИРОБНИЦТВО ЗАГОТОВОК ЛИТТЯМ	32
2.1 Загальна характеристика ливарництва	32
2.2 Вимоги до ливарних стопів	33
2.3 Лиття до одноразових та напівсталих форм	41
2.3.1 Лиття до піщано-глинястих форм.....	41
2.3.2 Лиття до вакуумно-плівкових форм.....	45
2.3.3 Лиття до напівсталих форм	48
2.3.4 Лиття по газифікованим моделям.....	49
2.4 Спеціальні способи лиття	51
2.4.1 Лиття до металевих форм	52
2.4.2 Лиття під тиском.....	58
2.4.3 Лиття по моделям, що витоплюються.....	63
2.4.4 Лиття до оболонкових форм.....	66
2.4.5 Відцентрове лиття заготовок.....	73
2.4.6 Штампування рідкого металу	77
2.4.7 Електрожужільне лиття	79
2.4.8 Лиття витисканням.....	82
2.4.9 Лиття по моделям, що отримані методом лазерної стереолітографії	84
2.5 Дефекти відливків та їх виправлення	86
2.6 Термічне оброблення відливків	87
3 ВИРОБНИЦТВО ЗАГОТОВОК ОБРОБЛЕННЯМ ТИСКОМ.....	93
3.1 Роль процесів оброблення металів тиском у заготівельному виробництві	93
3.2 Основні положення теорії ОМТ.....	93
3.3 Класифікація способів ОМТ.....	95
3.4 Виробництво заготовок вільним куванням.....	99
3.4.1 Технологічний процес кування. Основні операції.....	99
3.4.2 Класифікація виковків	102
3.4.3 Основне обладнання і інструмент для вільного кування.....	103
3.5 Конструювання і виконання креслеників виковків	105

3.5.1 Основні терміни і визначення, що використовуються у стандартах.....	105
3.5.2 Виковки, виготовлені вільним куванням на молотах.....	106
3.5.3 Виковки, виготовлені вільним куванням на пресах	109
3.5.4 Загальні вимоги і рекомендації до проектування заготовок, що отримані вільним куванням.....	111
3.6 Види браку і контроль якості кованих виковків	112
3.7 Виробництво заготовок гарячим об'ємним штампуванням	113
3.7.1 Технологічні процеси і способи об'ємного штампування виковків.....	113
3.7.2 Основне обладнання для об'ємного штампування та інших операцій в цехах об'ємного штампування	115
3.7.3 Вибір способу і кількості переходів штампування.....	119
3.7.4 Штампування на молотах	122
3.7.5 Штампування на кривошипних гарячештампувальних пресах ..	124
3.7.6 Штампування на гідравлічних пресах.....	127
3.7.7 Штампування на гвинтових фрикційних пресах	128
3.7.8 Штампування на горизонтально-кувальних машинах	130
3.8 Штампування на спеціальних і спеціалізованих машинах	134
3.8.1 Штампування на ротаційно-кувальних і радіально-кувальних машинах.....	134
3.8.2 Вальцювання.....	136
3.8.3 Прокатка періодичних профілів.....	138
3.8.4 Штампування на горизонтально-згинальних машинах.....	140
3.8.5 Штампування на високошвидкісних молотах.....	140
3.8.6 Штампування на електровисадних машинах	141
3.8.7 Розкочування кільцевих заготовок.....	142
3.8.8 Накочування спеціальних поверхонь.....	144
3.9 Механічне оброблення виковків	145
3.9.1 Обрізання облою і пробивання перекладок.....	145
3.9.2 Правка і калібрування виковків	147
3.9.3 Термічне оброблення виковків	149
3.9.4 Очищення виковків	151
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	153

ВСТУП

Як відомо, виробництво деталей машин завжди починається в заготовельних цехах або на ділянках. Відповідно, отримання заготовок є одним із основних етапів машинобудівного виробництва і значною мірою визначає витрати матеріалів і енергії, трудомісткість виготовлення і якість отриманих виробів.

Однією із основних задач, що стоять перед технологією машинобудування на сучасному етапі розвитку виробництва, є заміна (по змозі) технологічних процесів різання методами формоутворення деталей, що досягаються за рахунок використання прогресивних методів отримання заготовок, або, якщо це неприпустимо, – максимально можливе приближення заготовок за формою та розмірами до готових деталей. Наявність широкої різноманітності матеріалів і технологічних методів отримання заготовок деталей машин дозволяє для кожного окремого варіанту виконати раціональний вибір технологічного процесу виготовлення з використанням сучасних засобів технічного оснащення. Тому метою вивчення дисципліни «Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин» – є ознайомлення студентів спеціальності «Прикладна механіка» спеціалізації «Технології машинобудування» із сучасними технологіями отримання заготовок.

Для досягнення цієї мети студенти повинні успішно вирішувати наступні задачі:

- знати сучасні прогресивні методи отримання заготовок деталей машин і обладнання для їх реалізації;
- вміти обирати раціональний для конкретних виробничих умов метод отримання заготовки;
- вміти розробити креслення заготовки з постановкою розмірів, враховуючи базування заготовки;
- вміти розробити конструктивну схему технологічного оснащення.

Вивчення дисципліни базується на знаннях, що були отримані при вивченні таких дисциплін, як фізика, опір матеріалів, технологія конструкційних матеріалів та ін. В свою чергу, матеріали і знання, що будуть отримані при вивченні дисципліни, будуть використані при вивченні дисциплін «Технологія обробки типових деталей та складання машин», «Автоматизація виробничих процесів в машинобудуванні», «Механоскладальні ділянки і цехи в машинобудуванні» та ін.

Важливість, яку приділяють вивченню даної дисципліни, може бути проілюстрована також тим фактом, що до 1985 року проектування і виробництво заготовок було внесено у дисципліну «Технологія машинобудування». Беручи до уваги значущість отримання заготовок у виробничих процесах, було визнано доцільним виділити його в окрему навчальну дисципліну.

У масовому та багатосерійному виробництвах спостерігаються незначні втрати металу на усьому етапі отримання готової деталі. Це

пов'язано, насамперед, з використанням прогресивних способів отримання точних заготовок: спеціальних методів лиття, холодного штампування, процесів порошкової металургії, процесів виробництва фасонного і листового прокату та ін. В цьому випадку матеріальні витрати на засоби технічного оснащення швидко окупаються завдяки великому обсягу випуску.

Використання прогресивних методів отримання заготовок обмежено або, взагалі, недоцільно в умовах одиничного, дрібносерійного і серійного виробництв. Тому дані типи виробництв пов'язані зі значними відходами металу, який йде у стружку. Однак в цих умовах можливо використання технологічного оснащення, яке у змозі забезпечити швидке переналагодження при переході від виготовлення одного типорозміру деталі до іншого. Але без відповідного знання наукових основ організації групового виробництва заготовок такий підхід доволі важкий, а в окремих випадках і зовсім неможливий. Отже, повсюдне використання групових методів виготовлення заготовок здатне вирішити проблему економії матеріалів і сприяє створенню гнучких автоматизованих виробництв (ГАВ).

Досягнення значних економічних показників при виробництві продукції машинобудування можливо в тому випадку, коли заготовка за розмірами, конфігурацією, показниками шорсткості поверхні не дуже відрізняється від готової деталі. Це скорочує до мінімуму оброблення на метало-різальних верстатах або зовсім виключає його.

Відомо, що при виборі заготовки для заданої деталі спочатку визначається спосіб її отримання. Після цього уточнюють її конфігурацію, розміри, допуски, припуски на оброблення і формують технічні умови на виготовлення. З ускладненням конфігурації, зменшенням допусків і припусків, підвищенням точності розмірів і параметрів розташування поверхонь ускладнюється і дорожчає технологічне оснащення, зростає собівартість заготовки, але при цьому знижується трудомісткість і собівартість подальшого механічного оброблення, підвищується коефіцієнт використання матеріалу. У випадку одержання заготовки простої конфігурації вимагається наступна трудомістка механообробка. Тому при виборі технологічних процесів одержання заготовки доцільно перенести задачу формоутворення на заготівельну стадію.

Необхідність економії матеріалів зумовлює більш жорсткі вимоги до вибору раціонального процесу виготовлення заготовок, котрі визначають не тільки витрати на технологічну підготовку виробництва, а і собівартість, надійність і довговічність виробів. Дуже важливо зробити правильний вибір виду заготовки, призначити для певних виробничих умов оптимальний технологічний процес виготовлення. Маршрут технологічного процесу виготовлення виробу в цілому у більшості випадків визначає метод отримання заготовки і прямо впливає на усі показники виробничого процесу. Таким чином, вибір оптимального способу виготовлення заготовки сприяє підвищенню ефективності виробництва і зниженню собівартості виготовлення виробу.

З огляду на сучасне економічне становище України та сучасний етап розвитку машинобудівного виробництва можна зробити висновок, що виготовлення деталей механічним обробленням без втілення раціональних процесів отримання заготовок буде збитковим. Тому заготівельне виробництво – це важлива ланка сучасного машинобудування, і від подальшого його розвитку залежать технічні і економічні показники продукції, що випускається.

1 ВИРОБНИЦТВО ЗАГОТОВОК У МАШИНОБУДУВАННІ

1.1 Загальні аспекти заготівельного виробництва

1.1.1 Основні терміни і визначення

Нерідко у заготівельному виробництві та і у літературі використовують для одного і теж визначення різні науково-технічні терміни, часом застарілі або неприпустимі терміни-синоніми. У цьому посібнику використовуються сучасні терміни, які встановлені державними стандартами (ГОСТ, ДСТУ) та іншими діючими нормативними документами. Основні терміни та їх визначення, які є загальними у заготівельному виробництві в цілому, наведені нижче.

Виріб – будь-який предмет чи набір предметів виробництва, які підлягають виготовленню на підприємстві (ГОСТ 2.101-68).

Деталь – виріб, що виготовлений із однорідного за найменуванням і маркою матеріалу, без застосування складальних операцій та який має захисне чи оздобне покриття або з використанням місцевого зварювання, лютування, зшиття та ін. (ГОСТ 2.101-68).

Заготовка – предмет праці, із котрого зміненням форми, розмірів, властивостей поверхні і (або) властивостей матеріалу виготовляють деталь (ГОСТ 3.1109-82).

Вихідна заготовка – заготовка перед першою технологічною операцією (ГОСТ 3.1109-82).

Матеріал – початковий предмет праці, що споживається для виготовлення виробу (ГОСТ 3.1109-82).

Припуск – шар матеріалу, що видаляється з поверхні заготовки з метою досягнення заданих властивостей поверхні, що обробляється (розмірів, форми, твердості, шорсткості та ін.) (ГОСТ 3.1109-82).

Напуск – деякий об'єм металу на заготовці, що передбачений для спрощення виготовлення виробу.

1.1.2 Основні способи отримання заготовок

В машинобудуванні на сьогоднішній час існує достатньо способів і методів отримання деталей і заготовок. Ця різноманітність, з одного боку, дає можливість істотно підвищити якість деталей машин і ефективність їх виготовлення, з другого боку, – створює значні труднощі у виборі найліпшого варіанту. Для прийняття оптимального рішення необхідний комплексний аналіз техніко-економічної ефективності усіх альтернативних варіантів з урахуванням конструктивних, технологічних і виробничих факторів. Усі ці фактори взаємопов'язані, оскільки конструкція виробу, марка мате-

ріалу, його фізичні і механічні властивості в першу чергу визначають форму заготовки, спосіб її отримання, характер виробництва і його організаційний рівень. Урахування усіх цих вимог впливає на техніко-економічну ефективність виготовлення самого виробу.

Якщо спрощено рахувати, що вартість виготовлення виробу становить $C_v = C_m + C_z + C_o$, де C_v , C_m , C_z і C_o – вартість відповідно виробу, матеріалів, заробітної плати і обладнання, та урахувати можливу серійність виробництва, то із практики відомо, що доля витрат на матеріали, заробітну плату і обладнання істотно залежить від типу виробництва [1].

В одиничному виробництві у вартості виробу найбільш істотну вагу має вартість заробітної плати, в масовому – вартість матеріалу, а у серійному їх доля залежить від рівня серійності. Але незалежно від типу виробництва, матеріаломісткість виробу і трудомісткість його виготовлення завжди визначається вдалим вибором заготовки і способом її отримання.

Якщо спробувати проаналізувати ситуацію в машинобудівельній галузі України, то можна чітко виділити наступні тенденції. По-перше, підвищення цін на енергоносії до рівня світових призвело до істотного погіршення ситуації в цілому, падіння попиту на продукцію і зниження об'ємів виробництва. По-друге, підвищена енергоємність продукції також робить її неконкурентоспроможною на світових ринках. І, нарешті, цілком реальна стає загроза дефіциту металу і електроенергії при зберіганні пропорцій споживання електроенергії на обробку різанням і відсотка металу, що йде у стружку.

Кардинальне поліпшення цієї ситуації можливе тільки шляхом використання маловідхідних і енергоощадних технологій, до котрих, зокрема, відносяться прогресивні способи і методи отримання заготовок.

Із історії розвитку суспільства відомо, що найдавнішим способом отримання заготовок і готових виробів із металів є лиття. Від найпростіших прикрас і виробів (статуетки, зброя, посуд, дзвони) в процесі еволюції і розвитку виробництва людина прийшла до електрометалургії сталі, чавуну і кольорових металів. На теперішній час половину усієї сталі, що виплавляється, використовують для лиття. В свою чергу, доля сталювого лиття складає приблизно 23% у його загальному балансі, а 73% – це лиття чавуну, як найдешевший матеріал для отримання заготовок. Зростає потреба у легованих конструкційних матеріалах, високоміцних, жаростійких і економнолегованих сталях. Виникають нові прогресивні способи лиття, такі як ковшова металургія, електрожужільне лиття, але лиття у піщано-глинясті форми залишається найбільш розповсюдженим (близько 80% від усього об'єму литих заготовок).

Друге місце після лиття у виробництві заготовок для машинобудування займає оброблення металів тиском (ОМТ). На початку 80-х років минулого століття піддавалося ОМТ більше 90% сталі, що виплавлялася, і більше половини кольорових металів і стопів.

Для отримання багатьох заготовок дуже часто використовують послідовно декілька способів оброблення (лиття, ОМТ, листове штампування, зварювання тощо).

1.1.3 Класифікація заготовок

У сучасному машинобудуванні отримали широке поширення такі види заготовок: прокат із сталей і кольорових металів та сплавів; відливки із чавуну, сталей, кольорових металів та сплавів; поковки із сталей і кольорових металів; порошкові металеві, керамічні і пластмасові заготовки; збірні та інші заготовки.

Заготовки із прокату. Усю продукцію, що виготовляється прокаткою, в залежності від форми поперечного перерізу можна розділити на чотири основні групи: листовий прокат; сортовий прокат; трубний прокат; спеціальні профілі (точні заготовки для машинобудування, гнуті профілі та ін.).

Листовий прокат в залежності від товщини може бути товстолистовим і тонколистовим. Тонкий лист використовується переважно у якості заготовки для листової штамповки, а також у зварних конструкціях. Товстий лист і плити – для великогабаритних зварних конструкцій корпусних деталей.

Сортний прокат в залежності від форми поперечного перерізу поділяють на прості і фасонні профілі. Прості профілі мають форму круга, квадрату, шестигранника і штаби. Використовують як заготовки для формування гладких і ступінчастих (з невеликими перепадами діаметрів) валів, втулок, стаканів, важелів, клинів, фланців, поршнів. Фасонні профілі мають переріз складної форми. Фасонні гарячекатані профілі в залежності від їх призначення поділяють на профілі загального (рис. 1.1) і спеціального (рис. 1.2) призначення [2; 3].

До фасонних профілів загального призначення відносять рівнобокий 1 і нерівнобокий 2 кутик, швелер 3, двотаврові балки 4 та зетовий профіль 5, які застосовуються для виготовлення металоконструкцій, рам, ферм, підставок, кронштейнів, каркасів. До фасонних профілів галузевого і спеціального призначення відносять прокат складного поперечного перерізу (див. рис. 2): зет-подібний профіль 1; ресорний жолобковий профіль 2; шпунтова паля 3, профіль для шахтних кріплень 4, профіль для автообіду 5, профіль для тракторних шпор 6, тригранний профіль 7, клиновий профіль 8, овальний профіль 9, ромбічний профіль 10. Дані профілі використовують у автомобільному, тракторному, залізничному та інших видах машинобудування [4].

До групи сортового прокату входять також балки, рейки, штрипси. Усі профілі і типорозміри поставляють за відповідним стандартом.

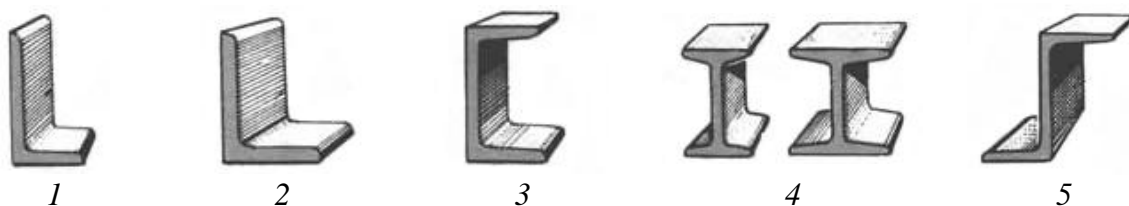


Рисунок 1.1 – Сортова гарячекатана сталь загального призначення

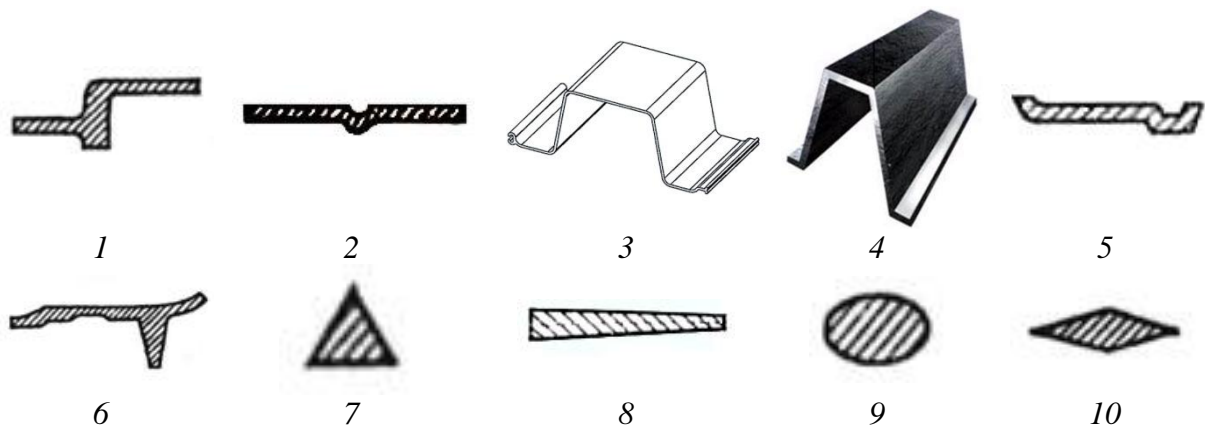
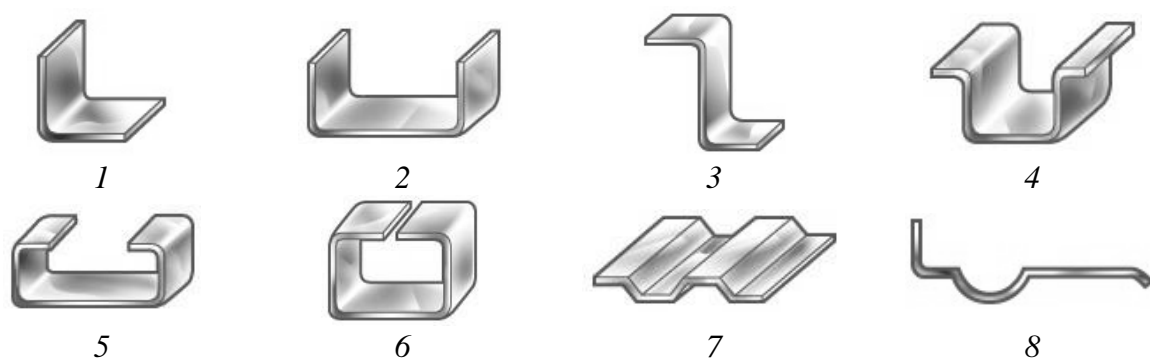


Рисунок 1.2 – Сортова гарячекатана сталь спеціального призначення

Труби поділяють на дві групи: безшовні і зварні. Достатньо поширені фасонні труби і труби змінного перерізу. Виробляють також тонкостінні, особливо тонкостінні, прецензійні, капілярні та інші труби. Трубний прокат використовують для виготовлення циліндрів, гільз, втулок, шпинделів, стаканів, барабанів, роликів, порожнистих валів.

Поряд з зростанням виробництва прокату постійно зростає випуск його економічних профілів. Процес профілювання листового прокату забезпечує виробництво гнутих профілів на станах при скороченні чи повному виключенні операцій зварювання, з'єднання болтами або нютами.

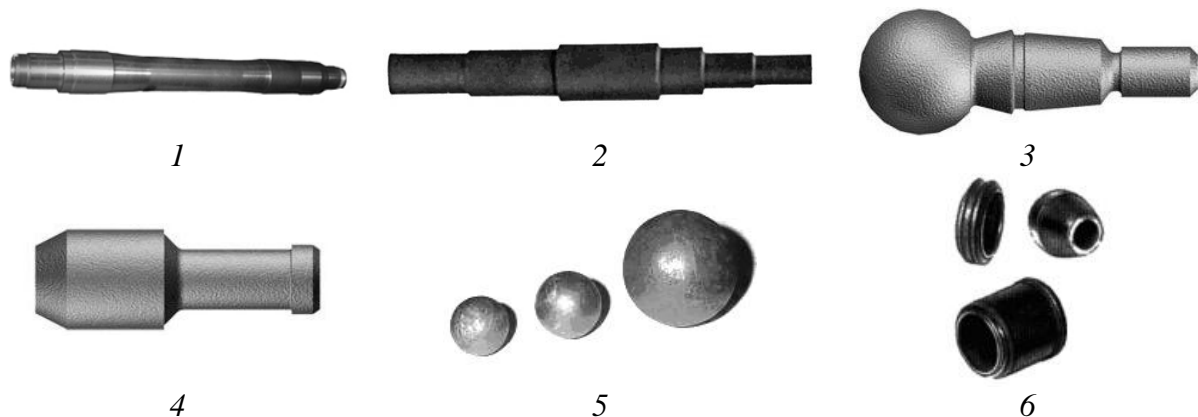
Гнуті профілі, які виготовляють із листа і штаби товщиною 2,2–20 мм, використовують в різних галузях промисловості і для побутових цілей. Призначені для виготовлення кузовів, опор, кронштейнів, каркасів, консолей, ферм, ребер жорсткості, а також віконних рам, дверей, вітрин. У порівнянні з гарячекатаними гнуті профілі забезпечують більшу точність, мають меншу товщину, можуть мати закриту форму, котру неможливо отримати прокаткою (рис. 1.3).



1 – кутова сталь; 2 – швелер; 3 – зетовий профіль; 4 – коритоподібний профіль; 5 – С-подібний профіль; 6 – замкнений профіль; 7 – гофрований профіль; 8 – спеціальний профіль

Рисунок 1.3 – Деякі види гнутих профілів

В різних галузях машинобудування широке розповсюдження отримали періодичні прокатні профілі, котрі забезпечують значну економію металу (20–30 %), а також набагато знижують трудомісткість виготовлення деталей. Періодичний профіль може бути отриманий на основі процесів поперечно-гвинтової прокатки, у тому числі на тривалкових станах з конічними валками, поперечної та поперечно-клинової прокатки. Даними способами виготовляють заготовки для осей залізничних вагонів, піввісей автомобілів, ступінчастих валів редукторів і електродвигунів, а також куль підшипників кочення, фланців, профільованих трубних деталей, дисків та інших виробів (рис. 1.4) [5–8].



1 – вісь залізничного вагону; 2 – ступінчатий вал електродвигуна; 3 – кульовий палець; 4 – ніпель; 5 – подрібнювальні кулі; 6 – порожнисті втулки
Рисунок 1.4 – Заготовки машинобудівних деталей, які отримані на прокатних станах спеціального призначення

Заготовки, що отримані прокаткою, максимально приближені по формі і розмірам до готових виробів, а також їх механічні властивості вищі за рахунок розташування волокон у відповідності до конфігурації деталі. Коефіцієнт використання металу (КВМ) при виготовленні деталей із таких заготовок складає 0,8–0,9. Область застосування процесів прокатки для виробництва заготовок для машинобудування – масове і багатосерійне виробництво.

Відливки мають складні і криволінійні поверхні і можуть бути виготовлені практично із усіх металів і сплавів з масою від декількох грамів до сотень тон із товщиною стінки 0,5–500 мм. Відливки отримують із чорних сплавів (чавуни, сталі) та кольорових сплавів (алюмінієвих, магнієвих, мідних, цинкових, титанових та ін.).

За умовами роботи незалежно від способу виготовлення відливка поділяють на три групи: загального, відповідального та особливо відповідального призначення [9].

До групи загального призначення відносять відливки для деталей, що не розраховані на міцність та які працюють за нормальною температурою і зносом у неагресивному середовищі газів або рідини (рис. 1.5, а). Конфігура-

ція і розміри їх визначаються тільки конструктивними і технологічними міркуваннями. Такі відливки не піддають контролю рентгенопросвічуванням.

Відливки відповідального призначення використовують для виготовлення деталей, які розраховуються на міцність і які працюють в умовах статичних навантажень, нормальних і підвищених температур, агресивних газових і рідких середовищ, а також помірному зносу (рис. 1.5, б). Вони проходять вибіркового контролю рентгенопросвічуванням.

До групи особливо відповідального призначення відносять відливки для деталей, які розраховуються на міцність і які працюють при циклічних і динамічних ударних навантаженнях в умовах високих температур, дуже агресивних газових і рідких середовищ, розтопів солей і металів, а також підвищеного зносу (рис. 1.5, в). Їх піддають індивідуальному контролю рентгенопросвічуванням, флуоресцентному контролю і контролю вихровим струмом.

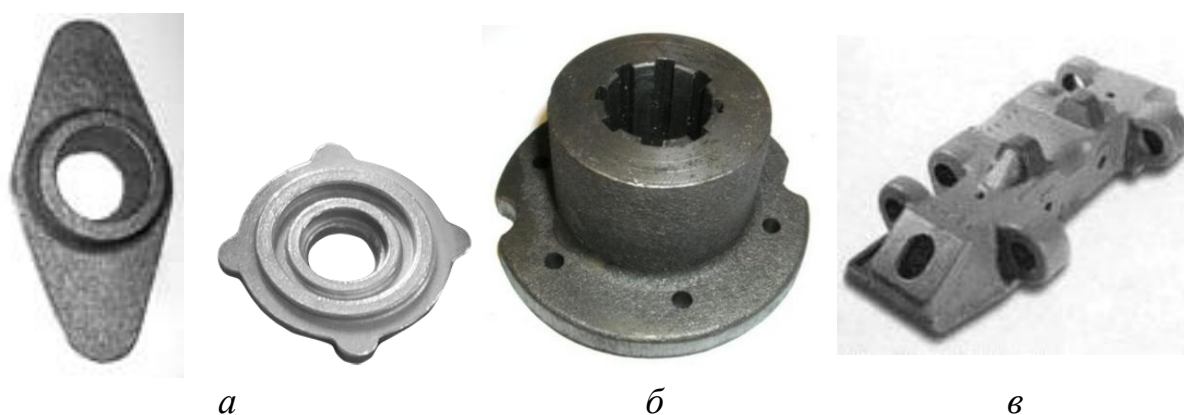


Рисунок 1.5 – Групи відливок за умовами роботи

Фасонні відливки із чавуну і сталі отримали широке розповсюдження у машинобудуванні. Разом з цим відливки із кольорових металів і сплавів мають важливе значення для низки галузей промисловості: суднобудування, авіабудування, автобудування, приладобудування, космічної галузі та ін.

Ковані і штамповані заготовки (поковки і штамповки) отримують обробленням металів тиском шляхом кування, штампування і спеціальних технологічних процесів (пресування, видавлювання, витягання та ін.). Вільне кування дозволяє отримувати заготовки простої форми з великими напусками і припусками під механічну обробку, проте не має альтернативи у одиничному виробництві і для великих заготовок (масою до 300 т). Гарячим і холодним штампуванням виготовляють більш складні за формою, але обмежені за габаритами і масою заготовки.

Вироби, що виготовлені куванням або об'ємним штампуванням, називають відповідно кованим (рис. 1.6, а) або штампованим (рис. 1.6, б) вивком, а вироби, що виготовлені листовим штампуванням – деталями (рис. 1.6, в), оскільки вони практично йдуть до складальних цехів без будь-якого оброблення різанням.



а



б



в

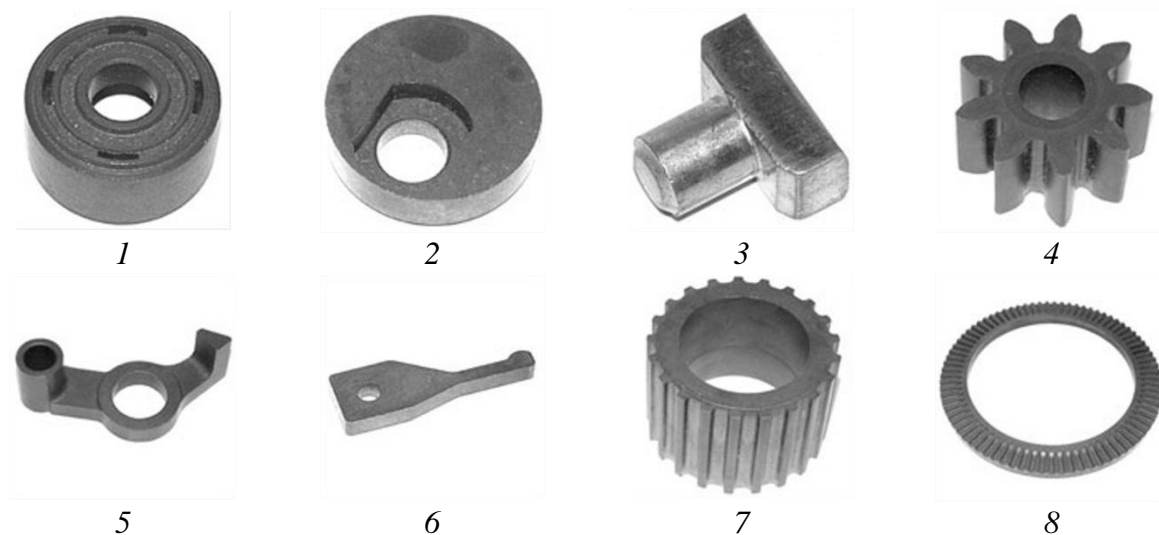
Рисунок 1.6 – Заготовки, що отримані куванням і штампуванням

До кованих викокків відносять: суцільні гладкі або з уступами, витягнутою віссю, круглим або прямокутним поперечним перерізом; порожнисті гладкі або з уступами, циліндричні, з великим відношенням довжини до зовнішнього діаметру; суцільні з непрямолінійною віссю, переважно прямокутного поперечного перерізу; суцільні гладкі або з уступами, з круглим або прямокутним поперечним перерізом, з малим відношенням довжини (висоти) до діаметру; порожнисті гладкі або з уступами, циліндричні з малим відношенням довжини (висоти) до зовнішнього діаметру; типу обичайок [10].

До штампованих викокків відносять: подовжені з прямою головною віссю довільного поперечного перерізу з двома площинами симетрії; подовжені зі зігнутою віссю із можливим рознімом по одній площині; подовжені в плані при відсутності можливості розніму по одній площині; подовжені з боковими паростками і можливістю розніму по одній площині; подовжені з розвилками і можливістю вибору розніму по одній площині; круглі в плані і наближені до них з малим відношенням висоти до діаметру; типів хрестовин з паростками, стрижня (стакану) з фланцями, панелей з ребрами, стаканів (з одною і двома площинами), колінчастого валу [10].

Листоштампувальні деталі класифікують в залежності від їх геометрії [11]: пласкі деталі, що штампуються з використанням розділювальних операцій; вісесиметричні оболонки типу тіл обертання (циліндричні, конічні, сферичні, овальні та ін.); коробчасті (з двома, однією віссю симетрії та довільної форми); комбіновані – оболонки з відбортованими патрубками всередину і назовні на бокових поверхнях (і торцевих), зі змінними розмірами перерізу по висоті і ширині та ін.; оболонки складної форми; деталі типу сифонів, гнутих профілів і облицювальних панелей (пласкі і різноманітного типу гофрами).

Заготовки із порошків класифікують за способом виготовлення, матеріалами (метали, кераміка, пластмаси та ін.), наповнювачами, барвниками. Коло заготовок і виробів, що отримують методами порошкової металургії, доволі широке та безперервно розширюється (рис. 1.7). До них відносять зубчасті колеса, важелі, кулачки, поршні та ін. для автомобілебудування, машинобудування, енергетики, промисловості засобів зв'язку, будівельної, гірничодобувної промисловості. Продукція порошкової металургії використовується навіть у таких галузях промисловості, як авіакосмічна галузь, електронна та радіотехнічна, транспортна.



1 – поршень; 2 – ексцентрик; 3 – сухар вилки перемикавання передач; 4 – шестерня масляного насосу; 5 – важіль; 6 – поводок; 7 – шків зубчастий на тяжного ролика; 8 – ротор зубчастий

Рисунок 1.7 – Вироби, що виготовлені методами порошкової металургії

Також методами порошкової металургії отримують заготовки, а також деталі, що мають спеціальні властивості: антифрикційні та фрикційні вироби (втулки, вкладиші, опорні шайби, диски, колодки та ін.); електротехнічні вироби (контакти, магніти, ферити, електрощітки та ін.); композиційні матеріали (жароміцні та ін.); шпаристі проникні матеріали та вироби (фільтри та ін.) [12].

Вироби, що отримані із порошків, максимально наближені за формою і розмірами до готових деталей і потребують найчастіше тільки оздоблення. Тому у більшості випадків коефіцієнт використання матеріалу доволі високий і складає 0,95–0,97.

Збірні заготовки становлять заготовки, котрі складаються із окремих заготовок, які виконані з використанням різних технологічних процесів, а іноді із різних матеріалів, що з'єднані між собою звичайно за допомогою зварювання. Їх класифікують за матеріалами, способами з'єднання і виготовлення складових частин. Наприклад, збірні заготовки можуть бути зварно-литими, зварно-кованими, зварно-штампованими, ковано-литими, металоскляними, металокерамічними та ін. Для з'єднання окремих частин заготовки використовують різні способи зварювання, лютування, нютовання, склеювання, згвинчування, закручування тощо.

Так, наприклад, в умовах серійного і масового виробництва широко використовують зварювання заготовок, що штамповані з листа. Технологічність таких зварно-штампованих деталей досягається відносно високою точністю розмірів і формою штамповок, що дозволяє виключити попередню механічну обробку, зручністю складання і зварювання тонких листів не тільки упритул, але і нахлестом, і за відбортовуванням, а також можливістю отримання доволі жорстких деталей з малою вагою. Характерним при-

кладом зварно-штампованої деталі може бути паливний бак автомобілю (рис. 1.8, а), що зварений із двох штампованих половин з перегородками для зменшення гідравлічних ударів. Спочатку до половинок корпусу точковим зварюванням приварюють штуцери, шайби, перегородки. Потім виконується роликкове зварювання герметичного шву по фланцю [13].

Прикладом штампованої деталі, що виготовлена з використанням інших методів зварювання, є балка заднього мосту легкового автомобілю. Дві половини кожуху 1 і 2 (рис. 1.8, б) штамнуються із листа товщиною 3 мм, ковани фланці 3 і 4, що отримані гарячим об'ємним штампуванням, піддаються попередньому механічному обробленню. Далі половинки кожуха зварюються під флюсом. Після цього до кінців балки методом оплавлення приварюють фланці [14].

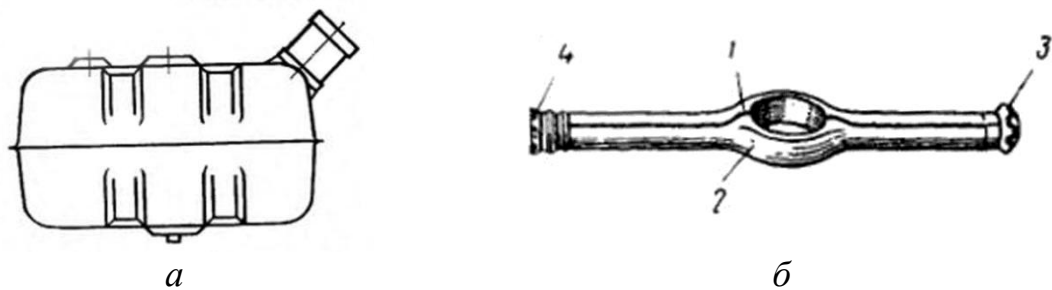


Рисунок 1.8 – Комбіновані заготовки

Найбільш розповсюдженим матеріалом збірних зварних заготовок є сталь. Однак з розвитком спеціальних галузей промисловості отримали широку популярність стопи на основі алюмінію, магнію, титану, а також знаходять використання і інші конструкційні матеріали, зокрема, пластмаси. Такі заготовки дозволяють виготовляти вироби, складні за конфігурацією, масивні та ті, що мають підвищені вимоги до окремих елементів.

Інші заготовки отримують шляхом механічного оброблення сортового і спеціального прокату за допомогою металорізального обладнання, ножиць, штампів, а також газових, електричних, лазерних і механічних різаків.

1.2 Вибір методу і способу отримання заготовок

В сучасному машинобудуванні однією із головних тенденцій при виборі заготовки є вирішення задачі максимального приближення її геометричної форми і розмірів до розмірів і форми готової деталі. Тобто коефіцієнт використання металу повинен бути максимальним, а трудомісткість подальшого оброблення – мінімальною, але при цьому необхідно забезпечити необхідну якість деталі (за розмірами і шорсткістю поверхонь) у відповідності з кресленнями після механічного оброблення на металорізальних верстатах. Винятком можуть бути хіба що гнучкі автоматизовані виробництва

(ГАВ), де заготовкою для деталі у загальному машинобудуванні практично завжди є калібрований прокат (круглий, квадратний та ін.) і основним показником є не КВМ, а швидкість оброблення та продуктивність процесу. Тому це питання повинно бути прораховано хоча б приблизно іще конструктором на стадії проектування деталі. Проведення порівняльного техніко-економічного аналізу різних варіантів отримання заготовки, ґрунтуючись хоча б на приблизних показниках, сприяє вибору раціонального способу отримання заготовки, що в свою чергу закладає необхідні характеристики міцності та експлуатаційні властивості деталі, що проектується.

Спочатку визначається метод, яким найбільш доцільно отримати заготовку для даної деталі.

Слід зробити застереження щодо таких понять як «метод» і «спосіб» отримання заготовки. Термін «метод» визначає групу технологічних процесів, котрі базуються на єдиному принципі формоутворення і отримання заготовки. Наприклад, метод порошкової металургії охоплює технології отримання металічних порошків і виготовлення виробів із них. Він передбачає наступні технологічні схеми виробництва (способи): пресування і спікання, гаряче штампування, гаряча екструзія, просочення легкотопким металом та ін. Технологічний метод лиття характеризується виготовленням продукції із рідкого матеріалу шляхом заповнення їм порожнини ливарної форми. А способами лиття є лиття до піщано-глинястих форм, в кокіль, до оболонкових форм, лиття під тиском, відцентрове лиття та ін.

При виборі методу виробництва заготовки в першу чергу слід звертати увагу на матеріал, який було закладено конструктором, і технічні вимоги креслення. Приміром, якщо на кресленні вказано матеріал СЧ30 або сталь 40ХЛ, то заготовку для цієї деталі слід виготовлювати методом лиття, оскільки задана марка чавуну в силу своїх низьких пластичних властивостей не може бути піддана обробленню тиском, а літера «Л» в кінці маркування сталі вказує на те, що сталь має підвищені ливарні властивості. Вибір способу лиття (до ПГФ, оболонкових форм тощо) є наступним етапом вибору заготовки для деталі, що розглядається.

Вибір способу отримання заготовки – це більш складна задача, яку часом дуже важко вирішити, оскільки різні способи отримання деталі часто можуть забезпечити технічні та експлуатаційні вимоги, що пред'являються до неї. Обраний спосіб виготовлення заготовки повинен бути економічним, продуктивним та нетрудомістким процесом, який здатний забезпечити високу якість деталі. Оцінку доцільності і техніко-економічної ефективності застосування того чи іншого способу отримання заготовки необхідно проводити з урахуванням усіх його позитивних сторін та недоліків.

Існують декілька факторів, що обумовлюють спосіб отримання заготовки і впливають на собівартість її виготовлення. До них відносять [1]:

– конструктивні фактори, що визначені конструкцією самої деталі, маркою матеріалу і технічними вимогами, які забезпечують припустимість виготовлення її існуючими способами;

– виробничі фактори, що зумовлені особливостями виробництва, технологічним оснащенням, а також технологічними і організаційними рівнями виробництва;

– технологічні фактори, що характеризують спосіб отримання заготовки, а також визначають обладнання і технологічний процес виробництва.

Ці фактори пов'язані між собою і істотно впливають на собівартість готової деталі. Технологічність заготовки визначена тим, наскільки повно враховано вплив цих факторів, тобто наскільки заготовка відповідає вимогам виробництва і забезпечує довговічність і надійність роботи деталі при експлуатації.

При вирішенні задачі вибору способу отримання заготовки для заданої деталі відома декілька підходів. Один з них розвинуто О.Е. Артесом у роботах з холодного об'ємного штампування [15; 16]. Підхід передбачає розгляд наступних ознак відбору (рис. 1.9):

- 1) На першому етапі виконують аналіз маси, габаритів і форми деталі.
- 2) На другому етапі – аналіз технологічних показників таких як здатність до пластичного деформування, ливарні властивості, зварюваність, тобто обмеження, що накладаються на технологічний процес. Тут же враховується собівартість, стійкість інструменту, потужність обладнання.
- 3) На третьому етапі необхідно проаналізувати питання завантаження обладнання.

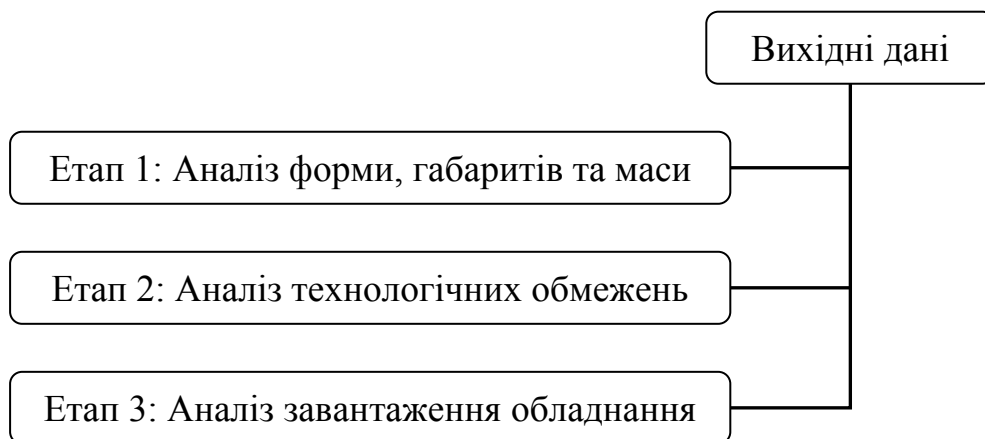


Рисунок 1.9 – Принципова схема вибору заготовки для заданої деталі

В умовах серійного виробництва для визначення способу отримання заготовки широко використовується графоаналітичний метод, котрий дозволяє виконати порівняльну оцінку можливих варіантів виробництва за такими критеріями як коефіцієнт використання металу, трудомісткість, собівартість та ін. Оскільки кожен спосіб виготовлення заготовки пов'язаний з визначенням конкретних витрат підготовчо-заклучного і оперативного часу, із врахуванням встановленої нормативної вартості 1 рік роботи обладнання та інших техніко-економічних показників, сумарні (загальні) витрати на виготовлення партії заготовок становлять [17; 19]:

$$A = a + bN, \quad (1.1)$$

де a – умовно постійні витрати на обробку партії заготовок, грн.;
 b – умовно змінні витрати на виготовлення 1 шт заготовки, грн.;
 N – розмір партії заготовок, що виготовлюються, шт.

При графічному відображенні прямих, які виражені залежністю (1.1), для способів виготовлення заготовки, що розглядаються, визначаються можливі переваги одного способу над іншим при однаковій співвідношенні між обсягу виробництва і вартістю виготовлення партії заготовок. Графік наочно дозволяє аналізувати доцільність використання того чи іншого способу виготовлення заготовок в залежності від обсягу виробництва та інших факторів.

Використання графоаналітичного методу вибору способу виготовлення заготовок помітно знижує трудомісткість процесу оптимізації вибору і дозволяє проводити аналіз конкретних витрат на виготовлення партії заготовок.

У якості основних характеристик, що об'єднують усі методики вибору способу отримання заготовки, можна виділити раціональність і економічність конструкції деталі. Для цих ознак характерні наступні особливості [1; 17-19]:

– *матеріал деталі і заготовки* повинен мати необхідні технологічні властивості – рідкоплинність, ковкість, штампованість, зварюваність, оброблюваність. Ці властивості впливають на собівартість виготовлення заготовок та накладають обмеження на вибір способу отримання заготовки. Наприклад, сірий чавун має чудові ливарні властивості, але не піддається обробленню тиском. Титанові стопи мають високі антикорозійні властивості, але отримати із них відливки або вковки доволі важко. А при переході від лиття чавуну до сталі підвищується собівартість лиття на 20–30 % (без врахування вартості матеріалів).

Необхідною технологічною властивістю для матеріалів, що деформуються, є пластичність. Пластичність знижується з підвищенням вмісту вуглецю і легованих елементів. Чим нижче пластичність, тим складніше отримати якісну заготовку, тим складніше технологічний процес і тим вище собівартість деталі. Використання легованих і високовуглецевих сталей при виробництві штампованих заготовок підвищує їх собівартість на 5–7 %, оскільки здійснити необхідну ступінь деформації за одне нагрівання неможливо, і використовується проміжне нагрівання, що підвищує енерговитрати, трудомісткість, а отже і собівартість виготовлення заготовки.

Якщо заготовки із одного і того ж матеріалу отримувати різними способами (лиття, оброблення тиском, зварювання), то вони будуть мати неідентичні властивості, оскільки у процесі виготовлення заготовки відбувається зміна властивостей матеріалу. Так для литого металу характерною рисою є відносно великий розмір зерна, неоднорідність хімічного складу і механічних властивостей по перерізу відливка, наявність залишкових напружень та ін. Метал після оброблення тиском має дрібнозернисту струк-

туру, визначену спрямованість розташування зерен. Холоднокатаний метал міцніший за литий у 1,5–3 рази. Тому при виборі заготовок для відповідальних, важконавантажених деталей у якості заготовок доцільно використовувати ковани і штамповані виковки.

Зварювання викликає неоднорідність структури у самому зварювальному шві і пришвовій зоні. Неоднорідність залежить від способу і режиму зварювання. Найбільша різниця у властивостях зварювального шва виникає при ручному дуговому зварюванні. Електрошлакове і автоматичне дугове зварювання дають найбільш якісний і однорідний шов.

При отриманні відливків із матеріалу, що має понижені ливарні властивості, не рекомендується використовувати лиття до кокілю або під тиском: через низьку піддатливість ливарних форм та виникнення ливарних напружень відбувається жолоблення відливка і навіть можуть з'явитися тріщини.

Через значне поглинання газів та виникнення свищів стопи на основі алюмінію небажано використовувати для отримання заготовок литтям під тиском. Для відцентрового лиття не рекомендується використання стопів, що схильні до ліквідації;

– *маса, форма та розміри заготовки* у деяких випадках відіграють вирішальну роль при виборі способу її отримання. Маса деталі істотно впливає на питому трудомісткість механічного оброблення заготовки і тим самим на собівартість. Питома собівартість відливків і виковків зростає із зменшенням їх маси, особливо при масі до 20 кг. Зазначена закономірність є загальною для усіх способів отримання заготовок, а також для їх механічного оброблення. Необхідно виключити механічне оброблення для тих деталей, котрі можуть бути отримані у заготівельному виробництві економічно більш вигіднішим способом. Механічне оброблення може бути виправдане у разі виконання невеликого обсягу робіт або операцій оздоблення, а також підвищення якості поверхні і точності розмірів деталей.

Для простих за формою деталей заготовкою частіше є прокат (круглий, труби та ін.). Незважаючи на великий обсяг механічного оброблення, така заготовка може бути достатньо економічною через низьку вартість прокату, майже повну відсутність підготовчих операцій та можливості автоматизації процесу оброблення.

Найбільш складних за конфігурацією заготовок можливо виготовлення різними способами лиття. Лиття до піщано-глинястих форм та до моделей, що витоплюються, дозволяє отримати заготовки складної форми з різними порожнинами і отворами. Однак деякі способи лиття, наприклад, лиття під тиском, мають певні вимоги до форми відливка і умовам його виготовлення.

Для лиття і кування розміри заготовки практично не обмежуються. Можливими параметрами, що обмежують використання способів лиття і кування, можуть бути деякі мінімальні розміри (наприклад, мінімальна товщина стінки відливка, мінімальна маса виковка). У цьому випадку штампування та більшість спеціальних способів лиття обмежують масу заготовки до декількох десятків чи сотень кілограмів;

– тип виробництва є одним із найважливіших показників, який необхідно враховувати при виборі способу отримання заготовки. Врахування програми випуску продукції при виборі способу виробництва здійснюється на основі розглянутого вище графоаналітичного методу, тобто по її собівартості (1.1) або по собівартості однієї заготовки:

$$A_{заг} = b + a/N \quad (1.2)$$

По типу виробництва також можна визначити економічну доцільність використання різних методів і способів отримання заготовок, тобто допустимі границі для кожного з них (рис. 1.10).

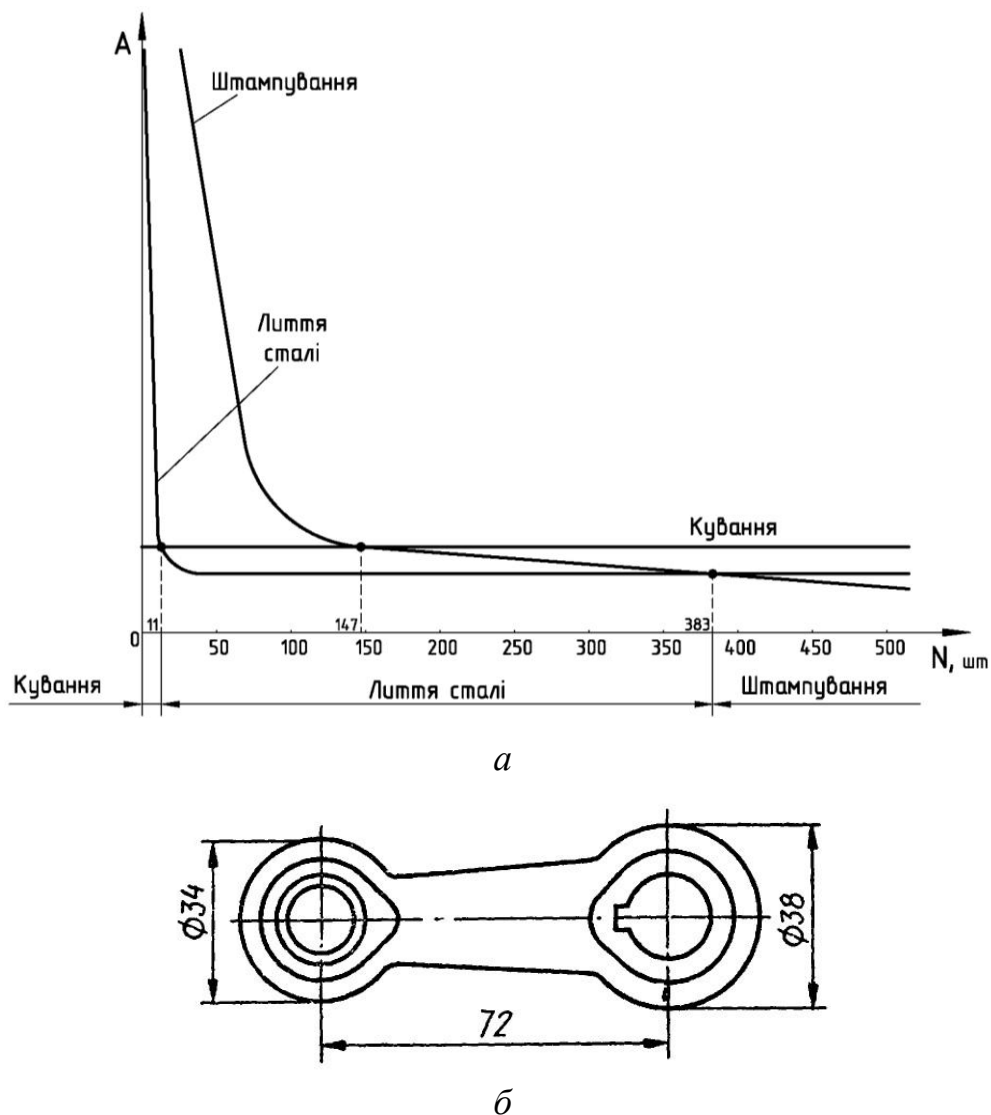


Рисунок 1.10 – Залежність (а) собівартості заготовки для деталі (б) від способу її виготовлення і розміру виробничої партії

Орієнтовно при виборі способу отримання заготовки можна виходити з того, що у одиничному і дрібносерійному виробництві у якості заготовок широко використовується гарячекатаний прокат, а також відливки, що

отримані шляхом лиття до піщано-глинястих форм, і виковки, що отримані вільним куванням. Такі заготовки мають великі припуски і напуски, що призводить до підвищення трудомісткості механічного оброблення через низьку технологічну оснащеність.

В умовах багатосерійного і масового виробництва економічно обґрунтовані такі способи виготовлення заготовок, як гаряче об'ємне штампування, лиття до кокілю та під тиском, а також до оболонкових форм та моделей, що витоплюються. Використання цих заготовок дозволяє зменшити припуски на механічне оброблення та знизити трудомісткість виготовлення деталей;

– *точність розмірів та якість поверхні заготовки* суттєво впливають на їх собівартість, оскільки для отримання точних заготовок необхідне використання обладнання та формотворчого оснащення з більш високими параметрами точності та збільшення витрат на їх утримання і експлуатацію. А якість поверхневого шару заготовки впливає на можливість її подальшого оброблення і на експлуатаційні властивості самої деталі (утомна міцність, зносостійкість та ін.). Технологічний процес виготовлення заготовки визначає не тільки мікрогеометрію поверхні, але і фізико-механічні властивості поверхневого шару.

Використання прецензійних способів отримання заготовок забезпечує достатню чистоту поверхні і високу точність розмірів. Сучасні процеси кування і штампування дозволяють отримувати заготовки, шорсткість поверхонь і точність розмірів котрих відповідають чистовим операціям механообробки, а в деяких випадках фінішним операціям (наприклад, шліфуванню). Спеціальні процеси оброблення тиском такі як поперечна, поперечно-гвинтова, поперечно-клинова прокатка, спеціальні види штампування (калібрування, холодне видавлювання) забезпечують отримання готових деталей і деталей машин, що годяться для складання без додаткового оброблення. Більшість спеціальних видів лиття (до кокілю, оболонкових форм, під тиском, рідке штампування та ін.) дозволяють отримувати достатньо якісні відливки з точністю, яка відповідає 12–15 квалітетам, і параметрами шорсткості $Ra = 6,3...3,2$ мкм;

– *виробничі можливості підприємства*, як правило, враховуються при організації виробництва нового виду заготовок. Для цього необхідна інформація про тип і кількість наявного обладнання, виробничі площі, можливості ремонтної бази, допоміжних служб та ін. Наприклад, впровадження лиття до кокілю дозволяє значно знизити потребу у виробничих площах у ливарному цеху, але, з іншого боку, виготовлення і ремонт кокілів потребує додаткових витрат у інструментальних і ремонтних цехах. Тому завжди вибір обладнання, оснащення і матеріалів відбувається на підставі попереднього техніко-економічного аналізу.

При порівнянні варіантів виготовлення заготовки можна керуватися наступною методикою, яка враховує все, що було оговорено вище, але вона не є остаточною, необхідний подальший обов'язковий техніко-економічний аналіз.

Необхідно підібрати заготовку і спосіб її виготовлення для деталі типу фланець з отвором (рис. 1.11), яка виготовлена із сталі 35ХМЛ. Маса деталі становить 30 кг, більшість поверхонь мають шорсткість 3,2...12,5 мкм по шкалі Ra, точність обробки, яка відповідає 12–14 квалітетам. Річний обсяг випуску 50 000 шт.

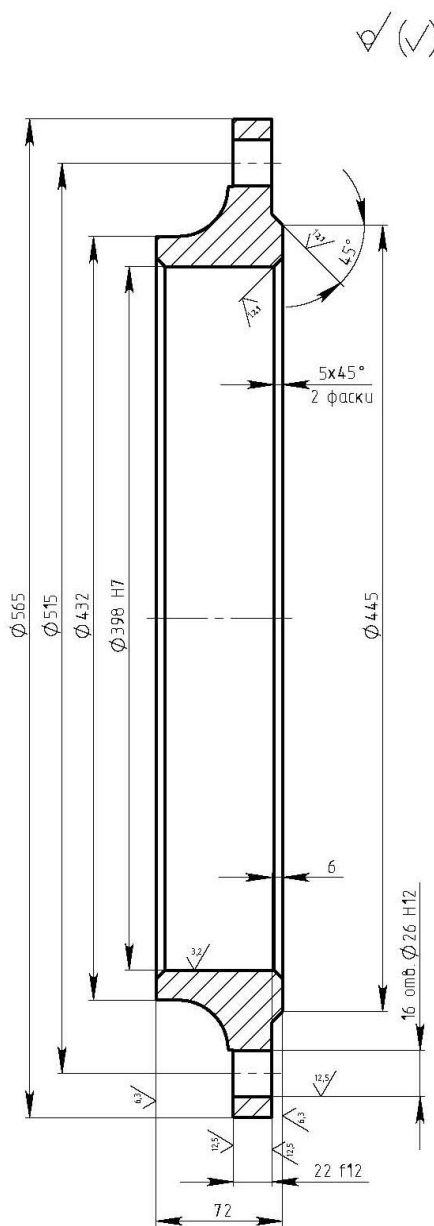


Рисунок 1.11 – Креслення деталі для вибору способу отримання заготовки

Оскільки задана ливарна марка сталі, то методом отримання заготовки є лиття. Далі слід визначитися зі способом лиття. При масі 30 кг і річному випуску 50 000 шт. тип виробництва буде масовий або багатосерійний. В цьому випадку доцільним буде використання спеціальних способів лиття, які забезпечать задані точність, шорсткість поверхні та максимальне наближення форми і розмірів заготовки до форми і розмірів готової деталі. До таких способів можна віднести: лиття до кокілю, до оболонкових форм,

по моделям, що витоплюються та під тиском. Лиття під тиском необхідно одразу ж виключити, оскільки цей спосіб не надто поширений при литті сталевих заготовок через низьку стійкість ливарного оснащення. Невелика стійкість і кокілів (до 500 заливань), тому і цей спосіб можна виключити.

