

Володимир Валентинович Кухар,
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри обробки металів тиском,
ДВНЗ «ПДТУ» (м. Маріуполь)

Борис Сергійович Каргін,
кандидат технічних наук, професор,
професор кафедри обробки металів тиском,
ДВНЗ «ПДТУ» (м. Маріуполь)

Олександр Сергійович Аніщенко,
кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник,
доцент кафедри обробки металів тиском,
ДВНЗ «ПДТУ» (м. Маріуполь)

Сергій Борисович Каргін,
кандидат технічних наук,
доцент кафедри обробки металів тиском,
ДВНЗ «ПДТУ» (м. Маріуполь)

Андрій Григорович Присяжний,
кандидат технічних наук,
доцент кафедри обробки металів тиском,
ДВНЗ «ПДТУ» (м. Маріуполь)

У даному навчальному посібнику представлені принципи та порядок проектування енергоресурсозберігаючих технологічних процесів кування на молотах та пресах, гарячого об'ємного штампування на пароповітряних молотах, кривошипних пресах і горизонтально кувальних машинах, холодного листового штампування заготовок із листових матеріалів. Викладені основи вибору і підготовки заготовок до штампування, раціонального розкрою листового матеріалу, вибору кувального і штампувального устаткування. Наведені приклади проектування технологічних процесів кування, об'ємного та листового штампування, складення креслень штампів.

Особливістю викладення матеріалу є висвітлення питань, необхідних для виконання курсового проекту з дисципліни «Технологічні процеси за фахом» студентів, що навчаються за освітньою програмою 136 «Металургія» (спеціалізовано – обробка металів тиском). Матеріали можуть бути корисними інженерно-технічним працівникам промисловості та науково-дослідним робітникам.

В.В. Кухар
Б.С. Каргін
О.С. Аніщенко
С.Б. Каргін
А.Г. Присяжний

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ за фахом

КУВАННЯ І ШТАМПУВАННЯ

Курсове проектування

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
«Приазовський державний технічний університет»

В. В. Кухар, Б. С. Каргін, О. С. Аніщенко,
С. Б. Каргін, А. Г. Присяжний

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ЗА ФАХОМ. КУВАННЯ І ШТАМПУВАННЯ

Курсове проектування

Навчальний посібник

*Рекомендовано вченою радою
ДВНЗ «Приазовський державний
технічний університет»*

Маріуполь

2017

УДК 621.73 : 621.98 : 621.7.07

Т 30

Рекомендовано вченою радою

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів

(протокол № 5 від 30.11.2017 р.)

Рецензенти:

Марков О. Є. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Механіка і пластичне формування» Донбаської державної машинобудівної академії, м. Краматорськ;

Чухліб В. Л. – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри «Обробка металів тиском» Національної металургійної академії України, м. Дніпро;

Анділахай О. О. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Технологія машинобудування» ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь.

Кухар В. В.

Т 30 Технологічні процеси за фахом. Кування і штампування : навчальний посібник / В. В. Кухар, Б. С. Каргін, О. С. Аніщенко, С. Б. Каргін, А. Г. Присяжний. – Маріуполь : ПДТУ, 2017. – 144 с.

ISBN 978-966-604-218-0

У даному навчальному посібнику представлені принципи та порядок проектування енергоресурсозберігаючих технологічних процесів кування на молотах та пресах, гарячого об'ємного штампування на пароповітряних молотах, кривошипних пресах і горизонтально кувальних машинах, холодного листового штампування заготовок із листових матеріалів. Викладені основи вибору і підготовки заготовок до штампування, раціонального розкрою листового матеріалу, вибору кувального і штампувального устаткування. Наведені приклади проектування технологічних процесів кування, об'ємного та листового штампування, складення креслень штампів.

Особливістю викладення матеріалу є висвітлення питань, необхідних для виконання курсового проекту з дисципліни «Технологічні процеси за фахом» студентів, що навчаються за спеціальністю 136 «Металургія» (спеціалізовано – обробка металів тиском). Матеріали можуть бути корисними інженерно-технічним працівникам промисловості та науково-дослідним робітникам.

УДК 621.73 : 621.98 : 621.7.07

© В. В. Кухар, Б. С. Каргін, О. С. Аніщенко,
С. Б. Каргін, А. Г. Присяжний, 2017

ISBN 978-966-604-218-0

© ДВНЗ «ПДТУ», 2017

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Загальні питання курсового проектування	6
1.1 Завдання на курсове проектування.....	7
1.2 Розрахунково-пояснювальна записка й графічна частина	8
2 Технологічні розрахунки кування.....	9
2.1 Розробка креслення поковки.....	9
2.2 Визначення маси й розмірів заготовки.....	11
2.3 Розрахунок переходів і вибір інструмента	13
2.4 Вибір технологічного встаткування.....	13
2.5 Оформлення технологічної документації відповідно до вимог єдиної системи технологічної документації (ЄСТД)	18
2.6 Приклади технологічних розрахунків.....	18
3 Гаряче об'ємне штампування	26
3.1 Розробка креслення штампованої поковки.....	26
3.2 Технологічні розрахунки при штампуванні на молоті.....	32
3.3 Штампування на кривошипних пресах	37
3.4 Заготовочне вальцювання	51
3.5 Технологічні розрахунки при штампуванні на горизонтально- кувальних машинах	59
3.6 Проектування процесів штампування на гвинтових пресах.....	70
3.7 Штампування на гідравлічних пресах.....	71
4 Холодне об'ємне штампування на пресах і автоматах	73
4.1 Вихідні матеріали для холодного штампування.....	73
4.2 Розробка креслення деталі.....	74
4.3 Проектування переходів штампування	75
4.4 Вибір технологічного устаткування	80
4.5 Проектування інструменту.....	81
5 Спеціалізовані процеси кування, штампування	83
5.1 Обробка на радіально-кувальних і ротаційно-обтискних	

машинах	83
5.2 Одержання поковок на гарячештампувальних автоматах.....	85
5.3 Поперечно-клинове вальцювання	88
6 Обробка й очищення поковок.....	95
6.1 Обрізка задирки і прошивання отворів	95
6.2 Правка поковок	99
6.3 Калібрування, термообробка й очищення поковок	101
7 Розробка технологічних процесів листового штампування	104
7.1 Аналіз технологічності.....	104
7.2 Визначення форми й розмірів заготовки.....	106
7.3 Технологічні розрахунки	108
7.4 Розрахунок технологічних зусиль і вибір устаткування.....	124
7.5 Конструювання штампів	129
Перелік посилань	136
Додатки.....	139

ВСТУП

Об'єктивним кінцевим результатом засвоєння студентами теоретичних знань за дисциплінами «Теоретичні основи процесів за фахом», «Конструкції технологічних агрегатів за фахом», «Технологічні основи процесів за фахом» є захист курсового проекту. Уміння виконувати практичні розрахунки та розробляти на цій основі енергоресурсозберігаючі технологічні процеси обробки металів тиском (ОМТ) сприяє більш глибокому засвоєнню матеріалу та розвитку навичок активного використання теоретичних знань.

Тому основна мета даного навчального посібника – допомогти студентам спеціальності 136 «Металургія» (освітня програма «Обробка металів тиском») отримати практичні навички з вирішення типових задач при розробці технологічних процесів кування, гарячого об'ємного і холодного листового штампування, а також спеціалізованих технологічних процесів ОМТ: обробки на радіально-кувальних машинах, поперечно-клинового вальцювання тощо.

Поставлена мета обумовила структуру даного навчального посібника та характер викладення в ньому матеріалів. Зокрема, представлені загальні питання курсового проектування, основи вибору і підготовки заготовок до штампування, раціонального розкрою листового матеріалу, вибору кувального і штампувального устаткування.

Більша частина матеріалів, які викладені в даному навчальному посібнику, містить приклади проектування технологічних процесів кування, об'ємного та листового штампування, складення креслень штампів, що дає можливість студентам зрозуміти методи вирішення практичних задач по відношенню до конкретних процесів ОМТ. У додатках представлені довідкові дані, які є необхідними при виконанні практичних розрахунків.

Таким чином, отримані практичні навички можуть бути використані:

- при виконанні студентами курсового проекту з дисципліни «Технологічні основи процесів за фахом» (освітньо-кваліфікаційний рівень «бакалавр»);
- при виконанні магістерської кваліфікаційної роботи;
- при розробці технологічних процесів кування і штампування інженерно-технічними працівниками промисловості та науково-дослідними робітниками.

1 ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ

Метою курсового проектування є систематизація, поглиблення й закріплення теоретичних знань, отриманих при вивченні спеціальних курсів, застосування цих знань при комплексному вирішенні конкретного інженерного завдання, розвиток навичок самостійної творчої роботи.

Основне завдання курсового проектування – розробка нових, найбільш прогресивних і ефективних проектних рішень на основі аналізу наявних технологічних процесів виготовлення виробів при зіставленні їхніх техніко-економічних показників.

Тематика курсового проектування має бути індивідуалізована відповідно до інтересів і здібностей студентів без зниження загальних вимог до якості проектів. Бажано, щоб завдання на проектування були реальними, тобто погодженими із заводами, проектними організаціями, науково-дослідними інститутами.

Завдання на курсове проектування за технологією ковальсько-штампувального виробництва для спеціальності 0408 передбачає розробку технологічного процесу кування-штампування конкретної деталі. За трудомісткістю роботу над проектом можна умовно розбити на етапи (дод. А).

Обсяг документації для завершеного курсового проекту рекомендується такий: 30–50 сторінок розрахунково-пояснювальної записки й 2–3 аркуші (формат А4) графічної частини. Розрахункова частина має становити не менше ніж 70 % обсягу пояснювальної записки.

Курсові проекти мають виконуватися, як правило, у спеціально обладнаній аудиторії, забезпеченій довідковою, методичною й навчальною літературою, малою обчислювальною технікою, зразками курсових проектів. Групові консультації доцільно організувати у вигляді ділових ігор, що мають на меті вибір й обґрунтування оптимального варіанта технологічного процесу. Ролі начальників заготівельних, штампувальних, термічної дільниць, начальника відділу технічного контролю (ВТК), механіка й енергетика цеху краще доручити студентам, що пройшли спеціальну підготовку під час заводської практики, а найбільш відповідальні ролі начальників штампо-інструментального господарства й планово-економічного бюро – викладачам. На індивідуальних консультаціях для розвитку максимальної самостійності студентів керівник повинен уникати видачі готових рішень.

Захист курсових проектів організується в установленний термін перед комісією з двох-трьох викладачів. Мета захисту – вироблення у студентів навичок всебічного обґрунтування запропонованих ними технічних рішень і виховання відповідальності за якість вирішення інженерного завдання. При оцінюванні проекту враховуються правильність прийнятих рішень і ступінь самостійності, якість виконання розрахунків, креслень і оформлення розрахунково-пояснювальної записки, зміст відповідей на питання членів комісії, а також ставлення студентів до роботи над проектом протягом усього навчального семестру.

Конкурси курсових проектів, що захищаються на кафедрі, улаштовуються з метою заохочення творчої активності й розвитку ініціативи студентів під час вибору, обґрунтування й розробки нових прогресивних проектних рішень.

Умови конкурсів мають бути доведені до відома студентів і викладачів перед початком проектування. Результати конкурсу висвітлюються в стінній пресі, найкращі проекти представляються на кафедральну виставку. Курсові роботи, що мають практичне значення, рекомендуються до впровадження в промисловості.

1.1 Завдання на курсове проектування

Завдання на бланку встановленої форми (див. дод. А), підписане керівником проекту й затверджене завідувачем кафедри, видається студентові перед початком спеціальної практики. У завданні варто чітко визначити зміст і обсяг проекту, вихідні дані, послідовність виконання, рекомендовану навчальну й довідкову літературу.

Під час підготовки до виконання курсового проекту в період спеціальної практики студентові необхідно:

- вивчити ескіз (креслення) деталі, для якого проектується технологічний процес, ознайомитися з умовами її роботи у вузлі машини, а також з технічними вимогами, що забезпечують експлуатаційні властивості деталі;
- простежити за механічною обробкою поковки (деталі) і використовуваними при цьому встановлювальними базами;
- ознайомитися із заводським кресленням поковки, технічними умовами на неї, методикою призначення припусків, допусків і з фактичними їхніми величинами шляхом обмірювання поковок;
- проаналізувати складові норми витрати металу на поковку; простежити за процесом розподілу матеріалу на заготовки й припустимими відхиленнями розмірів, установити відхилення на декількох заготовках шляхом обмірювання;
- зафіксувати в процесі кування, штампування зміну температури заготовки від видачі її з печі до одержання готового виробу, коливання температури кінця штампування, виконати ескізи переходів, провести хронометраж виготовлення даної поковки;
- зробити ескізи застосовуваного інструмента й штампів, замальовки кріплення штампів, бойків і ознайомитися з їхнім налагодженням;
- вивчити методику контролю й здавання поковок, виконати ескізи основних контрольно-вимірювальних пристроїв;
- зібрати дані щодо режимів нагрівання заготовок, охолодження й термообробки поковок;
- ознайомитися з методикою встановлення норм часу на різання, кування (штампування), порівняти їх з досягнутими на виробництві;
- охарактеризувати використовуване ковальсько-штампувальне встаткування, термічні агрегати;
- з'ясувати склад бригади, що обслуговує ковальсько-штампувальний агрегат, і розробити схему організації робочого місця;
- вивчити засоби механізації й автоматизації;
- ознайомитися з вимогами техніки безпеки при виконанні робіт;
- простежити за обробними операціями (зачищення, виправлення, каліб-

рування, карбування, очищення від окалини та ін.), охарактеризувати застосовуване для цих цілей устаткування;

- зібрати дані про види браку при виробництві поковок, види зношування штампів, повну їхню стійкість й стійкість до відновлення;

- вивчити й додати до звіту технологічну документацію: карту типового технологічного процесу, відомість деталей до нього, карту технологічного процесу кування й гарячого штампування, маршрутну карту холодного штампування;

- ознайомитися з послідовністю операцій з виготовлення штампів, бойків, методикою їхнього приймання й контролю, штамповими матеріалами та їхньою термообробкою;

- проаналізувати калькуляцію собівартості поковок.

За рішенням кафедри до завдання на курсовий проект можуть бути включені спеціальні розділи з проектування вузлів устаткування й засобів механізації, нагрівальних пристроїв або індивідуальні завдання, пов'язані з виконуваною студентом дослідною роботою.

1.2 Розрахунково-пояснювальна записка й графічна частина

Рекомендується такий порядок викладу матеріалу в розрахунково-пояснювальній записці: титульний аркуш, завдання на виконання проекту, зміст, вступ (цілі й завдання проекту), основні розділи (див. дод. А), список використаної літератури й додатки.

Розрахунково-пояснювальна записка повинна бути написана від руки або надрукована за допомогою оргтехніки на стандартних аркушах паперу формату А4. Матеріал слід викладати грамотно, чітко й стисло. Нумерація розділів, оформлення ілюстрацій і таблиць виконується відповідно до ГОСТ 7.32.

На всі рисунки й таблиці повинні бути посилання в тексті розрахунково-пояснювальної записки. Формули виносяться в окремий рядок і записуються спочатку в загальному вигляді; потім у формули підставляються чисельні значення в порядку параметрів, що входять до них, і записується результат із зазначенням розмірності в SI. Пояснення значень символів наводяться із зазначенням розмірностей безпосередньо під формулою й у тій самій послідовності, у якій вони дані у формулі.

Список літературних джерел, використаних у проекті, має бути складений відповідно до вимог ГОСТ 7.1.

Графічну частину проекту необхідно виконувати в повній відповідності до єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД) і вимогами стандартів на окремі види інструменту. Складальні креслення штампів повинні містити необхідну кількість проекцій і розрізів із зазначенням розмірів, а також технічні вимоги.

2 ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ КУВАННЯ

Універсальність устаткування й інструменту визначають економічні переваги кування в умовах одиничного й дрібносерійного виробництва. Для великогабаритних деталей масою понад 100 кг кування є єдино можливим способом виробництва. Критичний розмір партії дрібних і середніх поковок, для яких витрати на штампи та їхнє налагодження компенсуються зниженням собівартості від переходу з кування на штампування, залежить від групи складності поковок. При зниженні собівартості штамів і збільшенні ціни штампованого матеріалу розміри критичної партії зменшуються. Зокрема, використання групових і уніфікованих переналагоджуваних кувальних штамів економічно виправдує штампування в умовах дрібносерійного виробництва [29].

2.1 Розробка креслення поковки

Поковки залежно від їхньої маси виготовляють на гідравлічних пресах або молотах [6, т. I, с. 178, 179]. Спостерігається тенденція переведення фасонних поковок масою понад 100 кг і простих поковок масою понад 750 кг з молотів на гідравлічні преси.

Креслення поковки складається на підставі креслення деталі із призначенням припусків і допусків на номінальні розміри деталі, а якщо поковка піддається термообробці після обдирання, то на розміри заготовки.

Припуски, допуски на поковки з вуглецевої і легованої сталі, що виготовляються методом кування на молотах і гідравлічних кувальних пресах, регламентовані ГОСТ 7829 і ГОСТ 7062. Кращим для молотових поковок є розрахунковий метод визначення припуску, що ґрунтується на підсумовуванні систематичних і випадкових погрішностей, які виникають при нагріванні, куванні й механічній обробці [1, с. 52].

Передбачається дві групи точності пресових поковок (ГОСТ 7062). Висока культура виробництва, застосування спеціального оснащення й кувальних маніпуляторів дозволяють виготовляти поковки першої групи точності. Автоматизовані кувальні комплекси «гідропрес – маніпулятор» із програмним керуванням забезпечують одержання поковок з відхиленням поперечних розмірів ± 1 мм і поздовжніх ± 5 мм.

Довжина уступів і виїмок східчастих валів вказується від єдиної бази, за яку приймають торець виступу найбільшого перерізу, що не є торцем поковки. На діаметри всіх перерізів, крім основного, призначається додатковий припуск для компенсації неспіввісності виступів. ГОСТ 7829 передбачає також додаткові припуски на зовнішні діаметри східчастих пустотілих валів і діаметри втулок, що виготовляються в підкладних кільцях. Допускається округлення номінальних розмірів молотових поковок до найближчих більших цілих чисел, а пресових поковок – до найближчих чисел, що закінчуються на 5 або 0. Регламентуються також мінімально здійсненна висота й довжина кінцевих і проміжних уступів, виїмок, фланців і бортів. У необхідних випадках розміри поковки доводять до здійснених виходячи з умови мінімального об'єму напуску.

Отвори в молотових поковках дозволяється не прошивати, якщо їхні діаметрі менші за 40 мм або якщо відношення висоти поковки до діаметра отвору $H / d_{\text{от}} > 3$. У пустотілих валах отвір діаметром $d_{\text{от}} \leq 120$ мм не проковується при довжині вала $L \geq 6d_{\text{от}}$, а також при товщині стінки пустотілого вала менше ніж 30...40 мм. Для пресових поковок обмежуються як максимальний, так і мінімальний діаметри отвору, що прошивається:

$$d_{\text{max}} = 0,37(D - 200) + 80, \quad (2.1)$$

$$d_{\text{min}} = 0,208(H - 200) + 75, \quad (2.2)$$

де D – діаметр або розмір меншої сторони перерізу заготовки перед прошиванням;

H – висота заготовки.

Мінімальна товщина стінки пустотілих циліндрів, що виготовляються на пресі, 100 мм. Дозволяється не виконувати отвори, менші за 280 і 230 мм, у циліндрах довжиною понад 3000 і 2000 мм відповідно. Розкотні кільця, зовнішній діаметр яких $D < 3000$ мм, можуть бути викувані з товщиною стінки до $0,054D$, але не менш ніж 100 мм. Кільця більшого діаметра повинні мати стінку товщиною не менш ніж 165 мм.

У кресленні поковок відповідального призначення відповідно до ГОСТ 8479 необхідно передбачати напуски на проби, достатні для виготовлення зразків, що обумовлюються методами випробування.

Об'єм і масу поковок визначають за номінальними розмірами з урахуванням технологічних напусків. Крім перерахованих, ГОСТ 7062 регламентує напуски на сколах (кг):

після рубання з одного боку вала

$$M = 0,28 \cdot 10^{-6} (D + \delta)^3, \quad (2.3)$$

$$M = 0,36 \cdot 10^{-6} (B + \delta)^2 (H_0 + \delta_1), \quad (2.4)$$

між уступами

$$M = 0,18 \cdot 10^{-6} [(D_1 + \delta_1) - (D_2 + \delta_2)]^2 [(D_1 + \delta_1) + 2(D_2 + \delta_2)]. \quad (2.5)$$

Тут D, B, H_0 – діаметр, ширина й висота крайнього уступу деталі, мм;

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$ – припуски на відповідні розміри деталі, мм;

D_1, D_2 – діаметри суміжних виступів деталі, мм.

Маса напуску торцевих сфер пустотілих валів, викуваних з коефіцієнтом витяжки 2 і більше, становить (кг):

$$M = 0,393 \cdot 10^{-6} (D + \delta - D_1)(F - F_1), \quad (2.6)$$

а розкотних кілець:

$$M = 0,393 \cdot 10^{-6} (D + d - 2\delta)(F + F_1), \quad (2.7)$$

де D – зовнішній діаметр деталі, мм;

D_1 – діаметр отвору поковки пустотілого вала, мм;

F – площа перерізу по зовнішньому діаметру поковки $(D + \delta)$, мм²;

F_1 – те саме, отвору поковки, мм²; d – діаметр отвору деталі, мм.

Напуск на бічну сферу дисків і його розмір визначаються розмірами й масою поковки (ГОСТ 7062). Для молотових поковок напуски на скоси уступу й після рубання, торцеву сферу вала, бічну сферу дисків і на конусність прошитого отвору встановлюються за рекомендаціями, наведеними в роботах [1, с. 59–62; 20, с. 120].

Поковки типу сектора або тонких дисків поєднуються в складене кільце або циліндричний пакет з урахуванням припусків на розрізання й підрізування

торців [1, с. 80–81; 20, с. 113–114; 24, с. 287]. У поковках тонкостінних кілець і циліндрів, оброблюваних на молоті, передбачається припуск на їх затискання кулачками патрона [1, с. 82; 20, с. 115]. Для поковок заданої твердості ($HB > 270...290$), що вимагають поверхневого зміцнення, додатково призначається припуск на термічну обробку [1, с. 84; 20, с. 115]. Вали, що піддаються такій обробці в підвішеному стані, повинні мати припуск на затискання [1, с. 88; 20, с. 116; 6, т. 1, с. 274].

Креслення поковки із зазначенням розмірів виконується на стандартному аркуші або на карті ескізів за формою 5 ГОСТ 3.1105 з дотриманням правил технічного креслення. Контури деталі на кресленні поковки зображуються тонкою лінією, розміри вказуються в дужках під розмірною лінією. Праворуч від зображення наводяться технічні вимоги на поковки, які поєднуються за загальними ознаками (наприклад, вимоги до матеріалу, недосконалості форми, необумовлені розміри). На кресленні вказується група за ГОСТ 8479, обумовлюються додаткові види випробувань, допустимі величини місцевих дефектів, нерівномірне розташування припусків.

2.2 Визначення маси й розмірів заготовки

Масу вихідної заготовки визначають як суму маси поковки $M_{\text{п}}$ і відходів:

$$M_{\text{заг}} = M_{\text{п}} + M_{\text{виг}} + M_{\text{дод}} + M_{\text{дон}} + M_{\text{обр}} + M_{\text{вид}}, \quad (2.8)$$

де $M_{\text{виг}}$ – відходи на вигар (2...3,5 % від маси заготовки, що нагрівається, і 1,5% при підігріві);

$M_{\text{дод}} = 18...25$ % – відходи додаткової частини зливка;

$M_{\text{дон}} = 5$ % – відходи донної частини зливка;

$M_{\text{обр}}, M_{\text{вид}}$ – відходи на обрубання й видру.

Значення $M_{\text{дод}}$ і $M_{\text{дон}}$ уточнюються після вибору зливка за сортаментом [6, т. 1, с. 40–42]. Для заготовки з прокату складові $M_{\text{дод}}$ і $M_{\text{дон}}$ відсутні.

При куванні валів на молоті планується обрубання кінцевого виступу в таких випадках: якщо є напуск на його довжину; коли є небезпека появи тріщин на торцях вала з високолегованих сталей або звичайних зі значною величиною уковування ($Y > 3$); у зв'язку з відхиленням загальної довжини поковки довгих валів ($L > 10D$) унаслідок коливань поперечних розмірів у межах допуску. Довжина обрубка визначається залежно від уковування Y на крайньому виступі [1]: $l_{\text{об}} = (0,28 + 0,2Y)D$ або $l_{\text{об}} = (0,28 + 0,2Y)B$, де D, B – діаметр і більший розмір поперечного перерізу кінцевого виступу, мм.

Обсяг обрубка вала, викуваного на пресі, визначається за формулою (мм³) $V_{\text{об}} = 0,21D^3$ або $V_{\text{об}} = 0,28B^2H$. Тут D, B, H – розміри перерізу крайнього виступу, мм. При куванні виступу з малим уковуванням об'єм відходів рекомендується зменшити на 20...30 %.

Об'єм видри $V_{\text{вид}}$ залежить від способу прошивання, що вибирається виходячи з відношення висоти поковки перед прошиванням на молоті $H_{\text{пр}}$ до її діаметра $D_{\text{пр}}$ [1]:

$$H_{\text{пр}} / D_{\text{пр}} \leq 0,13, \quad V_{\text{вид}} = 0,9H_{\text{пр}} \frac{\pi d_{\text{пр}}^2}{4},$$

$$H_{\text{пр}} / D_{\text{пр}} \leq 0,13 \dots 0,4, \quad V_{\text{вид}} = 0,25 d_{\text{пр}}^2 \frac{\pi d_{\text{пр}}^2}{4},$$

$$H_{\text{пр}} / D_{\text{пр}} > 0,4, \quad V_{\text{вид}} = 0,5 (d_{\text{пр}} + H_{\text{пр}}) \frac{\pi d_{\text{пр}}^2}{4}.$$

У наведених формулах $d_{\text{пр}}$ – діаметр отвору, що прошивається.

При прошиванні на пресі отворів у низьких поковках:

$$V_{\text{вид}} = (0,55 \dots 0,6) d_{\text{пр}}^2 H_{\text{пр}},$$

у високих:

$$V_{\text{вид}} = (0,15 \dots 0,2) d_{\text{пр}}^2 H_{\text{пр}},$$

пустотілим прошивнем:

$$V_{\text{вид}} = 1,775 d_{\text{ін}}^2 + (0,8635 H_{\text{пр}} - 1,1775) d^2,$$

де d – внутрішній діаметр пустотілого прошивня, мм.

Через великі втрати металу прошивання пустотілим прошивнем рекомендується тільки як спосіб видалення порочної осьової зони зливка й для зменшення зусилля прошивання отворів діаметром понад 400 мм.

Площа поперечного перерізу вихідної заготовки при виготовленні поковки протяганням залежить від максимальної площі перерізу поковки: $F_{\text{заг}} = U F_{\text{пок}}$. Для поковки із сортового прокату достатнім вважають уковування $U = 1,3 \dots 1,5$. За значенням $F_{\text{заг}}$ з ГОСТ 2590, ГОСТ 2591, ГОСТ 4693 вибирають оптимальний вид, розміри заготовки й визначають її тип – мірна або штанга. Мірна заготовка має задовольняти умові можливості її відрізання або рубання від штанги $L_{\text{заг}} \geq k_p D_{\text{заг}}$, де $L_{\text{заг}} = 4V_{\text{заг}} / (\pi D_{\text{заг}})$ – довжина заготовки; k_p – коефіцієнт мінімальної відносної довжини заготовки для прийнятого способу оброблення ($k_p = 1,2; 0,8; 0,65; 0,4$ відповідно при різанні на ножицях, ламанні на холодноламі, різанні в штампах і рубанні на молоті). У деяких випадках може використовуватися заготовка, викувана на молоті більшої потужності. Діаметр перекованої заготовки приймають рівним розрахунковому, округленому до найближчого більшого числа, кратного 5.

Уковування при протяганні зі зливка рекомендується вибирати залежно від призначення поковки. Якщо найбільші робочі напруги в готовій деталі повністю збігаються з напрямком волокна, кування зливків з легованих сталей варто здійснювати при $U = 10$, якщо майже збігаються, то $U = 5 \dots 6$, а коли не збігаються – $U = 3 \dots 4,5$. Таке велике уковування рідко вдається одержати безпосередньо з вихідної заготовки, частіше доводиться вдаватися до проміжних операцій осаджування, щоб результуюче уковування $U = U_1 U_2 \dots U_n$ за n операцій протягання досягало необхідної величини.

Оптимальні механічні властивості поковок з вуглецевої і малолегованої конструкційних сталей створюються при уковуваннях, що залежать від маси зливка M_3 :

$M_3, \text{ т}$	1	3	5	10	30	80	200
U	2.5	2.7	2.8	3	3.25	3.5	3.75

Для подовжених зливків досить $U = 2$.

Заготовка, призначена для осаджування, має задовольняти умові стійкості

$$L_{\text{заг}} \leq 2,5 D_{\text{заг}}.$$

2.3 Розрахунок переходів і вибір інструмента

Розробляючи технологічний процес, необхідно підібрати таку послідовність операцій, при якій волокна отримують у куванні найбільш сприятливий напрямок. Технологічні переходи поковки на молоті зручно вибирати за логічними схемами для різних типів поковок, наведеними у роботах [1, с. 34–42; 20, с. 129–142].

Типові технологічні процеси розроблені також для пресових поковок, розділених на технологічні групи й підгрупи [20, с. 161]. Є формалізовані схеми технологічних процесів кування турбінних дисків, роторів, прокатних валків, штампових кубиків, кілець і бандажів [20, с. 171, 173; 24].

Розрахунок переходів протягання на плоских, вирізних або опуклих бойках дає можливість визначити обтиснення й подачі, що забезпечують одержання якісної поковки з максимальною продуктивністю [16, с. 163, 181, 183]. Значно полегшує розрахунок переходів протягання на плоских бойках застосування номограм [6, т. 1, с. 261; 20, с. 64–67]. Іноді при таких розрахунках обмежуються вузловими перерізами. Наприклад, якщо ділянка протягається на плоских бойках з діаметра D на d , досить розрахувати сторону квадрата $\alpha_{\max}$, у який перековується вихідне коло, і сторону $\alpha_{\min}$ для переходу до кінцевого перерізу.

При проектуванні технологічного процесу розкочування кілець на оправленні основним технологічним питанням є розрахунок розширення, яке можна встановити за допомогою номограм [1, с. 47; 6, т. 1, с. 263]. Методика розрахунку розкочування на пресах передбачає уточнене визначення розширення, розподіл обтиснень за обертми і підгірвом [24, с. 295].

Режим нагрівання вибирається за довідковим даними залежно від маси й матеріалу заготовок [6, т. 1, с. 102–108]. Марка сталі обумовлює також рекомендований температурний інтервал, кування й спосіб охолодження виробів після нього [6, т. 1, с. 99, 100, 110]. Час охолодження заготовки в процесі кування необхідно розраховувати, щоб, зіставляючи його із часом виконання технологічних операцій, розподіляти операції за підгірвами. Для цих цілей можна використовувати дані про розміри уступів, одержуваних куванням під пресом за одне нагрівання [6, т. 1, с. 109, 294, 295]. Відомості про зміну температури заготовки в процесі кування необхідні для вибору температури нагрівання великих заготовок перед останнім виносом.

Технологічний інструмент (бойки, плити для осаджування, прошивні, оправленні для розкочування й протягання, патрони, перетискачі, розкочування) вибирається за нормлями [6, т. 1, с. 235–257]. Для нестандартного інструмента наводяться ескізи.

2.4 Вибір технологічного встаткування

Визначення опору деформуванню. Точність розрахунків енергосилових параметрів кування залежить від вірогідності визначення опору деформуванню σ . Якщо умови деформування збігаються з умовами випробувань, значення σ можна встановити за довідковим даними [17]. За емпіричною формулою

Л. В. Андреюка й Г. Г. Тюленєва опір деформуванню розраховується залежно від ступеня ε і швидкості $\dot{\varepsilon}$ деформації, а також від температури кування T_K :

$$\sigma = S \sigma_0 \dot{\varepsilon}^a (10\varepsilon)^b \left(\frac{T_K}{1000}\right)^c. \quad (2.9)$$

Експериментальні значення базового опору деформуванню σ_0 при $\dot{\varepsilon} = 1 \text{ с}^{-1}$, $\varepsilon = 0,1$, $T_{\text{исп}} = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ і розрахункових коефіцієнтів для різних сталей і сплавів наведені в табл. Б.1 дод. Б.

Опір деформуванню в ізотермічних умовах з урахуванням зміцнення в процесі деформації й знеміцнення, що протікає й при обтисненні, і під час пауз, рекомендується обчислювати за формулою:

$$\sigma = \sigma_T + G \varepsilon^\alpha (1 + t)^{-m}, \quad (2.10)$$

де σ_T – границя текучості сталі при температурі кування;

G – модуль зміцнення, МПа/с^{-m};

α – показник зміцнення;

t – сумарний час деформування й пауз, с;

m – показник знеміцнення.

Уточнені експериментальні значення границь текучості й показників зміцнення-знеміцнення подано в табл. Б.2 дод. Б. Час деформування можна розрахувати за відомими ступенями і швидкістю деформації $t_d = \varepsilon / \dot{\varepsilon}$.

Опір деформуванню в неізотермічних умовах можна визначити в будь-який момент часу t , якщо відомі гомологічна температура $T_\Gamma = T_K / T_{\text{пл}}$ у момент початку охолодження й швидкість останнього v ($^\circ\text{C}/\text{с}$) [8]:

$$\sigma = \sigma_0 \exp \left[k_1 \left(1 - T_\Gamma^0 + \frac{vt}{T_{\text{пл}}} \right) \right] + G_1 \exp \left[k_2 \left(1 - T_\Gamma^0 + \frac{vt_1}{T_{\text{пл}}} \right) \right] \varepsilon^{\alpha_1} \dot{\varepsilon}^{\beta_1} (1 + t)^{m_1}. \quad (2.11)$$

Тут σ_0 – значення границі текучості, екстрапольоване до температури плавлення $T_{\text{пл}}$;

$k_1, k_2, G_1, \alpha_1, \beta_1, m_1$ – температурно-незалежні коефіцієнти;

t_1 – час охолодження.

Значення сталей, що входять до формули (2.11), наведено в табл. Б.3 дод. Б.

Графічний метод визначення опору деформуванню ґрунтується на використанні експериментальних кривих відносного зміцнення $\frac{\sigma}{\sigma_m}$ ($\varepsilon, \dot{\varepsilon}, T$) [8, с. 72, 73] і залежностей границь текучості сталей від температури [8, с. 71]. Наведені в літературі криві зміцнення дають можливість установити опір деформуванню ряду сталей при температурах 900, 1000, 1100–1200 $^\circ\text{C}$ і через певний проміжок часу t_Π після закінчення деформування, якщо в ролі заданої використовується «еквівалентна» швидкість деформації $\dot{\varepsilon}_e$:

$$\dot{\varepsilon}_e = \dot{\varepsilon} \left(\frac{t_d}{t_d + t_\Pi} \right)^{1/\beta_1}, \quad (2.12)$$

де $\dot{\varepsilon}$ – швидкість деформації заготовки;

t_d – час деформування;

β_1 – коефіцієнт, що залежить від марки матеріалу й температури [8, с. 75].

Визначення зусилля деформування й вибір кувального преса. При нерозчленованих технологічних процесах прес вибирають за зусиллям на найбільш трудомісткій операції, це може бути осаджування, протягання або прошивання. У загальному вигляді формула зусилля деформування записується так:

$$P = \sigma k_{\sigma} F . \quad (2.13)$$

Тут k_{σ} – коефіцієнт напруженого стану;

F – горизонтальна проекція площі контакту заготовки з інструментом після обтиснення.

Коефіцієнт k_{σ} , що враховує об'ємний характер напруженого стану, можна встановити за допомогою кожної з апробованих методик. Наприклад, при розв'язанні задачі осаджування циліндра діаметром D висотою H з використанням наближених рівнянь рівноваги й умови пластичності отримано різні значення k_{σ} залежно від розмірів заготовки, коефіцієнта контактної тертя μ і його функції $\psi = \left| \frac{\ln 2\mu}{2\mu} \right|$ [23]:

$$D / H \geq 2(1 + \psi), \quad 0 < \mu < 0,5, \\ k_{\sigma} = \frac{2H^2}{\mu^2 D^2} \left[\frac{1}{2\mu} \left(1 + \frac{\mu d_B}{H} \right) - \left(1 + \frac{\mu D}{H} \right) \right] - \frac{d_B^2}{2\mu D^2} \left(1 + \frac{\mu d_B}{3H} \right) - \frac{1}{3} \frac{H^2}{D^2}, \quad (2.14)$$

$$D / H > 2, \quad \mu = 0,5, \quad k_{\sigma} = 1 + \frac{1}{6} \frac{D}{H} - \frac{1}{3} \frac{H^2}{D^2}, \quad (2.15)$$

$$2 < D / H < 2(1 + \psi), \quad k_{\sigma} = \left[\frac{2H^2}{\mu^2 D^2} \right]^2 \left[\exp \frac{\mu D}{H} - \frac{\mu D}{H} - 1 \right], \quad (2.16)$$

$$1 < D / H < 2, \quad k_{\sigma} = 1 + \frac{\mu}{4} \frac{D}{H}, \quad (2.17)$$

$$D / H < 1, \quad 0 < \mu < 0,5, \quad k_{\sigma} = 1 . \quad (2.18)$$

У формулі (2.14): $d_B = 2(0,5D - \psi H)$.

Тим самим методом отриманий вираз для коефіцієнту напруженого стану при осаджуванні смуги з відношенням довжини контактної поверхні до ширини $L / B < 5$; $k_{\sigma} = 1 + \mu [1 - B / (3L)] B / (4H)$. Контактне тертя при температурах кування характеризується значеннями $\mu = 0,35 \dots 0,5$. Однак застосування маслографітових мастил знижує коефіцієнт тертя $\mu = 0,3$, а мастил на основі водно-графітового препарату ВКГС і рідкого скла – до $\mu = 0,1$.

Методика визначення опору деформуванню з урахуванням зміцнення-знеміцнення дозволяє не тільки правильно вибрати встаткування, але й розрахувати раціональні режими обтиснень при куванні, вирішити питання про можливість використання менш потужного преса.

Приклад. Зливоч масою 47 т з валкової сталі марки 9ХФ із початковими розмірами $H_0 = 3$ м, $D_0 = 1,39$ м осаджується до кінцевих розмірів $H_1 = 2,19$ м, $D_1 = 1,62$ м на пресі зусиллям 60 МН при температурі $T = 1200$ °С із середньою швидкістю деформації $\dot{\epsilon} = 0,03$ с⁻¹. Визначити можливість осаджування зливка на пресі зусиллям 32 МН [14].

Допустимий потужністю преса ($P_H = 32$ МН) опір деформуванню в початковий момент осаджування зливка $\sigma = 4P_H / (\pi D_0^2) = 4 \cdot 32 / (\pi \cdot 1,39^2) = 2,11$ МПа.

Границя текучості зазначеної сталі при 1200 °С становить 6,9 МПа [8, с. 71], відносно зміцнення $\sigma / \sigma_T = 21,1 / 6,9 \approx 3,1$. За графіком, наведеним у роботі [8, с. 73], визначаємо, що при $\sigma / \sigma_T = 3,1$ і $\dot{\epsilon}_{cp} = 0,03$ с⁻¹ максимальна ступінь деформації за одне натискання преса $\epsilon_{max} = 0,04$. Загальна ступінь деформації при осаджуванні $\epsilon_{заг} = (H_0 - H_1) / H_0 = (3 - 2,19) / 3 = 0,27$ може бути досягнуто за n ходів: $n = \epsilon_{заг} / \epsilon_{max} = 0,27 / 0,04 \approx 7$. Обтиснення за кожний хід становитиме $\Delta H = \epsilon_{max} H_0 = 0,04 \cdot 3 = 0,12$ м, час деформування $t_d = \epsilon_{max} / \dot{\epsilon} = 0,04 / 0,03 \approx 1,33$ с.

За кривими відносного зміцнення, використовуючи значення $\sigma/\sigma_T = 3,1$ і $\varepsilon_{\max} = 0,04$, визначаємо «еквівалентну» швидкість деформації $\dot{\varepsilon}_e = 0,00001 \text{ с}^{-1}$, а потім за формулою (2.12) – час циклу:

$$t_{\text{ц}} = t_e(\dot{\varepsilon}/\dot{\varepsilon}_e)\beta_1 = 1,33 \cdot (0,03/0,00001)^{0,54} \approx 100,3 \text{ с.}$$

Коефіцієнт $\beta_1 = 0,54$ установлюємо за таблицею [8, с. 75].

Час паузи $t_{\text{п}} = t_{\text{ц}} - t_{\text{д}} = 100,3 - 1,33 \approx 99 \text{ с.}$

Процес осаджування до кінцевих розмірів буде тривати $t_{\text{ос}} = nt_{\text{ц}} = 702,1 \text{ с.}$ Таким чином, осаджування зливка в ізотермічних умовах може бути виконане на пресі зусиллям 32 МН, якщо не лімітована вантажопідйомність, транспортних засобів.

У паузах між обтисненнями деформований метал знеміцнюється, але й безупинно охолоджується. Тому опір деформуванню спочатку зменшується, а потім зростає, тобто змінюється за рівнянням, аналогічним (2.11) [8]:

$$\sigma = \sigma_0 \exp \left[k_1 \left(1 - T_{\text{г}}^H + \frac{vt}{T_{\text{пл}}} \right) \right] + G_1 \exp \left[k_2 \left(1 - T_{\text{г}}^H + \frac{v\tau}{T_{\text{пл}}} \right) \right] \varepsilon_{\text{н}}^{\alpha_1} \dot{\varepsilon}^{\beta_1} (1 + t_{\text{д}} + \tau)^{m_1}, \quad (2.19)$$

де $T_{\text{г}}$ – гомологічна температура в момент $t_{\text{д}}$;

τ – час паузи;

$\varepsilon_{\text{н}}$ – ступінь деформації в момент $t_{\text{д}}$;

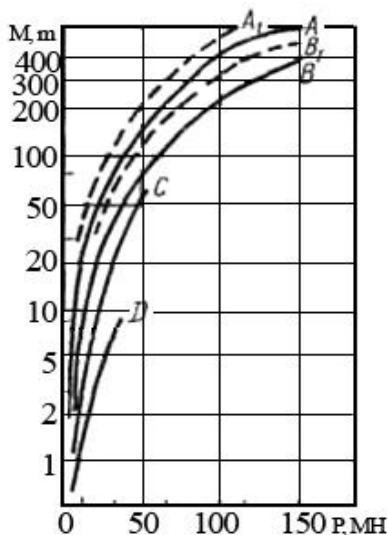
$t_{\text{д}}$ – час закінчення деформації.

Для істотно охолодженого кування оптимальну тривалість паузи $\tau_{\text{опт}}$, що відповідає мінімальному значенню $\sigma_{\min}$ перед наступним обтисненням, можна знайти за формулою (2.19) або за трансцендентним рівнянням:

$$\sigma_0 k_1 \exp \left[(k_1 - k_2) \left(1 - T_{\text{г}}^H + \frac{vt}{T_{\text{пл}}} \right) \right] + \left[\frac{1 + t_{\text{д}} + \tau + m_1 T_{\text{пл}}}{k_2 v} \right] k_2 G_1 \varepsilon_{\text{н}}^{\alpha_1} \dot{\varepsilon}^{\beta_1} (1 + t_{\text{д}} + \tau)^{m_1 - 1} = 0.$$

Числові значення коефіцієнтів σ_0 , k_1 , G_1 , k_2 , α_1 , β_1 , m_1 наведені в табл. Б.3 дод. Б.

Залежність зусилля преса від маси зливка, що осаджується, показана на рис. 2.1 [14]. Крива А відповідає куванню з вуглецевих і низьколегованих сталей, крива В – із середньолегованих сталей марок 40Х, 55Х, 20ХМ, 5ХНМ, 38Х2НМ, 38ХМ, 34ХНМ1А, 34ХМ та ін., крива С – з високолегованих марок 20Х13, 40Х13, 08Х18Н10Т, 14Х17Н2 і ін., крива D – з нікелевих сплавів ХН38ВТ, Х20Н80, ХН70ВМТЮ та ін. Штрихові лінії A_1 і A_2 показують збільшення максимальної маси зливків відповідно з вуглецевих і середньолегованих сталей, які осаджуються з паузами між обтисненнями, що у п'ять разів перевищують час попереднього деформування.



За рис. 2.1 доцільно здійснювати попередній вибір устаткування й оцінку оптимальності використання технологічних можливостей преса.

Коефіцієнт напруженого стану протягання на плоских бойках визначається за формулою $k_{\sigma} = 1 + l / (6H_0)$, а на вирізних – за формулою $k_{\sigma} = 1 + 2\mu l / (3D_0)$,

де H_0 і D_0 – висота і діаметр вихідної заготовки; l – подача.

У формулу (2.13) підставляється горизонта-

Рисунок 2.1 – Залежність зусилля преса від маси зливка, що осаджується

льна проекція площі контакту плоских ($F = B_0 l$), вирізних ($F = D_0 l$) і комбінованих ($F = 2\sqrt{D_0 \Delta R - \Delta R^2} l$) бойків. Тут B_0 , D_0 і ΔR – ширина, діаметр заготовки і радіальне обтиснення за хід преса.

Прошивання отвору діаметром $d_{\text{пр}}$ у заготовки діаметром $D_{\text{пр}}$ на практиці здійснюються при відношенні $D_{\text{пр}}/d_{\text{пр}} \leq 5$ і відносній висоті видри $d_{\text{пр}}/h_{\text{в}} \leq \sqrt{6}$. Для цих умов справедлива формула $k_{\sigma} = 2 + 1,1 \ln(D_{\text{пр}}/d_{\text{пр}})$.

Вибір кувального молота. Молот вибирається за необхідною енергією удару. В ізотермічних умовах опір деформуванню σ визначається за графіками відносного зміцнення залежно від середньої швидкості деформації $\dot{\epsilon}$ і ступеня деформації за кожний удар [8, с. 72, 73]. Загальна потрібна робота для різних процесів деформації розраховується з урахуванням усередненого коефіцієнта k_{σ} за рівнянням (кДж):

$$A = \sigma k_{\sigma} \cdot V \cdot \ln(H_0/H_1) \cdot 10^{-6},$$

де V – об'єм деформованої частини заготовки, мм^3 .

Якщо кування ведеться з різним ступенем деформації за удар і в неізотермічних умовах, робота деформації встановлюється по етапах, у межах яких термомеханічні параметри процесу можуть бути прийняті стабільними.

Більш сувору залежність для визначення роботи осаджування отримано інтегруванням виразу (2.17) у межах від вихідних H_0 , D_0 до кінцевих H_1 , D_1 розмірів:

$$A = \sigma V \left[\ln \left(\frac{H_0}{H_1} \right) + \frac{2}{9} \mu \left(\frac{D_1}{H_1} - \frac{D_0}{H_0} \right) \right] 10^{-6}. \quad (2.20)$$

Робота протягання вихідної заготовки висотою H_0 за n обтисків до кінцевої висоти H_n розраховується за формулою:

$$A = \sigma k_{\sigma} V \ln \left(\varphi_1 \varphi_2 \dots \varphi_{n-1} \frac{H_0}{H_n} \right) 10^{-6}. \quad (2.21)$$

Тут $\varphi_1, \dots, \varphi_{n-1}$ – коефіцієнти переходу, тобто відношення ширини перерізу до його висоти після кожного обтиску. Необхідну кількість ударів молота з енергією A_m можна підрахувати в такий спосіб:

$$n = A/(\eta A_m), \quad (2.22)$$

де $\eta = 0,7 \dots 0,9$ – ККД удару.

Якщо отримано занадто велике значення n , розрахунок повторюють для молота іншого типорозміру. При протяганні величина повної роботи деформації може служити лише для орієнтовних розрахунків. Молот підбирається за енергією, необхідною для виконання роботи деформування в кожному обтиску $A = \sigma k_{\sigma} V \ln \left(\frac{H_0}{H_1} \right)$ за 1 – 3 удари. Сумарна кількість ударів визначається з урахуванням кількості подач на оброблюваній довжині поковки.

У наближених розрахунках зручно користуватися формулами, що дозволяють безпосередньо встановити масу падаючих частин молота для осаджування або протягання [6, т. 1, с. 258, 263]. Молот можна вибрати за діаграмами, наведеними в роботі [6, т. 1, с. 264, 265], а потім перевірити його за умовами технологічності (масою, розмірами заготовки й поковки, граничними розмірами інструмента [1, с. 20–25]) і техніки безпеки [1, с. 33].

З розчленовуванням технологічного процесу трудомісткі операції виносяться на потужніше встаткування, що поліпшує використання потужностей. Це особливо раціонально при куванні на пресах великих поковок за кілька виносів.

Крім основного встаткування для здійснення спроектованого технологічного процесу вибирається допоміжне й підйомно-транспортне встаткування, засоби механізації, тип і розмір нагрівальних пристроїв [6, т. 1, с. 119]. Площа поду печі $F_{\text{под}}$ вибирається за напруженістю поду X так, щоб піч не обмежувала продуктивність кувального агрегату q (кг/год) [6, т. 1, с. 132]:

$$F_{\text{под}} = q / X. \quad (2.23)$$

Обране встаткування й засоби механізації компонуються відповідно до рекомендацій [6, т. 1, с. 206, 209, 210; 25, с. 241–248].

2.5 Оформлення технологічної документації відповідно до вимог єдиної системи технологічної документації (ЄСТД)

ЄСТД установлює єдині правила оформлення й обігу технологічних документів, що є частиною інформаційного забезпечення АСУ. Повний комплект технологічних документів ЄСТД включає карту типового технологічного процесу, відомість деталей до типового технологічного процесу, карти технологічного процесу (КТП), маршрутну (МК), операційну, ескізів (КЕ), а також відомості оснащення, операцій, матеріалів, технологічних документів і інструкції. Основними документами відповідно до ГОСТ 3.1102 є МК і КТП. Допускається виключити МК при описі технологічного процесу спеціалізованого виробництва (штампування, зварювання й т.п.).

Одиничний технологічний процес (ОТП) кування й гарячого штампування оформляється в КТП за формою 1 (заголовний аркуш) і 1а (наступні аркуші) ГОСТ 3.1403. Кодування документа визначається ГОСТ 3.1201. Допускається КТП застосовувати разом з КЕ за ГОСТ 3.1105 (форма 5). На КЕ містяться креслення поковки, ескізи переходів, рисунки, що пояснюють розрахункову частину, графіки тощо. На одному бланку можна розташовувати кілька ескізів з підписами й номерами. У КТП робиться посилання на кодівий номер КЕ й номер ескізу.

Заповнюються документи тушшю, висота букв повинна бути не менш ніж 2,5 мм. Операції нумеруються арабськими цифрами по порядку. До змісту операції включається найменування методу обробки, виражене дієсловом у початковій формі зі значенням наказовості («штампувати», «кувати» і т. п.). Запис роблять у нижній частині поля рядка. Між розділами, операціями рекомендується залишати вільний рядок. Записи в сусідніх графах варто робити на рівні першого рядка.

У графах, обведених жирною лінією, міститься інформація, оброблювана на ЕОМ. Для опису ОТП холодного штампування варто застосовувати маршрутні карти, які оформляються за ГОСТ 3.1105.

2.6 Приклади технологічних розрахунків

Кування на пресах. Завдання: спроектувати технологічний процес кування натискного гвинта (рис. 2.2) зі сталі марки 40Х ГОСТ 4543.

Одиничний характер виробництва й значна маса деталі ($M_d = 4750$ кг) визначають спосіб виробництва – кування на пресі [22, с. 181]. З огляду на те, що він постачаний маніпулятором і слідкувальним пристроєм, припуски й допуски призначаємо за групою 1 ГОСТ 7062. Попередньо за основний приймаємо переріз з максимальним діаметром. Припуски, допуски наведено в табл. 2.1.

Перевіримо можливість виконання уступів і виїмок. Уступ з діаметра 500 мм на квадрат 330 мм виконати можна, тому що його висота й довжина більші від мінімально допустимих: $h_{\text{доп}} = 25$ мм, $l_{\text{доп}} = 390$ мм (ГОСТ 7062, табл. 6, 8). Конус із діаметром основи $D_k = 500$ мм і довжиною твірної $L = 150$ мм виконати не можна, оскільки $L < 2D_k$ (ГОСТ 7062, п. 17). Виїмку діаметром 405 мм через те, що її довжина ($l = 140 - 0,75 \cdot 21 \approx 125$ мм) менша за допустиму $l_{\text{доп}} = 1,25 \cdot 370 \approx 462$ мм (ГОСТ 7062, п. 15, табл. 8), теж зробити неможливо.

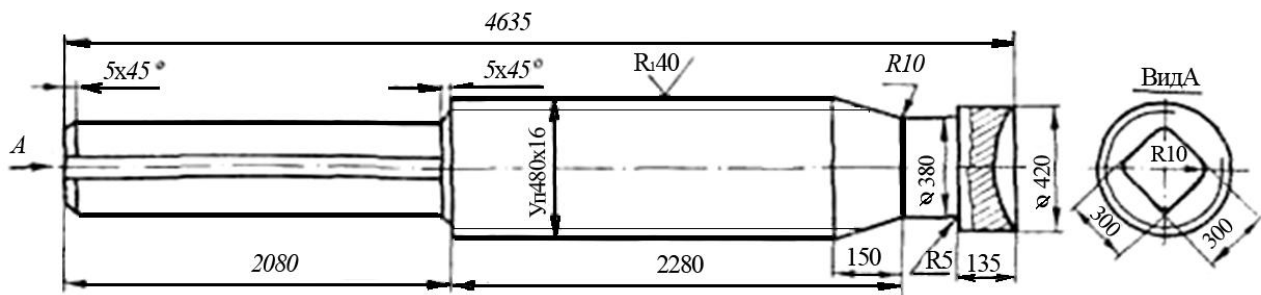


Рисунок 2.2 – Натискний гвинт (креслення деталі)

Уступ діаметром 445 мм може бути виконаний при його довжині не менш ніж $l_{\text{доп}} = 1,25 \cdot 390 \approx 487$ мм.

На поковці довжина уступу $l = 135 + 140 + 1,5 \cdot 21 \approx 306$ мм. Оскільки висота уступу з діаметра 500 мм на діаметр 445 мм $h = 27,5$ мм, тобто більша за мінімально допустиму $h_{\text{доп}} = 25$ мм (ГОСТ 7062, табл. 7), необхідно розглянути два варіанти призначення напуску на даній ділянці поковки.

Таблиця 2.1 – Розміри поковки, мм

Розмір деталі	Припуск, допуск	Різниця розмірів основного й розглянутого перерізів	Додатковий припуск	Розмір поковки
Ø 480	22±4	0	0	500±4
Ø 380	20±4	100	4	405±4
Ø 300	24±4	180	7	330±4
Ø 420	21±4	60	3	445±4
L 4635	$(1,5 \cdot 21 + 1,5 \cdot 24) \pm 3(4 + 4)$	–	–	4700±24
l 2080	$(1,5 \cdot 24 - 0,75 \cdot 22) \pm 3 \cdot 4$	–	–	2100±12

Об'єм кінцевої ділянки поковки, виконаної відповідно за першим (рис. 2.3,а) і другим варіантами (рис. 2.3,б): $V = (\pi/4) \cdot 500^2 \cdot 308 = 60445000 \text{ мм}^3$, $V = (\pi/4) \cdot 445^2 \cdot 487 \approx 75700000 \text{ мм}^3$. Як бачимо, перший варіант є кращим. Основний переріз був обраний правильно, оскільки $500 \cdot 2600 > 330 \cdot 2080$ (ГОСТ 7062, п. 14.4). У технічних вимогах на кресленні поковки (рис. 2.4) зазначається таке: гр. III – НВ 143 – 179 ГОСТ 8479; скоси відрубів не повинні перешкоджати постановці центрів; скоси й радіуси переходів не контролювати: поковка не повинна мати розшарувань, тріщин, плен, пісочин, волосовин; глибина вм'ятин і забоїн не повинна виводити розміри за межі допуску; інші технічні вимоги за ГОСТ 8479. Припуск для підвішування поковки при термічній обробці вибираємо залежно від її маси [6, т. 1, с. 274], що без урахування напусків визначаємо за номінальними розмірами:

$$M_1 = [330 \cdot 330 \cdot 2100 + (\pi/4) \cdot 500^2 \cdot 2600] \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} \approx 5801 \text{ кг.}$$

Масу напуску на скосах між уступами розраховуємо за формулою (2.5), підставляючи значення приведенного діаметра $D_2 = 1,13a = 1,13 \cdot 300 = 339 \text{ мм}$:

$$M_2 = 0,18 \cdot 10^{-6} [(480 + 20) - (339 + 30)]^2 [(480 + 20) + 2(239 + 30)] \approx 4 \text{ кг.}$$

На скосах після рубання масу напуску обчислюємо за формулою (2.3):

$$M_3 = 0,28 \cdot 10^{-6} (480 + 20)^3 = 35 \text{ кг}; M_4 = 0,28 \cdot 10^{-6} (250)^3 \approx 4 \text{ кг.}$$

Маса припуску для підвішування поковки:

$$M_5 = (\pi/4) (250^2 \cdot 170 \cdot 7,8 \cdot 10^{-6}) = 65 \text{ кг.}$$

З урахуванням напусків:

$$M_{\Pi} = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 = 5801 + 4 + 35 + 4 + 65 \approx 5910 \text{ кг.}$$

Масу й розміри зливка, використововуваного для кування натискного гвинта, розраховуємо за формулою (2.8). Поковка може бути виготовлена за одне нагрівання [6, т. 1, с. 294; 20, с. 156]. Маса відходів з кінцевим обрубком з боку припуску діаметром 250 мм $M_{обр} = 0,21D^3 \gamma 10^{-6} = 0,21 \cdot 250^3 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} \approx 26 \text{ кг}$.

Приймаючи відходи з донною частиною 2,5 % і із додатковою частиною 24,1 %, визначимо відсоток використання металу зливка:

$$\eta = 100 - 24,1 - 2,5 - 3,5 = 69,9 \text{ \%}.$$

Тоді необхідна маса зливка:

$$M_{зар} = [(M_{\Pi} + M_{обр}) / \eta] \cdot 100 = [(5910 + 26) / 69,9] \cdot 100 = 8492 \text{ кг.}$$

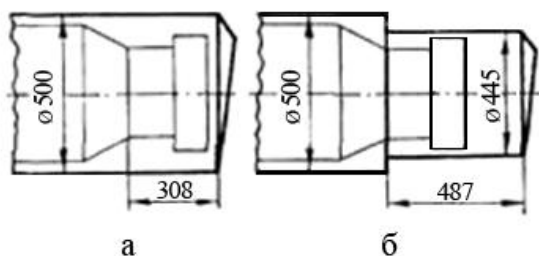


Рисунок 2.3 – Варіанти призначення напуску

За довідником [6, т. 1, с. 41] вибираємо злинок восьмигранний, укорочений, масою 8500 кг (рис. 2.5, а). Норма витрати металу:

$$M_{\Pi} = M_{зар} M_{\Pi} / (n M_{\Pi} + M_{г.о}),$$

де n – число поковок в одному зливку;

$M_{г.о}$ – маса придатного залишку.

Підставивши в цю формулу числові значення, одержимо:

$$M_{\Pi} = 8500 \cdot 5910 / (1 \cdot 5910) = 8500 \text{ кг.}$$

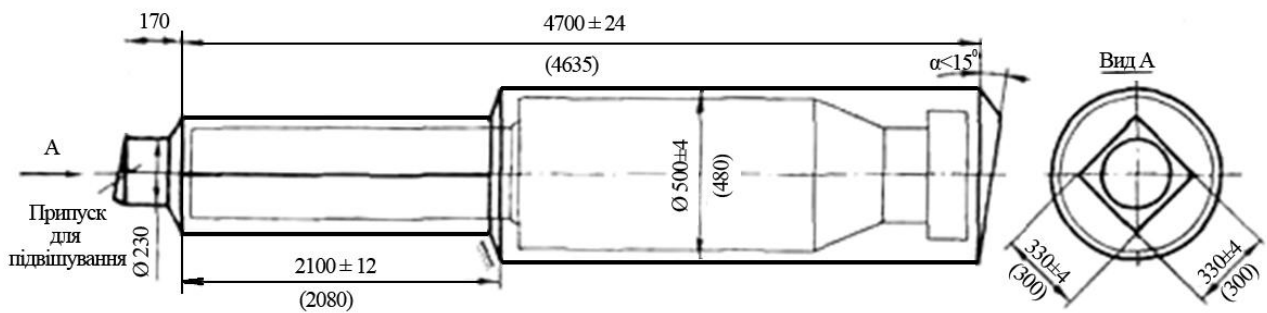
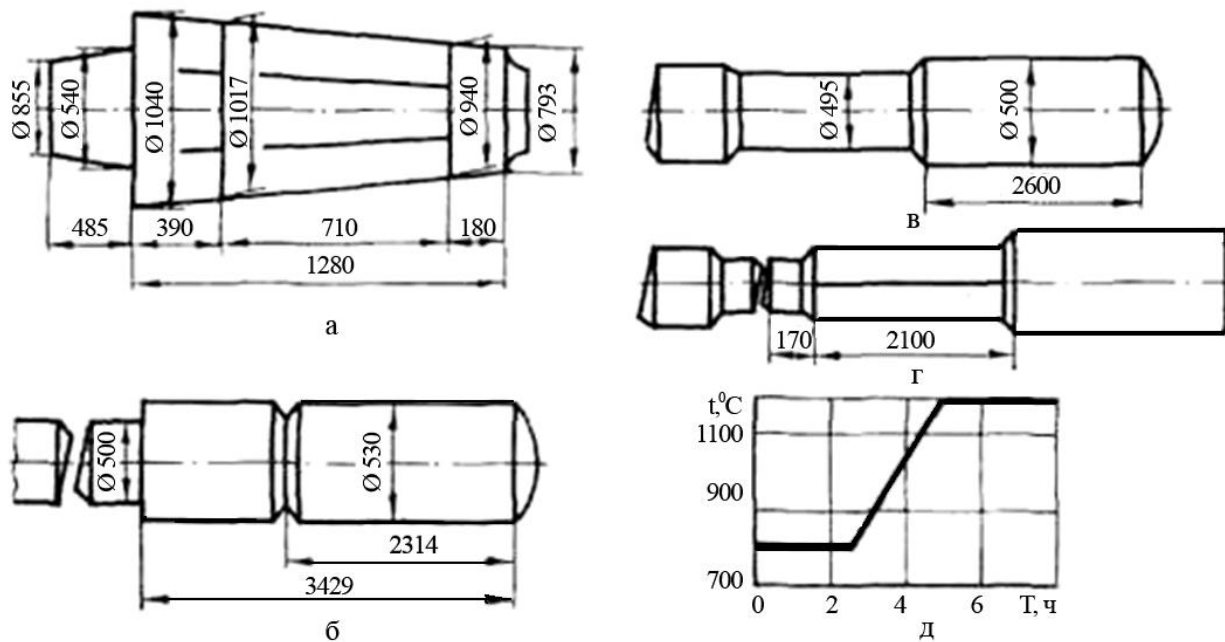


Рисунок 2.4 – Натискний гвинт (креслення поковки)

Коефіцієнти виходу придатного, використання металу й точності за масою є поряд із трудомісткістю й собівартістю показниками якості проектованого технологічного процесу й розраховуються в такий спосіб:

$$k_{в.г} = M_{п} / M_{н} = 5910 / 8500 \approx 0,69; k_{н.м} = M_{д} / M_{н} = 4750 / 8500 = 0,56;$$

$$k_{вн} = M_{д} / M_{п} = 4750 / 5910 \approx 0,8 [20, \text{с. } 35].$$



а – вихідний зливкок; б – розмітка після протягання;

в – проміжний перехід; г – остаточне кування;

д – графік нагрівання зливка

Рисунок 2.5 – Ескізи до технології кування поковки натискного гвинта

Переходи поковки й інструмент вибираємо з урахуванням осьових навантажень на натискний гвинт від зусилля прокатки, які вимагають забезпечення високих механічних характеристик уздовж осі кування. У той же час не можна допускати зниження властивостей у поперечному напрямку, тому що це негативно позначиться на міцності п'яти й нарізки. Дані міркування змушують вибрати для кування зі зливка масою 8,5 т уковування, близьке до 3. Протягання зливка забезпечує мінімальне уковування:

$$У = D_{сп}^2 / D_{п\max}^2 ,$$

де D_{cp} – середній діаметр зливка, мм;
 $D_{п\ max} = 500$ – максимальний діаметр поковки, мм.

Значення D_{cp} визначаємо за формулою:

$$D_{cp} = 0,5(b_2 + b_3) = 0,5(983 + 972) = 977,5 \text{ мм.}$$

Тут b_2 , b_3 – розміри корпусу зливка, показані на рис. 2.5, а.

Підставивши числові значення у формулу для мінімального уковування, одержимо:

$$y = 977,5^2 / 500^2 \approx 3,8.$$

Таким чином, необхідне уковування забезпечується без попереднього осаджування зливка. Поковка буде виготовлятися на кувальному гідропресі зусиллям 12,5 – 30 МН, оснащеному маніпулятором вантажопідйомністю 20...30 т [6, т. 1, с. 181; 20, с. 153]. Маніпулятор здатний затискати заготовку діаметром не більше ніж 800 мм, тому із додаткової частини зливка необхідно викувати цапфу діаметром:

$$d_{ц} = 0,5D_{cp} = 0,5 \cdot 977 \approx 500 \text{ мм,}$$

і довжиною:

$$l_{ц} = 1,5d_{ц} = 1,5 \cdot 500 = 1500 \text{ мм.}$$

Протягання ведемо комбінованими бойками попередньо до діаметра:

$$d_1 = D_{max} + y = 500 + 30 = 530 \text{ мм,}$$

де D_{max} – максимальний діаметр поковки;

y – припуск для компенсації утяжки й можливості оброблення ділянки наприкінці кування.

Для кування квадрата зі стороною 330 мм буде потрібний діаметр $d_2 = 1,5a = 1,5 \cdot 330 = 495$ мм. Інші розміри переходів і зарубок (рис. 2.5, б, в, г) визначалися з умови сталості об'ємів.

Для сталі марки 40Х рекомендується температурний інтервал кування 1180...830 °С [6, т. 1, с. 99]. Графік нагрівання холодного зливка показаний на рис. 2.5, д. Загальний час нагрівання становить 8 год. Охолодження після кування здійснюється в неопалюваному колодязі [6, т. 1, с. 105, 110].

Тепер установимо зусилля, необхідне для протягання зливка діаметром $D_0 = 940$ мм при температурі 1150 °С у комбінованих бойках з радіальним обтисненням за один хід преса $\Delta R = 188$ мм, здійснюваним протягом 1 с. Подача при куванні $l = 0,75a = 0,75 \cdot 520 = 390$ мм, де a – ширина бойка [6, т. 1, с. 246]. За ступенем деформації ($\varepsilon = \Delta R / D_0 = 188 / 940 = 0,2$) і середньої швидкості радіальної деформації ($\dot{\varepsilon} = \varepsilon / t_d = 0,2/1 = 0,2 \text{ с}^{-1}$) визначимо відносне зміцнення $\sigma / \sigma_T = 5,6$ [8, с. 73]. Тому що при температурі 1150 °С границя текучості сталі марки 40Х становить 6,7 МПа, опір деформуванню $\sigma = 5,6 \cdot 6,7 \approx 37,5$ МПа. Зусилля протягання обчислюємо за формулою:

$$P = \sigma \left[\frac{1+2\mu l}{3D_0} \right] 2\sqrt{D_0 \Delta R - \Delta R^2 l} = 37,5 \left[\frac{1+2 \cdot 0,5 \cdot 390}{3 \cdot 940} \right] 2\sqrt{940 \cdot 188 - 188^2 \cdot 390 \cdot 10^{-6}} \approx 12,5 \text{ МН.}$$

У процесі кування температура заготовки зменшується до 900 °С, границя текучості збільшується до $\sigma_T = 23,7$ МПа [8, с. 71]. Ступінь зміцнення при куванні уступу діаметром $d_1 = 495$ мм зі ступенем радіальної деформації $\varepsilon = 0,15$ і середньою швидкістю деформації $\dot{\varepsilon} = 0,2 \text{ с}^{-1}$ становить $\sigma / \sigma_T = 4$, тобто опір деформуванню $\sigma = 4 \cdot 23,7 \approx 95$ МПа. Діаметр заготовки перед обти-

сненням $d_1^0 = d_1 / (1 - \varepsilon) = 495 / (1 - 0,15) \approx 582$ мм, а радіальне обтиснення $\Delta R = \varepsilon d_1^0 = 0,15 \cdot 582 \approx 87$ мм. Тоді зусилля протягання:

$$P = \sigma \left[\frac{1+2\mu l}{3d_1^0} \right] 2\sqrt{d_1^0 \Delta R - \Delta R^2 l} = 95 \left[\frac{1+2 \cdot 0,5 \cdot 390}{3 \cdot 582} \right] 2\sqrt{582 \cdot 87 - 87^2 \cdot 390 \cdot 10^{-6}} \approx 19 \text{ МН.}$$

Прес зусиллям 30 МН задовольняє вимогам техніки безпеки при реалізації технологічного процесу [20, с. 163].

Результати розрахунків зводяться в КТП, що містить перелік операцій: 1) завантажити зливоч у піч із викочуванням подом; 2) нагріти зливоч, вивантажити зливоч з печі й подати до преса; 3) відтягнути цапфу діаметром $d_{\text{ц}} = 500$ мм із додаткової частини; 4) рубати цапфу за розміром $l_{\text{ц}} = 1500$ мм, відрубати донну частину; 5) протягнути зливоч попередньо до діаметра 530 мм, розмітити відповідно до ескізу (див. рис. 2.5, б); 6) протягнути ліву частину зливка до діаметра 495 мм, а праву – до 500 мм; 7) протягнути ліву частину до одержання квадрата зі стороною 330 мм; 8) обробити, правити, рубати в міру; 9) контролювати розміри, таврувати на торці номер деталі, номер поковки, клеймо ВТК. Баланс металу наведено у табл. 2.2.

Кування на молоті. Завдання: розрахувати технологічний процес кування кільця (рис. 2.6, а). У технічних вимогах на деталь зазначено: матеріал – сталь 45. (ГОСТ 1050); маса деталі 55,2 кг; термообробка поковки після попереднього обдирання; гр. III – НВ 197–235 ГОСТ 8479.

В умовах одиничного виробництва поковки з масою до 100 кг доцільно кувати на молоті [6, т.1, с. 178]. Креслення поковки розробляється відповідно до ГОСТ 7829. Деталь висотою $H = 100$ мм, зовнішнім діаметром $D_{\text{ц}} = 500$ мм і внутрішнім $d = 400$ мм при співвідношенні розмірів $H \leq D$, $d > 0,5D$ належить до розкотних кілець. Припуски й допуски наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.2 – Баланс металу

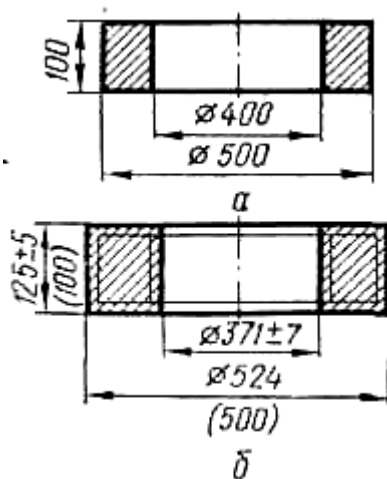
Статті витрати	Маса, кг	% до маси витрати
Поковки	5970,0	69,5
Вигар	297,5	3,5
Кінцеві обрізки	26,0	0,1
Додаткова	2054,0	24,4
Донна частина	212,5	2,5
Разом	8500	100

Таблиця 2.3 – Припуски й допуски на розміри поковки кільця, мм

Розміри деталі	Припуск, допуск	Припуск на термообробку	Розміри поковки
H=100	14±5	11	125±5
D=500	19±7	5	524±7
d=400	23±7	6	371±7

Поковка піддається термообробці після попереднього обдирання, тому для компенсації просторових відхилень форми й розмірів призначаються додаткові припуски (приймаємо за дослідними даними, наведеними в табл. 2.3¹).