Таким чином для порівняння залишається два способи: лиття до оболонкових форм і по моделям, що витоплюються. Обидва способи в достатній мірі в змозі забезпечити завдані шорсткість поверхонь і точність відливка. Однак враховуючи, що лиття по моделям, що витоплюються, це доволі трудомісткий та дорогий спосіб; його застосування раціонально, коли відливок неможливо отримати ніяким іншим способом. Тому в даному випадку найбільш доцільним способом отримання заготовки для заданої деталі можна вважати лиття до оболонкових форм.

Запропонована методика є вельми орієнтовною, оскільки використовувалася тільки якісна оцінка способів, що порівнювалися («можна» – «не можна», «погано» – «добре» і т. д.). Тому доцільним є проведення кількісної оцінки, а саме техніко-економічного аналізу варіантів, що порівнюються.

1.3 Оцінка технологічності заготовки

Під *технологічністю конструкції виробу* розуміють сукупність властивостей конструкції, які визначають її відповідність оптимальним витратам при його виробництві, експлуатації і ремонті для заданих показників якості, обсягу випуску та умов виконання робіт. Відпрацювання на технологічність обов'язково на усіх етапах створення виробу: починаючи зі стадії проектування заготовки і закінчуючи механічним обробленням і складанням готового виробу.

Оскільки технологічність закладається ще на стадії проектування, тому від конструктора потребується достатньо високий рівень технологічної підготовки. Заготовка, що була відпрацьована на технологічність не повинна ускладнювати подальше оброблення різанням.

Якість виробу поряд з технологічністю конструкції характеризується також його функціональністю, тобто здатністю виробу реалізувати свою основну функцію, надійністю, ергономічністю, естетичністю, економічністю, безпечністю та екологічністю. Усі ці складові якості виробу залежать, насамперед, від його конструктивного виконання і матеріалу та визначають технологічність конструкції в цілому.

Слід зауважити, що технологічність – це поняття відносне. Вона характеризує можливість виготовлення виробу в залежності від виробничих можливостей виготовлювача та типу самого виробництва. Одне конструктивне рішення може бути технологічним за умов даного типу виробництва та зовсім нетехнологічним при іншому типі. Розвиток виробничих можливостей підприємства (автоматизація процесів, впровадження станків з ЧПК та ін.)

змінює вимоги до технологічності. Всі ці нюанси повинні бути прораховані конструктором ще до початку розробки конструкції виробу [18; 20].

Проектування деталі та заготовки невід'ємно пов'язані між собою, тому здебільшого конструкція деталі містить також основні технологічні вимоги до заготовки та способи її виготовлення. Забезпечення технологічності заготовки зводиться до виконання наступних правил: конструкція деталі повинна бути або повністю стандартною (типовою), або складатись зі стандартних елементів; при можливості застосовувати для виготовлення деталі стандартні заготовки (прокат, відливки, вковки та ін.); базові поверхні мають забезпечувати точність розташування та закріплення заготовки у процесі механообробки та контролю; в процесі виготовлення деталі слід використовувати стандартні технологічні операції.

Показники технологічності заготовки можуть бути якісними та кількісними. Для якісної оцінки при порівнянні двох чи більше варіантів достатньо користуватися такими поняттями, як «ліпший» – «гірший», «прийнятний» – «неприйнятний» за технологічністю для заданих умов. Критеріями порівняння в цьому випадку є довідкові дані, а також досвід технолога і конструктора. Зазвичай таку оцінку проводять на етапі ескізного проекту, але з обов'язковим подальшим проведенням кількісної оцінки.

Кількісні показники дозволяють оцінити технологічність виробу за конструктивно-технологічними ознаками, що впливають на виконання основних вимог до нього, на основі інженерних розрахунків. Стосовно заготовок такими ознаками можуть бути коефіцієнт використання металу, трудомісткість виготовлення, технологічна собівартість виготовлення. Вибір того чи іншого показника залежить від призначення заготовки (деталі), типу виробництва та умов експлуатації. Для кожного випадку обирають найбільш характерні ознаки [18; 20; 21].

Трудомісткість виготовлення заготовки характеризується сумарними витратами часу на виробництво заготовки за всіма технологічними операціями. Нормування часу на виконання робіт по окремим операціям наведено у літературі [22-25] або ж у нормативно-технічній документації конкретного підприємства.

При порівняльному аналізі варіантів отримання заготовки проводиться приблизна оцінка трудомісткості. При цьому використовується декілька методів розрахунку: метод багатофакторного аналізу, метод врахування мас, метод врахування складності конструкції, метод врахування значущості складових частин (для збірних заготовок), метод елементкоефіцієнтів та метод регресійного аналізу.

Наприклад, метод врахування складності конструкції показує наскільки ускладнення конструкції заготовки призводить до підвищення трудомісткості виготовлення у порівнянні із заготовками, що мають спільні конструктивні і технологічні ознаки або такими, що є аналогом тої, що проектується. Для заготовок однієї типової групи ускладнення може проявлятися у збільшенні параметрів заготовки, підвищенні технічних вимог до конструкції (точності, шорсткості поверхні, корозійній стійкості та ін.).

У цьому випадку трудомісткість заготовки розраховується по наступній формулі:

$$T_{заг} = T_{баз} K_{ск}, \quad (1.3)$$

де $T_{баз}$ – трудомісткість заготовки, що є аналогом тої, що проектується;
 $K_{ск}$ – коефіцієнт складності.

Для заготовок однієї типової групи з приблизно рівними розмірами складність визначається похибкою виготовлення. Коефіцієнт складності при цьому становить:

$$K_{ск} = K_{ш} K_m, \quad (1.4)$$

де $K_{ш}$ – коефіцієнт, що характеризує змінення трудомісткості в залежності від змінення шорсткості поверхні заготовки;

K_m – коефіцієнт, що характеризує змінення трудомісткості в залежності від змінення точності розмірів заготовки.

Чисельні значення коефіцієнтів $K_{ш}$ і K_m для заготовок, що отримані різними способами, наведені у довідковій літературі [21].

Якщо ускладнення конструкції заготовки було спричинено зміненням її розмірів, розрахунок трудомісткості слід виконувати за методом врахування мас [18; 21].

Оцінку технологічності можна визначати по відношенню трудомісткості механічного оброблення до трудомісткості виготовлення заготовки $T_{мех}/T_{заг}$. Заготовка є більш технологічною при меншому значенні цього відношення, оскільки зменшується обсяг механічного оброблення. При одиничному виробництві відношення $T_{мех}/T_{заг}$ максимальне.

Технологічна собівартість виготовлення заготовки характеризує її ресурсомісткість в умовах одного способу виробництва (цеху, заводу). У загальній формі для однієї заготовки технологічну собівартість її виготовлення можна розрахувати за формулою:

$$C_m = Z_m + ЗП_{в.р.} + A, \quad (1.5)$$

де Z_m – витрати на матеріал для виготовлення заготовки, гр. од.;

$ЗП_{в.р.}$ – заробітна плата виробничих робочих з нарахуваннями, гр. од.;

A – витрати на амортизацію обладнання, інструмента та пристроїв, на мастильно-охолодні, обтиральні та інші матеріали, що передбачені процесом виготовлення заготовки, а також витрати на електроенергію, що споживає обладнання, гр. од.

Усі складові технологічної собівартості (1.5) залежать одна від одної. Наприклад, вибір іншого способу отримання заготовки зумовлює змінення

витрат на механічне оброблення, а змінення матеріалу може викликати змінення номенклатури технологічного обладнання. При порівнянні варіантів слід виконувати ті самі вимоги, що і при оцінці трудомісткості, тобто обирається заготовка із найменшою технологічною собівартістю.

Коефіцієнт використання металу (КВМ) є головним кількісним показником при оцінці технологічності заготовки. КВМ – це відношення маси деталі за кресленням до норми витрат матеріалу на виготовлення деталі. Його можна розрахувати за формулою [20]:

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{G_d}{G_z + G_g}, \quad (1.6)$$

де G_d, G_z, G_g – маси відповідно готової деталі, заготовки та відходів, кг.

Відходи складаються із витрат матеріалу на вигорання металу, облой, ливарні добавки, ливникову систему, а також втрати металу вихідних заготовок, що зумовлені неkratністю розмірів заготовки і використаного прокату (прутку, листа, штаби та ін.). Відходи матеріалу, що створені припусками на механічне оброблення та напусками, становлять складову частину маси заготовки.

Виходячи із переліку складових частин відходів, встановити їх достатньо важко, тому дуже часто для приблизних розрахунків визначають тільки відходи на припуски і напуски заготовки, розраховуючи при цьому замість КВМ коефіцієнт точності маси заготовки K_m :

$$K_m = \frac{G_d}{G_z}, \quad (1.7)$$

або коефіцієнт виходу придатного матеріалу $K_{\text{п.м.}}$:

$$K_{\text{п.м.}} = \frac{G_z}{G_{\text{в.з.}}}, \quad (1.8)$$

де $G_{\text{в.з.}}$ – маса вихідної заготовки, кг.

В свою чергу маса вихідної заготовки може бути визначена як:

$$G_{\text{в.з.}} = G_z + G_g \quad (1.9)$$

Коефіцієнт виходу придатного матеріалу часто використовують для визначення ефективності роботи заготівельних ділянок та цехів, а коефіцієнт точності маси – для попередніх розрахунків технологічності заготовок. Для остаточного вибору того чи іншого способу виготовлення заготовки

користуються коефіцієнтом використання матеріалу, особливо в умовах серійного і масового виробництва.

Як бачимо, між наведеними вище залежностями (1.6)–(1.9) є взаємозв'язок:

$$K_{в.м.} = K_m \cdot K_{п.м.} \quad (1.10)$$

Існують також інші кількісні оцінки технологічності конструкції заготовок, наприклад, за коефіцієнтом механічного оброблення деталі, за коефіцієнтом конструктивної складності, за коефіцієнтом габаритності, але ці оцінки достатньо складні та трудомісткі. Тому для визначення технологічності заготовки у навчальних цілях можна користуватися наведеними вище оцінками (1.3)–(1.10).

1.4 Основні конструкційні матеріали

У технологічному процесі виготовлення деталей машин роль конструкційного матеріалу надто важлива. З одного боку, конструкційний матеріал повинен забезпечити найменшу собівартість виготовлення заготовок і деталей. З іншого боку, обраний матеріал повинен надати деталі високі експлуатаційні властивості, довговічність та ремонтпридатність. У процесі вибору конструкційного матеріалу слід враховувати його експлуатаційні, технологічні та економічні властивості [18, 20, 26].

Експлуатаційні властивості матеріалу забезпечують виконання деталлю покладених на неї функцій. Тому його вибір виконується по результатах розрахунків, експериментів або досвіду експлуатації аналогічних деталей.

Технологічні властивості (рідкоплинність, здатність до пластичного деформування, зварюваність) визначають можливість отримання заготовки обраним технологічним методом. Перед проектуванням деталі конструктор повинен з самого початку уявляти повний цикл виготовлення деталі – від отримання заготовки до чистового оброблення.

Економічна ефективність конструкційного матеріалу визначається його вартістю і дефіцитністю. Але це тільки попередня оцінка. Техніко-економічне обґрунтування вибору матеріалу виконують на основі більш детальних розрахунків [20, 27].

Дуже часто вибір матеріалу водночас зумовлює й вибір методу виготовлення заготовки. Особливо це відноситься до тих матеріалів, які мають явно виражені технологічні властивості (рідкоплинність, деформованість тощо). Наприклад, якщо у якості конструкційного матеріалу деталі обрана окрема марка латуні або бронзи, марка сталі з останньою літерою «Л», то це зумовлює вибір відливка у якості заготовки, а якщо матеріалом деталі є кераміка чи пластмаси, то заготовка для неї може бути отримана пресуванням порошкових матеріалів.

В залежності від призначення заготовки та способу отримання до її матеріалу можуть висуватись різні вимоги. Умовно їх можна поділити на дві групи: загальні, що стосуються матеріалів усіх заготовок, і часткові – до матеріалу заготовки заданого способу виготовлення [20].

До загальних вимог відносяться:

– хімічний склад і структура матеріалу мають забезпечити стабільні протягом усього строку оброблення та експлуатації заготовки фізико-механічні та фізико-хімічні властивості;

– матеріал повинен мати задані технологічні властивості залежно від способу виготовлення заготовки (литтям, куванням, різанням, зварюванням);

– виробництво та оброблення матеріалу не мають супроводжуватись виділенням токсичних і шкідливих для життя речовин, погіршувати екологію довкілля;

– для виготовлення матеріалу слід застосовувати дешеві та недефіцитні складники;

– виготовлення та оброблення матеріалу повинно бути економічно доцільним.

Часткові вимоги до матеріалів заготовок визначають, виходячи з умов конкретного способу їх виготовлення. Наприклад, матеріал для лиття повинен мати високу плинність у рідкому стані, незначні усідання та схильність до поглинання газів, ліквіації, прилипання до стінок ливарної форми. Матеріали заготовок, які виготовляють прокатуванням, штампуванням чи куванням, повинні відзначатися високою пластичністю, достатньо широким температурним інтервалом оброблення металу тиском, низькою схильністю до окислення та прилипання поверхні до робочого інструменту.

Дуже часто неможливо дотримуватися всіх вимог при заданих умовах виробництва. В таких випадках намагаються задовольнити хоча б основні з них, яким підпорядковують додаткові вимоги. Це сприяє зростанню кількості матеріалів, із яких можуть бути виготовлені задані заготовки.

У промисловості для виробництва деталей й заготовок для них використовують наступні метали та їх стопи [20, 26]:

– вуглецеві сталі звичайної якості (Ст.0, Ст.1,..., Ст.6);

– сталі конструкційні підвищеної та високої оброблюваності різанням (А12, А20, ..., А40Г);

– вуглецеві якісні конструкційні сталі (08, 15, 20,..., 85, 60Г, 65Г, 70Г);

– вальничні сталі (ШХ15, ШХ15СГ, ШХ4);

– леговані конструкційні сталі (15Г,..., 50Г, 15Х,..., 50Х, 18ХГТ, 35ХГСА, 38Х2НМФ тощо);

– інструментальні вуглецеві сталі (У7,..., У12, У7А,..., У12А);

– сталі теплостійкі (12ХМ, 15Х5М, 25Х1МФ тощо);

– сталі корозійностійкі, жаростійкі та жароміцні (12Х17, 25Х13Н2, 31Х19Н9МВБТ тощо);

– сталі ливарні вуглецеві конструкційні (15Л, 20Л,..., 55Л);

- сталі ливарні леговані та високолеговані (20Г1ФЛ, 40ХЛ, 30ХГСФЛ тощо);
- сталі ливарні холодостійкі та зносостійкі (20ГЛ, 30ГЛ, 30ХЛ, 30ХГ2СТЛ, 110Г13Л, 110Г13ХБРЛ тощо);
- сталі ливарні корозійностійкі (08Х14НДЛ, 14Х18Н4Г4Л, 15Х25ТЛ, 16Х18Н12С4ТЮЛ, 20Х13Л, тощо);
- сталі ливарні жароміцні та жаростійкі (20Х5МЛ, 20Х8ВЛ, 20Х12ВНМФЛ, 35Х18Н24С2Л тощо);
- сталі з особливими тепловими властивостями (інвар Н36, платиніт Н42, елінвар Х8Н36);
- чавуни сірі (СЧ10, СЧ15, ..., СЧ35);
- чавуни високоміцні (ВЧ 35, ВЧ 40, ..., ВЧ100);
- чавуни антифрикційні (АЧС-1, АЧС-2, ..., АЧС-6, АЧВ-1, АЧВ-2, АЧК-1, АЧК-2);
- чавуни модифіковані та леговані (ЧХ1, ЧХ2, ..., ЧХ32, ЧХ22С, ЧС5Ш, ЧС15М4, ЧЮ22Ш, ЧН15Д3Ш тощо);
- бронзи цинові ливарні (БрО5С25, БрО10Ф1, БрО4С4Ц17 тощо);
- бронзи безцинові ливарні (БрА9Ж3Л, БрА9Мц2Л, БрА9Ж4Н4Мц1, БрСу3Н3Ц3С20Ф тощо);
- бронзи цинові для оброблення тиском (БрОФ2-0,25, БрОФ4-0,25, ..., БрОФ8-0,3, БрОЦ4-3 тощо);
- бронзи безцинові для оброблення тиском (БрА5, БрАЖ9-4, БрКМц3-1, тощо);
- латуні ливарні (ЛЦ40С, ЛЦ40Сд, ЛЦ38Мц2С2, ЛЦ16К4 тощо);
- латуні для оброблення тиском (Л60, Л63, ..., Л96, ЛС74-3, ЛА77-2, ЛАЖ60-1-1 тощо);
- алюмінієві стопи ливарні (АЛ2, АЛ4, ..., АЛ34, АК9Ц6 тощо);
- алюмінієві стопи для оброблення тиском (АК4, АК6, АК8, Д16, Д18, АМцС, АМг1, тощо);
- титанові ливарні стопи (ВТ1Л, ВТ5Л, ВТ3-1Л, ВТ20Л тощо);
- титанові стопи для оброблення тиском (ВТ1-00, ВТ1-0, ВТ1-2, ВТ5, ВТ6, ОТ4, АТ3 тощо);
- магнієві ливарні стопи (МЛ3, МЛ4, ..., МЛ19);
- магнієві стопи для оброблення тиском (МА1, МА2, ..., МА21).

У машинобудуванні деталі можуть виготовлятися також із неметалевих матеріалів, до яких можна віднести наступні: деревинний та шаруватий пластик, склотекстоліт, вініпласт, полістирол, скло, целулоїд, ретінакс, фторопласт, пароніт, поліамід, резина, фібра, капрон тощо. Більшість із конструкційних матеріалів характеризується наступними механічними властивостями: межею міцності σ_B , межею плинності σ_T , відносним звуженням зразку ψ , відносним подовженням при розриванні δ , твердістю НВ, НРС, НV та низкою інших показників, таких як, наприклад, ударна в'язкість a_n .

1.5 Точність заготовок

Термін *точність заготовки* визначає її відповідність вимогам креслення і технічним умовам на її виготовлення. Основними характерними рисами точності заготовки є геометричні показники (відхилення форми і розмірів) і фізико-механічні властивості (міцність, твердість, теплопровідність тощо). Вони забезпечуються правильним вибором матеріалу, стабільністю технологічного процесу виготовлення заготовки та точністю вимірювання [18].

Для кожного методу виготовлення заготовок розрізняють досяжну і економічну точність. Точність, яка може бути досягнута при даному типі виробництва висококваліфікованими робочими у найбільш сприятливих умовах зветься *досяжною*. *Економічна точність* досягається при даному технологічному методі при нормальних умовах виробництва. При розробці технологічних процесів технолог повинен керуватися середньоекономічною точністю, котра наведена у довідковій літературі [27].

Економічно досяжна точність заготовок може бути проілюстрована наступними довідковими даними (табл. 1.1)

Таблиця 1.1 – Економічно досяжна точність заготовок

Вид оброблення	Розміри	Квалітет
Штапування: вирубування, витягування	Діаметральні	14, 15
	Довжини, глибини уступів, радіуси.	15, 16
	Відстань між центрами отворів.	--
Гнуття, гаряче штапування	Будь-які	16, 17 і грубіший
Лиття до піщаних форм	--	16, 17
Лиття до кокілю, відцентрове, до оболонкових форм	--	15, 16
Зварювання	--	16, 17 і грубіший

2 ВИРОБНИЦТВО ЗАГОТОВОК ЛИТТЯМ

2.1 Загальна характеристика ливарництва

Ливарне виробництво це одна із основних заготівельних баз у машинобудуванні. За допомогою лиття отримують заготовки практично будь-якої складної конфігурації з мінімальними припусками на оброблення різанням і високими експлуатаційними властивостями масою від кількох грамів до сотень тон. За необхідністю та економічної виправданості необхідні показники досягаються без використання інших технологічних процесів (механічного оброблення, зварювання, термічного оброблення тощо).

У порівнянні з іншими методами отримання заготовок процеси лиття мають низку переваг: отримання заготовок практично необмежених по габаритам та масі; підвищений $K_{в.м.}$ та K_m ; виготовлення заготовок із стопів, що не піддаються пластичному деформуванню, а також які важко піддаються механообробці. При сучасному рівні технологій ливарного виробництва можливо отримання більшості литих деталей машин відповідального призначення та деталей спеціального призначення, наприклад, магнітів.

На теперішній час для отримання литих деталей відомо декілька десятків технологічних процесів та їх варіантів, що мають достатньо широку універсальність чи придатних для виготовлення вузької номенклатури окремих відливків. Із зростанням кількості способів отримання відливків з'являється необхідність у більш детальній їх класифікації за основними загальними ознаками з метою систематизації викладення сутності різних способів.

Можна навести наступну класифікацію за способом виготовлення відливків: за кількістю заливання рідкого розтопу до ливарної форми (одноразові і багаторазові); за конструкцією ливарних форм (рознімні і нерознімні); за матеріалами, з котрих виготовлюють форми (піщано-глинисті, піщані, земляні, графітові, керамічні, металеві, шамотно-цегляні тощо); за тиском, під яким знаходиться рідкий метал у формі (атмосферний, низький, високий, вакуум); за способом подачі розтопленого металу до форми (вільне лиття, вакуумне лиття, лиття за допомогою вібрації, ультразвуку, електромагнітних полів тощо).

На практиці також поширено використовують комбіновані способи, тому часто спосіб виготовлення відливка одночасно належить до різних класифікаційних груп. Окрім цього, способи виготовлення відливків можна поділити на звичайні, під якими найчастіше мається на увазі лиття до піщано-глинястих форм, і спеціальні – це всі інші способи лиття, які використовуються у конкретних (обмежених) випадках. Спеціальними способами можна отримувати більш якісні відливки зі складною формою та підвищеною точністю розмірів, а також зі спеціальних туготопких стопів. Але така класифікація за способами виготовлення відливків є умовною та не має чітких критеріїв.

Коротку характеристику способів виготовлення відливків наведено у табл. 2.1 [20, 28].

Таблиця 2.1 – Характеристика способів виготовлення відливків

Стійкість форм	Спосіб виготовлення		Максимальна маса, кг	Найменша товщина стінки, мм	Ливарні матеріали	Застосування	
Разові	Ручне формування	У ґрунті	300000	5-8	Чавун, сталь, кольорові метали і стопи	Станіни, траверси	
		За шаблоном	100000			Зубчасті колеса, шківви, циліндри	
		В опоках				Блоки циліндрів	
	Машинне формування		2000	3-5		Супорти, бабки	
	Оболонкові форми	Піщано-смоляні	150	1-1,5		Фасонні відливки у масовому виробництві	
		Хімічно-твердні	40000			Подушки прокатних станів, станіни штампувальних молотів	
		З рідкого скла	100			Точні відливки у серійному виробництві	
Лиття за витоппними, розчинними та заморожуваними моделями		150	0,5-1	Сталь легвана, титан	Лопатки турбін, клапани, шестерні, дрібні і середні відливки (важелі, втулки)		
Багаторазові	Гіпсові		100	2-3	Чавун, сталь, кольорові метали і стопи	Великі і середні відливки у серійному виробництві	
	Піщано-цементні		70000				
	Цегляні		200000				
	Шамотно-кварцові		100000				
	Глиняні		50000				
	Графітові та кам'яні		150				
	Металокерамічні		30				
	Металеві форми (кокіль)			7000	15	Чавун	Поршні, корпуси, коробки подачі, полозки
				4000	10	Сталь	
				500	3	Кольорові метали	
	Облицьований кокіль		250	10	Сталь	Колінчасті вали, букси, кришки букс	
	Під тиском		100	0,5	Кольорові метали	Трійники, коліна, кильця електродвигунів	
	Відцентрове лиття		1000	3	Чавун, сталь, кольорові метали і стопи	Вінці, шестерні, бандажі, шківви, крутні труби, гільзи, втулки, біметалічні заготовки, гальмівні колодки	
Штампкування рідких металів		300	0,3	Кольорові метали	Турбінні лопатки, фасонні відливки		

2.2 Вимоги до ливарних стопів

Собівартість відливків може корегуватися не тільки в залежності від хімічного складу матеріалу, але і від його фізичних, механічних, експлуа-

таційних та технологічних властивостей, від яких також залежить і якість литих заготовок. Фізичні і фізико-механічні властивості надають матеріалам необхідну електропровідність, магнітну проникність, жаростійкість тощо. Від експлуатаційних властивостей залежить те, наскільки ливарний стоп має необхідну міцність, пластичність, ударну в'язкість тощо. Можливість отримання якісних тонкостінних відливок, складних за формою, без свищів, тріщин та інших ливарних дефектів визначається технологічними властивостями ливарних стопів (рідкоплинність, зіступ, ліквация, газопоглинання) [1, 17, 20].

Рідкоплинність – це здатність металів і стопів заповнювати порожнини ливарної форми та чітко відтворювати обриси відливка. Вона визначається за спеціальними випробуваннями (ГОСТ 16438-70).

Сутність рідкоплинності дуже складна і залежить від багатьох факторів, які умовно можна поділити на три групи:

– до першої групи відносяться фактори, які пов'язані із будовою та властивостями металів у рідкому стані (в'язкість, теплоємність, теплопровідність тощо). Особливо високу рідкоплинність мають силуміни, чавуни, безцинові бронзи. Ці стопи застосовують для отримання дуже складних та тонкостінних відливок. Середню рідкоплинність мають стопи алюмінію з міддю і магнієм, цинові бронзи, вуглецеві та середньолеговані сталі. Низьку рідкоплинність мають магнієві стопи;

– до другої групи відносяться фактори, що визначаються за умовами заливання, підведення рідкого металу до форми, тобто технологічним процесом лиття;

– до третьої групи відносяться фактори, що визначаються за способом виготовлення відливок. При литті під тиском і відцентровому литті рідкоплинність підвищується за рахунок примусового заповнення форми. Також вона підвищується при литті за витопними моделями, оскільки метал заливається до гарячої форми. Рідкоплинність зменшується при литті до кокілю через інтенсивний теплообмін між металом, що заливається, і більш холодною формою.

Рідкоплинність матеріалу враховують під час конструювання форми відливка, розрахунку його розмірів, товщини стінок, вибору ливникової системи.

Зіступ – це зменшення об'єму матеріалу і лінійних розмірів відливка в процесі його кристалізації та охолодження. Зіступні процеси у відливках відбуваються з моменту заливання металу до форми і до повного охолодження відливка.

Розрізняють об'ємний та лінійний зіступ. Під об'ємним зіступом розуміють різницю між об'ємами рідкого стопу, що заповнив порожнину ливарної форми, та об'ємом відливка після його повного охолодження. Об'ємний зіступ призводить до появи газових порожнин (свищів) у місцях, де є потовщення у відливка. Для їх усунення на заготовках передбачаються ливарні додатки, які після застигання відрізають, або охолоджувачі (металеві вклади) – їх заливають металом.

Лінійним зіступом називають різницю лінійних розмірів порожнини форми та охолодженого відливка. Лінійний зіступ викликає внутрішні напруження та призводить до утворення тріщин. Тому відливки із стопів, що схильні до великого зіступу, не рекомендують виготовляти у металевих формах, які мають низьку піддатливість, через велику вірогідність жолоблення відливків та виникнення внутрішніх напружень і тріщин.

Зіступ, як правило, приводять у відсотках по відношенню до первісного об'єму рідкого стопу або до первісних розмірів порожнини форми (табл. 2.2). Прийнято вважати, що для низки стопів об'ємний зіступ у три рази більший лінійного. Якщо при зіступі немає перешкод до зменшення розміру і об'єму стопу, то такий зіступ зветься вільним.

Таблиця 2.2 – Орієнтовні значення зіступу деяких стопів [17, 18]

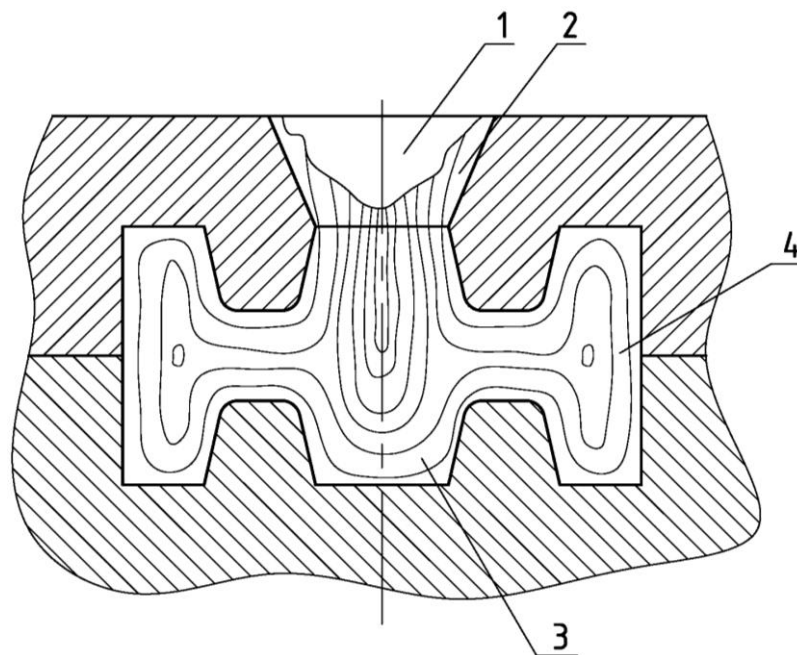
Група стопу	Категорія відливка	Лінійний зіступ, %	
Сталь: вуглецева та низьколегована	дрібний	1,8...2,2	
	середній	1,6...2,1	
	великий	1,4...1,8	
	—	2,5...2,8	
хромонікелева високомарганцева	—	2,8...3,0	
	—	—	
Чавун: сірий	дрібний	1,0...1,3	
	середній	0,75...1,0	
	великий	0,5...0,75	
	білий	—	
	—	1,5...2,3	
	ковкий	—	
	—	0,5...2,0	
високоміцний модифікований та легований високолегований	—	0,5...1,2	
	—	1,0...1,25	
	—	1,25...1,75	
	—	—	
Кольорові стопи: бронзи цинові бронзи безцинові та латуні	—	1,0...1,6	
	дрібний	1,4...1,6	
	середній	1,0...1,4	
	великий	0,8...1,2	
	—	1,2...1,8	
	—	1,6...1,8	
	бронзи алюмінієві латунь кремениста алюмінієві та магнієві стопи	дрібний	0,8...1,2
		середній	0,5...1,0
		великий	0,3...0,8

Примітка. Більші значення зіступу відносяться до простих відливків з вільним зіступом, менші – до складних відливків з утрудненим зіступом

Величина зіступу може змінюватися в залежності від хімічного складу стопу, температури його заливання, швидкості охолодження стопу у формі, конструкції відливка і ливарної форми. Чим більший зіступ, тим жорсткіші вимоги до конструкції литої деталі, особливо це стосується товщини стінок, теплових вузлів, поєднання елементів відливка.

Так, наприклад, сірий чавун має менший зіступ при підвищеному вмісту масової долі вуглецю і кремнію, а також при зменшенні масової долі марганцю і сірки. Магнієві стопи мають менший зіступ при підвищеній концентрації алюмінію і цинку в них. В алюмінієвих стопах зіступ зменшується при збільшенні масової долі кремнію. Наявність магнію і міді, навпаки, збільшує зіступ у цих стопів. Збільшення температури заливання та швидкості відводу теплоти від залитого до форми стопу призводить до зростання зіступу відливка.

Зіступ у відливках проявляється у вигляді зіступних свищів, шпаристості, тріщин та жолоблень. При правильному врахуванні зіступних процесів твердіння відливка повинно відбуватися від низу до верху з утворенням концентрованого зіступного свища (рис. 2.1). В протилежному випадку у тілі відливка утворюється зіступна шпаристість.



1 – зіступний свищ; 2 – ливарний додаток; 3 – відливок; 4 – місце зосередження зіступної шпаристості

Рисунок 2.1 – Схема кристалізації відливка

Відливки зі стопів, що схильні до великого зіступу, не рекомендують виготовляти у кокілях. Оскільки останні мають низьку піддатливість, це може призвести до жолоблення відливків, виникненню внутрішніх напружень і тріщин.

Ліквация – це неоднорідність стопу за хімічним складом у різних частинах відливка. Розрізняють ліквацию зональну та дендритну. Зональна ліквация обумовлює хімічну та інші неоднорідності в об'ємі усього відливка; дендритна – у межах одного зерна (дендриту). Найбільш небезпечною є зональна ліквация, оскільки вона не може бути усунена термічним обробленням. При більшому об'ємі відливка і повільному охолодженні існує велика вірогідність виникнення зональної ліквации. При цьому зовнішні діля-

нки і тонкі стінки відливка, які охолоджуються в першу чергу, містять менше елементів, що сприяють ліквації, аніж масивні частини, які холонуть в останню чергу. Дендритна ліквація проявляється у тому, що вісі дендритних кристалів відрізняються за хімічним складом від міжвісних просторів. Цей вид ліквації може бути в значній мірі усунений при тривалому відпалюванні металу в результаті дифузії домішок. Також розрізняють ліквацію за густиною, неметалічними вкрапленнями та за іншими факторами.

Схильність до ліквації залежить від хімічного складу стопу, швидкості охолодження стопу та розмірів відливка. Наприклад, ліквація зростає при збільшенні концентрації домішок у стопі, які мають велику густину (молібден, вольфрам) або низьку температуру топлення (сірка, фосфор).

Ліквація призводить до неоднорідності механічних властивостей відливка. Для зменшення зональної ліквації обмежують розміри зливок, збільшують швидкість охолодження, а також користуються спеціальними металургійними процесами: безперервне розливання, перетоплення у водоохолоджуваному кристалізаторі (електропечка або вакуумний) тощо.

Газопоглинання – це здатність ливарних стопів у рідкому стані розчиняти кисень, водень та азот, які є шкідливими домішками та зумовлюють появу газових свищів. Значною мірою на появу газових свищів впливає матеріал форми: за вищою газопроникністю форми подібні дефекти у відливках утворюються менше. Розчинність вказаних газів зростає з підвищенням температури заливання розтопу. Також підвищенню розчинності газів сприяє рух металу у формі дрібними струмочками або турбулентними потоками.

Ліпшими ливарними стопами є такі, що мають вищу рідкоплинність, менший зіступ, не ліквують та не поглинають гази.

Вимоги до ливарних стопів можуть змінюватись в залежності від способу отримання відливка. Вимоги до кожного ливарного стопу специфічні, однак існує і низка загальних вимог [28]:

- їх склад повинен забезпечити задані фізико-механічні та фізико-хімічні властивості відливка; в першу чергу механічні властивості оцінюють за межею міцності при розтягненні та відносним подовженням, що визначає пластичність стопу (рис. 2.2), наприклад, вуглецева сталь має велику пластичність і в той же час достатньо високу міцність;

- вони повинні мати хороші ливарні властивості (високу рідкоплинність, невеликий зіступ, низьку схильність до появи тріщин та поглинання газів, герметичність), добре зварюватись;

- повинні легко оброблятися різальним інструментом;

- не повинні бути токсичними та шкідливими для виробництва;

- повинні бути економічними та забезпечувати технологічність при наявних умовах виробництва.

Задовольнити усі перераховані вимоги у більшості випадків практично неможливо, тому для вирішення окремих технічних завдань використовують стопи, властивості котрих відповідають хоча б одній (головній) вимозі, а інші вимоги набувають другорядних значень.

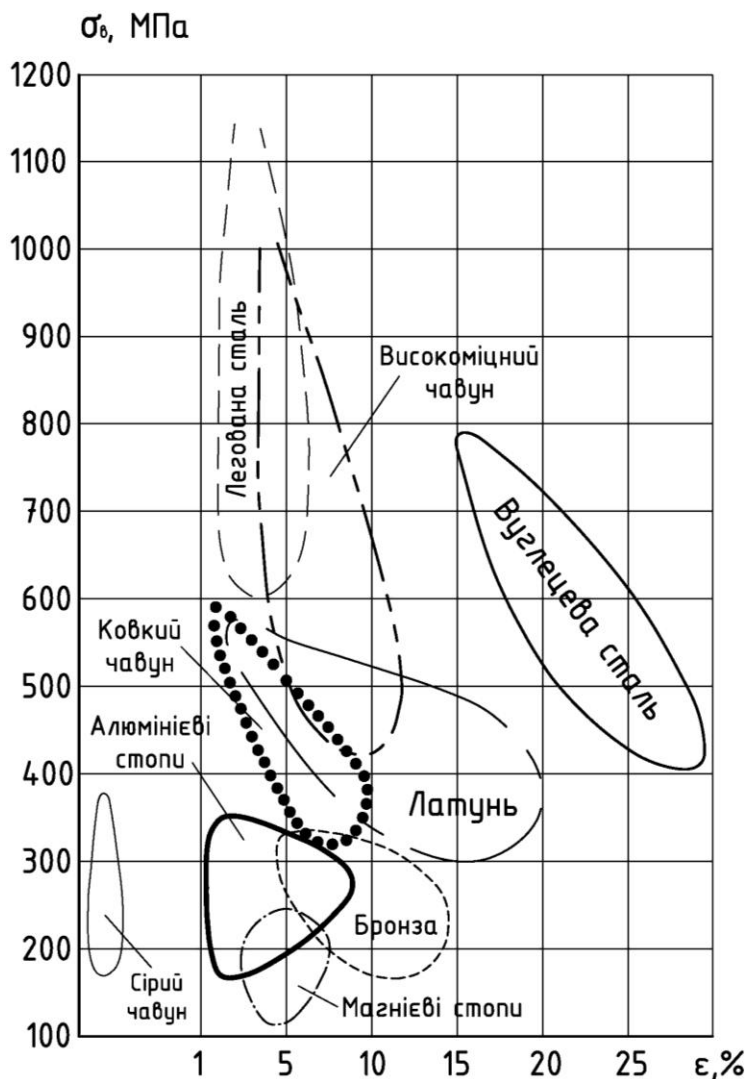


Рисунок 2.2 – Міцність та пластичність різних сплавів

Для виготовлення відливок широко застосовують сплави на основі заліза, алюмінію, міді, магнію, титану, цинку, нікелю тощо. Більш детальна їх класифікація наведена на рис. 2.3, 2.4. Три чверті всіх відливок у машинобудуванні виготовляють із чавуну, який відрізняється низькою вартістю, добрими ливарними властивостями та порівняно високою міцністю. Найдешевшим серед чавунів є сірий чавун [10, 18, 20, 29, 30].

Майже 20% відливок за масою виготовляють зі сталей. Ливарні сталі порівняно з чавунами мають нижчу рідкоплинність і більший зіступ. Близько 5% відливок за масою виготовляють із кольорових металів та їх сплавів.

Механічні властивості литих сплавів здебільшого дещо гірші від деформованих внаслідок більшого розміру кристалів, неоднорідності структури, шпаристості та інших дефектів лиття. Біля поверхні метал має вищу твердість і міцність, ніж всередині. Міцність литого сплаву залежить від температури заливання, товщини стінки, способу виготовлення та характеру охолодження відливка у формі і визначаються структурою та газозіступною шпаристістю, котра майже завжди утворюється у відливках.

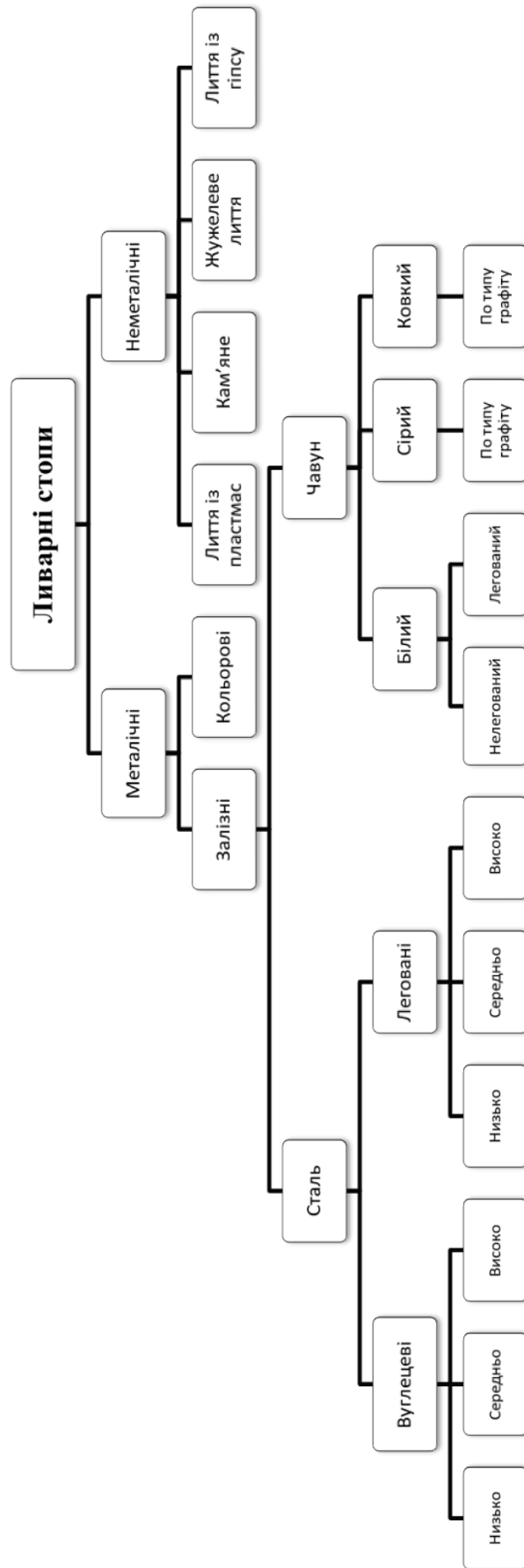


Рисунок 2.3 – Класифікація ливаних стопів

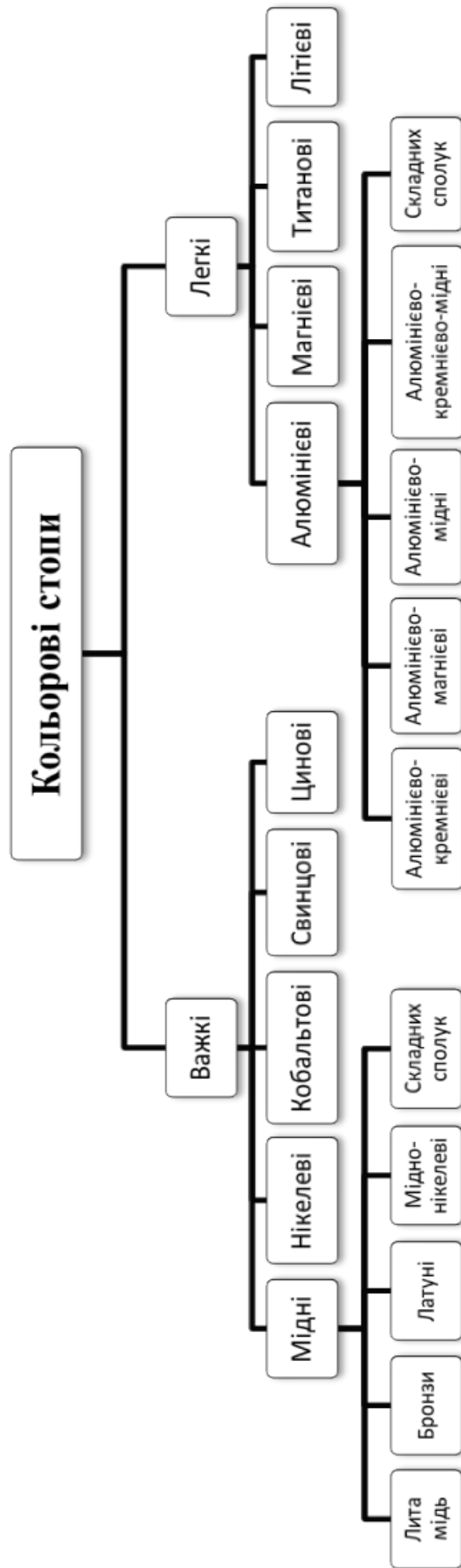


Рисунок 2.4 – Класифікація кольорових стопів

Наприклад, зливки для подальшої прокатки чи оброблення тиском має таку ж газозіступну шпаристість і певну долю неметалевих вкраплень (0,1...0,5 %). Однак в процесі прокатки (оброблення тиском) метал ущільнюється з помітним підвищенням механічних властивостей.

Тому для маркування ливарних стопів обов'язково ставиться літера «Л» наприкінці, яка вказує на те, що стоп ливарний, тобто йому властиві позначені вище недоліки. Однак сучасне ливарництво володіє технологіями виготовлення практично щільних відливків, а також технологіями проочення відливків та їх газостатування [30].

2.3 Лиття до одноразових та напівсталих форм

2.3.1 Лиття до піщано-глинястих форм

У загальному обсязі виробництва литих заготовок значну долю займає лиття до піщано-глинястих форм (до 80 % по масі). Це зумовлюється його технологічною універсальністю. Цим способом можливо отримати відливки самої складної конфігурації і масою від декількох грамів до сотень тон. Тому він використовується як в одиничному, так і у серійному й навіть у масовому виробництві [1, 18, 20].

Найчастіше литтям до піщано-глинястих форм отримують відливки із сталі та чавуну, рідко – із кольорових металів. Шорсткість поверхні при цьому у загальному випадку складає 320...40 мкм за шкалою Rz та з точністю, яка відповідає 14-17 квалітетам і грубіше. Однак якщо форма виготовлена із звичайної піщано-глинястої суміші, то шорсткість поверхні відливка перевищує 320...160 мкм за шкалою Rz, якщо використовується піщано-масляна суміш – 320...80 мкм за шкалою Rz, при використанні хромомагnezитових сумішей шорсткість поверхні може досягати 80...20 мкм за шкалою Rz. Таким чином, лиття до піщано-глинястих форм потребує найбільших витрат металу, і вартість механічного оброблення таких відливків буде більшою, ніж при іншому способі отримання литих заготовок. Хоча вартість виготовлення відливків при цьому мінімальна.

Проектування технологічного процесу починають з вибору способу виготовлення форм, котрий залежить від маси деталі, її розмірів і типу виробництва. Існує декілька різновидностей способів виготовлення ливарних форм [10, 31]:

- формування в опоках;
- безопокове формування;
- формування у ґрунті або в кесонах;
- складання форми у жакетах із заздалегідь приготованих стрижнів;
- використання обличкованих формувальною сумішшю металевих форм;
- технологія виготовлення форм за шаблоном (не має широкого використання).

Найбільш розповсюджений спосіб формування в опоках. Ливарна разова піщано-глиняста форма (рис. 2.5) здебільшого складається з двох напівформ: верхньої 1 і нижньої 2, котрі виготовляються в опоках 7 та 8, які слугують для утримання формувальної суміші. Напівформи орієнтують за допомогою штирів 10, котрі встановлюють у отвори ручок опок 11. Для утворення порожнин отворів або інших складних контурів в форми встановлюють стрижні 3, які фіксують за допомоги виступів, що входять у відповідні западини форми (знаки).

Ливарну форму заливають розтопленим металом через ливникову систему. Із розливного ковша метал спочатку потрапляє до ливникової чаші 5, де створюються умови для часткового відділення жужелю. Далі через стояк 6 метал потрапляє до живильника 13 (одного чи декількох) звідки підводиться до робочої порожнини форми. Жужіль та інші неметалеві домішки затримуються у жужелеуловлювачі 12. Для відведення газів, контролю заповнення форми розтопленим металом та живлення відливка при зіступі у процесі його кристалізації слугують випор 4 з додатком. Для відведення газів призначені також і вентиляційні канали 9.

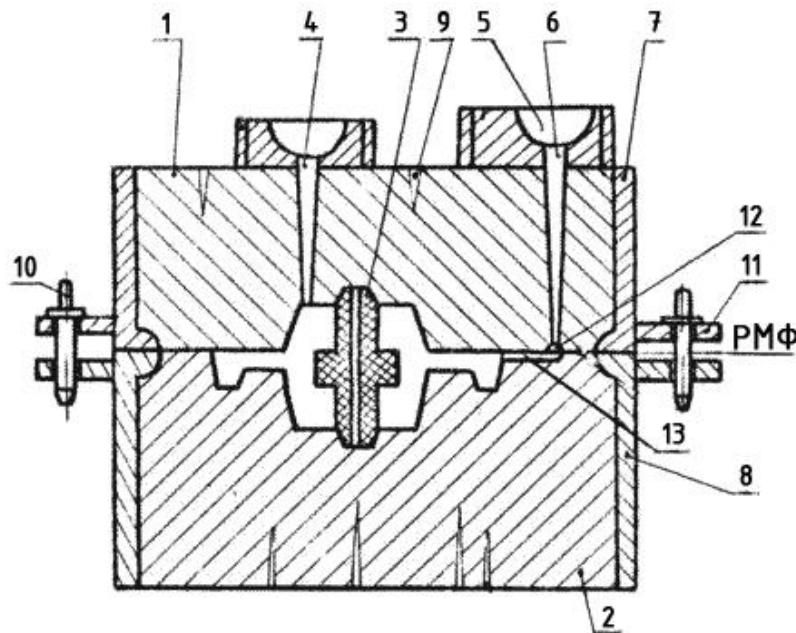


Рисунок 2.5 – Ливарна форма у зібраному стані

За видом ущільнення формувальної суміші розрізняють ручне формування, машинне формування та виготовлення форм і стрижнів із суміші, що не потребує ущільнення. Формування в опоках з ручним ущільненням найчастіше використовується при виготовленні одиничних виробів та здійснюється за допомоги пневматичних трамбувань.

При ручному способі виготовлення ливарної форми формування по рознімній моделі у двох опоках починається з виготовлення нижньої напівформи та виконується у наступній послідовності (рис. 2.6): нижню половину моделі кладуть площиною рознімання униз на підмодельну дошку, при-

пилують модельною пудрою та накривають нижньою опокою (рис. 2.6, а); через сито просіюють облицювальну суміш, покриваючи модель шаром товщиною 15-20 мм, а решту частини опоки засипають з верхом наповнювальною формувальною сумішшю; ущільнюють суміш ручним трамбуванням; лінійкою зрізують надлишок формувальної суміші урівень з опокою; голкою наколюють вентиляційні канали (рис. 2.6, б); наповнену опоку перевертають на 180°; на нижню напівмодель встановлюють верхню напівмодель і припилюють її; площину рознімання форми посипають розділювальним сухим піском; на нижню опоку по штирям накладають верхню опоку; встановлюють моделі жухелеуловлювача, стояку та випору (рис. 2.6, в); просіюють облицювальну суміш, ущільнюючи її руками навколо моделей ливникової системи; засипають верхню опоку з верхом наповнювальною сумішшю; ущільнюють формувальну суміш трамбуванням і лінійкою зрізують надлишок формувальної суміші урівень з верхньою опокою; голкою наколюють вентиляційні канали у верхній напівформі і гладилкою вирізають біля стояку ливникову чашу (рис. 2.6, г); видаляють із форми моделі стояку та випору (рис. 2.6, д); знімають верхню опоку і перевертають на 180° (рис. 2.6, е); щіткою змочують формувальну суміш навколо напівмоделей; підйомником напівмоделі обережно видаляють із форм; у нижній напівформі прорізують живильники; форму обробляють, поправляють і вигладжують інструментом; встановлюють до нижньої напівформи готові стрижні по позначкам; накривають верхньою напівформою (рис. 2.6, ж) і навантажують.

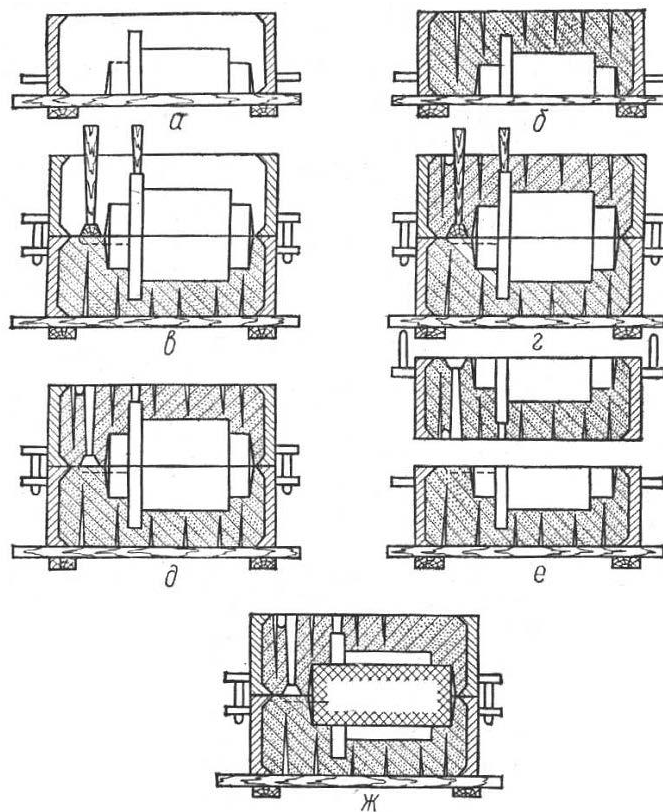


Рисунок 2.6 – Формування у двох опоках по рознімній моделі

Механізоване та автоматизоване машинне формування опок сумішшю, її ущільнення, виймання моделей з форми, складання, фарбування, сушіння та транспортування форм використовується в серійному та масовому виробництвах. Застосування роботизованих та автоматизованих ліній з програмним керуванням виробничим процесом забезпечує високу якість заготовок, поліпшені умови праці та високу продуктивність обладнання.

Виготовлення форм із суміші, що не потребує ущільнення або потребує мінімального діяння на суміш (наприклад, нетривалого вібрування), можливо при використанні нових технологічних процесів формоутворення – вакуумно-плівкового формування, рідкої самотвердної суміші, заморожених форм.

У серійному та масовому виробництві для відливків масою до 10-15 кг застосовують безопочне формування. Ручне ущільнення при цьому практично не застосовується. В останній час частіше застосовуються машини горизонтального безопочного формування (наприклад, фірми HWS-Sinto, Німеччина), де процеси ущільнення повністю автоматизовані та є частиною повного техпроцесу виготовлення форми [32].

Формувальні ухили назначаються за ГОСТ 3212-92 на поверхні, що перпендикулярні площині рознімання. Вони назначаються поверх припуску на механічне оброблення та назначені для полегшення виймання моделі із форми, стрижня із стрижневого ящику і відливка із металевої форми. Величина ухилу залежить від висоти формотворної поверхні та від матеріалу моделі, що використовується для виготовлення ливарної форми.

Для виготовлення моделей використовують деревину, пластмаси та метал. Найбільш поширеним матеріалом для виготовлення модельних комплектів є деревина [31, 33]. Вона відрізняється малою щільністю, хорошою оброблюваністю різальним інструментом, невеликою вартістю і, як правило, використовується в одиничному чи дрібносерійному виробництві. При виготовленні модельних комплектів застосовуються хвойні і листяні породи деревини. Найбільш поширені з них сосна, ялина, модрина, ялиця, кедр, вільха, липа, бук, граб, клен, береза тощо. Використовується також березова, вільхова та букова фанера у вигляді листів товщиною 3-18 мм. Назначається для виготовлення площинних тонкостінних моделей, модельних плит, рамок, модельних щитків та інших частин модельного комплексу.

Перед використанням деревина проходить ретельний відбір та піддається спеціальному термічному обробленню (сушінню) з метою набуття заданих фізико-механічних властивостей [33]. Окрім цього модельний комплект повинен відповідати вимогам до зносу в процесі експлуатації.

Модельні комплекти, що виготовлені на основі пластичних мас, використовують у дрібносерійному і серійному виробництвах. Вони мають підвищену точність, високу корозійну стійкість, липкість до них формувальної суміші незначна. Моделі із пластмас легко піддаються обробленню різальним інструментом і шкуркою, тому їх вартість знижується приблизно в два рази в порівнянні з металевими моделями.

Металеве модельне оснащення використовується тільки в умовах багатосерійного і масового виробництва. Лише в цьому випадку витрати на виготовлення повністю окупаються, при цьому різко підвищується геометрична точність відливок і точність їх розмірів.

Матеріалом для виготовлення моделей и стрижневих ящиків слугують алюмінієві стопи АК5М2, АК5М7, АК7М2 та ін. (ГОСТ 1583-93), сірий чавун СЧ15, СЧ20 (ГОСТ 1412-85), ливарні латунь і бронза, сталь марок 15Л–45Л (ГОСТ 977-88). При проектуванні металевих моделей враховується подвійний зіступ: стопу з якого буде виконана модель і стопу, з якого буде виготовлятися відливок.

До основних формувальних матеріалів відносяться формувальні піски, зв'язувальні та спеціальні добавки.

Розрізняють такі формувальні суміші: наповнювальні, облицювальні та універсальні. Основні вимоги, яким вони мають відповідати: вогнетривкість, пластичність, міцність, газопроникність, податливість, залишкова міцність, гігроскопічність, довговічність, дешевизна та недефіцитність. Для приготування формувальних сумішей у якості наповнювачів використовують глину та кварцовий пісок, протипригарними елементами слугують кам'яновугільний пил, тальк і графіт; маршаліт, магнезит і цирконій використовуються у якості барвників.

У стрижневих сумішах замість глини застосовують оксоль, рідке скло, смоли, декстрин, патоку з додаванням дерев'яного трачіння та торфу, які, вигоряючи, підвищують шпаристість і податливість сумішей. Стрижневі форми складають із сухих стрижнів у спеціальних металевих опоках. У масовому виробництві використовують оболонкові стрижні, які виготовляють бункерним, піскодувним або відцентровим способом у нагрітій металевій формі. Часто великі стрижні роблять порожнистими, що дає змогу економити матеріали для виготовлення сумішей [31].

2.3.2 Лиття до вакуумно-плівкових форм

Процес лиття за способом вакуумно-плівкової формовки, або V-процес, був розроблений у Японії у 1972 році. У цьому способі міцність форми забезпечується атмосферним тиском, котрий всебічно стискає пісок за рахунок різниці тисків атмосфери та розрідження у формі. Розрідження у формі підтримується як під час виготовлення ливарної форми, так і у процесі заливання і охолодження відливоків до температури вибивання.

Суть способу полягає в тому, що на газопроникний модельний комплект накладають попередньо нагріту полімерну плівку й за допомогою вакуумного пристрою створюють вакуум між плівкою та модельним комплектом. Завдяки цьому плівка щільно прилягає до поверхні моделі. На такий модельний комплект накладають опоку, засипають сухим піском, трамбують, покривають плівкою та створюють вакуум всередині опоки.

На рис. 2.7. показані основні технологічні операції з виготовлення ливарної форми.