¹ Припуски на термообробку можуть бути прийняті за роботою [1, с. 84, 85].



а – креслення деталі;
б – те саме, поковка
Рисунок 2.6 – Кільце

Креслення поковки показано на рис. 2.6, б. На ньому зазначаються технічні вимоги: гр. III – НВ 197–235 ГОСТ 8479; матеріал – сталь 45 (ГОСТ 1050); маса поковки 105,5 кг; граничні значення однобічного припуску при нерівномірному його розташуванні для діаметра 524 мм – min 6 мм, max 11,25 мм для діаметра 371 мм – min 8 мм, max 22 мм; інші технічні вимоги – за ГОСТ 8479.

Розрахунок переходів і розмірів заготовки виконуємо методом послідовного наближення. Попередньо приймаємо діаметр отвору, що прошивається, $d'_{\text{пр}} = 120$ мм і відношення $d'_{\text{пр}} / H'_{\text{пр}} = 0,9$. За номограмою, наведеною в роботі [1, с. 47], визначаємо відношення $H/H''_{\text{пр}} = 1,085$, де H – висота поковки; $H''_{\text{пр}} = H / 1,085 = 125 / 1,085 \approx 115$

мм.

Для $H_{\text{пр}} / D_{\text{пр}} = 0,13...0,4$ висота видри $h'_в = 0,25d'_{\text{пр}} = 0,25 \cdot 120 = 30$ мм. Об'єм видри: $V'_в = d'^2_{\text{пр}} h'_в \pi / 4 = 120^2 \cdot 30 \pi / 4 = 3,39 \cdot 10^5$ мм³, а заготовки: $V'_{\text{заг}} = (V_{\text{п}} + V_{\text{в}}) (100 + \delta) / 100 = (134,39 + 3,39) \cdot 10^5 \cdot (100 + 2) / 100 \approx 14 \cdot 10^6$ мм³. Тут $V_{\text{п}}$ – об'єм поковки; δ – вигар, %.

Розрахунковий діаметр заготовки:

$$D_{\text{заг}} = \sqrt[3]{4V'_{\text{заг}} / (\pi t)} = \sqrt[3]{14 \cdot 10^6 \cdot 4 / (\pi \cdot 2)} \approx 207 \text{ мм.}$$

У цьому випадку $m = L_{\text{заг}} / D_{\text{заг}}$ приймається з міркування стійкості меншим: 2,3...2,5. За ГОСТ 2590 визначаємо діаметр заготовки $D_{\text{заг}} = 200$ мм із площею перерізу $F_{\text{заг}} = 31416$ мм².

Довжина заготовки $L'_{\text{заг}} = V'_{\text{заг}} / F_{\text{заг}} = 14054 \cdot 10^3 / 31416 \approx 447$ мм, відношення $L'_{\text{заг}} / D_{\text{заг}} = 447 / 200 \approx 2,23 < 2,5$.

Перед прошиванням $D'_{\text{пр}} = D_{\text{заг}} \sqrt{L'_{\text{заг}} / H''_{\text{пр}}} = 200 \sqrt{447 / 115} \approx 394$ мм.

Уточнимо діаметр отвору, що прошивається: $d_{\text{пр}} = 0,33D'_{\text{пр}} = 0,33 \cdot 394 \approx 130$ мм. Приймаючи стандартний розмір прошивня $d_{\text{пр}} = 130$ мм, установлюємо за номограмою $H_{\text{пр}} = 125 / 1,09 \approx 115$ мм [1, с. 47]. Оскільки значення $H_{\text{пр}}$ і $H''_{\text{пр}}$ збігаються¹, можна обчислити остаточні розміри видри й заготовки $h_{\text{в}} = 0,25d_{\text{пр}} = 0,25 \cdot 130 = 32,5$ мм; $V_{\text{в}} = d^2_{\text{пр}} h_{\text{в}} \pi / 4 = 130^2 \cdot 32,5 \pi / 4 \approx 431161$ мм³; $V_{\text{заг}} = (V_{\text{п}} + V_{\text{в}}) (100 + \delta) / 100 = (13439000 + 431161) (100 + 2) / 100 \approx 14147564$ мм³; $D_{\text{заг}} = 200$ мм; $L_{\text{заг}} = 450$ мм.

Оскільки $0,15D < H < D$ і $S < 1,5H$, для вибору переходу скористаємося логічною схемою кування високих кілець [1, с. 38].

Виконувані переходи показані на рис. 2.7 жирними лініями. Основний інструмент для кування кільця: плоскі бойки, стояки й оправлення діаметром $d_{\text{опр}} = 125$ мм для розкочування, прошивень суцільний діаметром $d_{\text{пр}} = 130$ мм.

Для сталі 45 рекомендується температурний інтервал кування 1200...800 °С [6, т. 1, с. 99]. Нагрівання заготовок здійснюється в камерній печі, а охолодження поковок – на повітрі [6, т. 1, с. 110].

¹ Якщо $H_{\text{пр}} \leq 1,02 H''_{\text{пр}}$, розрахунок повторити при іншому відношенні $d_{\text{пр}} / H_{\text{пр}}$

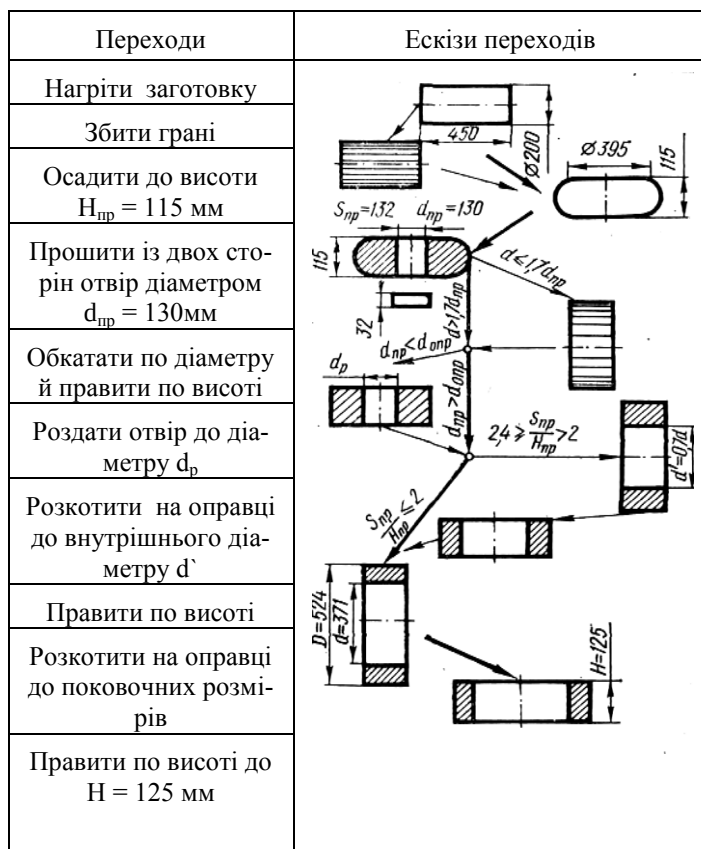


Рисунок 2.7 – Логічна схема переходів кування кільця

Якщо заготовка осаджується при температурі 1150 °С і деформації за кожний удар $\varepsilon = 0,075$ із середньою швидкістю $\dot{\varepsilon} = 30 \text{ с}^{-1}$, то границя текучості $\sigma_T = 6,6 \text{ МПа}$ [8, с. 71], а відносне зміцнення $\sigma / \sigma_T = 12$ [8, с.73], тобто $\sigma = 12 \cdot 6,6 = 79,2 \text{ МПа}$.

Для визначення роботи осаджування заготовки до розмірів $D_{\text{пр}} = 395 \text{ мм}$, $H_{\text{пр}} = 115 \text{ мм}$ скористаємося формулою (2.20):

$$A = 79,2 \cdot 138701161 \cdot [\ln(450/115) + 2 \cdot 0,5 \cdot (395/115 - 200/450) / 9] 10^{-6} \approx 1864 \text{ кДж}.$$

Пароповітряний кувальний молот подвійної дії, маса падаючих частин якого становить 5 т, осадить заготовку за n ударів:

$$n = A / (\eta A_m) = 1864 / (0,8 \cdot 125) \approx 19,$$

де A_m – енергія удару молота (за ГОСТ 9752 $A_m = 125 \text{ кДж}$).

Молот задовольняє технологічним нормативам кування даної

поковки [1, с. 33], однак оправлення для розкочування, щоб уникнути полумки, має бути виконане східчастим, діаметром $d_{\text{опр}2} \geq 140 \text{ мм}$.

Технологічний процес кування кільця для порівняння розрахований на ЕОМ за допомогою системи автоматизованого проектування (САПР) процесів кування поковок типу тіл обертання. У технологічній карті, виданій ЕОМ, наведені такі результати: маса поковки 104,9 кг, маса заготовки 111,3 кг, розміри заготовки $D_{\text{заг}} \cdot L_{\text{заг}} = 200 \cdot 453 \text{ мм}$; норма витрати металу 114,6 кг. Крім креслення поковки технологічна карта містить перелік операцій і переходів: 1) нагріти заготовку до кувальної температури; 2) осадити до висоти 113 мм і діаметра 400 мм; 3) прошити з двох боків отвір діаметром 120 мм, висота видри 34 мм; 4) розкотити на оправленні діаметром 100 мм до поковочних розмірів; 5) правити по висоті; 6) прийняти поковку за оглядом й обмірюванням.

У програмі САПР замість аналітичного використано емпіричний метод вибору молота, який базується на узагальненні виробничого досвіду [1, с. 18]. Згідно із цими даними поковка може бути виготовлена на молоті з масою падаючих частин 2 т. Інші результати двох розрахунків близькі.

3 ГАРЯЧЕ ОБ'ЄМНЕ ШТАМПУВАННЯ

3.1 Розробка креслення штампованої поковки

Розробка креслення штампованої поковки включає вибір положення площини (площин) рознімання штампів, призначення припусків, допусків, напусків, визначення штампувальних ухилів, радіусів закруглень, конструювання позначок отворів.

Положення площини (площин) рознімання штампів має забезпечувати: максимальну точність поковки; мінімальний об'єм напусків, у тому числі за рахунок штампувальних ухилів; мінімальний відхід із задиркою; легке заповнення порожнин і мінімальну кількість переходів штампування; максимальну простоту конструкції формозмінного й обрізного інструменту; сприятливу макроструктуру поковки; задовільну стійкість інструменту [16, с. 321–326]. Із цих вимог виділяються обов'язкові, а інші враховуються при виборі з розглянутих варіантів положення площини рознімання оптимального.

Висота периферійної ділянки поковки H , що прилягає до задирки, не повинна бути меншою за величину:

$$H_0^{\text{нар}} = 6 + 0,034D_{\text{п}}. \quad (3.1)$$

Якщо $H < H_0^{\text{нар}}$ (рис. 3.1, а) або ж поверхні, що прилягають до площини рознімання, утворять з напрямком руху деформувального інструмента кути φ_1 і φ_2 менше ніж $0,5\pi - \alpha$ (де α – штампувальний ухил – рис. 3.1, б), то положення зовнішньої площини рознімання коректується збільшенням висоти периферійної ділянки до значення $H_0^{\text{нар}}$. Аналогічно змінюється положення внутрішньої площини рознімання. У цьому випадку висота ділянки поковки, що прилягає до перемички, збільшується до мінімально необхідної величини:

$$H_0^{\text{вн}} = 8 + 0,03D_{\text{п}}. \quad (3.2)$$

Мінімально можлива ширина кільцевої порожнини b_{min} , що забезпечує задовільну стійкість штампів, визначається за формулою:

$$b_{\text{min}} = 10 + 0,0625D_{\text{п}}. \quad (3.3)$$

Порожнина шириною $b_{\text{cp}} < b_{\text{min}}$ при $b_{\text{cp}} = h \sin \varphi + b \cos \varphi_1 \cos \varphi_2$ не виконується. Якщо $b_{\text{cp}} > b_{\text{min}}$, то глибина порожнини h зменшується до значення $h_{\text{cp}} = 0,8b_{\text{cp}}$ (рис. 3.1, в).

Основними перевагами штампування в закритих штампах є зменшення витрати металу й зусиль, скорочення числа операцій, підвищення пластичності штампованого матеріалу. Та обставина, що на частку закритих штампів припадає менш ніж 10 % штампованих поковок, пояснюється рядом вимог до форми поковки, заготовки й переходів. Штампування в закритому штампі доцільні тільки в тому випадку, якщо форма поковки, заготовки й переходів забезпечує заповнення в останню чергу частини рівчака, що безпосередньо прилягає до рознімання, і метал заготовки виходить до всього рознімання одночасно.

Тому лінію рознімання по зовнішній бічній поверхні встановлюють біля верхньої або нижньої крайки так, щоб штампувальні ухили були спрямовані тільки в один бік.

Сили тертя на стінках рівчака, будучи активними стосовно відкритого ви-

ступу (рис. 3.2, а), поліпшують заповнення нижніх кутів, але утруднюють заповнення верхніх. Щоб заповнення дна порожнини випереджало вихід металу до рознімання, внутрішню лінію останнього варто розташовувати в 1,5...4 рази ближче до дна, ніж до зовнішнього рознімання.

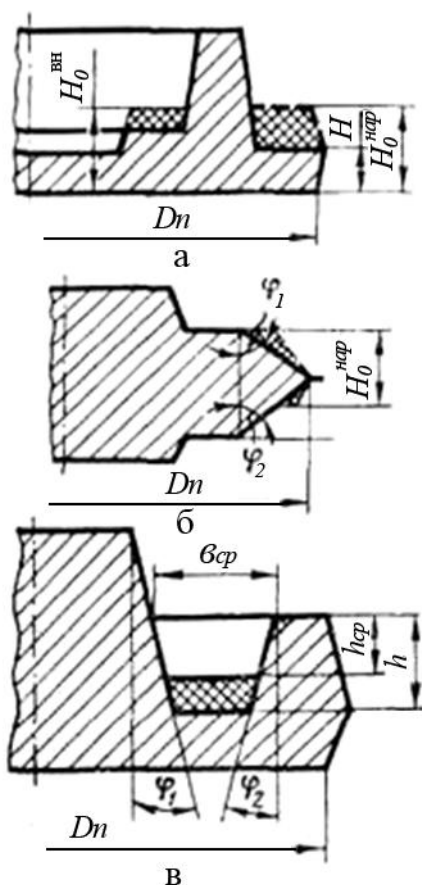


Рисунок 3.1 – Схеми коректування положення площини рознімання штамів

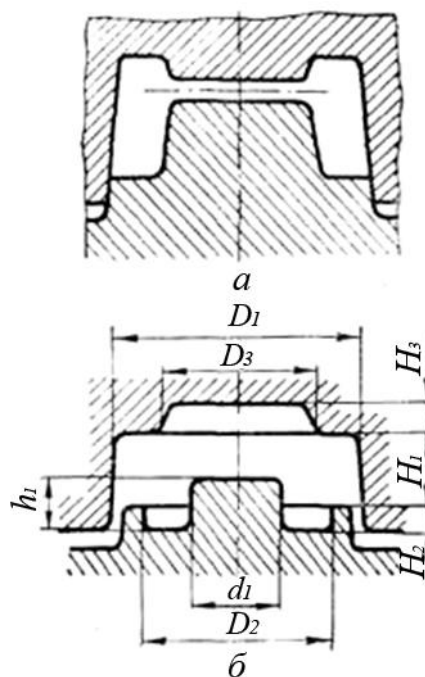


Рисунок 3.2 – Схеми рівчаків закритих штамів

У твердому штампі $\Delta H_i = \Delta D_1 = \Delta D_i$ ($i > 1$) (рис. 3.2, б). Коливання висоти поковки й розміру H_1 виступу внаслідок неточності об'єму заготовки розраховуються за формулою:

$$\Delta H_1 = 2d_{\text{заг}}^2/D_1^2[\Delta l + m(\Delta_1 + \Delta_2)], \quad (3.4)$$

де $d_{\text{заг}}$ – діаметр заготовки;

Δl – допуск на довжину l відрізуваної заготовки;

$m = l/d_{\text{заг}}$ – відносна довжина заготовки;

Δ_1, Δ_2 – додатний і від'ємний допуски на діаметр заготовки. Загальна величина поля допуску на висоту H_1 у твердому штампі:

$$\Delta H_1^0 = \Delta H_1 + \Delta H_b + \Delta H_c + \Delta H_t. \quad (3.5)$$

Тут ΔH_b – зміна висоти, викликана коливаннями об'єму вигару (рекомендується приймати 2...3 % від ΔH_1);

ΔH_c – зміна висоти, обумовлена збільшенням об'єму рівчака внаслідок його спрацьовування (звичайно становить 2 % від ΔH_1);

ΔH_t – зміна висоти, викликана коливаннями об'єму рівчака й заготовки

через мінливість температури заготовки й штампа (приймається 0,5 % від ΔH_1).

Оскільки штамп не буває абсолютно твердим, знайдена величина ΔH_1 може служити тільки верхньою оцінкою поля допуску розміру висоти поковки.

Щоб уникнути перевантаження штампа й устаткування, рекомендується надлишки металу розміщати в компенсаторах [16, с. 282; 6, т. 2, с. 17]. Застосування протитискових пристроїв трохи ускладнює конструкцію штампа, однак дозволяє керувати заповненням закритого рівчачка [6, т. 2, с. 59].

На горизонтально-кувальних машинах (ГКМ) установка вихідної заготовки в рівчак за регульованим упором дає можливість при налагодженні штампа уточнити об'єм деформованої частини заготовки. Отже, створюються сприятливі умови для штампування поковок у закритих рівчачках без задирок або з невеликою задиркою. У цьому випадку дуже важливо призначити рознімання в зоні рівчачка, заповнюваній металом в останню чергу.

Закритий рівчак у матрицях ГКМ можна розглядати як податливий з однаковою зміною поперечних розмірів: $\Delta D_1 = \Delta D_2 = \Delta D_3 = \dots = \Delta D_i = \Delta D$. Надлишок металу в рівчачку через неточність розмірів заготовки приводить до зміни розмірів на величину:

$$\Delta D = \frac{d_{\text{заг}}^2 [4l + m(A_1 + A_2)]}{(\sum_{i=1}^k H_i D_i)} \quad (3.6)$$

Коливання значень вигару температури штампа й заготовки, спрацьовування штампа враховуються так само, як у твердому штампі. Якщо податливі тільки k з n виступів поковки (наприклад, $n - k$ виступів розміщені в пуансоні), то знаменник формули (3.6) зменшується, тобто коливання розмірів решти $n - k$ виступів збільшуються. Припуски, допуски, напуски на штамповані поковки регламентовано ГОСТ 7505, що встановлює три класи точності. Третій клас стосується поковок або окремих ділянок поковок, що піддаються карбуванню.

Питання про вибір одного з трьох класів точності найбільш обґрунтовано дозволяє вирішити методика А. С. Конькова. Усі погрішності штампування відповідно до методики поділяються на систематичні й випадкові. Припуск на сторону визначається підсумовуванням погрішностей штампування: систематичних – арифметично, випадкових від'ємних – за правилом квадратного кореня. З урахуванням цього загальна формула для визначення припуску записується в такий спосіб:

$$P = f + \tau + k(M_{\text{рез}}^2 + r_{\text{ок}}^2 + C^2 + S^2 + e^2 + n^2 + \delta^2 + m^2)^{1/2}, \quad (3.7)$$

де f – похибка, викликана зменшенням штампового простору ГКМ і кривошипного гарячештампувального преса (КШП);

τ – зменшення розміру в результаті термообробки;

$k = 1,1 \dots 1,27$ – коефіцієнт відносного розсіювання, що характеризує відхилення від законів нормального розподілу;

$M_{\text{рез}}$ – погрішності механічної обробки;

$r_{\text{ок}}$ – глибина раковин від запресовування окалини;

C – зсув (зміщення, перекид) штампів;

S – жолоблення, зігнутість;

e – ексцентричність отвору;

p – похибка, викликана затискачами, незаповненнями, знеуглецюванням;
 δ – від’ємний допуск;

m – зменшення розміру в результаті травлення, галтування або дробометальної обробки.

За формулою (3.7) можна розрахувати припуск залежно від типу, розміру й виду штампувального встаткування. Значення f у ній визначається тільки для потужних пресів ($P > 16$ МН) і ГKM ($P > 8$ МН) за формулою:

$$f = 0,0011l_{\text{хол}}, \quad (3.8)$$

де $l_{\text{хол}}$ – довжина матриць ГKM, висота пакета КШП, мм.

Значення τ , $r_{\text{ок}}$, C , S , e , $M_{\text{рез}}$ можна встановити за табл. В.1, В.2, В.3 дод. В або безпосереднім обмірюванням поковок у конкретних умовах виробництва. При грубому галтуванні й дробоочищенні звичайно приймають $m = 0,25$, при травленні дрібних і середніх поковок простої конфігурації $m = 0,2$ мм, для великих поковок складної конфігурації $m = 0,25 \dots 0,3$ мм. Більш точно похибка можна визначити шляхом вимірювань у виробничих умовах.

Похибка, викликана знеуглецюванням, береться до уваги тільки при штампуванні деталей, що піддаються загартуванню. Глибина знеуглецьованого шару на торцях у поковках шестерень і кілець середніх розмірів становить $0,6 \dots 0,8$ мм, а по діаметру $0,3 \dots 0,5$ мм. Якщо передбачуваний припуск перевищує $0,3$ і $0,5$ мм, то зазначену похибку не враховують. Такі погрішності, як затискачі, волосовини, тріщини, незаповнення фігури рівчака, необхідно враховувати тільки в тому випадку, якщо абсолютно точно відомо, що вони з’являться в даному місці поковки й для запобігання цьому буде потрібне значне ускладнення технологічного процесу. Погрішності встановлюються шляхом вимірювань. Від’ємний допуск орієнтовно приймається за ГОСТ 7505 для поковок нормальної точності.

За наведеною методикою визначається припуск для 2–3 розмірів (зазвичай висота й поперечний розмір) поковки й порівнюється з припуском за ГОСТ 7505, що дозволяє вибрати найближчий клас точності. Підвищенню останнього сприяють безокисні й малоокисні методи нагрівання, надійне центрування штампів, заходи щодо очищення окалини й боротьби з жолобленням поковок. Не виключається можливість застосування неоднакових класів точності для різних типів розмірів тієї самої поковки.

Поковку з точними розмірами і якісною поверхнею одержують видавлюванням. Припуски й допуски на видавлювані елементи призначаються залежно від їхньої форми й розмірів [6, т. 2, с. 20]. Для здійснення процесу потрібні обмежена початкова швидкість деформування й повільна її зміна протягом робочого ходу, однак високий тиск і енерговитрати, а також відносно низька стійкість інструменту обмежують застосування даного процесу.

Максимальна величина штампувальних ухилів регламентована ГОСТ 7505. Виходячи з конфігурації поковок, штампованих на молоті, оптимальні штампувальні ухили визначаються за рекомендаціями, наведеними в роботі [16, с. 330]. Використання в пресових штампах виштовхувачів дозволяє зменшити штампувальні ухили до найближчих менших з нормального ряду 2, 3, 5, 7, 10 °.

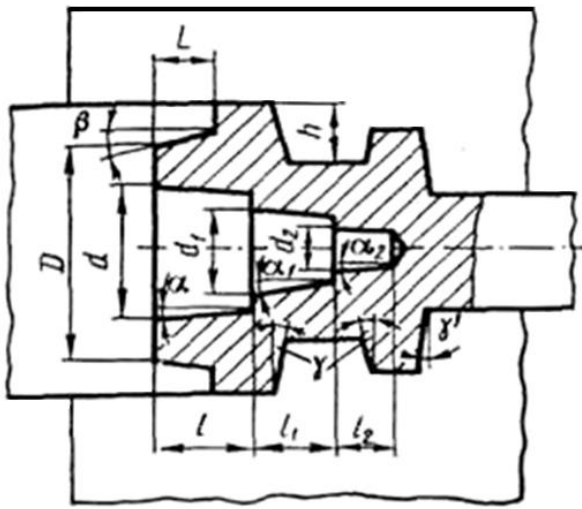


Рисунок 3.3 – Схема для визначення штампувальних ухилів формувального ривчака

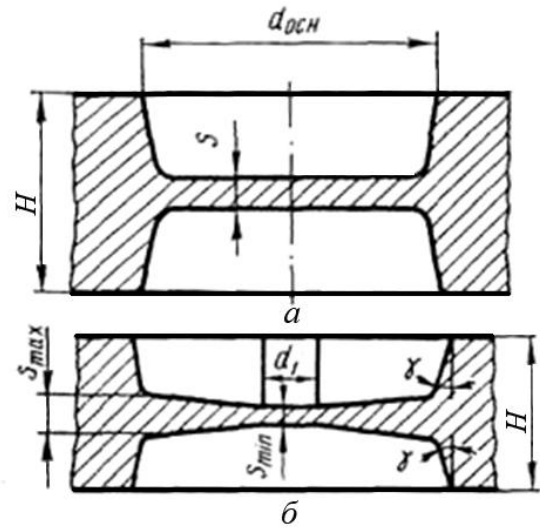


Рисунок 3.4 – Схема позначки отвору плоскої (а) і з розкосом (б)

Внутрішні ухили на ділянках поковки, що виготовляється в матрицях ГKM, визначаються висотою h (рис. 3.3) і не перевищують 7° [6, т. 2, с. 114]. Зовнішні ухили γ' не перевищують 5° . Ухили $\alpha, \alpha_1, \alpha_2$ порожнини, оформлюваної пуансоном, залежать від відносних розмірів $l/d, l_1/d_1, l_2/d_2$. Зовнішні поверхні в цьому випадку повинні мати тим більший ухил β (рис. 3.3), чим більше L/D , однак не перевищувати 1° . Штампувальні ухили в закритих штампах приймаються за довідником [6, т. 2, с. 16]. Елементи, що видавлюються, можуть бути отримані без ухилів. Перехідні ділянки виконуються з кутом при вершині конуса не більшим ніж 120° .

Відповідно до ГОСТ 7505 наскрізні отвори (поглиблення) у поковках, що виготовляються на пресах і молотах, обов'язкові в тих випадках, якщо осі цих отворів (поглиблень) збігаються з напрямком руху повзуна преса (баби молота), а розміри (діаметри) їх більші або дорівнюють висоті поковок, але не менші ніж 30 мм.

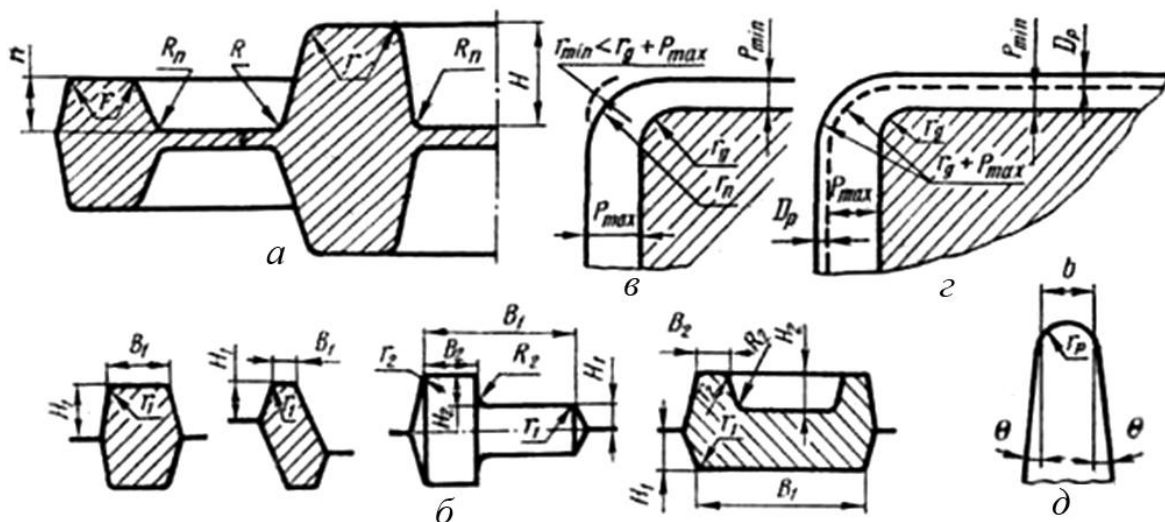


Рисунок 3.5 – Радіуси закруглення кутів поковок

Поглиблення робляться загальною глибиною не більше ніж 0,8 їхнього діаметра. При виконанні поковок на ГKM наскрізні отвори (поглиблення) обов'язкові тоді, коли їхні осі збігаються з напрямком руху висаджувального повзуна, розміри (діаметри) становлять не менш ніж 30 мм, а довжина не перевищує трьох діаметрів.

Вивчення досвіду передових заводів дозволило рекомендувати більш тверді норми на прошивання отворів поковок:

$$d_{\min} = 24 + 0,0625D_H, \quad (3.9)$$

де $d_{\min}$ – мінімальний діаметр основи отвору, що прошивається;

D_H – зовнішній діаметр поковки.

Залежно від діаметра основи отвору $d_{\text{осн}}$ і висоти H поковки на цій ділянці приймається рішення: коли $d_{\text{осн}} < d_{\min}$ – отвір не прошивається й призначається напуск; при $d_{\text{осн}} > d_{\min}$, але $H/d_{\text{осн}} \geq 1,7$ – виконується глухе наметування з висотою поглиблень $h \leq 0,8d_{\text{осн}}$; коли $d_{\text{осн}} \geq d_{\min}$ і $H/d_{\text{осн}} < 1,7$, позначка виконується плоскою, якщо $H/d_{\text{осн}} > 0,4$, і з розкосом, якщо $H/d_{\text{осн}} < 0,4$. Товщина плівки плоскої позначки (рис. 3.4, а):

$$S = 0,45\sqrt{D_H + 0,25H - 5} + 0,6\sqrt{H}. \quad (3.10)$$

Розміри позначки з розкосом (рис. 3.4, б), мм:

$$S_{\min} = 0,65S, S_{\max} = 1,35S, d_1 = 0,12d_{\text{отв}} + 3; d_{\text{отв}} = \left[d_{\text{осн}} - \left(\frac{H-S}{2} \right) \operatorname{tg} \gamma \right] - (2 \dots 4),$$

де $d_{\text{отв}}$ – діаметр прошивного пуансона;

γ – штампувальний ухил.

Недостатня величина зовнішніх радіусів закруглень поковки (рис. 3.5, а) приводить до зростання зусилля штампування й до концентрації напруг у кутах штампа, що викликає його руйнування. Найменші радіуси закруглень зовнішніх кутів застережені ГОСТ 7505, однак доцільніше їх визначати за відносними розмірами H/B (рис. 3.5, б), мм:

H/B	до 2	2...4	св. 4
$r_{\min}$	$0,05H + 0,5$	$0,06H + 0,5$	$0,07H + 0,5$
$R_{\min}$	$2,5r_{\min} + 0,5$	$3r_{\min} + 0,5$	$3,5r_{\min} + 0,5$

Прийнятий для скруглення радіус зовнішнього кута поковки r_n залежить від радіуса скруглення відповідного кута деталі r_d і максимального з припусків $P_{\max}$, призначуваних на сполучені поверхні, які утворюють розглянутий кут. На рис. 3.5, в видно, що при $r_{\min} < r_d + P_{\max}$ скруглення кута радіусом $r_{\min}$ стає недоцільним, тому що збільшується зусилля, необхідне для заповнення кута. Скруглення варто здійснювати радіусом $r_n < r_d + P_{\max}$.

Якщо $r_{\min} > r_d + P_{\max}$ (рис. 3.5, г), то відповідно до умови задовільної стійкості штампа скруглення має бути виконане радіусом $r_n = r_{\min}$. Однак припуски на сполучених поверхнях мають бути збільшені на D_p (див. рис. 3.5, г):

$$D_p = 0,293[r_{\min} - (r_d + P_{\max})]. \quad (3.11)$$

Недостатня величина внутрішніх радіусів закруглень поковки R (див. рис. 3.5, а) викликає перерізання волокон матеріалу заготовки, швидку втрату стійкості кута виступу штампа й залипання поковок. Тому такі радіуси повинні

бути не меншими ніж $R_d - P_{\min}$, де R_d – радіус сполучення відповідного кута деталі; $P_{\min}$ – менший із припусків на сполучуваних поверхностях. Вершини позначок скругляються радіусами R_{π} (див. рис. 3.5, а), недостатня величина яких пов'язана з небезпекою утворення затисків: $R_{\pi} = R_{\min} + 0,1H + 2$.

Вершини ребер з малою шириною b доцільно скругляти радіусом r_p , обумовленим залежно від кута штампувального ухилу Θ (рис. 3.5, д):

$$r_p = b/[2 \operatorname{tg}(45^\circ - \Theta/2)].$$

Радіуси закруглення поковок, штампованих на ГKM, можуть бути встановлені за тими самими правилами або за спеціальними рекомендаціями [6, т. 2, с. 115]. Отримані величини округляються до найближчого значення ряду радіусів, зазначених у ГОСТ 7505. Креслення поковки виконується з достатнім числом проекцій і супроводжується технічними вимогами, згрупованими за загальними ознаками. Крім групи поковок за ГОСТ 8479 і класу точності за ГОСТ 7505, у технічних вимогах можуть обумовлюватися: термообробка й спосіб очищення від окалини; незазначені ухили, радіуси закруглення й допуски на них, а також на необумовлені розміри поковки; допуски щодо зсуву, залишок задирки по периметру зрізу, величини торцевих задирок, щодо рознімання закритого штампа й щодо периметра прошитого на ГKM отвору, а також задирок у площині рознімання напівматриць; допуски щодо неспіввісності отворів, що прошиваються, на кутові відхилення елементів, допустимі відхилення щодо зігнутості, неплоскостності й непрямолінійності, а також щодо радіального биття.

Установлюючи припуски й допуски за ГОСТ 7505, доводиться користуватися передбачуваною масою поковки. За кресленням зі збільшенням зовнішніх розмірів на половину додатного відхилення й зі зменшенням внутрішніх на половину від'ємного визначається дійсна маса поковки. Об'єм напуску на штампувальному ухилі а для елемента поковки висотою h , діаметром D обчислюється за формулою:

$$V_{\pi} = 0,5h^2\pi(D \pm 0,75h \operatorname{tg} \alpha)\beta / 360 \operatorname{tg} \alpha, \quad (3.12)$$

де β – центральний кут циліндричної ділянки, град.

Знак «плюс» у формулі (3.12) приймається для зовнішніх поверхонь поковки, «мінус» – для внутрішніх.

На прямолінійних ділянках довжиною L об'єм напуску:

$$V_{\pi} = 0,5 / h^2 L \operatorname{tg} \alpha. \quad (3.13)$$

3.2 Технологічні розрахунки при штампуванні на молоті

Докладній розробці технологічного процесу передують зіставлення варіантів штампування на молоті й кривошипному гарячештампувальному пресі й вибір з них оптимального. При цьому не можна обмежитися порівнянням собівартості поковок через істотне розходження у вартості встаткування. Об'єктивним критерієм оптимальності варіанта варто вважати мінімум суми наведених витрат.

Відповідно до цього критерію штампування на молоті виявляється економічно доцільним у дрібносерійному виробництві (критичні розміри партій наводяться в спеціальній літературі). Великогабаритні поковки масою

$M_{\Pi} > 60$ кг через обмеження потужності процесів можуть бути відштамповані тільки на важких штампувальних молотах.

Визначення розмірів задирки. Товщину задирки h_3 у містку молотового штампа можна розрахувати за формулою:

$$h_3 = 0,015\sqrt{F_{\Pi}}, \quad (3.14)$$

де F_{Π} – площа поковки в плані, мм^2 .

Округливши результат, за таблицями довідника [6, с. 1, с. 350] підбирають номер задиркової канавки.

Товщину задирки в містку краще визначити за методикою розрахунку, що враховує складність поковки й положення лінії рознімання. Відповідно до даної методики:

$$h_3 = -0,09 + 2,0\sqrt[3]{M_{\Pi}} - 0,01M_{\Pi}, \quad (3.15)$$

де M_{Π} – маса поковки, кг.

Відносна ширина містка встановлюється зі співвідношення:

$$\frac{b_3}{h_3} = -0,02 + \frac{0,0038SD_0}{h_3} + \frac{4,93}{M_{\Pi}^{0,2}}, \quad (3.16)$$

де D_0 – діаметр заготовки після осаджування.

Критерій S визначає співвідношення критеріїв складності конфігурації поковки S_{Π} і заготовки S_0 :

$$S = S_{\Pi} / S_0,$$

де $S_{\Pi} = \Phi_{\Pi}C_{\Pi}$; $S_0 = \Phi_0C_0$.

Значення Φ_{Π} можна обчислити за формулою:

$$\Phi_{\Pi} = \left(\frac{\Pi^2}{F}\right)_{\Pi} / \left(\frac{\Pi^2}{F}\right)_{\Pi}, \quad (3.17)$$

де $\left(\frac{\Pi^2}{F}\right)_{\Pi}$ – відношення квадрата периметра Π осьового перерізу поковки до його площі F .

Для описаного циліндра:

$$\left(\frac{\Pi^2}{F}\right)_{\Pi} = 4(H_{\Pi} + D_{\Pi})/(H_{\Pi}D_{\Pi}). \quad (3.18)$$

У формулі (3.18) H_{Π} , D_{Π} – максимальна висота й діаметр поковки.

Коефіцієнт C_{Π} визначається за виразом:

$$C_{\Pi} = 4R_{\Pi,\Pi}/D_{\Pi}, \quad (3.19)$$

де $R_{\Pi,\Pi}$ – центр ваги половини осьового перерізу поковки.

Аналогічно розраховуються значення Φ_0 й C_0 . Для заготовки циліндричної форми $S_0 = \Phi_0C_0 = 1$.

Витрата металу із задиркою:

$$\frac{M_3}{M_{\Pi}} 100\% = -0,54 + 15,44M_{\Pi}^{-0,2} + 0,1166M_{\Pi}^{-0,2}T - 0,01383T\frac{b_3}{h_3} - 0,7026\frac{b_3}{h_3}. \quad (3.20)$$

Тут M_3 – маса задирки, кг.

Критерій для урахування сукупного впливу положення площини рознімання й співвідношення форм і розмірів поковки й заготовки:

$$T = S(D_0/D_{\Pi})^2\gamma^2. \quad (3.21)$$

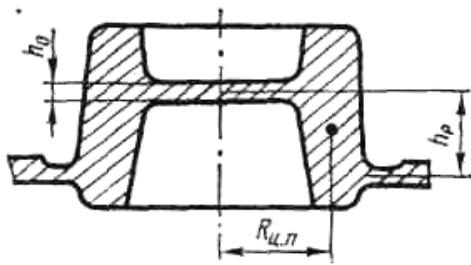


Рисунок 3.6 – Схема до визначення розмірів задирки

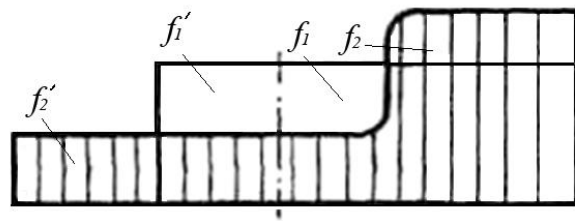


Рисунок 3.7 – Епюра перерізів і оптимальні розміри заготовки

У формулі (3.21) значення γ урахуває зсув зовнішньої площини рознімання й вихідне положення заготовки в штампі (рис, 3.6):

$$\gamma = H_{\text{п}} / (h_0 - h_p), \quad (3.22)$$

де $H_{\text{п}}$ – максимальна висота поковки;

h_0 – мінімальна відстань між площинами в зімкнутому штампі, на які спирається заготовка у вихідному положенні;

h_p – відстань між зовнішньою й внутрішньою площинами рознімання штампів.

Розрахунок переходів, визначення маси й розмірів заготовки. Переходи штампування приймають на підставі досвіду виготовлення аналогічних поковок [6, т. 1, с. 335].

Штампування подовжених у плані поковок. Вибір заготовочних рівчаків зручно робити за епюрою перерізів, побудованою в масштабі за значеннями:

$$S_e = S_{\text{п}} + 2\xi S_{3\cdot\kappa}, \quad (3.23)$$

де $S_{\text{п}}$ – площа поперечного перерізу поковки в довільному місці, розрахована за номінальними розмірами з додаванням до вертикального половини додатного відхилення;

ξ – коефіцієнт заповнення канавки;

$S_{3\cdot\kappa}$ – площа перерізу канавки для задирки [6, т. 1, с. 350, 352].

Розміри розрахункової заготовки у відповідних перерізах визначаються за формулою $d_e = 1,13\sqrt{S_e}$. Для поковок із вигнутою віссю епюра перерізів і розрахункова заготовка, як правило, будуються за розгорткою. Виняток становлять поковки, що потребують гнучкої заготовки без істотного збільшення її довжини, тоді розрахункова заготовка будується безпосередньо за перерізами поковки. Розміри розрахункової заготовки дозволяють вибрати заготовочні рівчаки за рекомендаціями довідника [6, т. 1, с. 357 – 360].

Спосіб штампування (багатоштучне з відрубанням на ножі, з поворотом, з окремої заготовки) визначається залежно від довжини й маси поковки. Одночасно вирішується питання про необхідність призначення кліщовини і її розмірів.

Прийняті переходи й параметри розрахункової заготовки обумовлюють спосіб розрахунку перерізу вихідної заготовки [6, т. 1, с. 362]. Слід зазначити, що підкочування вкороченої заготовки (рис. 3.7) найбільш продуктивне в тому випадку, якщо набір металу в головку епюри закінчується одночасно з відтягненням кінця. При відсутності в рівчаку елементів, що перешкоджають відтягненню й набору головки, оптимальною є заготовка з площею перерізу, що за-

безпечує на епюрі перерізів рівність площ $f_1 = f_2 = f_1^1 = f_2^1$. Виступи, площини, ухили на стрижні утрудняють плин металу в довжину, тому заготовка має бути більшої довжини, але меншого поперечного перерізу. Теорія обробки металів тиском не має у своєму розпорядженні поки кількісних показників впливу форм рівчака на опір плину металу. Тому оптимальний розмір перерізу заготовки приймається інтуїтивно, а потім коректується в процесі освоєння штампування.

Якщо розрахункова заготовка складна, то зазначені положення стосуються тільки двох крайніх з елементарних, а на проміжних довжина вихідної заготовки приймається рівною довжині відповідних ділянок поковки. На підставі розрахунку за сортаментом прокату вибирається заготовка з найближчою більшою площею поперечного перерізу $S_{\text{заг}}$.

Об'єм епюри $V_{\text{п.е}}$ визначається графічним методом або підсумовуванням об'ємів поковки $V_{\text{п}}$ і задирки $V_{\text{з}}$: $V_{\text{п.е}} = V_{\text{п}} + V_{\text{з}}$. Об'єм заготовки розраховується за формулою:

$$V'_{\text{заг}} = V_{\text{п.е}}(100 + \delta)/100, \quad (3.24)$$

де δ – вигар металу, %.

Необхідна довжина заготовки:

$$l'_{\text{заг}} = V'_{\text{заг}} / S_{\text{заг}}. \quad (3.25)$$

Крім остаточного рівчака для штампування поковок, вигнутих у плані, необхідний згинальний рівчак. Зсув металу вбік відростка здійснюється у формувальному або заготовочно-попередньому рівчаку, а для поковок із розвилками потрібен рівчак з розтиначем.

Поковки, штамповані осаджуванням у торець. Рівчаки з неглибокими порожнинами легко заповнюються штампуванням осадженої заготовки. Для заповнення бічних відростків може знадобитися додаткове фасонування заготовки осаджуванням у напрямку діаметра або в спеціальному формувальному рівчаку [6, т. 1, с. 364]. Можливість заповнення глибоких порожнин перевіряється розрахунками формозміни на стадії відкритого видавлювання й одночасного плину металу в порожнині й в облойну щілину. У необхідних випадках передбачаються операції висаджування фланця й підготовки хвостовика в протяжному рівчаку.

Діаметр заготовки, призначеної для осаджування, підраховується за формулою:

$$D'_{\text{заг}} = 1,08 \sqrt[3]{\frac{V_{\text{заг}}}{m}}, \quad (3.26)$$

де $V_{\text{заг}} = (V_{\text{п}} + V_{\text{з}}) \frac{100 + \delta}{100}$; $m = L_{\text{заг}} / D_{\text{заг}} = 1,8 \dots 2,5$ (з міркувань стійкості при осаджуванні).

Поперечні розміри заготовки, що надходить у висаджувальний рівчак, приймаються за розмірами стрижня, але з дотриманням стійкості висаджуваної частини.

Після попередніх розрахунків уточнюються розміри заготовки стандартного профілю. Діаметр заготовки після осаджування визначається з урахуванням вимог центрування в штампувальному рівчаку, мінімального відходу із задиркою, а також запобігання утворенню затисків. У ряді випадків з'являється необхідність розрахунку дійсних розмірів заготовки з урахуванням бочкоподібності.

Вибір молота для штампування й проектування інструменту.

Маса падаючих частин штампувального молота встановлюється за емпіричними формулами або за номограмами, наведеними в довіднику [6, т. 1, с. 415], а потім уточнюється за ГОСТ 7024. При штампуванні круглої в плані поковки діаметром $D_{\text{п}}$ (см) у закритому рівчаку маса падаючих частин M (кг) визначається за формулою:

$$M = (1 - 0,005D_{\text{п}})(0,75 + 0,001D_{\text{п}}^2)D_{\text{п}}\sigma, \quad (3.27)$$

де σ – опір деформуванню матеріалу заготовки при температурі штампування, МПа.

Попередні, заготовочно-попередні, заготовочні рівчаки, кліщова виїмка, ливникова канавка й відрубний ніж конструюються за розмірами переходів. Для виготовлення остаточного рівчака виконується спеціальне креслення, що зображує поковку при температурі штампування в тому вигляді, у якому вона виходить у рівчаку молотового штампа. Розміри поковки по висоті проставляються від лінії рознімання. Мінімальна відстань між рівчаками визначається за емпіричними формулами або за номограмами довідника [6, т. 1, с. 409].

Центри чорнового й чистового рівчаків¹ розташовуються на одній лінії із центром штамп² на відстані $2/3R$ і $1/3R$ відповідно (R – відстань між центрами чорнового й чистового рівчаків, прийнята з дотриманням мінімальної товщини стінки). Це зменшує згинальні навантаження на шток і дефекти поковок від зсуву штампів. Інші рівчаки розташовуються на плані штамп з дотриманням мінімальної товщини стінок у порядку, що забезпечує мінімальні переміщення заготовки при передачі з рівчака в рівчак [6, т. 1, с. 400].

Вимоги, пропоновані до спланованого штамп, такі: опорна площа хвостовика має бути не меншою ніж 450 см^2 на 1 т маси падаючих частин, вільна від рівчаків площа поверхні дзеркала – не меншою ніж 300 см^2 на 1 т маси падаючих частин молота до 4 т, зсув центра кубика щодо центра штамп – не вищим ніж $0,1\alpha$ (α – габарит кубика в напрямку зсуву), а зазор між найбільш віддаленою гранню кубика й напрямними баби – не меншим ніж 20 мм. Щоб уникнути пластичної деформації при холостому зіткненні, необхідно, щоб площа дзеркала розподілялася рівномірно щодо центра штамп.

Найменша висота штамп визначається залежно від глибини рівчака [6, т. 1, с. 411]. Висота комплексу штампів з урахуванням три-, п'ятиразового поновлення має бути в 1,25 рази більша за мінімальну відстань від баби до штампотримача (ГОСТ 7024), маса верхньої частини штамп – не більшою ніж 35 % номінальної маси падаючих частин молота.

Необперті передні й задні частини штамп не повинні звисати зі штампотримача більш ніж на $1/3$ висоти кубика. Розміри стандартного кубика приймаються такими, щоб вісь рівчака розташовувалася вздовж, а вісь хвостовика – уперек волокна [ГОСТ 7831].

¹ Точка прикладання рівнодійної тиску штампування.

² Точка, що лежить на осі штока й збігається в плані штамп з точкою перерізання осі хвостовика й осі шпонки.

Рекомендовані марки штампових сталей і режими їхньої термообробки наведено в довіднику [6, т. 2, с. 368–373]. Витрати на виготовлення штампів можна знизити, якщо застосувати універсально-налагоджувальні молотові штампи із циліндричними й призматичними вставками (ГОСТ 13983). Приклади конструкцій і оформлення креслень молотових штампів наведено в атласі [2], а схеми організації робочого місця на ділянках пароповітряних штампувальних молотів у довіднику [6, т. 1, с. 224],

3.3 Штампування на кривошипних пресах

Економічне обґрунтування варіанта штампування на кривошипному пресі здійснюється на основі аналізу суми наведених витрат (див. підрозд. 3.2).

Особливості розрахунку переходів штампування на пресах. Розміри задиркової канавки вибираються за нормальними залежно від передбачуваного зусилля штампувального преса [6, т. 2, с. 45]. Об'єм задирки визначається за формулою:

$$V_3 = \Pi(l h_3 + h_2 B), \quad (3.28)$$

де Π – периметр поковки;

l, h_3 – ширина й товщина містка;

$h_2 = 2h_3$ – товщина задирки на магазині.

Ширина задирки B приймається залежно від маси поковки:

$M_{\text{п}}, \text{кг}$	0,5	0,5...2	> 2
---------------------------	-----	---------	-----

$B, \text{мм}$	10	15	20
----------------	----	----	----

Для вісесиметричних поковок рекомендується методика розрахунку задирки, описана в підрозд. 3.2.

Якщо для поковки, штампованої на пресі, використовуються такі самі переходи, як при штампуванні на молоті, відходи із задиркою не зменшуються, а збільшуються. Цього можна уникнути при ретельному фасонуванні заготовки на попередніх переходах. Поковки з витягнутою віссю доцільно здвоювати так, щоб результуюча епюра мала мінімальні перепади перерізів. Це дозволяє відмовитися від заготовочних рівчаків або обмежуватися перетиском. У більш важких випадках доводиться фасонувати заготовку на кувальних вальцях, горизонтально-кувальній машині або іншим способом, бажано при одному нагріванні під штампування.

Штампування на пресі виконується переважно зі штучної заготовки об'ємом $V_{\text{заг}} = (V_{\text{п}} + V_3) \frac{100+\delta}{100}$. Поперечний її переріз при осаджуванні в торець вибирається з міркувань стійкості.

Видавлювання з контейнера діаметром D або площею поперечного перерізу F в отвір діаметром d або площею поперечного перерізу f здійснюється через матрицю, конусність отвору якої $\alpha \leq 150$. Торцева задирка не утвориться, якщо $F/f < 7,5$ або $D/d < 2,74$. Щоб уникнути торцевої задирки й зменшити зусилля, у попередньому переході зменшують діаметр D контейнера, однак розміри невидавленої частини заготовки, призначеної для доштампування стовщення у відкритому або закритому рівчаку, повинні задовольняти умові стійко-

сті: $H/D = 2,75 \dots 3$, де H – висота невидавленої частини заготовки.

Заготовці, що видавлюється в попередньому рівчаку з утворенням торцевої задирки, надається така форма, щоб при доштампуванні стовщення у відкритому остаточному рівчаку він витіснявся в поперечну задирку (рис. 3.8). Форма стовщень у попередньому рівчаку має бути така, щоб контур торцевої задирки перебував за межами контуру остаточного рівчака, хоча це пов'язано зі збільшенням відходів металу. Доштампування стовщення у відкритому остаточному рівчаку дозволяє одержувати стрижень точної довжини. У закритому остаточному рівчаку всі неточності об'єму заготовки відбиваються на зміні довжини стрижня, що має вільний вихід.

Багатоступінчасті вали видавлюють із числом виступів не більше трьох і з обмеженим перепадом розмірів уступів $d > (0,2 \dots 0,3)D$. Вали з двосторонніми уступами можна одержувати комбінованим видавлюванням, якщо:

$$d_b \leq 0,5D \text{ і } D - d_b > 10 \text{ мм}, \quad (3.29)$$

де D – діаметр пуансона, мм;

d_b – діаметр порожнини в пуансоні, мм.

Порушення умов (3.29) викликає необхідність застосування попереднього переходу для прямого видавлювання щаблів, які в остаточному рівчаку розміщуються в порожнині пуансона. Поковки з глухою або наскрізною порожниною штампують прямим або зворотним видавлюванням в осадових, формувально-прошивних, штампувально-прошивних, штампувальних і прошивних рівчаках [6, т. 2, с. 28–30]. Масивний фланець доштамповується у відкритому або закритому рівчаку.

Виготовлення поковок канальним (рис. 3.9, а) або радіальним (рис. 3.9, б, в, г) поперечним видавлюванням здійснюється в штампах з різними матрицями. Заповнення каналів і фланців гарантується компенсаційними порожнинами, сумарна площа прохідних перерізів яких визначається за формулою:

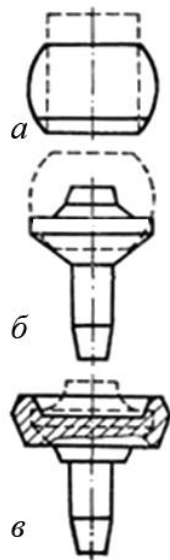
$$\sum f_k = (0,2 \dots 0,6)F_d. \quad (3.30)$$

Тут F_d – площа поперечного перерізу приймача діаметром D .

Об'єм металу, що витісняється в компенсаційні порожнини, розраховується з виразу $V_k = (0,1 \dots 0,2)\sqrt{\sum f_k^3}$. На величину V_k має бути збільшений об'єм заготовки, використовуваної для штампування в різних матрицях.

Після заповнення металом приймача (див. рис. 3.9, а) у донної частини утвориться застійна зона, обмежена радіусом природного розділу плин R_e .

Проникнення на межу розділення окислених шарів металу після витиснення вздовж застійної зони критичного об'єму останнього $V_{кр}$ сприяє появі застиску. Цього можна уникнути, якщо заповнити в попередньому рівчаку всі порожнини, які утворилися в одноперехідному штампуванні після оформлення застійної зони. Однак не для всіх форм поковки таке рішення є прийнятним. Якщо для поковки, зображеної на рис. 3.9, а, виконати заготовку за формою активної частини осередку деформації остаточного переходу, то уступ висотою $H_T > 0,2d_6$ підріже видавлений відросток.



а – осадження; б – попереднє штампування; в – остаточне штампування

Рисунок 3.8 – Переходи штампування поковки цапфи

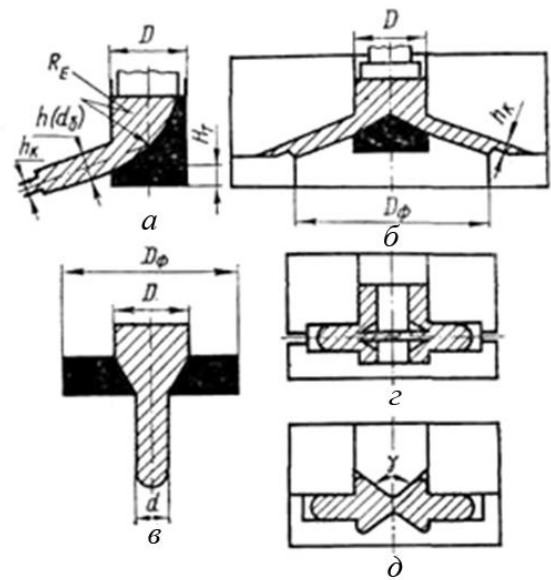


Рисунок 3.9 – Схеми штампування в різних матрицях

У поковці, показаній на рис. 3.9, в, затиск утвориться після витиснення в стрижень металу об'ємом $V_{кр}$ уздовж границі застійної зони у фланці. У попередньому рівчаку з контейнера діаметром D доцільно видавити частину стрижня l_0 , що оформляється в одноперехідному процесі після заповнення фланця. Утяжина (див. рис. 3.9, г) з'являється при інтенсивному бічному витіканні після завершення зворотного видавлювання. Щоб цього не відбувалося, необхідно видавити в попередньому рівчаку фланець такого діаметра, щоб у чистовому рівчаку штампування закінчувалося зворотним видавлюванням. Виключити утворення утяжин можна застосуванням пуансона конічної форми з кутом конусності $\gamma = 60...120^\circ$ [26].

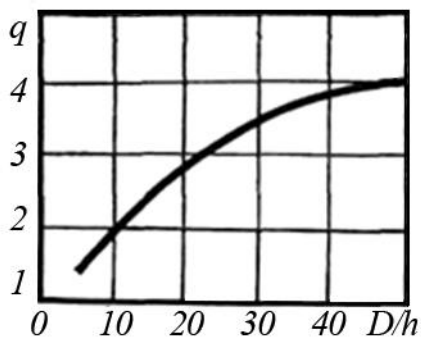
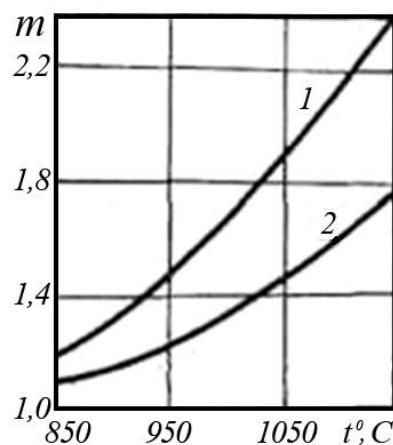


Рисунок 3.10 – Залежність коефіцієнту q від відношення D/h



1 – холодний штамп;
2 – підігрітий штамп

Рисунок 3.11 – Залежність коефіцієнту охолодження m задирки від температури штампування

Вибір преса для штампування. Зусилля штампування у відкритих штампах. Методика, розроблена експериментальним науково-дослідним інститутом ковальсько-пресового машинобудування (ЕНДІКМАШ) дозволяє побудувати графік робочих навантажень і перевірити прес щодо жорсткості. Зусилля наприкінці штампування круглих у плані поковок розраховується за формулою (МН):

$$P = \sigma \left[1 + \alpha^2(q - 1) + \frac{\mu_0 D_0}{3h} (1 - \alpha^3) \right] F \cdot 10^{-6}. \quad (3.31)$$

Тут μ_0 – коефіцієнт тертя;

D_0 – діаметр задирки;

h – висота задирки в містку;

F – площа поковки із задиркою, мм².

Значення $\alpha = D / D_0$, де D – діаметр порожнини штампа. Коефіцієнт q визначається за графіком (рис. 3.10) залежно від відношення D/h .

Зусилля наприкінці штампування подовжених у плані поковок:

$$P = \sigma \left[\left(m \frac{b}{h} + \frac{4,8}{h+r} + 1,2 \right) F_{\Pi} + m \left(\frac{b}{2h} + 1 \right) F_3 \right] 10^{-6}. \quad (3.32)$$

У даній формулі b , h , F_3 – ширина, висота й площа містка задиркової канавки; r – радіус сполучення стінки рівчака з містком задиркової канавки; F_{Π} – площа проекції поковки на площину рознімання, мм².

Коефіцієнт охолодження задирки m залежить від температури штампування й установлюється за графіком, показаним на рис. 3.11.

Опір деформуванню:

$$\sigma = \sigma_0 \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right)^{\beta}. \quad (3.33)$$

Дослідні значення σ_0 і коефіцієнта β для ряду марок сталей при швидкості деформації у випробуваннях $\dot{\varepsilon}_0$ наведені в дод. Г.

Величина $\dot{\varepsilon}$ у кінцевий момент штампування:

$$\dot{\varepsilon} = 0,16\omega\sqrt{R/(h+r)}. \quad (3.34)$$

Тут ω – кутова швидкість кривошипного вала; R – радіус кривошипа преса.

Оскільки $\omega\sqrt{R}$ для кривошипних гарячештампувальних пресів звичайно дорівнює 74...94, формулу (3.34) можна записати більш спрощено:

$$\dot{\varepsilon} = 13,5/\sqrt{h+r}.$$

Графік робочих навантажень, показаний на рис. 3.12, а, характерний для процесів штампування, у яких первісний контакт штампа із заготовкою здійснюється по площинці. Зусилля P_1 наприкінці ходу обчислюється за формулою (3.31) або (3.32). Зусилля P_2 на відстані $0,5h$ від нижньої мертвої точки визначається підстановкою у формулу (3.31) або (3.32) і у вираз (3.34) збільшеної в 1,5 рази висоти містка. Зусилля осадження циліндричної або плоскої заготовки P_3 залежить від площі контакту штампа з вихідною заготовкою F і розраховується за формулою $P_3 = \sigma k_{\sigma} F \cdot 10^{-6}$. Аналогічно визначається й зусилля P_4 , але розміри заготовки й площа контакту зі штампом установлюються після осаджування на величину $0,5 S_{\max}$, де $S_{\max}$ – відстань між опорними поверхнями штампа в момент зіткнення із заготовкою.

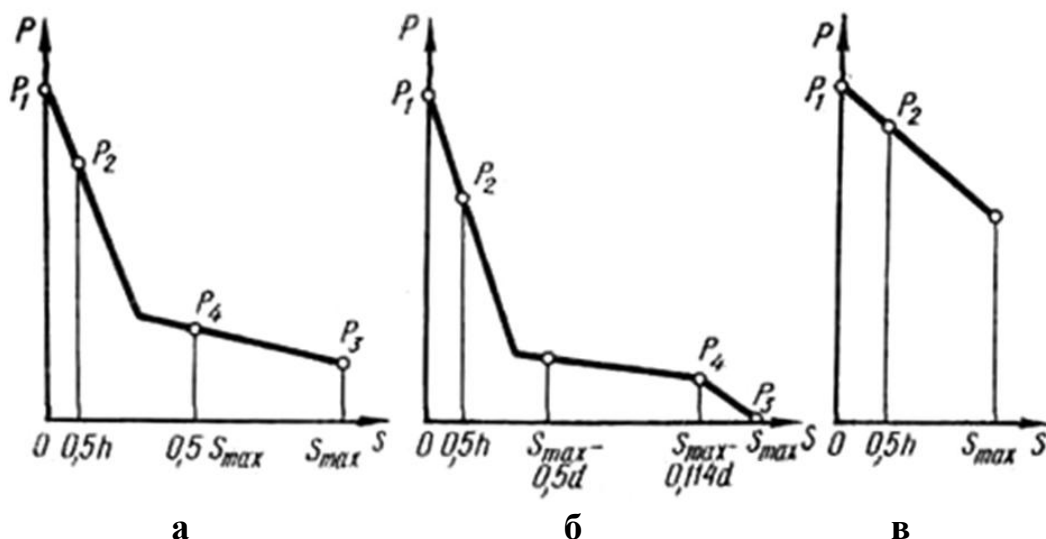


Рисунок 3.12 – Графіки робочих навантажень при відкритому штампуванні

Коефіцієнт k_σ обчислюється за формулою (2.14) або (2.17), а опір деформуванню – за виразом (3.33) з урахуванням швидкості деформації $\dot{\epsilon} = v/H$. Підставляючи у формулу:

$$S = R[(1 - \cos \alpha) + \frac{\lambda}{4}(1 - \cos 2\alpha)], \quad (3.35)$$

відстані від повзуна до нижньої мертвої точки $S = S_{\max}$ і $S = 0,5S_{\max}$, визначаємо значення α , необхідні для підрахунку швидкості деформування:

$$v = \omega R(\sin \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha). \quad (3.36)$$

У формулах (3.35), (3.36) α – кут повороту кривошипа, що відповідає відстані S ; $\lambda = 0,1 \dots 0,2$ – відношення радіуса кривошипа R до довжини шатуна L ; ω – кутова швидкість кривошипного вала; R – радіус кривошипа.

Висота заготовки підставляється у формулу $\dot{\epsilon} = v/H$ вихідна H_0 і після осаджування $H - 0,5S_{\max}$.

Графік робочих навантажень, зображений на рис. 3.12, б, характерний для штампування пліском із циліндричної заготовки. Зусилля P_1 і P_2 обчислюються за формулою (3.32), $P_3 = 0$. Зусилля P_4 розраховується в такий спосіб:

$$P_4 = \sigma L \cdot 0,5d\sqrt{\pi} \cdot 10^{-6},$$

де L, d – довжина й діаметр заготовки, мм.

Швидкість деформування, що відповідає відстані повзуна від нижньої мертвої точки $S = S_{\max} - 0,114d$, визначається за формулою (3.35), а у вираз $\dot{\epsilon} = v/H$ підставляється $H = 0,5d\sqrt{\pi}$. Зусилля P_5 установлюється так само, як і при осадженні смуги довжиною L , шириною $0,5\pi d$, висотою $0,5d$.

Графік робочих навантажень, показаний на рис. 3.12, в, відповідає штампуванню низької заготовки, обробленої в попередньому рівчаку або розплющеної. Зусилля P_1 і P_2 обчислюються за формулами (3.31) або (3.32).

Зусилля штампування в закритих штампах рекомендується визначати за формулами для відкритого штампування зі зменшенням результатів обчислень на 20...30 %. Однак такі розрахунки утруднені через відсутність даних про розміри задирки.

Якщо переходи штампування обрані правильно, то в останню чергу заповнюються кути поковки, що прилягають до лінії рознімання. Найбільший тиск, необхідний для заповнення пасивного кута в умовах гарячої деформації з максимальним тертям, можна розрахувати за виразами, які справедливі при $D/2\alpha \geq 2$:

$$p = \sigma \left[2,07 \left(1 - \frac{2\alpha}{D} \right)^2 + 1,5 \ln \frac{D}{4\alpha} + 12 \frac{\alpha}{D} - 12 \frac{\alpha^2}{D^2} - 2,25 + \frac{2H}{D} \right], \quad (3.37)$$

$$p = \sigma \left[2,07 \left(1 - \frac{2\alpha}{D} \right)^2 + 1,5 \ln \frac{1,5H}{2\alpha} + 12 \frac{\alpha}{D} - 12 \frac{\alpha^2}{D^2} - 4,5 \frac{H}{D} + 1,92 \frac{H^2}{D^2} - 1,5 + D/(6H) \right], \quad (3.38)$$

де α – розмір фаски в пасивному куті, мм;

D – діаметр поковки, мм;

H – висота поковки на ділянці, що прилягає до площини рознімання, мм.

Формула (3.37) застосовується для високих поковок із $H/D \geq 1$, а (3.38) – для поковок із $H/D < 1$. При відомій площі поковки F зусилля: $P = pF$.

Зусилля преса для видавлювання стрижневих поковок залежить від форми стрижня й визначається за довідником [6, т. 2, с. 33], дані для розрахунку зусилля бічного видавлювання наведено в статті [26]. У зв'язку з тим що зусилля видавлювання інтенсивно зростає на початку процесу, виникає необхідність побудови графіка робочих навантажень P залежно від переміщення деформувального інструмента S . Прес вибирається після зіставлення графіка робочих навантажень $P = f(S)$ із графіком допустимих навантажень на повзуна. Визначальними при виборі можуть виявитися розміри штампового простору й необхідна величина ходу виштовхувача. Спеціалізовані кривошипні преси, призначені для гарячого видавлювання, мають збільшений хід повзуна й пневматичного або гідравлічного виштовхувача, в 1,5...2 рази зменшену швидкість деформування.

Штампи для пресування в рознімних матрицях повинні забезпечувати закриття напівматриць перед початком деформування, тому універсальне пресове встаткування малопридатне для здійснення процесу. У нашій країні налагоджено серійний випуск спеціалізованих пресів для штампування в рознімних матрицях [26].

Перевірка жорсткості преса. Штампування у відкритому штампі поковки, що має поле допуску по висоті Δ , закінчується в інтервалі температур $T_{\max} - T_{\min}$. Штампи настроюються так, щоб при температурі кінця штампування $T_{\max}$ одержати мінімальну висоту поковки. Зусилля штампування $\overline{P}_0$ за цих умов визначається за формулою (3.31) або (3.32) з підстановкою мінімальної висоти задиркової канавки $h_{\min}$.

Зусилля P_0 , що відповідає температурі кінця штампування $T_{\min}$, підраховується за тими самими формулами, але з підстановкою висоти:

$$h = h_{\max} = h_{\min} + \Delta. \quad (3.39)$$

Якщо $P_0 < \overline{P}_0$, твердість преса достатня для одержання поковки із заданим полем допуску Δ . Якщо ж $P_0 > \overline{P}_0$, за графіком жорсткості преса¹ необхідно встановити деформацію Δ_1 , що відповідає приросту зусилля $\Delta P = P_0 - \overline{P}_0$. Жорсткість преса достатня для одержання поковки заданої точності при $1,3\Delta_1 > \Delta$.

¹ Графік залежності пружних деформацій преса від навантажень на повзун наводиться в паспорті сучасних кривошипних гарячештампувальних пресів.

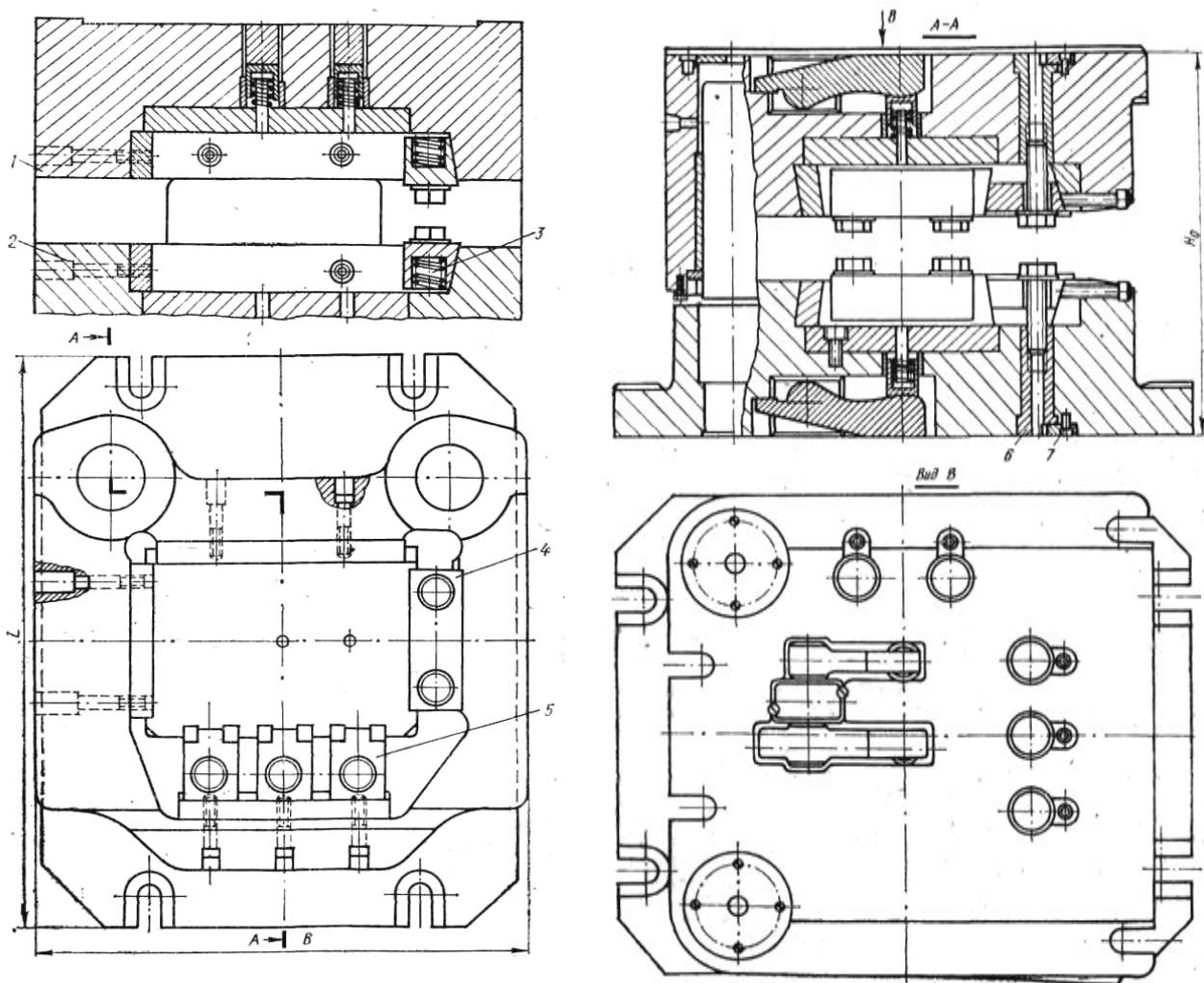


Рисунок 3.13 – Креслення блока штампів для об'ємного штампування на кривошипному гарячештампувальному пресі

Надлишок металу в закритому рівчаку викликає збільшення висоти поковки на величину ΔH_1^0 , підраховувану за формулою (3.5). За графіком жорсткості преса визначається зусилля деформації системи P_c із урахуванням можливого збільшення ΔH_1^0 .