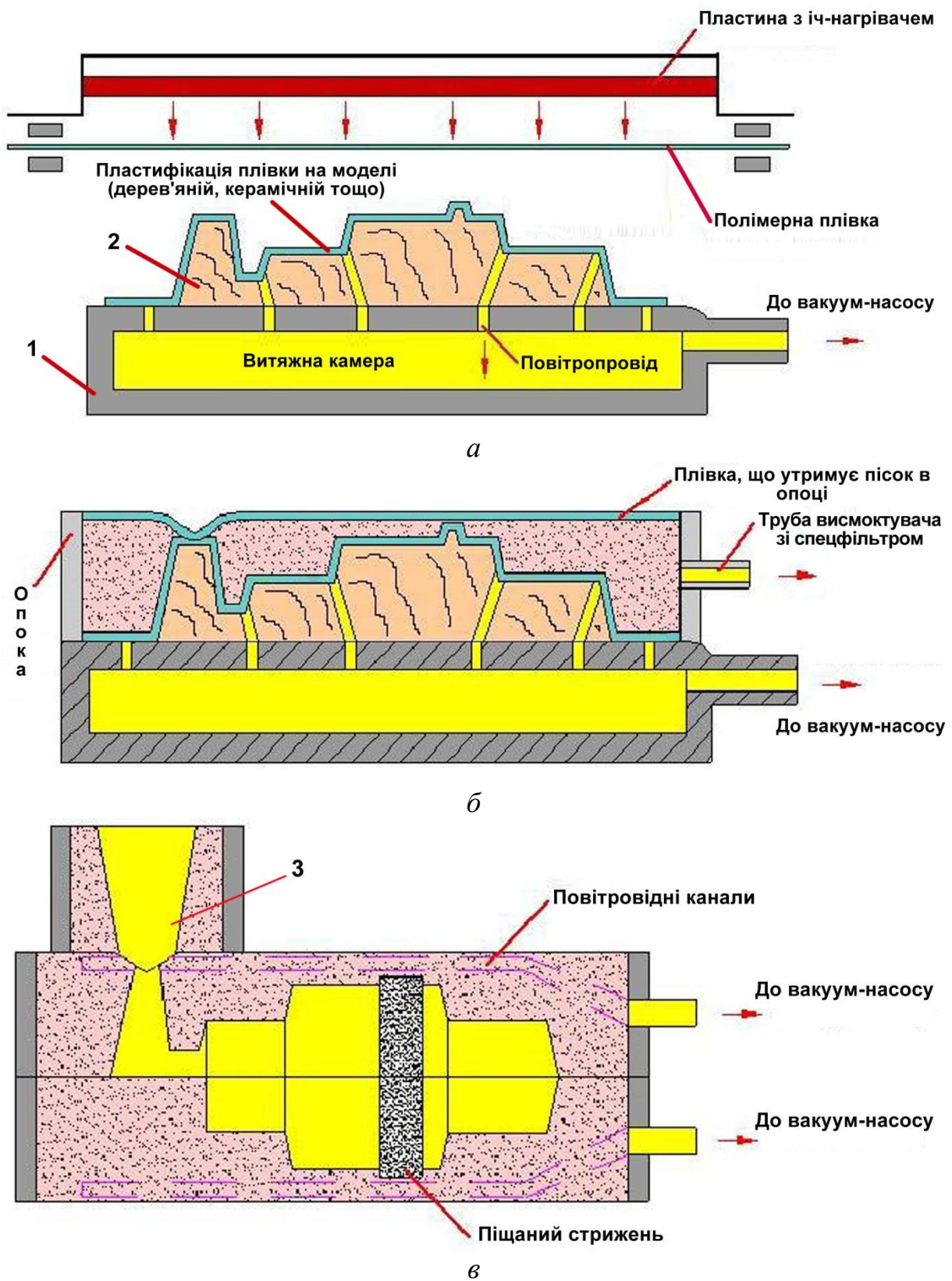


Рисунок 2.7 – Основні технологічні операції виготовлення ливарної форми вакуумно-плівковим методом

В модельній плиті 1 і моделі 2 (дерев'яній, керамічній, металевій тощо) просвердлюють отвори діаметром 0,5-1,0 мм, котрі сполучаються з витяжною камерою (рис. 2.7, а). Модельна плита з моделлю накривається попередньо нагрітою до розм'якшеного пластичного стану плівкою з полімерного матеріалу. Важливо, щоб плівка не мала брижів. Потім під моделлю у витяжній камері створюється вакуум приблизно 40-50 кПа. Це призводить до того, що під дією прикладеної сили вакуумного насосу полімерна плівка притискається до форми і оформлюється у готовий виріб. Далі встановлюється опока, яка обладнана трубою для висмоктування повітря зі спеціальним фільтром.

Внутрішню порожнину опоки заповнюють спеціальним сухим формувальним піском, який не має в'язучих речовин та інших додаткових домішок (рис. 2.7, б). На вібростолі досягається ущільнення наповнювача опоки, видаляються надлишки матеріалу, а зверху опока накривається полімерною плівкою, яка необхідна для ущільнення наповнювача. При цьому плівка не піддається операції нагрівання та може бути будь-якої якості. Після цього відкривається клапан труби для висмоктування повітря, що призводить до виникнення вакууму у формувальному піску. Під дією вакууму утворюється форма для лиття, яка має достатньо високу твердість (до 90 од.). Потім на плівці, що утримує пісок в опоці, паяльником вирізається частина плівки у місцях стояку, випорів та відкритих додатків. При цьому плівка, що оформлює модельний комплект, у місці розрізу зливаються з плівкою, що утримує пісок в опоці. У результаті об'єм піщаного наповнювача остається ізольованим від атмосфери.

Далі витяжну камеру модельної плити 1 відключають від вакуум-насосу і знімають напівформу з модельної плити. Нижню напівформу виготовляють аналогічним способом. Потім здійснюється складання ливарної форми: встановлюються стрижні, нижня і верхня опоки поєднуються, встановлюється ливникова чаша 3 (рис. 2.7, в). Розтоплений метал до форми подається звичайним порядком, а сам процес заливання нічим не відрізняється від процесу заливання піщано-глинястих форм.

Складові частини ливарної форми перебувають під дією вакууму у процесі складання форми, заливання її металом і охолодження відливка. При заливанні відбувається термодеструкція плівки, але цілісність форми зберігається. Залишковий тиск, при котрому форма не руйнується, складає 13,3 кПа, при більшому розрядженні рідкий метал починає проникати до пор форми. Після охолодження відливка відключають вакуумний пристрій, внаслідок чого знімається вакуум і пісок вільно висипається з форми. Відливок легко відокремлюють від форми, а пісок транспортується для повторного використання після відповідного його очищення від порошу та бруду.

До переваг V-формування можна віднести:

- можливість отримувати відливки масою 0,2...2,0 т з більш гладкою і чистою поверхнею ніж при литті до піщано-глинястих форм, розміри з точністю відповідають заданим, виріб має чіткі краї і контури;
- високий коефіцієнт використання металу;

- простота обладнання, що використовується, низькі капіталовкладення, економія енергоресурсів;
- довговічність експлуатації ливарної форми і опоки;
- при вибиванні із опок відливки не зазнають великого механічного впливу, який характерний для інших способів лиття.

Недоліками способу

- через складний процес виготовлення форми важко підвищити продуктивність виробів малої форми;
- труднощі з механізацією і автоматизацією виробництва унаслідок використання вакууму протягом усього технологічного процесу;
- заготовки із полімерних матеріалів накладають обмеження по тягучості і пластичності матеріалу, що обмежує сферу використання даної технології.

Слід зазначити, що вакуумно-плівкова формовка має високу ступінь екологічності, оскільки відсутність зв'язувальних матеріалів і різних домішок, які вводять у формувальні суміші для поліпшення їх податливості, газопроникності непригорання тощо, окрім зменшення витрат, дає змогу значно знизити забруднення довкілля.

2.3.3 Лиття до напівсталих форм

Напівсталі форми залежно від матеріалу та рідкого стопу витримують від кількох десятків до кількох сотень заливань. Наприклад, графітові форми, які використовують для виготовлення заготовок з жароміцних чавунів, сталей, молібденових, вольфрамових, вольфрамокобальтових та інших стопів з високою температурою топлення, витримують до 300 заливань. Графітові форми виготовляють з брикетованого графіту за допомогою оброблення різанням. Шамотні, гіпсові та металокерамічні форми витримують до 50...100 заливань. Металокерамічні форми залежно від вмісту металевих порошків дають змогу керувати швидкістю охолодження відливки та напрямком твердіння його стінок [20].

Керамічні форми виготовляють з рідкої хімічнотвердої суміші, яку додатково обпалюють. Застосовують керамічні форми з пластичних і сипких сумішей, що виготовляються пресуванням. У керамічних формах утворюються відливки масою від 0,2 до 10000 кг із різних матеріалів, з точністю розмірів виливків до 11 квалітету точності та якістю поверхонь до 5 мкм за шкалою Ra. Це дає змогу отримувати фасонні відливки для ковальсько-пресового та різального інструменту, лопаток турбін, роторів, арматури високого тиску з легованих сталей тощо. Відливки з деяких стопів нікелю та титану отримують, тільки внаслідок лиття у керамічні форми.

Для виготовлення графітових форм застосовують природний або штучний графіт, пірографіт, інші вуглецеві матеріали. Ці форми практично незамінні для виготовлення відливків з хімічно активних тугоплавких сто-

пів на основі титану, урану, ніобію, вольфраму тощо. У таких формах отримують заготовки для деталей газотурбін, хімічного машинобудування, штампового інструменту, а також відповідальних деталей з легованих і конструкційних сталей та кольорових металів. У виробництві застосовують як чисто графітові форми, так і форми, покриті вуглецевими композиціями, оболонкові вуглецеві та форми, виготовлені з вуглецевих сумішей за витопними моделями. Недоліками графітових і керамічних форм є дефіцитність і висока вартість матеріалу, необхідність їх обпалювання тощо.

Для кольорових стопів та чавуну використовують гіпсові суміші. Суміш гіпсу та води швидко перемішують до тих пір, доки вона не набере консистенцію сметани. Потім її негайно формують впродовж 20-30 хвилин. Висушують форму при температурі не більшою за 450°C протягом 12-20 годин.

В іншому варіанті гіпс, каолін, хроміт мають бути змішані у сухому стані, сірчаноокислий натр сполучають окремо з водою. Потім перемішують усе разом, форму висушують протягом 12-20 годин при температурі не більшою за 450°C. Існують також варіанти виготовлення форм на основі гіпсу з використанням армування, додавання азбестового борошна, сірчаного натру та інших матеріалів для надання формам необхідних властивостей [34].

Останнім часом усе частіше застосовують одноразові форми, що тверднуть у спорядженні (на моделі, у формі). Загальним для них є використання синтетичних зв'язувальних матеріалів, які за відповідних умов безповоротно тверднуть. Відливки, отримані в цих формах, відзначаються високою точністю розмірів, якістю поверхонь, малими припусками на оброблення різанням та незначними ливарними ухилами. Технологічні процеси легко механізуються та автоматизуються.

Недоліками цього способу виготовлення відлиwkів є висока вартість, дефіцитність і токсичність зв'язувальних матеріалів.

2.3.4 Лиття по газифікованим моделям

Спосіб був запропонований та запатентований у США у 1958 році, а вже на початку 60-х років його використовували у різних країнах світу і об'єм виробництва складав 15000 тон. Зараз об'єм випуску відлиwkів цим способом по всьому світу оцінюється у сотні тисяч тон.

Лиття по газифікованим моделям використовують для виготовлення відлиwkів з будь-яких ливарних стопів масою 0,1-2000 кг і більше. В останні роки з'явилася тенденція використання даного способу у серійному і масовому виробництві відлиwkів з габаритними розмірами 40-1000 мм, зокрема у двигунобудуванні для лиття блоків циліндрів та головок блоків циліндрів та інших деталей.

Суть способу полягає у використанні пінополістиролових моделей (рис. 2.8), які виготовлені у прес-формах під тиском і температурі 80-220°C

в залежності від способу виготовлення. Разові моделі виготовляють або засипанням у спеціальні металеві прес-форми (масове та багатосерійне виробництво) суспензійного полістиролу у вигляді підспінених гранул, або механічним обробленням нормалізованих пінополістиролових плит (дрібносерійне та одиничне виробництво). Складні моделі виготовляють окремими частинами, котрі потім разом із ливниковою системою з'єднують у єдиний блок склеюванням або зварюванням. Зібрану модель покривають шаром вогнетривкої фарби і висушують на повітрі. У підсумку утворюється газопроникна оболонка, яка міцно зв'язана із пінополістироловою моделлю (рис. 2.8, а) [35].

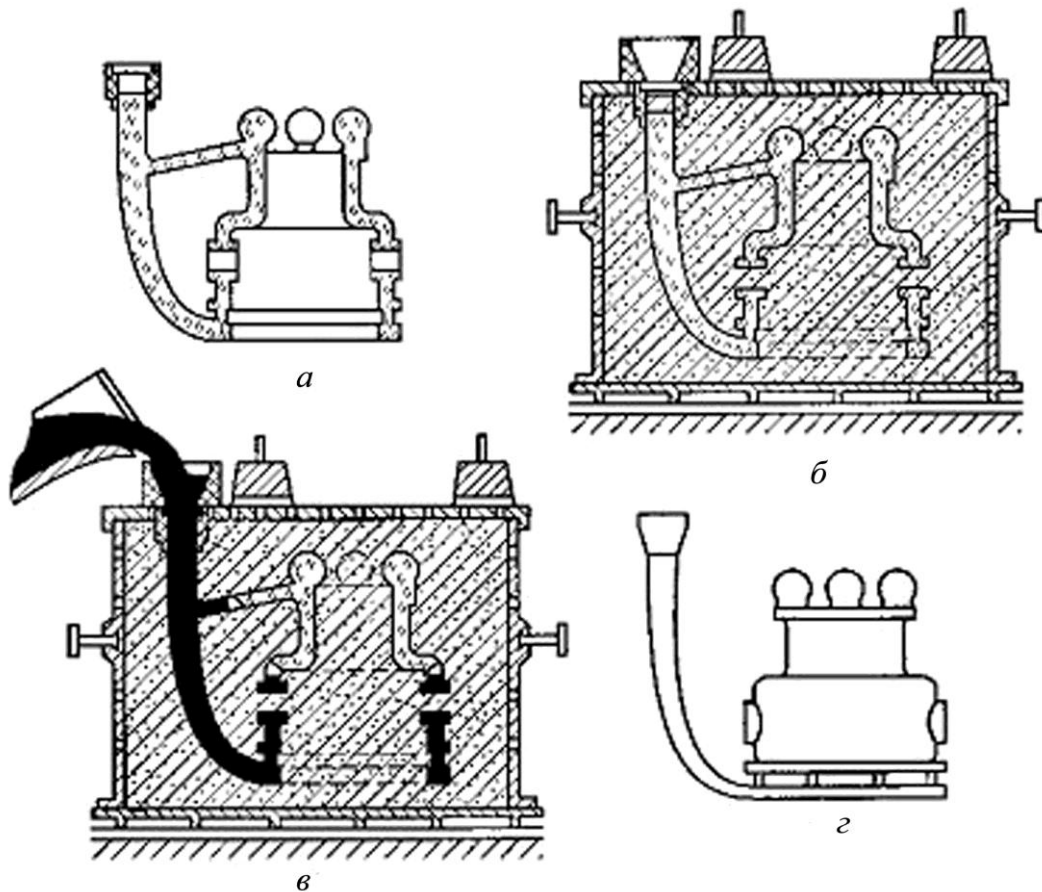


Рисунок 2.8 – Виготовлення відливка по газифікованим моделям

Готову модель встановлюють у спеціальну опоку-контейнер, засипають зернистим вогнетривким наповнювачем без того, що зв'язує, ущільнюють його вібрацією, закривають металевою кришкою з отворами, навантажують і встановлюють ливникову чашу (рис. 2.8, б).

В іншому випадку при виготовленні більш складних відливків, контейнер, після подачі опорного матеріалу, закривають зверху поліетиленовою плівкою, як при вакуумному формуванні. Щоб зменшити імовірність руйнування форми в ній створюють розрідження до 0,04...0,05 МПа.

При виготовленні великих масивних відливків використовують звичайні холоднотверді рідкорухливі або сипучі формувальні суміші.

Приготовану форму заливають рідким металом (рис. 2.8, в). Завдяки відносно низькій температурі газифікації пінополістиролу (~560 °С), модель газифікується під дією теплоти металу, що заливається, і поступово звільняє порожнину форми.

Після твердіння й охолодження відливка, опоку-контейнер перевертають, наповнювач висипається, відділяючись від відливка, і він (рис. 2.8, г) надходить на фінішні операції. У разі використання звичайних формувальних сумішей форму вибивають на вибивних решітках.

Головна особливість способу (застосування нероз'ємної форми) визначає його основну перевагу для якості відливок – підвищення їх точності за рахунок скорочення частин форми, стрижнів і, отже, можливих спотворень конфігурації розмірів відливок, пов'язаних з виготовленням та складанням цих елементів форми. Точність відливок при литті по газифікованим моделям до піщаних форм без зв'язувального і з ним характеризується ГОСТ 26645-85 ідентично точності відливок, що одержуються литтям до кокілю або облицьованого кокілю зі стрижнями. Відливки з розмірами до 500 мм можуть мати точність від 7 до 12 класу. Шорсткість поверхні $R_z = 25...10$ мкм.

Крім того, спосіб дозволяє істотно знизити витрати і скоротити норми часу, особливо в дрібносерійному та одиничному виробництві середніх і крупних відливок.

Найбільше розповсюдження даний спосіб знайшов при виготовленні середніх і великих масивних відливок в умовах дослідного і дрібносерійного виробництва, а також при виготовленні складних відливок масою до 50 кг з підвищеною точністю розмірів в умовах серійного та багатосерійного виробництва чорних і кольорових сталей. До таких відливок можна віднести, наприклад, відливок блоку циліндрів для автомобільного двигуна.

Пінополістирольні моделі значно дешевші за дерев'яні, що особливо важливо в одиничному виробництві. Час, що витрачається на їх виготовлення, у 2-3 рази менше, при цьому не витрачається деревина високої якості [36, 37].

До недоліків лиття по газифікованим моделями можна віднести безповоротні втрати матеріалу разової моделі та виділення токсичних продуктів її термодеструкції, що вимагає проведення відповідних захисних заходів. У варіанті процесу з вакуумуванням форми під час її заливання продукти термодеструкції моделі можуть надходити безпосередньо з форми до установки для каталітичного їх допалювання до діоксиду вуглецю та парів води.

2.4 Спеціальні способи лиття

При виробництві литих заготовок спеціальні способи лиття займають значне місце, хоча ними отримують тільки 25...30 % від загального обсягу виробництва відливок (у тонах). Але це далеко не точно характеризує зна-

чення обсягу виробництва спеціальними способами лиття. Цими способами виготовляють дрібні відливки з чорних стопів і переважну більшість, як правило, більш легких відливоків з кольорових стопів. Крім того, спеціальні способи лиття сприяють різкому зниженню трудовитрат і металоємності відливоків, досягненню високих фізико-механічних характеристик та експлуатаційних властивостей литих деталей.

До спеціальних способів лиття слід віднести: лиття до металевих форм (кокілів), лиття під тиском, лиття по моделям, що витоплюються, розчиняються, випалюються та заморожуються, лиття до оболонкових форм, відцентрове лиття, електрожужільне лиття, лиття штампуванням рідкого металу, лиття видавлюванням тощо.

У спеціальній літературі надається класифікація усіх спеціальних способів лиття за певними ознаками. Відповідно до цієї класифікації спеціальні способи лиття поділяють на групи, кожна з яких має найбільш характерні загальні ознаки декількох способів лиття. Необхідність такої класифікації викликана вимогами автоматизованого проектування технологічних процесів [38–40].

2.4.1 Лиття до металевих форм

Лиття до металевих форм (кокілів) передбачає багаторазове їх заливання розтопленим матеріалом під дією гравітаційних сил. Цим способом отримують більш 40 % усіх відливоків із алюмінієвих та магнієвих стопів, відливки із чавуну і сталі.

Формування відливка відбувається при інтенсивному відведенні теплоти від розтопленого металу, від відливка, що охолоджується та твердіє, до масивного металевого кокілю. Це забезпечує більш високу щільність металу та механічні властивості, ніж у відливоків, отриманих у піщаних формах.

У ливарництві використовують кокілі різних конструкцій. Багатоманітність виконання кокілів перш за все визначається складністю відливка. Основний різновид кокілів наведено у табл. 2.3 [38, 40].

Таблиця 2.3 – Класифікація кокілів за ознаками

Характерні ознаки	Різновид кокілів
Відношення глибини робочого гнізда до середнього габаритного розміру по поверхні рознімання	Пласкі, циліндричні
Розташування у просторі поверхні розніму	Нерознімні, з горизонтальною площиною розніму, з вертикальною площиною розніму, з комбінованою площиною розніму.

Продовження таблиці 2.3

Конструктивне виконання робочої стінки	Суцільні, складені із неуніфікованих і уніфікованих елементів (паралелепіпедів, голок, тощо)
Спосіб охолодження	З повітряним охолодженням (природнім та примусовим), з рідинним охолодженням (водяним, мастильним тощо), з комбінованим охолодженням (водноповітряним, поперемінним водяним і повітряним тощо)
Спосіб підведення охолоджувального середовища до робочої стінки	Одношарові, двошарові
Матеріал робочої стінки	Чавун, сталь, алюмінієві, мідні та спеціальні стопи, композитні матеріали
Довговічність теплозахисного матеріалу	З теплозахисним покриттям, що наноситься періодично, з постійним теплозахисним покриттям (чавунні та сталеві з плазмовим напилюванням, алюмінієві з анодованою поверхнею)

Зазвичай кокілі складаються з двох частин (напівформ), але в залежності від конфігурації та розмірів відливка можуть мати декілька складових частин. На рис. 2.9 показано загальний вид кокілів з вертикальною площиною розніму.

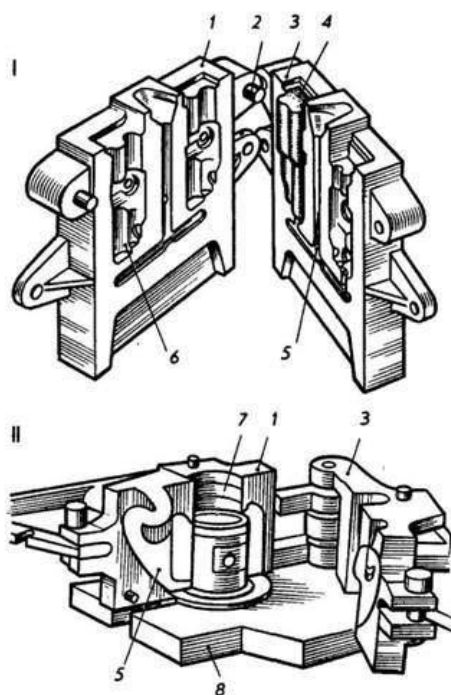


Рисунок 2.9 – Загальний вид кокілів з вертикальною площиною розніму

Напівформи 1, 3 взаємно центруються штирями 2, та перед заливанням їх з'єднують спеціальними замками. У порожнину 6, що відповідає конфігурації відливка, встановлюють піщані стрижні 4, які видаляються після кристалізації і охолодження заготовки до заданої температури. Рідкий метал заливають до кокілю через ливникову систему 5, яка виконана у його стінках, а живлення масивних вузлів відливка здійснюється з додатку 7. В процесі заповнення кокілю розтопом повітря та газу видаляються з його робочої порожнини через спеціально передбачені вентиляційні канали.

Розглянуті на рис. 2.9 кокілі мають просту конструкцію, однак на практиці дуже часто використовують кокілі більш складних конфігурацій. В цьому випадку форма має декілька рознімних частин, котра з яких утворює лише частину відливка, а площа розніму форм визначається конструкцією відливка.

Технологія лиття до кокілю має ряд специфічних особливостей (рис. 2.10). В цілях отримання якісного відливка і підвищення терміну служби кокілю останній у процесі роботи підтримують в нагрітому стані і покривають вогнетривким личкуванням і фарбою. Робоча температура форми залежить від стопу, що заливається, і зазвичай знаходиться в межах 100-300°C.

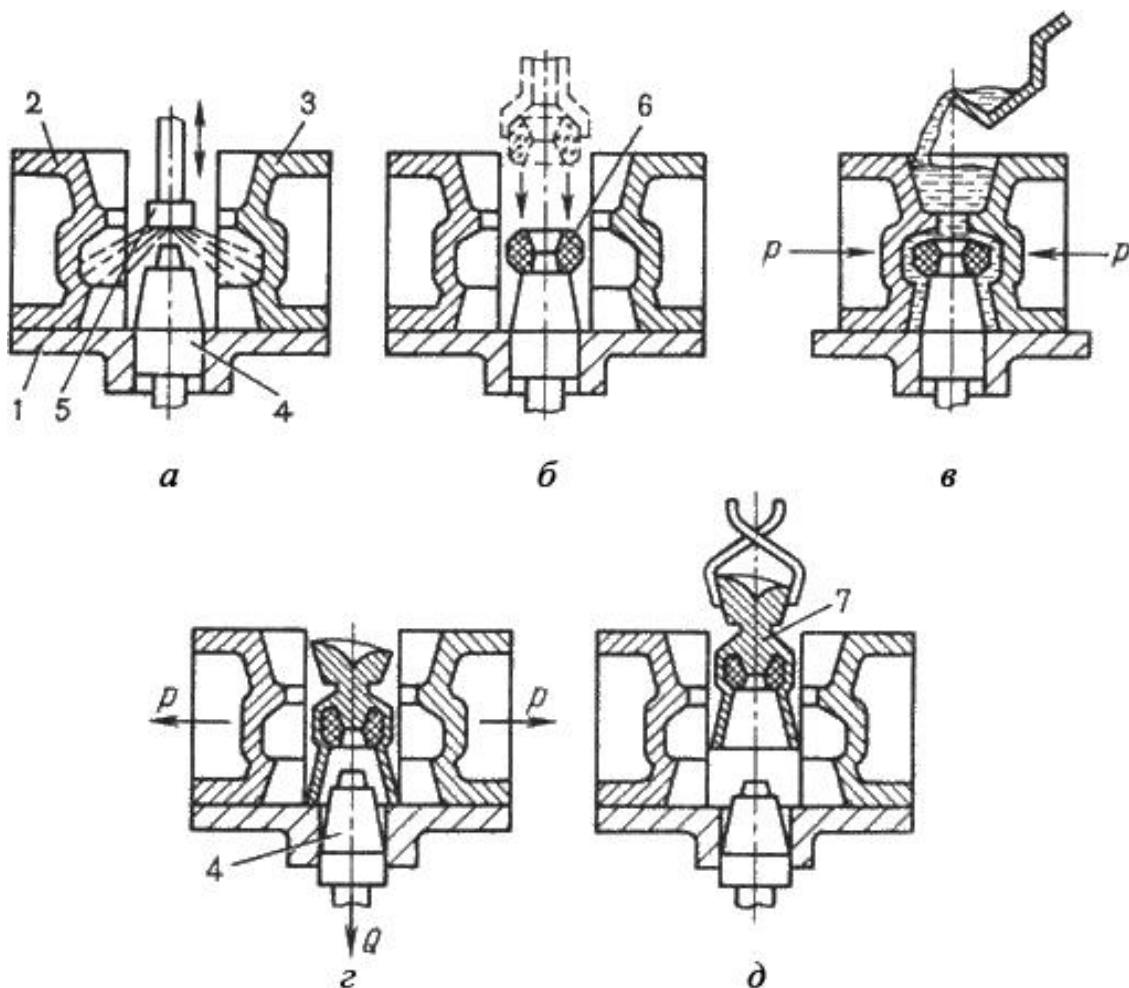


Рисунок 2.10 – Технологічні операції виготовлення відливка у кокілі

Робочу поверхню кокілью (рис. 2.10, а), що встановлюється на піддон 1, а також металевий стрижень 4 покривають личкувальним шаром за товшки 0,1-2,0 мм з періодичністю 1-2 рази за зміну і фарбою після кожного заливання. Фарби наносять на кокіль у вигляді водяної суспензії через пульверизатор. Склад личкування і фарби залежить від типу стопу, що заливається.

За допомогою маніпулятору встановлюється піщаний або керамічний стрижень 6, який необхідний формування внутрішньої порожнини у відливка (рис. 2.10, б).

Дві напівформи кокілью з'єднують, скріплюють спеціальними затискачами і заливають до нього розтоп (рис. 2.10, в). Після твердіння відливка 7 і охолодження його до температури вибивання кокіль розкривають і протягують до низу металевий стрижень 4 (рис. 2.10, г). Сам відлинок 7 видаляється із кокілью за допомогою маніпулятора (рис. 2.10, д), а піщаний стрижень вибивається з порожнини.

Личкувальні покриття виготовляють із вогнетривких матеріалів (кварцове борошно, тальк, крейда, графіт), зв'язувальних матеріалів (рідке скло, патока) та води. Фарби виготовляють із матеріалів, які під час заливання форми виділяють газ. Найбільш розповсюдженні з них керосин, рослинне мастило, мазут, ацетиленова кіпоть, окис цинку тощо.

Матеріал кокілью вибирають в залежності від матеріалу відливка, вимог до його якості, програми випуску заготовок, а також має відповідати усім вимогам технологічного процесу лиття і бути недорогим та бездефіцитним. До таких матеріалів відносяться:

- чавуни СЧ20, СЧ25 та ін. – для дрібних та середніх відливок із алюмінієвих, магнієвих, мідних стопів, чавуну, а також для кокілів, що мають повітряне та водноповітряне охолодження;

- чавуни ВЧ40, ВЧ45 та ін. – для дрібних, середніх та великих відливок із чавунів, а також для кокілів, що мають повітряне та водноповітряне охолодження;

- сталі 10, 20, 35, У7, У10, Ст.3, сталі 15Л, 15ХМЛ та ін. – для дрібних, середніх, великих та особливо великих відливок із чавуну, сталі, алюмінієвих, магнієвих, мідних стопів;

- мідь та мідні стопи, леговані сталі і стопи з особливими властивостями – складні для інтенсивного охолодження окремих частин відливка; тонкостінні водноохолоджувальні кокілі; масивні металеві стрижні для відливок з різних стопів;

- силуміни АЛ9, АЛ11 та ін. – водноохолоджувальні кокілі з анодваною поверхнею для дрібних відливок із алюмінієвих та мідних стопів.

Стійкість кокілів вимірюється кількістю відливок необхідної якості, які можуть бути отримані у даному кокілі до виходу його з ладу. Даний показник забезпечується конструктивними, технологічними та експлуатаційними методами. У табл. 2.4 наведена приблизна стійкість кокілів, виготовлених з найбільш застосовуваних матеріалів [38].

Таблиця 2.4 – Приблизна стійкість кокілів

Назва стопу	Розмір відливка	Матеріал кокілю	Стійкість кокілю, число відливок
Сталь	Дрібні	Чавун	400-600
	Середні		100-300
	Великі		50-100
	Дуже великі		10-50
Чавун	Дрібні	Чавун	1000-8000
	Середні		1000-3000
	Великі		200-1000
	Великі	Сталь 15Л	400-1000
	Дрібні	Мідні стопи	3000-10000
Середні	3000-8000		
Мідні стопи	Дрібні	Чавун	1000-10000
	Середні		1000-8000
	Дрібні	Сталь	1000-1500
	Середні		500-3000
Алюмінієві, магнієві, цинкові	Дрібні	Чавун	Сотні тисяч
	Середні		Десятки тисяч
	Великі		Кілька тисяч

До переваг кокільного лиття у порівнянні з литтям до піщано-глинястих форм можна віднести:

- підвищена точність, чистота поверхні та механічні властивості відливок, невеликі припуски під оброблення різанням;
- зниження витрат формувальних матеріалів, підвищення продуктивності праці за рахунок виключення трудомістких операцій приготування суміші та формування;
- зниження капітальних витрат при будівництві нових цехів та реконструкції існуючих за рахунок зменшення виробничих площ, витрат на обладнання та очисні споруди;
- можливість механізації і автоматизації технологічних операцій.

Однак цей спосіб виготовлення відливок має і недоліки:

- складність і трудомісткість виготовлення кокілів і, як наслідок, висока їх вартість;
- обмежена стійкість кокілів особливо при литті чавуну і сталі, від котрої залежить економічна ефективність процесу;
- схильність відливок до появи внутрішніх напружень та тріщин внаслідок поганої піддатливості форми;
- необхідність використання піщаних стрижнів для формування складних внутрішніх поверхонь зменшує точність відливок і підвищує в цих містах шорсткість поверхонь;
- складність виготовлення тонкостінних протяжних, а також орбених відливок внаслідок прискореного охолодження розтопу при його

залиття та подальшого охолодження, а у чавунних відливків це додатково призводить до вибілювання поверхневого шару.

Переваги й недоліки кокільного лиття визначають і раціональну галузь його застосування. Внаслідок високої вартості кокілів і трудомісткості їх виготовлення з економічної точки зору доцільно використовувати даний спосіб у серійному і масовому виробництві, як правило, нескладних за конфігурацією відливків. Це дає змогу отримувати достатньо високу геометричну точність розмірів (до 12 квалітету) з шорсткістю поверхні до 4 мкм за шкалою Ra.

Розробка креслення кокільного відливка виконується за кресленням деталі. При цьому визначається розташування відливка у формі, місце підведення розтопу, припуски на механообробку, технологічні припуски і напуски, допуски і ухили. Розрахунки ведуться відповідно до ГОСТ 26645-85.

Конструктивні ухили на вертикальні стінки відливка призначені для того, щоб полегшити його виймання з форми. Зазвичай вони дещо більші за ті, що регламентуються ГОСТ 3212-92, та призначаються залежно від висоти стінок відливка і стрижня, площі контакту відливка з робочою поверхнею порожнини кокілю та виду розтопу, що заливається, для кольорових стопів. Для кокільних відливків конструктивні ухили не стандартизовані та призначаються за стандартами підприємства або за рекомендаціями, які надані у спеціальній літературі [38, 41].

Конструктивні ухили стінок відливків, які перпендикулярні площині розливу кокілю, можуть бути призначені із наступних міркувань (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Конструктивні ухили при литті до кокілю

Стопи	Ухил, % (від висоти стінки відливка)				
	Зовнішня поверхня			Внутрішня поверхня, яка сформована металевим стрижнем	
	до 50	51...100	101...500	до 50	більше 50
Чавун	4...7	2...5	1...3	–	–
Сталь вуглецева	5	5	5	–	–
Алюмінієві	1...1,5	1...1,5	1...1,5	5	2...2,5*
Магнієві	2,5	2,5	2,5	3	2...3
Мідні	1,5	1,5	1,5	7	3...3,5*
Цинкові	0,5	0,5	0,5	2	1

* – для тонкостінних відливків

Ухили для ребер жорсткості призначають у діапазоні 8°...10°, а ухили внутрішніх порожнин, що отримані за допомогою металевих стрижнів, для вуглецевих стопів – $\geq 6^\circ$.

Отвори і заглибини чавунних відливків можуть бути виконані за допомогою металевих стрижнів, якщо отвір має діаметр не менший за 40 мм,

а його глибина не більша за $\frac{1}{2}$ діаметра. Для алюмінієвих і магнієвих стовпів мінімальний діаметр отвору складає 5 мм, а граничні значення складають (табл. 2.6):

Таблиця 2.6 – Параметри отворів у відливках із алюмінієвих і магнієвих стовпів, що формуються за допомогою металевих стрижнів, при литті до кокілю

Діаметр отворів, мм	6	6...12	12...25
Глибина отворів, мм	24	36...75	96...200

Відливок не повинен мати різких переходів від тонких стінок до масивних. Також для запобігання вибілу чавунних відливоків радіуси скруглення при кутовому сполученні стінок мають бути не меншими за 3 мм.

2.4.2 Лиття під тиском

Лиття під тиском застосовують для отримання тонкостінних відливоків (до 0,5 мм) складної конфігурації масою від декількох грамів до 50 кг і більше. Також можна отримувати готові деталі з різьбю, різноманітною арматурою, порожнинами і каналами складної конфігурації.

Принцип процесу лиття полягає у примусовому заповненні робочої порожнини металеві форми (прес-форми) розтопом під дією зовнішніх сил, що значно перевищують сили гравітації, а твердіння відливка відбувається під надлишковим тиском. Розрізняють лиття під високим і низьким тиском [10, 20, 38-40, 42].

Лиття заготовок під *високим тиском* здійснюють у спеціальні металеві прес-форми, що мають задану герметичність порожнини. Процес лиття може бути реалізовано на ливарних машинах з холодною та гарячою камерами стискання. У машинах з холодною камерою стискання камери пресування розташовуються або горизонтально, або вертикально.

При отриманні відливоків на ливарних машинах з горизонтальною холодною камерою стискання (рис. 2.11) необхідна кількість стопу заливається до камери стискання 4 (рис. 2.11, а) уручну або заливальним дозуючим пристроєм. Перед заливанням прес-форму нагрівають до 120-320°C. Стоп з камери стискання під тиском поршня 5 у 40-150 МПа через ливникові канали надходить до формуючої порожнини щільно закритої форми, яка складається з нерухомої 3 і рухомої 1 напівформ. Внутрішня порожнина у відливка оформлюється за допомогою стрижня 2. Надлишок стопу залишається у камері стискання у вигляді прес-залишку (рис. 2.11, б). Після твердіння стопу форму відкривають, знімають рухливі стрижні 2 і відливок 7 за допомогою виштовхувача 6 видаляється з форми (рис. 2.11, в).

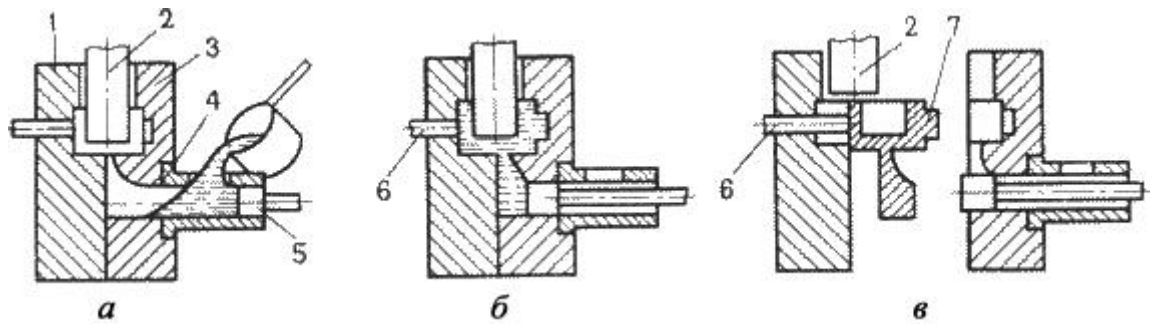


Рисунок 2.11 – Технологічні операції виготовлення відливоків на машинах з горизонтальною холодною камерою стискання

Після видалення відливка робочу поверхню прес-форми обдувають повітрям і змащують спеціальними матеріалами для попередження приварювання відливка. Повітря і гази видаляються через канали, що розташовані у площині рознімання прес-форми або вакуумуванням робочої порожнини перед заливанням розтопу. Такі машини застосовують для виготовлення відливоків з мідних, алюмінієвих, магнієвих і цинкових сплавів масою до 45 кг.

На ливарних машинах з вертикальною холодною камерою стискання (рис. 2.12) метал заливають дозувальним ковшем до камери стискання 2. Нижній поршень 4 при цьому перекриває вхідний отвір форми, щоб уникнути передчасного попадання до неї металу (рис. 2.12, а). Потім пресувальний поршень 1 здійснює свій робочий хід униз (рис. 2.12, б). Нижній поршень 4 при цьому опускається, спираючись заплечиками на відповідні виступи камери, а метал запресовується у форму 3. Поршні залишаються у такому положенні до повного твердіння металу. У наступний момент поршень 1 доходить у верхнє положення (рис. 2.12, в). Залишок затверділого металу 5 ходом нижнього поршня 4 відрізається від ливника і видаляється з циліндра. Форми відкривають і відливок б видаляють.

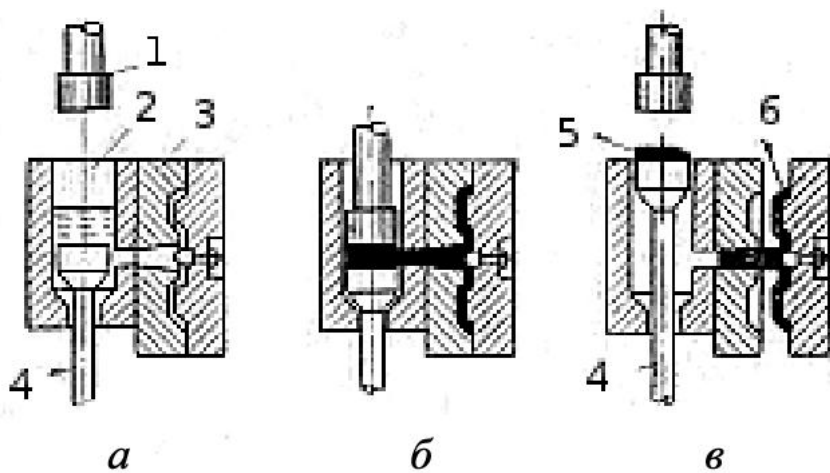


Рисунок 2.12 – Технологічні операції виготовлення відливоків на машинах з вертикальною холодною камерою стискання

Машини з гарячою камерою стискання (рис. 2.13) використовують для стопів, що мають температуру топлення до 450°C (олов'яних, цинкових, свинцевих). Камера стискання 3 розташована у тиглі 1, що обігрівается, з розтопленим металом. При верхньому положенні плунжеру 5 метал через отвір 2 заповнює камеру стискання і підвідний канал 4. Перед заливанням металу прес-форму 7 закривають, і кінець мундштука 6, який додатково підігрівается, притискається до її ходового каналу. При русі плунжера униз отвір перекривається, стоп під тиском 10-30 МПа заповнює порожнину прес-форми 7. Після твердіння відливка плунжер 5 повертається у вихідне положення, залишки розтопленого металу зливаються до камери стискання, а відливок видаляється з прес-форми виштовхувачами 8.

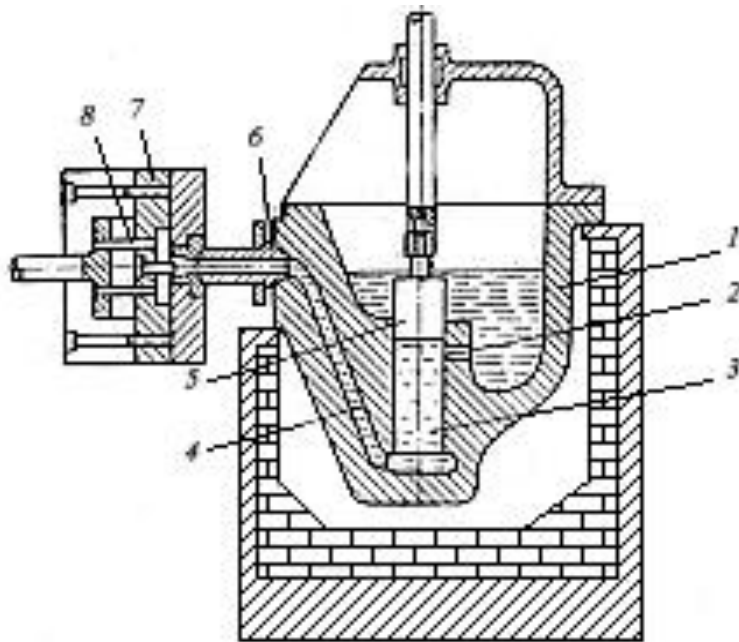


Рисунок 2.13 – Технологічні операції виготовлення відливок на машинах з гарячою камерою стискання

Порівняльний аналіз машин для лиття під високим тиском з холодною та гарячою камерами стискання показує, що для відливок з товщиною стінки менше 1 мм віддається перевага машинам з гарячою камерою стискання. У цьому випадку лиття має більш високі показники якості при менших витратах. Для отримання товстостінних відливок із заданими високими міцнісними характеристиками і для зниження шпаристості найкраще застосовувати машини з холодною камерою стискання. Також при литті магнієвих стопів при температурі розтопу близько 640°C доцільно використання даного способу з гарячою камерою стискання для уникнення передчасної кристалізації металу у живильниках через низьку теплоємність магнієвих стопів [43].

Загальний недолік машин для лиття під високим тиском полягає в тому, що при лиття стопів, що мають температуру топлення вище 500° С, між стінками поршня і циліндра утворюються плівки оксидів, які викли-

кають часті зупинки машини. Однак низка досліджень, що спрямована на підвищення якості лиття під тиском, стійкості прес-форм, зростання продуктивності та економії матеріальних і енергетичних ресурсів, виводить даний спосіб лиття на новий рівень виробництва тонкостінних литих деталей з кольорових металів і сплавів не тільки у автомобільній промисловості, а й скрізь, де необхідно масове виробництво вказаних деталей складної конфігурації [39, 43-48].

Лиття під *низьким тиском* є різновидністю способу лиття під регульованим тиском. До цього типу також відносять лиття з протитиском та лиття вакуумним всмоктуванням. Загальна технологічна ознака вказаних процесів – заповнення форми розтопом видавлюванням його знизу доверху із резервуару пристрою через металопровід під дією перепаду газового тиску. Застосовується даний спосіб для виготовлення тонкостінних крупногабаритних відливків переважно із алюмінієвих сплавів. Дуже рідко цей спосіб використовують для лиття із мідних сплавів, ще рідше – для лиття сталі і чавуну [38, 40, 49].

На рис. 2.14 показана схема лиття під низьким тиском до металевих форм з вертикальною площиною розливу. Рідкий метал заливається до тиглю 1 і герметично закривається кришкою 7. Тигель 1 знаходиться у корпусі 3, що обігривається за допомогою електронагрівачів 8. Таким чином, метал у тиглі постійно знаходиться у рідкому стані. При подачі стисненого повітря або інертного газу через повітропровід 6 на дзеркало металу починає діяти надлишковий тиск (0,02-0,1 МПа), котрий примушує розтоп надходити через металопровід 2 до металеві форми 4. Металопровід заглиблюють у розтоп таким чином, щоб він не досягав до дна тиглю на 40-60 мм. Порожнина у відливка 5 в даному випадку оформлюється за допомогою піщаного стрижня.

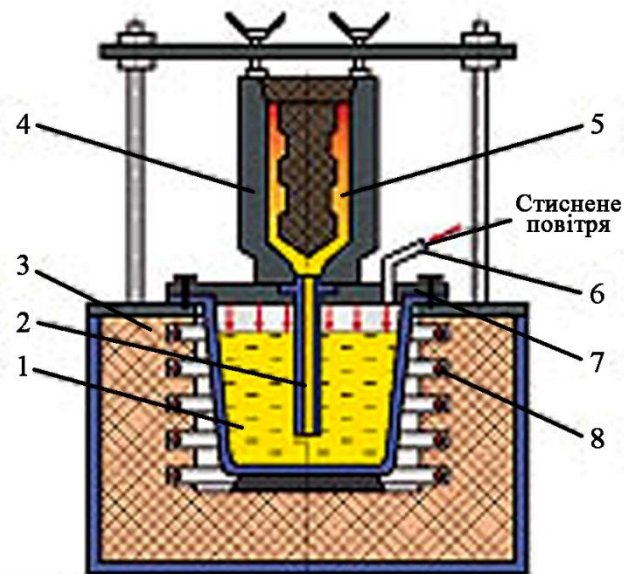


Рисунок 2.14 – Технологічні операції виготовлення відливків литтям під низьким тиском

Після заповнення форми металом під дією тиску відбувається кристалізація відливка у формі. В металопроводі метал продовжує перебувати у рідкому стані, тому ливниковий колектор виконує функцію додатку, надійно живить нижню частину відливка рідким металом. Після твердіння металу тиск у тиглі вирівнюється з атмосферним, а частина рідкого металу з металопроводу повертається назад до тиглю.

Лиття під низьким тиском застосовується самостійно і як доповнення до інших способів лиття у якості ефективного методу автоматичного заповнення форми рідким металом. Зручність способу, в останньому випадку, пов'язано з відсутністю необхідності герметизації форми, герметизується лише тигель з рідким металом. Повітря з форми виходить через виштовхувачі та по площині розліву форми. Його використовують для отримання відливоків в піщані, металеві, графітові форми. Останнім часом з'явилися варіанти заливання під низьким тиском алюмінієвих стопів на автоматичних лініях формування безопочних форм типу Disamatic та інші. Самостійно даний спосіб частіше використовують для лиття в кокілі або кокілі з піщаними оболонковими стрижнями, оскільки процес складання кокілю легше автоматизувати [38, 49].

Основні переваги способу:

- заповнення форми з мінімальними втратами тепла, що особливо важливо для складних тонкостінних, великогабаритних відливоків;
- спрощення конструкцію ливниково-живильної системи, зменшення витрат рідкого металу завдяки підводу металу через металопровід;
- підвищення щільності, більш дрібна структура металу відливоків, зростання міцності металу на 15-25%, пластичності в 1,5-2,0 рази;
- подача металу до форми знизу дозволяє забезпечити її плавне заповнення, зменшити ефекти розбризкування і перемішування металу, що сприяють його окисленню і захопленню повітря;
- зменшена можливість окислення металу у тиглі і виключена ймовірність попадання до форми шлаку і флюсу з дзеркала розтопу, оскільки метал надходить до форми з глибинних шарів ванни тиглю;
- повна автоматизація процесу заливки ливарної форми рідким металом;
- у порівнянні з литтям під високим тиском можливість використання разових елементів форми з інших менш міцних матеріалів накладає менше обмеження на конструктивне оформлення відливоків;
- у порівнянні з литтям до кокілю підвищена швидкість затвердіння і охолодження відливоків зменшує в 1,5 рази час витримки відливка в металевій формі, що збільшує продуктивність установок.

Лиття під низьким тиском має також наступні недоліки:

- частина металопроводу постійно зануреної у розтоп має невисоку стійкість, що ускладнює використання способу для стопів з високою температурою топлення (чавуну, сталі);
- складність регулювання швидкості потоку розтопу у формі, яка викликана швидкоплинністю операції і динамічними процесами, що відбуваються в установці при заповненні камери повітрям;

– при тривалій витримці металу у печі установки виникає загроза зміни властивостей ступу.

Виходячи із переваг і недоліків способу до характерної номенклатури заготовок належать:

– відливки, до яких пред'являються підвищені вимоги по щільності, герметичності і міцності (робочі колеса та інші деталі гідравлічних пристроїв, корпусні деталі човнових моторів, диски автомобільних коліс, інші силові деталі);

– протяжні тонкостінні відливки, для яких при звичайному гравітаційному заливанні важко забезпечити заповнення форми (оболонкові та корпусні відливки, ротори електродвигунів, випускні колектори тощо);

– різностінні відливки з одним або кількома тепловими вузлами, живлення котрих може бути забезпечене одним або кількома металопроводами (блоки і кришки циліндрів, картер моховика тощо).

Причому, у багатосерійному і масовому виробництві частину відливоків виготовляють на спеціалізованих установках для виготовлення однієї або однотипних заготовок. При цьому динамічні характеристики системи змінюються незначно і процес лиття стає більш стійким.

2.4.3 Лиття по моделям, що витоплюються

Цей прогресивний спосіб знайшов широке застосування при виготовленні точних відливоків зі складною геометрією практично із всіх металів і сплавів, зокрема високолегованих сталей, які мають високу температуру топлення та погано піддаються механічному обробленню та тиском. У зв'язку з цим він поширений майже у всіх галузях народного господарства, від машинобудування до виготовлення ювелірних виробів.

Литтям по моделям, що витоплюються, можна виготовляти заготовки масою від 0,02 до 100 кг з мінімальною товщиною стінки 0,5 мм та отворами діаметром до 1 мм. Цей спосіб дає змогу виготовляти відливки з високою точністю розмірів (до 11 квалітету) та взаємного розташування поверхонь і їх шорсткiстю до 2-4 мкм за шкалою Ra з мінімальними припусками на оброблення різанням [20, 38, 49].

Сутність способу полягає в тому, що для одержання відливоків застосовуються разові, точні нерознімні, керамічні оболонкові форми, які виготовлені за разовими моделями з використанням рідких формувальних сумішей. Форми характеризуються високою вогнетривкістю та гладкою внутрішньою поверхнею оболонки. Перед заливанням розтопу модель видаляється з форми витоплюванням, випалюванням, розчиненням або випаровуванням. Для видалення залишків моделі і зміцнення форма нагрівається до високих температур. Прожарювання форми перед заливанням практично виключає її газотворення і покращує заповнення розтопом.

Технологічні операції процесу лиття по моделях, що витоплюються, представлені на рис. 2.15.

Разові моделі виготовляють в різних прес-формах (рис. 2.15, а), робоча порожнина яких має конфігурацію і розміри відливка з припусками на зіступ (модельного складу і матеріалу відливка) і оброблення різанням. Склад добре заповнює порожнину прес-форми, дає чіткий відбиток. Після затвердіння модельного складу прес-форма розкривається і модель 2 (див. рис. 2.15, а) виштовхується в холодну воду. Моделі виготовляють з матеріалів, що мають невелику температуру топлення (віск, парафін, стеарин, каніфоль), здатних розчинятися (карбамід) або згорати без утворення твердих залишків (пінополістирол, поліуретан).

Потім моделі збираються у модельні блоки (рис. 2.15, б) із загальною ливниковою системою лютуванням, приклеюванням або механічним кріпленням. В один блок об'єднують 2-100 моделей.

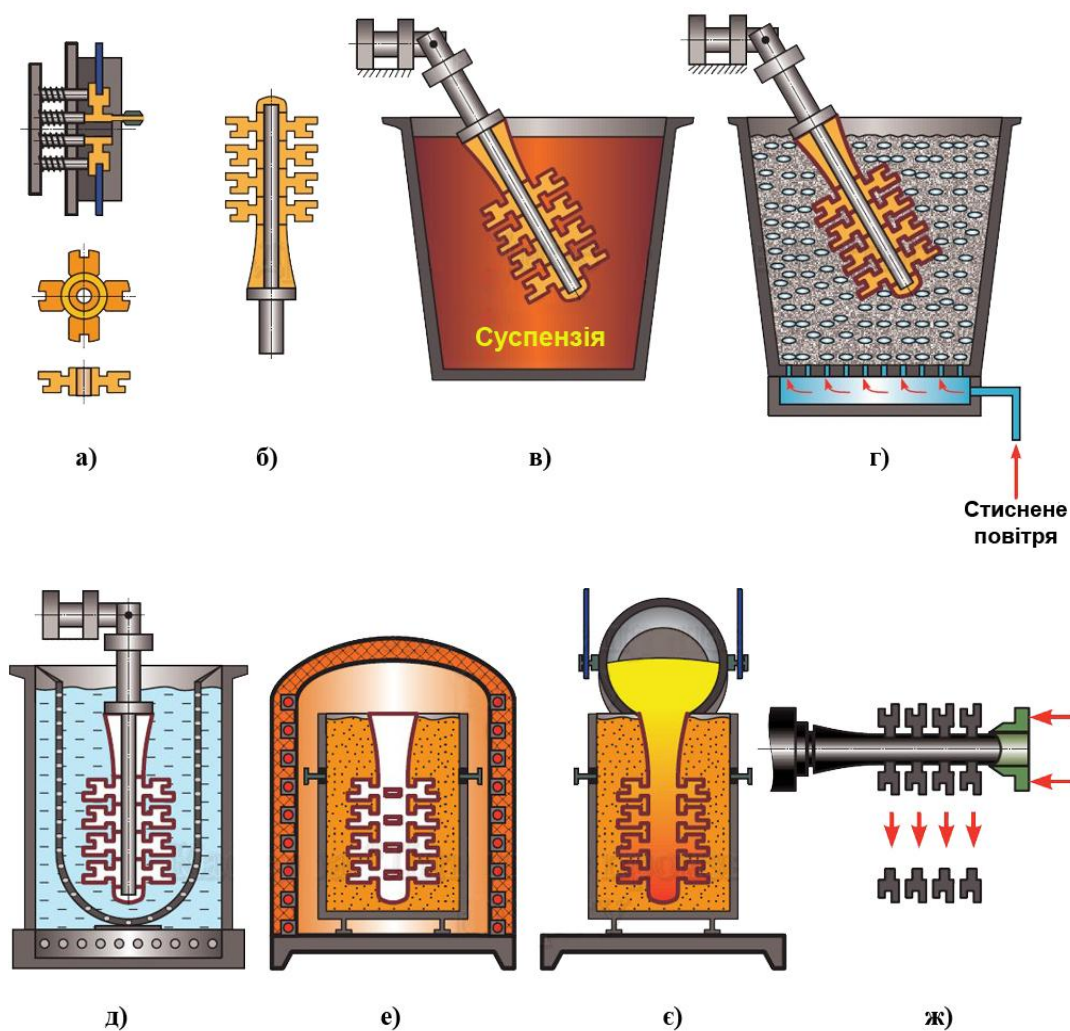


Рисунок 2.15 – Технологічні операції виготовлення відливок литтям по моделям, що витоплюються

Блок моделей занурюють в ємність з рідкою формувальною сумішшю – суспензією, що складається з пилоподібного вогнетривкого матеріа-

лу, наприклад, пилоподібного кварцу або електрокорунду, і зв'язувального (рис. 2.15, в). В результаті на поверхні моделі утворюється тонкий шар суспензії (менше 1 мм). Для зміцнення цього шару, збільшення його товщини на нього наносять шари вогнетривкого зернистого матеріалу (дрібний кварцовий або цирконієвий пісок, електрокорунд, зернистий шамот) (рис. 2.15, г). Операції нанесення суспензії і обсіпання повторюють до отримання на моделі оболонки необхідної товщини (3-10 шарів).

Кожен шар покриття висушують на повітрі або у парах аміаку, що залежить від зв'язувального. Після сушіння оболонкової форми модель видаляють з неї витоплюванням, розчиненням, випалюванням або випаровуванням.

На рис. 2.15, д показаний процес витоплювання моделі у гарячій воді ($t_{\text{води}}=100^{\circ}\text{C}$). Так отримують багатошарову оболонкову форму по моделі, що витоплюється. Видалення моделі з оболонкової форми також може бути здійснене за допомогою гарячої пари. Після видалення модельного складу тонкостінні ливарні форми встановлюються в опоці, засипаються кварцовим піском, а потім прожарюються у печі протягом 6-8 годин при температурі $900-1100^{\circ}\text{C}$ для зміцнення перед заливанням, а також видалення залишків модельного складу, випаровування води (рис. 2.15, е) [20, 38, 40, 49].

Заливання форм проводять відразу ж після прожарювання у нагрітому стані (рис. 2.15, є). Заливання може бути вільним, під дією відцентрових сил, у вакуумі тощо.

Після твердіння залитого металу і охолодження відливків форма руйнується, відливки відокремлюють від ливникової системи механічними методами (рис. 2.15, ж), направляють на хімічне очищення, промивають і піддають термічному обробленню.

В умовах ринкової економіки для скорочення енерговитрат у багатьох випадках оболонкові форми прожарюють у печі до засипання вогнетривким матеріалом, а потім для зміцнення їх засипають попередньо нагрітим вогнетривким матеріалом. Це дозволяє здійснювати прожарювання при середніх температурах ($550-700^{\circ}\text{C}$) скоротивши тривалість процесу до 2-3 годин. Так, наприклад, організовується технологічний процес на автоматичних лініях для масового виробництва відливків [38, 49-52].

За час використання даного способу лиття виділилися основні його переваги:

- можливість виготовлення тонкостінних відливків складної конфігурації практично з будь-яких стопів, з мінімальними припусками на оброблення різанням, що значно скорочує відходи металу в стружку;
- отримання заготовок з високою точністю форми та розмірів, якістю поверхні;
- форма не має стрижнів, площини розніму та знакових частин, що сприяє підвищенню точності відливків;
- зниження матеріаломісткості виробництва за рахунок зменшення витрат формувальних матеріалів для виготовлення відливків;
- створення складних конструкцій, які об'єднують кілька деталей в один вузол, надає можливість спрощення технології виготовлення деталей машин;

- можливість економічно вигідного здійснення процесу в одиничному (дослідному) і серійному виробництвах, що важливо при створенні нових машин та приладів;

- поліпшення умов праці та зменшення шкідливого впливу ливарного процесу на навколишнє середовище.

Але лиття по моделям, що витоплюються, має також і недоліки:

- висока трудомісткість процесу виготовлення форми, багатоопераційність і тривалість;

- велика номенклатура матеріалів, що використовуються для отримання форми (матеріали для моделей, суспензії, обсіпки блоків, опорні матеріали);

- складність управління якістю відливків внаслідок великого числа технологічних факторів;

- складність автоматизації і механізації технологічних операцій виготовлення моделей і форм;

- додаткові витрати металу на ливникову систему і тому невисокий технологічний вихід придатного;

- достатньо велика енергоємність процесу, що, безумовно, позначається на собівартості готового виробу.

Враховуючи існуючі переваги та недоліки, способом лиття по моделях, що витоплюються, доцільно виготовляти дрібні та складні за конфігурацією заготовки з кольорових металів і стопів, високолегованих і вогнетійких сталей, які погано обробляються різанням або мають низькі ливарні властивості переважно в умовах серійного та масового виробництва, де можливо застосування автоматизованих ліній. В одиничному виробництві даний спосіб лиття може бути виправданий лише при отриманні унікальних крупних заготовок із важкооброблюваних стопів. Однак, слід врахувати, що економічна ефективність істотно залежить від вибору номенклатури відливків, виготовлених цим способом.

Сучасні дослідження показують, що існують способи економії матеріальних і енергоресурсів та зниження собівартості виготовлення заготовок литтям по моделям, що витоплюються, за рахунок удосконалення технологічних операцій, а також впровадження систем автоматизованого проектування і контролю за перебігом процесу у режимі реального часу [50-56]. Таким чином, існує можливість розширення номенклатури відливків, які можуть бути отримані даним способом лиття, та поширення використання способу при виробництві заготовок деталей машин.

2.4.4 Лиття до оболонкових форм

Лиття до оболонкових форм за своєю суттю є різновидом точного методу лиття до разових піщано-смоляних форм, але за принципом і послідовністю технологічних операцій формоутворення майже повністю відрізн-

няється від нього. Окрім того заготовки, що отримані в оболонкових формах, мають в 1,5 рази менший припуск на механічне оброблення. Спосіб був винайдений і запатентований у Німеччині у 1940-х роках І. Кронінгом, та відомий за кордоном як «кронінг-процес».

Суть способу полягає в тому, що ливарна форма уявляє собою тонку оболонку (6-15 мм), утворену із термореактивних піщаних сумішей з органічним зв'язувальним типу фенолових смол. Оболонкові форми відрізняються високим комплексом технологічних властивостей: достатньою міцністю, газопроникністю, піддатливістю, негіроскопічністю [19, 20, 38, 49].

Найчастіше суміш являє собою пісок гарячого плакування. При гарячому плакуванні сухий пісок попередньо нагрівають до 127-147°C, а потім змішують зі смолою, яка при цьому, нагріваючись, плавиться і обволікає зерна піску. Далі в суміш вводять уротропін у вигляді 30-35 %-ного водного розчину, гідроксид бору і стеарат кальцію. Вода, в якій розчинений уротропін, охолоджує суміш і запобігає можливості розкладання уротропіну при нагріванні під час плакування. Після завершення перемішування суміш охолоджують і просівають.

Широко застосовують такі способи виготовлення оболонок: бункерний, піскодувний, піскодувний з контрплитою та пресувальний за допомогою гнучкої діафрагми.

Технологічний процес виготовлення оболонкових форм бункерним способом складається з декількох операцій (рис. 2.16).

До поворотного металевго бункера 1 (рис. 2.16, а) засипають піщано-смоляну суміш або плакований пісок 2. На верхню частину (горловину) бункера, забезпечену кільцевим каналом 3 для подачі охолоджувальної води, встановлюють моделями вниз і закріплюють нагріту до 200-240°C металеву модельну плиту 4. На ній закріплена за допомогою чотирьох напрямних колонок 5 плита 6 штовхачів. Штовхачі 7, рівномірно розподілені по всій плиті, виходять на робочу поверхню як моделі, так і модельної плити; їх фіксують хвостовиками в гніздах плити 6 і закріплюють у ній притискнутою плитою 8. Модельна плита з виштовхувальним пристроєм розташована у корпусі 9. Для фіксації плити штовхачів у вихідному положенні на напрямних колонах 5 встановлені пружини 10.

Для попереднього формування оболонки бункер 1, з цапфами 11 і поворотним механізмом (на схемі не показано), повертають на 180° і формувальний матеріал падає на гарячу модельну плиту (рис. 2.16, б), ущільнюючись під дією гравітаційних сил. У прилеглому до плити шарі суміші смола розтоплюється (при 95-115°C), змочуючи зерна піску, а потім починає полімеризуватися, загусаючи і твердіючи по мірі прогріву до більш високої температури. За 30-40 с витримки смола встигає обтопитися в шарі товщиною близько 10 мм, який і залишається на модельній плиті після повороту бункера у вихідне положення (рис. 2.16, в) і скидання на дно бункера непрореагованої частини суміші, яка зберегла свої початкові властивості і придатна для подальшого використання.

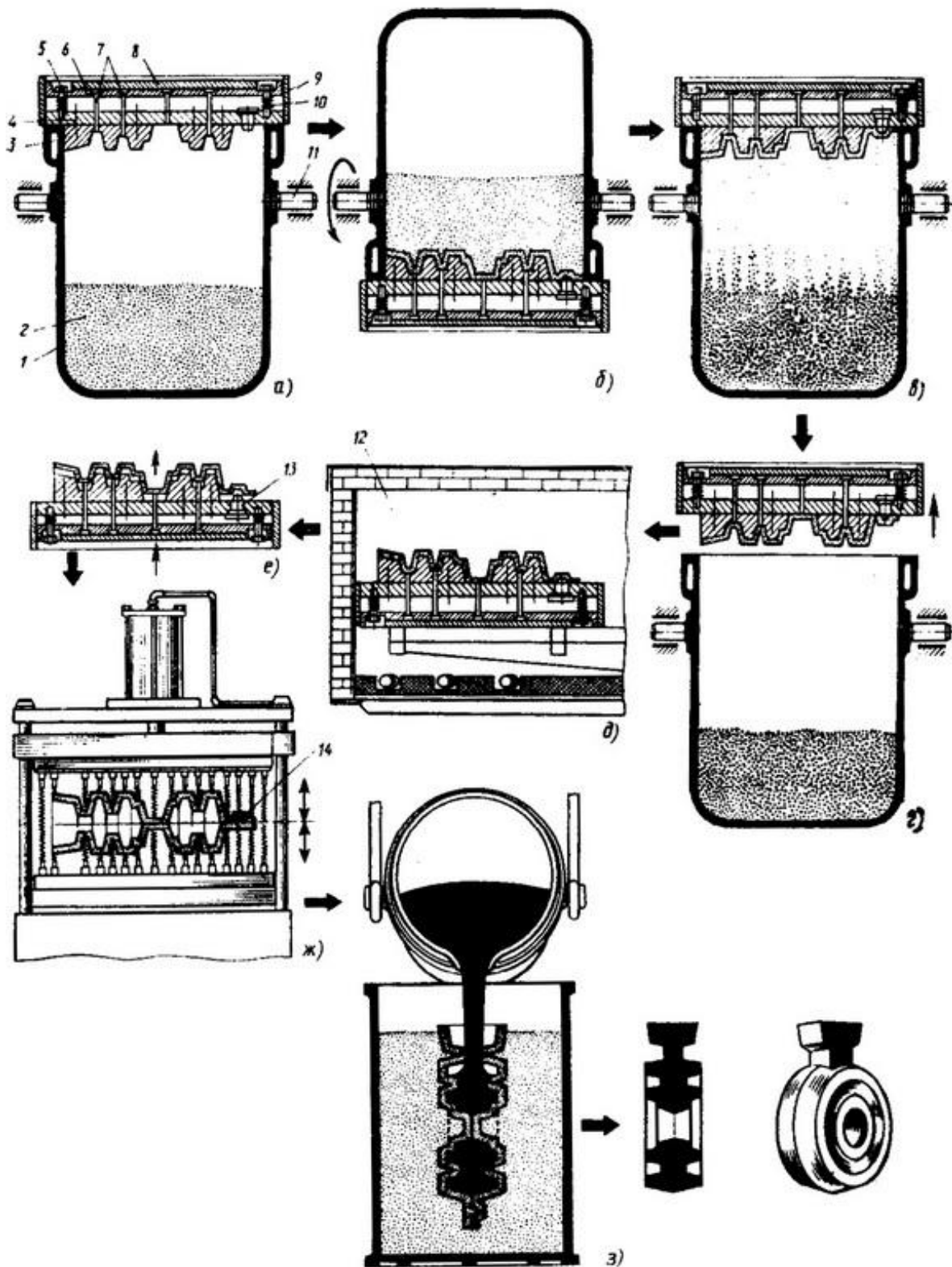


Рисунок 2.16 – Технологічні операції виготовлення відливок литтям до оболонкових форм бункерним способом

Модельну плиту з попередньо сформованою оболонковою напівформою знімають з бункера (рис. 2.16, г) і подають у піч 12 (рис. 2.16, д), де при 300-340°C за 1,5-2 хв закінчується полімеризація смоли і оболонка набуває високої міцності. Потім переміщенням штовхальної плити разом із

штовхачами вгору готову оболонкову напівформу знімають з модельної плити (рис. 2.16, е) і з'єднують з іншою напівформою, наприклад, склеюванням в гарячому стані на спеціальному пневмопресі з пружинними притискними пристроями (рис. 2.16, ж). Для центрування напівформ при складанні в них виконують гнізда і виступи 14 за допомогою спеціальних вставок 13 в модельних плитах (див. рис. 2.16, ж). Форми з вертикальною площиною розніму перед заливанням зазвичай заформовують (рис. 2.16, з) до опорного наповнювача – пісок або дріб в цілях виключення прориву розтопу по розніму напівформ. Форми для дрібних відливок (менше 8 кг) заливають у ряді випадків без засипання їх дробом. Форми невеликої висоти з горизонтальною площиною розніму в більшості випадків не заформовують і заливають на піддонах з піщаною постіллю.

У процесі піскодувного способу плакований пісок наносять на модель за допомогою струменя стисненого повітря. В цьому разі оболонка має більшу міцність. Але найбільш міцною є оболонка, утворена пресуванням за допомогою гнучкої (наприклад, гумової) діафрагми. На суміші через діафрагму діє надлишковий тиск (до 0,2 МПа) теплого повітря.

На рис. 2.17 показана схема виготовлення оболонкових форм піскодувним методом з контрплитою на двохпозиційній піскодувній машині. На першій позиції (рис. 2.17, а) відбувається надування плакованого піску у зазор між гарячою модельною 1 і холодною контурною плитою 2, що закріплена на піскодувній голівці машини 3 і служить для попереднього формування зовнішньої (неробочої) поверхні напівформи. Після попереднього формування оболонки модельна плита разом з оболонкою опускається вниз (рис. 2.17, б) і переміщується на другу позицію (рис. 2.17, в), де знаходиться гаряча контурна плита 4. Тут за рахунок двостороннього нагрівання з допресуванням знизу завершується виготовлення оболонкової напівформи, після чого вона знімається штовхачами з модельної плити (рис. 2.17, г) і подається на позицію складання форм.

Широко використовують у ливарному виробництві заготовок оболонкові стрижні. Вони легкі, міцні, не пригорають, через вигорання смоли в процесі заповнення форми гарячим стопом стають газопроникними, податливими, не гальмують процес зіступу відливка під час його охолодження, легко видаляються з відливка, негіроскопічні і тому придатні для тривалого зберігання. Оболонкові стрижні використовують для лиття заготовок у кокілях, піщано-глинястих формах тощо.

Для виготовлення оболонкових стрижнів можуть бути використані поворотні бункера, піскодувні, відцентрові та інші пристрої [57].

Виготовлення оболонкових стрижнів бункерним способом відбувається за тим же принципом, що і для оболонкових форм (рис. 2.18), не потребує складного обладнання та застосовується для простих за формою стрижнів.

Нагріті до температури полімеризації суміші 1 дві половинки стрижневого ящику 6, 7 кріпляться на термоізоляційній кришці 8 бункера 2 спеціальними кріпленнями 5. Горловина бункера додатково охолоджується водою, що подається до кільцевого каналу 4 (рис. 2.18, а).

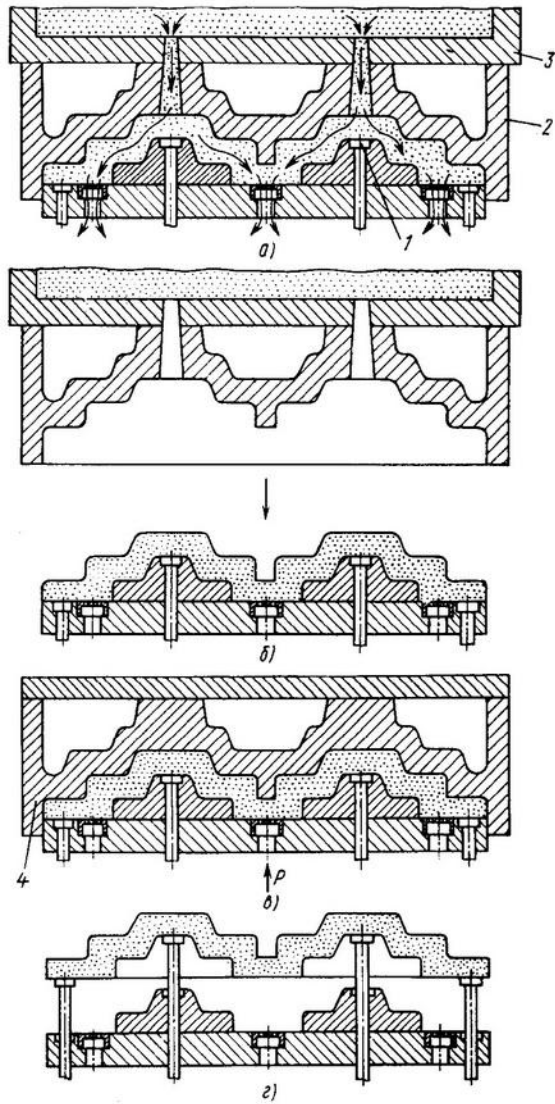


Рисунок 2.17 – Технологічні операції виготовлення відливків литтям до оболонкових форм піскодувним способом з контрплитою

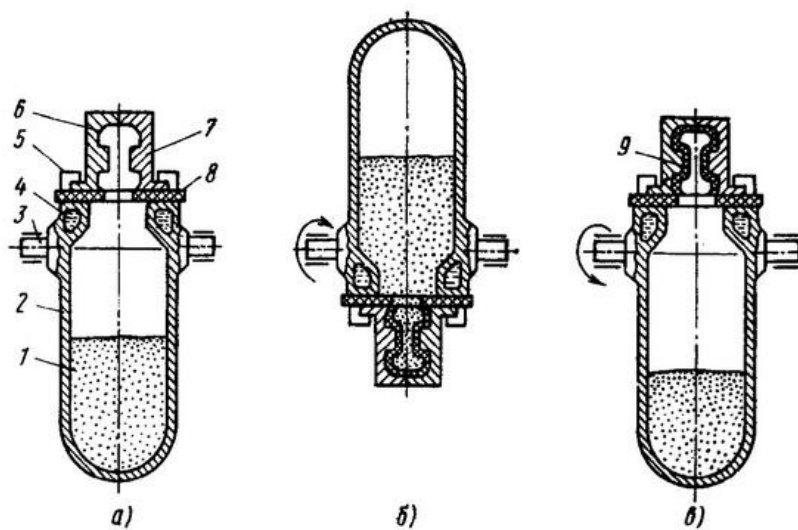


Рисунок 2.18 – Технологічні операції виготовлення оболонкових стрижнів у поворотному бункері

При формуванні стрижня бункер 2 на цапфах 3 повертають на 180° і формувальна суміш падає, заповнює ящик (рис. 2.18, б) і ущільнюється під дією гравітаційних сил. При контакті з розігрітими стінками ящику суміш починає формувати тонку оболонку. Після невеликої витримки бункер повертають у вихідне положення (рис. 2.18, в), рештки суміші зсипаються на дно бункера, а стрижневий ящик із попередньо сформованим оболонковим стрижнем 9 знімають і подають у піч, де відбувається фінальна стадія технологічного процесу виготовлення і оболонка набуває необхідної міцності.

Піскодувний метод виготовлення оболонкових стрижнів (рис. 2.19) більш продуктивний, ніж насипний. Він піддається повній механізації і автоматизації процесу.

До резервуару 1 завантажується піщано-смоляна плакувальна суміш 3 (рис. 2.19, а). Нагріті половинки стрижневого ящику 6, 9 встановлюють у зібраному стані на кришці 10 бункера поверх теплоізоляційної переліжки 5 та щільно прижимають до неї пневмоциліндром 8. При подаванні стисненого повітря через нагнітаючий патрубок 4 піщано-смоляна суміш 3 підіймається по формуючому каналу 2 і заповнює порожнину стрижневого ящику. Для відведення повітря із ящику і забезпечення його заповнення сумішшю передбачені вентиляційні канали 7.

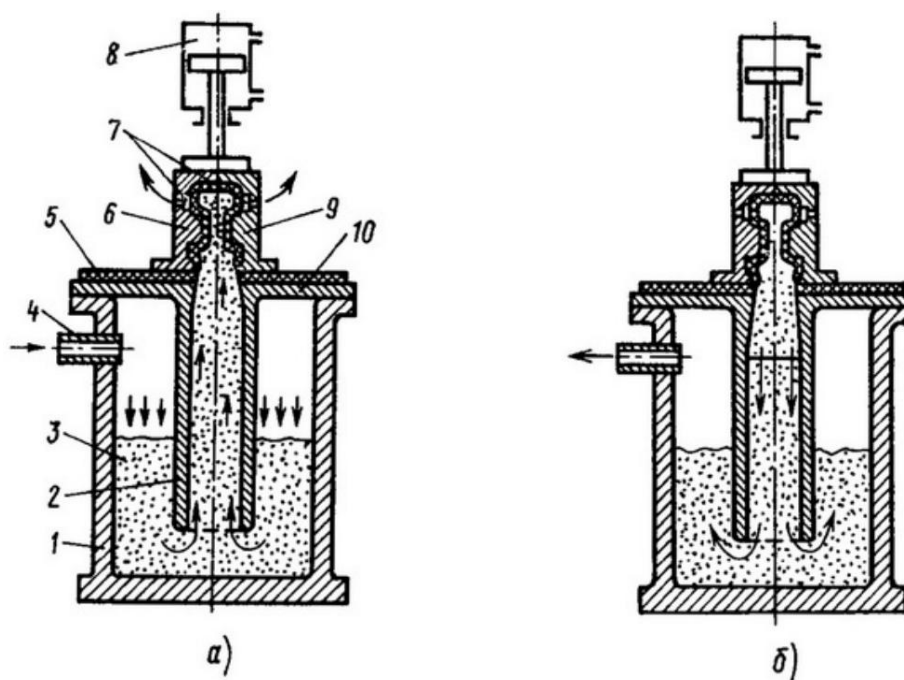


Рисунок 2.19 – Технологічні операції виготовлення оболонкових стрижнів на піскодувній установці з надуванням плакувальної суміші знизу

Після закінчення процесу формування тиск повітря знімається і надлишок суміші під дією гравітаційних сил повертається до резервуару (рис. 2.19, б). Далі стрижневий ящик знімається і відбувається термічне оброблення сформованого стрижня.

Піскодувний метод застосовують для виготовлення різноманітних за складністю стрижнів в умовах серійного та масового виробництва.

Фізичною основою відцентрового методу виготовлення оболонкових стрижнів є наявність постійного поля відцентрових сил, під дією яких протікає процес формування і ущільнення стрижня і подальше його твердіння.

Формування оболонкових стрижнів відцентровим методом (рис. 2.20) здійснюють в обертовому стрижневому ящику 1, який постійно нагрівається у печі 3. Процес виготовлення оболонкових стрижнів відцентровим способом починається з завантаження лотком 4 до обертового стрижневого ящика певної порції піщано-смоляних сумішей (рис. 2.20, а). Підпружинений диск 5 входить в контакт з торцем обертового стрижневого ящика і закриває його знаковий отвір (рис. 2.20, б).

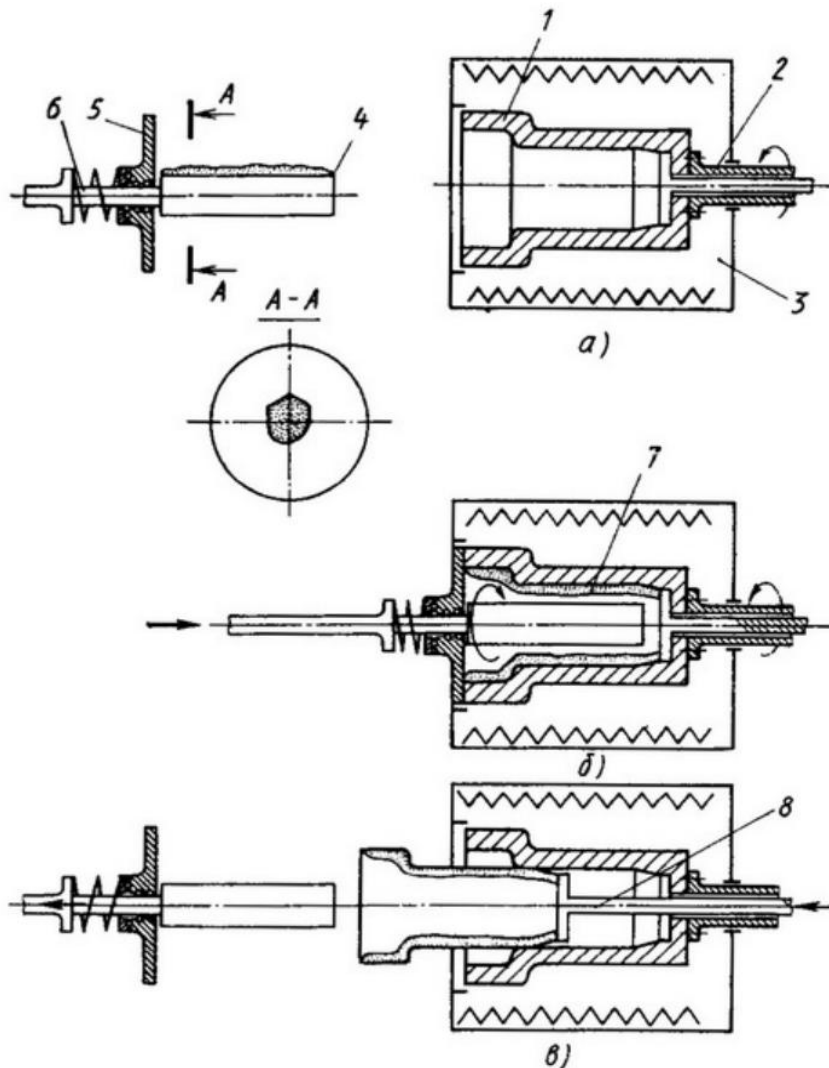


Рисунок 2.20 – Технологічні операції виготовлення оболонкових стрижнів відцентровим способом

За допомогою осі 6 мірний лоток повертається на 180° і висипає піщано-смоляну суміш. Стрижневий ящик 1 починає обертатися навколо вісі 2. Під впливом відцентрових сил піщано-смоляна суміш рівномірно розподіляється і ущільнюється по внутрішній стінці ящика, утворюючи оболонковий стрижень 7 (див. рис. 2.20, б). Викид суміші з ящика запобігається диском 5. Після формування стрижня мірний лоток виводиться з ящика.

Стрижень 7 твердіє за рахунок тепла в печі ящика і після твердіння вишто-вхується з нього пневматичним штовхачем. 8 (рис. 2.20, в).

Описаний спосіб виготовлення оболонкових стрижнів застосовують при виготовленні нескладних по конфігурації стрижнів для потреб серійного і масового виробництва.

До переваг способу лиття до оболонкових форм відносяться підвищена точність розмірів і висока якість поверхні відливків як з кольорових, так і чорних стопів. В напрямках, що не перетинають рознім форми, досягається точність, що відповідає 11-16-го квалітетам, а шорсткість поверхні відливків в межах Ra 1,6-12,5 мкм при високій якості оснащення, оптимальних складах формувальної суміші і режимах виготовлення форм. Відмінна заповнюваність оболонкових форм розтопом дозволяє отримувати складні відливки з товщиною стінок в окремих випадках 1,5-2 мм.

Нетривалість циклу виготовлення оболонкових форм та стрижнів створює найбільш сприятливі умови для комплексної механізації і автоматизації процесу. Маса оболонкових форм в середньому дорівнює масі відливків, що одержуються, тобто в 5-10 разів менше, ніж маса піщано-глинястих форм. Внаслідок цього заміна піщано-глинястих форм оболонковими призводить не тільки до підвищення якості відливків, але і до скорочення потреби у виробничих площах, устаткуванні, транспортних операціях, а також покращує умови праці. Особливо ефективно використання оболонкових стрижнів, які застосовують при литті в кокіль, в піщано-глинисті, піщано-рідкоскляні та інші форми. У порівнянні зі звичайним піщаним стрижнем оболонковий стрижень легше і міцніше, причому набуває високу міцність до виймання зі стрижневого ящика, тому має точні розміри і не потребує додаткового зміцнення металевими каркасами.

Застосування лиття в оболонкові форми обмежується дорожнечою і складністю виготовлення модельного оснащення, а також високою вартістю формувальних матеріалів (збагачених кварцових, цирконових пісків) і особливо зв'язувальних (феноло-формальдегідних смол). Тому метод лиття в оболонкові форми широко застосовують у багатосерійному і масовому виробництві переважно дрібних (до 10-15 кг), складних за формою і тонкостінних деталей, наприклад ребристих циліндрів для мотоциклів і малолітражних автомобілів, колінчастих валів для автомобілів і тракторів, зубчастих коліс, сталевих зірочок для сільськогосподарських машин тощо.

2.4.5 Відцентрове лиття заготовок

Відцентровим литтям називають спосіб виготовлення відливків, при якому залитий у форму розтоп піддається дії відцентрових сил. Відцентрові сили виникають в розтопі при заливанні його у обертову форму чи в результаті приведення в обертальний рух вже заповненої металом форми (метод центрифугування). Зазвичай розтоп піддається дії відцентрових сил

як в період заповнення форми, так і кристалізації аж до повного затвердіння відливка. Процес реалізується на спеціальних відцентрових машинах і столах [1, 10, 20, 38, 40, 49, 58].

Найбільш поширені два варіанти використання способу – розтоп заливається до форми з горизонтальною або вертикальною віссю обертання (рис. 2.21). У першому випадку отримують тіла обертання малої та великої довжини, у другому – тіла обертання малої довжини і фасонні відливки. Також вісь обертання форми в процесі отримання відливок може бути похилою або переміщуватися у просторі. Таку схему використовують переважно для лиття труб та трубних заготовок.

Особливістю водопровідних і каналізаційних труб і трубних заготовок як ливарних деталей є велика їх довжина в порівнянні з діаметром, що впливає на конструкцію відцентрової машини (рис. 2.22). Для рівномірного розподілу розтопу по всій довжині виливниці 1 необхідно або переміщати її на спеціальному візку 7 по рейковій колії б в напрямку вздовж жолоба 4 (рис. 2.22, а), або висувати у протилежному напрямку жолоб 4, введений на повну глибину в порожнину виливниці 1 (рис. 2.22, б). Здійснюватися це може за допомогою, наприклад, гвинтового приводу 12. Установка машини з ухилом 3-5° убік розтруба відливка сприяє кращому стіканню металу з жолоба і розподілу його по довжині виливниці. Для інтенсифікації охолодження виливниці в зазор між нею і корпусом 2 подається вода. У корпусі передбачені роликові опори 3 для визначення положення виливниці у просторі при обертанні.

Обертання виливниці здійснюється за допомогою електродвигуна 9 та системи шестерень 10. У багатьох випадках для цього може бути використана клинопасова передача. Для формування фланцю і розтрубу використовують стрижень 8 із піщаних або керамічних сумішей.

Швидкість обертання форми залежить від діаметра відливка та густини розтопу і може бути розрахована за формулою [38, 49]:

$$n = \frac{5520}{\sqrt{\rho \cdot r}} (x\text{в}^{-1}), \quad (2.1)$$

де 5520 – емпіричний коефіцієнт;

ρ – густина розтопу, г/см³;

r – внутрішній радіус відливка, см.

Чавунні труби відливають відцентровим способом в металеві форми, також футеровані формувальної сумішшю. При цьому металева форма служить довгий час, оскільки безпосередньо не контактує з розтопленим металом, крім того, відпадає необхідність у відпалі відливок, якому піддають труби, відлиті в металеві форми, для зняття внутрішніх напружень та усунення вибілу. Але такий спосіб має недолік, пов'язаний з необхідністю очищення відливка від формувальної суміші та передбачує додаткову операцію підготовки форми до лиття.

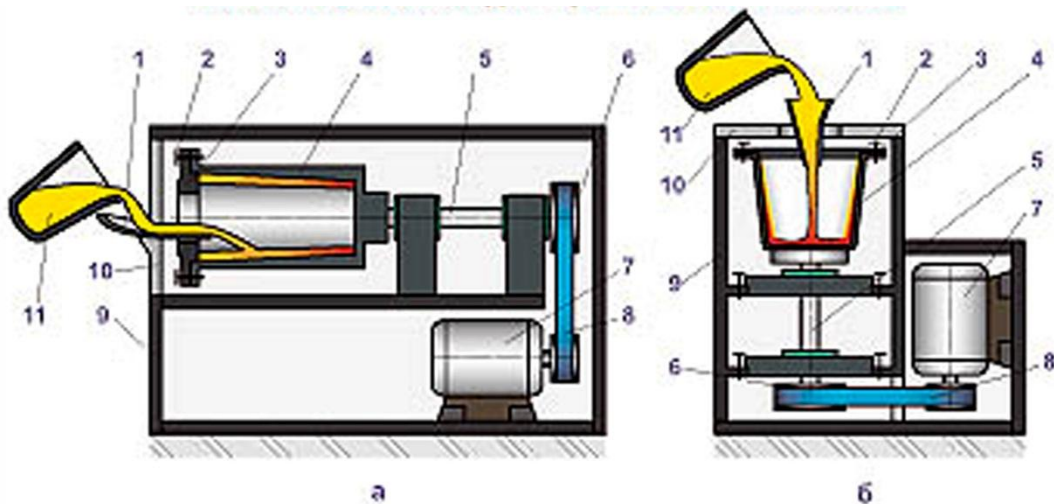


Рисунок 2.21 – Технологічні операції виготовлення відливків відцентровим литтям до форм з горизонтальною (а) та вертикальною (б) віссю обертання

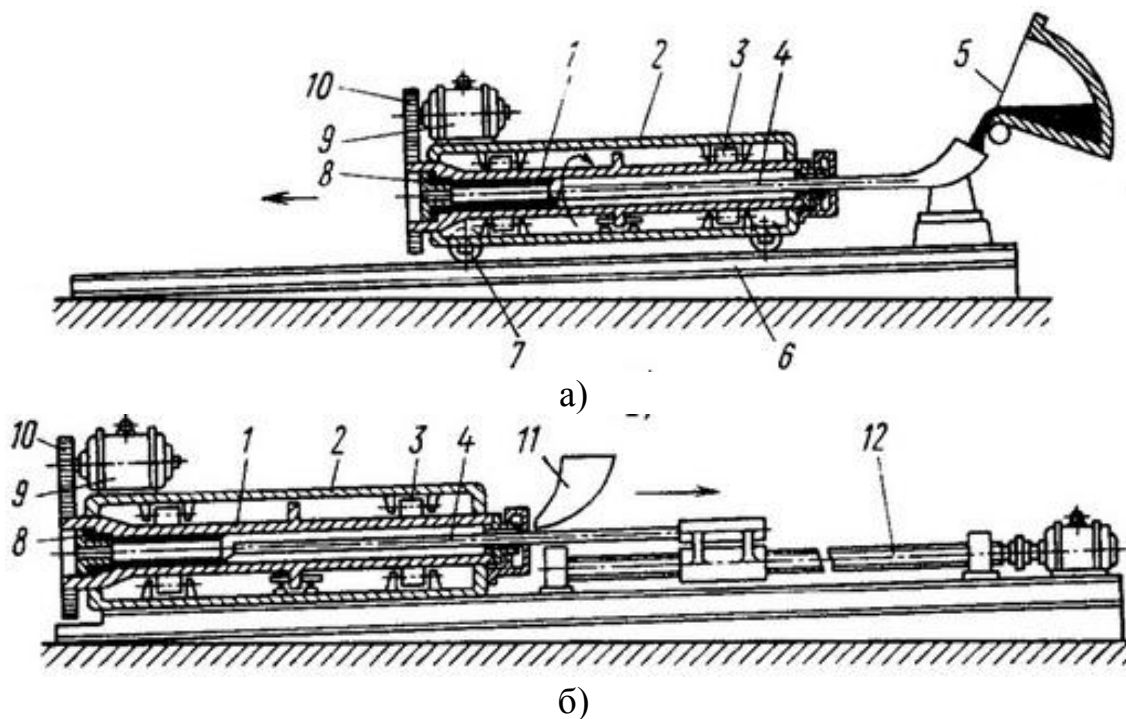


Рисунок 2.22 – Схеми відцентрових труболиварних машин з переміщуваною виливницею (а) та переміщуваним жолобом (б)

Розглянуті вище схеми ливарних машин мають невеликий кут нахилу. Існують машини з більшим кутом нахилу (до 45°), які використовуються для виробництва деталей і заготовок значно меншої довжини ніж труби (до 1 м). Прикладом може служити відцентрова машина для лиття порожнистих магнетитових анодів з товстою стінкою, що використовуються у електрохімічних процесах у водних середовищах (рис. 2.23) [59].

Ливарна форма являє собою циліндричний корпус з жароміцної сталі 4, який футерований вогнетривким матеріалом 6. Корпус пропускають че-

рез індуктор 3 і уставляють в план-шайбу 2 приводу відцентрової машини 1 з похилою віссю обертання ($\alpha \leq 40^\circ$). Нагрівання форми здійснюють до $600-650^\circ\text{C}$ за допомогою індуктора 3 струмами високої частоти – зовнішнє, та газовим пальником (на рис. не показана) – внутрішнє. Температуру контролюють термопарою 7.

У нагріту форму заливають рідкий магнетит з розливного ковша 5 при вийнятій термопарі. При обертанні корпусу розтоп рівномірно розподіляється по стінці форми, утворюючи зовнішню чисто магнетитову поверхню анода. У порожнині діаметром d утворюється ливарна кірка 8 з домішок, що підлягає видаленню як правило піскодувним способом.

Після утворення кірки у порожнину вводять термопару, яка поєднана з індуктором і працює з ним в автоматичному режимі. Так здійснюється контроль охолодження відливка.

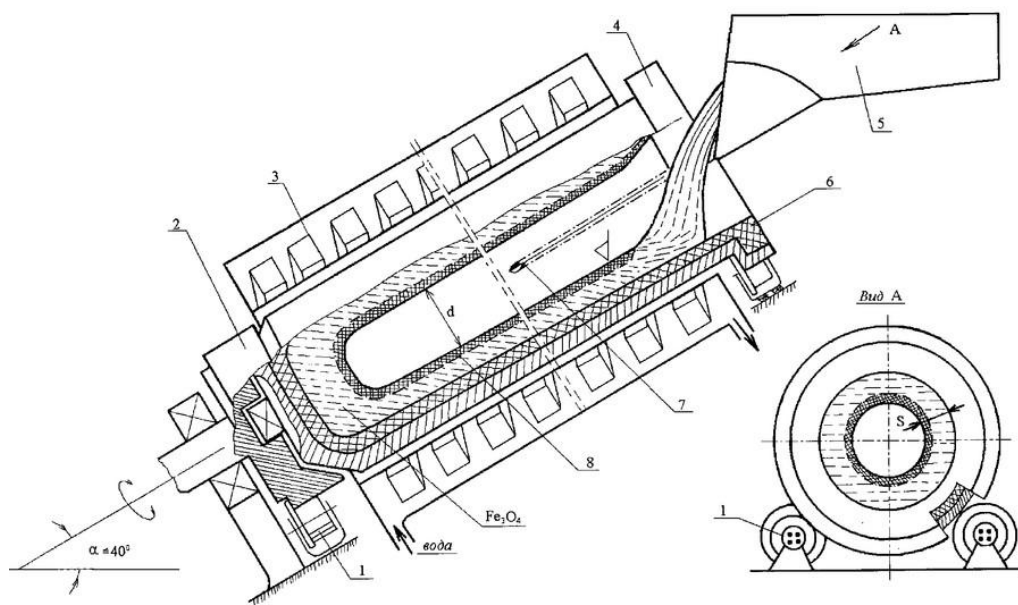


Рисунок 2.23 – Схема лиття магнетитових анодів на відцентровій машині з похилою віссю обертання

В процесі відцентрового лиття усі гази та неметалеві включення (шлак, оксиди тощо), як більш легкі, відтісняються розтопом до внутрішньої поверхні відливка і збираються на поверхні, звідки їх видаляють механічним обробленням або іншими способами очищення. Тому на внутрішню поверхню призначають більші припуски на оброблення різанням. Слід звернути увагу на те, що для довгих відливоків припуск на оброблення внутрішньої поверхні зростає із збільшенням їх діаметру і зменшується із збільшенням довжини.

Відцентровим способом отримують відливки з чавуну, сталі та з кольорових стопів (алюмінію, цинку, міді, титану та ін.) у масовому, серійному та навіть одиничному виробництві для виготовлення простих за формою, циліндричних, багатощарових, а також видовжених заготовок. Маса відливоків варіюється від декількох кілограмів до декількох десятків тон.

Спосіб дозволяє отримати тонкостінні відливки зі стопів з низькою плинністю, які проблематично отримати багатьма іншими способами лиття.

Відцентрове лиття застосовують також для отримання біметалевих та поліметалевих виробів з композицій типу сталь-бронза, чавун-бронза, сталь-чавун, сталь-сталь (різних марок), бронза-сталь-бронза тощо. Це досягається по черговим заливанням до форми різних стопів.

Технологія відцентрового лиття забезпечує цілу низку переваг, часто недосяжних при інших способах, наприклад:

- висока точність форми та розмірів відливок;
- дрібнозерниста структура і підвищені механічні властивості відливок;
- менша забрудненість неметалевими включеннями і газами, оскільки останні витісняються до центру обертання і згодом видаляються механічним обробленням;
- відсутність ливникової системи, завдяки чому досягається велика економія металу;
- можливість виготовлення багатошарових та більш тонкостінних відливок зі стопів, що володіють низькою рідкоплинністю;
- придатність до механізації та організації гнучких виробництв.

До недоліків цього способу лиття належать низька якість внутрішньої поверхні, що вимагає збільшення припуску на механічне оброблення, обмежена конфігурація відливок, підвищена схильність до ліквації під впливом відцентрових сил у стопах, схильних до неї, підвищені вимоги до міцності ливарних форм тощо.

2.4.6 Штампування рідкого металу

Недоліки та особливості лиття під тиском стали передумовами для розроблення нового технологічного процесу, який можна віднести до різновиду зазначеного способу, – штампування рідкого металу. Цей процес дозволяє значною мірою компенсувати зіступ розтопу при кристалізації завдяки зменшенню об'єму порожнини форми.

Виготовлення заготовок може відбуватися двома способами: з кристалізацією під тиском і штампуванням з витискуванням рідкого металу (рис. 2.24). У першому випадку порцію рідкого стопу заливають у нероз'ємну або роз'ємну металеву форму (матрицю), досить міцну, щоб витримати тиск, що передається на відливок пуансоном. При цьому основна маса металу не переміщується відносно стінок матриці (рис. 2.24, а). За допомогою пуансону створюється тиск до 30 МПа і більше, під дією якого відбувається пластична деформація кристалічної коринки і зменшення об'єму порожнини форми. Високі швидкості кристалізації розтопу в металевій формі сприяють подрібненню структури. Такі відливки мають механічні властивості однакові з виковками [17, 20, 38, 58].

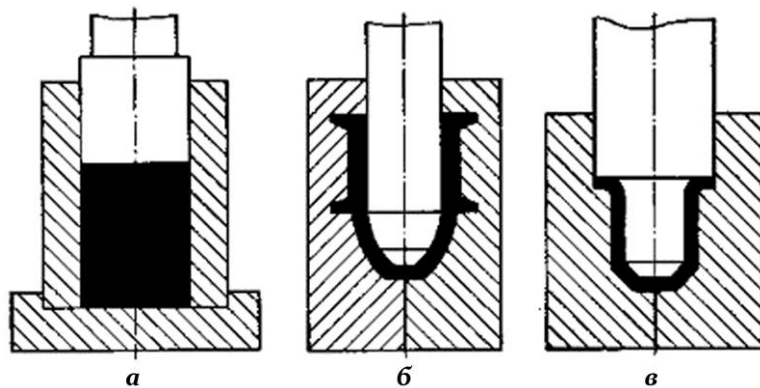


Рисунок 2.24 – Схема кристалізації під тиском поринню (а) і штампуванні із розтопу у закритій (б) та відкритій (в) формах

Кристалізацію під тиском застосовують для виготовлення зливків, фасонних відливок простої та складної конфігурації з товщиною стінок від 2 до 100 мм з мідних, алюмінієвих, цинкових, магнієвих сплавів, чавуну та сталі. При виготовленні заготовок з чавуну та сталей додатково забезпечують тепловий захист поверхонь форми та регулювання швидкості охолодження чавунних відливок, щоб запобігти їх відбілюванню. Для цього поверхні форми покривають спеціальними сумішами.

В іншому випадку рідкий метал витискається пуансоном з одних частин матриці в інші (рис. 2.24, б, в). Але в обох випадках відливки кристалізується під високим тиском. Тут розтоп заливають до певного рівня і потім занурюють у розтоп пуансон, який вичавлює його у порожнину форми. Тиск на пуансон використовується для ущільнення кристалічного відливка і заповнення форми.

Швидкість штампування залежить від температури розтопу, товщини стінок відливка та його форми. Для простішої форми та товстих стінок потрібна менша швидкість штампування. Тонкостінні відливки складної форми великих розмірів вимагають більшої швидкості штампування. Від товщини стінок також залежить і час витримування відливка під тиском.

Метод штампування з розтопу використовують для одержання відливок з відкритою порожниною або отвором і складним зовнішнім контуром у серійному і масовому виробництві. Залежно від конфігурації відливок штампування з розтопу виконують у закритих або відкритих формах. Разом із точністю дозування розтопу це також впливає на точність заготовки. При штампуванні в закритій формі відливки можуть мати різну товщину дна, у відкритій формі всі внутрішні поздовжні розміри можуть бути неточними, а також має місце неповне заповнення форми.

Процес штампування з розтопу і кристалізації під тиском зазвичай здійснюють на гідравлічних пресах.

Переваги та недоліки цього способу лиття прийнято визначати у порівнянні з литтям під тиском та гарячим об'ємним штампуванням.

Важливою перевагою способу є відсутність ливникової системи та додатку, яка зумовлена тим, що метал заливається безпосередньо у матри-

цю. На відміну від лиття під тиском, під час штампування рідкого металу заповнення форми відбувається спокійно, гази безперешкодно виходять на поверхню, і тому відсутні газові свищі. Оскільки процес штампування рідкого металу виконується під вищим тиском у порівнянні з литтям під тиском, тому метал добре ущільнюється, краще усуваються ливарні дефекти, структура металу більш дрібнозерниста та рівномірна, він набуває ліпших механічних властивостей, має вищу стійкість форми, що дає змогу виготовляти як тонкостінні, так і товстостінні заготовки з усіх ливарних стопів. У порівнянні з литтям до піщано-глинястих форм ці відливки мають міцність вищу у 2-4 рази та високу ударну в'язкість.

Порівняно з гарячим штампуванням металів штампуванням рідкого металу можна виготовляти заготовки як з деформовуваних, так і з недеформовуваних, малопластичних і крихких стопів. При цьому процеси відбуваються із значно меншими (у 6-8 разів) витратами енергії на формоутворення. Окрім цього забезпечується можливість отримання глибоких порожнин та тонких перетинів з великими лінійними розмірами, підвищується точність форми та розмірів і якість поверхні. Спосіб дає змогу зменшити витрати матеріалу та знизити трудомісткість виготовлення, легко автоматизується та придатний для побудови гнучких автоматизованих систем.

Основними недоліками способу, що розглядається, є обмеження номенклатури відливок за масою та складністю конфігурації, потреба у точному дозуванні розтопленого металу, а також складність і висока вартість основного устаткування.

2.4.7 Електрожужільне лиття

Електрожужільне лиття – спосіб виробництва високоякісних фасонних відливок зі службовими властивостями матеріалу заготовки відповідними, а іноді переважаючими властивості кованого металу. При цьому, литий електрожужільний метал має цілком ізотропні показники фізико-механічних властивостей вздовж, упоперек і між кристалами. При електрожужільному литті топлення металу, заповнення ним ливарної форми і кристалізація відливка проходять безперервно й одночасно [17, 20, 60].

Електрожужільне лиття, як технологічний процес, включаючи теоретичні основи, технологію, обладнання та оснащення для реалізації процесу був розроблений у середині 60-х років минулого століття в Україні, в Інституті електрозварювання ім. Е.О. Патона НАН України і дуже швидко знайшов використання у технічно розвинених країнах таких як США, Японія, Німеччина тощо. Передумовами відкриття способу стало вивчення процесів, що відбуваються під час дугового зварювання металевим електродом під шаром флюсу. У процесі зварювання дуга іноді згасала, і замість шва створювалось щось на зразок відливка, який був відділений від зварюваного металу шаром жужільного гарнісажу. Фахівці звернули увагу на

високу якість литого металу шва і прийшли до висновку, що за допомогою електрошлакового процесу, шляхом перетоплення електроду, можна отримувати високоякісний метал [61].

Відливок отримують перетоплюванням електродів з металу необхідного хімічного складу. Джерелом теплоти при електрожужільному литті є жужільна ванна, яка нагрівається електричним струмом, що проходить через неї (рис. 2.25) [38, 40, 49].

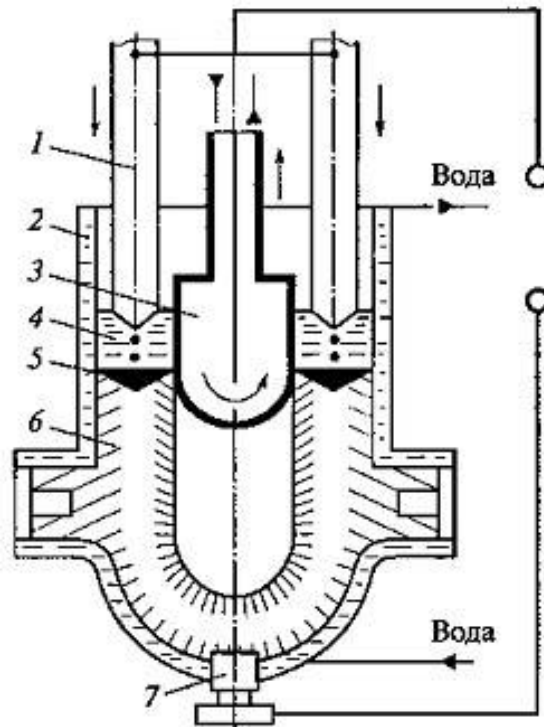


Рисунок 2.25 – Технологічна схема електрожужільного лиття

На початку процесу до водоохолоджувального мідного кристалізатору 2 заливають попередньо розтопленій жужіль спеціального складу. Електричний струм підводиться до перетоплюваних електродів 1 і затравки 7 в нижній частині кристалізатора 2. Оскільки жужільна ванна має малу електропровідність, при проходженні через неї електричного струму виділяється велика кількість тепла. Це дозволяє нагріти жужільну ванну до 1700°C і вище. При цьому занурені в неї кінці електродів оплавляються. Краплі розтопленого металу проходять через жужільну ванну 4, збираються в зоні кристалізації, утворюючи під шаром жужіля ванну металевого розтопу 5. Металева ванна безперервно поповнюється у верхній частині розтопом від електродів, що розтоплюються, і послідовно твердне в нижній частині внаслідок відводу теплоти через стінки кристалізатора. При отриманні відливка б електроди по мірі їх оплавлення і твердіння відливка поступово опускаються вниз. Для утворення порожнини у відливка використовують водоохолоджуваний металевий стрижень 3, що переміщається догори. Таким чином, ливарна форма (кристалізатор) з одного боку здійснює формування поверхні відливка, з іншого боку, є плавильним агрегатом.

Хімічний склад матеріалу відливка майже відповідає за хімічним складом електроду, який перетоплюється, що обумовлено перебігом процесу топлення без доступу кисню – під жузелем. У якості електродів зазвичай використовують прокат, заготовки горизонтального безперервного лиття, відливки отримані відцентровим литтям або литтям у кокіль, хімічний склад яких відповідає вимогам до відливання. У процесі топлення можливе незначне легування елементів. Поверхня електродів має бути очищена від мастила, іржі, окалини та інших забруднень.

У якості флюсів зазвичай використовують фтористоокисні системи. Зокрема, найпростіший флюс АНФ-1П (100% CaF_2), хороші рафінувальні властивості по відношенню до водню має флюс АНФ-6 (70% CaF_2 + 30% Al_2O_3). До флюсу ставляться такі вимоги: він повинен мати низьку в'язкість в розтопленому стані і бути хімічно активним до шкідливих домішок і неметалічних включень [61].

Тонкий шар шлаку (з низькою теплопровідністю) між кристалізатором і рідким металом, високий градієнт температур в осьовому напрямку створюють умови формування у відливка стовпчастих кристалів, які безперервно підживлюються рідким металом на протязі всього процесу кристалізації. Це виключає можливість утворення зіступних дефектів і ліквациї. Особливості формоутворення відливка роблять позитивний вплив на фізико-механічні характеристики матеріалу заготовки.

Практичний досвід показує, що процес електрожужільного лиття з економічної точки зору доцільно використовувати для отримання відливок відповідального призначення з високими механічними властивостями зі спеціальних сталей і сплавів, до яких пред'являються підвищені вимоги по герметичності і гідроциліндрності, наприклад, корпуси запірної та регулюючої арматури атомних, теплових електростанцій, трубопроводів високого тиску, посудини високого тиску, колінчаті вали тощо. Маса відливок може досягати 300 т і вище.

Виробництво відливок електрожужільним способом в Україні здійснює ДП «Дослідний завод спецеелектрометалургії ІЕЗ ім. Е.О. Патона» НАН України.

Перевагами даного способу лиття можна назвати високу якість литого металу та його поверхні, високий вихід годного, відсутність ливникових систем та додатків, суттєве зниження трудомісткості процесу за рахунок відсутності необхідності виготовлення формувальних та стрижневих сумішей, а операції розтоплення металу, його заливання та витримка відливка у формі суміщаються за містом і часом, значно менші виробничі площі та ліпші умови праці, можливість виготовлення складних відливок високої якості, можливість автоматизації технологічних операцій та управління якістю відливка. Таким чином, область застосування процесу електрожужільного лиття достатньо широка – від великогабаритних відливок у одиничному виробництві до середніх і дрібних у серійному та масовому.

До недоліків можна віднести складність і високу вартість устаткування та технологічного оснащення, а також невеликий перелік матеріалів, що використовуються для отримання відливок.

2.4.8 Лиття витисканням

Лиття витисканням застосовують для отримання тонкостінних великогабаритних відливок типу панелей та корпусних деталей (оболонки) переважно із алюмінієвих та магнієвих сплавів. Спосіб широко поширений при виготовленні відливок ребристих панелей, корпусів і кришок, деталей авіабудування з товщиною стінки до 1,5-2,0 мм при їхніх габаритних розмірах до 2000-3000 мм. Вироби, що зібрані з литих панелей, за техніко-економічними показниками вигідно відрізняються від виробів, виготовлених методом штампування з листового прокату і пресованих профілів. Міцність конструкцій, які зібрані з литих панелей, не поступається міцності конструкцій зі штампованих листів. А у низці випадків заміна конструкції з пресованих або штампованих профілів на литу дозволяє зменшити масу виробу.

Особливість процесу полягає в тому, що геометричні розміри порожнини ливарної форми змінюються в міру заповнення розтопом і твердіння відливка (рис. 2.26, 2.27). Це дозволяє зменшувати теплові втрати розтопу, заповнювати форми тонкостінних великогабаритних відливок, компенсувати зіступ відливка шляхом зменшення його об'єму при кристалізації [17, 20, 38, 49].

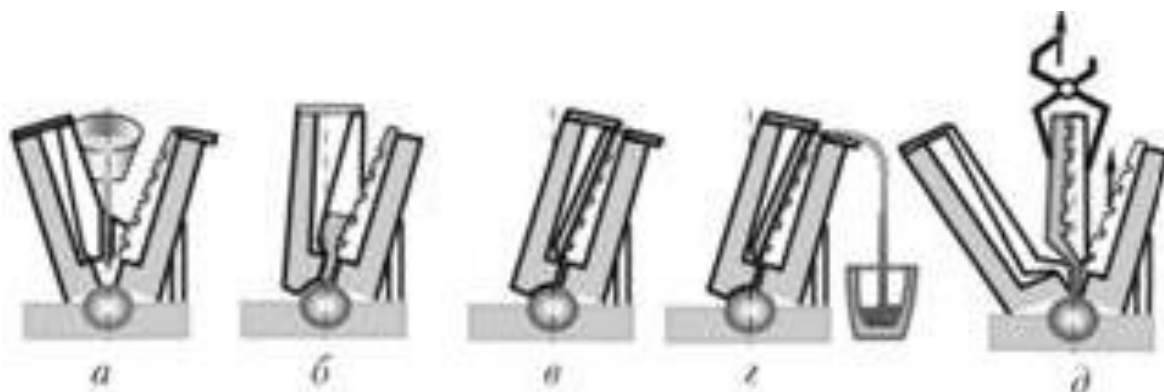


Рисунок 2.26 – Схема виготовлення відливок литтям витисканням з поворотом рухомої ступки

Після підготовки і складання форми (із закриттям бічних щік) розтоп заливають у нижню частину (металоприймач) ливарно-витискної машини (рис. 2.26, а). Потім ступки з півформами (піщано-глинистими, металевими, керамічними тощо) зближують, і розтоп піднімається, заповнюючи порожнину між ними і бічними стінками, що закривають торці (рис. 2.26, б). У початковий момент зближення конфігурація обсягу розтопу така, що втрати ним теплоти у формі мінімальні. У момент закінчення зближення відстань між півформами відповідає товщині тіла відливка (рис. 2.26, в), а рух надлишку розтопу, що зливається з установки в приймальний ківш (рис. 2.26, г), сприяє зменшенню втрат теплоти і гарному заповненню форми. Після кристалізації і твердіння відливка рухли-

ву ступку з півформою повертають у вихідне положення, а відливки витягують з установки (рис. 2.26, д). Під час лиття стоп очищується від газових і шлакових домішок, які виштовхуються у верхню частину форми та виносяться за її межі з рештками металу.

Процес може бути здійснений за двома схемами: з поворотом рухомої ступки навколо нерухомої осі (див. рис. 2.26) і пласкопаралельним переміщенням однієї з двох рухомих ступок (див. рис. 2.27).

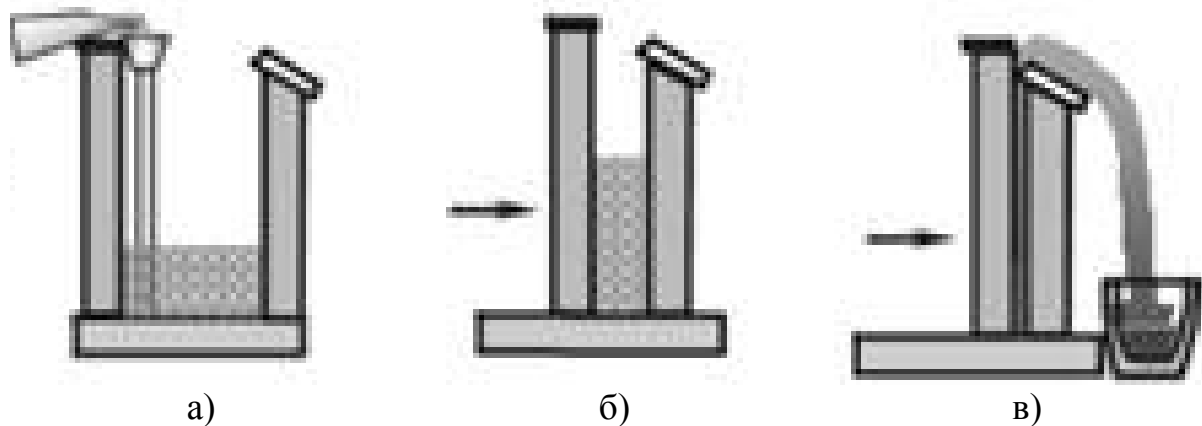


Рисунок 2.27 – Схема виготовлення відливоків литтям витискуванням з пласкопаралельним переміщенням рухомої ступки

Для зменшення тривалості тверднення відливка перебіг технологічного процесу лиття може бути поєднаний зі способом лиття під тиском. Тобто кристалізація розтопу відбувається під дією надлишкового тиску у формі. Це може бути тиск, який створений за рахунок механічної дії на розтоп, а також за допомогою газодинамічного діяння на розтоп у ливарній формі. Окрім зазначеного ефекту використання надлишкового тиску при литті витискуванням призводить до підвищення механічних властивостей відливка та зниженню кількості дефектів газозіступного походження [62, 63].

Відливання виконують у піщані та піщано-глинясті форми, металеві форми, а також у комбіновані форми. Для отримання внутрішніх порожнин найчастіше використовують піщано-глинясті та оболонкові стрижні. Окрім цього, ливарну установку оснащують пристроями для регулювання положення стрижнів і ливарних форм при складанні для досягнення необхідної точності відливоків.

Перевагами цього способу лиття є можливість отримання великобаритних, тонкостінних, ребристих відливоків з мінімальними припусками на оброблення різанням, відсутність ливникової системи та низька трудомісткість виготовлення. До недоліків відносяться: здатність відливоків до жолоблення і появи тріщин, невелика точність розмірів відливоків (у порівнянні з литтям до металевих форм), обмежена номенклатура матеріалів, що застосовуються та низький вихід годного лиття (25-50 %).

2.4.9 Лиття по моделям, що отримані методом лазерної стереолітографії

Сучасний розвиток комп'ютерної техніки і технологій відкриває нові можливості для створення принципово нових технологічних процесів у металургії і машинобудуванні. Потужна обчислювальна техніка, що здатна оперувати тримірними об'єктами, а також опанування пучкових (у тім числі і лазерних) технологій оброблення матеріалів дали поштовх для розвитку технологій пошарового виготовлення тримірних об'єктів практично будь-якого рівня складності і з великою точністю. Одним із напрямків даної технології є застосування полімеризації, яка фотоініційована лазерним випромінюванням або випромінюванням люмінесцентних чи ртутних ламп зазвичай ближнього ультрафіолетового діапазону (320-360 нм). Цей спосіб отримав назву «лазерної стереолітографії» (Laser Stereolithography).

Стереолітографія полягає у локальному змінненні фазового стану однорідного середовища (перехід «рідина-тверде тіло») у результаті фотоініційованої у заданому об'ємі полімеризації. У самій своїй суті цей процес полягає у створенні за допомогою ініційованого (наприклад, лазерного) випромінювання в рідкому реакційно-спроможному середовищі активних центрів (радикалів, іонів тощо). Своєю взаємодією з молекулами мономеру вони спричиняють ріст полімерних ланцюгів, тобто процес полімеризації, внаслідок якого відбувається зміна фазового стану середовища – в обробленій області утворюється твердий полімер [64].