Сумарне навантаження не повинне перевищувати номінальне зусилля преса $P_{ном}$:

$$P_{ном} = P_T + P_c, \quad (3.40)$$

де P_T – технологічне зусилля штампування в закритому штампі.

Проектування інструменту. Блок (пакет) штампів стаціонарно закріплюється на пресі й замінюється у виняткових випадках. У курсових проектах креслення блока виконуються в разі необхідності його вдосконалення. Найбільш зручні в експлуатації блоки з призматичними рівчаковими вставками. На рис. 3.13 показано блок, що відрізняється від поширених низкою переваг. Гвинти бічних 4 і торцевих 5 притисків угвинчуються не в корпус верхнього 1 і нижнього 2 башмаків, виконаних зі сталі марки 45Л, а в загартовані втулки 6, які

вільно вставлені в башмаки й закріплені від повороту шпонками 7. Це збільшує термін служби блока. Зміну вставок полегшують пружини 3, установлені в гніздах бічних притискачів 4.

Розміри блоків, використовуваних у промисловості, зазначені в довіднику [6, т. 2, с. 35, 36]. У табл. 3.1 наведено габаритні розміри й мінімальну закриту висоту $H_{\min}$ блоків для деяких моделей вітчизняних гарячештампувальних пресів (ГОСТ 6809 і ГОСТ 16432).

Таблиця 3.1 – Розміри блоків штампів гарячештампувальних пресів, мм

Зусилля преса, МН	Модель преса	B	L	$H_{\min}$	B^*_{Σ}
6,3	K862C	630	670	560	304
10,0	K8540	710	870	560	370
16,0	K864	900	1000	660	480
20,0	K865C	1000	1100	890	530
25,0	KA866	1120	1200	890	600
40,0	ПККШ4000	1530	1540	1000	760
63,0	ПККШ6300	1800	1870	1150	860

B^*_{Σ} – сумарна ширина рівчачових вставок.

У технічних вимогах на блоки обумовлюється паралельність опорних площин під рівчачові вставки відносно опорної площини плити блока, що має бути витримана в межах 0,02 % від довжини опорної поверхні. Співвісність напрямних колонок і втулок забезпечується спільною обробкою плит блока в зборі. На складальному кресленні вказується допустиме зсунення гравюр верхніх і нижньої рівчачових вставок, що не повинне перевищувати для остаточних рівчачів 0,1...0,2 мм, для попередніх 0,3 мм і для заготовочних 0,5 мм.

Рівчаки виготовляють за кресленнями, на яких зображуються переходи при температурі штампування. Граничні відхилення розмірів рівчачів і параметри шорсткості аналогічні рекомендованим для молотових штампів [22, с. 128, 129]. З урахуванням мінімальної за умовами міцності товщини стінок розміри заготовок призматичних рівчачів вставок (рис. 3.14) можуть бути прийняті за табл. 3.2.

У технічних вимогах на вставки вказуються: матеріал – сталь марки 4X5B2ФС (ЭИ958) за ГОСТ 5950 або марки 5ХНМ за ГОСТ 5960; фактична твердість сталі марки 5ХНМ після відпалу (на вимогу замовника вставки (заготовки) можуть постачатися в загартованому стані з твердістю HB 388–444, а в технічно обґрунтованих випадках до HB 477–511); розміри, не обмежені допусками, виконуються за IT14; відхилення від паралельності оброблених поверхонь – не більше ніж 0,05 мм на 100 мм довжини. Допускається виконання декількох рівчачів на одній вставці.

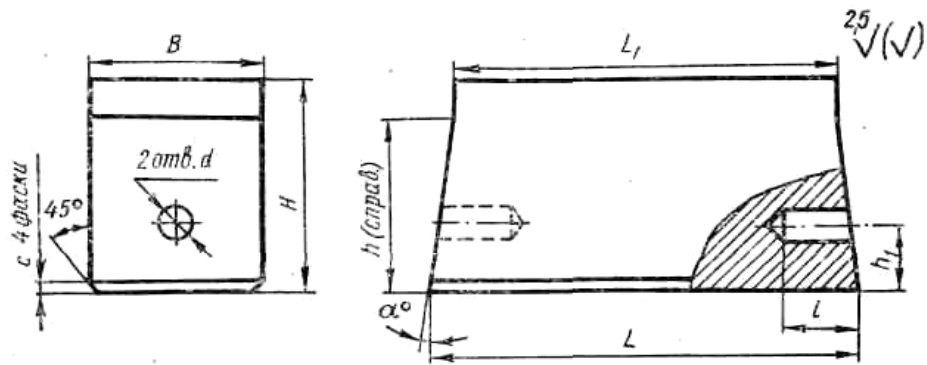


Рисунок 3.14 – Креслення призматичної
рівчачової вставки ($\alpha = 7,10^\circ$)

Таблиця 3.2 – Розміри заготовок рівчачових призматичних вставок, мм

Зусилля преса, МН	H	L	B	L ₁	h ₁
6,3	100	200	80, 110, 150, 300	180	81,5
10,0	100	250	100, 140, 190, 380	230	81,5
16,0	125	320	120, 180, 240, 480	294	106,0
20,0	160	330	140, 200, 270, 540	300	122,0
25,0	160	400	160, 220, 300, 600	356	122,0
40,0	200	500	200, 280, 300	445	156,0
63,0	250	630	280, 340, 480	570	170,5

Примітка. Граничні відхилення розмірів L, B приймаємо за h11.

У блоці вставки розташовуються в порядку проходження переходів з боку нагрівального пристрою, однак вставка остаточного переходу повинна перебувати в центрі. Недостатня сумарна ширина вставок доповнюється до розміру B_{Σ} (див. табл. 3.1) холостою вставкою з конструкційної сталі.

Глибокі порожнини рівчаків оснащуються газовідвідними каналами діаметром 1,2...1,5 мм. Ділянки бічних граней вставок із криволінійною лінією рознімання, які прилягають до контактної поверхні, необхідно простругати для запобігання ушкодженням при налагодженні.

Особливої уваги при конструюванні штампа вимагає система виштовхування поковок. Вибираючи точки впливу штовхачів (на задирку, перемичку або тіло поковки), варто подбати про ефективність виштовхування, стійкість штовхача й міцність рівчачової вставки [6, т. 2, с. 46; 2, с. 40–35]. Ретельного опрацювання вимагає також питання передачі зусилля від виштовхувального механізму блока до штовхачів вставок. На вставках без штовхачів необхідно передбачити гнізда для вільного розміщення виштовхувачів блока.

Приклад. Спроекувати технологічний процес штампування на пресі кульового пальця (рис. 3.15) масою 2 кг зі сталі 45–4(60)–а–Т (ГОСТ 1050).

Умови роботи деталі в механізмі повороту автомобіля вимагають, щоб при штампуванні волокна розташовувалися вздовж осі поковки. Розробимо креслення поковки з урахуванням вихідних даних. Якщо маса деталі $M_d = 2$ кг, то орієнтовно маса поковки повинна становити 2,6 кг. Матеріал поковки М1, нагрів індукційний. Група складності приблизно С2, тому що $M_p/M_\phi = 2/3,8 \approx 0,52$ (де M_ϕ – маса описаної фігури за ГОСТ 7505, с. 18). Площина рознімання штампів збігається з площиною двох найбільших розмірів деталі.

Оптимальну величину припусків визначаємо підсумовуванням погрішностей штампування за правилами математичної статистики. Припуск на довжину деталі (див. рис. 3.15) розраховуємо за формулою (3.7). Значення τ і c установлюємо за табл. В.3 дод. В, $\tau = 0,2$ мм, $c = 0,35$ мм, $M_{рез} = 0,4$ мм – за табл. В.1 дод. В, $\delta = 0,8$ – за ГОСТ 7505, $r_{ок} = 0$ (індукційне нагрівання); $n = 0$, тому що передбачуваний припуск на торцях поковки більший за глибину знеуглецьованого шару; $m = 0,25$ мм – дробометальне очищення поковок від окалини;

$$P_L = \tau + k(M_{рез}^2 + r_{ок}^2 + c^2 + \delta^2 + n^2 + m^2)^{1/2} = 0,2 + 1,1(0,4^2 + 0^2 + 0,35^2 + 0,8^2 + 0^2 + 0,25^2)^{1/2} \approx 1,3 \text{ мм}$$

Припуск на діаметр 40 мм визначаємо аналогічно: значення f не враховуємо, оскільки передбачається використовувати прес зусиллям $P < 16$ МН; $\tau = 0,2$ мм (табл. В.3 дод. В); $M_{рез} = 0,5$ мм (табл. В.2 дод. В); $r_{ок} = 0$ (індукційне нагрівання); $\delta = 0,4$ мм (ГОСТ 7505, нормальна точність); $n = 0$, $m = 0,25$ мм. Прогин S визначимо за відомою питомою зігнутістю (табл. В.3 дод. В):

$$S = 12,9 \cdot 10^{-3} \cdot 173/2 \approx 1,06 \text{ мм},$$

$$P_D = f + \tau + k(M_{рез}^2 + r_{ок}^2 + \delta^2 + n^2 + m^2 + S^2)^{1/2} = 0,2 + 1,1(0,5^2 + 0^2 + 0,4^2 + 0^2 + 0,25^2 + 1,06^2)^{1/2} \approx 1,59 \text{ мм}.$$

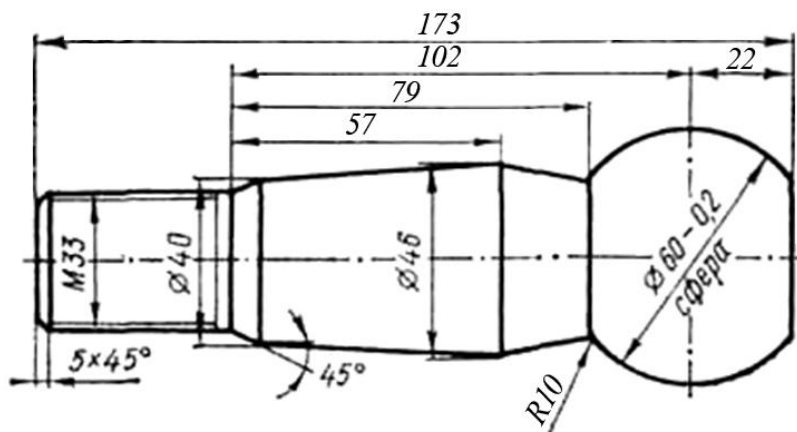


Рисунок 3.15 – Кульовий палець (креслення деталі)

Отримані значення припусків дозволяють для всіх розмірів поковки прийняти перший клас точності. Призначені припуски й допуски наведено в табл. 3.3.

Штампувальні ухили встановлюємо залежно від розмірів порожнини рівчака: $h_1 = 18,2$ мм, $b_1 = 176,8$ мм, $\alpha_1 = 5^\circ$, $h_2 = 19,8$ мм, $b_2 = 45,9$ мм, $\alpha_2 = 5^\circ$ (рис. 3.16).

Таблиця 3.3 – Розрахунок розмірів поковки, мм

Розмір деталі	Клас чистоти	Припуск	Тип розміру ГОСТ 7505	Допуски	Розмір поковок
ø 33	R _z 40	2x1,7	Н	+1,0 -0,4	36,4 ^{+1,0} _{-0,4}
ø 40	R _z 40	2x1,7	Н	+1,0 -0,4	43,4 ^{+1,0} _{-0,4}
ø 46	R _z 40	2x1,7	Н	+1,0 -0,4	49,4 ^{+1,0} _{-0,4}
ø 60	R _z 40	2x1,8	Н	+1,0 -0,5	63,8 ^{+1,0} _{-0,5}
173	R _z 40– R _z 40	1,9+1,9	Д	+1,0 -0,6	176,8 ^{+1,0} _{-0,6}
57	–	–	А	±0,2	57 ^{±0,2}
102	–	–	А	±0,4	102 ^{±0,4}
79	–	–	А	±0,25	79 ^{±0,25}
124	R _z 40	1,9	Л	+0,5 -0,3	125,9 ^{+0,5} _{-0,3}

Радіуси закруглень кутів поковки розраховуємо за методикою, наведеною в підрозд. 3.1. Нумерацію кутів показано на ескізі 1 рис. 3.16. Для зовнішнього кута 1:

$$h_1 = 18,2 \text{ мм}, b_1 = 176,8 \text{ мм}, h_1/b_1 < 2,$$

$$r_{\min} = 0,05h_1 + 0,5 = 0,05 \cdot 18,2 + 0,5 \approx 1,4 \text{ мм}, r_d = 5 \text{ мм},$$

$$\Pi_{\max} = 1,9 \text{ мм}, r_d + \Pi_{\max} = 6,9 \text{ мм}.$$

З нормального ряду вибираємо $r_1 = 7 \text{ мм}$.

Для внутрішнього кута 2:

$$h_2 = 3,5 \text{ мм}, b_2 = 81,8 \text{ мм}, h_2/b_2 < 2,$$

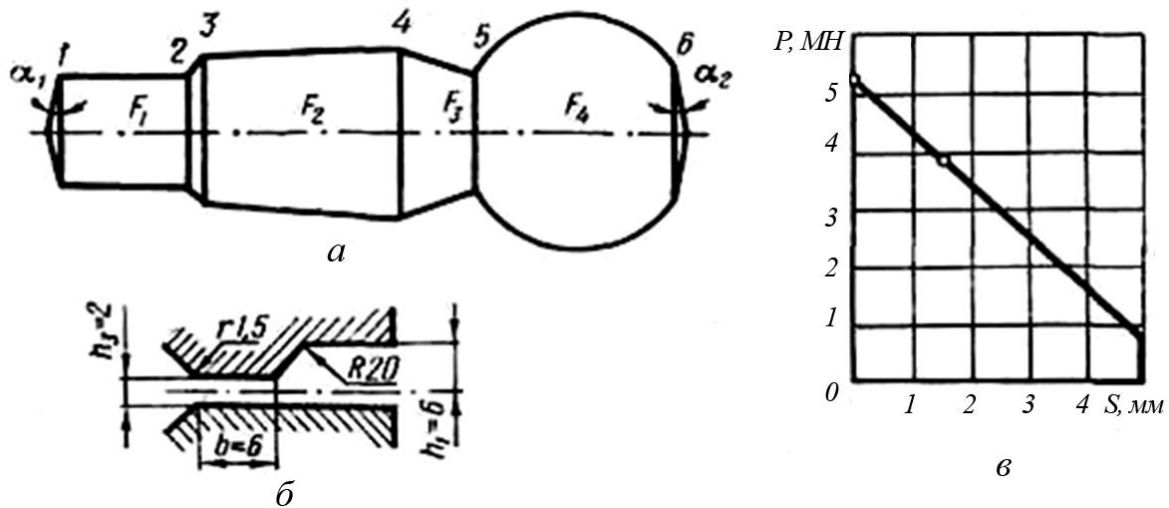
$$r_{\min} = 0,05h_2 + 0,5 = 0,05 \cdot 3,5 + 0,5 \approx 0,5 \text{ мм},$$

$$\Pi_{\min} = 2,5r + 0,5 = 2,5 \cdot 0,5 + 0,5 = 1,75 \text{ мм}, \text{приймаємо } R_2 = 2 \text{ мм}.$$

Інші радіуси визначаємо аналогічно.

У технічних вимогах до креслення поковки (рис. 3.17) вказуються: гр. III – НВ 145–170, ГОСТ 8479; матеріал – сталь марки 45 (ГОСТ 1050); маса поковки 2,52 кг; штампувальні ухили 5 °; невідмічені радіуси 2 мм; зсув по лінії рознімання до 0,5 мм; залишок задирки 0,8 мм; відхилення щодо зігнутості й радіального биття 0,6 мм; невідмічені допуски $\begin{smallmatrix} +1,0 \\ -0,4 \end{smallmatrix}$; допуски на необумовлені розміри $\begin{smallmatrix} +0,7 \\ -0,3 \end{smallmatrix}$, допуски на радіуси $r = 7^{+2}$ мм, $r = 3^{+1}$ мм, $r = 2^{+1}$ мм; клас точності 1; інші технічні вимоги за ГОСТ 8479.

Масу й розміри заготовки визначаємо з урахуванням того, що поковка за масою входить у рекомендований інтервал для преса зусиллям 10 МН [6, т. 1, с. 185]. Розміри вставки преса дозволяють розмістити штампувальний рівчак. За зусиллям преса вибираємо розміри задиркової канавки першого типу $h_3 = 2 \text{ мм}$, $b = 6 \text{ мм}$ [6, т. 2, с. 45]. Профіль задиркової канавки та її розміри показані на ескізі 2 рис. 3.16.



а – нумерація радіусів і ділянок; б – схема задиркової канавки;
в – графік робочих навантажень

Рисунок 3.16 – Ескізи до технологічного процесу штампування кульового пальця

Якщо штампування здійснюється після заготовочних рівчаків, то площа поперечного перерізу задирки: $S_0 = bh_3 + h_2B = 6 \cdot 2 + 4 \cdot 20 = 92 \text{ мм}^2$, де $h_2 = 2h_3$ – товщина магазину задирки; B – ширина задирки. Оскільки передбачається використовувати вальцьовану заготовку, площа перерізу задирки на стрижні $S'_0 = h_3b'_0 = h_3b = 2 \cdot 6 = 12 \text{ мм}^2$, а на головці $S''_0 = h_3b''_0 = h_32b = 2 \cdot 2 \cdot 6 = 24 \text{ мм}^2$.

Епюру перерізів будуюмо на підставі значень площ, розрахованих за формулою $S_e = S_{\pi} + 2S_0$ (рис. 3.18, табл. 3.4). Епюру будуюмо на масштабному папері, що полегшує зведення її до епюри вальцьованої заготовки простої форми рівновеликого об'єму (штрихова лінія на рис. 3.18,б). Об'єм епюри $V_e = 328400 \text{ мм}^3$. Для перевірки використовуємо рівняння: $V_e = V_{\pi} + V_3 = 321000 + 7100 = 328100 \text{ мм}^3$.

Об'єм задирки в цьому випадку визначаємо за рівнянням $V_3 = \Pi'b'_0h_3 + \Pi''b''_0h_3 = 294 \cdot 6 \cdot 2 + 149 \cdot 12 \cdot 2 \approx 7100 \text{ мм}^3$, де Π' , b' – периметр поковки по лінії рознімання й ширина задирки на ділянці стрижня; Π'' , b'' – те саме, на ділянці головки.

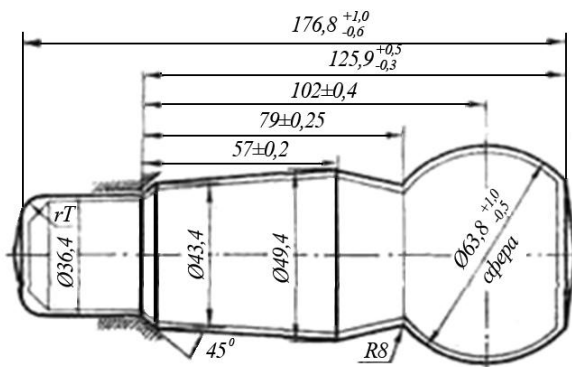


Рисунок 3.17 – Кульовий палець (креслення поковки)

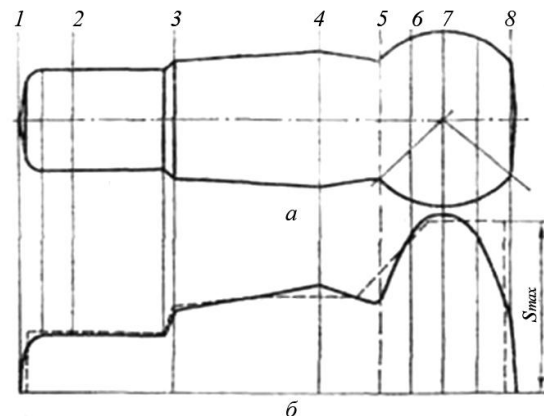


Рисунок 3.18 – Ескіз поковки (а) і епюра її перерізів (б)

Об'єм заготовки з урахуванням вигару $\delta = 0,8$ в індукційному нагрівачі розраховуємо за формулою:

$$V_{\text{заг}} = (100 + \delta)V_e / 100 = 328400(100 + 0,8) / 100 = 331000 \text{ мм}^3.$$

Сортамент заготовки встановлюємо за максимальним перерізом спрощеної епюри $S_{\text{max}} = 3150 \text{ мм}^2$ (див. рис. 3.18, б), збільшеним з розрахунку на вигар: $S_{\text{заг.р}} = 1,008S_{\text{max}} = 1,008 \cdot 3150 \approx 3175 \text{ мм}^2$. Як заготовку вибираємо $\varnothing 60\text{-В}$ (ГОСТ 2590) із площею поперечного перерізу $F_{\text{заг}} = 3117 \text{ мм}^2$. Довжина заготовки $l_{\text{заг}} = V_{\text{заг}} / F_{\text{заг}} = 331000 / 3175 \approx 104 \text{ мм}$. Різання заготовки на ножицях може бути здійснене з допусками $\pm 1 \text{ мм}$ [6, т. 1, с. 81].

Таблиця 3.4 – Площі перерізів і діаметри епюри

Переріз	$S_{\text{п,2}}$ мм ²	$2S_{0,2}$ мм ²	S_e , мм ²	d_e , мм	Переріз	$S_{\text{п,2}}$ мм ²	$2S_{0,2}$ мм ²	S_e , мм ²	d_e , мм
1	0	24	24,0	5,5	5	1520,5	48	1568,5	44,7
2	1069,4	24	1093,4	37,4	6	2827,4	48	2875,4	60,5
3	1513,6	24	1537,6	44,3	7	3247,2	48	3295,2	64,8
4	1955,6	24	1979,6	50,2	8	1385,4	48	1433,4	42,7

Максимальний коефіцієнт витяжки, необхідний для одержання розглянутої заготовки, $\lambda_{\text{max}} = F_{\text{заг}} / S_{\text{min}} = 3117 / 1100 \approx 2,83$. Якщо вальцювання виконувати на вальцях моделі С1334 з міжосьовою відстанню $D_0 = 250 \text{ мм}$ [21, с. 6], тобто при відношенні $D_0 / \sqrt{F_{\text{заг}}} = 250 / \sqrt{3117} \approx 4,5$, то коефіцієнт $\lambda_{\text{max}} = 2,83$ може бути отриманий за два проходи вальцювання за схемою «круг – овал – круг» [21, с. 74].

Після вальцювання заготовка штампується в остаточному рівчаку пресового штампа. Рівчаки змащуються водно-графітовою сумішшю ОГВ–75. Задирка обрізається в гарячому стані в штампі на спеціальному пресі [6, т. 2, с. 255]. Нагрівання здійснюється в індукційному нагрівачі типу И 100–102 при частоті струму 2500 Гц до температури 1260 °С [6, т. 1, с. 99]. Заготовка вальцюється й штампується з одного нагрівання. Її початкова температура має бути не нижчою ніж 1000 °С. Тепер виберемо встаткування для основних технологічних операцій. Зусилля різання заготовок рівчаковими ножами:

$$P_p = 0,75\sigma F_{\text{заг}} = 0,75 \cdot 610 \cdot 3117 \cdot 10^{-6} \approx 1,4 \text{ МН}.$$

Відповідно до ГОСТ 1050 границя міцності відпаленої сталі марки 45–4(60)–а–Т $\sigma_b = 610 \text{ МПа}$. Для різання вибираємо ножиці кривошипні, закриті, сортові моделі Н1830Б зусиллям 1,6 МН (ГОСТ 8248).

Штампуванню з вальцьованої заготовки відповідає графік, показаний на рис. 3.12, в. Зусилля P_1 визначаємо за формулою (3.32):

$$P_1 = 104 \left[\left(1,35 \cdot \frac{6}{3} + \frac{4,8}{3 + 1,5} + 1,2 \right) 8080 + 1,35 \left(\frac{6}{2 \cdot 3} + 1 \right) 3552 \right] \cdot 10^{-6} \approx 5,17 \text{ МН}.$$

Швидкість деформації $\dot{\varepsilon} = \frac{13,5}{\sqrt{h+r}} = \frac{13,5}{\sqrt{3+1,5}} \approx 6,4 \text{ с}^{-1}$. Висота містка задиркової канавки h визначена в цьому випадку з умовою того, що при мінімальній

температурі заготовки 1000 °С твердість преса має забезпечити одержання поковки в межах додатного допуску $\Delta = 1$ мм на вертикальні розміри поковки: $h = h_3 + \Delta = 2 + 1 = 3$ мм. Розміри h_3 , r і b показані на ескізі 2 рис. 3.16.

Опір деформуванню при температурі 1000 °С визначаємо за формулою (3.34): $\sigma = 56 \cdot (6,4 / 0,03)^{0,115} = 104$ МПа. Значення σ_0 , ϵ_0 , β установлені за табл. Г.1 дод. Г, $m = 1,35$ за рис. 3.11. Площа поковки в плані (див. ескіз 1 рис. 3.16):

$$F_{\Pi} = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = 1750 + 2700 + 880 + 2750 = 8080 \text{ мм}^2.$$

Площа задирки в плані $F_3 = \Pi' b'_0 + \Pi'' b''_0 = 294 \cdot 6 + 149 \cdot 12 = 3552 \text{ мм}^2$, де Π' , Π'' – периметри стрижня й головки.

Якщо ж висота задирки $h_2 = 1,5h = 1,5 \cdot 3 = 4,5$ мм, швидкість деформації $\dot{\epsilon} = \frac{13,5}{\sqrt{4,5+1,5}} \approx 5,5\text{с}^{-1}$, опір деформуванню $\sigma = 5,6 \cdot (5,5 / 0,03)^{0,015} = 102$ МПа, тоді зусилля:

$$P_2 = 102 \{ [1,35 \cdot 6/4,5 + 4,8/(4,5+1,5) + 1,2] 8080 + 1,35(6/2 \cdot 4,5 + 1) 3552 \} 10^{-6} \approx 3,9 \text{ МН}.$$

Зіставляючи профілі вальцьованої заготовки й штампувального рівчака, знаходимо, що контакт верхнього штампа із заготовкою відбувається при відстані повзуна від нижньої мертвої точки $S \approx 5$ мм. З урахуванням цього будуємо графік робочих навантажень (ескіз 3 рис. 3.16). Судячи з графіка, для штампування можна було б використовувати прес зусиллям 6,3 МН. Однак робоча довжина вставки L не дозволяє розмістити штампувальний рівчак, тому доводиться прийняти прес К8540 зусиллям 10 МН.

Необхідне зусилля обрізного преса визначаємо за довідником [6, т. 2, с. 255]: $P = 1,65\sigma_v F_{\text{ср}} \cdot 10^{-6} \approx 0,25 \text{ МН}$, де $\sigma_v = 110$ МПа – тимчасовий опір розриву при температурі обрізання 800 °С [6, т. 1, с. 35]; $F_{\text{ср}} = h(\Pi' + \Pi'') = 3(294 + 149) = 1329 \text{ мм}^2$ – площа різку задирки товщиною $h = 3$ мм по периметру $\Pi' + \Pi''$ поковки.

Баланс металу при штампуванні кульового пальця такий:

Стаття витрати	Маса, кг	% до норми витрати
Поковка	2,52	95,00
Вигар	0,02	0,75
Задирка	0,06	2,30
Відходи при різанні	0,05	1,95
<i>Разом</i>	2,65	100

Обрізання задирки можна було б здійснити на пресі 0,4 МН, але, з огляду на те, що зусилля обрізного преса $P_{\text{обр}}$ пов'язане із зусиллям штампувального преса $P_{\text{шт}}$ співвідношенням $P_{\text{обр}} = (0,07 \dots 0,05) P_{\text{шт}}$, приймаємо обрізний прес зусиллям 1 МН за ГОСТ 9408.

У КТП включаємо перелік операцій: 1) подати пачку металу на різання; 2) різати пруток на заготовки $l = 104 \pm 1$ (прес-ножиці зусиллям 1,6 МН) і подати їх на ділянку штампування; 3) завантажити заготовки в нагрівач И 100-102, нагріти їх і подати до вальців; 4) вальцювати заготовку за два переходи (вальці С1334 зусиллям 0,4 МН) і подати її до преса; 5) штампувати в остаточному рівчаку (прес К8540 зусиллям 10 МН), подати поковки до обрізного преса; 6) обрі-

зати задирки, контролювати розміри, передати поковки на термодільницю; 7) виконати термообробку, очистити від окалини, контролювати розміри й твердість.

Організація робочого місця. Штучні заготовки подаються до індукційного нагрівача за допомогою спеціальних пристроїв. В автомобільній промисловості для цього служать пристрої, постачені поворотною стрілою з магнітним затискачем і бункером з орієнтувальним конусом. Вібробункери орієнтують заготовки, що завантажуються в приймач партіями. Елеваторний бункерний завантажувальний пристрій також не вимагає спеціального укладання заготовок у бункер. Орієнтовані заготовки з лінії подачі транспортуються через індуктор автоматичними штовхачами й після нагрівання передаються до преса транспортером.

У масовому виробництві подача заготовки в штамп і передача по позиціях штампування здійснюється грейферними перекладниками, а складання деталей і видалення задирок – спеціалізованими механізмами. У серійному виробництві ці операції виконуються автоматичними маніпуляторами (промислові роботи).

Штампувальні лінії на базі гарячештампувальних пресів можуть бути скомпоновані як уздовж осі прольоту, так і впоперек. У масовому виробництві поковок штампувальні лінії з поперечним розташуванням можуть включати термічні агрегати. Поперечне розташування з уступом дозволяє розмістити лінії в прольоті меншої ширини [32, с. 16]. Кувальні вальці малих типорозмірів виконуються пересувними, а більших типорозмірів забезпечуються автоматичними маніпуляторами. Широке застосування технологічних мастил вимагає оснащення штампувальних пресів припливно-витяжною вентиляцією.

3.4 Заготовочне вальцювання

Межі ефективного використання вальцювання. Використання заготовочного вальцювання для подовжених у плані поковок забезпечує: підвищення продуктивності штампувального встаткування (молоти, преси) в 1,5...2,5 рази; зменшення витрати металу на 5...20 %; зниження вартості штампового оснащення на 10...15 % і збільшення стійкості на 20...50 % [21].

Собівартість поковок залежить від матеріалу й обсягу їх виробництва. Економічне зіставлення трьох варіантів виготовлення 100 тис. шт. подовжених у плані поковок, що вимагають перерозподілу металу вздовж осі (штампування на молоті з протяганням у заготовочних рівчаках, те саме, з попереднім вальцюванням, штампування на пресі з попереднім вальцюванням), показало, що при переході від першого варіанта до третього собівартість безупинно знижується. При цьому капітальні витрати зростають. Отже, економічне зіставлення має проводитися за наведеними витратами.

Мінімум наведених витрат виробництва 100 тис. шт. дрібних поковок (маса до 0,5 кг) з простою формою поперечного перерізу, що потребують не більше трьох ударів у протяжному й двох ударів у підкатному рівчаку, відповідає першому технологічному варіанту. Для більших поковок і поковок зі складною формою поперечного перерізу наведені витрати в другому і третьому технологічних варіантах нижчі, ніж у першому, причому для поковок середнього роз-

важення (маса 0,5...2,5 кг) витрати в другому й третьому варіантах приблизно однакові, а для більших поковок вони мінімальні в третьому варіанті.

Зі зменшенням програми випуску поковок застосування вальцювання стає економічно не вигідним. Розраховано значення «критичної партії», які визначають границі економічної ефективності штампування на молоті з перерозподілом металу в заготовочних рівчаках замість вальцювання. Ці значення можуть бути використані для обґрунтування економічного варіанта виготовлення подовжених у плані поковок масою до 10 кг, якщо економія металу від застосування вальцювання порівняно зі штампуванням без останньої становить для поковок простої форми 3...5 %, а складної – 7...9 %. При цьому передбачається підвищення продуктивності в 1,0...1,8 і в 1,2...2,3 рази відповідно для другого й третього варіантів. В умовах, що відрізняються, економічні розрахунки повинні бути виконані за тією самою методикою самостійно.

Вибираючи вальцювання як заготовочну операцію, варто враховувати також технічні можливості процесу: за 2–4 проходи може бути досягнуте 10-разове витягування вальцьованої заготовки; обтискувана ділянка має бути не меншою ніж $1,5 D_{\text{заг}}$; чим більша довжина вальцьованої ділянки заготовки, тим ефективніший процес.

Відповідно до ГОСТ 16434 і ГОСТ 16435 міжосьова відстань стандартних кувальних вальців становить від 125 до 1000 мм. Це обмежує максимальну довжину вальцьованої заготовки. Найбільша витяжка за пропуск (дворазова) може бути отримана однорівчаковим вальцюванням у закритому рівчаку.

Багаторівчакове відкрите вальцювання. Конструюванню вальцьованої заготовки передують побудова епюри перерізів і діаметрів з підстановкою значень $S_{\text{п}}$ у характерних перерізах (рис. 3.19); $S_{\text{е}} = S_{\text{п}} + 2S_0$. Тут $S_{\text{п}}$ – площі поперечних перерізів поковки; S_0 – площа перерізу задирки, ширина якої b_0 на ділянці стрижня нескладного поперечного перерізу (круг, овал) приймається рівною ширині облойного містка b .

На ділянках стрижня складного перерізу (тавр, короб) і головки ширина задирки становить $b_0 = (1,5...3)b$ (штампування на молоті) і $b_0 = (1,5...2,5)b$ (штампування на пресі).

Криволінійний контур розрахункової заготовки для спрощення профілю вальцьовальних рівчаків заміняється прямолінійним. Щоб уникнути незаповнення рівчаків, контур епюри на головці також варто спростити, дотримуючи умови (див. рис. 3.19): $S_{\text{max}} \geq 1,05 S_{\text{maxп}} / (k_{\text{р1}}, k_{\text{р2}}... k_{\text{рп}})$, де $k_{\text{р1}}, k_{\text{р2}}... k_{\text{рп}}$ – коефіцієнти підкочування штампувальних рівчаків [6, т. 1, с. 356]. Довжина проміжних ділянок вальцьованої заготовки збігається з довжиною відповідних ділянок епюри, а довжина кінцевих ділянок приймається коротшою за відповідні ділянки епюри для зручності укладання заготовки в штампувальний рівчак і запобігання їй «закушуванню» містком. Щоб виключити утворення затисків, перехідні ділянки з різкими перепадами розмірів виконуються конічними з кутом переходу на епюрі діаметрів $\beta = 45...60^\circ$ і радіусом $R = 5...40$ мм. Усі перетворення виконуються з дотриманням умови сталості об'єму характерних елементів розрахункової заготовки.