Технологічний процес лиття дуже схожий на лиття по моделям, що витоплюються. Різниця полягає в отриманні самої моделі. За допомогою систем САД у форматі *.stl* створюється комп'ютерна модель майбутнього відливка (рис. 2.28, а), яка далі розбивається на тонкі шари (100-200 мкм) (рис. 2.28, б). Розраховується траєкторія руху лазерного променя (рис. 2.28, в) і на лазерній стереолітографічній установці ці шари реально відтворюються і з'єднуються воедино. Таким чином виготовляється майстер-модель із фотополімеру для лиття по моделям, що витоплюються.

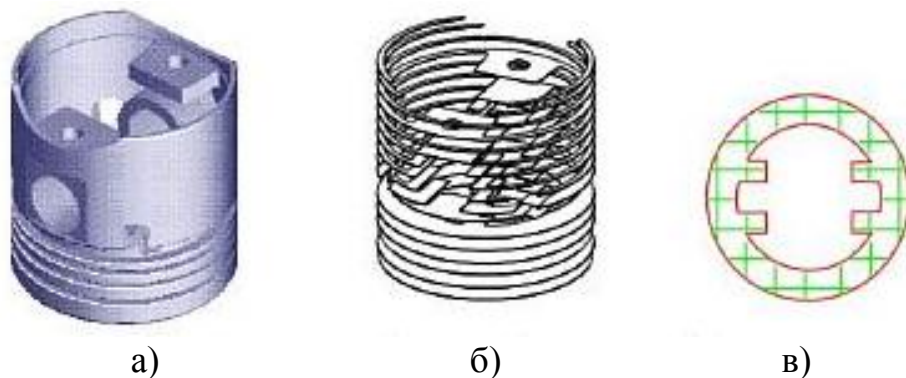


Рисунок 2.28 – Послідовність підготовки керуючої програми для установки лазерної стереолітографії

Стереолітографічна машина (рис. 2.29) складається з резервуара з рідким фотополімером 1, з рухомої горизонтально розташованої платформи 2, яка знаходиться в цьому резервуарі, а також з лазера 3, який переносить інформацію про шари безпосередньо на поверхню фотополімера через систему сканування 4, керування якою відбувається від комп'ютера [38, 49, 64].

Лазер 3 є основним робочим елементом стереолітографії, який послідовно «викреслює» переріз 5 об'єкта на поверхні ємності зі світлочутливою смолою. Рідкий фотополімер твердне тільки там, де його торкається лазерний промінь 6. Рухома платформа 2, на якій «вирощується» деталь 7, встановлюється нижче поверхні фотополімеризної композиції (ФПК) на відстані, рівній товщині першого шару. На поверхні ФПК формується зображення, відповідне першому перерізу об'єкта. На опроміненій області утворюється плівка твердого полімеру. Після формування першого шару, механізм позиціонування 8 опускає платформу 2 на відстань, яка дорівнює товщині наступного шару. Новий шар матеріалу наноситься на отверділу поверхню, і на поверхні ФПК відтворюється зображення, відповідне другому перерізу деталі. Далі платформа 2 переміщується на відстань, рівну товщині наступного шару і процес повторюється автоматично до повної побудови деталі. Контроль положення платформи 2 здійснюється датчиком 9 товщини шару.

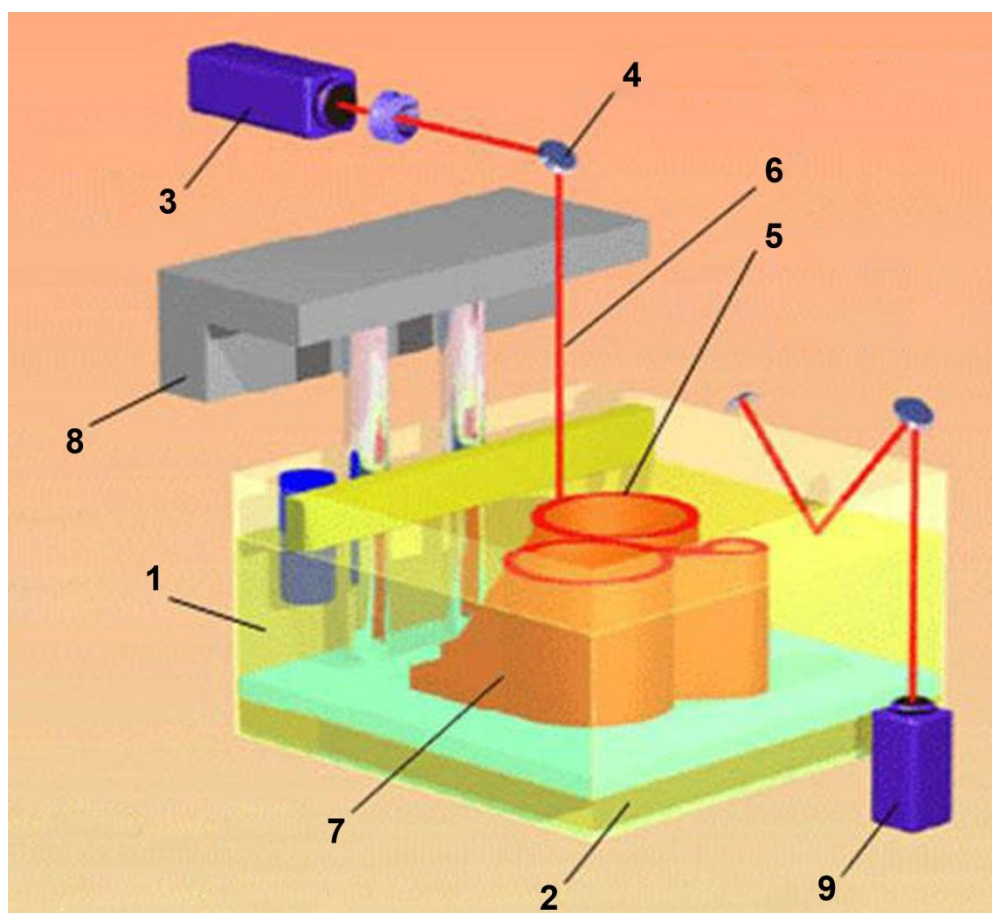


Рисунок 2.29 – Схема виготовлення тримірних моделей об'єктів методом лазерної стереолітографії

Після завершення формування останнього (верхнього) шару, платформа 2 піднімається на поверхню ФПК, пошарово вирошена деталь знімається з платформи, з поверхні деталі видаляються залишки рідкої фотополімерної композиції і деталь сушиться.

Отримана модель з ливниковою системою формується в гіпсодинасовій суміші. Форму прожарюють до повного видалення майстер-моделі. Для забезпечення високої якості відливоків заливання форм може відбуватися на установці для відцентрового лиття. Потім форму руйнують, відділяється ливникова система, проводиться зачищення деталей.

Серед основних переваг процесу можна виділити різке (у 5-10 разів) скорочення часу на розробку і впровадження нових виробів, значне скорочення часу та коштів на технологічну підготовку виробництва, повне виключення ручної праці при виготовленні майстер-моделі, а також виготовлення складних деталей (моделей) і оснащення, спроектованих в різних САПР та досягнення високої точності виливків, що виготовляються.

Необхідно зазначити, що процес виготовлення відливоків повністю сумісний з технологією лиття металевих деталей по моделям, що витоплюються або випаляються, зі стандартним виробничим процесом. Матеріалом відливка можуть бути будь-які метали і стопи.

2.5 Дефекти відливоків та їх виправлення

На якість відливоків впливають такі фактори як температура рідкого стопу, час заповнення порожнини форми рідким металом ступінь заповнення ливникової системи, висота струменя, якість ливарної форми тощо.

Бракованим називають такий відливок, який має хоча б один неприпустимий за технічними умовами дефект. Дефекти можуть бути за невідповідністю мікроструктури, хімічного складу, фізичних і механічних властивостей. Відповідно до ГОСТ 19200-80 прийнята класифікація дефектів відливоків складається з чотирьох груп. Група I – невідповідність по геометрії (недолив, різностінність, перекид, вилом тощо). Група II – дефекти поверхні (пригар, **ужиміна**, нарід, рубчик та ін.). Група III – несцільності у тілі відливка (зіступні свищі, газові свищі, шпаристість, **утяжіни** тощо). Група IV – різні вкраплення (неметалеві, металеві та корольок) [10, 65, 66].

Причин виникнення браку дуже багато: некондиційні вихідні формувальні матеріали; погана якість шихти для топлення металу; невдала конструкція деталі (деталь не технологічна); невдала конструкція ливникової системи і погано продумана ливарна технологія; низька якість форм і стрижнів; слабкий технологічний контроль тощо. Зовнішні дефекти відливоків виявляються зовнішнім оглядом після виймання відливка з форми або після очищення. Внутрішні дефекти виявляють радіографічними або ультразвуковими методами дефектоскопії. Тріщини виявляють люмінесцентним контролем, магнітною або кольоровою дефектоскопією [20, 40, 66].

Дефекти відливків в основному виправляють зварюванням: гаряче дугове зварювання чавунними електродами, гаряче газове зварювання з чавунною присадкою, низькотемпературне газове зварювання (лутування з чавунною присадкою), холодне дугове зварювання сталевими електродами, газове лутування припоями з кольорових металів та ін.

Натоплювання і зварювання застосовуються для виправлення дефектів (свищі, наскрізні отвори, тріщини) у відливках, призначених для великих навантажень.

Незначні дефекти виправляють закладенням замазками або мастиками, просоченням всілякими сполуками, а також газовим або електричним зварюванням.

Закладення замазками або мастиками – декоративне виправлення дрібних поверхневих свищів. Перед заповненням мастикою дефектні місця очищають від бруду, знежирюють. Після заповнення виправлене місце загладжують, підсушують і затирають пемзою або графітом.

Просочування застосовують для усунення шпаристості. Відливки на 8-12 годин занурюють у водний розчин хлористого амонію. Проникаючи в проміжки між кристалами металу, розчин утворює окисні, які заповнюють пори відливків.

Для усунення течі відливки з кольорових металів просочують бакелітовим лаком.

Низка відповідальних відливків загального машинобудування (головки, блоки, гільзи циліндрів тощо) має спеціально розроблені стандарти, в яких встановлені допустимі норми по дефектності відливків, вказані механічні властивості металу і вимоги, що пред'являються до його структури, а також надано рекомендації щодо набору методів контролю. Та найвищу якість відливків, як і заготовок взагалі, можна забезпечити не виправленням дефектів, а шляхом усунення їх причин.

2.6 Термічне оброблення відливків

Термічне оброблення відливків застосовують для зняття внутрішніх напружень, що утворюються через нерівномірну кристалізацію окремих його елементів, вирівнювання, подрібнення і зміни їх структури з метою підвищення міцності, пластичності, твердості, їх експлуатаційної надійності, а також для поліпшення їх оброблюваності різальними інструментами. Для відливків, що підлягають подальшому обробленню тиском термічне оброблення дає змогу поліпшити їхню пластичність.

Термічне оброблення засновано на перетвореннях, що відбуваються в стопах у твердому стані при зміні температури. Будь-яке термічне оброблення складається з трьох основних операцій, що відбуваються одна за одною: нагрівання до певної температури, витримка при заданій температурі і охолодження з різною швидкістю до кімнатної температури [67-69].

Сталеві відливки, що піддаються подальшому обробленню різанням, відпалюють або нормалізують для поліпшення їх пластичності. Для вуглецевих і низьковуглецевих сталей рекомендуються такі види термічного оброблення: відпал – для відливок, схильних до утворення значних внутрішніх напружень; нормалізація – для простих відливок; нормалізація і відпуск – для відливок підвищеної і особливої якості, які не схильні до сильного коливання при прискореному охолодженні на повітрі. Нормалізація з відпусканням підвищує пластичні властивості і ударну в'язкість сталі.

Для значного поліпшення властивостей вуглецевої сталі (що містить більше 0,3% С) застосовують складне термічне оброблення: нормалізацію від 960°C, гартування у воді від 840°C, відпуск при 600°C. Така обробка рекомендується для відливок з товщиною стінки до 25 мм і повинна бути економічно обгрунтована, оскільки при цьому підвищується вартість відливок.

Для товстостінних відливок краще застосовувати нормалізацію з високим відпуском. Термічне оброблення впливає на механічні властивості тонкостінних виливків. Для відливок перетином більше 500 мм підвищується ударна в'язкість (у 1,5-2,0 рази). Тому для усунення внутрішніх напружень рекомендується замість відпалу проводити регульоване охолодження в ливарній формі. Для цього у форму поміщають плити з каналами. Спочатку охолоджують швидко до 620-650°C (подають в канали воду), а потім пропускають гарячі димові гази, щоб забезпечити витримку в області переходу пластичних деформацій в пружні при 620-650°C. Після вирівнювання температури по перетину відливка охолоджують до 550-600°C, а потім вибивають відливки з форми. Таке охолодження великих відливок скорочує тривалість оброблення у 1,5-2,0 рази.

Леговані сталі, крім відпалу і нормалізації, часто піддають гартуванню і відпуску та іншим видам термообробки.

Деякі легуючі елементи зменшують теплопровідність сталі, тому при нагріванні і охолодженні в легованих сталях утворюються великі внутрішні напруження. Швидкість нагрівання цих сталей повинна бути менше, ніж вуглецевої сталі. Деякі легуючі елементи зменшують швидкість дифузії, тому при термічному обробленні легованих сталей потрібно давати тривалі витримки, достатні для повного протікання дифузійних процесів, необхідних для вирівнювання хімічного складу.

Термооброблення чавунних відливок дозволяє отримати необхідну структуру металевої основи, підвищити ступінь графітизації, зняти внутрішні ливарні напруження, підвищити механічні властивості і зносостійкість, а також знизити твердість і поліпшити здатність до оброблення різанням. Застосовують наступні види термічного оброблення чавунних відливок.

Низькотемпературний відпал застосовують для зняття внутрішніх напружень. Температуру відпалу призначають в залежності від хімічного складу чавуну. Відливки з сірого чавуну зазвичай відпалюють при температурі 500-700°C; з високоміцного чавуну при 550-650°C; з низьколегованого чавуну при 570-600°C, а з високолегованого при 600-650°C. Тривалість витримки відливок при температурі відпалу залежить від розмірів

заготовки і її конфігурації і зазвичай становить 3-10 год. Складні відливки, відливки з великою різницею по товщині стінки відпалюють більш тривалий час. Після відпалу відливки охолоджують разом з піччю. Механічні властивості відливок при такій термообробці практично не змінюються.

Графітізуючий відпал застосовують зазвичай для зниження твердості і поліпшення оброблюваності різанням. Відливки нагрівають у печах до 680-750°C. При цьому відбувається графітізація і часткова сфероїдизація евтектоїдного цементу, що знижує твердість, покращує оброблюваність, але трохи зменшує міцність чавуну.

Високотемпературний відпал відливок проводять для графітізації первинних карбідів в вибіленому або половинчастому чавуні. Відливки нагрівають до 900-960°C, а потім повільно охолоджують до 300°C. У відливках утворюється перлітна структура, що відрізняється оптимальною твердістю і міцністю.

Нормалізацію застосовують для підвищення механічних властивостей і зносостійкості чавуну за рахунок поліпшення його структури і отримання перлітної металевої основи, а також для відливок, що мають феритну, феритно-перлітну або ледебуритно-перлітну структури. Відливки нагрівають до 850-950°C. При нормалізації феритного або феритно-перлітного чавуну частина графіту розчиняється в аустеніті і за рахунок цього кількість зв'язаного вуглецю збільшується.

При нормалізації вибіленого чавуну відбувається графітізація первинних карбідів. У відливках після охолодження на повітрі до температури 500°C утворюється перлітна структура. Для зниження напружень відливки нижче 500°C охолоджують повільно, разом з піччю.

Гартування і відпуск застосовують для відливок з сірих, високоміцних і ковких чавунів з метою підвищення міцності, твердості і зносостійкості. Відливки нагрівають до 880-930°C і охолоджують в маслі. Структура відливок – мартенсит. Потім проводять відпуск нагріванням до 400-600°C з подальшим охолодженням.

Відпуск відливок, що працюють на знос, проводять при температурі 250-300°C. Відливки з чавуну з кулястим графітом, що працюють на знос, піддають ізотермічному гартуванню.

Термічне оброблення відливок з кольорових металів і стопів виконується значно рідше, в основному з метою поліпшення їх фізико-механічних характеристик, іноді для зняття внутрішніх напружень.

Термічне оброблення відливок з алюмінієвих і магнієвих стопів є відповідальною операцією технологічного процесу. Застосовують кілька видів термічної обробки (табл. 2.7). Найбільш важливим видом термічної обробки для алюмінієвих відливок є старіння, зазвичай – штучне старіння, але дуже часто воно застосовується не як єдиний спосіб, а у комплексному поєднанні з іншими видами термічного оброблення [70, 71].

Конкретні режими термічного оброблення уточнюються для кожного алюмінієвого ливарного стопу окремо в залежності від способу виготовлення відливка і призначення готової деталі.

Таблиця 2.7 – Види термічного оброблення алюмінієвих відливок

Вид термічного оброблення	Умовне позначення термічного оброблення	Призначення
Штучне старіння без попереднього гартування	T1	Для поліпшення оброблюваності різанням литих деталей і підвищення механічної міцності
Відпал	T2	Для зняття ливарних і термічних напружень, наклепу і підвищення пластичності
Гартування	T3	Для застосування деталей у свіжезагартованому стані
Гартування і природне старіння	T4	Для підвищення міцнісних властивостей
Гартування і короткочасне старіння	T5	Для отримання досить високої міцності і підвищення пластичності
Гартування і повне штучне старіння	T6	Для отримання максимальних міцнісних властивостей
Гартування і стабілізуючий відпуск	T7	Для отримання достатньої міцності і стабільної структури
Гартування і пом'якшувальний відпуск	T8	Для отримання підвищеної пластичності за рахунок зниження міцнісних властивостей
Циклічне оброблення (холодом і подальшим нагріванням)	T9	Для отримання деталей з більш стійким станом по геометрії

Зазвичай, термічному обробленню піддаються відливки відразу після відливання, до проведення механічного оброблення. Проте у низці випадків проводиться попереднє механічне оброблення.

Для складних деталей іноді застосовується ступінчасте термічне оброблення: механічне оброблення розбивається на етапи, між якими проводиться зняття залишкових напружень. В результаті деталь отримує задані механічні властивості і максимально можливу точність.

Термічне оброблення магнієвих стопів має багато спільного з обробленням алюмінієвих стопів, що пояснюється відсутністю поліморфних перетворень в цих металах і близькістю температур топлення. Операція застосовується в основному з метою підвищення механічних властивостей відливок; в деяких випадках (для складних різностінних заготовок) – для зменшення внутрішніх напружень.

У табл. 2.8 наведені умовні позначення видів термічного оброблення виробів і напівфабрикатів з магнієвих стопів [69-71].

Ливарні магнієві стопи в основному піддають трьом видам термічного оброблення: відпалу (T2), загартуванню (T4) і загартуванню з наступним штучним старінням (T6). Витримка при загартуванні і старінні дається вище, ніж для алюмінієвих стопів, оскільки фазові перетворення відбуваються дуже повільно.

Таблиця 2.8 – Види термічного оброблення відливків з магнієвих сплавів

Вид термічного оброблення	Умове позначення термічного оброблення	Призначення
Штучне старіння без попереднього гартування	T1	Підвищення механічних властивостей сплавів
Відпал	T2	Зняття залишкових напружень і наклепу
Гартування	T4	Підвищення міцнісних характеристик
Гартування на повітрі і старіння	T6	Підвищення міцності при деякому зниженні відносного подовження
Гартування у воді і старіння	T61	Максимальне підвищення міцності литих деталей

Слід зауважити, що магнієві сплави схильні до оксидації, тому їх нагрівають під гартування у вакуумних печах або в печах із захисною атмосферою, що складається з суміші повітря з 0,7-1,0% сірчастого газу. З огляду на малу швидкість дифузії цілком достатньо охолодження під струменем повітря. Іноді використовують гарячу (96°C) воду [71].

Відпал обов'язково застосовують для відливків, які не піддаються іншим видам термооброблення.

Механічні властивості титану здебільше визначаються присутніми в ньому фазами, ніж складом сплаву. Зміст тієї чи іншої фази у сплаві головним чином залежить від циклів нагрівання і охолодження. Легуючі елементи стабілізують об'ємноцентровану β -фазу і знижують температуру перетворення до такої міри, що при кімнатній температурі сплави являють собою суміш фаз α і β .

α -фаза, що кристалізується у гексагональній ґратці, порівняно м'яка, в'язка і пластична, тоді як β -фаза має велику твердість і міцність, але меншу пластичність. Таким чином, змінюючи відносний зміст цих фаз, можна змінювати механічні властивості сплаву. Для цього користуються гартуванням, відпуском, безперервним охолодженням, ізотермічним перетворенням, гомогенізацією і старінням.

Як правило, при термічному обробленні α -сплави титану не зміцнюються, тому їх піддають тільки рекристалізаційному відпалу. Останніми роками дуже часто застосовують вакуумний відпал, який дозволяє зменшити вміст водню в титанових сплавах, що призводить до суттєвого підвищення в'язкості руйнування, зменшенню схильності до уповільненого руйнування і корозійному розтріскуванню.

Для зняття внутрішніх напружень, що виникають внаслідок механічного оброблення α - і $\alpha + \beta$ -сплавів, застосовують неповний відпал при 550-600 °C. Окрім цього $\alpha + \beta$ -сплави можуть бути зміцнені гартуванням з подальшим старінням.

При проведенні загартовування титанового сплаву з β -області або з верхньої частини $\alpha + \beta$ -області з подальшим нагріванням до температур $\alpha + \beta$ -області кажуть, що цей сплав піддається гомогенізації і старінню.

Оброблення титанових стопів за такою схемою призводить до тих же результатів, що і відпуск, якщо не брати до уваги того, що вихідна структура у цьому випадку складається переважно з β -фази. Короткочасне старіння забезпечує максимальну твердість, обумовлену утворенням β' -фази. При більш тривалому старінні ця β' -фаза розпадається з виділенням α -фази, що призводить до зниження твердості і підвищення пластичності.

Виділення α -фази з β -фази відбувається при ізотермічному перетворенні, яке має місце при охолодженні стопу із β -області до температур $\alpha + \beta$ -області і витримці при цих температурах впродовж певного часу з наступним швидким охолодженням до кімнатної температури. За високих температур α -фаза виділяється спочатку на межах зерен β -фази, а потім вже і всередині зерен. Якщо це оброблення проводити при температурах декілька нижче температури перетворення, то спочатку внаслідок утворення β -фази виходить дуже висока твердість. Збільшення тривалості витримки призводить до зменшення твердості і міцності матеріалу, а його пластичність і в'язкість при цьому зростають. За більш низьких температур відбувається поступове збільшення твердості та крихкості, причому при збільшенні часу витримки досягається більш висока твердість, ніж при короткочасному високотемпературному термообробленні. У той же час при досить тривалій витримці в разі низького відпуску внаслідок підвищеного вмісту α -фази досягається краща пластичність за рахунок міцності.

Термічне оброблення відливків з мідних стопів не отримало практичного застосування внаслідок незначних змін, що відбуваються при цьому з механічними властивостями матеріалу [70-72].

Більшість мідних стопів не піддають загартовуванню і старінню. Найбільш широко застосовують відпал латуні і бронзи, в наслідок чого істотно підвищується їх пластичність. Мідь піддають відпалу при температурі 500-700 °С, латуні і бронзи – при 600-700 °С, мідно-нікелеві стопи – при 700-850 °С. Загартуванню та відпалу піддають тільки берилієві, хромові, нікелево-алюмінієві та алюмінієві бронзи.

3 ВИРОБНИЦТВО ЗАГОТОВОК ОБРОБЛЕННЯМ ТИСКОМ

3.1 Роль процесів оброблення металів тиском у заготівельному виробництві

У сучасній металообробній промисловості оброблення металів тиском (ОМТ) є одним з основних способів формоутворення деталей машин. На даний час більше 90% всієї сталі, що витоплюється, і більше половини кольорових металів і сплавів піддають ОМТ. ОМТ істотно відрізняється від інших способів оброблення, оскільки в процесі пластичної деформації метал отримує не тільки нову форму, але і змінює свою структуру і фізико-механічні властивості [17-20].

Усі процеси ОМТ прийнято поділяти на дві основні групи – процеси металургійного і машинобудівного виробництва. До першої групи належать прокатка, пресування, волочіння, тобто технологічні процеси, що «сповідують» принцип безперервності. Продукція першої групи – сортовий і періодичний прокат, який використовується, в тому числі у якості вихідних заготовок для технологічних процесів другої групи – кування, штампування і спеціальних способів оброблення металів тиском.

До основних переваг процесів ОМТ у порівнянні з процесами лиття відносяться: мінімальні витрати матеріалів, висока якість матеріалу і поверхонь заготовки (процеси штампування і прокатка на деталепрокатних станах), точність форми і розмірів, висока продуктивність, можливість механізації і автоматизації виробничих процесів. ОМТ на сучасному етапі розвитку технології машинобудування є одним з головних напрямків.

3.2 Основні положення теорії ОМТ

Сутність процесів оброблення металів тиском базується на основних положеннях механіки суцільних середовищ і фізики металів, а також теорії пружності і теорії пластичності. Теорія ОМТ вивчає умови переходу пружної деформації у пластичну [68, 73, 74].

Основними термінами, які підлягають визначенню, у теорії ОМТ є пластичність і пластична деформація.

Зміна форми і розмірів тіла під дією зовнішніх сил без порушення його цілісності, що супроводжується зміною структури, механічних і фізичних властивостей матеріалу, називається *пластичністю*. *Пластична деформація* – це зсув атомів з одного врівноваженого стану в інше. Механізм пластичної деформації пояснюється теорією дислокацій, яка розглядає деформацію як результат руху і розмноження дефектів кристалічної ґратки матеріалу. *Дислокація* – це лінійний дефект кристалічної ґратки, уздовж

якого порушені зв'язки між сусідніми атомами і число найближчих сусідів кожного атома не відповідає необхідному (рис. 3.1, а). Припускають, що зрушення однієї частини кристала щодо іншої відбувається не одночасно в площині зсуву, а поступово, починаючи з точки дефекту, і поширюється вже в процесі впливу зовнішнього зусилля, значно меншого, ніж те, яке необхідно для одночасного зсуву блоку атомів (рис. 3.1, б).

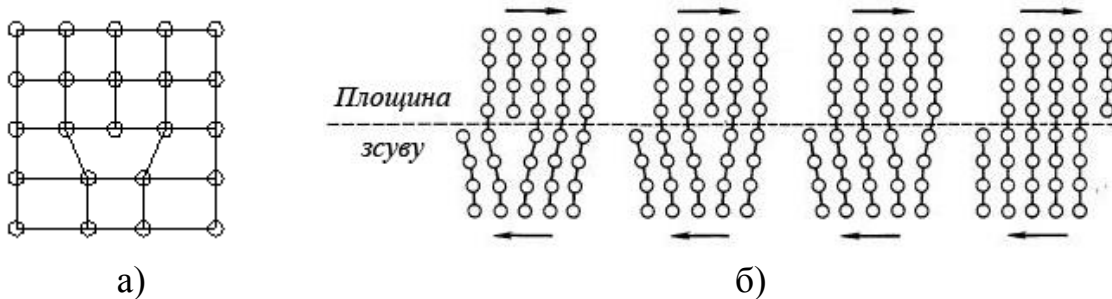


Рисунок 3.1 – Дислокація (а) і рух дислокації у площині зсуву при пластичній деформації (б)

Пластичність і опір металів деформації залежать від природи металу або стопу, його хімічного складу, структури, механічних властивостей, температури, швидкості деформування, напрямків головних напруг тощо. Чисті метали, як правило, більш пластичні, ніж їх стопи.

Зі збільшенням швидкості гарячої деформації пластичність металу зазвичай зменшується. Але для дуже великих швидкостей деформації пластичність металу зростає. Це пояснюється тим, що тепло, в яке перетворюється механічна робота деформування, не встигає розсіюватися і викликає підвищення температури металу. У великій мірі пластичність залежить від схеми головних напружень. Наприклад, пресований метал більш пластичний, ніж кований або штампований. У підсумку, пластичність – це не тільки властивість, а й стан металу. Тому вплив швидкості деформації на пластичність металу беруть до уваги під час розрахунку заданих зусиль деформування.

На пластичність металу при гарячому обробленні тиском особливо впливає температура. Тому вибір температурного інтервалу гарячого деформування – одна з найважливіших задач проектування технологічних процесів виготовлення заготовок ОМТ. Найбільша пластичність досягається при нагріванні металу вище температури рекристалізації. Спокуса підвищити пластичність збільшенням температурного інтервалу за рахунок підйому його верхньої межі аж до температури топлення металу може привести до появи ефекту перепалу – дефекту що складно усувається і приводить до крупнозернистої структури металу з окисленими краями зерен. Тому дуже важливо керуватися оптимальними величинами температурних інтервалів, визначеними часто експериментальними методами.

Пластична деформація завжди супроводжується пружною. У багатьох випадках її можна не враховувати, однак при холодному деформуванні металу пружна деформація викликає істотну зміну розмірів одержуваних заготовок.

3.3 Класифікація способів ОМТ

Способи ОМТ класифікують за температурою, швидкістю деформації металу, формою вихідної заготовки, типом основного обладнання тощо. Залежно від температури розрізняють холодну, неповну гарячу і гарячу ОМТ [67-71, 75].

Холодна ОМТ відбувається при нагріванні металу до температури 0,3 від температури топлення для металів (до 0,6 для стопів). У процесі холодної пластичної деформації одночасно з процесом зміцнення металу частково знімаються залишкові напруження і відновлюються пластичні властивості металу. Холодна деформація проходить в таких температурно-швидкісних умовах, коли в матеріалі відбувається тільки процес зміцнення (наклепу). Утворюється волокниста структура, зменшується пластичність, зростає міцність і анізотропія механічних властивостей металу. Всі ці зміни можуть бути як корисними, так і шкідливими. Наприклад, механічна анізотропія в процесі глибокої листової витяжки може викликати крихке руйнування заготовок або, навпаки, підвищити їх жорсткість і міцність.

Неповна гаряча ОМТ відбувається при нагріванні металу до температури 0,4 від температури топлення для металів (до 0,8 для стопів). В процесі неповної гарячої пластичної деформації одночасно з процесом зміцнення відбувається процес рекристалізації – зародження і зростання нових зерен. Температура рекристалізації становить 0,3-0,4 від температури топлення для чистих металів і 0,6-0,8 для стопів. При неповній гарячій деформації (з неповним знеміцнюванням) рекристалізація проходить неповністю. В процесі деформації, а також після її закінчення мікроструктура металу складається з рекристалізованої частини (з рівновісними зернами) і нерекристалізованої (з витягнутими зернами). Наявність двох типів мікроструктури призводить до підвищення нерівномірності деформації, яка сприяє зменшенню пластичності металу і підвищеному ризику руйнування.

Гаряча ОМТ відповідно – до температури вище 0,4 від температури топлення для металів (вище 0,8 для стопів). У процесі гарячої пластичної деформації в металі процес зміцнення супроводжується процесом рекристалізації. Якщо в процесі деформації рекристалізація пройшла повністю, то властивості металу не змінюються. Гаряча деформація проходить в таких температурно-швидкісних умовах, коли в матеріалі одночасно відбуваються два процеси: зміцнення (наклепу) і рекристалізації. У процесі гарячої ОМТ поліпшуються механічні властивості, мікро- і макроструктура матеріалу (дрібнозернистість, волокнистість), що дає можливість забезпечити максимальну міцність в заданих напрямках заготовок відповідальних деталей (валів, роторів, лопаток, ресор тощо).

Температурний інтервал гарячого ОМТ залежить від марки матеріалу, структури технологічного процесу, швидкості і ступеня деформації, схеми напруженого стану та маси заготовки, і знаходиться в межах: для сталей – 750..1280 °С, для мідних стопів – 700..900 °С, для титанових сто-

пів – 900..1100 °С, для алюмінієвих стопів – 400..470 °С. Чим складніше хімічний склад стопу, тим вужчий температурний інтервал гарячого оброблення тиском. У заданому інтервалі нагрівання опір металу деформації змінюється в 4-5 разів, швидкість – у 5-6 разів, а товщина знеуглецьованого шару сталей збільшується до 1,5..2 мм.

Не менш важливі й процеси охолодження заготовок після гарячого деформування. Залежно від марки матеріалу, маси і габаритних розмірів заготовок, використовують наступні способи їх охолодження: в теплоізоляованих матеріалах (доменний шлак, мінеральна вата, кам'яновугільний жужіль, пісок, гравій); в термосах і неопалюваних колодязях; в опалювальних колодязях і спеціальних печах. Дрібні і середні за масою заготовки охолоджують на відкритому повітрі.

Холодній пластичній деформації піддають переважно попередньо деформовані заготовки (сортовий прокат), а гарячій – як деформовані, так і литі заготовки. У процесі гарячого ОМТ руйнується дендритна структура металу, заварюються дефекти, але залишається волокниста структура, що зумовлює анізотропію механічних властивостей металу вздовж і поперек його волокон. Це обов'язково враховується в процесі конструювання заготовок.

Залежно від основного устаткування, на якому виконують пластичну деформацію, і його оснащення, розрізняють наступні способи ОМТ (рис. 3.2): прокатка (рис. 3.2, а, б, в) і вальцювання, пресування (рис. 3.2, и, і, к) і видавлювання (рис. 3.2, є, ж, з), кування (рис. 3.2, г) і об'ємне штампування (рис. 3.2, д, е), волочіння (рис. 3.2, м, н), листове штампування (рис. 3.2, л) і гнуття прокату, накочування тощо.

Прокатка (поздовжня, поперечна, поперечно-гвинтова) – це обтиснення металу валками, що обертаються. У процесі прокатки, нагріті литі заготовки піддають багаторазовому обтисненню. Під час поперечно-гвинтової прокатки в гвинтових калібрах відбувається безперервне формоутворення шляхом переміщення довгої циліндричної заготовки між валками в напрямку їх осей обертання. Таким способом одержують заготовки куль для кульових млинів і шарикопідшипників, шпинделів, валів, осей, коліс тощо. Заготовки з прокату відрізняються високою якістю матеріалу і економічністю виготовлення.

Пресування і видавлювання – це проштовхування матеріалу в замкнутому просторі через отвір у матриці.

Волочіння – це протягування заготовки через отвір у волочильній матриці.

Кування – це деформування нагрітої заготовки між бойками молоту або пресу. У процесі кування метал тече в напрямку, перпендикулярному руху деформувального інструменту.

Об'ємне штампування, калібрування і карбування – це одночасне деформування всієї заготовки в спеціальному інструменті (штампі). За якістю матеріалу цей процес мало відрізняється від прокатки, поступаючись останньому тільки у вартості заготовок і продуктивності праці.

Штампування та гнуття прокату – це отримання заготовок з сортового прокату за допомогою спеціальних інструментів (штампів) на штампувальному обладнанні.

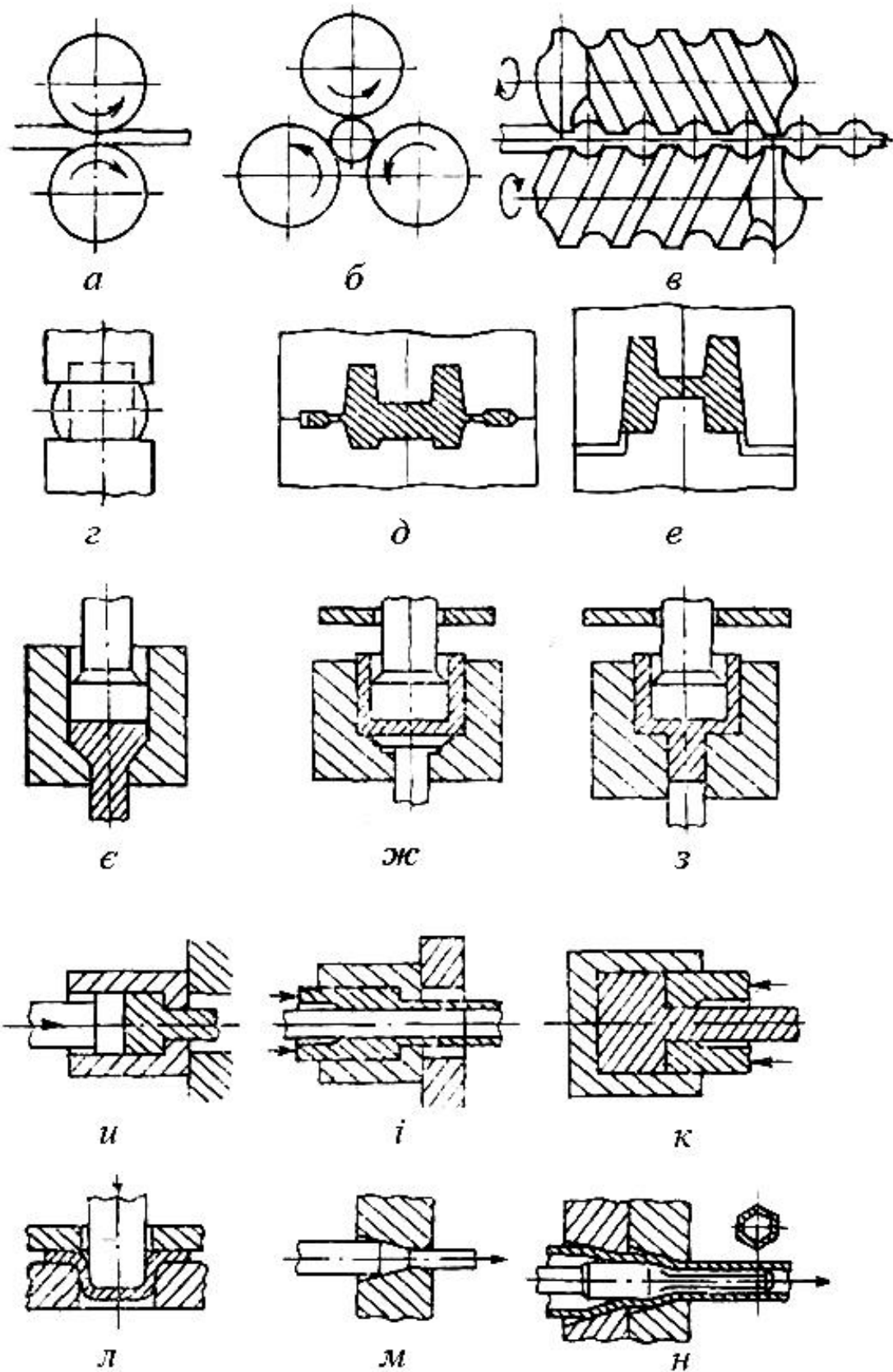


Рисунок 3.2 – Принципові схеми основних видів оброблення металів тиском

Коротка характеристика різних способів ОМТ і їх технологічних можливостей наведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристика способів виготовлення заготовок ОМТ

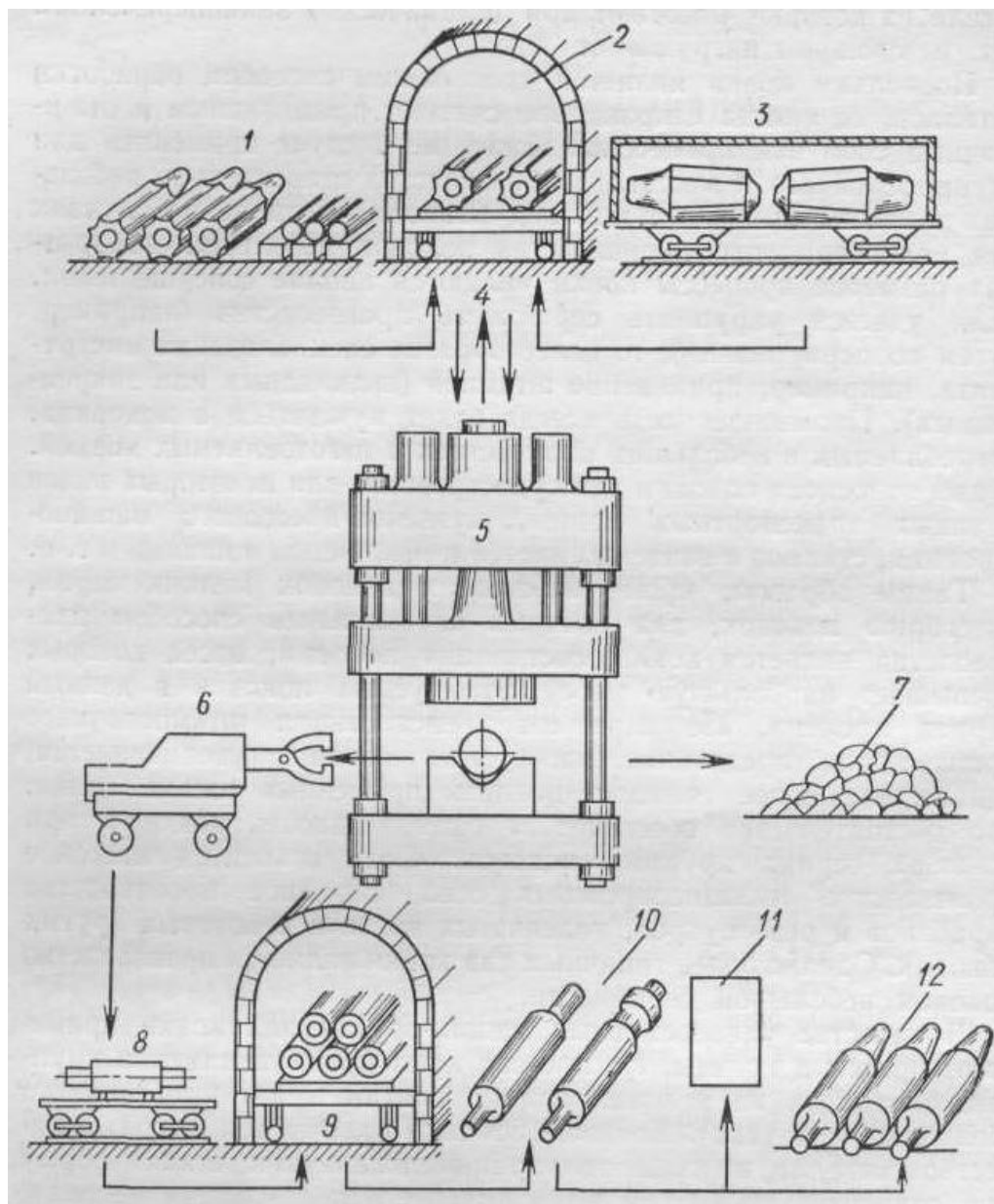
№ з/п	Назва способу ОМТ	Тип вивокків	Тип виробництва	Макимально припустимі значення	
				Маса, кг	Розмір, мм
1	Кування на молотах і пресах	Вивокки простої форми з напусками	Одиничне і дрібносерійне	250000	
2	Кування (штампування) на молотах у підкладних штампах	Вивокки невеликої ваги без напусків	Дрібносерійне при партіях n = 50-200 шт	100	
3	Кування на радіально-кувальних машинах	Вісесиметричні заготовки з витягнутою віссю	Багатосерійне і масове		Ø150
4	Штампування у відкритих штампах	Вивокки різноманітної форми. Неможливо виконання заглиблень і отворів у бокових стінках	Дрібносерійне і серійне при партіях n = 200-500 шт	400	
5	Штампування у закритих штампах	Вивокки простої форми у вигляді тіл обертання, у т.ч. із сталей із зниженої пластичністю	Дрібносерійне і серійне при партіях n = 200-500 шт	100	
6	Штампування на ГКМ	Вивокки у вигляді стрижня з головою або потовщеннями, порожнисті заготовки з наскрізними отворами, фланці, тіла обертання	Багатосерійне і масове	30	
7	Штампування на КГШП	Вивокки будь-якої конфігурації	Багатосерійне і масове	150	
8	Вальцювання	Вивокки змінного профілю, гайкові ключі, ланки транспортерів	Багатосерійне і масове	50	
9	Штампування видавлюванням, прошиванням і пресуванням	Вивокки типу втулок, стаканів з порожниною, круглих, конічних, фасонних стрижнів з масивною головою різноманітної форми	Серійне і багатосерійне при партіях n = 200-500 шт	75	Ø200
10	Гнуття і штампування прокату	Профілі, дугоподібні і круглі деталі	Багатосерійне і масове		Ø200
11	Прокатка на поперечно-гвинтових і спеціальних станах	Короткі вали, ролики, кулі, трубні заготовки, осі, півосі	Багатосерійне і масове	250	100
12	Калібрування і карбування	Точні вивокки з чистою поверхнею	Багатосерійне і масове	15	
13	Волочіння дроту	Пруток, дріт	Багатосерійне і масове		0,005-25
14	Холодне висаджування на автоматах	Кільця, шестерні, фланці тощо	Багатосерійне і масове		1-30
15	Розгортання	Кільцеві заготовки	Багатосерійне і масове		Ø70-700
16	Накочування зубів	Зубчаті колеса	Багатосерійне і масове		m = 10 Ø600

Обрання способу отримання заготовок ОМТ залежить від багатьох факторів, зокрема, від складності форми заготовки та річної програми випуску. Спрощено можна відзначити, що прості за формою заготовки доцільно кувати, а складні – штампувати. Вивокки середньої складності доцільно кувати за умови виготовлення їх в невеликій кількості (одиничне та дрібносерійне виробництво).

3.4 Виробництво заготовок вільним куванням

3.4.1 Технологічний процес кування. Основні операції

Процес кування полягає в деформації нагрітої заготовки між бойками молоту або пресу за допомогою універсального інструменту (рис. 3.3). В залежності від обладнання, що використовується, розрізняють кування машинне, що виконується на молоті або пресі, і ручне, що здійснюється за допомогою молотка і кувалди. Основні операції технологічного процесу кування ділять на роздільні, формозмінні і загальні (рис. 3.4) [17, 20].



1 – склад вихідного металу; 2 – нагрівання і підігрів зливків; 3 – платформа з термосом і зливками гарячого посаду всередині; 4 – нагрівальна піч; 5 – кувальний прес; 6 – маніпулятор; 7 – відходи металу; 8 – транспортувальна платформа; 9 – термічна піч; 10 – ВТК; 11 – лабораторія; 12 – склад виковків
Рисунок 3.3 – Послідовність етапів технологічного процесу кування зливків

До роздільних операцій вільного кування відносяться рубання, надрубання (рис. 3.4, а), обрізання. Формозмінні операції – це осад (рис. 3.4, д), протягування, передача (рис. 3.4, в), розгін (рис. 3.4, б), прошивання (рис. 3.4, г), розкочування (рис. 3.4, е) протягування на оправці (рис. 3.4, є), радіальне обтиснення, гнуття (рис. 3.4, ж), скручування, білетування зливків, збивання кутів (рис. 3.4, з), ковальське зварювання. Оздоблювальними формозмінними операціями є правка, прогладжування і таврування. Нагрівання, обдування, змащення та охолодження є загальними операціями.

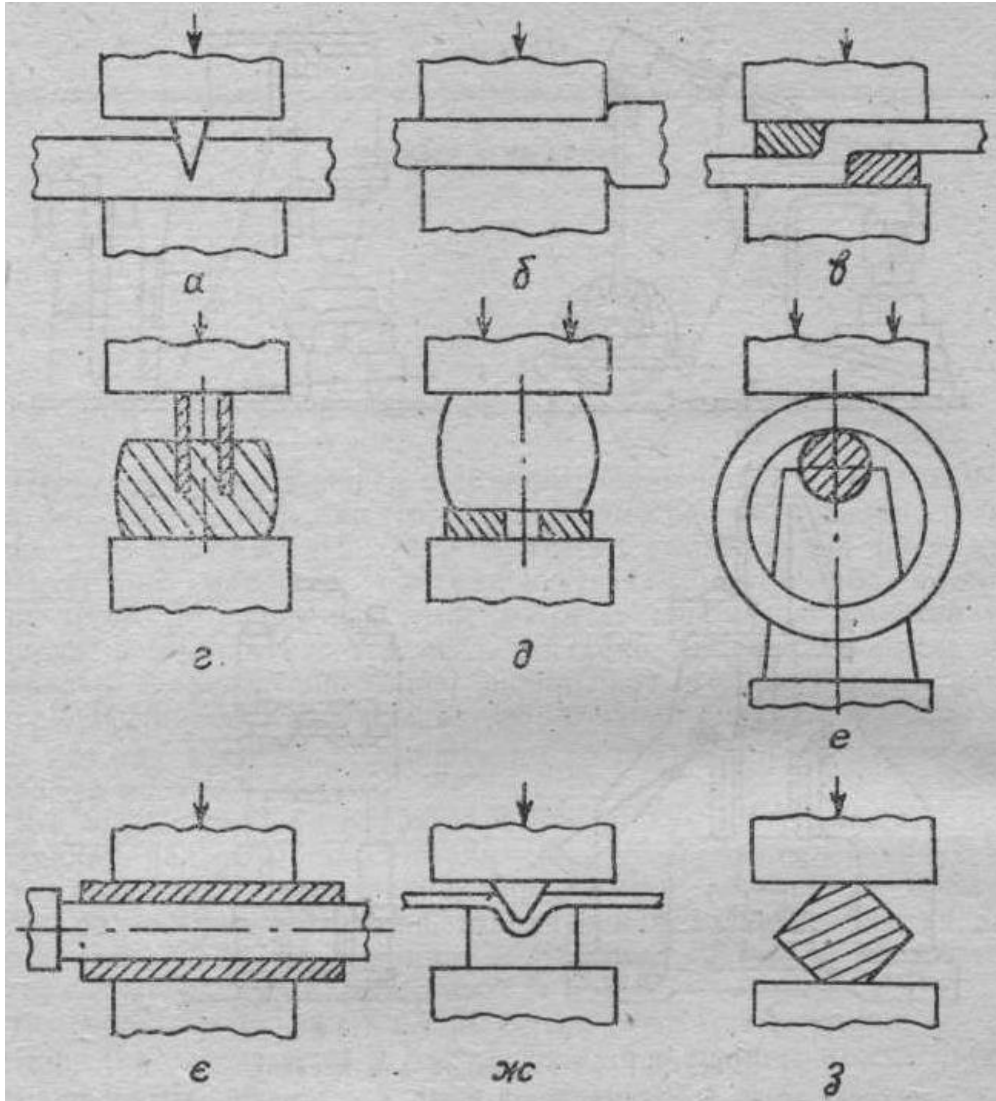


Рисунок 3.4 – Деякі операції вільного кування

Рубанням називають повне відділення частини заготовки по замкнутому контуру деформувальним інструментом (сокирою), а *розрубання* – те ж саме по незамкнутому контуру. *Надрубання* – впровадження деформувального інструменту на неповну товщину заготовки для утворення уступів, виступів, виїмок. *Обрізання* – це усунення задирки сокирою шляхом зсуву.

В процесі *осаду* зменшується висота заготовки або її частини (*висадка*) з одночасним збільшенням площі її поперечного перерізу. Осад в кільцях дозволяє отримати виступи уздовж осі заготовки.

Протягування – це операція, в процесі якої збільшується довжина заготовки або її частини за рахунок зменшення площі поперечного перерізу. Операція складається з ряду суміжних обтиснень уздовж осі заготовки. Різновидом протягування є *розкочування* циліндричних заготовок на оправках – збільшення зовнішнього і внутрішнього діаметрів кільцевої заготовки обтисканнями між верхнім бойком і оправкою, що встановлена на козлах.

Передачею називають зміщення однієї частини заготовки відносно іншої за умови збереження паралельності осей або площин окремих частин заготовки.

Розгін – збільшення ширини частини заготовки за рахунок суміжних обтиснень поперек її осі зі зменшенням товщини заготовки.

Внаслідок *прошивання* утворюються порожнини (отвори) в заготовці за рахунок видавлювання металу. Здійснюється суцільним або порожнистим прошивнями.

Протягування на оправці – збільшення довжини прошитої заготовки за рахунок її обтиснення по обидва боки оправки двома бойками.

Радіальне обтиснення – зменшення площі поперечного перерізу заготовки, бойками, що періодично переміщуються в радіальному напрямку, при відносному обертанні заготовки або інструменту.

Гнуття – утворення або зміна кутів між частинами заготовки або надання їй криволінійної форми.

В процесі *скручування* частина заготовки повертається навколо поздовжньої осі.

Білетування зливків – це перетворення зливка в заготовку (збивання ребер і усунення конусності).

Збивання кутів – запобігання шкідливому впливу охолодження ребер заготовки. Застосовується при куванні високолегованої сталі.

Ковальське зварювання – з'єднання частин заготовок. Застосовується при куванні під молотами.

Правка – це усунення дефектів форми заготовки та її непередбачуваної кривизни шляхом пластичного деформування.

Прогладжування – усунення нерівностей поверхонь у плоскій або круглій заготовці шляхом пластичного деформування.

Таврування – це нанесення знаків марки сталі, номеру витопу, шифру вивокка тощо.

У процесі гарячого ОМТ, до якого відноситься і вільне кування, завжди роблять нагрівання вихідних заготовок, іноді навіть кілька разів. Широко застосовують полуменевий і електричний способи нагрівання. Для полуменевого нагрівання використовують тверде, рідке та газове паливо, для електричного – індукційні і резистивні печі, електрогенератори високої частоти, електроліти та електроконтактні пристрої. Часто нагрівання заготовок відбувається в розтоплених солях і склі, в безкисневому середовищі і в вакуумі. При нагріванні заготовок в соляних ваннах і в склі на поверхні заготовок утворюється плівка, що захищає від окислення в процесі нагрівання, транспортування і кування. Захисна плівка має також змащувальні властивості, що полегшує роботу деформування заготовки [76].

Серед переваг отримання заготовок вільним куванням у порівнянні з процесами лиття можна визначити високу якість металу, універсальність обладнання та інструменту, можливість виготовлення заготовок значних розмірів і маси на малопотужному обладнанні.

До недоліків технологічних процесів вільного кування заготовок відносяться відносно низька продуктивність праці, висока трудомісткість, мала точність форми і розмірів заготовок, підвищені витрати металу на напуски, вигар, уковування, збільшені припуски на механічне оброблення, необхідність у високій кваліфікації робітників, важкі умови праці, труднощі з механізацією і автоматизацією технологічних процесів.

Вільним куванням отримують заготовки для великих валів і роторів турбін енергетичної і атомної промисловості, двигунів внутрішнього згоряння, гарматних стволів, валків прокатних станів та інших великогабаритних і відповідальних деталей машин. Складні виковки вимагають багаторазового повторення операцій нагрівання і кування. Параметри шорсткості поверхні виковків складають Rz 600..1000.

3.4.2 Класифікація виковків

Виковки, що отримані вільним куванням, мають дуже різноманітну форму і розміри. Їх отримують на кувальних молотах і гідравлічних кувальних пресах. Заготовки при цьому мають великі припуски на механічне оброблення. У дрібносерійному виробництві при здійсненні операцій вільного кування застосовують підкладні штампи, які дозволяють зменшити припуски і наблизити форму заготовки до форми готової деталі.

Ковані виковки умовно поділені на дев'ять груп (рис. 3.5) по зростаючій складності їх виготовлення. Для кожної групи на основі накопиченого виробничого досвіду розроблена рекомендована послідовність виконання операцій кування. Найбільш простими є виковки постійного профілю, що одержуються протягуванням (група 1), і виковки змінного профілю, що одержуються осадом і протягуванням (група 2). Більш складними є виковки з прошитим отвором, а також у вигляді всебічно прокованих кубиків, милиць, важелів з головками і вигнутих поковок простого профілю (група 3). Ще більш складні виковки, виготовлені прошиванням з подальшим протягуванням на оправці, вали ступінчасті, пластини з виступами і вигнуті виковки, що оформлюються в підкладних штампах (група 4). У наступну за складністю групу входять виковки, прошиті і розкатані, валки з низькими фланцями і важелі з двосторонніми бобишками (група 5). В інші групи (групи 6-9) увійшли складні важелі, вали та інші виковки, що вимагають при їх отриманні виконання комплексу операцій, формувального інструменту і спеціальних пристосувань [10, 77].

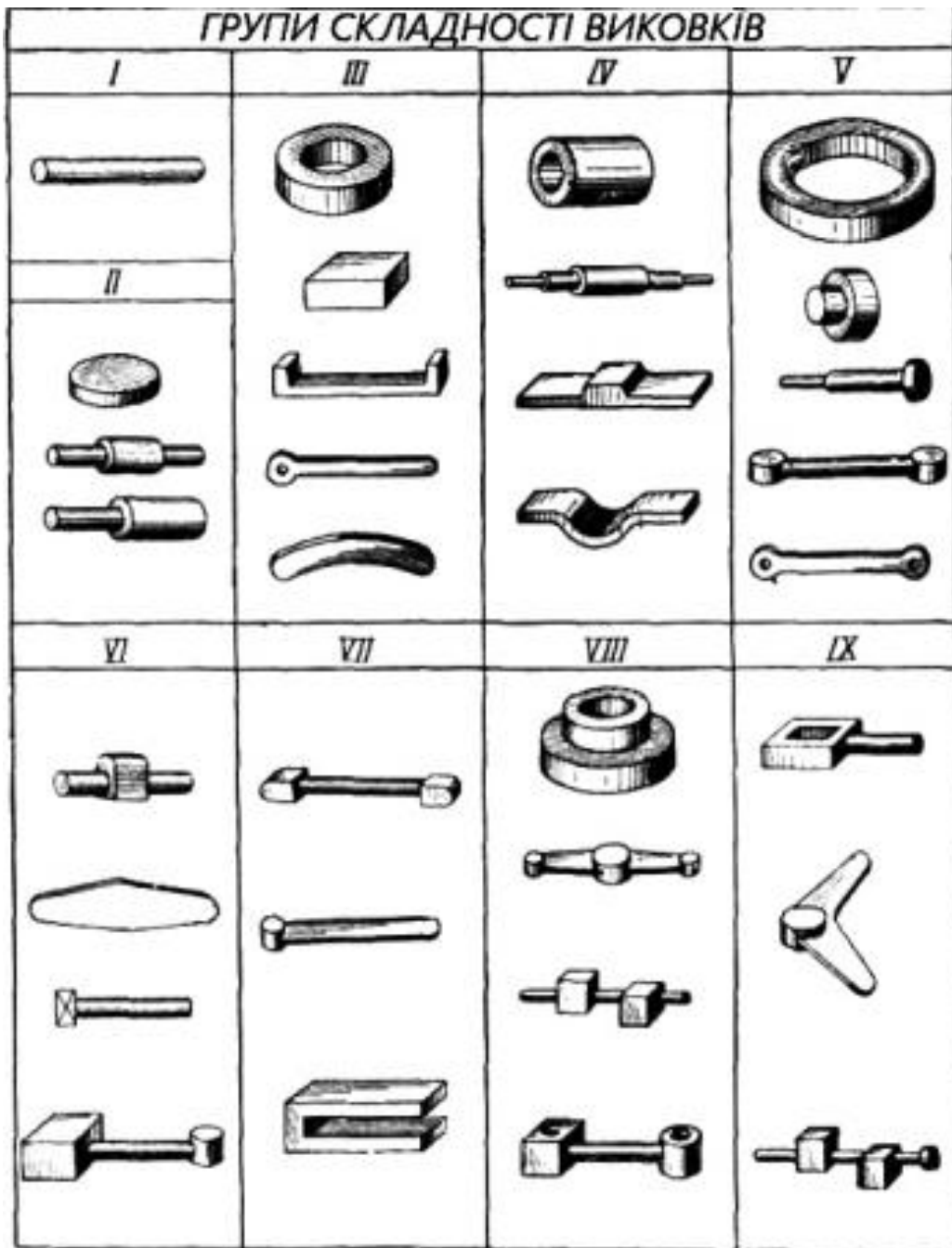


Рисунок 3.5 – Групи складності кованих виковків

3.4.3 Основне обладнання і інструмент для вільного кування

Для ручного кування використовують ковадло і кувалду або молоток, але це доволі трудомісткий процес, який використовується переважно для художнього кування. Ручне кування також застосовують для згинальних робіт і у ремонтному виробництві. Машинне кування здійснюють на молотах і пресах різних типів, які відрізняються принципом дії, конструкцією, потужністю, швидкістю, видом енергії, що використовується, і способом управління (рис. 3.6).