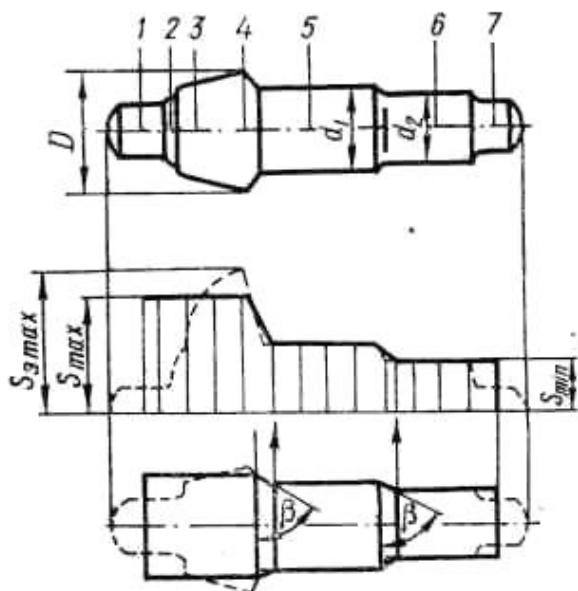


Рисунок 3.19 – Схема побудови профілю вальцьованої заготовки

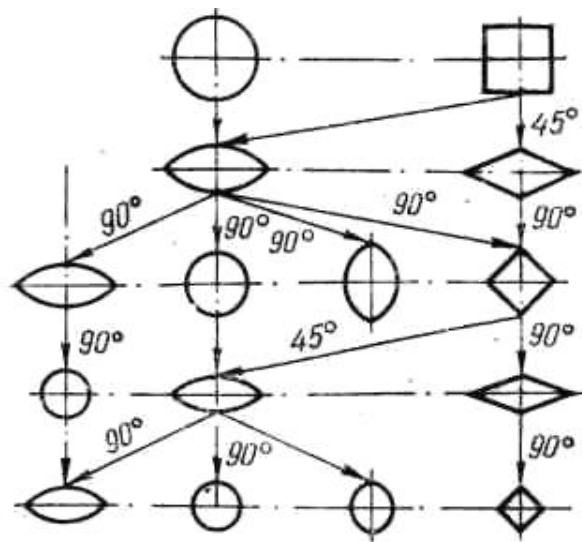


Рисунок 3.20 – Схеми вальцювання

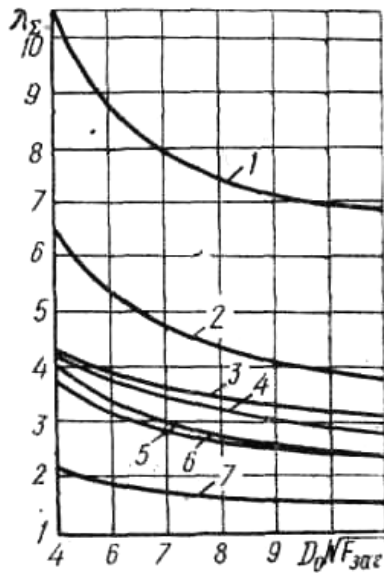
Площа перерізу круглої або квадратної стандартної вихідної заготовки $F_{\text{заг}}$ вибирається за максимальним перерізом профілю вальцьованої заготовки, збільшеним на величину вигару. При ручному обслуговуванні вальців для втримання заготовки кліщами необхідно використовувати кінцеву головку або передбачити кінцеву необтискувану ділянку довжиною не менш ніж $l = (0,4 \dots 0,5)d$, де d – розмір поперечного перерізу заготовки. Якщо головка віддалена від торця, площа вихідної заготовки приймається в 1,1...1,15 разу більшою від максимальної площі епюри. При необхідності маніпулювання заготовкою в процесі штампування на її торці розташовується кліщовина мінімально можливого перерізу.

Розглянемо вибір схеми переходів для найпоширенішого вальцювання в каліброваних валках з поворотом заготовки навколо осі після кожного пропуску на кут 45 або 90° (рис. 3.20).

Коефіцієнт витягування за прохід ($\lambda_n = F_{n-1}/F_n$) залежить від форми вихідної заготовки й розглянутого калібру. Використання квадратної заготовки замість круглої з рівновеликим перерізом дозволяє одержати більш інтенсивне витягування. Цьому ж сприяє й збільшення відношення сторін заготовки $\alpha = B_0 / H_0$, яке, однак, не повинне перевищувати задля стійкості овальної заготовки в круглому калібрі 3,5, овальної в овальному калібрі 1,6, овальної в ребровому овальному калібрі 0,4, овальної й ромбічної у квадратному калібрі 5.

Зазначені допустимі значення α дещо вищі від рекомендованих для прокатного виробництва, тому що при вальцюванні заготовки обмеженої довжини процес втрати стійкості не встигає перейти у звальювання. Схеми вальцювання по переходах «круг – овал – овал», «круг – овал – круг», «круг – овал – ребровий овал» хоча й забезпечують меншу витяжку порівняно зі схемами «квадрат – овал

– круг», «квадрат – овал – квадрат»¹, але характеризуються меншою нерівномірністю деформації й тому застосовуються для вальцювання малопластичних легированих сталей.



- 1 – квадрат – овал – квадрат – овал;
- 2 – круг – овал – круг – овал;
- 3 – квадрат – овал – квадрат;
- 4 – квадрат – ромб – квадрат;
- 5 – квадрат – овал – круг;
- 6 – круг – овал – круг;
- 7 – квадрат – ромб

Рисунок 3.21 – Залежність максимально можливого коефіцієнта витяжки від відношення $D_0/\sqrt{F_{\text{заг}}}$ при вальцюванні за різними схемами

Для технологічних процесів штампування деталей-представників досить вибрати встаткування, визначити кількість і схему переходів вальцювання. Тип вальців і відстань між осями валків D_0 приймаються за ГОСТ 16434, ГОСТ 16435 або за літературним даними [21, с. 6–12]. При відомому відношенні $D_0/\sqrt{F_{\text{заг}}}$ можна встановити схему переходів вальцювання (рис. 3.21). Необхідний коефіцієнт витягування ($\lambda_\Sigma = F_{\text{заг}}/S_{\text{min}}$) забезпечує будь-яка схема переходів, для якої $\lambda_{\text{max}} > \lambda_\Sigma$. Докладний розрахунок формозміни й енергосилових параметрів вальцювання може бути виконаний на основі варіаційного принципу мінімуму повної потужності.

Методику розрахунку переходів розглянемо на прикладі вальцювання за два переходи за схемою «квадрат – овал – квадрат».

Вихідними даними для розрахунку є розміри сторони квадрата вихідної заготовки $c_0 = \sqrt{F_{\text{заг}}}$, кінцевого перерізу $c_1 = \sqrt{S_k}$ і відстань між осями валків D_0 . Відношення сторін овальної заготовки визначається за формулою:

$$\alpha_1 = [1 + (\frac{c_0}{H'_1} - 0,78)/(0,32 + \frac{1,44}{D_0/H'_1})]^2,$$

де $H'_1 = \sqrt{2}c$ – теоретична висота овального калібру.

Висоту овальної заготовки H_1 знаходимо зі співвідношення:

$$\frac{H_1}{H'_1} = \left\{ 1 + [1,21(\sqrt{\alpha_1} - 1) - 0,21] \left(1,08 - 0,025 \sqrt{\frac{D_0}{H'_1} - 1} \right) \right\} / \alpha_1.$$

Ширина овальної заготовки $B_1 = H_1\alpha_1$. Розміри калібрів устанавлюються залежно від коефіцієнта заповнення δ .

При відомому відношенні α_1 і прийнятому коефіцієнті заповнення δ_1 можна визначити розміри овального калібру (рис. 3.22). Відношення осей калібру $\alpha_k = \alpha_1 \delta_1$. Радіус калібру $R = H_1(1 + \alpha_k^2)/4$. Ширина врізу рівчака:

¹ Схеми зазначені в порядку збільшення коефіцієнта витягування.

$$B_{\text{вр}} = (H_1 - S) \sqrt{[4R/(H_1 - S)] - 1},$$

де $S \approx 0,01D_0$ – зазор між секторами-штампами.

Радіус скруглення крайки калібру $r = 0,2B_k$. Теоретична ширина калібру B_k установлюється графічно (див. рис. 3.22). Площа поперечного перерізу заготовки, прокатої в спроектованому калібрі, розраховується за формулою:

$$F_1 = 0,6H_1^2 (2,07 - \delta_1) (\alpha_1 + 0,66\delta_1 - 0,43).$$

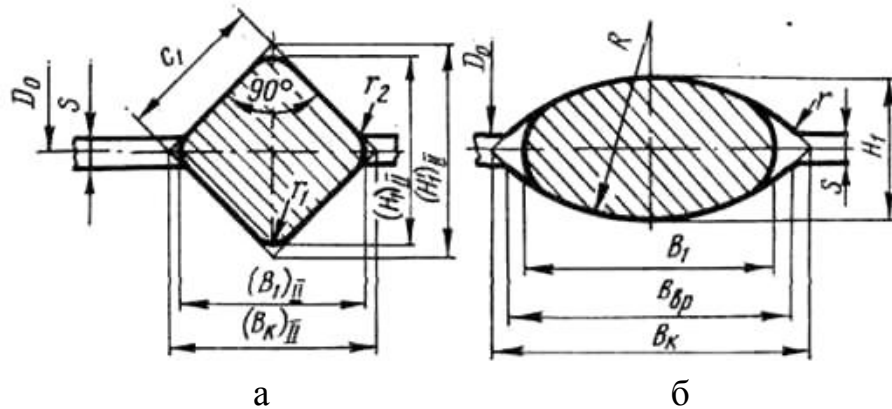


Рисунок 3.22 – Геометричні співвідношення у квадратному (а) і овалному (б) калібрах

За розміром c_1 можна визначити розміри квадратного калібру (див. рис. 3.22). Теоретичні висота й ширина калібру $H'_1 = (B_k)_{II} = \sqrt{2c_1}$. Радіуси скруглення вершини калібру $r_1 \approx 0,15c_1$ і крайки $r_2 \approx 0,1c_1$. Дійсні розміри врізу рівчака $(H_1)_{II} = \sqrt{2}c_1 - 0,83r_1$; $(B_1)_{II} = (B_k)_{II} - S$.

Овальна заготовка у квадратному калібрі обтискається з коефіцієнтом витяжки $\lambda_{II} = 1,42(\alpha_1 - 0,164)(\frac{H_1}{H_1'})^2$ до кінцевого перерізу з площею $F_{II} = 0,49B_k^2 = 0,98c_1^2$. Овальний калібр забезпечує витяжку $\lambda_I = \lambda_{\Sigma}/\lambda_{II}$.

За аналогічними розрахунковими залежностями і номограмами можна визначити поперечні розміри заготовки й калібрів при вальцюванні за різними схемами за будь-яку кількість проходів.

Поздовжні розміри переходів залежать від розмірів кінцевої вальцьованої заготовки. Довжина ділянки з постійним поперечним перерізом попереднього переходу l_{n-1} пов'язана з довжиною ділянки після n -го проходу залежністю $l_{n-1} = l_n/\lambda_n$ де λ_n – коефіцієнт витягування в n -му проході. Для клиноподібних ця залежність записується так:

$$l_{n-1} = l_n [(F_\alpha + \sqrt{F_\alpha F_b} + F_b)_n] / [(F_\alpha + \sqrt{F_\alpha F_b} + F_b)_{n-1}],$$

де F_α, F_b – площі поперечних перерізів на кінцях клиноподібної ділянки.

Поздовжні розміри рівчаків визначаються з урахуванням випередження металу S . Для заготовки постійного перерізу приймається $S = 0,04 \dots 0,06$, для клиноподібної ділянки зі зростаючими обтисненнями $S = 0,06 \dots 0,12$, а зі спадними $S = 0,02 \dots 0,04$. Довжина ділянки рівчака по дузі l_d , що відповідає довжині ділянки заготовки l , розраховується за формулою $l_d = l/(1+S)$. Центральний кут валків (рис. 3.23) обчислюється за формулою $\Theta = 57,3 l_d/R_p$. Робочий радіус R_p

штампа на розглянутій ділянці визначається залежно від середньої висоти H_1 калібру: $R_p = (D_0 - H_1)/2$. Сума центральних кутів окремих ділянок, збільшена на $10...15^\circ$ довжини резервної ділянки, становить сумарний кут рівчакового валка: $\Theta_\Sigma = \Theta_1 + \Theta_2 + \dots + \Theta_n + (10...15^\circ)$. Для зручності подачі заготовки значення Θ_Σ не повинне перевищувати $240...270^\circ$.

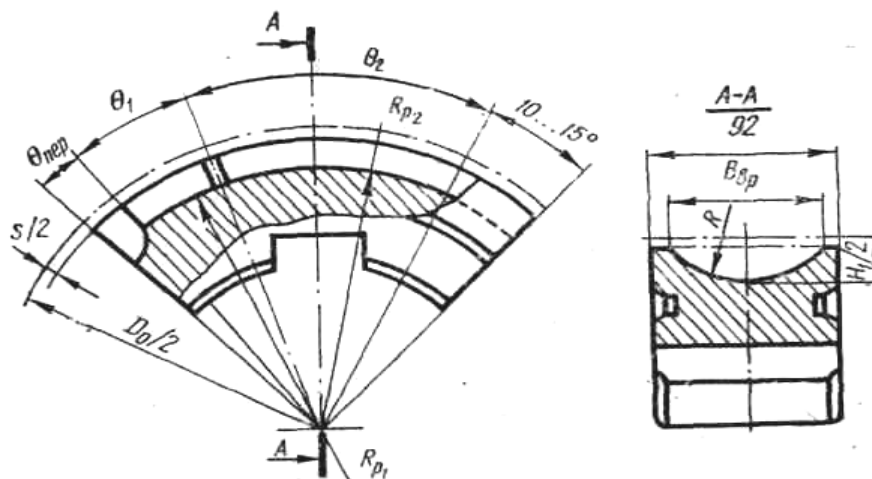


Рисунок 3.23 – Схема вальцювального штампа першого переходу

Розрахунок силових параметрів вальцювання необхідний при уточненні вибору встаткування. Температура заготовки перед n -м проходом:

$$t_n = \left\{ 1000 / \left[\sqrt{\frac{0,059(1 + \alpha_n)\sqrt{\lambda_\Sigma \tau_n m}}{d_0 \sqrt{\alpha_n}}} + \left(\frac{1000}{t_0 + 273} \right)^3 \right] \right\} - 273,$$

де α_n – відношення сторін поперечного перерізу заготовки перед n -м проходом;

λ_Σ – сумарний коефіцієнт витяжки за $n-1$ проходів;

τ_n – пауза між n -м і $(n-1)$ -м проходами (залежно від потужності вальців

$\tau_n = 2...14$ с, перед першим проходом $\tau_1 = 5...35$ с);

$m = 1 + (d_0 / 2l_0)$ – коефіцієнт, що враховує вплив торцевих поверхонь заготовки діаметром d_0 , довжиною l_0 на втрати теплоти;

t_0 – температура заготовки при вальцюванні в $(n-1)$ -му проході або при виході з печі, $^\circ\text{C}$.

Зусилля при вальцюванні в калібрах $P = 1,15\sigma_k F$. Опір деформуванню σ розраховується за формулою (2.9), ступінь деформації – за виразом $\epsilon = 2(H_0 - H_1)/3H_0$ (де H_0, H_1 – висота заготовки відповідно до й після проходу), швидкість деформації – за формулою $\dot{\epsilon} = 0,105n\sqrt{\epsilon R_b/H_0}$ (де n – швидкість обертання валків, об/хв; R_b – радіус валків по дну калібру). Фактор напруженого стану k_σ залежно від переходів вальцювання визначається за допомогою табельованих коефіцієнтів [21, с. 80]. Площу контакту F для різних схем вальцювання можна встановити на основі варіаційного принципу мінімуму повної потужності [Там же, с. 81]. Крутний момент вальцювання:

$$M = 0,287\sigma[(D_0/H_1) - 1]^2 H_1^3 n_b,$$

де n_b – безрозмірний коефіцієнт [Там же, с. 82].

За отриманим значенням P і M уточнюється модель використовуваних вальців.

Відвальцьовані заготовки з відносною довжиною стрижня $l_c/\alpha < 5$ прийнято вважати короткими. Стримуючий вплив ділянок, що не обтискаються, при вальцюванні позначається на більшій частині або (при $l_c/\alpha < 1,5$) на всій довжині стрижня, тому в цьому випадку розширення менше, а витягування більше, ніж при вальцюванні довгого стрижня. Методика розрахунку вальцювання заготовки із двома необтискуваними головками і розташованим між ними коротким стрижнем за схемами «квадрат – прямокутник» (у гладких секторах), «круг – овал – круг», «квадрат – ромб – квадрат», «круг – овал – квадрат» розроблена В.К. Смирновим. Максимально можливий за два переходи коефіцієнт витягування визначається за залежностями, наведеними в роботі [21, с. 67, 70]. Він у 2...3 рази перевищує коефіцієнт витягування довгих заготовок. Площі поперечного перерізу обтиснутої заготовки, її поздовжні розміри й коефіцієнти витягування розраховуються окремо для центральної й перехідної ділянок. Доцільність вальцювання заготовок при $l_c/\alpha = 1,5...0,5$ сумнівна й перевіряється ретельним економічним аналізом.

Однорівчакове вальцювання в закритому рівчаку. У результаті вальцювання заготовки надається форма, близька до форми поковки в плані. Профіль вальцьованої заготовки будується за такими правилами. Розміри по довжині приймаються рівними відповідним розмірам поковки. Висота профілю h_i має бути меншою за розміри B_i поковки в плані ($h_i \approx 0,9B_i$), а ширина профілю b – постійною по всій довжині й більшою за висоту поковки ($b \approx 1,2/h_{\text{пок}}$). Площа перерізу прокатуваного профілю приймається більшою за площу відповідного перерізу поковки на величину площі задирки. Щоб виключити втрату стійкості, вихідна заготовка береться прямокутного поперечного перерізу зі співвідношенням сторін $h_o/h_o < 5$ або (рідше) квадратного.

Ширина калібру b_k має бути більшою за ширину заготовки на величину $\Delta b \leq 0,00015b_o\varepsilon_n$, де $\varepsilon_n^2 = [(h_o - h_k)/h_o]100$ – ступінь деформації найбільш обтиснутої ділянки профілю. При цьому має виконуватися умова $b_k \leq 1,6b_o$. Обов'язкові також ввідні проведення, оскільки при ексцентричній подачі заготовки в рівчак може утворитися задирка.

Розрахунок закритого вальцювання розглянемо на прикладі. Розмір між осями головок профілю (рис. 3.24,б), використовуюваного для штампування важеля (рис. 3.24, а), прийнято рівним міжосьовій відстані на поковці. Висота профілю на головці $h_1 \approx 0,9B_1 = 0,9 \cdot 90 \approx 80$ мм, а на стрижні $h_2 \approx 0,9B_2 = 0,9 \cdot 60 \approx 50$ мм. Ширина профілю й калібру $b \approx 1,2H_1 \approx 1,2 \cdot 30 \approx 35$ мм. Відповідно до розмірів прокатуваного профілю приймаються розміри вихідної заготовки $h_o \times b_o = 35 \times 80$ мм. Стійкість забезпечується, оскільки $h_o/b_o = 80/35 \approx 2,3 < 5$. Розміри перерізу профілю на головці:

$$S_{1\text{пр}} = 35 \cdot 80 = 2800 \text{ мм}^2 > S_{1\text{пок}} = 90 \cdot 30 = 2700 \text{ мм}^2,$$

і стрижні:

$$S_{2\text{пр}} = 35 \cdot 50 = 1750 \text{ мм}^2 > S_{2\text{пок}} = 60 \cdot 26 = 1560 \text{ мм}^2,$$

забезпечують штампування поковки із задиркою.

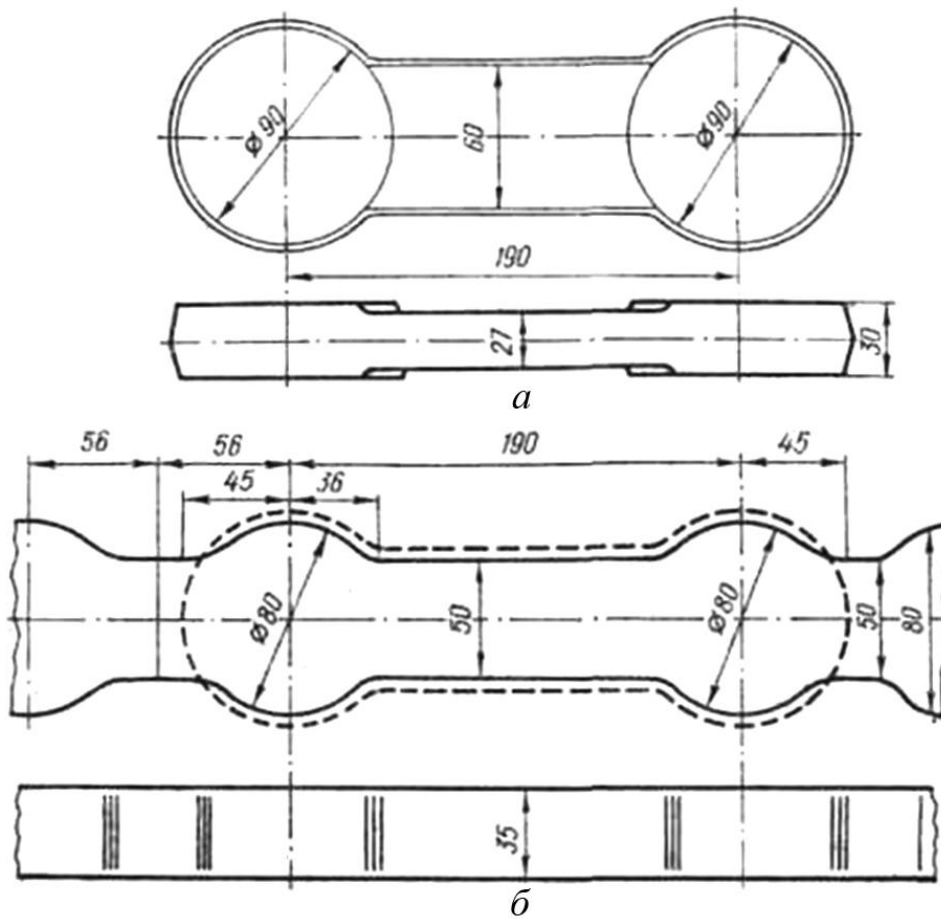


Рисунок 3.24 – Схеми поковки важеля (а) і періодичного профілю, прокатаного в закритому калібрі (б)

На рис. 3.25 показано штампи для прокатки профілю на вальцях з міжцентровою відстанню $D_0 = 400$ мм. Випередження визначається за формулою $S = 0,24 \cdot [(h_0 - h_2)/h_0]^3 = 0,24 \cdot [(80 - 50)/80]^3 \approx 0,012$. Довжина рівчака на ділянці стрижня по окружності дна калібру:

$$l_p = l_{пр}/(1 + S) = 118 / (1 + 0,012) \approx 116,6 \text{ мм}.$$

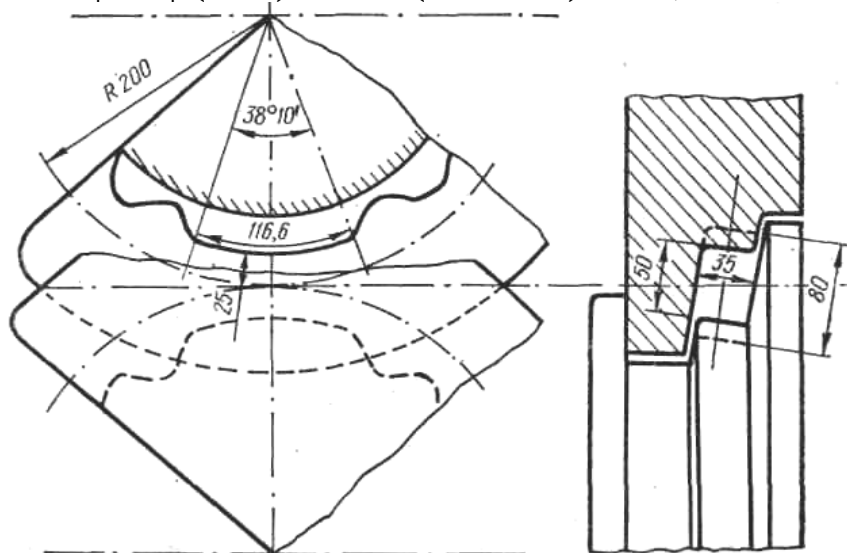


Рисунок 3.25 – Схема вальцювального штампа для прокатки профілю в закритому калібрі

Центральний кут профілю на ділянці стрижня:

$$\alpha = 57,3 l_{\text{п}} / R_{\text{р}} = 57,3 \cdot 116,6 / (200 - 25) \approx 38^{\circ} 10'.$$

3.5 Технологічні розрахунки при штампуванні на горизонтально-кувальних машинах

Особливості проектування креслення поковки. Маса поковки, за якою призначаються припуски й допуски за ГОСТ 7505, включає частину стрижня, що затискається напівматрицями. У поковках зі стрижнями, що виходять за межі штампів, поле допуску по довжині стрижнів не повинне перевищувати для поковок І класу 3 мм, а для поковок ІІ класу – 6 мм. По перерізу стрижнів за межами штампа допуски повинні відповідати відхиленням, регламентованим відповідними стандартами на сортамент металу із чисельним збільшенням від'ємного відхилення на 0,3...0,5 мм залежно від термічної обробки й маси поковки, а в межах штампа – за ГОСТ 7505. Ступінь складності поковки з обумовленою кількістю переходів висаджування. До специфічних технічних вимог належать допустима величина задирок у площині рознімання матриць і допуски щодо неспіввісності отворів, що прошиваються в поковках.

Визначення розмірів висаджуваної частини заготовки. Об'єм $V_{\text{в}}$ визначається за формулою $V_{\text{в}} = (V_{\text{п}} + V_{\text{з}}) (1 + 0,01\delta)$, де $V_{\text{п}}$ – об'єм висаджуваної частини поковки, підрахований за номінальними розмірами з урахуванням усадки, мм^3 ; $V_{\text{з}}$ – об'єм задирки, мм^3 [6, т. 2, с. 121]; δ – вигар металу, прийнятий для індукційних і полуменево-індукційних установок рівним 0,4...0,6 % [6, т. 1, с. 115]. Ступінь заповнення рівчака регулюється положенням переднього упору, що дозволяє штампувати поковки без задирки не тільки в закритому, але й у відкритому рівчаку. Довжина висаджуваної частини заготовки розраховується за формулою $l_{\text{в}} = V_{\text{в}} / F_{\text{заг}}$.

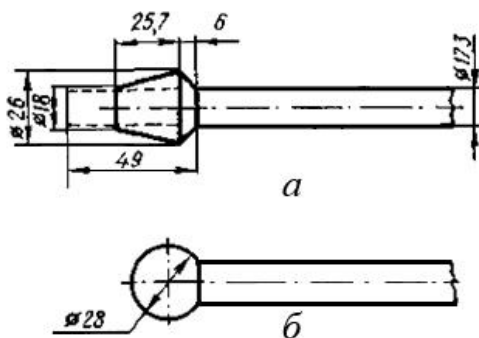


Рисунок 3.26 – Схема комбінованого набору (а) перед висаджуванням сфери (б)

Розміри заготовки й переходи висаджування визначаються залежно від типу поковки за прийнятою класифікацією [6, т. 2, с. 103].

Висаджування поковок типу стрижня зі стовщенням. Діаметр заготовки встановлюється за розмірами стрижневої частини поковки. Залежно від довжини стрижня вибирається один з варіантів штампування: від переднього упору; те саме, з відділенням поковки шляхом зсуву рухомої напівматриці; із

застосуванням як упор кліщів; від заднього упору [6, т. 2, с. 123].

Якщо $D \leq 1,3d$ (де D – діаметр висаджуваної частини; d – діаметр вихідної заготовки), використовується одна зі схем остаточного висаджування [6, т. 2, с. 119]. Більший діаметр стовщення за один перехід можна одержати без втрати стійкості тільки при $l_{\text{в}}/d = 2,5...3$. Практично граничне відношення для заготовки зі скошеним торцем становить 1,5...2. Якщо $l_{\text{в}}/d > 3$, необхідні складальні перехо-

ди. Набір у матрицях може супроводжуватися утворенням задирки по розніманню матриць і подальшим його заштампуванням у тіло поковки. Набір у циліндричному пуансоні утрудняє центрування заготовки. У зв'язку із цим перевагу слід віддавати наборові в конічному пуансоні. Розрахунок складальних переходів триває до одержання мінімальної різниці діаметрів набору й поковки або до відносних розмірів набору $l/d_{\text{ср}} \leq 2,5$ [16, с. 415; 6, т. 2, с. 121]. Наступний перехід може бути формувальним.

При проектуванні складальних переходів слід дотримуватися загальних правил. Форма заготовки в попередньому переході повинна забезпечувати її вільне розміщення й фіксацію в матриці наступного рівчака (рис. 3.26). Необхідно, щоб у кожному рівчаку, крім остаточного, формування виконувалося з гарантованим незаповненням порожнини в розніманні, оскільки утворення задирки в попередніх переходах призводить до його заштампування в тіло поковки. При штампуванні від переднього упору у формі переходів варто передбачати обмеження висаджуваної частини у другому й наступному рівчаках.

Щоб наблизити форму заготовочного переходу до профілю остаточного рівчака, часто доводиться відмовлятися від традиційної форми конічного набору й комбінувати набір у пуансоні з висаджуванням у матриці, максимально зміщуючи рознімання від середини висоти переходу (див. рис. 3.26) [2, с. 61–63].

Стовщення, розташоване на деякому віддаленні від торця стрижня, висаджується за звичайними правилами, тобто недеформована частина стрижня розміщується в пуансоні. Висаджування стовщень, що перебувають на значній відстані від торця, а також декількох стовщень здійснюється в ковзних матрицях [16, с. 418–420; 2, с. 70]. При формуванні в матрицях напуски й зсуви стовщень щодо стрижня мінімальні, однак можлива ступінчастість і різностінність поковок, поява зсувів і задирок по розніманню напівматриць. Імовірність утворення останніх збільшується в поковках складної форми із важкозаповнюваними елементами. Для таких поковок доцільніше застосовувати формування в пуансоні, що вимагає збільшення напусків на штампувальні ухили. При формуванні в пуансоні можливі зсуви стовщень щодо стрижня. Формування можна робити також частково в матрицях і частково в пуансоні.

Висаджування поковок типу кілець¹. Поковки з наскрізним отвором штампуються по кілька штук послідовно з одного прутка. Формувальний рівчак проектується за гарячими розмірами поковки. Розміри наметування залежать від способу формування (у пуансоні або в матриці). Формування в пуансоні забезпечують мінімальну різнотовщинність кільця. Утяжка під час прошивання поковок з малою товщиною стінки ($S/d_{\text{отв}} \leq 0,5$) компенсується конусоподібною формою торця переходу. За розмірами формувального переходу визначається об'єм висаджуваної частини:

$$V_{\text{выс}} = (V_{\text{ц}} + V_{\text{з}} - V_{\text{н}}) \frac{100 + \delta}{100}, \quad (3.42)$$

де $V_{\text{ц}}$ – об'єм поковки кільця з урахуванням об'єму позначки;
 $V_{\text{н}}, V_{\text{з}}$ – об'єм задирки.

¹ Відносна висота кілець $H/D \leq 0,7$.

Застосування каліброваної заготовки з допусками не нижчими ніж IT12 дозволяє виконувати штампування без задирки.

Формування без попереднього набору можливі тільки при малій відносній довжині висаджуваної заготовки ($l_b/d \leq 1$). У цьому випадку формувальний рівчак має розташовуватися в пуансоні без напрямку в матриці, що дає можливість використовувати передній упор. Діаметр заготовки приймається трохи меншим за діаметр отвору, що прошивається. Штампування за таким методом вимагає ретельного настроювання штампа й регулювання зазорів у напрямних повзуна ГKM.

Формування кільця частіше здійснюється після попереднього набору, причому розміри останнього складального переходу залежать від розмірів формувального рівчак.

Кількість і розміри попередніх складальних переходів розраховуються за загальними правилами. Якщо діаметр заготовки відрізняється від розміру отвору, що прошивається, перед прошиванням його необхідно привести до діаметра останнього.

Підйом (збільшення діаметра) виконується за один перехід, поєднаний зі штампувальним. За даними М. В. Сторожева, перетискання заготовки в 1,8 разу може бути виконане у два переходи [6, т. 2, с. 138]. Для більшого перетискання потрібно три переходи.

Таким чином, розміри діаметра заготовки встановлюються після прорахунку декількох варіантів процесу штампування кільця з вибором оптимального з них, що забезпечує мінімальне число переходів. При виборі найкращого варіанта керуються такими міркуваннями: великий діаметр заготовки дозволяє одержати більшу стабільність об'єму й відштампувати з одного нагрівання більшу кількість поковок; застосування переднього упору вимагає, щоб заготовка на 5...10 мм виступала за передній край матриці; кількість перетискних переходів не повинна перевищувати числа штампувальних рівчаків; додаткового переходу відрізки «висічки» вдається уникнути, якщо прийняти $d \leq 1.2d_{\text{отв}}$.

Висаджування втулок¹. Остаточний формувальний перехід будується за розмірами поковки. Розміри наметування, що прошивається, установлюються на підставі довідкових даних [6, т. 2, с. 128]. Об'єм формувального переходу розраховується за формулою (3.42). Формувальні переходи штампування втулок розташовують у матриці, дотримуючись таких правил. Прошивання має виконуватися шляхом роздачі, тому що зворотне видавлювання збільшує навантаження на інструмент, а поєднання прошивання з висаджуванням – ексцентричність і торцеву утяжку. Тому перед прошиванням довжина деформованої частини заготовки приймається трохи більшою, а площі поперечних перерізів трохи меншою за площі кільцевих перерізів поковки після прошивання (рис. 3.27).

Довжина тієї частини заготовки, що прошивається, $l_{\text{пр}}$, щоб уникнути втрати стійкості, обмежується відношенням $l_{\text{пр}} / d \leq 2,5$.

¹ Відносна висота втулок $H/D > 0,7$

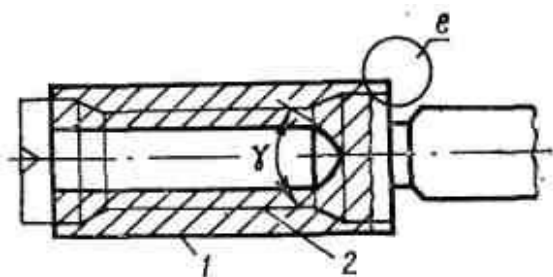


Рисунок 3.27 – Ескізи втулки після прошивання (1) і попереднього переходу (2)

Більш глибокі отвори необхідно прошивати по частинах за кілька переходів, зберігаючи в кожному переході зазначене співвідношення.

Співвісність при глибокому прошиванні ($l_{\text{пр}} / d_{\text{отв}} > 1$) забезпечується переднім центрувальним буртом або буртом з коміром (для тонкостінних поковок), які мають бути висаджені в переходах, що передують прошиванню. Кут загострення

прошивного пуансона γ приймається 60, 90 або 120 °. Зменшення кута γ і товщини стінок поковки підвищує стійкість пуансона.

Для кращого заповнення заднього кута втулки e в одному з попередніх переходів має бути висаджений задній борт, діаметр якого наближається до діаметра цієї ділянки на готовій поковці (див. рис. 3.27). Однак за умовами заповнення борту бічним видавлюванням за один перехід не вдається збільшити діаметр вихідної заготовки більш ніж в 1,2 разу.

Тому масивний фланець втулки варто розташовувати з боку висаджувального повзуна. Ще більш ефективним прийомом заповнення кута e є використання попереднього набору в конічному пуансоні з висаджуванням заднього борту [6, т. 2, с. 131, 132]. Діаметр заготовки d для висаджування втулки із зовнішнім діаметром D і внутрішнім діаметром $d_{\text{отв}}$ можна орієнтовно обчислити за формулою $d = k\sqrt{D^2 - d_{\text{отв}}^2}$. Отримане значення коректується при розрахунку розмірів переходу. Коефіцієнт k приймається рівним 0,85...0,95.

У норму витрати металу на поковки, штамповані з відділенням від прутка, включається кінцева частина заготовки, що служить для затискання в матрицях. Зменшити витрату металу можна 4–6-разовим використанням кінцевої частини, що приварюється до нової заготовки.

Економії металу сприяє також штампування втулок із заготовки, розрахованої на дві поковки [6, т. 2, с. 129]. Перша поковки кільця або втулки, штампована від прутка, що віджимається, іде в брак через незаповнення. При штампуванні першої поковки з підйомом прутка вона теж, як правило, виявляється незаповненою, оскільки заготовка не досилається до упору. Ці втрати повинні враховуватися при визначенні норми витрати металу.

Зменшує витрату металу штампування втулок з видавлюванням перемички в кулясте стовщення. Пруток на операції 3 (рис. 3.28) просічки отвору затиснутий напівматрицями з перетисканням кінцевої частини на овал, а не зрушується вільно, як при звичайній просічці (операція 3'). Заготовка з кулястим стовщенням пересувається на позицію першого переходу висаджування, при цьому виключається додаткова операція відрізки висічки 4.

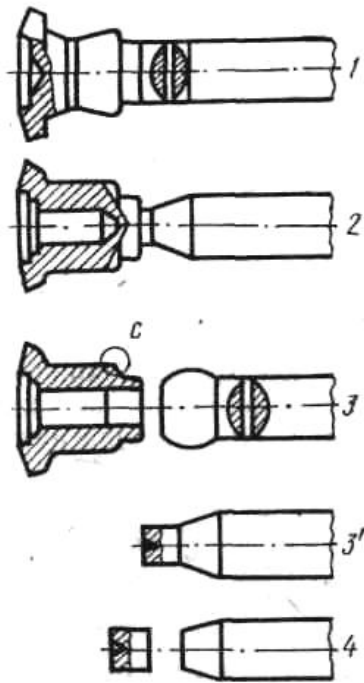


Рисунок 3.28 – Переходи висаджування (1, 2, 3, 3' 4, 5) втулки з видавлюванням металу перемички в кулясте стовщення

Висаджування поковок із труби. Переріз вихідної трубної заготовки F_0 вибирається за розмірами недеформованої частини поковки. Розмір висаджуваної частини труби l_b підраховується за формулою $l_b = V_b / F_0$. Щоб урахувати деформацію заготовки за межами формувальної частини рівчака, значення l_b приймають на 10 % більшим при висаджуванні назовні (зі збільшенням зовнішнього й внутрішнього або тільки зовнішнього діаметра трубної заготовки) і на 15...20 % більшим при багатоперехідному висаджуванні всередину.

Стовщення довільної форми на кінці труби можна висадити в один перехід, якщо $l_b \leq 2,5S$, де S – товщина стінки труби. Щоб визначити кількість і розміри переходів висаджування ділянки труби при $l_b / S > 2,5$, необхідно за графіком довідника [6, т. 2, с. 133] установити допустиме збільшення товщини S за один перехід залежно від варіанта висаджування (зменшення внутрішнього діаметра; збільшення зовнішнього; те саме, з одночасним зменшенням

внутрішнього діаметра). Площа перерізу деформованої ділянки F_1 розраховується за розмірами труби після стовщення стінки D_1, d_1 : $F_1 = \pi(D_1^2 - d_1^2) / 4$. Довжина складального переходу l_1 обчислюється за формулою $l_1 = V_\phi \cdot U / F_1$, де $U = 1,07$ – коефіцієнт запасу простору.

У наступних переходах вихідною вважається товщина стінки попереднього. Розміри останнього переходу повинні відповідати «гарячим» розмірам остаточної поковки. Зменшити кількість операцій можна попереднім висаджуванням усередину з роздачею труби в наступних переходах. Розрахунок багатоперехідного висаджування стовщень з розподілом обтиснень по підігрівах виконується на підставі досвідних співвідношень, що враховують довжину висадженої ділянки [6, т. 2, с. 135].

Визначення зусилля штампування й вибір ГKM. Зусилля штампування в кожному переході обчислюється за формулою $P = F\sigma_y k \cdot 10^{-6}$, де F – проекція площі контакту пуансона з поковкою або (в операціях прошивання) площа поверхні зрізу перемички. Коефіцієнт k установлюється за довідковими даними [6, т. 2, с. 112] залежно від схеми деформації в розглянутому переході. Значення σ_y визначається для конкретної температури штампування з урахуванням охолодження заготовки по переходах [6, т. 1, с. 35].

Зусилля штампування у відкритому остаточному рівчаку й обрізки облою розраховуються так само, як і при штампуванні на кривошипних гарячештампувальних пресах. На основі отриманих значень за довідковими даними орієнтовно вибирається типорозмір ГKM, що потім має бути уточнений за розмірами

штампового простору. Найбільше розкриття матриць обмежує максимальний діаметр висаджуваної поковки. Висота блока матриць H установлюється при проектуванні штампа. Для орієнтовних розрахунків можна використовувати формулу $H = \Sigma D_k + 0,3 \Sigma (D_k + l_k) + 10(k + 1)$, де D_k – найбільший діаметр переходу в кожному рівчаку; l_k – довжина деформованої частини в кожному рівчаку; k – кількість переходів (без відрізання висічки).

Проектування штампів ГKM здійснюється на основі отриманих у технологічних розрахунках відомостей про розміри заготовки, поковки й переходів, вид штампувальних рівчаків і про тип застосовуваного упору. Проектування виконується в такому порядку: 1) розраховуються виконавчі розміри рівчаків і зовнішні розміри вставок; 2) компонуються вставки й визначаються габаритні розміри блока матриці; 3) уточнюється типорозмір ГKM і коректується компонування вставок для блока матриць стандартних розмірів; 4) обчислюється довжина пуансонів і конструюється їхнє кріплення в стандартному пуансонотримачі; 5) креслиться загальний вигляд штампа, а при необхідності робиться деталювання.

Складальна й формувальна частини рівчака виконуються за гарячими розмірами переходу. Співвісність порожнин рівчака в матрицях і пуансоні, як правило, забезпечується напрямком пуансона матрицями із зазором, вимірюваним десятими частками міліметра [6, т. 2, с. 142, 143]. Діаметр пуансона для набору й формування в закритому рівчаку приймається меншим за діаметр відповідного переходу на величину двостороннього зазору. У відкритому рівчаку діаметр пуансона збільшується на розмір задирки [6, т. 2, с. 143]. Зовнішній діаметр пуансона з порожниною встановлюється за умовою достатньої міцності стінки.

Довжина напрямних ділянок у матриці має бути такою, щоб до моменту зіткнення із заготовкою пуансона, що має найбільшу величину робочого ходу, інші вже мали напрямок на довжині 5...8 мм. На напрямних ділянках матриць із відкритими рівчачами у разі потреби виконуються канавки для скидання окалини. Глибокі порожнини пуансонів обладнуються отворами з атмосферою для виходу повітря.

У перетискній частині рівчака на невеликій ділянці, що прилягає до висаджуваної, заготовка зменшується до діаметра $(d_0 - 0,5)$ мм, де d_0 – номінальний діаметр отвору поковки [6, т. 2, с. 139]. Більша вісь овалу рівчака для перетискання великих перерізів приймається рівною $1,15d_1$. Тут d_1 – номінальний діаметр прутка [16, с. 427]. У піднімальній частині рівчака ділянка заготовки, суміжна з висаджуваною, збільшується до діаметра $(d_0 - 0,5)$ мм. Цей розмір після підйому й перетискання служить для центрування поковки в прошивній частині рівчака. Інші розміри прошивного рівчака мають бути такими, щоб у ньому вільно розміщалися поковка, відштампована з верхніми допусками, і задирка, що утвориться у відкритому або в закритому рівчаку.

Пробивний пуансон на невеликій довжині різальної частини виконується за діаметром отвору, що пробивається, а на ділянці стебла – на 2...3 мм меншим. Центрувальний розмір і розмір робочого контуру обрізного рівчака повинні відповідати максимальному діаметру гарячої поковки з урахуванням половини верхнього відхилення. Діаметр пуансона приймається з умови дотримання нормального зазору між різальними крайками [6, т. 2, с. 147]. Профіль

затискної частини проектується так, щоб він забезпечував найбільше стискання прутка при змиканні матриць, але без утворення задирки по розніманню. З метою зменшення відходів металу довжина затискуваної частини робиться мінімальною, однак достатньою для втримання прутка.

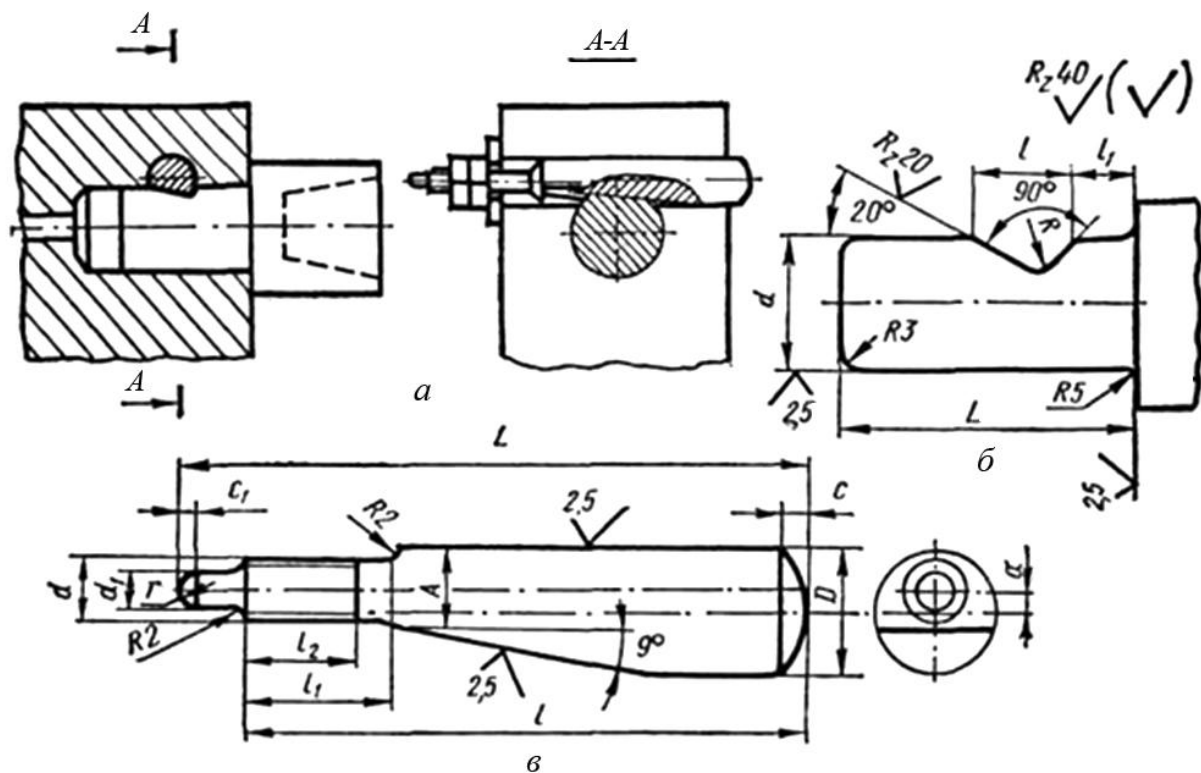
У серійному виробництві швидкоспрацьовувані елементи штампа (різальні частини пробивного й обрізного рівчаків, перетискна й піднімальна частини складальних і формувальних рівчаків, ножі для відрізання матрицями поковок від прутка й відділення висічки після пробивання) виготовляються зі вставками, розміри яких визначаються за довідником [6, т. 2, с. 139]. У масовому виробництві такі вставки мають всі елементи рівчаків [6, т. 2, с. 152]. Рівчаки бажано розташовувати згори донизу в порядку проходження переходів штампування без зсуву їхньої опорної поверхні щодо задньої базової поверхні блока матриць. Найбільша точність розмірів поковок досягається в низькорозташованих рівчаках, а максимальне зусилля ГKM розвивається на рівні головного вала машини.

Вставки монтуються в гнізда блока матриць по посадці $h7 - h9$ (СТ СЭВ 144–75) і закріплюються гвинтами. Розташовуються вставки по висоті в прийнятому порядку на відстані 10...15 мм одна від одної. Відстань між рівчаками коректується за розмірами стандартного блока матриць і відповідно до характеристики використовуваних пуансонотримачів.

Довжина блока L дорівнює сумі довжин вставок (робочої $l_{\text{вс}}$, перетискної $l_{\text{пр}}$, затискної l_3), збільшеній на товщину задньої опорної стінки $T \geq 15$ мм: $L = l_{\text{вс}} + l_{\text{пр}} + l_3 + T$. При штампуванні із заднім упором довжина блока залежить від довжини стрижня поковки й розмірів упорного пристосування. Отримане значення збільшують до найближчого більшого з ряду довжин стандартного блока [6, т. 2, с. 108]. Товщину блока B приймають за характеристикою штампового простору уточненого типорозміру ГKM.

При багатоперехідному штампуванні значна висота блока матриць часто вимагає застосування більшого типорозміру ГKM, ніж необхідно за зусиллям штампування. Щоб уникнути цього, варто зменшити висоту штампа, використовуючи, наприклад, інші типи блоків або поєднуючи операції обрізання задирки й прошивання перемички.

Пуансони доцільно виготовляти складеними, роблячи змінними найбільш спрацьовувані їхні частини. Довжина вільної частини пуансонів $l_{\text{св}}$ визначається за формулою $l_{\text{св}} = A - L - L' - (2...4)$, де A – максимальний розмір закритого штампового простору ГKM; L , L' – довжина відповідно блока матриць і пуансонотримача. Вільна частина має бути достатньою для розміщення в пуансоні рівчачових порожнин і елементів кріплення змінних деталей. Один зі способів кріплення пуансонів у тримачі поперечним клином показано на рис. 3.29, а. Розміри хвостовиків і клинів зазначено на рис. 3.29, б, в й у табл. 3.5, 3.6.



а – загальний вигляд; б – хвостовик пуансона; в – клин
Рисунок 3.29 – Схема кріплення пуансонів ГKM

Таблиця 3.5 – Розміри хвостовиків пуансонів ГKM, мм

Зусилля ГKM, МН	d (f9)	L (h14)	l (h11)	l ₁ (h11)	R (±0,5)	Зусилля ГKM, МН	d (f9)	L (h14)	l (h11)	l ₁ (h11)	R (±0,5)
1,0	35	52,5	18,5	22,5	3	10,0	70	105,0	49,0	40,0	5
1,6	40	60,0	23,5	25,0	–	12,5	80	120,0	54,0	45,0	–
2,5	45	67,5	28,5	27,5	–	16,0	90	135,0	59,5	50,0	–
4,0	50	75,0	33,5	30,0	–	20,0	100	150,0	64,5	55,0	–
6,3	55	82,5	39,0	32,5	–	25,0	110	165,0	69,5	60,0	–
8,0	60	90,0	44,0	35,0	–	31,5	120	180,0	74,5	65,0	–

На кресленні загального вигляду штампа ГKM зображується (у двох проєкціях) блок матриць із пуансонами в зімкнутому стані. На ньому зазначаються закрита висота, міжосьові, габаритні й приєднувальні розміри [2, с. 60–75]. Праворуч (або на окремому аркуші) виконуються креслення переходів і поковки за гарячими розмірами у тому положенні, як вони штампуються. У технічних вимогах до креслення зазначаються: непаралельність опорних площин під рівчакові вставки й плити блока (менш ніж 0,02% від довжини опорної поверхні); непаралельність верхньої й нижньої площин блока, а також опорних площин вставок (менш ніж 0,03 % від довжини нижньої опорної грані й довжини вставки); допустимий зсув гравюри рівчакових вставок (для остаточних рівчаків 0,1...0,2 мм, а для попередніх 0,3 мм); непаралельність відповідних граней блока (у межах половини допуску на відстань між ними); допустимі відхилення для кута між передніми опорними й нижньою встановлювальною площинами

блока, а також для кута між нижньою встановлювальною площиною й площиною рознімання матриць ($\pm 5^\circ$); найбільший зазор між матрицями в площині їхнього рознімання при установці блока з матрицями на нижню опорну площину (0,06% від висоти матриці).

Таблиця 3.6 – Розміри клинів для кріплення пуансонів ГKM, мм

Зусилля ГKM, МН	D (d11)	d(e9)	d ₁ (h14)	A (h11)	L (h12)	l (h11)	l ₁ (h11)	l ₂ (h14)	a $\pm$ $\pm 0,2$	C (h14)	C ₁ (h14)
1,0	20	M12	8,0	13	96	92	38,5	35	3,5	2,0	1,0
1,6	25	M16	11,5	17	124	119	53,0	45	4,0	2,5	1,2
2,5	30	M20	15,0	21	152	146	67,5	50	4,5	3,0	1,5
4,0	35	—	—	—	182	176	56,0	—	7,0	—	—
6,3	40	M24	18,5	25	223	215	76,5	60	7,5	4,0	2,0
8,0	45	—	—	—	263	255	69,5	—	10,0	—	—
10,0	50	M30	24,0	31	288	278	97,0	70	9,5	5,0	2,5
12,5	55	—	—	—	308	298	80,5	—	12,5	—	—
16,0	60	M36	29,5	37	332	320	107,0	80	11,5	6,0	3,0
20,0	65	—	—	—	352	340	90,5	—	14,0	—	—
25,0	70	M42	35,0	43	386	372	122,0	90	13,5	7,0	3,5
31,5	75	—	—	—	406	392	105,5	—	16,0	—	—

Габаритні розміри блока ГKM звичайно виконуються з допусками, мм: для машин зусиллям до 2,5 МН – не більше ніж $\pm 0,5$ по ширині й ± 2 по висоті й довжині; для машин зусиллям 2,5...6,3 МН – не більше ніж $^{+0,8}_{-1,0}$ ширині, ± 3 по довжині й $^{+3}_{-6}$ по висоті.

Організація робочого місця. Відстані між горизонтально-кувальними машинами, елементами будинків і суміжним устаткуванням зазначені в літературі [12, с. 181]. Нагрівальний пристрій для ГKM, що обслуговується штампувальником, розташовується праворуч¹. Заготовки на штампування подаються ланцюговим конвеєром. Агрегати ГKM зусиллям понад 16 МН оснащуються шаржир-машинами. У масовому й великосерійному виробництві подача заготовок у рівчак і передача по позиціях штампування здійснюються автоматичними перемувальними. Легше автоматизувати ГKM із горизонтальним розніманням матриць, однак є приклади комплексної автоматизації ГKM і з вертикальним розніманням [32, с. 176].

Поковки й відходи з прямика в тару подаються похилими скребковими конвеєрами. У масовому виробництві доцільна передача гарячих поковок у термоагрегати, установлені в одній лінії з ГKM.

Підвищенню стійкості штампів і поліпшенню якості поковок сприяє автоматичне змащування рівчаків водно-графітовою сумішшю ОГВ–75 або безграфітним мастилом «Прессол–3». Прошивники, які працюють у тяжких умовах, і важконавантажені рівчаки зі складними порожнинами рекомендується

¹ Для автоматизованих ГKM ця умова необов'язкова.

змашувати масло-графітовими сумішами типу ВКГ–40 або мастилами на основі нафтопродуктів (наприклад, «Укринол–7»). Однак їхнє застосування погіршує гігієнічний стан повітряного середовища на ділянці штампування, тому робочі місця необхідно оснащувати припливно-витяжною вентиляцією [13].

Приклад. Потрібно спроектувати технологічний процес штампування важеля (див. рис. 3.26,б). Діаметри сферичної головки й стрижня важеля дорівнюють відповідно 28 і 12 мм. Відстань від центра сфери до сполучення зі стрижнем становить 12,7 мм, а до кінця стрижня – 162,7 мм. У технічних вимогах на деталь застережені шорсткість твірної й торця стрижня R_z40 . Сфера методами різання не обробляється. Матеріал деталі В Ст3сп3 (ГОСТ 380), поковки гр. III (ГОСТ 8479).

За розмірами стрижня й висаджуваної головки визначаємо, що розглянута поковка може бути відштампована на ГKM номінальним зусиллям 1 МН [6, т. 1, с. 187].

У напівматрицях довжиною $L = 160$ мм стрижень поковки під час висаджування буде затиснутий на довжині близько 80 мм. Ця частина стрижня включається в масу поковки для призначення припусків і допусків. Тоді орієнтовна маса поковки $M'_п = 0,2$ кг, а описаної фігури $M_\phi = 0,5$ кг.

Обчисливши $M'_п / M_\phi = 0,2 / 0,5 = 0,4$, установлюємо групу складності: С2. Інші вихідні дані, використововувані для призначення припусків і допусків, такі: клас точності II, нагрів індукційний, група сталі М1. Розміри поковки наведено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Розміри поковки, мм

Розмір деталі	Клас чистоти	Припуск	Тип розміру	Розмір поковки з допусками	Розмір деталі	Клас чистоти	Припуск	Тип розміру	Розмір поковки з допусками
12,0	R_z40	$2 \cdot 1,4$	Н	$15^{+0,7}_{-0,4}$	12,7	–	–	А	$12^{\pm 0,3}$
28,0	–	–	Н	$28^{+0,7}_{-0,4}$	162,7	R_z40	1,6	L	$164,3^{+0,45}_{-0,25}$

Оскільки штампування планується вести без задирки, застосовуємо калібрований прокат діаметром $15_{-0,12}$ (ГОСТ 7417). За межами затискача напівматриць стрижень поковки має діаметр 15 мм із від'ємним допуском $(0,12 - 0,3) = -0,18$ мм. Інша частина стрижня виконується з допусками, зазначеними в табл. 3.7. Відстань від центра сфери до початку стрижня на поковці (12 мм) визначено графічно з урахуванням збільшення діаметра стрижня до 15 мм. Оскільки штампування буде здійснюватися зі штучної заготовки від заднього упору, допуски на довжину 164,3 мм визначаємо як для розміру типу L. У технічних вимогах на кресленні поковки обумовлюються: гр.III–HB111–156 (ГОСТ 8479); точність виготовлення – другий клас; зсув пуансона щодо матриць і по площині рознімання матриць 0,3 мм; задирка на головці й по розніманню матриць 0,5 мм; допуски на необумовлені розміри $^{+0,5}_{-0,3}$, на зовнішній ра-

діус до $r1^{+2}$, по кривизні стрижня 1 мм; інші технічні вимоги – за ГОСТ 8479.

Масу поковки із затискуваним стрижнем визначаємо з урахуванням половини додатного допуску: $M''_{\text{п}} = 0,208$ кг. Маса заготовки $M_{\text{заг}} = 0,3145$ кг. Заготовка довжиною $l_{\text{заг}} = V_{\text{заг}} / F_{\text{заг}} = 40 \cdot 10^3 / 176,6 \approx 227$ мм і площею поперечного перерізу $F_{\text{заг}} = 176,6$ мм² відрізається ножицями зусиллям 0,4 МН [6, т. 1, с. 62]. Допуски на довжину заготовки $\pm 0,8$ мм. Втрати при різанні штанги довжиною $L_{\text{р.у}} = 4000$ мм складаються з торцевих обрізків ($l_{\text{обр}} = 0,4d = 0,4 \cdot 15 = 6$ мм), втрат на неkratність ($l_{\text{р}} = 0,5l_{\text{заг}} = 0,5 \cdot 227 = 113,5$ мм) і опорного кінця ($l_{\text{оп}} = 0$, оскільки $l_{\text{заг}} = 227$ мм $> C = 70$ мм, $l_0 = l_{\text{р}} = 113,5$ мм $> C = 70$ мм,

де C – опорна база ножиць;

l_0 – довжина залишку).

Витратний коефіцієнт:

$$k_{\text{р}} = L_{\text{р.у}} / (L_{\text{р.у}} - l_{\text{обр}} - l_{\text{р}}) = 4000 / (4000 - 6 - 113) = 1,03.$$

Він використовується для визначення норми витрати металу на поковки:

$$N = k_{\text{р}} M_{\text{заг}} = 1,03 \cdot 0,3145 \approx 0,324 \text{ кг.}$$

За об'ємом висаджуваної частини поковки $V_{\text{п}}$ і задирки $V_{\text{з}}$ визначаємо об'єм висаджуваної частини заготовки:

$$V_{\text{в}} = (V_{\text{п}} + V_{\text{з}}) \frac{100+\delta}{100} = (1176 \cdot 10) \frac{100+0,5}{100} = 1182 \cdot 10 \text{ мм}^3.$$

Вигар для індукційного нагрівача приймається $\delta = 0,5$ %. Довжина висаджуваної частини заготовки розраховується за формулою:

$$l_{\text{в}} = V_{\text{в}} / F_{\text{заг}} = 1182 \cdot 10 / 176,6 = 66,9 \text{ мм,}$$

тобто $l_{\text{в}} / d = 66,9 / 15 = 4,46 > 2,5$. Отже, крім формувального, потрібні й складальні переходи.

Максимальний діаметр конічного набору $D_{\text{к}}$ залежно від діаметра прутка d рекомендується визначати за формулою $D_{\text{к}} = \varepsilon d = 1,5 \cdot 15 = 22,5$ мм. Коефіцієнт ε приймається рівним 1,5, тому що $\psi = l_{\text{в}}/d = 4,46 < 5,4$. Кульова форма висаджуваного стовщення вимагає сполучення набору в конічній порожнині пуансона й матриці (див. рис. 3.26, а). На основі геометричних співвідношень устанавлюємо, що меридіональний переріз діаметром $D_{\text{к}} = 22,5$ мм кульової поверхні відстоїть від перерізу діаметром $d = 15$ мм на $l = 3,7$ мм; тобто досить віддалений від площини рознімання в остаточному рівчаку, щоб здійснювати штампування без задирки.

Об'єм конічного набору в матриці:

$$V'_{\text{к}} = 0,262(D_{\text{к}}^2 + D_{\text{к}}d + d^2)l = 0,262(22,5^2 + 22,5 \cdot 15 + 15^2) \cdot 3,7 \approx 1,04 \cdot 10^3 \text{ мм}^3,$$

а в пуансоні $V_{\text{к}} = V'_{\text{в}} - V'_{\text{к}} = (11,76 - 1,04) \cdot 10^3 \approx 10,72 \cdot 10^3 \text{ мм}^3$. Значення $V'_{\text{к}}$ зменшене на вигар. Якщо менший діаметр конічного набору в пуансоні прийняти $d_{\text{к}} = 1,05d = 1,05 \cdot 15 = 15,75$ мм, то висота конуса становитиме:

$$l'_{\text{к}} = V_{\text{к}} / [0,262(D_{\text{до}}^2 + d_{\text{к}}D_{\text{к}} + d_{\text{к}}^2)] = 10,72 \cdot 1,07 / [0,262(22,5^2 + 22,5 \cdot 15,7 + 15,7^2)] \cdot 10^3 = 39,5 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт запасу об'єму порожнини $U = 1,07$. Загальна довжина складального переходу $l_{\text{к}} = l + l'_{\text{к}} = 3,7 + 39,5 = 43,2$ мм. Середній діаметр набору $D_{\text{ср}} = (D_{\text{к}} + d_{\text{к}})/2 = (22,5 + 15,7)/2 \approx 19$ мм. Оскільки $l_{\text{к}} / D_{\text{ср}} = 43,2/19 \approx 2,27 < 2,5$, наступний перехід може бути остаточним.

Допустимий температурний інтервал штампування прийнятої сталі становить 1280...750 °С. Визначимо зусилля штампування, вважаючи, що заготов-

ка надходить у складальний ривчак при температурі 1200 °С, а межа міцності σ_y матеріалу дорівнює 200 МПа [6, т. 1, с. 34]. У складальному переході:

$$P = \pi D_{\kappa}^2 \sigma_B \cdot 10^{-6} = 3,14 \cdot 22,5^2 \cdot 200 \cdot 10^{-6} \approx 0,3 \text{ МН.}$$

Зусилля формування сфери діаметром D :

$$P = (\pi D^2 \kappa \sigma_B / 4) \cdot 10^{-6} = (\pi \cdot 28^2 \cdot 1,2 \cdot 200 / 4) \cdot 10^{-6} \approx 0,15 \text{ МН.}$$

Коефіцієнт $k = f(D/d) = 1,2$ визначений за діаграмою [6, т. 2, с. 112].

Розраховуємо розміри інструмента, орієнтуючись на штамповий простір ГKM зусиллям 1 МН. Набір здійснюється в пуансоні з напрямком за діаметром у матриці:

$$D_{\text{пл}} = D_{\kappa} + 0,2(D_{\kappa} + l'_{\kappa}) + 5 = 22,5 + 0,2(22,5 + 39,5) + 5 \approx 40 \text{ мм.}$$

Діаметр порожнини в матриці $D_{\text{м1}} = D_{\text{пл}} + 2\delta_1 = 40 + 2 \cdot 0,6 = 41,2 \text{ мм}$. Величину зазору δ_1 приймаємо за довідником [6, т. 2, с. 142]. Довжина напрямної частини порожнини матриці $l_{\text{м1}} = (l_{\text{в}} + 0,5d) - l_{\kappa} = (66,9 + 0,5 \cdot 15) - 43,2 = 31,2 \text{ мм}$.

Зовнішній максимальний діаметр вставки:

$$D_{\text{вс}} = D_{\text{м1}} + 2t_1 + 2h = 41,2 + 2 \cdot 10 + 2 \cdot 6 \approx 74 \text{ мм.}$$

Тут товщина стінки матриці t_1 і висота заплічок h установлені за довідковим даними [6, т. 2, с. 152]. Ривчак можна розмістити у вставці довжиною: $l_{\text{вс1}} = l_{\text{м1}} + l + 10 = 31,2 + 3,7 + 10 \approx 45 \text{ мм}$. Напрячний діаметр формувального пуансона $D_{\text{п2}} = D + 0,4(D + 0,5D) + 10 = 28 + 0,4(28 + 14) + 10 \approx 55 \text{ мм}$. Діаметр порожнини формувальної матриці $D_{\text{м2}} = D_{\text{п2}} + 2\delta = 55 + 2 \cdot 0,3 = 55,6 \text{ мм}$. Зазор між пуансоном і матрицею прийнятий за рекомендаціями [6, т. 2, с. 143]. Зовнішній максимальний діаметр вставки $D_{\text{вс2}} = D_{\text{м2}} + 2t_2 + 2h = 55,6 + 2 \cdot 12 + 2,6 \approx 82 \text{ мм}$.

Довжина напрямної частини порожнини матриці:

$$l_{\text{м2}} = l'_{\kappa} + 0,5d = 39,5 + 0,5 \cdot 15 = 47 \text{ мм.}$$

Загальна довжина вставки формувального переходу:

$$l_{\text{вс2}} = l_{\text{м2}} + l_{\text{п2}} + 10 = 47 + 12 + 10 = 69 \text{ мм,}$$

де $l_{\text{п2}}$ – висота сфери, формованої у матриці (див. рис. 3.26,б). Доцільно довжину вставок прийняти однаковою $l_{\text{вс1}} = l_{\text{вс2}} = 69 \text{ мм}$.

Якщо довжина напівматриць $L = 160 \text{ мм}$, то довжина затискних вставок $l_{\text{затж}} = L - l_{\text{вс2}} - 20 = 160 - 69 - 20 = 71 \text{ мм}$. На затискну ділянку робочих вставок припадає 10 мм довжини стрижня, тобто загальна довжина останнього 81 мм. Маса висаджуваної частини разом із затискуваною частиною стрижня $M''_{\text{п}} = 0,209 \text{ кг}$, що підтверджує правильність прийнятої підгрупи за масою.

Необхідна довжина гладкого затискного ривчака становить 100 мм. Через недостатню довжину затискної ділянки матриць штампування доводиться здійснювати не від переднього, а від заднього упору, прикріпленого до штампа. Це враховується в допусках на довжину стрижня поковки. Необхідна висота напівматриць $H = D_{\text{вс1}} + D_{\text{вс2}} + 3t = 74 + 82 + 3 \cdot 15 = 201 \text{ мм} < 250 \text{ мм}$ [6, т. 2 с. 108]. Отже, габарити матриць ГKM зусиллям 1 МН дозволяють зробити штампування даної деталі.

3.6 Проектування процесів штампування на гвинтових пресах

ГОСТ 713 регламентує параметри й розміри гвинтових пресів зусиллям від 0,4 до 100 МН, призначених для гарячого й холодного штампування. На них

виготовляють поковки загального призначення різноманітної форми. Сучасні способи кріплення допускають установку на прес складних складених штампів. Відсутність небезпеки заклинювання й наявність виштовхувачів дозволяє здійснювати штампування видавлюванням, у закритих штампах, а також у різних матрицях. На гвинтових пресах виконується висаджування головок стрижневих поковок. Однак ці преси мають обмежене число ходів і недостатню продуктивність. Напрямні повзуна не витримують позацентрових робочих навантажень, що виключає багаторівчачове штампування. Щоб уникнути перевитрати металу в однорівчачовому штампі заготовки профілюють на спеціальному устаткуванні. На Волзькому автомобільному заводі напівфабрикати, отримані в електровисаджувальних машинах, штампують на фрикційному пресі без додаткового підігріву. Обрізку й гнуття, що не потребують значних зусиль, здійснюють у рівчачах, розташованих на краю штампа. На лініях, що складаються з двох електровисаджувальних машин і гвинтового преса, можна випускати 260 поковок за годину при гарній їхній якості й ощадливій витраті металу.

Припуски на механічну обробку й допуски на поковки визначаються за загальними правилами, а на видавлюванні стрижні і стрижні поковок, що висаджуються, – за таблицею, наведеною в довіднику [6, т. 2, с. 88]. Штампувальні ухили, радіуси закруглень, позначки під прошивання також установлюються за спеціальними рекомендаціями [6, т. 2, с. 87]. Товщина задирки вибирається трохи більшою, ніж при штампуванні на молоті. Проектуючи переходи, необхідно прагнути до спрощення форми розрахункової заготовки або планувати її одержання на інших видах устаткування. Якщо це неможливо або недоцільно, заготовка вибирається за максимальним перерізом поковки. Збільшення витрати металу на інших ділянках має бути враховане при виборі форми й розмірів задиркової канавки.

Необхідне зусилля преса орієнтовно можна розрахувати за емпіричними формулами [6, т. 2, с. 91]. Однак при виборі преса варто мати на увазі, що розвинута ним енергія залежить від закритої висоти штампа, тому в характеристиці машини за ГОСТ 713 вказується ефективна номінальна енергія й хід повзуна, при якому вона досягається.

3.7 Штампування на гідравлічних пресах

Масивні й великогабаритні поковки типу вагонних коліс, ребристих панелей штампуються на гідравлічних штампувальних пресах зусиллям 50...750 МН. Гідравлічні преси зусиллями понад 4 МН використовуються для штампування малопластичних матеріалів. Штампування тонкостінних гільз глибоким прошиванням і протяганням здійснюється на спеціалізованих гідравлічних пресах зусиллям 1,5...30 МН із великою величиною ходу поперечки.

Поковки, штамповані на гідравлічних пресах, не відрізняються великою точністю, тому припуски, обумовлені за ГОСТ 7505, рекомендується збільшувати на 50...75 %. Припуски й допуски на розміри поковок, зсув по площині рознімання штампа, штампувальні ухили, радіуси закруглення, жолоблення штампованих поковок з алюмінієвих, магнієвих і титанових сплавів наведені в спе-

ціальній літературі [7].

У пустотілих поковках, що прошиваються, важко витримати рівномірну товщину стінок, тому доводиться призначати збільшений припуск за діаметром [6, т. 2, с. 66]. Технологія одержання пустотілих тонкостінних поковок включає операції осадження нагрітої заготовки, прошивання глухої порожнини, протягання до необхідної товщини стінки через протяжні кільця й у необхідних випадках пробивання дна. Задовільна стійкість інструмента забезпечується прошиванням з відношенням діаметрів пуансона й матриці $d / D = 0,3 \dots 0,5$. Щоб при протяганні пуансон площею поперечного перерізу f_2 не продавив дно виробу, необхідно дотримувати наступної умови $F_1 - F_2 \leq 0,4f_2$, де F_1, F_2 – площа поперечного перерізу відповідно прошитої й протягнутої заготовок. Розриву стінок не відбудеться, якщо $F_1 - F_2 \leq F_2$. Необхідне зусилля преса для штампування великогабаритних фасонних поковок можна зменшити, застосовуючи секційні або клинові з вертикальним розніманням штампи. Ребристі панелі штампують у два переходи. У попередньому рівчаку зі зворотного до ребер боку панелі набираються стовщення, що сприяють заповненню ребер в остаточному рівчаку. Як інструмент на потужних гідравлічних пресах використовуються штампові набори, що складаються із власне штампів і підштампових плит.

Найкращі умови деформування кольорових сплавів досягаються при рівності температур штампа й заготовки, тому для штампів гідравлічних пресів рекомендується індукційне нагрівання. Плоскі індуктори, виготовлені з мідної трубки без водяного охолодження, охоплюють штамп по периметру й з боку опорної поверхні й забезпечують рівномірне нагрівання гравюри з перепадом не більш ніж 60°C по поверхні й $100 \dots 150^\circ\text{C}$ по висоті штампа.

Висота штампового набору й розміри в плані вибираються такими, щоб контактна напруга на поверхні стола преса була не вищою ніж 80 МПа , а напруги вигину в плитах штампового набору не перевищували допустимих. На тонких площинах великогабаритних штампованих поковок різновтовщинність порівнянна з товщиною поковки. Точність штампування збільшується коректуванням (профілюванням) фігури штампа за розрахунковим значенням пружних деформацій.