Основний параметр кувальних молотів – маса падаючих частин, яка для механічних молотів (ресорно-пружинних) (рис. 3.6, а) складає 60..200 кг, пневматичних молотів (рис. 3.6, б) може бути в діапазоні 150..1000 кг, для пароповітряних молотів (рис. 3.6, в) – 1000 ... 8000 кг. Основним параметрів кувальних пресів є максимальне зусилля, яке для деяких пресів досягає 150 МН. На рис. 3.6, г наведено загальний вигляд гідравлічного пресу [20, 76, 77].

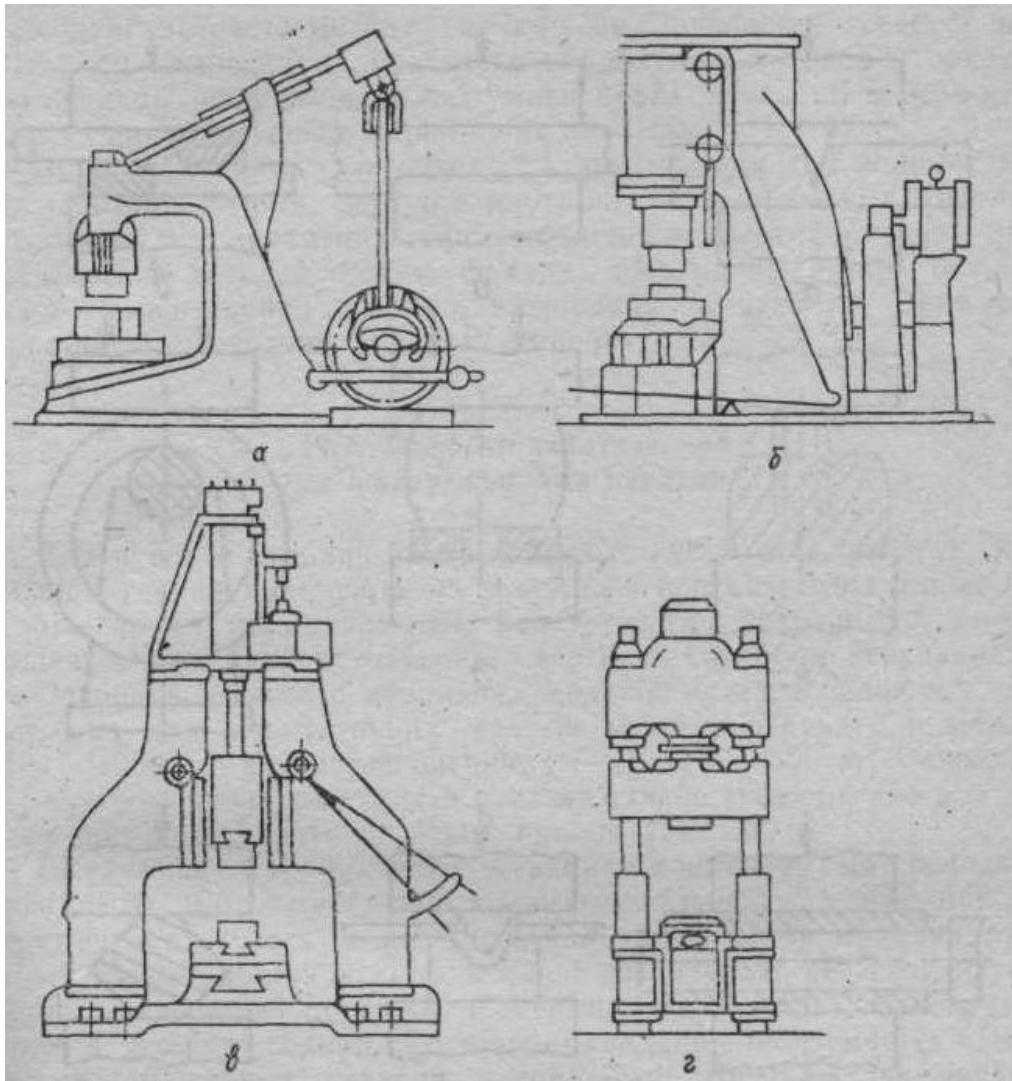


Рисунок 3.6 – Обладнання для вільного кування

Інструмент для вільного кування ділять на основний, підтримувальний і вимірювальний. До основного інструменту операцій вільного кування відносяться бойки (рис. 3.7, а), плити для осаду (рис. 3.7, б), оправки (рис. 3.7, г), прошивні (рис. 3.7, в), одно- і двосторонні сокири, напівкруглі і клинові розкатки, круглі і трикутні перетискачі (рис. 3.7, д), **обсічки**, кутики, суцільні і рознімні обтискачі (рис. 3.7, е), підставки (рис. 3.7, є). До підтримувальних інструментів відносять кліщі, стійки, патрони, затискачі. Вимірювальні інструменти – це кронциркулі, нутроміри, лінійки, косинці, шаблони і калібри. Інструмент ділять також на універсальний і спеціальний, ручний і механізований [20, 76, 77].

Щоб підвищити стійкість до ударних навантажень, перед куванням інструмент підігрівають до температури 150-200 °С і періодично контролюють твердість його робочих поверхонь.

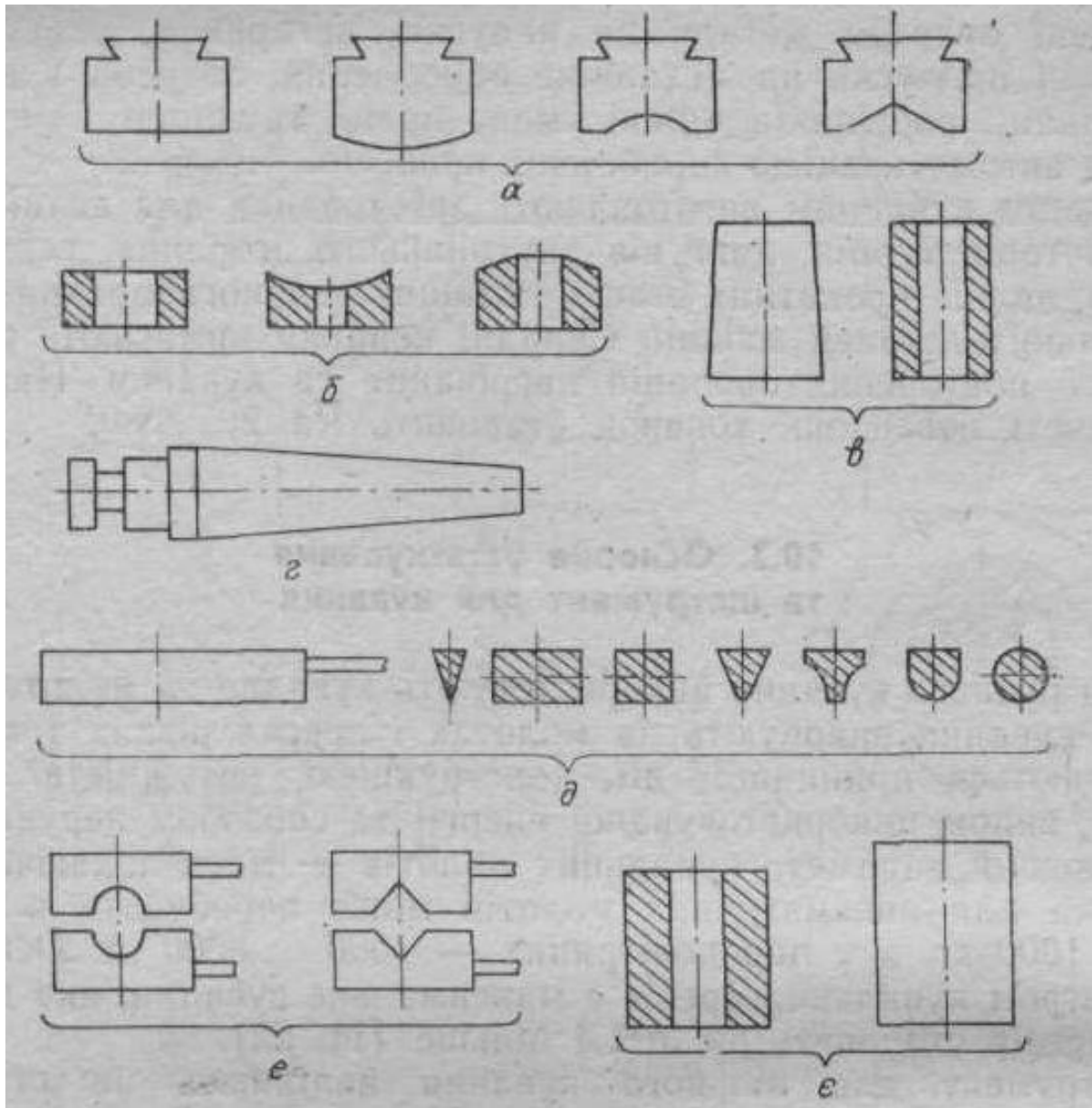


Рисунок 3.7 – Основний інструмент для операцій вільного кування

3.5 Конструювання і виконання креслеників виковків

3.5.1 Основні терміни і визначення, що використовуються у стандартах

Конструкцію і креслення виковка виконують виходячи з креслення готової деталі, обраного способу формування заготовки, вимог ЄСКД і стандартів ГОСТ 7062-79 для пресових виковків і ГОСТ 7829-70 для виковків, виготовлених на молотах.

Відповідно до вказаних стандартів ступінчасті вали круглого і прямокутного перерізу мають наступні конструктивні елементи (рис. 3.8):

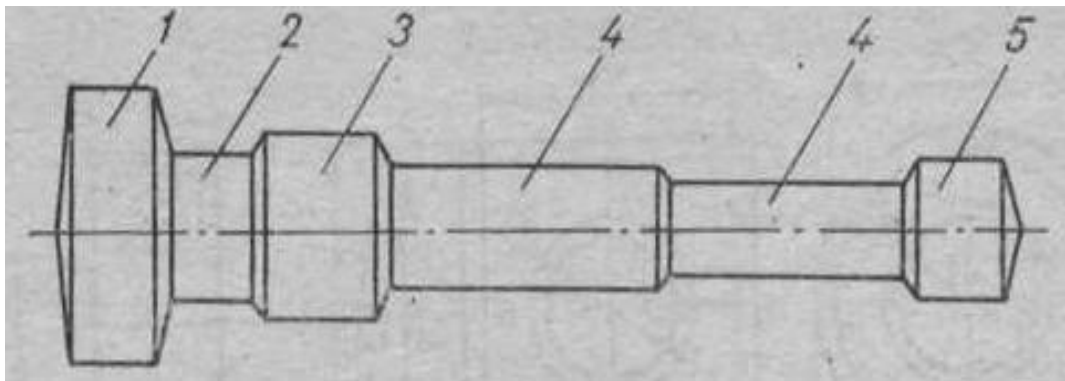
– *бурт* – некінцева частина виковка збільшеного поперечного перерізу, яка має довжину, рівну або меншу третини діаметра або більшої сторони прямокутника;

– *фланець* – кінцева частина виковка збільшеного поперечного перерізу, яка має довжину, рівну або меншу третини діаметра або більшої сторони прямокутника;

– *уступ* – частина виковка з меншим поперечним перерізом, ніж поєднана з нею частина;

– *виступ* – частина виковка з більшим поперечним перерізом, ніж поєднана з нею частина;

– *виїмка* – частина заготовки з меншим поперечним перерізом щодо двох поєднаних з нею частин.



1 – фланець; 2 – виїмка; 3 – бурт; 4 – уступи; 5 – виступ
Рисунок 3.8 – Основні конструктивні елементи виковка

3.5.2 Виковки, виготовлені вільним куванням на молотах

Відповідно до вимог ГОСТ 7829-70, який поширюється на виковки загального призначення з вуглецевої і легованої сталі, виготовлені вільним куванням на молотах в одиничному і дрібносерійного виробництва, припуски на механічне оброблення і відхилення розмірів заготовок призначають в залежності від типу виковка і його розмірів. Припуски на поверхні, що не оброблюються, не призначають. Граничні відхилення на всі розміри виковків встановлюють виходячи з їх типу і номінальних розмірів. Для елементів виковка, що оброблюються з одного боку, припуск призначають тільки для оброблюваної поверхні.

За погодженням між виробником і замовником допускається виготовляти заготовки з більш високою, ніж у стандартах, точністю, тобто з меншими значеннями відхилень, припусків і напусків. Допускається округляти розрахункові номінальні розміри заготовок до найближчих значень в бік збільшення припусків на механічне оброблення.

Припуски і граничні відхилення розмірів для гладких заготовок круглого, квадратного і прямокутного перетинів призначають відповідно до рисунків 3.9, 3.10 і відповідної таблицею ГОСТ 7829-70. Припуски і граничні відхилення розмірів для гладких заготовок круглого, квадратного і прямокутного перетинів з уступами, виїмками, буртами і фланцями визначають як суму основних та додаткових значень.

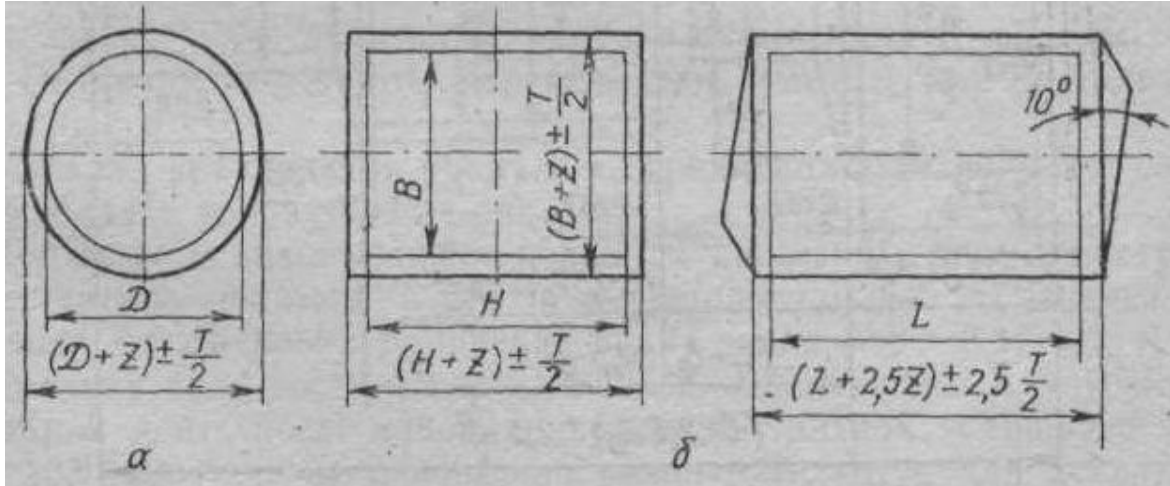


Рисунок 3.9 – Схема для визначення розмірів гладких виокків круглого (а) і прямокутного (б) перетинів при вільному куванні на молотах

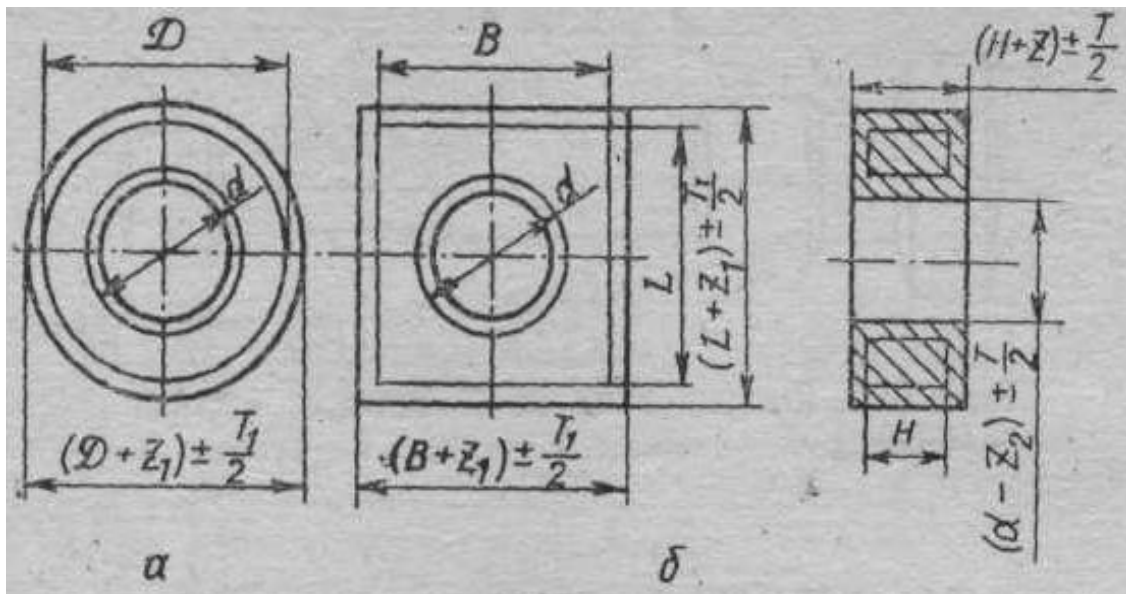


Рисунок 3.10 – Схема для визначення розмірів круглих (а) і прямокутних (б) виокків з отворами при вільному куванні на молотах

Основні припуски і граничні відхилення на діаметральні розміри перетинів наведені у відповідній таблиці ГОСТ 7829-70. Припуски і граничні відхилення на загальну довжину виокка розраховують відповідно як збільшені в 2,5 рази припуски і граничні відхилення діаметрального розміру найбільшого перетину. Припуски на довжину уступів і виступів призначають кратними припуску на діаметральний розмір найбільшого перетину відповідно до рисунка 3.11. Причому проставлення лінійних розмірів ви-

конується від єдиної бази, в якості якої використовують один з торців елемента з найбільшим перетином. Якщо один з торців найбільшого перетину є торцем заготовки, то у якості базового торцю, обирається той торець, який не є торцем вивокка (див. рис. 3.11). Граничні відхилення на довжину уступів і виступів приймають як збільшене в 1,5 рази граничне відхилення діаметрального розміру або розміру виступа найбільшого перетину відповідно до рисунка 3.11.

Додатковий припуск призначають відповідно до ГОСТ 7829-70 на діаметральні розміри всіх перерізів, крім основного.

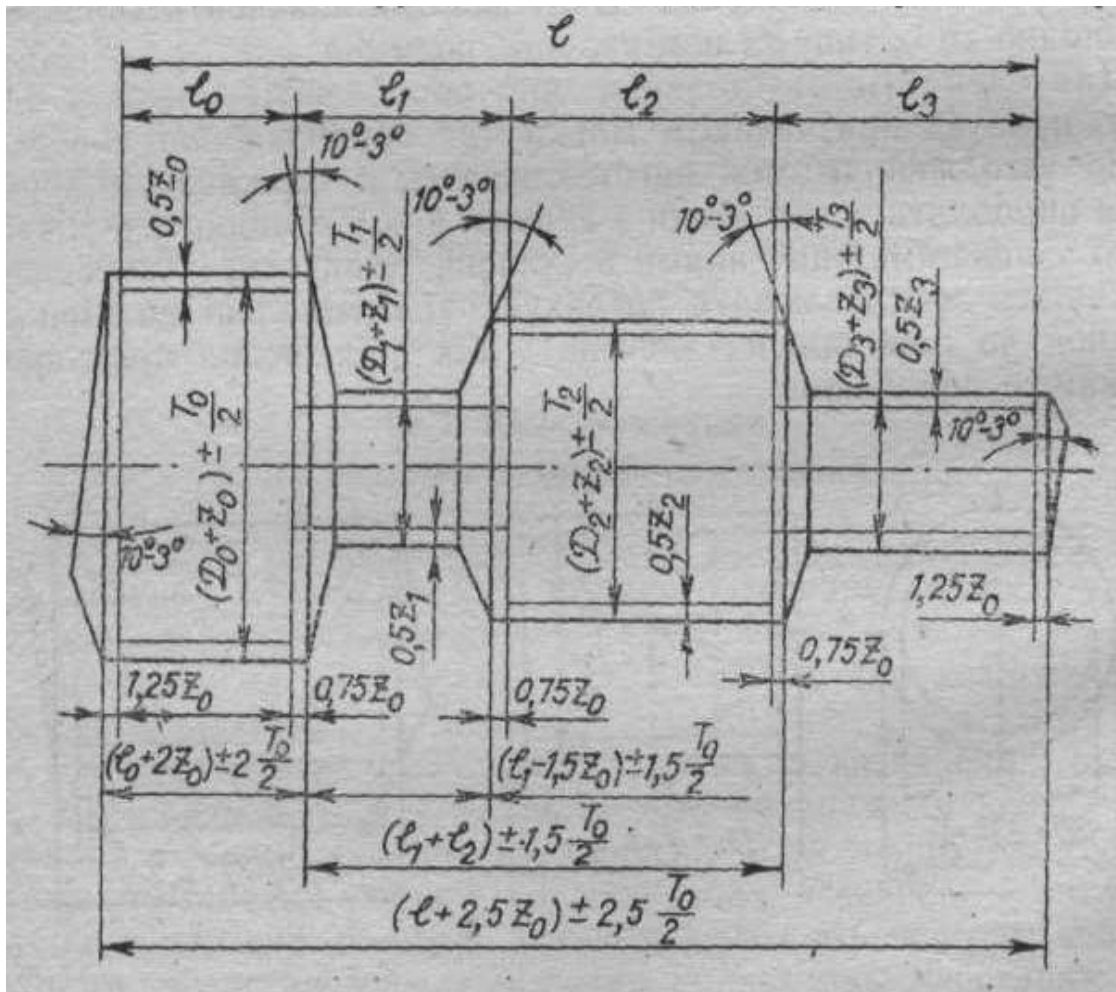


Рисунок 3.11 – Схема для визначення розмірів і їх відхилень ступінчастого вивокка, виготовленого вільним куванням на молоті

Далі необхідно визначити основний переріз заготовки.

Для вивокків, що мають необроблену поверхню, за основний приймають переріз цієї поверхні. Для вивокків, які не мають необроблених поверхонь, основний переріз визначають наступним чином. Розраховують площі поперечних перерізів $D_1 l_1, D_2 l_2, D_3 l_3 \dots$ і порівнюють з розрахованою площею поперечного перерізу виступу з максимальним діаметром $D_{max} l$ (див. рис. 3.11). Якщо всі значення добутоків менше, ніж $D_{max} l$, то в якості основного приймають перетин з максимальним діаметром. В іншому випадку для всіх перерізів з більшою площею розраховують параметр A :

$$\begin{aligned}
 A_1 &= Z_1 D_1 l_1 - D_{max} \cdot l ; \\
 A_2 &= Z_2 D_2 l_2 - D_{max} \cdot l ; \\
 A_3 &= Z_3 D_3 l_3 - D_{max} \cdot l ,
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

де Z_1, Z_2, Z_3 – додаткові припуски на діаметри D_1, D_2, D_3 відповідно, мм.

Основним приймають той переріз, для якого параметр A має найбільше значення. При цьому додатковий припуск, який був призначений на цей переріз, переносять на виступ з максимальним діаметром.

Доцільність виконання на виковках кінцевих і проміжних уступів, виїмок, фланців і буртів перевіряють після призначення основних і допоміжних припусків відповідно до ГОСТ 7829-70. Після виконання вказаної перевірки розраховують масу виковка і оформлюють кресленик заготовки.

Маса напусків на скосах після відрубубвання розраховується за формулами (3.2), (3.3). Кут ухилу на торцях виковка не повинен перевищувати 10° .

$$G_\emptyset = 0,23 \cdot 10^{-6} \cdot D_{заг}^3; \tag{3.2}$$

$$G_{\blacksquare} = 0,33 \cdot 10^{-6} \cdot B_{заг}^2 \cdot H_{заг}, \tag{3.3}$$

де G_\emptyset – маса напуску одного скосу після відрубубвання циліндричного ступінчастого виковку, кг;

G_{\blacksquare} – маса напуску одного скосу після відрубубвання ступінчастого виковку прямокутного перетину, кг;

Припуски і граничні відхилення для виковків типу суцільних і порожнистих дисків, циліндрів, втулок, брусків, кубиків, пластин, а також розкочених кілець, порожнистих валів, циліндрів і втулок з уступами, зокрема, що виготовляються за допомогою підкладних кілець і штампів, також можуть бути визначені за відповідними таблицями ГОСТ 7829-70.

3.5.3 Виковки, виготовлені вільним куванням на пресах

Відповідно до вимог ГОСТ 7062-90, який поширюється на виковки загального призначення масою до 130 т з вуглецевої і легованої сталі (сумарний вміст легуючих компонентів до 10%, крім вуглецю), що виготовляються куванням на пресах, визначення припусків та граничних відхилень розмірів виковків ведеться для першої групи точності. Припуски, наведені в стандарті, даються для розміру деталі з розрахунку на механічне оброблення поверхонь виковків з обох сторін. Граничні відхилення вказані для номінальних розмірів виковків. У разі механічного оброблення деталі з одного боку припуск призначають як половину зазначеного в стандарті, при цьому верхнє відхилення розміру зберігають без змін, а нижнє приймають з коефіцієнтом 0,5. Для необроблюваних поверхонь виковків відхилення на розміри визначають за таблицями стандарту без урахування припусків.

Ухили на торцях виковка після його відрубубання не повинні перевищувати 15° , а маса напуску кожного скосу визначається за формулою:

$$G_\emptyset = 0,28 \cdot 10^{-6} \cdot D_{\text{зар}}^3; \quad (3.4)$$

$$G_{\blacksquare} = 0,36 \cdot 10^{-6} \cdot B_{\text{зар}}^2 \cdot H_{\text{зар}}, \quad (3.5)$$

де G_\emptyset – маса напуску одного скосу після відрубубання циліндричного ступінчастого виковку, кг;

G_{\blacksquare} – маса напуску одного скосу після відрубубання ступінчастого виковку прямокутного перетину, кг;

Схеми визначення розмірів і граничних відхилень для гладких виковків з круглим, квадратним і прямокутним перетином зображені на рисунку 3.12, а для ступінчастих пресових виковків I групи точності – на рисунку 3.13.

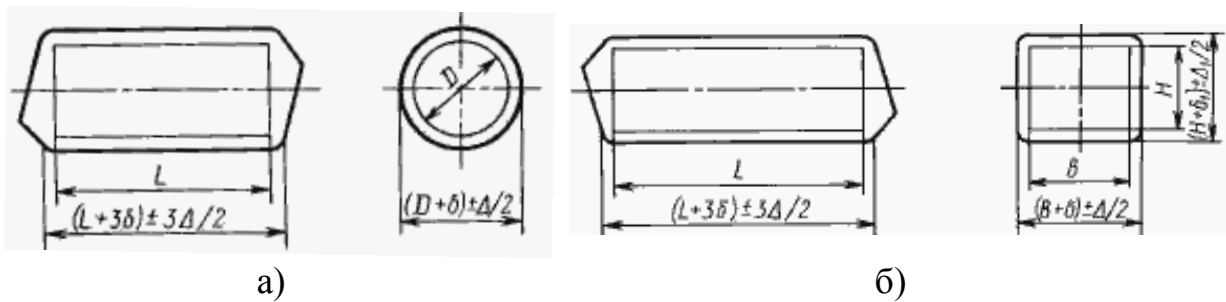


Рисунок 3.12 – Схема для визначення розмірів гладких виковків круглого (а) і квадратного (прямокутного) (б) перетинів при вільному куванні на пресах

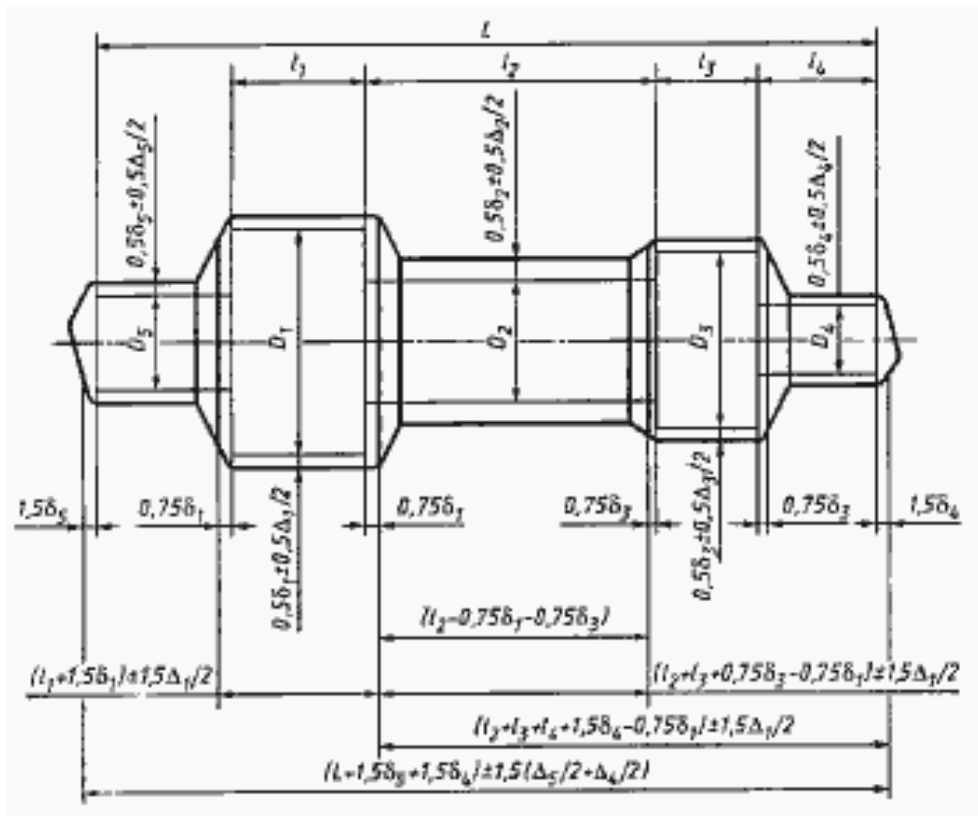


Рисунок 3.13 – Схема для визначення розмірів і їх відхилень ступінчастого виковка, виготовленого вільним куванням на пресах

За ГОСТ 7062-79 визначають основні припуски і граничні відхилення на розміри виковка, виходячи із загальної його довжини. При визначенні припусків на лінійні розміри у якості конструкторської бази зазвичай обирають одну з торцевих поверхонь виступу максимального діаметра. Якщо один з торців найбільшого перетину є торцем заготовки, то у якості базового торцю, обирається той торець, який не є торцем виковка. Припуски на лінійні розміри призначаються у відповідності до рисунку 3.13.

Додатковий припуск призначають на всі розміри перетинів, крім основного, в залежності від різниці діаметрів основного і кожного з цих перетинів деталі.

Основний переріз визначають в залежності від складності форми виковка:

– для валів з одним уступом основним призначають переріз, для якого добуток $D_{max}l$ є найбільшим;

– для валів, що мають більш двох уступів або виїмок, основним вважають переріз з максимальним поперечним розміром.

Доцільність виконання конструктивних елементів виковка визначається за рекомендаціями, які наведені у відповідних таблицях стандарту.

Окрім мас напусків на торцях виковка після відрубання необхідно також розрахувати маси напусків ухилів між уступами, які при куванні заготовок на пресах мають істотну вагомість і повинні бути враховані. Вони визначаються наступним чином:

$$G = 0,18 \cdot 10^{-6} \cdot D_1 - D_2^2 \cdot D_1 + 2D_2, \quad (3.6)$$

де D_1, D_2 – діаметри заготовки на суміжних ділянках.

У стандарті також наведені значення припусків та граничних відхилень розмірів для виковків типу муфт, дисків, брусків і пластин, суцільних і порожнистих циліндрів і валів з постійним і змінним по довжині перетином і розкочених кілець.

3.5.4 Загальні вимоги і рекомендації до проектування заготовок, що отримані вільним куванням

Вимоги стандартів не поширюються на виковки із високолегованих сталей і стопів з особливими фізичними властивостями і на виковки, нестандартні за формою і розмірами.

При призначенні припусків допускається округлення розрахункових номінальних розмірів виковків у бік їх збільшення, відповідно до розрахункових значень розмірів припусків на механічне оброблення. Для забезпечення технологічності конструкцій виковків вільного кування рекомендують дотримуватися простих геометричних форм, уникати сферичних, конічних, клинових поверхонь, перетинів циліндричних і призматичних час-

тин, ребер жорсткості, значних перепадів розмірів поперечних перерізів тощо. Розташування волокон у виковка повинно покращувати експлуатаційні властивості деталі.

На креслениках виковків тонкими лініями показують основні контури готової деталі, а в дужках під розмірними лініями її розміри. На креслениках позначають поверхні, які є технологічними базами для закріплення заготовки на першій технологічній операції її механічного оброблення, а також технічні вимоги щодо приймання виковка, місця маркування, взяття проб металу, допустимі величини і кількість можливих дефектів, необхідність термічного оброблення і покриття.

Норми технічних вимог, режими термічного оброблення, умовні позначення, методи і обсяги випробувань, правила маркування, транспортування і зберігання для виковків загального призначення діаметром до 800 мм наведені в ГОСТ 8479-70. За цим стандартом також призначається група виковка за видом випробувань.

За кількістю параметрів випробувань виковки ділять на п'ять груп, які позначають римськими цифрами. Групу призначає конструктор, погодивши її з виробником і споживачем продукції. Приклад умовного позначення виковка I групи (без випробувань): *Гр. I ГОСТ 8479-70*; поковки IV групи з категорій міцності КП 440: *Гр. IV КП440 ГОСТ 8479-7*. У додатку до зазначеного стандарту наведені рекомендації марок сталей в залежності від діаметра заготовки і заданої категорії міцності.

3.6 Види браку і контроль якості кованих виковків

Причиною браку кованих виковків є зовнішні і внутрішні дефекти сталевих зливків. Такі дефекти як тріщини, поверхневі вкраплення і свищі, плени, бульбашки, зіступні свищі і пухкість, шпаристість, сторонні вкраплення, і флокени при куванні не усуваються і переходять у виковки.

Неправильне нагрівання перед куванням призводить до утворення надмірної кількості окалини (для великих зливків – товщиною 12-15 мм), яка при куванні вдавлюється в метал і утворює глибокі вм'ятини. Недогрівання заготовок на останніх переходах кування призводить до тріщин. Перегрівання заготовок або перетримка в печі при кувальній температурі, як і закінчення кування при високих температурах, призводять до крупнозернистості і зниження механічних властивостей. Цей вид браку усувається наступним термічним обробленням. Нагрівання до температур вище кувальних веде до невірної браку – перепалу, при якому відбувається окислення або оплавлення на межах зерен з втратою пластичних властивостей матеріалу. В результаті вигорання вуглецю при неправильному нагріванні високовуглецевої сталі на виковку утворюється знеуглецьована поверхня глибиною, що перевищує припуск на оброблення, що призводить до зниженої твердості поверхні виробу після термообробки [10, 20].

При куванні можливе утворення зморшок через не видалені задирки (рубчики), що залишилися після відрубання додаткової і донної частини зливка або після гарячого розрубання заготовок на частини. Зморшки утворюються також при неправильних прийомах протягування і розгону. В результаті інтенсивної протяжки заготовки круглого перетину, недостатнього прогріву заготовки або при малій масі падаючих частин молота на кінцях виковка виникають увігнуті торці (брак по «халяві»). При недотриманні температурного режиму кування або недоброякісному вихідному матеріалі утворюються зовнішні тріщини. Внутрішні розриви (свищі, розшарування) найчастіше виникають внаслідок неправильного процесу кування. При низькій температурі закінчення кування в поверхневих шарах виковка утворюється наклеп, що приводить до підвищеного викривлення і тріщин при подальшому обробленні різанням. При куванні можлива поява кривизни довгих виковків, зміщення осьової зони зливка, вм'ятини, а також можуть бути не витримані розміри і показники механічних властивостей. При недостатньому проковуванні злиwkів у виковку залишається велика кристалічна лита структура, яка обумовлює низькі механічні властивості.

Для вимірювання розмірів виковка в процесі кування по переходах і контролю готових виковків використовують універсальні і спеціальні вимірювальні інструменти. Для контролю механічних властивостей кованих виковків у них передбачають напуски для вирізання зразків, за якими визначають межу міцності, межу плинності, відносне подовження або стиснення, ударну в'язкість і твердість і порівнюють отримані значення з заданими по ГОСТ 8479-70 або технічними умовами.

3.7 Виробництво заготовок гарячим об'ємним штампуванням

3.7.1 Технологічні процеси і способи об'ємного штампування виковків

У процесі об'ємного штампування відбувається примусовий розподіл металу в штампі молота, преса або спеціальної машини. Гаряче об'ємне штампування зазвичай використовується в серійному і масовому виробництві для виготовлення виковків масою до 100 кг (для важкого машинобудування – до 400 кг). Об'ємне штампування має велику ефективність при виготовленні виковків з малопластичних в холодному стані сталей і стопів, особливо з тих матеріалів, які погано обробляються іншими способами.

Основні технологічні операції штампування поділяють на роздільні, формозмінні і загальні. До роздільних операцій штампування відносять: відрізання, розрізання, пробивання, обрізання та зачищення. До формозмінних операцій належать: осад, висадка, протягування, гнуття, закручування, прошивання, роздача, підкочування, видавлювання, обтиснення, карбування і калібрування. Загальні операції – це нагрівання, обдування, змащення та охолодження [17, 20, 73].

Перевагами штампування у порівнянні з вільним куванням є більша точність форми, розмірів і якість поверхонь виковків, можливість виготовлення складних за формою заготовок, більш високі коефіцієнт використання матеріалу і продуктивність праці, знижені вимоги до кваліфікації робітників, найкраща придатність до механізації та автоматизації виробничих процесів тощо.

Недоліками об'ємного штампування є складність і висока вартість технологічного оснащення, необхідність в обладнанні високої потужності, обмеження за масою і габаритами виковків, що одержуються, наявність облою, задирок та ін.

Залежно від складності форми і розмірів виковків використовують: однорівчакове, багаторівчакове, роздільне (розчленоване) і комбіноване штампування. Роздільне штампування виконують в різних штампах на однотипних машинах, а комбіноване – на різнотипних машинах.

За конструкцією штампів, що використовуються, розрізняють відкрите, закрите і штампування видавлюванням. Відкрите штампування здійснюють в штампах, в яких передбачено порожнину між обома частинами штампа, що зменшується в процесі деформування металу. В остаточному штампувальному ривчаку для витікання зайвого металу передбачають спеціальну облойну канавку навколо порожнини штампа, яка чинить опір плину металу, тим самим забезпечуючи сприятливі умови для заповнення остаточного ривчака штампа. Облой в залежності від складності форми виковка може становити від 10 до 40% його маси. Закрите штампування здійснюють в штампах, між частинами яких є тільки така порожнина, яка забезпечує їх відносний рух для деформування металу без можливості його витікання з порожнини штампа і утворення облою.

Порожнину між частинами штампа для відкритого штампування виконують між поверхнями, паралельними площині розніму штампа, а для закритого штампування – між поверхнями, перпендикулярними до неї.

Відсутність облою зменшує витрату металу, дає можливість виключити операцію його обрізання, але вимагає точного дозування маси вихідних заготовок. Закрите штампування придатне для отримання порівняно нескладних за формою виковків. Внаслідок зносу штампів заготовки можуть мати задирки, що ускладнюють розкриття штампів, виштовхування з них виковків, і вимагають додаткової операції їх обрізання.

Закрите штампування забезпечує високу точність розмірів і якість поверхонь виковків. Значно ефективніше штампування видавлюванням, за допомогою якого отримують високоякісні заготовки з пластичних матеріалів. Недоліком цього способу є порівняно низька стійкість штампів, більш високі енерговитрати і потреба в спеціальних змащеннях.

Досить часто використовують також підкладні штампи, які не мають жорсткого закріплення на ковальському обладнанні. На них отримують виковки масою до 150 кг нескладної форми, вони можуть бути відкритими або закритими, вартість їх значно нижча. Основними їх недоліками є порівняно невисока якість виковків, великі напуски і припуски на оброблення

різанням. Штампування у підкладних штампах широко застосовується в умовах дрібносерійного виробництва.

Відтак, основними характерними ознаками усіх трьох способів об'ємного штампування є [17, 20, 78]:

– відкрите штампування:

а) обсяг металу, що розміщується в порожнині штампу, більший, ніж обсяг готового виковка, і в процесі штампування його частина витікає через порожнину облойної канавки, що сприяє кращому заповненню порожнини штампу;

б) напрямок плину металу до облойної канавки перпендикулярний напрямку руху половинок штампу в процесі штампування;

в) волокна металу спрямовані від середини виковка до облою і перерізаються в процесі його відрубання;

– закриті штампування:

а) обсяг металу в порожнині штампу в процесі штампування не змінюється;

б) задирки, які утворюються від витікання металу в порожнині між частинами штампу, незначні, а напрямок плину металу до задирок паралельний напрямку руху половинок штампу;

в) волокна металу виковка не перерізаються;

– штампування видавлюванням:

а) обсяг металу в порожнині штампу в процесі штампування зменшується за рахунок його витіснення через передбачені отвори і порожнини для утворення необхідних частин виковка;

б) зайвий метал зазвичай витісняється у зовнішню частину виковка, а потім відрізається;

в) виковки відрізняються високою якістю металу, що забезпечується за рахунок його всебічного стиснення.

3.7.2 Основне обладнання для об'ємного штампування та інших операцій в цехах об'ємного штампування

Для об'ємного штампування і подальшого оброблення штампованих виковків застосовують технологічне обладнання різних типів. Схеми основного обладнання наведені на рисунку 3.14 [17, 20, 79, 80].

Пароповітряні штампувальні молоти (рис. 3.14, а) мають масу падаючих частин від 630 кг до 25 тонн з відповідною енергією удару від 16 до 630 кДж. Відстань між напрямними у проясненні B становить від 400 до 1320 мм, а найменша відстань H від баби молоту (в крайньому нижньому положенні) до штампотримача – від 180 до 600 мм. Відстань H визначає мінімальну висоту штампів.

Пароповітряні молоти поділяють на два типи: молоти простої дії та молоти подвійної дії. В молотах першого типу пар або повітря застосову-

ють лише для підйому рухомих частин молота. Ці молоти зустрічаються рідко. В молотах другого типу пар або повітря здійснюють підйом рухомих частин молота і додатково збільшують енергію удару молота.

Штампувальні фрикційні молоти з дошкою (рис. 3.14, б) мають масу падаючих частин від 500 до 1500 кг при максимальному ході падаючих частин від 1400 до 1500 мм, причому хід можна регулювати, зменшуючи його до 900 мм. Відстань B становить від 450 до 660 мм, а найменша висота штампів H – 180-260 мм.

Штампувальні молоти з двостороннім ударом або, як їх часто називають, безшаботні молоти мають різну конструкцію. Найчастіше зустрічається конструкція з стрічковим зв'язком (рис. 3.14, в). Ці молоти характеризуються силою удару, яка коливається від 10 до 450 кДж. Відстань B у цих молотів становить 750-1200 мм, а найменша висота штампа без хвостовиків – 350-575 мм. Якщо розділити енергію удару бесшаботного молота навпіл, то приблизно вийде маса падаючих частин еквівалентного пароповітряного штампувального молота.

Кривошипні горячештампувальні преси (рис. 3.14, г) мають номінальне зусилля від 6,3 до 80 МН і хід повзуна від 200 до 500 мм. Штампова висота H при нижньому положенні повзуна і верхньому положенні клинкової подушки коливається від 560 до 1240 мм. Розміри стола наступні: ширина B – від 640 до 2100 мм і довжина L – від 820 до 2150 мм. Для штампування видавлюванням ці ж преси мають зусилля від 4 до 40 МН і підвищену величину ходу повзуна.

Гвинтові фрикційні преси (рис. 3.14, д) мають номінальне зусилля від 400 до 6300 кН і енергію удару від 1,25 до 80 кДж. Найбільший хід повзуна становить 240-600 мм. Відстань B коливається від 310 до 740 мм, а найменша відстань H між столом і повзуном преса в крайньому нижньому положенні від 170 до 430 мм. Відстань H визначає мінімальну висоту штампів.

Гідравлічні преси (рис. 3.14, е) зазвичай мають чотириколонну або рамну станину. Номінальні зусилля пресів коливаються від 1 до 100 МН, але є преси з зусиллями 150, 200, 300, 500 і навіть 750 МН у сучасних.

Горизонтально-кувальні машини (рис. 3.14, ж, показана в плані) мають номінальне зусилля на штампувальному повзуні від 1 до 31,5 МН. Такі машини дозволяють оброблювати вихідні заготовки діаметром до 225 мм. Внаслідок того, що на гідравлічних штампувальних пресах виконують в основному остаточне формування виковка, вони мають невеликий робочий хід, менш швидкохідні, ніж кувальні (середня швидкість робочого ходу повзуна 0,1-0,5 м/с).

Карбувальні (калібрувальні) кривошипно-колінні преси (рис. 3.14, з) відрізняються малим ходом при дуже великих зусиллях на повзуні. Такі преси мають номінальне зусилля від 1 до 40 МН при ході повзуна від 45 до 200 мм при числі ходів 20-70 за хвилину.

Для обрізання задирки (облою) після штампування застосовують кривошипні і гідравлічні обрізні преси. Закриті кривошипні преси простої дії мають номінальне зусилля від 1 до 25 МН (рис. 3.14, и).

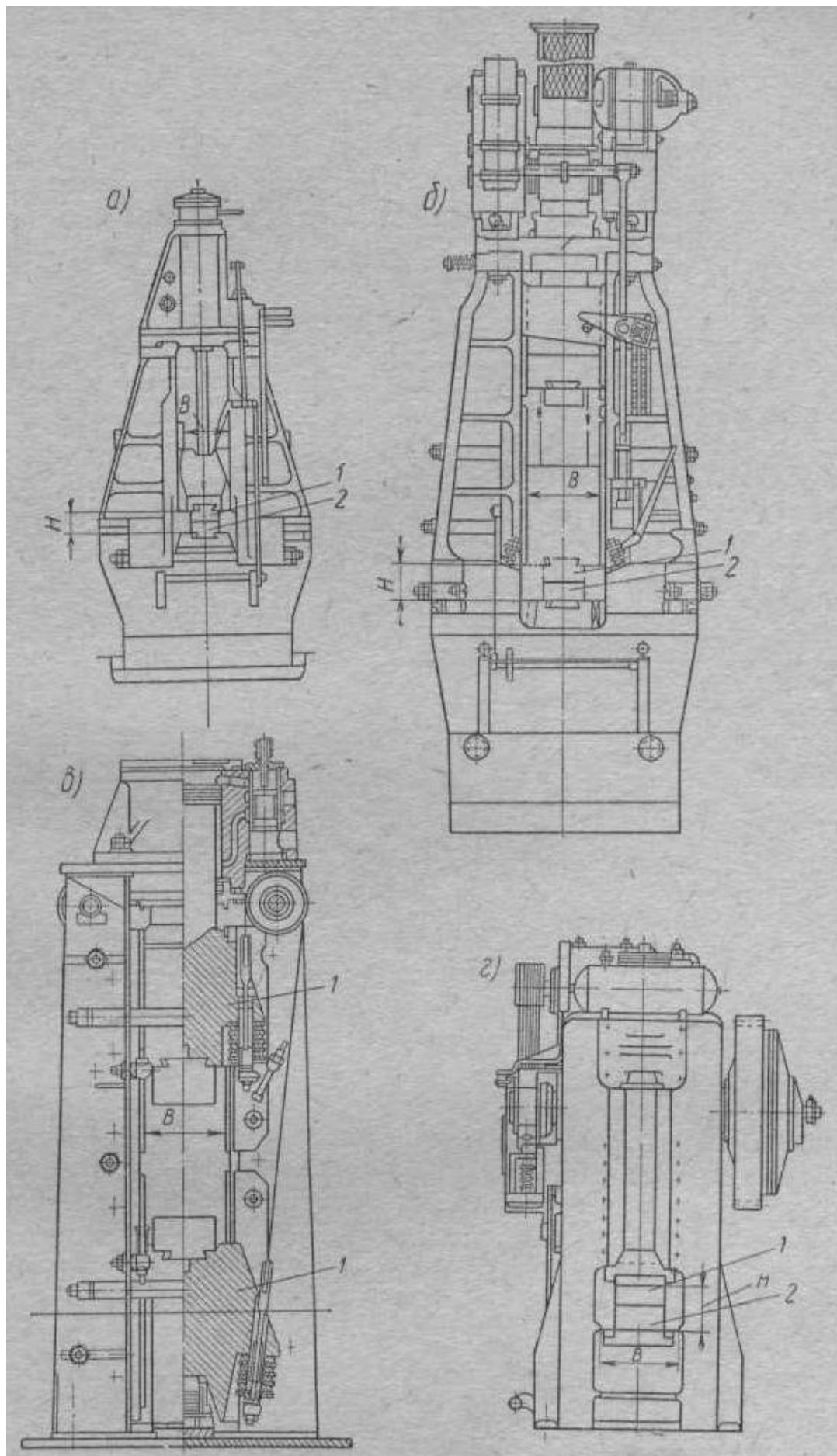


Рисунок 3.14 – Основне обладнання ковальсько-штампувальних цехів

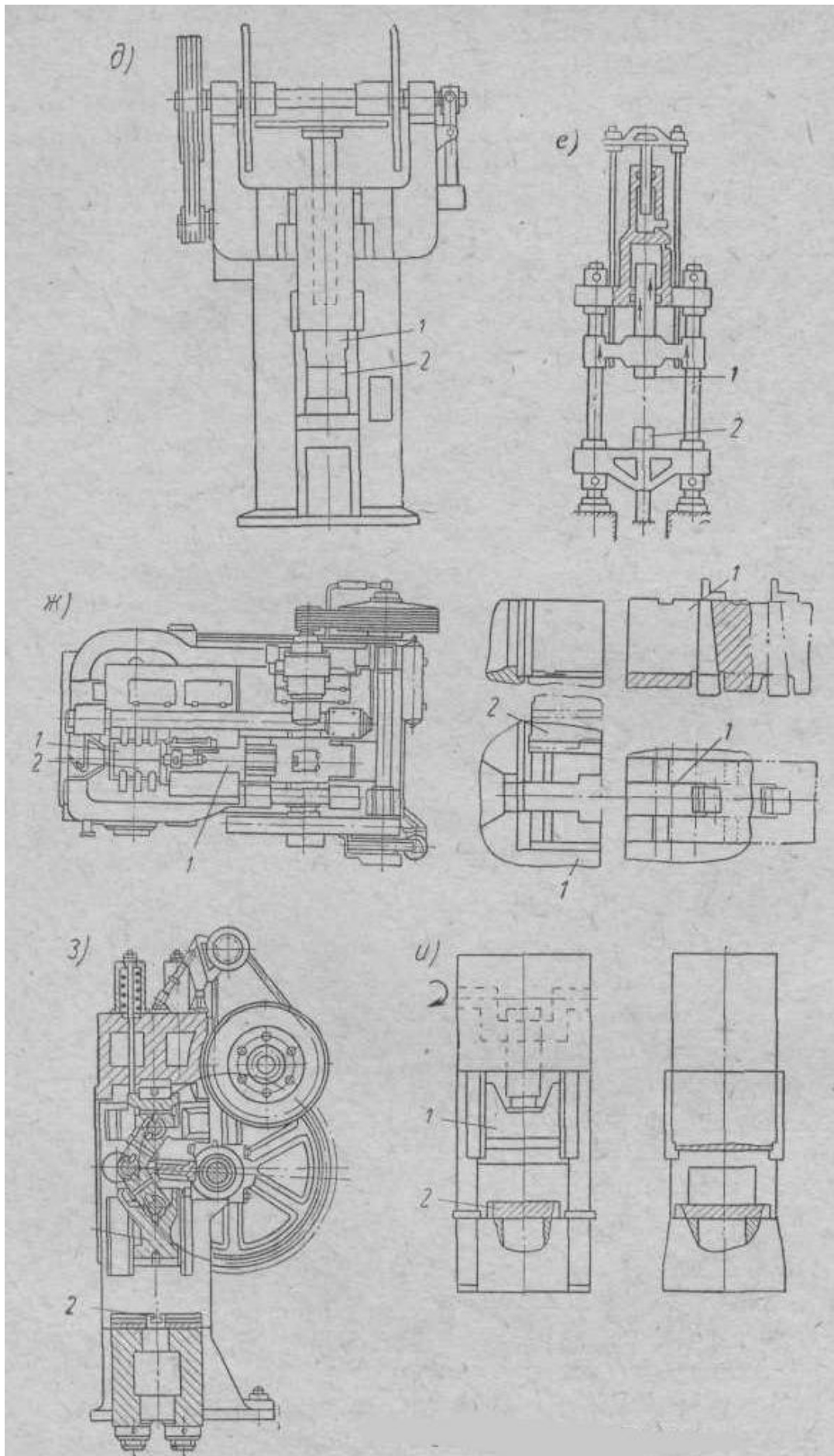
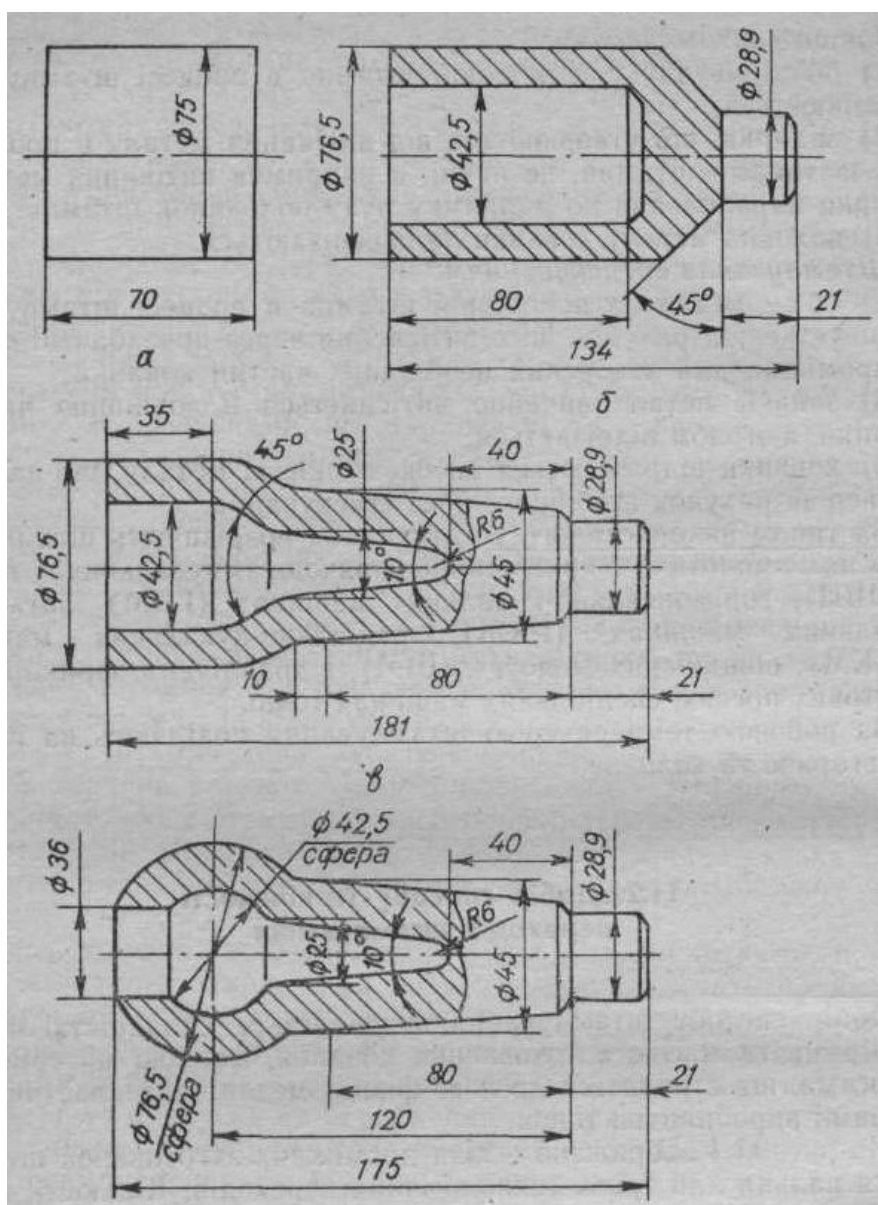


Рисунок 3.14, аркуш 2

3.7.3 Вибір способу і кількості переходів штампування

Вибір способу штампування визначається складністю форми, розмірами і масою виготовлених виковків, маркою матеріалу і вимогами до його фізико-механічних властивостей, а також умовами виробництва. На рисунку 3.15 зображені ескізи проміжних заготовок штампування пальця для трьох технологічних переходів. Кількість технологічних переходів штампування визначається складністю форми виковка, заданою якістю, властивостями матеріалу, можливостями наявного устаткування, програмою випуску тощо. Вдалий вибір кількості технологічних переходів обумовлює ефективність виготовлення виковків. У більшості випадків для штампування простих за формою виковків досить одного-трьох переходів [20, 78].



*а – вихідна заготовка; б – заготовка після комбінованого видавлювання;
в, г – заготовки після обтиснення стрижня і головки
Рисунок 3.15 – Послідовність переходів штампування кулькового пальця*

Для визначення кількості переходів в окремих випадках користуються коефіцієнтами відносного обтиснення або витягнення, особливо для штампування видавлюванням.

Коефіцієнт відносного обтиснення визначають за формулою:

$$K_o = \frac{F_{B.з.} - F_з}{F_{B.з.}}, \quad (3.7)$$

де $F_{B.з.}$ і $F_з$ – площі поперечного перерізу відповідно вихідної заготовки і заготовки, отриманої як результат її деформування, м².

Коефіцієнт витягнення визначають за формулою:

$$K_B = \frac{F_{B.з.}}{F_з}. \quad (3.8)$$

Для значень $K_B \leq 8$ метал легко видавлюється, однак існує велика вірогідність неповного заповнення порожнини штампу у потовщених місцях виковка, для значень $K_B = 8..15$ в потовщеній частині виковка може утворитися задирка, а для значень $K_B > 15$ видавлювання не рекомендується через можливе заклинювання пуансона.

В одному рівчаку (технологічному переході) отримують виковки простої форми з коефіцієнтом витягнення $K_B \leq 8$, виковки ступінчастої форми – із загальним значенням коефіцієнта витягнення $K_B \leq 10$. Виковки більш складних форм штампують з великими значеннями коефіцієнта витягнення за два або більше переходів.

Іноді кількість технологічних переходів визначають за швидкістю плину металу:

$$v_M = \frac{F_{B.з.}}{F_з} v_{\Pi}, \quad (3.9)$$

де v_M , v_{Π} – швидкість відповідно плину металу і руху пуансона, м/с.

Рекомендації щодо визначення кількості технологічних переходів в залежності від коефіцієнтів відносного обтиснення, витягнення та швидкості плину металу для різних матеріалів і форм виковків наведені в спеціальній і довідковій літературі. У виробництві часто виковки, що виготовлені на різних типах штампувального обладнання, ділять на групи і підгрупи по складності їх форм і для кожної з них по галузевим чи заводським рекомендаціям визначають кількість і послідовність виконання технологічних переходів або застосовуються розроблені у науково-дослідних інститутах та лабораторіях математичні моделі, які визначають оптимальну кількість переходів і дозволяють отримувати штамповані виковки високої якості з максимальним коефіцієнтом використання металу [81].

Для штампування виковків у відкритих штампах використовують рівчаки трьох груп. До першої групи належать попередній (чорновий), заготівельно-попередній і остаточний (чистовий) штампувальні рівчаки. Попере-

дній ривчак слугує для зменшення зносу відкритого остаточного ривчака за рахунок надання заготовці форми, близької до остаточної, і не має облойної канавки. Заготівельно-попередній ривчак застосовують замість попереднього ривчака для штампування викокків складної форми. Відкритий остаточний (чистовий) ривчак слугує для отримання готового викокка з облоєм. Його порожнину виконують за формою і розмірами готового викокка з урахуванням зіступу і температурного розширення металу. Для виходу зайвого металу, створення належного опору цьому виходу для кращого заповнення порожнини ривчака вздовж його периметра виконують облойну канавку.

До другої групи належать заготівельні ривчаки (рис. 3.16), призначені для попереднього деформування вихідної заготовки і отримання відповідної форми проміжного викокка для його подальшого деформування в штампувальних ривчаках. Заготівельні ривчаки, в залежності від способу штампування, ділять на ривчаки зі штампуванням плиском (поперек осі заготовки) та ривчаки зі штампуванням осадом у торець (уздовж осі заготовки).

Заготівельні ривчаки зі штампуванням плиском – це формувальні, підкатні (відкритий і закритий), протяжні (відкритий і закритий), перетискні і згинальні. Формувальний ривчак (рис. 3.16, а) слугує для надання заготовці форми, що відповідає формі викокка у площині розніму, якщо при цьому не потрібно ні великих змін поперечного перерізу заготовки, ні значних переміщень металу уздовж осі. Підкатний ривчак (рис. 3.16, б, в) слугує для значного збільшення одних поперечних перетинів за рахунок зменшення інших, і перерозподілу металу уздовж осі заготовки. Протяжний ривчак (рис. 3.16, г) застосовується для протягування окремих ділянок заготовки. Перетискний ривчак слугує для нерівномірного по довжині розширення заготовки і незначного перерозподілу металу уздовж її осі. Згинальний ривчак використовується для згинання заготовок з метою надання їм необхідної форми у площині розніму.

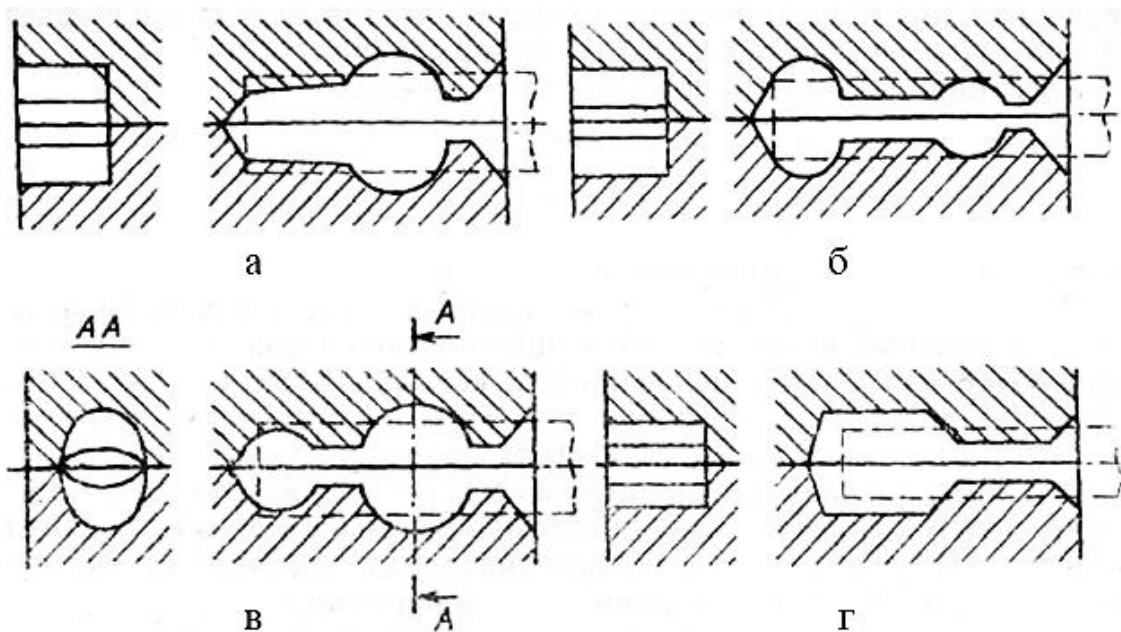


Рисунок 3.16 – Заготівельні ривчаки молотових штамсів

До заготівельних рівчаків зі штампуванням осадом у торець відносяться спеціальні площини для осаду. Існують пласка і фасонна форми площин. Вони слугують для осаду у торець вихідної заготовки перед обробленням у штампувальних рівчаках.

Третя група представлена відрубними рівчаками, які використовуються для відокремлення заготовок від прутка, штаби або іншої вихідної заготовки, якщо з неї виготовляють декілька виковків.

3.7.4 Штампування на молотах

Штампування виковків здійснюють за допомогою підкладних і стаціонарно закріплених на бойках молота штампів за 3-5 ударів. В основному використовують пароповітряні штампувальні молоти, хоча можуть бути використані і інші типи обладнання: пневматичні, фрикційні, гвинтові тощо. Маса падаючих частин штампувальних молотів зазвичай в 500-1000 разів більше маси виковка і визначається в залежності від необхідної потужності на виконання роботи деформування металу виковка. Верхня половина штампа кріпиться до баби молота, нижня – до штампотримача, закріпленому на шаботі. Хід жорсткий і конструюється таким чином, щоб половинки зімкнулися у площині зіткнення (на практиці між половинками залишається невеликий зазор) [17, 20, 78].

Штампування на молотах дає можливість регулювати енергію ударів і їх частоту, деформувати виковки в кожному окремому рівчаку за один або кілька ударів, і забезпечує (в порівнянні зі штампуванням на пресах) кращі умови заповнення порожнин рівчаків штампу, що пояснюється високою швидкістю деформації металу. Недоліками штампування на молотах є малий ККД, низька продуктивність праці, складність механізації і автоматизації виготовлення виковків, швидкий знос штампів, неприпустимість використання збірних штампів, збільшені витрати металу в порівнянні з іншими способами штампування, низька точність форми і розмірів виковків, труднощі з використанням закритих штампів. Крім цього, штампувальні молоти потребують для їх встановлення громіздких фундаментів, наявності котелень або компресорних станцій, створюють сильний шум в процесі їх роботи.

Існують три основні варіанти штампування на молотах [82, 83].

1. Штампування катаної заготовки проводиться з одного нагрівання у багаторівчаковому штампі. У ньому виконуються заготівельні рівчаки для надання заготовці перехідних форм перед штампуванням в остаточному рівчаку. Продуктивність процесу досить висока.

2. Розчленоване штампування проводиться з одного нагрівання на молотах, що встановлені поруч. Область застосування – масове виробництво. Основний недолік – труднощі з переналагодженням.

3. Штампування кованої заготовки. В молотовому штампі виконують тільки остаточний рівчак, а заготовку відковують на іншому обладнанні (наприклад, на пневматичних молотах).

Кількість і послідовність переходів штампування виковків на молотах в основному визначається складністю їх форми. За конструктивно-технологічною складністю форми гарячештамповані виковки ділять на чотири групи по зростанню їх складності. На молотах виготовляють виковки тільки перших трьох груп. На рисунку 3.17 наведена класифікація виковків за групами складності форми.

Виковки першої групи (рис. 3.17, а) штамнують в багаторівчачових штампах протягуванням, підкочуванням, гнуттям, попереднім і остаточним штампуванням. Виковки другої групи (рис. 3.17, б) штамнують за один-три переходи осаджуванням, видавлюванням і прошиванням. Виковки третьої групи (рис. 3.17, в) штамнують осаджуванням, перетисканням, попереднім і остаточним штампуванням. Якщо виковки не можна чітко віднести до однієї з груп, то штампувальні переходи комбінують для двох суміжних груп. Виковки четвертої групи (рис. 3.17, в) виготовляють методом комбінованого штампування (на пресі і молоті, молоті і ГKM та при інших поєднаннях ковальсько-пресового обладнання) [18, 83, 85].

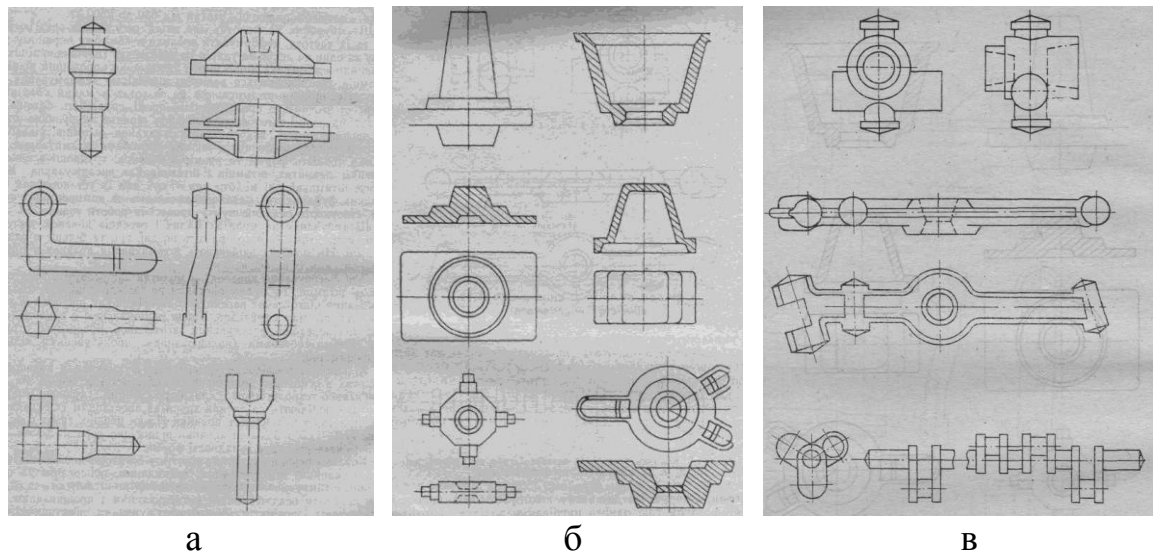
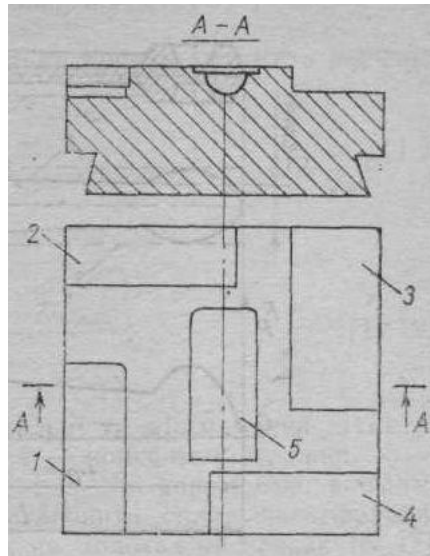


Рисунок 3.17 – Групи складності виковків, що штамнуються на молотах

В процесі конструювання штампу доцільно розташовувати усі рівчачки в одному штампі (рис. 3.18). Якщо цього не вдається, то застосовують два і більше штампа, встановлених на молотах, що розташовані поруч. Це дає можливість виконувати весь процес штампування за одне нагрівання і ефективніше використовувати засоби механізації і автоматизації транспортування заготовок в процесі їх виготовлення.

Штампування на двох молотах (однотипних чи різнотипних) також може застосовуватися при відковуванні виковків складної конфігурації (з тонкими стінками, високими ребрами і бобиками тощо). Така форма виковка дуже чутлива до зсуву і потребує розташування рівчачків у центральних частинах двох окремих штампів. Визначення набору рівчачків відбувається в залежності від групи (підгрупи) виковка у відповідності до його розмірів і форми поперечних перетинів.



1 – формувальний рівчак; 2 – підкатний рівчак; 3 – площа для осаду; 4 – перетискний (згинальний) рівчак; 5 – остаточний
 Рисунок 3.18 – Схема розташування рівчаків на молотовому штампі.

3.7.5 Штампування на кривошипних гарячештампувальних пресах

На кривошипних гарячештампувальних пресах (КГШП) виготовляють виковки будь-якої конфігурації масою до 100 кг. Особливістю кінематичної схеми КГШП, яка забезпечує жорсткий зв'язок між приводом і повзуном (рис. 3.19), є можливість забезпечення великих зусиль штампування в нижній позиції повзуна від незначного крутного моменту приводу. Це сприяє процесу штампування, в якому найбільший опір деформації металу виникає також в нижній позиції верхньої частини штамп, коли досягає максимального значення обсяг одночасно деформованого металу. Всі зусилля, що виникають при штампуванні, сприймаються станиною і не передаються на фундамент, як у більшості випадків при штампуванні на молотах [17, 20, 78-80].

До особливостей конструкції пресів відносяться жорстка закрита сталева станина, жорсткий кривошипно-шатунний механізм 1 з надійними напрямними повзуна 2, механічні виштовхувачі 8 в обох частинах штамп, що дозволяє зменшити штампувальні ухили і припуски на оброблення різанням. На повзуні 2 і столі 7 пресу закріплюється верхня 3 і нижня 6 плити штамп з рівчakovими вставками 4, 5. Суміщення верхньої і нижньої частин штамп забезпечується напрямними колонками 9. При піднятті повзуна 2 у верхнє положення виштовхувачі 8 виштовхують виковок з рівчака. Регулювання висоти штампового простору здійснюється за допомогою столу 7 з клиновим або кривошипним механізмом.

КГШП ділять на три групи:

- легкі преси, що мають номінальне зусилля 6,3-16 МН, призначені для виготовлення виковків масою до 2 кг;

- середні преси з номінальним зусиллям 20-50 МН – для виковків масою до 40 кг;
- важкі преси номінальним зусиллям 63-160 МН, що використовуються для виковків масою більше 50 кг.

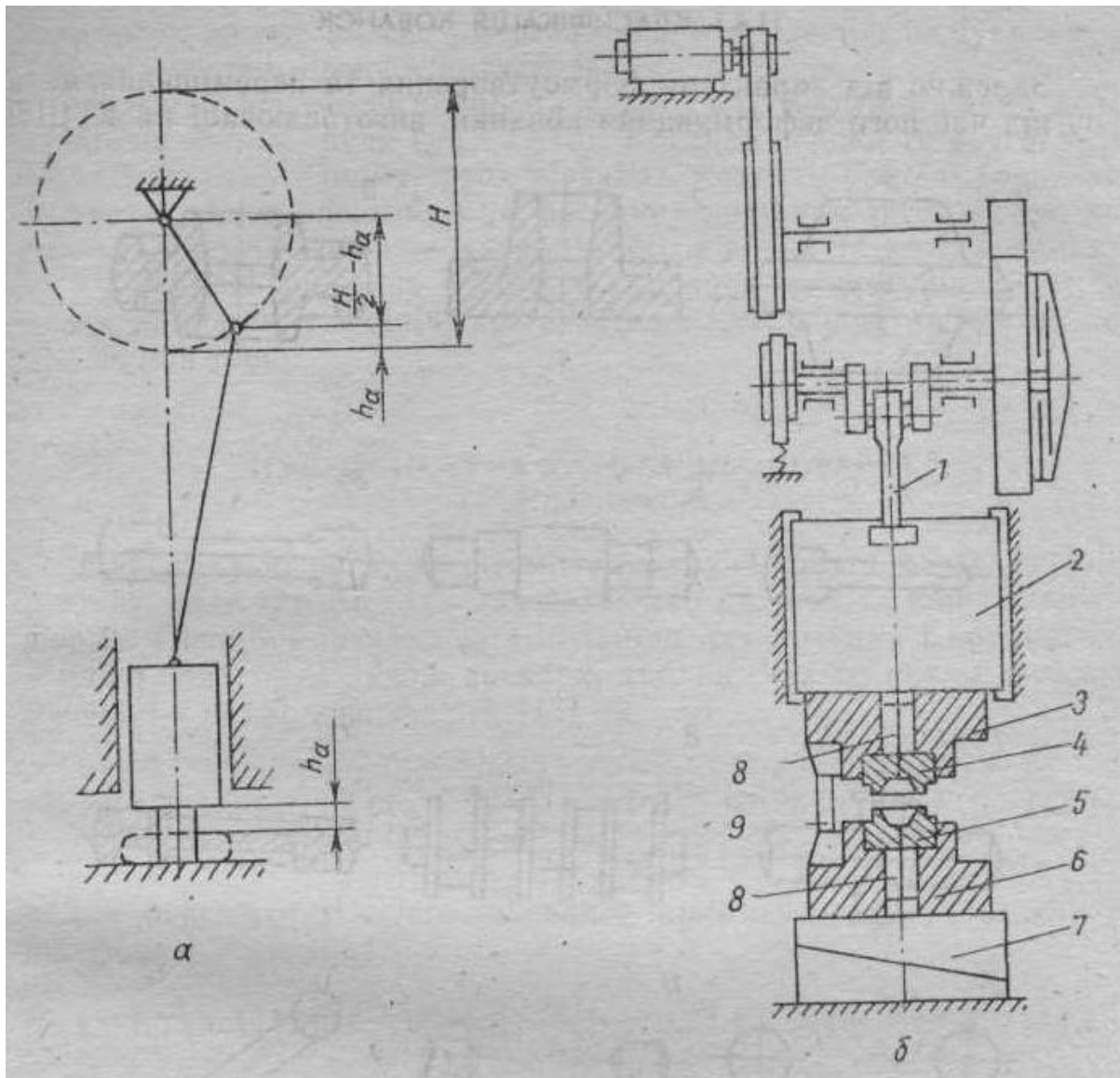


Рисунок 3.19 – Кінематична схема КГШП

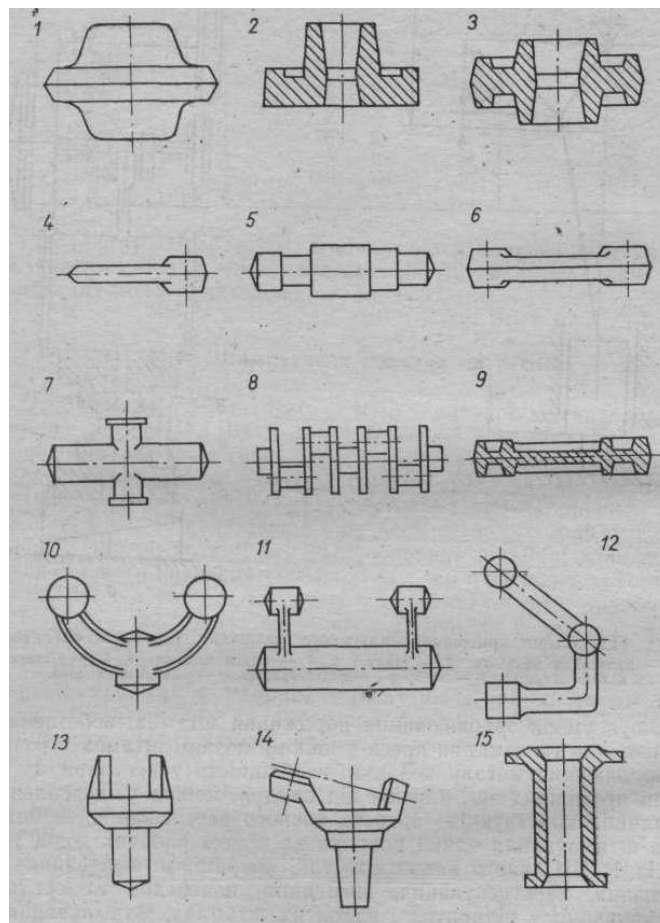
До переваг способу штампування на КГШП відносяться висока точність форми і розмірів виковків, коефіцієнт використання матеріалу, продуктивність праці, ККД основного обладнання, відсутність ударних навантажень, кращі умови праці, менші навантаження на виробничі споруди, можливість використання збірних (універсальних) штамів, комплексної механізації і автоматизації виробничих процесів.

Недоліками штампування на КГШП є висока вартість, менша універсальність і більш складна конструкція оснащення; низька у порівнянні з молотом штампування швидкість деформації металу, що погіршує заповнення складного рельєфу порожнини штампу; небезпека заклинювання і поломки преса в нижній позиції повзуна в разі переохолодження металу

виковка; необхідність в регулярному очищенні проміжних заготовок від окалини (спеціальне нагрівання або гідроочищення); неможливість штампування одного виковка за кілька робочих ходів, що призводить до збільшення кількості підготовчих переходів [20, 83].

На КГШП виконують практично всі операції штампування, за винятком підкочування і протягування, реалізація яких неможлива через постійну величину ходу преса. Ці операції здійснюють на спеціальних кувальних вальцях, встановлених поряд з пресом.

Залежно від характеру формоутворення і переміщення металу в процесі його деформування виковки, що штамнуються на КГШП, поділяють на два класи: з переважанням процесу осаду і з переважанням процесу видавлювання. Залежно від конфігурації і складності форми виковки ділять на чотири групи (рис. 3.20). Виковки першої і другої груп виготовляють в одному-трьох рівчаках, виковки третьої групи вимагають для їх отримання фасонних вихідних заготовок, виковки четвертої групи – згинального рівчака і видавлювання.



1-3 – перша; 4-6 – друга; 7-9 – третя; 10-15 – четверта групи складності
Рисунок 3.20 – Класифікація виковків, що виготовляються на КГШП

На КГШП традиційно отримують виковки шатунів, важелів, цапф, клапанів, стаканів, колінчастих валів, зірочок, зубчастих коліс, шківів, турбінних лопаток тощо.

3.7.6 Штампування на гідравлічних пресах

Гідравлічні преси відрізняються своєю тихохідністю, практично необмеженою довжиною робочого ходу і високою потужністю. Швидкість руху робочої траверси становить 0,1-0,2 м/с. Особливістю гідравлічних пресів є можливість забезпечити стабільне зусилля штампування протягом тривалого проміжку часу незалежно від деформування. Преси оснащують автоматичними виштовхувачами, що значно розширює номенклатуру викокків, що одержуються, і дозволяє обійтися без штампувальних ухилів. Безударний характер роботи, можливість закінчення ходу преса в будь-який момент і низька швидкість руху робочої траверси вирівнюють умови заповнення ривчаків у верхньому і нижньому штампах і забезпечують реалізацію технологічних процесів штампування видавлюванням, прошивання і протягування порожнистих викокків, відкритого і закритого штампування, багаторівчакового штампування складних за формою і великих за масою і розмірами викокків, а також викокків з важкодеформованих малопластичних матеріалів. При отриманні складних викокків заготовку спочатку піддають куванню, а потім штамнують [17, 20, 79, 80, 83].

На гідравлічних пресах часто використовують збірні і багатопуансонні штампи як з суцільною, так і з рознімною матрицею. Багатосекційні пуанسونи дають можливість деформувати заготовку послідовно окремими частинами за кілька ходів робочої траверси. На рисунку 3.21 зображено штамп для штампування диска трисекційним пуансоном. Окремі його секції 3, 4, 5 приводяться до руху за допомогою спеціальних зубчастих регулювальних втулок 1, 2, які в процесі зворотного ходу робочої траверси повертають на заданий кут обмежувальні кільця.

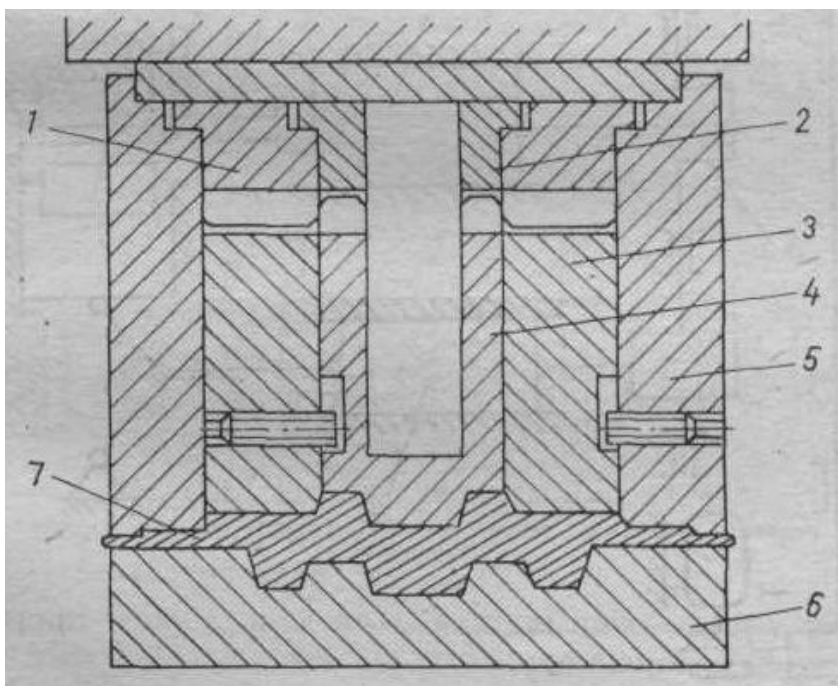


Рисунок 3.21 – Трисекційний штамп для штампування диска

Основним недоліком гідравлічних пресів є порівняно низька стійкість штампів, що обумовлена тривалим контактом з гарячим металом вивковка. У зв'язку з цим при даному способі штампування найбільше застосування отримали вивковки з алюмінієвих і магнієвих стопів, які мають відносно низьку температуру початку штампування. Крім цього, для підвищення стійкості штампів преси оснащують водяним охолодженням, змащують робочі поверхні пуансонів і матриць, а масивні деталі штампів виконують порожнистими.

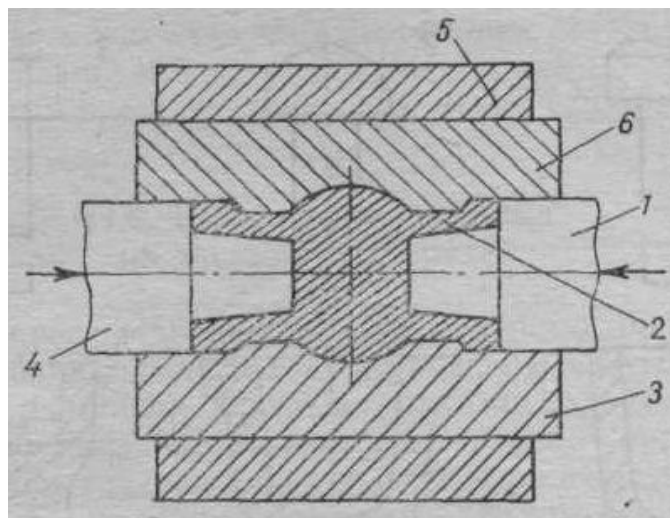
Ще однією особливістю штампування на гідравлічних пресах є жолоблення великогабаритних поковок. Для усунення цього явища необхідно виготовляти штампи із заздалегідь заданою опуклістю.

Вивковки, що штампуються на гідравлічних пресах, ділять на чотири групи: перша – гільзи і стакани; друга – диски і фланці; третя – хрестовини; четверта – панелі і рами.

3.7.7 Штампування на гвинтових фрикційних пресах

За характером роботи гвинтові преси займають проміжне положення між штампувальними молотами і КГШП. Швидкість руху повзуна гвинтового преса становить від 1 до 3 м/с. Це в 4-6 разів менше, ніж швидкість баби молота, але більше, ніж швидкість повзуна КГШП [17, 20].

На гвинтових пресах можна виконувати штампування за кілька робочих ходів (ударів), як і на молоті. Наявність нижнього поршня розширює номенклатуру вивоків, що одержують, а значний робочий хід (до 700 мм) дає можливість отримувати високі заготовки. На цих пресах можуть бути реалізовані будь-які технологічні процеси штампування: відкрите, закрите і видавлюванням. На рисунку 3.22 наведена схема процесу штампування видавлюванням в рознімній матриці.

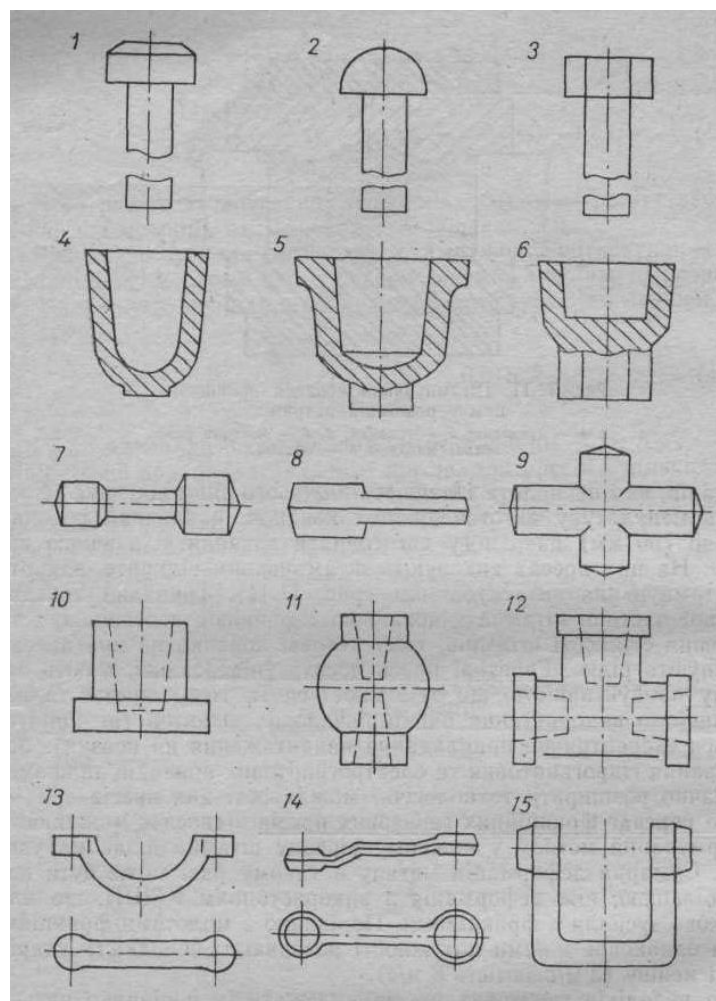


1, 4 – пуансони; 2 – вивковок; 3, 6 – частини рознімної матриці; 5 – обойма
Рисунок 3.22 – Штампування вивоків на гвинтових фрикційних пресах

Тривалий контакт нижньої частині штампу з виковком викликає перегрівання і зниження стійкості штампів, тому сталеві виковки на цих пресах штампують рідко. Гвинтові преси досить універсальні, застосування гідрогвинтових і електрогвинтових повідней дозволило значно розширити технологічні можливості цих пресів. Але вони мають низьку продуктивність, що обумовлено їх тихохідністю і неможливістю використання багаторівчачових штампів (не допускається ексцентричне прикладання навантаження на повзун). Тому вони переважно використовуються у дрібносерійному виробництві для отримання малих і середніх за масою виковків (заміняють молоти і КГШП) [17, 18, 20, 79, 80, 83].

До основних переваг фрикційних гвинтових пресів відносяться можливість деформування металу в кожному рівчаку штампа за декілька робочих ходів, сприятлива схема напруженого стану, що створюється в закритих рівчачах, і низька швидкість деформування. Це дозволяє успішно штампувати виковки з малопластичних матеріалів. Сумарна деформація металу в цьому випадку може бути навіть вища, ніж деформація з використанням КГШП, який має однакове зусилля з фрикційним пресом.

Виковки, що одержуються штампунням на гвинтових фрикційних пресах, поділяють на чотири групи (рис. 3.23).



1-3 – перша; 4-6 – друга; 7-10 – третя; 11-15 – четверта групи складності
Рисунок 3.23 – Класифікація виковків, виготовлених на гвинтових пресах

3.7.8 Штампування на горизонтально-кувальних машинах

ГКМ фактично являє собою горизонтальний КГШП, забезпечений додатковим повзуном (рис. 3.24). У конструкцію ГКМ входять головний кривошипний механізм 5 і додатковий кулачково-важільний механізм 4, що слугує для затискання заготовки 3. Максимальні зусилля штампування на ГКМ – 5-125 МН, найбільший діаметр оброблюваних заготовок – до 270 мм, робочий хід основного повзуна – 200-700 мм, число робочих ходів за хвилину – 20-95. Особливістю ГКМ є використання в їх конструкціях кривошипно-шатунних механізмів і наявність двох площин розніму штампа: однієї – в самій матриці, другої – між матрицею і пуансоном. Перша площина розніму встановлюється в площині осьового перерізу заготовки, друга – в площині найбільшого поперечного перерізу виковка. У рознімній матриці можна затискати вихідні заготовки різної форми, що дозволяє відмовитися від штампувальних ухилів і облою. Заготовку встановлюють у нерухому матрицю 2 до упору 8. Головний повзун 6 з пуансоном 4 приводяться до руху від кривошипного механізму 5. Перед цим рухома матриця 1 затискає заготовку, а упор 8 відводиться [20, 79, 80, 82-84].

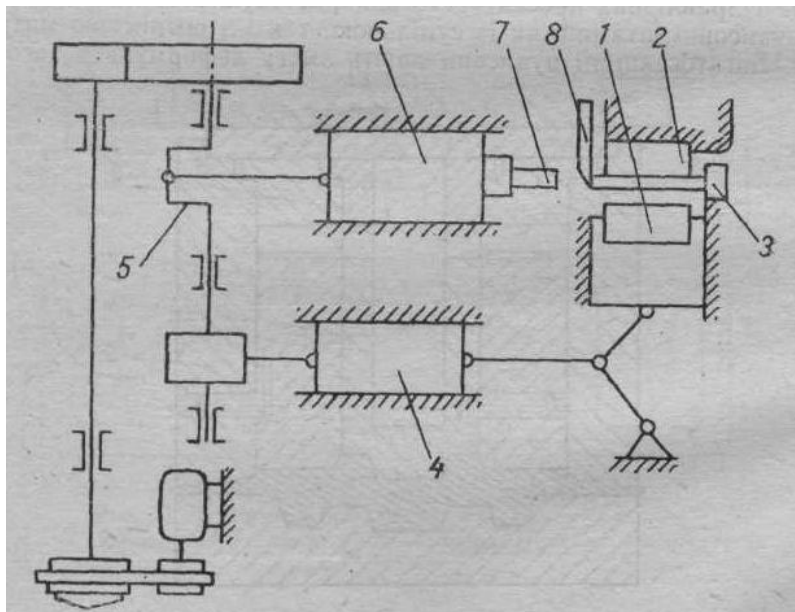


Рисунок 3.24 – Кінематична схема ГКМ

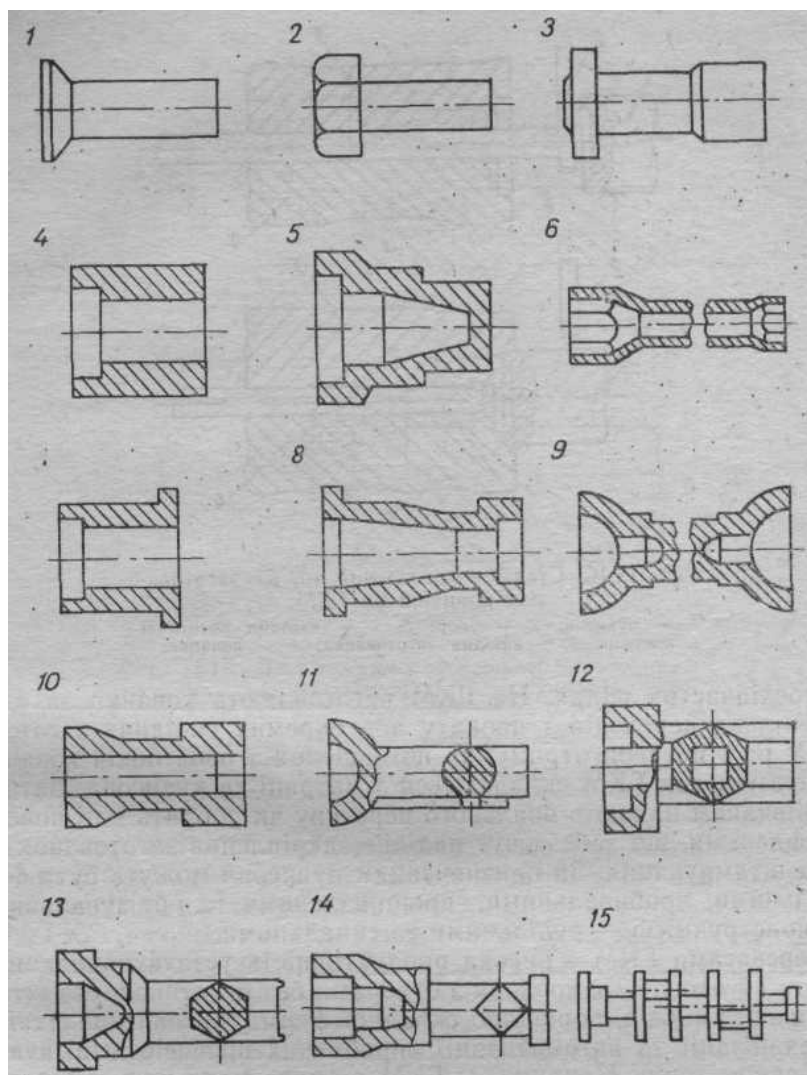
ГКМ часто використовують для виготовлення виковків, які не потребують деформації металу по всій довжині, або для виконання кінцевої операції штампування виковків, виготовлених на іншому обладнанні, наприклад, висадки фланців на колінчастих і багатоступінчастих валах. На ГКМ отримують виковки за один або кілька переходів з пруткового матеріалу круглого, квадратного і іншого профілю, трубного прокату і мірних заготовок. При необхідності можуть бути отримані потовщення по обидва боки виковка. Універсальність ГКМ значно менша ніж у молотів і пресів, тому і вартість їх у 1,5 рази вища.

Штампи для ГKM складаються з матриці і пуансона. Затискні рівчаки матриці виконують або овальними в їх поперечному перерізі, або виконують рифлення на їх поверхнях, що забезпечує надійне закріплення заготовок в процесі штампування. За призначенням пуансони можуть бути формувальними, пробивним, прошивними і обрізними, а за конструкцією – суцільними і збірними.

Серед переваг отримання заготовок на ГKM можна визначити наступні:

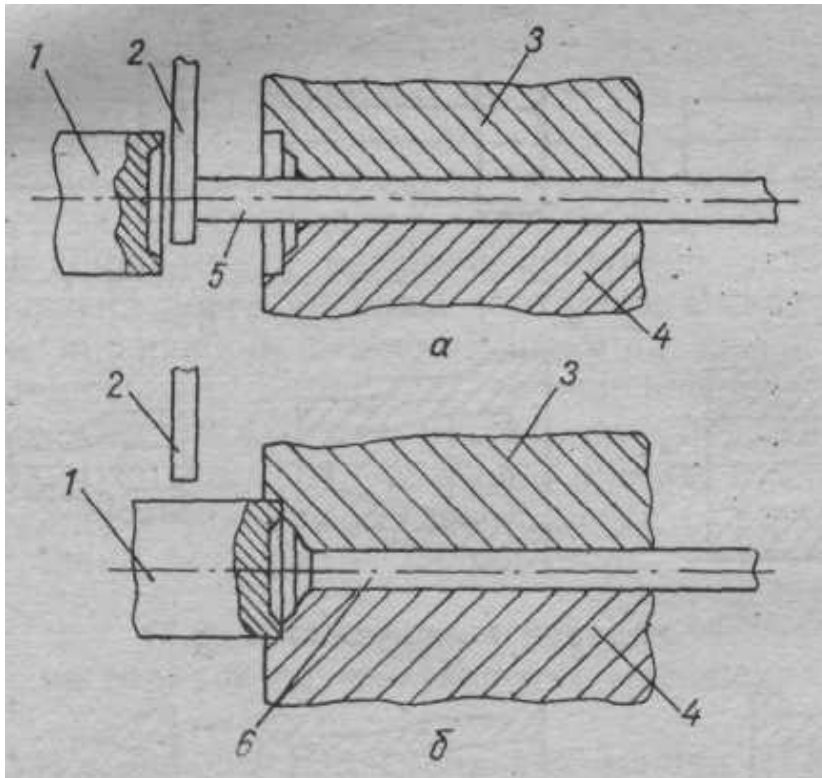
- висока продуктивність обладнання;
- можливість виготовлення виковків з отворами без перекладок і штампувальних ухилів, порівняно складної форми;
- можливість механізації і автоматизації виробничих процесів.

Недоліками штампування виковків на ГKM є обмежена номенклатура заготовок за формою (переважно тіла обертання з прямою віссю) і необхідність у використанні в якості вихідних заготовок точного прокату, висока вартість обладнання і технологічного оснащення, а також підвищена витрата матеріалу за рахунок хвостовиків для закріплення заготовок в матриці. Виковки, що одержуються на ГKM, показані на рисунку 3.25.



1-3 – перша; 4-6 – друга; 7-9 – третя; 10-15 – четверта групи складності
Рисунок 3.25 – Класифікація виковків, що виготовляються на ГKM

На ГKM може бути реалізоване відкрите, закрите і штампування видавлюванням. Типовим технологічним процесом штампування на ГKM є багаторівчачова висадка в закритих штампах (рис. 3.26) з прутка. На ГKM штамнують також мірні заготовки «в торець». В процесі поздовжнього штампування на молотах і КГШП попереднім технологічним переходом є осад вихідних заготовок для забезпечення їх стійкості. У разі використання ГKM внаслідок надійного затиснення прутка стійкість заготовок зростає, що дозволяє відмовитися від операції осаду.



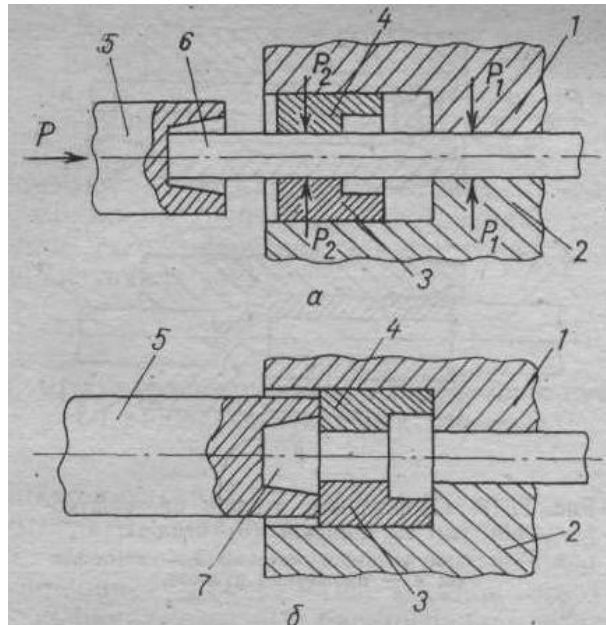
1 – пуансон; 2 – упор; 3, 4 – частини рознімної матриці; 5 – вихідна заготовка; 6 – готовий виковок

Рисунок 3.26 – Стадії штампування заготовок клапанів на ГKM

Для штампування пласким пуансоном довжина виступу вихідної заготовки повинна бути менше ніж 2,5 її діаметра, а діаметр висадженої частини виковка не повинен перевищувати 1,5 діаметра вихідної заготовки. Найбільш сприятливі умови висадки забезпечуються тоді, коли потовщена частина виковка має конічну форму і формується в тілі пуансона.

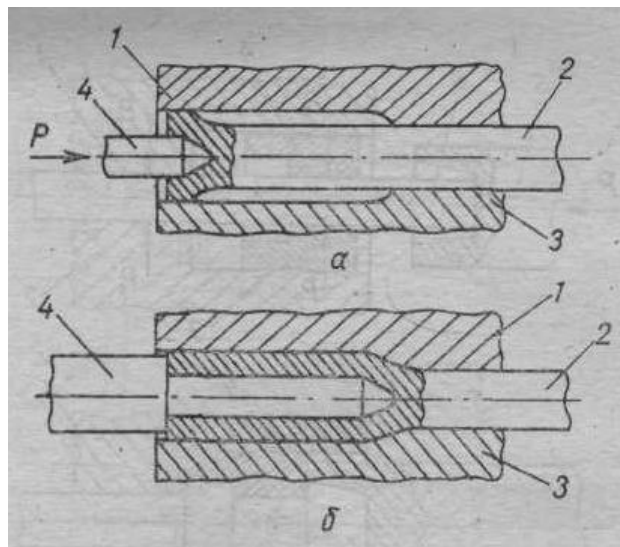
Для формування потовщеної частини виковка більшого обсягу і більш складної форми штампування здійснюють не в одному, а в декількох рівчачках, що звуться набірними. Набирають матеріал в пуансоні або в матриці, або частково в пуансоні і частково в матриці. Рекомендовані співвідношення розмірів заготовок наведені в спеціальній літературі [77, 78, 86, 87]. При штампуванні кілець метал набирають висадкою, а потім в остаточному рівчачку прошивають отвір.

Для отримання потовщення посередині виковка використовують ковзні матриці (рис. 3.27).



1, 2 – частини рознімної матриці; 3, 4 – частини додаткової рознімною матриці; 5 – пуансон; 6 – вихідна заготовка; 7 – кування
Рисунок 3.27 – Висадка потовщень в ковзних матрицях на початковій (а) і кінцевій (б) стадіях

Для отримання порожнин у виковках з глухими або наскрізними отворами використовують прошивні рівчаки (рис. 3.28). На практиці за допомогою прошивання на ГKM отримують отвори, що дорівнюють 0,75 діаметра прутка і глибиною до чотирьох його діаметрів.



1, 3 – частини рознімної матриці; 2 – заготовка; 4 – прошивний пуансон
Рисунок 3.28 – Прошивання отворів на початковій (а) і кінцевій (б) стадіях

Поширеною операцією на ГKM є отримання фланців і потовщень різної форми на трубних заготовках (рис. 3.29). На ГKM також виконують операції перетискання, сплющування, гнуття, відрізання тощо. Матриці штампів ГKM мають три-п'ять рівчаків і більше, стільки ж має бути і пуансонів. Рівчаки штампів і пуанسونи розташовуються вертикально один під іншим.

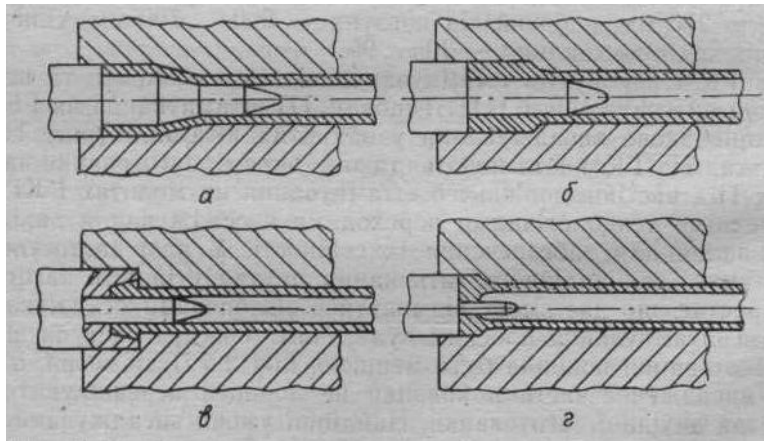


Рисунок 3.29 – Висадка потовщень різної форми на трубних заготовках

Штамування на ГKM застосовується в умовах багатосерійного і масового виробництва виковків масою від 0,1 до 100 кг.

3.8 Штамування на спеціальних і спеціалізованих машинах

3.8.1 Штамування на ротаційно-кувальних і радіально-кувальних машинах

На ротаційно-кувальних і радіально-кувальних машинах (РKM і РдKM) обтискають в радіальному і протягують у поздовжньому напрямках вісесиметричні виковки з протяжною віссю для отримання суцільних і порожнистих виковків стрижневого типу (ступінчастих, конічних, круглих, багатогранних тощо). Заготовка може деформуватися на кінцях або в будь-якому місці посередині, в одному або декількох місцях одночасно. Ротаційним куванням здійснюють повне або часткове заковування кінців трубних заготовок, а також з'єднують трубні і стрижневі заготовки [17, 20, 84].

Сутність процесу штамування виковків на РKM і РдKM полягає в тому, що заготовка обтискається між бойками, що рухаються назустріч один одному. На сьогоднішній день створено багато конструкцій машин з різними приводами. Деякі з них мають по дві пари бойків, розміщених у взаємоперпендикулярних площинах. Обтиснення заготовки може здійснюватися послідовно кожною парою бойків або одночасно всіма бойками. Число обтиснень в хвилину для різних машин коливається від сотень до тисяч.

Обтиснення заготовок здійснюють в гарячому і холодному стані. За конструкцією РKM бувають горизонтальні і вертикальні. Обертальний рух відносно поздовжньої вісі заготовки отримує шпindel 6 або барабан 1 (рис. 3.30). У разі обертання шпинделю відбувається одночасне обтиснення заготовки 4 бойками 7 і її плавне обертання з невеликою швидкістю навколо своєї вісі в напрямку обертання шпинделя. Це створює умови для послідовного обтиснення окремих ділянок поверхонь виковка різними парами бойків, що надає поверхням обертання високу точність розмірів і форми. Бойки 7 закріплюються на повзунах 5, котрі встановлені у прорізі шпинде-

лю 6. При відносному обертанні барабану 1 або шпинделя 6 і завдяки встановленій між ними обоймі 2 з роликками 3 повзуни 5 здійснюють зворотно-поступальний рух і бойки 7 наносять удари по заготовці 4 [83, 84].

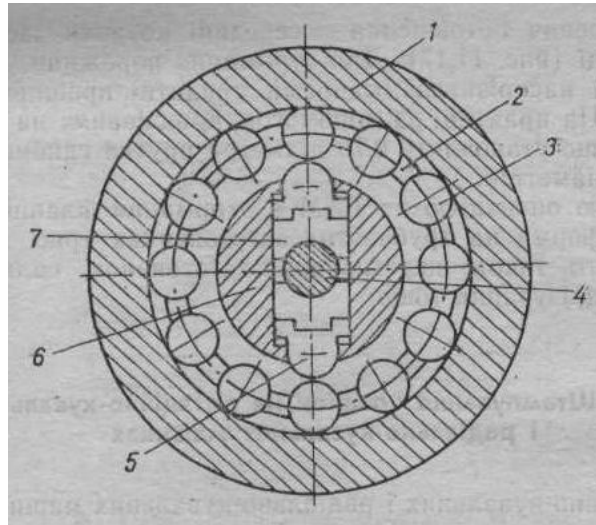


Рисунок 3.30 – Схема ротаційно-кувальної машини

Обертання барабану і нерухомий щодо заготовки шпиндель дають можливість отримувати виковки некруглого перетину, а використання спеціальних клинових пристосувань – отримувати виковки зі складним профілем по довжині.

Частота обертання шпинделя або барабана становить 3-7 оборотів за секунду. На РКМ отримують прості і складні за формою виковки в великому діапазоні розмірів – від швейних голок діаметром 0,3 мм до трубних виковків діаметром до 320 мм з профільованими як зовнішніми, так і внутрішніми поверхнями. Виковки, виготовлені на РКМ холодним штампуванням, відповідають 6-му квалітету точності, а шорсткість їх поверхні становить 0,5 мкм за шкалою Ra.

Радіально-кувальні машини відрізняються від ротаційно-кувальних тим, що кувальні бойки приводяться до руху за допомогою кривошипно-шатунних, ексцентрикових або кулачкових механізмів (рис. 3.31). У процесі обтиснення заготовка або блок бойків рухаються відносно один одного вздовж осі заготовки, при необхідності заготовку обертають навколо її осі (при виготовленні круглих або багатогранних виковків). Застосування спеціальних блоків бойків, що забезпечують рух окремих пар бойків в осьовому напрямку, дає можливість виконувати потовщення виковка в будь-якій його частині. Зусилля на кожній парі бойків 0,6-1,6 МН, частота 7-10 ударів в секунду [20, 82, 83].

Кожен з бойків 3 встановлюється в жорсткому корпусі-станині 1 і має індивідуальний повідний механізм 2. Компоновка радіально-кувальних машин може бути дво-, три- і чотирибойковою. У випадку чотирибойкового виконання усі бойки знаходяться в одній фазі і одночасно деформують метал заготовки 4, а можуть знаходитися попарно у протифазі (див. рис. 3.31) і в кожний окремий момент часу деформувати заготовку двома бойками.

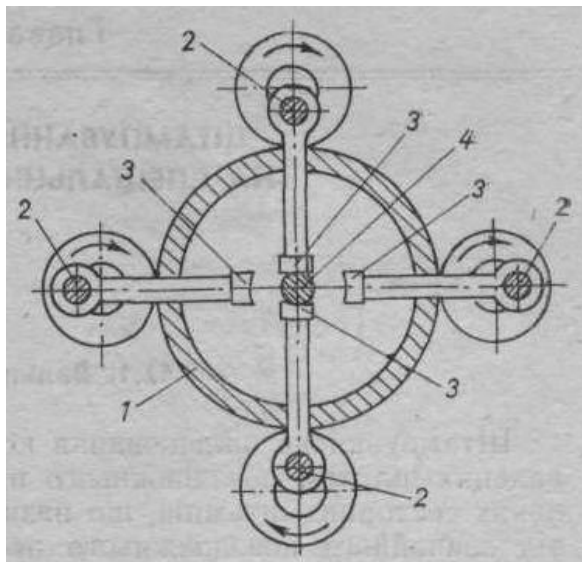


Рисунок 3.31 – Схема радіально-кувальної машини

Продуктивність РКМ і РдКМ нижча, ніж у штампувальних ГКМ і КГШП, тому їх часто використовують у дрібносерійному виробництві. Виготовлення викоків для ступінчастих валів обтисненням на РКМ і РдКМ в порівнянні зі штампованими викокками, отриманими на іншому обладнанні, дозволяє зменшити припуски на оброблення різанням на 40-60 %, підвищити продуктивність в порівнянні з токарною обробкою в 4-5 разів. Крім цього, значно зростає міцність і зносостійкість поверхневих шарів обробленого тиском металу, що позитивно впливає на якість і довговічність деталей машин і виробів.

3.8.2 Вальцювання

Штампувальне вальцювання викокків виконують на кувальних вальцях шляхом поздовжньої прокатки заготовки в рівчаках сегментних штампів, що зветься калібрами. На відміну від звичайної поздовжньої прокатки, внаслідок вальцювання отримують викокки зі змінним поперечним перерізом. Вихідною заготовкою для вальцювання слугує сортовий прокат. Схематично процес вальцювання показаний на рисунку 3.32. На початковій стадії (рис. 3.32, а) заготовка 2 вільно задається між вальцями 5 і 6 до упору 3. У процесі робочого ходу вальці 5 і 6, повертаючись навколо своїх осей в протилежних напрямках, захоплюють вихідну заготовку половинками штампів 1 і 4 і формують в їх порожнинах викокки. На кінцевій стадії (рис. 3.32, б) викок 7 звільняється від половинок штампів [17, 20, 82, 83].

Штампи можуть бути одно- і багаторівчачковими. У багаторівчачкових штампах рівчаки зазвичай розташовані паралельно один одному уздовж осі валків. Профіль, утворений порожнинами рівчаків в парі секторних штампів, називають (як і для прокатних станів) калібром. Як і штампи, калібри бувають відкритими і закритими. Одну пару вальцювальних валків називають

вають кліттю. Вальці для виготовлення складних за формою викокків можуть мати дві і більше клітей, розміщених послідовно одна за одною вздовж руху заготовки. Кліті розташовуються під кутом одна до одної, тобто, повернуті на різні кути навколо осі на шляху руху заготовки.

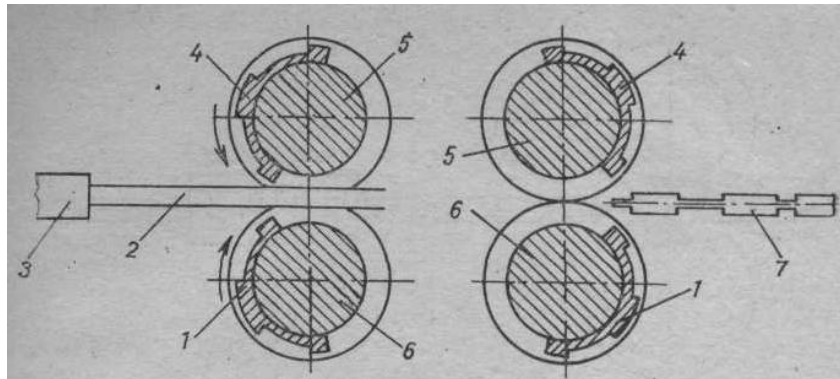


Рисунок 3.32 – Початкова (а) і кінцева (б) стадії вальцювання

За видами викокків, що виготовляються, вальцювання може бути заготівельним, формувальним, штампувальним і оздоблювальним. При вальцюванні дуже часто використовуються двоопорні і консольні вальці. На одноклітьових вальцях переважно виготовляють викокки простої форми (гайкові ключі, важелі, тяги, планки, скоби та ін.) і заготовки для подальшої штампування на іншому обладнанні (шатуни, кривошипи, щоки ланцюгів тощо). Двоклітьові консольні вальці (рис. 3.33) здійснюють безперервне формувальне вальцювання за допомогою двох пар валків, розташованих на шляху проходження заготовки під кутом 90° таким чином, що заготовку з однієї кліти в іншу автоматично передають самі валки. Як бачимо, пруткова вихідна заготовка 1 потрапляє в калібри вальців 2 і 3 першої кліти, де відбувається її попереднє деформування, після чого в калібрах вальців 4 і 6 другої кліти викокки 5 деформуються остаточно і виходять із кліти, з'єднані облойною стрічкою [20, 83, 88].

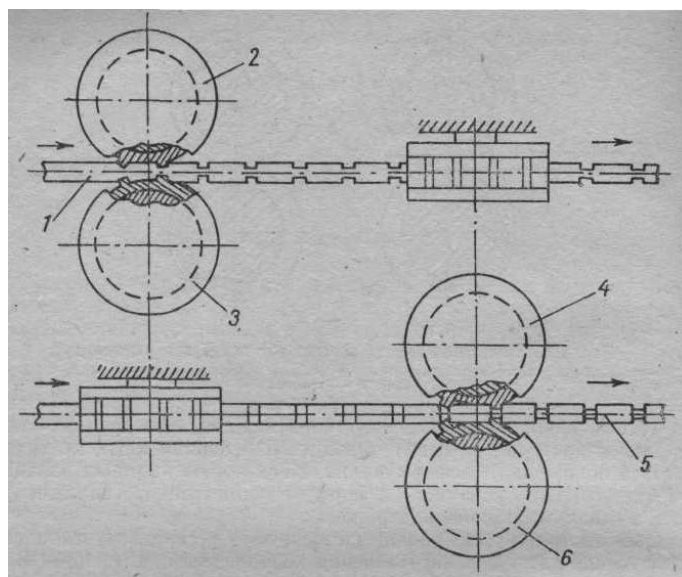


Рисунок 3.33 – Схема вальцювання на двоклітьових консольних вальцях

Дво- і трикільцеві вальці використовують в серійному і масовому виробництві для отримання викоків складної форми. Вальцюванням можуть бути отримані як штучні викокки, з'єднані облойною стрічкою, так і фасоновані прутки з ділянками, що періодично повторюються. Штампувальне вальцювання викоків використовують в серійному і масовому виробництві для отримання остаточних заготовок, що не піддаються в подальшому обробленню тиском, а оздоблювальне вальцювання – для виготовлення високоякісних викоків, наприклад, лопаток турбін.

Вальцювання є високопродуктивним способом отримання викоків (швидкість вальцювання 1-2 м/с), процес є простим в експлуатації, порівняно малошумним, легко піддається механізації та автоматизації. Перевагою вальцювання у порівнянні з об'ємним штампуванням є малі зусилля деформування, оскільки в кожен момент часу деформується тільки частина заготовки, а не увесь викок цілком.

Точність розмірів вальцьованих викоків і шорсткість їх поверхонь залежать від температури вальцювання, ступеня деформації та інших параметрів. Використання вальцювання для подальшого оброблення викоків тиском дозволяє заощадити 10-20% металу, підвищує продуктивність праці на 50-150%, знижує вартість заготовок на 15-25%.

Найбільш технологічними для вальцювання є викокки, що не мають високих ребер, виступів, глибоких отворів і западин. Для групового або одночасного вальцювання підбирають форму викоків (однакових або різних) і їх розташування таким чином, щоб краще використовувати матеріал вихідної заготовки (як в разі економного розкрою листового, штабового або стрічкового прокату).

3.8.3 Прокатка періодичних профілів

Процес прокатки здійснюють на дво-, трьо- і чотиривалкових станах (рис. 3.34). Існує поздовжня, поперечна, поперечно-клинова, поперечно-гвинтова і періодична прокатка. Розрізняють періодичні профілі з боку одного валка; з боку двох і більше валків з обов'язковим збігом фігур на заготовці; з боку двох і більше валків з необов'язковим збігом фігур на заготовці. Для прокатки профілів першого типу калібр одного валка має змінний, а другого – постійний профіль. Для прокатки другого і третього типів профілів калібри всіх валків характеризуються змінним профілем. Для прокатки другого типу профілю на прокатному стані повинен бути встановлений механізм регулювання точності збігу фігур на заготовці. Прикладом прокатки заготовок третього типу може бути пруткове залізо (арматура) для армування бетонних виробів [5-8, 17, 20, 83, 84, 88].

У якості вихідних заготовок для сортового і періодичного прокату використовуються блюми (перерізом від 150×150 до 450×450 мм), а також круглі і квадратні заготовки.

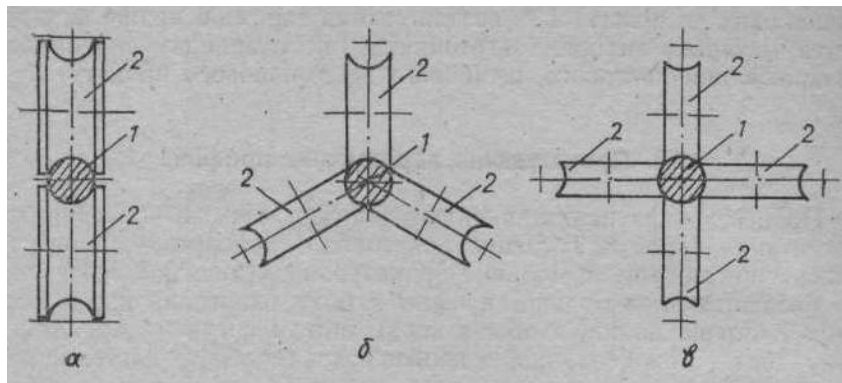


Рисунок 3.34 – Схеми розташування валків при поздовжньому прокатуванні в двовалкових (а), тривалкових (б) і чотиривалкових (в) прокатних станах

В процесі проектування технологічного оснащення для поздовжньої прокатки слід враховувати випередження, відставання або обкатування вихідної заготовки, тобто неоднакову швидкість руху вихідної заготовки до моменту її торкання валків стану і після її деформування і поверхонь самих валків. Залежно від ступеня деформації і конфігурації калібрів співвідношення зазначених швидкостей будуть різними. Значні випередження, відставання або обкатування можуть погіршити якість прокату (неповне заповнення калібрів, спотворення профілів тощо), тому їх допустимі значення встановлюють, виходячи із заданої якості заготовок [7, 8].

У разі поперечної прокатки деформувальні валки надають заготовці обертального руху, в зв'язку з цим поперечно-клинову і поперечно-гвинтову прокатку застосовують для виготовлення заготовок, що мають форму тіл обертання [6, 88].

Поперечно-гвинтову прокатку виконують на дво- або тривалкових станах. Осі валків розташовують під гострим кутом один до одного і до осі вихідної заготовки. Це обумовлює її обертальний рух навколо своєї осі і поступальний рух уздовж неї. Поперечно-гвинтовою прокаткою виготовляють труби, гвинтові, кулясті і навіть ребристі заготовки. В даний час цим способом отримують заготовки для залізничних коліс, валів, осей, муфт, роторів, втулок, куль, роликів, шпинделів, шнеків, гвинтів, зірочок тощо.

Для отримання заготовок значної довжини застосовують прокатування з використанням тривалкових клітей з валками дискової або конічної форми. У процесі прокатки валки можуть автоматично наближатися або віддалятися один від одного, забезпечуючи задані розміри заготовок [7, 8].

Необхідні зусилля, моменти сил і питомий тиск визначають залежно від способу прокатки, форми і розмірів калібрів валків, заготовок, що виготовляються, швидкостей деформування і меж плинності матеріалів заготовок при заданих умовах деформування.

До переваг процесів прокатки відносяться висока продуктивність обладнання, якість металу і поверхонь заготовок, підвищена зносостійкість і міцність поверхневих шарів заготовок, можливість механізації і автоматизації, низька собівартість і трудомісткість виготовлення готової продукції.

3.8.4 Штампування на горизонтально-згинальних машинах

На горизонтально-згинальних машинах (ГЗМ) шляхом гарячого або холодного ОМТ в одно- або багаторівчакових штампах отримують виковки з сортового і штабового прокату, а також ковані і штаповані виковки. ГЗМ відрізняються значними розмірами штапового простору, мають великий хід повзуна, тому на них переважно отримують складні за формою великі виковки. Виробництво легко піддається автоматизації, відрізняється високою продуктивністю і якістю отриманих заготовок [17, 20, 83, 86].

Найбільш поширеною операцією на ГЗМ є гнуття (кутове, дугове, багатоперехідне тощо). В процесі виготовлення складних виковків операція гнуття виконується послідовно в багатьох технологічних переходах.

Рівчаки в штампах для ГЗМ зазвичай розташовують один над іншим по вертикалі. В якості основного обладнання використовують ГЗМ з механічним приводом з зусиллями 0,15-5 МН і швидкохідні ГЗМ з зусиллями 0,1-0,2 МН. Зусилля згинання залежить від механічних властивостей матеріалу, товщини металу у місці згину, площі поперечного перерізу заготовки, кута згину і коефіцієнту тертя на контактних поверхнях.

Горизонтально-згинальні машини дозволяють здійснювати згинання V-подібних, П-подібних, дугоподібних і круглих деталей (рис. 3.35).

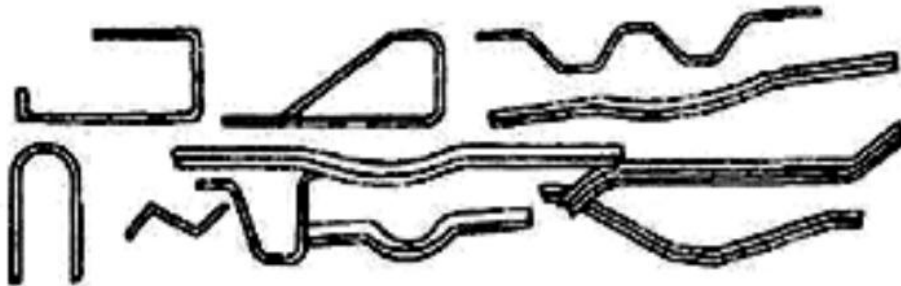


Рисунок 3.35 – Типові деталі, що виготовлені на згинальних машинах

3.8.5 Штампування на високошвидкісних молотах

Підвищення швидкості деформування металів та їх стопів в певних межах підвищує пластичність деформованого матеріалу, тому високошвидкісні молоти (ВСМ) застосовують зазвичай для штампування виковків з важкодеформованих матеріалів.

Швидкість переміщення рухомих частин ВСМ в 10-40 разів вище, ніж у звичайних молотів, і становить 20-30 м/с. Короткочасність процесу деформування сприяє кращому нагріванню заготовки енергією молота. Ці молоти більш компактні, займають менші виробничі площі, не вимагають глибоких і складних фундаментів, бувають вертикальними і горизонтальними, з верхнім і нижнім ударом [17, 20, 88].

Основними перевагами високошвидкісного штампування, окрім можливості оброблення тиском важкодеформованих матеріалів, є можливість штампування виковків з більш низькою температурою нагрівання вихідних заготовок або навіть в холодному стані; виготовлення виковків складної форми, тонкостінних, з малими радіусами заокруглень, з меншими штампувальними ухилами, з точними розмірами і високою якістю поверхонь; висока продуктивність і можливість комплексної автоматизації.

Основним недоліком цього способу штампування є невисока стійкість штампів, обумовлена значними питомими зусиллями штампування і високими ударними навантаженнями.

Енергоносіями для ВСМ виступають газу і рідини високого тиску. Випускають ВСМ з енергією ударів від 25 до 630 кДж. У разі необхідності попереднього перерозподілу матеріалу перед остаточним штампуванням на ВСМ виконують фасонування вихідних заготовок. Штампи перед штампуванням підігрівають до температури 150-250 °С в електричних або газових печах з безкисневим нагріванням.

3.8.6 Штампування на електровисадних машинах

На електровисадних машинах висад виковків виконують з одночасним контактним електричним нагріванням вихідної заготовки, якою часто слугує сортовий прокат. Застосовують дві схеми висаду: вільний і закритий в матрицю. Вільним електровисадом зазвичай отримують виковки з головками (болти, гвинти, заклепки, цвяхи, пальці тощо), а закритим – виковки з потовщеннями в будь-якому місці. Номенклатура виковків, що виготовляються цим способом, невелика. Це в основному стрижневі й трубні заготовки з потовщеннями на кінцях, ступінчасті осі, тяги, шворні, важелі та ін. Собівартість цих заготовок у порівнянні з тими, що виготовляються на ГKM, знижується до 20 %, а у порівнянні з механічним обробленням економія металу сягає 50% [20, 83, 88].

Схема процесу електровисаду наведена на рисунку 3.36. Заготовка 2 затискається у рознімній матриці 3, 4 і підпирається пуансоном 1. В цей момент замикається електричний ланцюг і електричний струм, який підводиться від трансформатора 5 розігріває ділянку заготовки в зоні деформації. Нагріта ділянка висаджується під дією деформувальної сили. Пуансон і рознімна матриця в електровисадній машині грають роль електродів.

Довжина заготовки між електродами не повинна перевищувати три її діаметра, інакше існує велика вірогідність втрати стійкості під час деформації. Для збільшення довжини висадженої частини заготовку під час деформації просувають з боку затискної матриці до пуансона, в результаті чого висаджується той метал, що надходить до простору між електродами. Таким чином отримують обсяг висадженої частини, яка дорівнює 30 діаметрам вихідної заготовки і навіть більше.

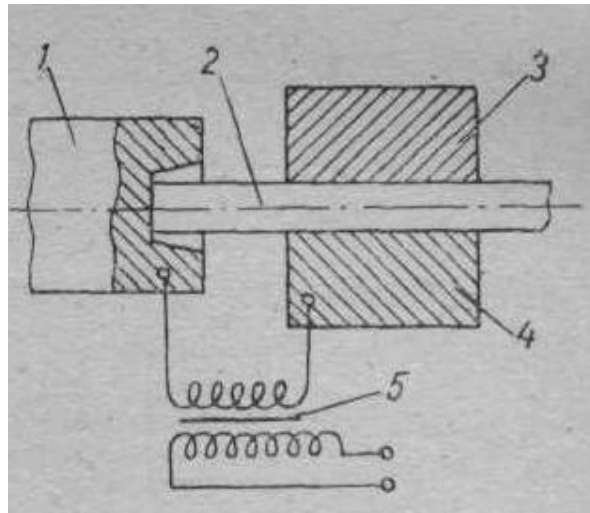


Рисунок 3.36 – Схема електровисаду

Електровисадом також можна отримати заготовки з потовщенням у будь-якому місці. Для цього застосовують електровисадні машини з двома парами ковзних матриць [88].

Потужність електровисадних машин до 800 кВт, найбільший діаметр суцільної заготовки – 75 мм, порожнистої – 150 мм, продуктивність машин – до 750 кг/год., зусилля штампування – до 15 МН. Існують також машини, які дозволяють висаджувати заготовки до 100 мм. Електровисадні машини мають вертикальне та горизонтальне конструктивне виконання, обладнані автоматичними системами управління і легко вписуються в ГВС. Широко застосовуються автоматичні лінії, до складу яких можуть входити декілька електровисадних машин і кривошипних пресів, що обслуговуються одним оператором.

3.8.7 Розкочування кільцевих заготовок

Процес розкочування кільцевих заготовок на розкочувальних машинах широко застосовується для виготовлення заготовок, що мають форму порожнистих тіл обертання невеликої ширини в порівнянні з діаметром. Розкочуванням отримують заготовки різних перетинів (рис. 3.37), зовнішнім діаметром до 7000 мм і шириною до 1200 мм. Процес деформації може відбуватися в гарячому, теплому і холодному стані [10, 17, 20, 83, 86, 88].

Схема машини для розкочування кільцевих заготовок наведена на рисунку 3.38. Як бачимо, в процесі притиснення розкочувального 1, який є повідним, і притискного 3 (холостий) валків заготовка 7 тоншає і відповідно збільшується в діаметрі. Підпружинені напрямні ролики 2 і 6 утримують заготовку в необхідному положенні. У момент, коли зовнішній діаметр розкатоної заготовки досягне заданого значення, вона торкнеться контрольного ролика 4, який за допомогою кінцевого вимикача 5 дасть сигнал на закінчення процесу розкочування.

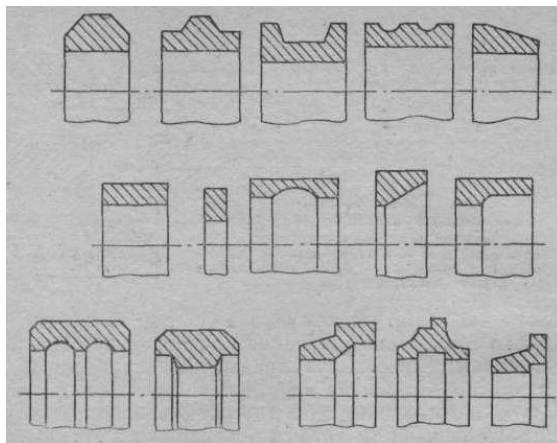


Рисунок 3.37 – Форми перетинів кільцевих заготовок, що одержуються розкочуванням

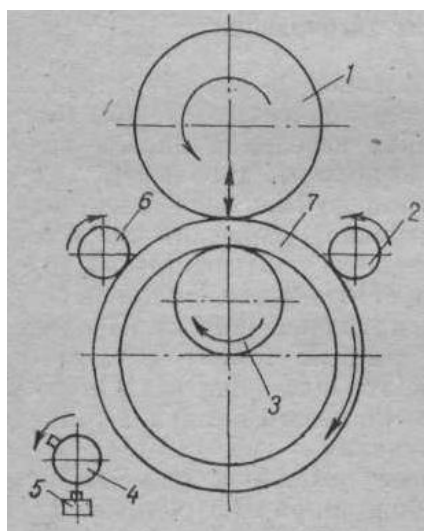


Рисунок 3.38 – Схема розкочування кільцевих заготовок

Форма і розміри перетину заготовки залежать від профілю розкочувального і притискного роликів, а також напрямних роликів. Залежно від схем формоутворення використовують закрите, відкрите і напіввідкрите розкочування. Найбільш поширеною є відкрите розкочування. Закрите розкочування застосовується переважно для виготовлення заготовок невеликих розмірів і мас (діаметр до 150 мм і маса до 1 кг). Продуктивність розкочувальних машин – 75-1500 заготовок на годину. Вихідними заготовками для розкочування можуть бути виковки, виготовлені на молотах, КГШМ, ГКМ та іншому обладнанні, а також кільцеві відливки.

Розміри вихідної заготовки для розкочування визначають по коефіцієнту розкочення із співвідношення [20, 83]:

$$K_p = \frac{D_{в.з.} - d_{в.з.}}{D_3 - d_3}, \quad (3.10)$$

де $D_{в.з.}$ і D_3 – діаметри зовнішніх поверхонь відповідно вихідної заготовки і розкатої заготовки, мм;

$d_{в.з.}$ і d_3 – діаметри внутрішніх поверхонь відповідно вихідної заготовки і розкатої заготовки, м.

Значення коефіцієнта K_p для кільцевих заготовок з діаметром зовнішньої поверхні менш ніж 100 мм не повинна перевищувати 1,5; для інших заготовок не більше 1,7.

Діаметр внутрішньої поверхні вихідної заготовки записують у вигляді:

$$d_{\text{в.з.}} = \frac{d_3}{K_p}. \quad (3.11)$$

Діаметр зовнішньої поверхні визначають виходячи з рівності об'єму розкатої заготовки і вихідної заготовки з урахуванням вигорання металу.

Перевагами технологічних процесів розкочування кільцевих заготовок є висока точність їх форми і розмірів, якість поверхонь і високі механічні властивості поверхневих шарів, малі зусилля деформування, можливість комплексної автоматизації, особливо для використання в ГВС.

Уникаючи утворення окалини, сталеві заготовки розкочують після нагрівання в індукційних і безкисневих печах при температурі, яка не перевищує 1050 °С. Шорсткість поверхонь після розкочування Ra 0,8..2,5 мкм.

3.8.8 Накочування спеціальних поверхонь

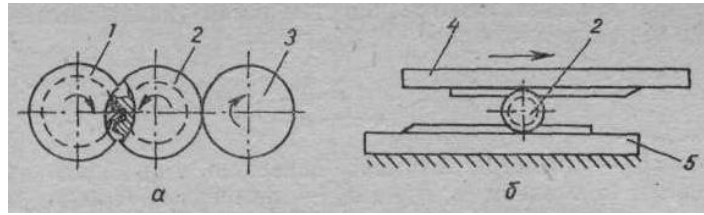
Технологічні процеси наковчування застосовують для виготовлення зубчастих коліс, зірочок, шліцьових валів, деталей з різьбою тощо. Накочування здійснюють як завершальну операцію виготовлення деталей невисокої точності і як заготівельну операцію перед чистовим обробленням. Накочування дозволяє зміцнювати поверхневі шари, економити матеріали, знижувати трудомісткість виготовлення і вартість заготовок, підвищувати продуктивність праці [10, 17, 20, 84, 86, 88].

Наковчування поверхонь вихідних заготовок виконують як в гарячому, так і в холодному стані. Холодне наковчування більш економічне, після нього зазвичай зникає необхідність оброблення різанням, термічного і хімічного оброблення. Нагрівання заготовок для наковчування виконують тільки місцевий, тому для нагрівання переважно використовують обладнання з струмом високої частоти.

Розміри вихідних заготовок залежать від умови збереження об'єму металу, що переміщується з западин до виступів заготовки. Визначення розмірів вихідних заготовок, накатних валків, режимів наковчування, необхідних зусиль і крутних моментів, а також типи технологічного обладнання наведено в спеціальній літературі [5, 89-91].

Накатні стани здійснюють наковчування поверхонь зубчастих коліс, зірочок і шліцьових валів з модулями до 15 мм і діаметром до 1000 мм для гарячого і з модулем до 3 мм і діаметром до 6000 мм для холодного наковчування двома методами: з осьовою подачею заготовки і з радіальною подачею накатних валків.

Процес накочування реалізується за допомогою накатних валків циліндричної форми і плоских інструментів (рис. 3.39). Останні переважно використовують для накочування порівняно дрібних профілів.



1 – циліндричний інструмент; 2 – заготовки; 3 – опорний валок;
4, 5 – рухомий і нерухомий плоскі інструменти

Рисунок 3.39 – Схеми накочування спеціальних поверхонь циліндричним (а) і плоским (б) інструментами

У порівнянні з механічним обробленням накочування спеціальних поверхонь має наступні переваги:

- значна економія металу, що обумовлено відсутністю стружкоутворення;
- сприятливе розташування волокон по контуру накоченого профілю;
- поліпшена мікро- і макроструктура поверхневих шарів;
- високі механічні характеристики;
- підвищена зносостійкість накочених поверхонь.

3.9 Механічне оброблення виковків

3.9.1 Обрізання облою і пробивання перекладок

Обрізання облою і пробивання перекладок виконують як в гарячому, так і в холодному стані виковків. Холодне обрізання облою і пробивання перекладок порівняно легко піддається механізації і автоматизації, високопродуктивне, забезпечує високу якість виковків, однак вимагає в 3-6 разів більшого зусилля, ніж гаряче. Тому холодне оброблення використовують при виготовленні дрібних і середніх, а гаряче – великих виковків. Гаряче обрізання виконують безпосередньо після штампування, що дозволяє економити енергію, і використовують для виковків з легованих і високовуглецевих сталей. При цьому обрізне обладнання встановлюється поруч з основним і працює з ним як єдиний агрегат [17, 20, 83].

У разі холодного оброблення виковків обрізання облою і пробивання перекладок виконують за допомогою простих, послідовних і комбінованих штамів. У багатосерійному і масовому виробництві для цього переважно використовують комбіновані штампи.

Невідповідність технологічного оснащення і великі зусилля в процесі обрізання облою можуть призвести до спотворення форми і розмірів виковків, що у низці випадків є не виправним браком. Неприпустимість де-

формування основних елементів виковка досягається використанням якісних обрізних і пробивних штампів і їх своєчасним ремонтом.

Основне технологічне обладнання вибирають по максимальному зусиллю обрізання [20]:

$$P = K \cdot S \cdot t \cdot \sigma_B, \quad (3.11)$$

де K – коефіцієнт, що враховує ступінь затуплення ріжучих кромки інструмента, $K = 1,5 \dots 1,8$;

S – периметр обрізання, мм;

t – товщина облою або перекладки, мм;

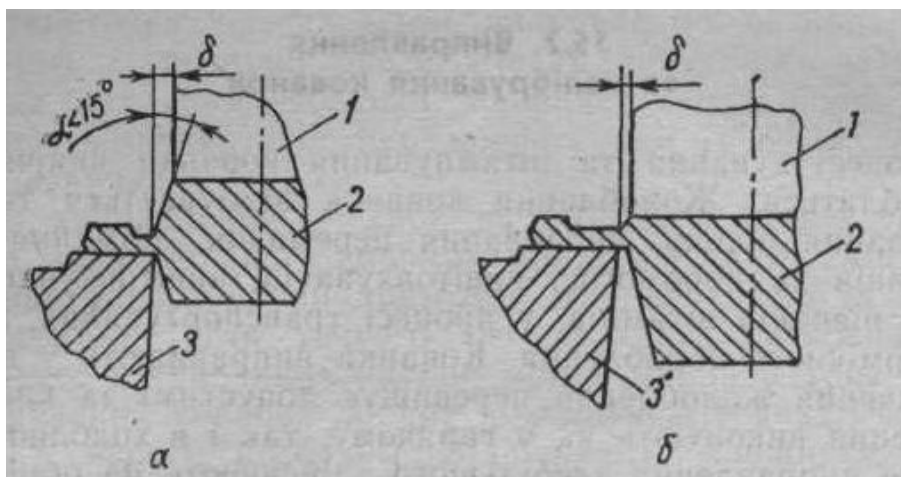
σ_B – межа міцності при температурі обрізання, МПа

Зазор між матрицею і пуансоном δ впливає на якість поверхні різки, необхідне зусилля, стійкість і вартість штампів.

Для простих і дрібних (середніх) виковків обрізні матриці роблять суцільними, а для складних і великих – збірними. Це обумовлено процесом виготовлення і термічного оброблення матриць.

До нижньої плити преса за допомогою клинів і болтів кріплять матрицю. Окремі секції збірної матриці розміщують на суцільній і жорсткій плиті, якою збірна матриця кріпиться до нижньої плити пресу.

Обрізний пуансон в залежності від висоти виковка і розміщення облою може бути одночасно різальним і вичавлювальним (рис. 3.40). У разі обрізання товстих виковків, для яких відстань від площини різни до площини контакту з пуансоном $h > 5$ мм, пуансон не входить в матрицю і є вичавлювальним; в процесі обрізання тонких виковків, для яких $h < 2$ мм, пуансон входить в матрицю і є різальним інструментом.



1 – пуансон; 2 – виковок; 3 – матриця

Рисунок 3.40 – Схеми штампів для обрізання облою з вичавлювальним (а) і різальним (б) пуансоном

Конфігурацію опорної поверхні пуансону виконують за кресленням відповідної частини виковка і підганяють по контрольному відбитку остаточного ривчака штампів. Пуансони для великих виковків закріплюють без-

посередньо на повзуні пресу за допомогою клинів, а для дрібних і середніх виковків – в перехідних тримачах. Для полегшення зняття облою і самих виковків з пуансонів останні оснащують механічними виштовхувачами.

У дрібносерійному виробництві використовують штампи простої дії без напрямних колонок; в масовому і багатосерійному виробництві штампи оснащують напрямними колонками, розташованими збоку або ззаду. Розташування колонок ззаду забезпечує великі розміри штампового простору, що полегшує процес оброблення.

3.9.2 Правка і калібрування виковків

У процесі кування і штампування виковки викривляються і жолобляться. Жолоблення виковків відбувається також в процесі обрізання облою, пробивання перекладок, зняття виковків з пуансонів за допомогою виштовхувачів, виштовхування їх з чистових рівчаків штампів, в процесі транспортування, галтування і термообробки. Виковки правлять у випадках, коли ступінь жолоблення перевищує припустиму за креслеником. Правку виконують як в гарячому, так і в холодному стані.

Гарячу правку переважно виконують на обрізному пресі в комбінованому або послідовному штампі для обрізання облою і пробивання перекладки або на обладнанні, призначеному винятково для правки (молот, прес). Іноді гарячу правку виконують в остаточному рівчаку штампі після обрізання облою і пробивання перекладок. Але в цьому випадку має місце додатковий знос остаточного рівчака штампі. Часто після гарячої правки і термообробки заготовки правлять також і в холодному стані.

Холодну правку використовують для дрібних і середніх виковків. Її виконують після термічного оброблення та очищення заготовок від окалини на штампувальних фрикційних молотах або гвинтових пресах. Для правки великих виковків використовують гідравлічні преси. Рівчаки правильного штампі виконують за креслеником виковка, але у порівнянні з остаточним рівчаком йому надають значно простішу конфігурацію і не передбачають облойної канавки.

Калібрування виковків сприяє підвищенню точності їх форми, розмірів і якості поверхні, а також знижує колювання їхньої маси. Розрізняють пласке (рис. 3.41, а), об'ємне (рис. 3.41, б), гаряче і холодне калібрування.

Пласке калібрування застосовують для отримання точних вертикальних розмірів виковка в окремих його частинах. Його також ще називають карбуванням. Холодне пласке калібрування виконують на карбувальних кривошипно-шатунних і гвинтових пресах [20, 83, 86].

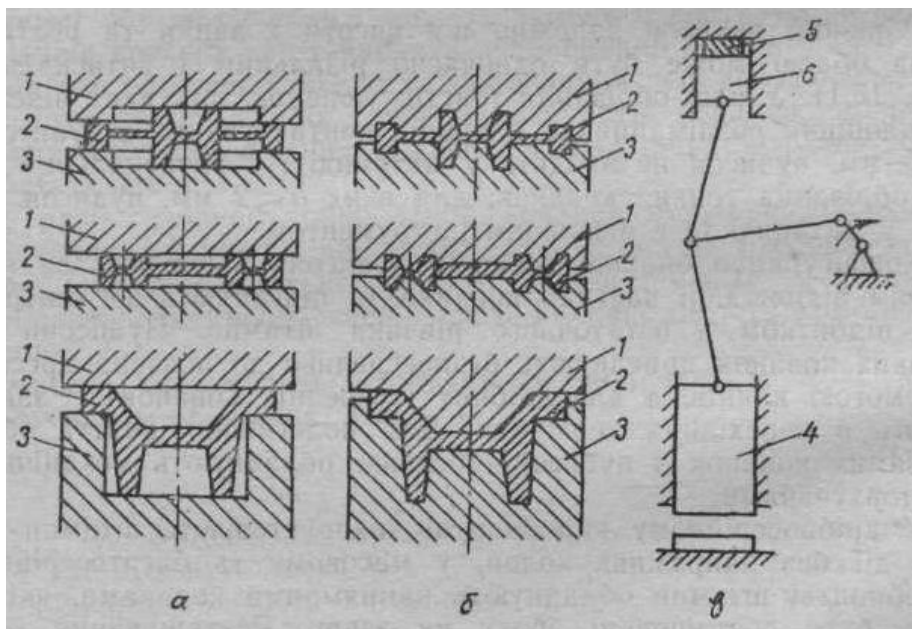
В процесі об'ємного калібрування деформується практично увесь обсяг металу виковка, а надлишок металу виштовхується до облойної канавки, який потім обрізується в цьому ж штампі. Об'ємне калібрування зазвичай виконують в гарячому стані на штампувальних молотах, фрикцій-

них, гвинтових і кривошипно-шатунних пресах. В окремих випадках об'ємне і пласке калібрування здійснюють послідовно. Розміри виковків після калібрування можуть досягати 6-7 квалітету точності, а шорсткість поверхні – до 0,32 мкм за шкалою Ra.

Для калібрування виковки нагрівають в електричних або газових печах у малоокислювальному середовищі. З метою економії енергії калібрування і правку часто виконують за одне нагрівання заготовки разом з процесом штампування.

Калібрування в основному застосовується у багатосерійному і масовому виробництві сталевих виковків.

У разі правки або калібрування виковків на КГШП чи кривошипних пресах з ламким важелем, щоб уникнути можливих заклинювань і поломок преса, в штампі забезпечують мінімальний гарантований зазор між верхньою і нижньою його половинками. Для точного регулювання зазору опорну призму преса виставляють за допомогою клина 5 (рис. 3.41, в).



1, 3 – частини калібрувальних штампів; 2 – виковок; 4 – основний повзун;
5 – клин; 6 – опорний повзун

Рисунок 3.41 – Пласке (а) і об'ємне (б) калібрування виковків і кінематична схема кривошипно-шатунного пресу (в)

Зусилля преса для плаского калібрування може бути розраховане за формулою [20]:

$$P = \sigma_T \left(1 + \frac{3b-a}{6b} \mu \frac{a}{h} \right) ab, \quad (3.12)$$

де σ_T – межа плинності матеріалу при заданій температурі, МПа;

a і b – горизонтальні розміри виковка, мм;

h – висота виковка в зоні калібрування, мм;

μ – коефіцієнт контактної тертя, який без змащення становить для сталей 0,12-0,18, для алюмінієвих стопів – 0,25-0,30.

Застосування мастильних матеріалів дозволяє зменшити зусилля калібрування на 8-12% і більше.

Точність калібрування можна підвищити наступним чином: зниження допусків на штампування; попереднє гаряче калібрування або сортування виковків, що підлягають калібруванню, по висоті на партії з наступним калібруванням кожної партії окремо після відповідного переналагодження пресу.

3.9.3 Термічне оброблення виковків

Якість виковка і виготовленої з нього деталі значною мірою залежить від його термічного оброблення, яке зазвичай складається з двох операцій – попереднього і остаточного. Метою попередньої операції термічного оброблення є поліпшення оброблюваності матеріалу різанням і підготовка його до остаточного термічного оброблення, тобто утворення дрібнозернистої однорідної структури матеріалу, зняття наклепу, зменшення внутрішнього напруження. Метою остаточного термічного оброблення є забезпечення необхідних механічних властивостей матеріалу заготовки.

Термічне оброблення виковків має свої особливості. Однією з них є значний градієнт температури в перетині виковка, що обумовлює неоднакові фазові перетворення, і отже, неоднорідність структури. В процесі виконання термічного оброблення виковків значних розмірів і мас з метою забезпечення мінімальних внутрішніх напружень їх відпускають при високих температурах з мінімальною швидкістю охолодження, особливо в межах температур пружно-пластичного стану. Для зменшення кількості флокенів, обумовлених виділенням всередині виковка водню, який локалізується переважно по дислокаціях, двовимірних дефектах, міжфазових переходів поблизу неметалевих домішок, термічне оброблення виковків виконують з переохолодженням і з ізотермічною витримкою при субкритичних температурах, з уповільненим охолодженням після ізотермічної витримки тощо [17, 20].

При визначенні режимів термічного оброблення виковків враховують хімічний склад матеріалу, спосіб його топлення, розміри заготовок і технічні характеристики обладнання для термічного оброблення. Режим термічного оброблення визначають відповідно до нормативно-довідкових рекомендацій, підбираючи оптимальний варіант термічного оброблення. Також він повинен одночасно задовольняти вимоги забезпечення високої якості виковка при мінімальних енергетичних і трудових витратах.

Термічне оброблення здійснюють на термічній ділянці ковальсько-пресового цеху, оснащеної газовими або електричними печами. У якості термічних операцій для термічного оброблення виковків застосовують нормалізацію, відпал, поліпшення, гартування і відпуск у різних комбінаціях і послідовності їх виконання.

Значного збільшення міцності при одночасному збереженні високої пластичності сталевих виковків досягають за допомогою термомеханічного оброблення (ТМО). В процесі термомеханічного оброблення спочатку проводиться пластичне деформування, що викликає наклеп, а потім термічне зміцнення деформованого металу [68, 92-94].

Залежно від температури, при якій виконують ТМО, розрізняють низькотемпературне (НТМО) і високотемпературне (ВТМО) термомеханічне оброблення. НТМО в порівнянні з ВТМО забезпечує більш високу якість, набуті властивості матеріалу зберігаються при температурі нижче 500 °С. Тому НТМО використовують для зміцнення штампових сталей для холодного ОМТ, а ВТМО – для зміцнення штампових сталей для гарячого ОМТ. В результаті ВТМО досягається міцність конструкційних сталей 2200-2600 МПа при високій пластичності і ударній в'язкості.

У промисловості ВТМО і НТМО застосовуються для поліпшення механічних властивостей не тільки сталей, але також кольорових і аустенітних стопів [94-96].

Термічне оброблення застосовують також і для виковків з кольорових металів і стопів. Рекомендовані види та режими термічного оброблення описані в довідковій літературі [68-71, 76, 84].

У таблиці 3.2 наведено мету обробки і приблизні режими основних операцій термічного оброблення виковків у машинобудуванні.

Таблиця 3.2 – Термічне оброблення виковків

Операція	Мета оброблення	Режим оброблення							
		Сталь		Мідні стопи		Алюмінієві стопи		Магнієві стопи	
		T, °C	T, год.	T, °C	T, год.	T, °C	T, год.	T, °C	T, год.
Відпал	Зняття залишкових напружень	750-780	4-14	–	–	–	–	225-360	2-4
Відпуск високотемпературний	Вирівнювання структури по перетину	900-1100	3-6	750-850	2-6	–	–	–	–
Гартування	Підвищення міцності і твердості	900-1100	3-6	875-920	2-6	515-525	2-12	–	–
Відпуск	Підвищення пластичності і зняття напружень	120-400	2-4	410-460	1-3	150-220	1-4	–	–
Нормалізація	Подрібнення структури	650-700	2-4	850-880	2-6	–	–	–	–
Старіння	Поліпшення механічних властивостей	–	–	–	–	175-250	5-16	175-250	5-16
Гомогенізація	Вирівнювання структури по перетину	–	–	–	–	–	–	380-215	10-16

3.9.4 Очищення виковків

Для забезпечення високої якості поверхні виковків їх необхідно очищувати як перед, так і після нагрівання, кування і штампування від поверхневих дефектів, окалини, іржі і забруднень (мастило, пісок, тощо). Залежно від технічних вимог до якості поверхонь кованих і штампованих заготовок застосовують різні способи і засоби для їх очищення [10, 17, 20, 78, 83].

Механічні способи очищення виковків застосовуються для заготовок з будь-яких матеріалів і будь-якої форми і виконуються на обдирно-шліфувальних верстатах, переносними шліфувальними машинами, зубилами, молотками, роликками, скребками тощо. Даний вид очищення використовується для видалення дефектів з поверхні великогабаритних виковків, отриманих вільним куванням в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва, а також для видалення окалини.

Гідравлічне очищення здійснюють за допомогою гідроапаратів, пневматичне струменево-абразивне – піскоструминними машинами, гідроабразивне – ручними моніторами, барабанами, контейнерними механізмами. Енергоносієм для пневматичного і гідравлічного очищення є стиснене повітря під тиском 0,2-0,5 МПа, яке спрямовує сухий абразивний матеріал або абразивну рідину на поверхню, що оброблюється, зі швидкістю 30-60 м/с. Сухе пневмоабразивне очищення обмежене у використанні через підвищену концентрацію пилу на робочому місці.

Віброабразивне очищення здійснюється частинками абразивного середовища, в процесі їх коливання в контейнері, з'єднаному з повідним механізмом вібраційної дії. Залежно від складності форми виковків у якості абразивного середовища використовують подрібнені фрагменти абразивних кіл, бій фарфору, фрагменти деталей з вибіленого чавуну і електрокорунду, дрібні штамповані виковки тощо. У разі мокрого способу очищення, крім абразивного наповнювача в контейнер наливають активні розчини лугів з інгібіторами.

Галтування в барабанах виконують двома способами: мокрим, коли разом з виковками до барабану завантажують абразивні матеріали (пісок, граніт, фарфор, фрагменти деталей з чавуну, сталеві кульки та ін.) з додаванням водного розчину мила або соди, і сухим, коли виковки завантажують в барабан з абразивними матеріалами або без них, але без водних розчинів мила або соди. Сухим галтування усуваються задирки і досягається шорсткість поверхонь виковків до 10 мкм за шкалою Ra, а мокрим – до 0,63 мкм. Галтуванням очищують переважно дрібні виковки.

Дробометальний і дробоструминний способи очищення виковків реалізують в спеціальних апаратах з обертовими барабанами, столами і камерами періодичної або безперервної дії за допомогою чавунного або сталевих дробу. Використання цього способу очищення виковків дозволяє одночасно підвищувати твердість і зносостійкість оброблюваних поверхонь. Цими способами зазвичай очищують дрібні і середні виковки склад-

ної форми у камерах безперервної дії в умовах серійного і масового виробництва, а також виковки масою до 1000 кг в умовах одиничного та дрібно-серійного виробництва в камерах періодичної дії.

Хімічне щавлення використовують для очищення виокків, які пройшли попереднє і остаточне термічне оброблення. Хімічний склад щавильного розчину призначають в залежності від марки матеріалу виокків. Цей спосіб використовують для заготовок складної форми масою до 1000 кг. В процесі щавлення виявляються усі поверхневі дефекти (тріщини, волосовими тощо), але його використання обмежене вимогами екологічної чистоти виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Афонькин М. Г. Производство заготовок в машиностроении / М. Г. Афонькин, В. Б. Звягин. – [2-е изд., доп. и перераб.]. – СПб. : Политехника, 2007. – 380 с. : ил.
2. Схиртладзе А. Г. Технологические процессы в машиностроении : [учеб. для машиностроит. спец. вузов] / А. Г. Схиртладзе. – М. : Высш. шк., 2007. – 927 с. : ил.
3. Харламов Г. А. Припуски на механическую обработку : справочник / Г. А. Харламов, А. С. Тарапанов. – М. : Машиностроение, 2006. – 256 с. : ил.
4. Илюкович Б. М. Прокатка и калибровка фасонных профилей для машиностроения : справочник / Б. М. Илюкович. – Днепропетровск : Арт-Пресс, 2000. – 298 с. : ил.
5. Специальные прокатные станы / А. И. Целиков, М. В. Барбарич, М. В. Васильчиков [и др.]. – М. : Металлургия, 1971. – 336 с.
6. Целиков А. И. Поперечно-клиноватая прокатка в машиностроении / А. И. Целиков, И. И. Казанская, А. С. Сафонов. – М. : Машиностроение, 1982. – 190 с.
7. Грановский С. П. Новые процессы и станы для прокатки изделий в винтовых калибрах / С. П. Грановский. – М. : Металлургия, 1980. – 116 с.
8. Тетерин П. К. Теория поперечной и винтовой прокатки / П. К. Тетерин. – М. : Металлургия, 1983. – 270 с.
9. Литейное производство / Под ред. И. Б. Куманина. – М. : Машиностроение, 1971. – 319 с.
10. Машиностроение. Энциклопедия / [Ред. совет : К. В. Фролов (пред.) и др.]. – М. : Машиностроение. Технология заготовительных производств. Т. III-2 / И. Л. Акаро, Р. А. Андриевский, А. Ф. Аржанов и др. ; под общ. ред. В. Ф. Мануйлова. 1996. – 736 с. : ил.
11. Орлов П. Г. Штамповка деталей на листоштамповочных автоматах / П. Г. Орлов. – М. : Машиностроение, 1984. – 160 с.
12. Роман О. В. Порошковая металлургия – безотходная, энергосберегающая технология / О. В. Роман, И. П. Габриелов. – Минск : Беларусь, 1986. – 160 с.
13. Кабанов Н. С. Сварка на контактных машинах / Н. С. Кабанов. – М. : Высшая школа, 1985. – 271 с.
14. Окерблом Н. О. Проектирование технологии изготовления сварных конструкций / Н. О. Окерблом, В. П. Демьянович, И. П. Бойкова. – Л. : Судпромгиз, 1963. – 602 с.
15. Артес А. Э. Холодная объемная штамповка в мелкосерийном и серийном производстве / А. Э. Артес. – М. : НИИМАШ, 1982. – 58 с.

16. Артес А. Э. Холодная объёмная штамповка поковок из малопластичных материалов / А. Э. Артес // Кузнечно-штамповочное производство. – 1993. – № 4. – С. 13–15.

17. Основы проектирования заготовок в автоматизированном машиностроении : [учебник] / С. И. Богодухов, А. Г. Схиртладзе, Р. М. Сулейманов, Е. С. Козик. – М. : Машиностроение, 2009. – 432 с. : ил.

18. Руденко П. А. Проектирование и производство заготовок в машиностроении : учеб. пособие / П. А. Руденко, Ю. А. Харламов, В. М. Плескач ; под общ. ред. В. М. Плескача. – К. : Выща шк., 1991. – 247 с. : ил.

19. Технологічні процеси галузей промисловості : навч. посібник / [Д. М. Колотило, А. Т. Соколовський, С. В. Гарбуз та ін.] ; за наук. ред. Д. М. Колотила, А. Т. Соколовського. – К. : КНЕУ, 2003. – 380 с.

20. Боженко Л. І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок : підручник / Л. І. Боженко. – Львів : Світ, 1996. – 368 с. : іл.

21. Технологичность конструкции изделия : справочник / [Ю. Д. Амиров, Т. К. Алферова, П. Н. Волков и др.] ; под общ. ред. Ю. Д. Амирова. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Машиностроение, 1990. – 768 с. : ил.

22. Миллер Э. Э. Техническое нормирование труда в машиностроении : учеб. пособие для техникумов / Э. Э. Миллер. – [3-е изд.]. – М. : Машиностроение, 1972. – 248 с.

23. Научная организация и нормирование труда в машиностроении : учебник для инженерно-экономических вузов и факультетов / [А. П. Семенов, И. М. Разумов, С. В. Смирнов и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1984. – 464 с.

24. Научная организация и нормирование труда в машиностроении : учебник для вузов / под ред. С. М. Семенова. – М. : Машиностроение, 1991. – 239 с.

25. Бухалков М. И. Организация и нормирование труда : учебник для вузов / М. И. Бухалков. – М. : Инфра-М. : Издательский дом, 2011. – 400 с.

26. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3 т. / В. И. Анурьев ; под ред. И. Н. Жестковой. – [8-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Машиностроение, 2001. – 1 т. – 920 с.

27. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. / А. М. Дальский [и др.] ; под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова. – [5-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Машиностроение – 1, 2001. – 1 т. – 912 с.

28. Афонькин М. Г. Производство заготовок в машиностроении / М. Г. Афонькин, М. В. Магницкая. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отделение, 1987. – 256 с.

29. Конструкционные материалы : справочник / [Б. Н. Арзамасов, В. А. Брострем, Н. А. Буше и др.] ; под общ. ред. Б. Н. Арзамасова. – М. : Машиностроение, 1990. – 688 с. ; ил. – (Основы проектирования машин).

30. Трухов А. П. Литейные сплавы и плавка : учебник для студ. высш. учеб. заведений / А. П. Трухов, А. И. Маляров. – М. : Издательский центр «Академия», 2004. – 336 с.

31. Технология литейного производства : Литье в песчаные формы : учебник для студ. высш. учеб. заведений / [А. П. Трухов, Ю. А. Сорокин, М. Ю. Ершов и др.]. ; под ред. А. П. Трухова. – М. : Издательский центр «Академия», 2005. – 528 с.

32. Буданов Е. Н. Четыре автоматические линии безопочных горизонтальных форм фирмы HWS-Sinto, Германия (Сейатцу, FBO) для заводов СНГ / Е. Н. Буданов, И. А. Мельников // Литейщик России. – 2009. – №3. – С. 14–18.

33. Балабин В. В. Изготовление деревянных модельных комплектов в литейном производстве : [учеб. пособие для сред. ПТУ] / В. В. Балабин. – [4-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Высш. школа, 1983. – 272 с. : ил.

34. Литье в гипсовые формы : информационно-справочный портал по металлургии и литейному делу [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.metalurgu.ru/content/view/24/193/>

35. Шуляк В. С. Литье по газифицируемым моделям / В. С. Шуляк. – СПб. : НПО «Профессионал», 2007. – 408 с.

36. Michael Marlatt, David Weiss, John N. Hryn Developments in lost foam casting of magnesium, Magnesium Technology 2003 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://iweb.tms.org/Mg/magtech2003/141.pdf>

37. Рыбаков С. А. Инновационные возможности литья по газифицируемым моделям, состояние и перспективы этого метода в России / С. А. Рыбаков // Литейщик России. – 2009. – №4. – С 44–45.

38. Гини Э. Ч. Технология литейного производства : Специальные виды литья : учебник для студ. высш. учеб. заведений / [Э. Ч. Гини, А. М. Зарубин, В. А. Рыбкин] ; под ред. В.А.Рыбкина. – [2-е изд., стер.]. – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 352 с.

39. Цветное литье : справочник / [Н. М. Галдин, Д. Ф. Чернега, Д. Ф. Иванчук и др.]. ; под. общ. ред. Н. М. Галдина. – М. : Машиностроение, 1989. – 528 с. : ил. – (Технология литейного производства).

40. Специальные способы литья : справочник / [В. А. Ефимов, Г. А. Анисович, В. Н. Бабич и др.]. ; под. общ. ред. В. А. Ефимова. – М. : Машиностроение, 1991. – 436 с. : ил. – (Технология литейного производства).

41. Святкин Б. К. Литье в кокили : учеб. для техн. училищ / Б. К. Святкин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1984. – 263 с. – (Профтехобразование)

42. Титов Н. Д. Технология литейного производства / Н. Д. Титов, Ю. А. Степанов. – М. : Машиностроение, 1974. – 472 с.

43. Ерхард Н. Свойства сплавов, применяющихся для литья под высоким давлением, и сравнение технологий ЛПВД с горячей и холодной камерой прессования / Н. Ерхард, Б. Трейси, А. В. Чикунов // Литейщик России. – 2008. – №12. – С 12–16.

44. Рейхер А. Компьютерное моделирование как инструмент управления микропористостью в отливках, сокращения цикла проектирования и доводки пресс-форм литья под давлением / А. Рейхер, М. Бархударов, И. Н. Вольнов // Литейщик России. – 2008. – №12. – С 17–19.

45. Коротченко А. Ю. Моделирование течения расплава в камере прессования при литье под давлением / А. Ю. Коротченко, И. А. Коротченко, А. М. Зарубин // Литейщик России. – 2008. – №12. – С 19–21.

46. Коротченко А. Ю. Моделирование заполнения расплавом пресс-форм литья под давлением / А. Ю. Коротченко, А. М. Зарубин, И. А. Коротченко // Литейщик России. – 2007. – №12. – С 15–19.

47. Коротченко А. Ю. Некоторые пути повышения прочности и герметичности отливок при литье под давлением / А. Ю. Коротченко, А. М. Зарубин // Литейщик России. – 2011. – №2. – С 37–39.

48. Повышение эффективности литья под давлением (ЛПД) / А. А. Жуков, А. Д. Постнова, В. А. Борисов и др. // Литейщик России. – 2008. – №1. – С 25–30.

49. Гини Э. Ч. Специальные технологии литья : учебник для вузов / Э. Ч. Гини, А. М. Зарубин, В. А. Рыбкин. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. – 367 с. : ил.

50. Леушина Л. И. Прогрессивная технология прокаливания оболочковых форм для точного стального литья / Л. И. Леушина, А. В. Нищенков, А. Ю. Субботин // Литейщик России. – 2011. – №2. – С 40–42.

51. Технологические характеристики водных связующих для ЛВМ / В. О. Емельянов, К. В. Мартынов, А. К. Наумова, Е. С. Екимова // Литейное производство. – 2013. – №6. – С. 23–25.

52. Применение алюмоборфосфатного концентрата в литье по выплавляемым моделям / Л. Г. Знаменский, О. В. Ивочкина, С. С. Верцюх, А. С. Варламов // Литейное производство. – 2012. – №3. – С. 29–32.

53. Дьячков В. Н. Совершенствование технологии литья по выплавляемым моделям / В. Н. Дьячков, А. М. Парамонов, К. В. Никитин // Литейное производство. – 2012. – №7. – С. 33–34.

54. Евстигнеев А. И. Решение проблем формообразования в литье по выплавляемым моделям / А. И. Евстигнеев, И. Г. Сапченко // Литейное производство. – 2012. – №9. – С. 37–40.

55. Моделирование процессов литья по выплавляемым моделям / Г. М. Домрачев, Н. С. Ларичев, А. П. Буйновский и др. // Литейное производство. – 2012. – №11 – С. 17–20.

56. Соколов А. В. Литье по выплавляемым моделям с использованием продуктов переработки Al-шлаков / А. В. Соколов, С. А. Рязанов, Н. Н. Зонненберг // Литейное производство. – 2012. – №7. – С. 31–32.

57. Просяник Г. В. Изготовление оболочковых форм и стержней : учебник для подготовки рабочих на производстве / Г. В. Просяник. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. школа, 1978. – 240 с. : ил. – (Проф-техобразование. Литейное производство).

58. Клименко Л. П. Техноекологія : Підручник для студентів вищих навчальних закладів / Л. П. Клименко. – Миколаїв : Вид-во МФ НаУКМА, 2000. – 304 с.

59. Пат. 2312737 Российская Федерация, МПК В 22 D 13/00. Центробежный способ литья магнетитовых анодов / Марценко К. Н., Хоришко Б. А., Давыдов А. Д., Вент Д. П., Станиславчик В. Ф. ; заявитель и патентообладатель Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева. – № 2005141396/02 ; заявл. 30.12.2005 ; опубл. 20.12.2007, Бюл. № 35

60. Марченко С. В. Основи виробництва матеріалів та формоутворення об'єктів технологій : навч. посіб. / С. В. Марченко, А. Ф. Будник, В. Б. Юскаєв. – Суми : Сумський державний університет, 2013. – 232 с.

61. Ващенко К. И. Развитие литейного производства в Украинской ССР / К. И. Ващенко, А. М. Петриченко, Ю. А. Шульте ; под ред. В. А. Ефимова. – К. : Наук. думка, 1988. – 376 с. : ил.

62. Селиверстов В. Ю. Технология газодинамического воздействия на расплав в литейной форме – один из перспективных способов повышения качества металла отливок / В. Ю. Селиверстов // Сучасні проблеми металургії. – 2007. – №10. – С. 25–35.

63. Яковышин О. А. Теплофизические особенности установки литья выжиманием с кристаллизацией под избыточным регулируемым давлением / О. А. Яковышин // Металл и литье Украины. – 2009. – №4-5. – С. 42–48.

64. Оперативное формирование трехмерных объектов методом лазерной стереолитографии [Электронный ресурс] / А. В. Евсеев, В. С. Камаев, Е. В. Коцюба и др. // Современные лазерно-информационные и лазерные технологии : сборник трудов ИПЛИТ РАН ; под ред. В. Я. Панченко, В. С. Голубева. – М. : Интерконтакт Наука, 2005. – С. 26–39. – Режим доступа : <http://znanie-foreva.narod.ru/1/stereolirografiya.pdf>

65. Бернштейн М. Л. Атлас дефектов стали / М. Л. Бернштейн ; [перевод с немецкого языка]. – М. : Metallurgiya, 1979. – 188 с.

66. Справочник по чугуному литью / под ред. д-ра техн. наук Н. Г. Гиршовича. – [3-е изд., перераб. и доп.]. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1978. – 758 с., ил.

67. Матеріалознавство [Текст] : підручник / С. С. Дяченко, І. В. Дощечкіна, А. О. Мовлян, Е. І. Плешаков ; за ред. С. С. Дяченко. – Х. : ХНАДУ, 2007. – 440 с.

68. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Практикум [Текст] : [навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. за напрямом «Інж. механіка»] / В. В. Попович, А. І. Кондир, Е. І. Плешаков та ін. – Львів: Світ, 2009. – 551 с.

69. Кузін О. А. Металознавство та термічна обробка металів : підручник / О. А. Кузін, Р. А. Яцюк. – К. : Основа, 2005. – 324 с.

70. Фиргер В. И. Термическая обработка сплавов : Справочник / Фиргер В. И. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1982. – 304 с
71. Колачев Б. А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов : учебник для студ. высш. уч. завед. / Б. А. Колачев, В. А. Ливанов, В. И. Елагин. – 4-е изд. – М. : МИСиС, 2005. – 432 с.
72. Кован В. М. Основы технологии машиностроения / В. М. Кован, В. С. Корсаков, А. Г. Косилова и др. – М. : Машиностроение, 1985. – 492 с.
73. Обработка металлов давлением / Ю. Ф. Шевакин, В. Н. Чернышев, Р. Л. Шаталов, Н. А. Мочалов ; под науч. ред. Ю. Ф. Шевакина. – М. : Интернет Инжиниринг, 2005. – 496 с.
74. Гун Г. Я. Теоретические основы обработки металлов давлением. (Теория пластичности) / Г. Я. Гун. – М. : Metallurgia, 1980. – 456 с.
75. Гуськов А. В. Технологические процессы обработки металлов при производстве снарядов : учебное пособие : в 2 ч. / А. В. Гуськов, К. Е. Милевский. – 2-е изд. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2017. – Ч. 1. – 128 с.
76. Ковка и штамповка : справочник в 4 т. / [под общ. ред. Е. И. Семенова]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2010. – Т. 1 : Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка. – 717 с. : ил.
77. Ковка и объемная штамповка стали : справочник в 2 т. / [под ред. М. В. Сторожева]. – 2-е изд. перераб. – М. : Машиностроение, 1967. – Т. 1. – 435 с.
78. Ковка и штамповка : справочник в 4 т. / [под общ. ред. Е. И. Семенова]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2010. – Т. 2 : Горячая объемная штамповка – 720 с. : ил.
79. Живов Л. И. Кузнечно-штамповочное оборудование : учебник для вузов / Л. И. Живов, А. Г. Овчинников, Е. Н. Складчиков ; под ред. Л. И. Живова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 560 с. : ил.
80. Кузнечно-штамповочное оборудование : учебник для машиностроительных вузов / А. Н. Банкетов [и др.] ; под ред. А. Н. Банкетова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1982. – 576 с. : ил.
81. Воронько В. В. Проектирование многопереходной штамповки крышки гидроцилиндра с использованием численного моделирования / В. В. Воронько, О. В. Шипуль // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х. : Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2008. – Вип. 3 (18). – С. 14-19.
82. Константинов И. Л. Технологияковки и горячей объемной штамповки : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Металлургия» / И. Л. Константинов. – М. : ИНФРА-М; Красноярск : СФУ, 2014. – 549 с.
83. Семенов Е. И. Ковка и горячая штамповка : учебник / Е. И. Семенов. – М. : МГИУ, 2011. – 414 с.
84. Технологія конструкційних матеріалів : підручник / М. А. Сологуб [та ін.] ; за ред. М. А. Сологуба. – 2-ге вид., перероб. і допов. – К. : Вища шк., 2002. – 374 с. : іл.

85. Руденко П. А. Проектирование технологических процессов в машиностроении : учебное пособие / П. А. Руденко. – К. : Вища школа, 1985. – 255 с. : ил.
86. Мансуров И. З. Специальные кузнечно-прессовые машины и автоматизированные комплексы кузнечно-штамповочного производства : справочник / И. З. Мансуров, И. М. Подрабинник. – М. : Машиностроение, 1990. – 344 с. : ил.
87. Штамповка на кривошипных горячештамповочных прессах и горизонтально-ковочных машинах / А. П. Атрошенко [и др.] ; под общ. ред. П. В. Каменева, А. П. Атрошенко. – Л. : Машиностроение, 1983. – 95 с.
88. Степанов Б. А. Специализированное кузнечно-прессовое оборудование : учебное пособие / Б. А. Степанов. – М. : МГИУ, 2005. – 212 с.
89. Лындин В. А. Инструмент для накатывания зубьев и шлицев повышенной точности / В. А. Лындин. – М. : Машиностроение, 1988. – 144 с. : ил.
90. Барбарич М. В. Накатывание цилиндрических зубчатых колес / М. В. Барбарич, М. В. Хоруженко. – М. : Машиностроение, 1970. – 220 с.
91. Прокатные станы : справочник : в 3-х томах / В. Г. Антипин [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1992. – Том 2 : Средне-мелкосортные и специальные станы. – 496 с.
92. Хільчевський В. В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів : навчальний посібник / В. В. Хільчевський. – К. : Либідь, 2002. – 328 с.
93. Матеріалознавство : підручник / [С. С. Дяченко, І. В. Дощечкіна, А. О. Мовлян, Е. І. Плешаков] ; ред. С. С. Дяченко ; Харківський нац. автомобільно-дорожній ун-т. – Х. : ХНАДУ, 2007. – 440 с.
94. Материаловедение и технология материалов : в 2 ч. : учебник для СПО / под. ред. Г. П. Фетисова. – 8-е изд., пер. и доп. – М. : Издательство Юрайт, 2018. – Часть 1. – 386 с.
95. Дворук В. І. Вплив низькотемпературної термомеханічної обробки (НТМО) на абразивну зносостійкість легованої сталі / В. І. Дворук // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2013. – № 4. – С. 46-52.
96. Головка Л. Ф. Лазерне наплавлення та термомеханічна обробка композиційних матеріалів з пам'яттю форми / Л. Ф. Головка, О. Й. Мажейка, С. І. Маркович // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – 2009. – Вип. 39. – С. 402-407.