4 ХОЛОДНЕ ОБ'ЄМНЕ ШТАМПУВАННЯ НА ПРЕСАХ І АВТОМАТАХ

4.1 Вихідні матеріали для холодного штампування

Вимоги до штампованих матеріалів. Матеріал заготовки для холодного видавлювання має обмеження за вмістом вуглецю й легуючих елементів, %: до 0,35 С; не більше ніж 1,5 Мn; 1,5 Cr; 0,75 Ni; 0,5 Mo; 0,3 Si. Холодному висаджуванню піддаються сталі, що включають до 0,5 % С, з обмеженим вмістом кремнію, сірки, фосфору, нікелю, міді й миш'яку. Використання для висаджування сталей за ГОСТ 1050 і ГОСТ 4543 може призвести до масового браку.

Рекомендований інтервал твердості сталі для висаджування НВ = 150...260. Граничний ступінь деформації різних марок сталі при осаджуванні й висаджуванні наведено в довіднику [31, с. 33]. Штампованість сталей при видавлюванні визначається залежно від схеми напружено-деформованого стану.

Розподіл матеріалу на заготовки. У масовому виробництві доцільно використовувати калібрований прокат. Для висаджування й штампування на автоматах застосовуються калібровані прутки й дріт у бунтах з допусками на розміри поперечного перерізу за IT8 – IT11. Більш технологічні розміри можна одержати калібруванням гарячекатаного прокату на заводі-споживачі.

Потрібна точність заготовок із гарячекатаного прокату досягається різанням на ножицях, обладнаних різноманітними дозувальними пристроями [16, с. 65]. Дозування за схемою, розробленою Харківською філією інституту автоматики й ЕН-ДІКМАШем, дозволяє розрізати заготовки з погрішністю за масою в 1,8...4,6 %.

Високу точність заготовки й перпендикулярність торців забезпечує використання ножиць точного різання й штампів з диференційованим затискачем. Різання заготовок на однопозиційних автоматах доцільно поєднувати з калібруванням, формуванням фасок і наметуванням. Штучні заготовки при відношенні висоти до діаметра $h/d \leq 1$ одержують вирубуванням із листа або смуги, у тому числі чистовим вирубуванням із зачищенням. Дорогі трубні заготовки з успіхом можуть бути замінені кільцевими, які штампуються на автоматах або зварюються з дроту й штаби.

Допуск на об'єм вихідної заготовки повинен бути меншим або дорівнювати допуску на об'єм деталі. Якщо одержати заготовку заданої точності неможливо, необхідно передбачити надлишок металу у вигляді компенсатора, задирки, припусків за довжиною або висотою деталі.

Підготовка заготовок до штампування. Попередню термообробку заготовок роблять в основному після калібрування й інших підготовчих операцій для підвищення штампованості. Перед редукуванням будь-яких сталей, висаджуванням, осаджуванням і прямим видавлюванням зі ступенем деформації до 50 % сталей перших двох груп, а також перед висаджуванням зі ступенем деформації до 40% сталей третьої групи термообробка не потрібна [31, с. 100]. При складній формі штампованих заготовок і значній мірі деформації вводиться ще й проміжна термообробка.

Підготовка поверхні заготовок перед холодним об'ємним штампуванням є

обов'язковою умовою його успішного здійснення. Очищення поверхні від окалини й забруднень виконується механічним і хімічним шляхом спільно або послідовно. Мастило наносять безпосередньо на очищену поверхню або на проміжний шар носія мастила. Найкращим носієм є фосфатований шар, що сам відіграє роль мастила, а крім того, добре адсорбує такі речовини, як мило, мастило та ін., міцно утримуючи їх на своїй поверхні. Різні способи підготовки поверхні, у тому числі кілька варіантів фосфатування з подальшим омилюванням, описані в довіднику [31, с. 134].

Високоякісним мастилом, що використовується навіть без попереднього фосфатування, є сульфід молібдену MoS_2 . Заготовки легованих і нержавіючих сталей покривають лаками. Для висаджування зі ступенем деформації до 40 % обмежуються нанесенням мастила перед волочінням. У більш складних процесах деформації потрібне поновлення мастильного шару перед штампуванням і в проміжку між переходами.

4.2 Розробка креслення деталі

Технологічність деталей, штампованих на пресі. Холодне об'ємне штампування заміняє різання, і тільки окремі елементи (зарізьбові канавки, отвори діаметром менш ніж 5 мм і деякі інші) вимагають застосування метало-різального устаткування. Тому креслення штампованої деталі й готового виробу збігаються, отже, їх необхідно привести у відповідність зі способом формоутворення.

Оскільки при холодному штампуванні матеріал зміцнюється, його доцільно замінити на більш пластичний, але без зниження експлуатаційних властивостей деталі. Рекомендації щодо заміни сталі при переведенні деталей з обробки різанням на штампування видавлюванням наведені в довіднику [31, с. 139].

Технологічність конструктивної форми штампованих деталей забезпечується оптимальним співвідношенням геометричних розмірів, точністю й чистотою поверхонь. Для пустотілих виробів, які штампуються видавлюванням, у рекомендованих границях повинні бути витримані величина й форма уступів, фланців, шліців, канавок, зубів, пазів, товщина стінок, форма дна, розміри радіусів. Допуски на внутрішні й зовнішні розміри, товщину стінки й дна пустотілих деталей визначаються за таблицями довідника [31, с. 146–147]. Чистота поверхні залежить від умов її утворення й коливається від $R_z 20$ до $R_a 0,32$. У технічних умовах для пустотілої штампованої деталі вказуються допуски на бочкоподібність, різнотовщинність, овальність і неплощинність дна.

Технологічність форми стрижневих деталей, що видавлюються, досягається регламентованою формою й розмірами уступів, шліців, канавок, пазів, радіусів. Допуски елементів, що видавлюються, установлюються залежно від їхніх розмірів. Чистота поверхні становить $R_a 0,08$ – $R_a 0,63$, але окремі ризики знижують якість до $R_a 0,16$ – $R_a 2,5$. У технічних вимогах на стрижневі елементи, що видавлюються, має бути зазначено, який прогин допускається.

База лінійних розмірів штампованих деталей визначається положенням опорної частини штампа або торця пуансона. Стабільність бази гарантується

жорсткістю преса. Таким чином, допуски, зазначені в таблицях довідника [31, с. 146], справедливі тільки для розмірів за висотою, проставлених від єдиної бази. У необхідних випадках на кресленні деталі вказуються припуски для компенсації надлишку металу в заготовці [31, с.154].

Вимоги до деталей, що висаджуються. Порівнянням допусків на розміри штампованої деталі й робочого інструменту визначається можливість і доцільність штампування деталі на холодновисаджувальному автоматі без подальшої механічної обробки. Різниця допусків дає величину зношування інструменту, яка допускається. Для зносостійкого твердосплавного інструменту досить залишати на зношування 0,03...0,06 мм на бік, а для сталевого – десяті частки міліметра. Довжина стовщеної частини підголовка стрижневих виробів, щоб уникнути незаповнення, не повинна перевищувати півтора діаметра стрижня.

Елементи деталі, оформлювані в матриці, не мають штампувальних ухилів і відрізняються підвищеною співвісністю – 0,03...0,06 мм. Биття опорного торця висаджуваних стовщень щодо осі стрижня становить до 0,05 мм, а биття елементів, висаджених у пуансоні, відносно елементів, висаджених у матриці, – 0,15...0,30 мм. У порожнині пуансона легше заповнюються кути й важкозаповнювані елементи. Високі циліндричні головки, оформлювані в пуансоні, забезпечуються штампувальними ухилами в межах допуску на поперечний розмір головки, але не менш ніж 10...30'. При цьому близько 25 % допуску необхідно залишати на зношування інструменту. Елементи деталі, що висаджуються в порожнині матриці, виконуються без штампувальних ухилів.

4.3 Проектування переходів штампування

Переходи штампування на пресі. При попередньому калібруванні досягається точність розмірів заготовки, усувається еліпсність перерізу, поздовжня кривизна й непаралельність торців. Одночасно можна виконати керніння торців, наметування й фаски. Останні зменшують імовірність кільцевого відколювання за зовнішнім контуром дна пустотілого виробу, одержуваного зворотним видавлюванням, а в суцільних деталей – плин металу в торцеву задирку. Перед висаджуванням, редукуванням і видавлюванням суцільного стрижня калібрування не роблять. Після закінченні калібрування заготовка надходить на формозмінні операції. Термообробка й підготовка поверхні після попередніх операцій необхідна тільки у випадках поєднання калібрування з формуванням зі ступенем деформації заготовок $e \geq 15\%$ зі сталей 2–7 груп [31, с. 100].

Перш ніж вибрати основні штампувальні операції, варто встановити, до якого класу, групи й підгрупи класифікаційної таблиці належить деталь [31, с. 102]. Операції необхідно розподілити так, щоб забезпечити одержання деталей високої якості, без руйнування, з мінімальними навантаженнями на інструмент і максимальною продуктивністю. У масовому виробництві економічно виправданою є заміна одного важко навантаженого переходу двома або кількома менш навантаженими із застосуванням багатопозиційного штампа.

Суцільні східчасті деталі одержують прямим видавлюванням, редукуванням і висаджуванням. Редукування дозволяє виконувати двобічні уступи з мі-

німальним зусиллям, однак воно може бути здійснено тільки для $e \leq 0,15 \dots 0,33$. Більш високий ступінь деформації досягається видавлюванням, що здійснюють послідовно по шаблях, а на утворення кожного нового шабля потрібен додатковий перехід. Першим видавлюється щабель із найменшими розмірами перерізу, а подальші – у порядку їхнього збільшення. Застосування висаджування одночасно з видавлюванням або редукуванням сприяє скороченню числа переходів і збільшенню відношень площ шаблів.

Пустотілі вироби з дном виготовляють зворотним видавлюванням зі ступенем деформації до 40 %, що забезпечують помірні навантаження на інструмент. Подальшого зменшення навантажень можна домогтися завдяки оптимальній геометрії робочої частини пуансона, зниженням реактивної складової від сил тертя на контактних поверхнях пуансона й матриці. Використання активних сил тертя, що виникають при відносному переміщенні матриці в напрямку плину металу, також дозволяє знизити навантаження на 30...37 %. Пряме видавлювання порожньої деталі недоцільне, тому що конструкція штампа ускладнюється.

Товщину стінки пустотілого виробу можна зменшити прямим видавлюванням з подальшим редукуванням (або волочінням, обтисканням, витягуванням зі стоншенням стінки тощо). Довгі пустотілі вироби одержують двобічним видавлюванням, при якому зменшуються довжина прошивного пуансона й тиск (приблизно на 20 %).

Переходи штампування порожніх багатогранних деталей типу гайок повинні забезпечувати сприятливі умови для заповнення кутів. Фланець на поковці можна одержати висаджуванням або радіальним видавлюванням. Ці операції доцільно поєднувати з прямим і зворотним видавлюванням. Таким чином, схема переходів штампування рідко буває однозначною. Найчастіше складають кілька варіантів переходів, роблять їхню порівняльну оцінку за величиною зусиль, пластичністю матеріалу, складністю, вартістю й очікуваною стійкістю оснащення. Обрана схема переходів є основою для розрахунку проміжних і вихідних форм заготовки, розміри яких визначають у зворотному порядку щодо проходження переходів з урахуванням необхідних зазорів між заготовкою й інструментом, зміни їхніх розмірів під час деформації й після видалення виробу зі штампа.

Допуски на розміри заготовки в кожному переході T одержують підсумовуванням допусків на виготовлення інструменту T_m і його зношування T_n :

$$T = T_m + T_n . \quad (4.1)$$

Точність виготовлення інструменту задається й зазвичай відповідає ІТ 6 (СТ СЕВ 145–75). Розміри переходів і робочих елементів штампів необхідно розраховувати одночасно. Номінальні розміри формотвірних порожнин призначають максимально близькими до найменших розмірів переходів, передбачаючи зазор між інструментом і заготовкою, що завантажуються.

Припустімо, що в попередньому переході на незношеному інструменті відштамповано виріб з розміром напрямної частини $N_{i-1H_{i-1}(+, -, 0)}^{B_{i-1}(+, -, 0)}$, який подається в наступну незношену порожнину з розміром $N_{iH_i(+, -, 0)}^{B_i(+, -, 0)}$, де B, H – алгебраїчно більший (верхній) і менший (нижній) допуски, які можуть мати знаки «плюс» і «мінус» і перетворюватися на 0. Тоді мінімальний $2S_{\min}$ і максимальний $2S_{\max}$ зазори:

$$2S_{\min} = N_i + H_i - N_{i-1} - B_{i-1}; \quad (4.2)$$

$$2S_{\max} = N_i + B_i - N_{i-1} - H_{i-1}. \quad (4.3)$$

Для виступів (оправок) штампа з розмірами N_i формули (4.2), (4.3) записуються в такий спосіб:

$$2S_{\min} = N_{i-1} + H_{i-1} - N_i - B_i; \quad (4.4)$$

$$2S_{\max} = N_{i-1} + B_{i-1} - N_i - H_i. \quad (4.5)$$

Після зношування $(i - 1)$ -го рівчачка на величину u_{i-1} і i -го рівчачка на u_i обидва зазори змінюються на $(u_i - u_{i-1})$, тобто збільшуються або зменшуються при відповідно меншому й більшому зношуванні попереднього рівчачка.

Нормальна робота штампа забезпечується при однобічному зазорі між каліброваною заготовкою із західною фаскою й інструментом $S_{\min} = 0,05 \dots 0,1$ мм для операції зворотного видавлювання й $S_{\min} = 0,4 \dots 0,5$ мм для висаджування, прямого видавлювання й редукування. За значенням $S_{\max}$ оцінюється максимальна деформація, ексцентричність навантажень на пуансон, припустимі різностінність і неспіввісність щаблів.

Після виштовхування виробу зі штампа заготовка й інструмент змінюють розміри внаслідок пружної деформації й температурного ефекту на величину відповідно ΔZ_ϵ і ΔI_ϵ , ΔZ_t і ΔI_t . Пружні й температурні деформації в безперервному процесі штампування стабільні. Вони встановлюються при попередньому розрахунку й уточнюються експериментально під час налагодження технологічного процесу. За розмірами переходів визначаються ступінь деформації (у даному переході й сумарний), а також зусилля, тиск і величина робочого ходу. Показники деформації розраховуються за геометричними розмірами заготовки й деталі. За переходами підсумовуються тільки логарифмічні деформації. Резерв пластичності матеріалу перевіряється порівнянням отриманих результатів із припустимими для даного матеріалу в аналогічних умовах формозміни [31, с. 100].

Переходи штампування на холодновисаджувальних автоматах. Холодне об'ємне штампування й висаджування на автоматах економічно виправдані в масовому виробництві деталей довжиною до 400 мм із заготовок діаметром до 52 мм. Найбільшого поширення набуло штампування на автоматах дрібних деталей зі стрижнем діаметром у 16 мм.

На однопозиційних автоматах висаджування здійснюється в один-три переходи. Цільна матриця дозволяє одночасно з висаджуванням робити одноразове редукування частини стрижня, пряме й зворотне видавлювання, формування виступів, виїмок і т.п. У різних матрицях поруч із висаджуванням можна планувати операції плющення й гнуття стрижня. Технологічні переходи штампування виробів типу гвинтів на однопозиційних автоматах включають відрізання заготовок і перенесення їх на позицію висаджування, редукування кінця стрижня під накатку нарізки або формоутворення фаски на торці, висадження головки в конічному пуансоні (на багатоударних автоматах) і остаточне формування циліндричної головки із задиркою або без неї. Остаточне оформлення хрестоподібного шліца, внутрішнього шестигранника й обрізання задирки виконуються на автоматі повторного висаджування (обрізного).

Технічні характеристики однопозиційних автоматів регламентовані ГОСТ 12933, ГОСТ 12912, а обрізних ГОСТ 5626.

Операційні можливості однопозиційних автоматів із цільною й різнімною матрицями обмежують номенклатуру штампованих виробів. Як правило, це деталі найпростішої форми, нерівномічні за поздовжнім перерізом (суцільні й пустотілі заклепки, заготовки гвинтів без нарізки з напівкруглою, потаємною й циліндричними головками, гвинти для дерева з вусом, квадратними підголовками).

У багатопозиційних автоматах роблять редукування, пряме й зворотне видавлювання, осадку, висадку, обрізання за контуром, пробивання отворів та ін. Така різноманітність операцій визначає практично необмежену номенклатуру штампованих виробів. З усіх різновидів схем штампування на багатопозиційних автоматах виробів типу болтів варто віддавати перевагу тим схемам, у яких досягається найбільше зміцнення стрижня при помірному зростанні опору деформування на головці. Необхідно, крім того, зіставити стійкість інструменту при обрізанні головки болта на шестигранник і при формуванні шестигранної головки, щоб вибрати найкращий варіант схеми штампування. Залежно від марки, якості матеріалу, форми перерізу заготовок і розміру штампованих гайок вибирається схема штампування на чотири-, п'яти- або трипозиційному автоматі, що забезпечує задовільну стійкість інструменту.

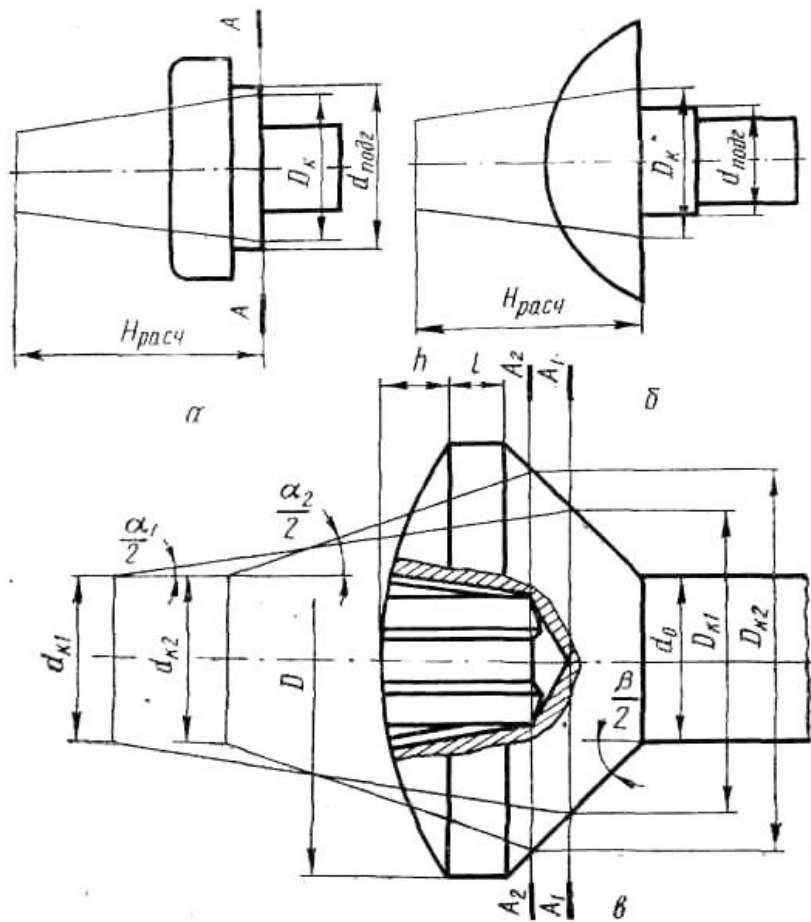
Крім таких специфічних деталей, як гвинти, болти, гайки, кульки, цвяхи, на автоматах, особливо багатопозиційних, штамнують різноманітні деталі загального машинобудування. Розробляючи технологічний процес штампування нової деталі, її ідентифікують з освоєними деталями однієї з трьох груп [31, с. 286–289]. Це допомагає розробити варіанти переходів, кількість яких має збігатися з числом позицій використовуваного автомата. Кращим варіантом вважається той, при якому навантаження рівномірно розподіляється за переходами, що підвищує стійкість штампа, поліпшує умови роботи напрямних повзунів і, отже, благотворно позначається на стійкості інструменту.

Технічні характеристики вітчизняних багатопозиційних автоматів для штампування деталей стрижневого типу регламентовані ГОСТ 9861, а для коротких – ГОСТ 6414. Фірма Hatebur постачає в нашу країну три типи холодно-висаджувальних автоматів.

Система автоматів «Polimatic» складається з двох або трьох окремих машин моделей РКЕ10 (РКЗ1) і РКЕ16 (РКЗ1^{1/2}), які дозволяють штампувати короткі вироби максимальним діаметром до 20 і 32 мм, відповідно.

Чотирьопозиційні холодно-висаджувальні автомати «Boltmatic» моделей ВКА2 – ВКА5 призначені для штампування виробів максимальним діаметром від 28 до 64 мм. На швидкісних п'ятипозиційних автоматах «Coldmatic» моделей АКР 3–5, АКР 4–5, АКР 5–5 висаджуються вироби максимальним діаметром у 20, 28 і 38 мм відповідно.

Об'єм висадки $V_{\text{розрах}}$ при розрахунку переходів визначається за розмірами деформованої частини деталі. При цьому висота останньої підраховується за формулою $H_{\text{розрах}} = H_{\text{min}} + 0,25\Delta$, де H_{min} – найменша висота деталі; Δ – допуск на висоту.



а – підголовок великого діаметра; б – підголовок
малого діаметра; в – головка з потаєм

Рисунок 4.1 – Переходи висаджування на автоматі

Невисокий підголовок великого діаметра, у поперечний розмір якого передбачається вписувати більшу основу складального переходу (рис. 4.1, а), включається в об'єм $V_{розрах}$. Якщо підголовок відрізняється від стрижня на величину 0,1...0,3 мм (рис. 4.1, б), то об'єм підголовка не враховується й при розрахунку довжини висаджуваної частини заготовки h_0 :

$$h_0 = 1,27 \frac{V_{розрах}}{d_0^2 \text{ ср}}, \quad (4.6).$$

де $d_0 \text{ ср}$ – середній діаметр вихідної заготовки.

Масивний підголовок, об'єм якого $V_{подг}$ не увійшов в об'єм $V_{розрах}$, береться до уваги при визначенні h_0 :

$$h_0 = 1,27 \frac{V_{розрах} + V_{подг}}{d_0^2 \text{ ср}}. \quad (4.7)$$

Формула (4.7) використовується для розрахунку деталей з потаєм (рис. 4.1, в). У цьому випадку величина $V_{розрах}$ включає об'єм головки, що відтинається площиною A_1A_1 , яка проходить через більшу основу конічного набору, а значення $V_{подг}$ – частину потаю, що залишилася.

Кількість переходів висадки k залежить від стійкості висаджуваної частини заготовки, її розмірів h_0 , d_0 і діаметра стовщення D :

$$k = f\left(\frac{h_0}{d_0}, \frac{D}{d_0}\right).$$

Одноперехідна висадка деталей з великим діаметром стрижня допускається при $\psi_d = h_0/d_0 = 2,3 \dots 2,6$, але для заготовки діаметром у $d_0 \leq 12$ мм значення ψ_d знижується до $1,7 \dots 2,3$. Визначаючи кількість переходів, необхідно також урахувати якість зрізу заготовки відрізним ножом і стан автомата (величина зазорів у напрямних повзуна, пуансонних полозків, ножового штока). Незважаючи на малу відносну довжину висаджуваної заготовки ($\psi_d < 2,3$), формоутворення головки деталі варто робити за два переходи попереднім і остаточним паунсоном, якщо висаджуються деталі, до яких висувуються підвищені вимоги співвісності стрижня й головки, точності розмірів за висотою потайних й еліптичних головок.

Діаметр меншої основи конічного набору d_{k1} вибирається з таблиці [31, с. 321] таким, що дорівнює або трохи менший за мінімальний діаметр прутка d_{0min} . У другому складальному переході діаметр d_{k2} визначається за тією ж таблицею, але замість d_{0min} підставляється d_{k1} . Кут конусності α приймається таким, що дорівнює $3 \dots 12$.

Діаметр великої основи конічного набору об'ємом $V_{розрах}$ розраховується за формулами, наведеними в довіднику [31, с. 323], залежно від кутів конусності набору α і потая β , розмірів головки R , l , радіуса меншої основи конуса r_k і об'єму шліца $V_{ш}$ (рис. 4.1, в). У другому переході об'єм конуса $V_{розрах}$ висаджується в пуансоні, зменшується в міру збільшення діаметра D_{k2} , що відтинається основною площиною A_2A_2 . Потім необхідно перевірити, щоб діаметр D_k уписувався в контур перерізу підголовка. Допускається лише незначне його перевищення над мінімальним поперечним розміром підголовка $d_{подг}$, тобто $D_k \leq d_{подг} + (0,1 \dots 0,5)$ мм. Якщо нерівність не дотримується, розміри конічного набору коректуються зміною кута α або положенням основної площини. Висота конуса розраховується в такий спосіб:

$$H_{розрах} = ctg \frac{\alpha_k}{2} (R_k - r_k) . \quad (4.8)$$

Варто мати на увазі, що необхідність коректування форми набору може виникнути й після проектування пуансона. Щоб уникнути незаповнення сферичної головки штампованої деталі, застосовується набір спеціальної форми з редукуванням кінця стрижня біля вершини конуса.

4.4 Вибір технологічного устаткування

Зусилля холодного об'ємного штампування на пресах і автоматах визначаються за формулами, наведеними в довіднику [31, с. 183–191, 295–310]. Правильність розрахункових зусиль значною мірою залежить від точності визначення напруги плинності (справжнього опору деформуванню) штампованого матеріалу. Для цього необхідно користуватися кривими зміцнення, побудованими при випробуванні зразків, що зазнали того виду термічної й пластичної обробки, якому піддають заготовки перед розглянутою операцією штампування.

Механічні преси, призначені для холодного видавлювання, відрізняються підвищеною твердістю й точністю напрямку повзуна. Доцільно використовувати преси з електронними пристосуваннями, що регулюють швидкість переміщення пуансона й величину технологічних зусиль протягом усієї операції вида-

влювання. Вибір штампувального устаткування із жорстким ходом здійснюється зіставленням графіків технологічних і допускних зусиль на повзуні, з подальшою перевіркою працездатності машини щодо запасу роботи на маховику. Прес варто перевірити за розмірами штампового простору й величиною робочого ходу виштовхувача. У дрібносерійному виробництві краще використовувати менш продуктивні, але більш універсальні гідравлічні преси. Для видавлювання коротких деталей можна застосовувати кривошипно-колінні карбувальні преси (ГОСТ 5384, ГОСТ 5793, ГОСТ 16433).

4.5 Проектування інструменту

Штampi для холодного об'ємного штампування на пресах. До пресових штампів для холодного об'ємного штампування висуваються підвищені вимоги щодо твердості й міцності. Робочі деталі доцільно виконувати швидкозмінними. Блоки штампів мають масивні плити товщиною не менше ніж 70 мм зі вставками з загартованої інструментальної сталі й напрямні колонки діаметром у 70...75 мм. Конструкція штампів передбачає надійне центрування пуансонів. Їхнє встановлення на сферичну опору виключає появу згинальних моментів.

Основні співвідношення розмірів робочого інструменту для калібрування, редукування, прямого, зворотного й комбінованого видавлювання наведені в довіднику [31, с. 207]. У технічних вимогах на пуансони й матриці для холодного видавлювання обговорюється неперпендикулярність опорного торця (0,01...0,02 мм) щодо головної осі. Важконавантажені матриці з твердосплавними вставками виконуються бандажованими. Креслення штампів холодного об'ємного штампування на пресах і автоматах виконуються відповідно до ГОСТ 2.424.

Інструмент для висаджування на автоматах. Проектування включає розрахунок профілю задавальних і правильних роликів, робочої частини відрізних ножів і матриць. Товщина ножа вибирається найбільшою за умови надійного перенесення відрізаної заготовки, але такою, що виключає удар пуансона по ножі [31, с. 314]. Попередній пуансон виконується таким, що заштовхує, якщо відносна довжина висаджуваної частини заготовки $\psi_d = h_0/d_{0cp} \leq 1,7$. Пуансон-заштовхувач на торці має центрувальну порожнину й відрізняється універсальністю.

Розміри робочих порожнин у чистовому рівчаку визначаються залежно від обраної схеми формоутворення.

Схема штампування намічається на стадії розробки креслення штампованої деталі й тісно пов'язана з технічними умовами на деталь. Зазор, що запобігає «жорсткому» удару по матриці, вибирається в межах $p_0 = 0.5...5$ мм (рис. 4.2). Пуансони з підпружиненими головками встановлюються без зазору: $p_0 = 0$. Загальна висота висаджуваної головки:

$$H = h_m + h_n + p_0, \quad (4.9)$$

де h_m, h_n – глибина порожнини в матриці й пуансоні.

Поперечні розміри порожнин необхідно максимально наблизити до найменших креслярських розмірів переходів, щоб більша частина поля допуску могла бути використана на зношування інструменту. Допуски на поперечні розміри порожнин матриць і пуансонів відповідають IT11. Розміри порожнини складального пуансона визначають з урахуванням величини:

$$n = \alpha + p_0 + c. \quad (4.10)$$

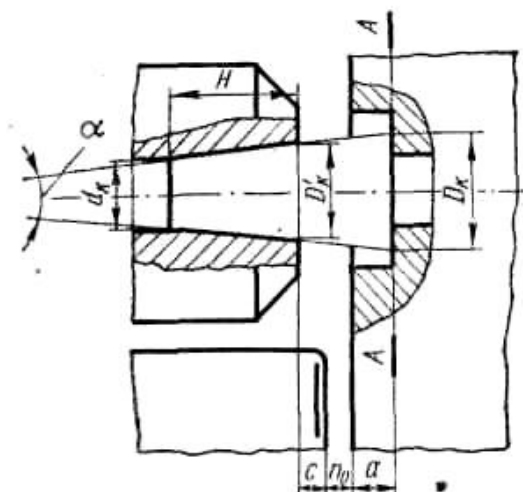


Рисунок 4.2 – Компонування висаджувального інструменту

Тут α – відстань від торця матриці до основної площини А–А, обумовлена схемою висаджування (див. рис. 4.2); c – «відставання» конічного пуансона від чистового ($c = 0,5$ мм для автоматів малого розміру, $c = 1,5$ мм – середнього й великого розмірів).

Якщо конічний пуансон установлюється «в лінію» ($c = 0$) із чистовим пуансоном або з його «випередженням» ($c < 0$), варто передбачити достатній зазор p_0 або спеціальне заглиблення в державці для входу конічного пуансона без удару. Унаслідок недоходження пуансона діаметр нижньої основи конуса:

$$D'_k = D_k - 2 \operatorname{tg}(0,5\alpha) n, \quad (4.11)$$

де D_k – діаметр основи набору.

Глибина порожнини конічного пуансона:

$$H = (D'_k - d_k) \operatorname{ctg}(0,5\alpha) + 0,1d_k. \quad (4.12)$$

Величини d_k і α , що входять у формули (4.11), (4.12), визначаються при розрахунку переходів висаджування. Повне оформлення конічного набору досягається збільшенням глибини порожнини $H > 0,5 h_0$ за рахунок зменшення значень α , c або h_0 .

Деталі з підвищеними вимогами до співвісності обтискного виступу і стрижня редукують у матриці, що одночасно служить напрямною для останнього. Посадкові розміри інструменту однопозиційних автоматів приймаються за $d9$, а багатопозиційних – за $f7$. На поздовжні розміри встановлюються допуски по $h10$. У технічних умовах на інструмент вказується припустиме биття зовнішньої поверхні щодо внутрішньої (0,03...0,06) і опорного торця щодо базової (0,05 мм).

5 СПЕЦІАЛІЗОВАНІ ПРОЦЕСИ КУВАННЯ, ШТАМПУВАННЯ

5.1 Обробка на радіально-кувальних і ротаційно-обтискних машинах

Штампкування східчастих валів масою до 23 кг на радіально-кувальній машині (РКМ) економічно доцільне при обсязі виробництва для одноступінчастого вала понад 100 шт., для валів інших типів – понад 20 шт. Вітчизняний і закордонний досвід підтверджує економічну ефективність обробки на РКМ партій деталей до 100 тис. шт. на рік, у тому числі таких великих виробів, як вагонні осі¹. Номенклатура виробів, що виготовляються радіальним обтисненням, включає також порожні деталі з простим і фасонним профілем внутрішньої поверхні [6, т. 2, с. 178, 182]. Внутрішній профіль, утворений оправленням, може мати шпонкові пази, шліци, гвинтоподібні канавки, конусні ділянки. Можливе одержання отворів малих діаметрів у виробів відносно великої довжини. Радіальне обтиснення використовується для одержання швейних голок, заготовок для свердел, мітчиків, пальцевих фрез, клапанів, напилків, велосипедних спиць й інших деталей машинобудування.

Процес практично безвідхідний. У масу заготовки включається вигар і відходи на підрізання торця, що становлять 0,5...2,5 % від об'єму заготовки. Продуктивність радіального обтиснення приблизно в п'ять разів вища, ніж токарської обробки, але нижча, ніж штампування. Норми часу можуть бути визначені на підставі досвіду виготовлення аналогічних деталей [6, т. 2, с. 183].

Жорстка схема напруженого стану й пульсуюче² докладання навантажень дозволяють виконувати обробку важкодеформованих сплавів. Припустимий ступінь обтиснення за один перехід прийнято обмежувати [6, т. 2, с. 181], однак експериментально доведена можливість деформування у холодному стані ротаційним обтисненням за один перехід до ступеня деформації $q_{\text{доп}} = 70\%$ таких твердих сталей, як 9ХС або ШХ15. В інтервалі кувальних температур можна деформувати матеріали практично з будь-яким ступенем обтиснення.

Холодним обтисненням одержують вироби з допусками за ІТ6, ІТ8 (СТ СЭВ 145–75) і шорсткістю $R_a 0,32 - R_a 0,63$. Припуски на діаметри шаблів призначені для виправлення погрішностей перерізу за овальністю й кривизною кувань. Призначається також припуск за довжиною шаблів і на кінцях поковки для компенсації торцевої утяжки. Радіальне биття зменшується застосуванням у ролі вихідної заготовки холоднотягнутого прутка або куванням профілю з подачею від робочої головки (з натягом).

Для виробів невеликого діаметра ($d_{\text{ср}} = 8$ мм) з відносною довжиною $l / d_{\text{ср}} > 30$ радіальне биття в таких умовах становить 0,1...0,4 мм, а для більш коротких не перевищує 0,1 мм. Поєднання правки з процесом термообробки знижує радіальне биття до сотих часток міліметра.

¹ У масовому виробництві найбільш ефективним є метод поперечно-гвинтової прокатки осей, розроблений ВНДІМЕТМАШем (Всесоюзний науково-дослідний інститут металургійного машинобудування)

² Число обтиснень за секунду для різних типів машин коливається від 8 до 100.

Якщо зазначені допуски задовольняють технічним вимогам на готовий виріб, по діаметру призначається тільки припуск на шліфування після термообробки. Зміцнення після холодного обтиснення, що підвищує границю міцності матеріалу в середньому на 7 МПа при кожному зменшенні площі поперечного перерізу заготовки на 10 %, у ряді випадків дає можливість експлуатувати виріб без термічної, а отже, і без механічної обробки.

Холодне обтиснення здійснюється на машинах великої потужності, тому воно використовується для обробки суцільних виробів діаметром до 60 мм і порожніх – до 100 мм. Гаряче обтиснення забезпечує одержання розмірів з допусками за IT11 – IT16, шорсткість поверхні відповідає $R_a 1,25$ – $R_a 20$. Припуски на обробку можуть бути призначені за першим класом (ГОСТ 7505) або трохи менші. Щоб уникнути окалиноутворення, особливо на внутрішній поверхні заготовок, варто застосовувати безокисні способи нагрівання. Температура може бути знижена до 980...1000 °С, у ряді випадків обмежуються підігріванням до 300...400 °С.

Діаметр заготовки для холодного обтиснення вибирається за максимальним діаметром виробу з урахуванням необхідного рівня механічних властивостей (необхідного зміцнення). Для гарячої обробки діаметр гарячекатаної заготовки приймається в 1,5...2 рази більшим. При вільному обтиску порожніх виробів без оправлення стінка не втрачає стійкості, якщо відношення товщини стінки заготовки до її діаметра перевищує 0,03. Внутрішні розміри вільно обтиснутого порожнього виробу не контролюються. Робочий профіль бойків, що використовуються для радіального обтиснення, має західний конус. Оптимальна величина кута конусності α визначається залежно від температури, ступеня деформації, умов тертя й твердості оброблюваного матеріалу. Обраний кут α обумовлює профіль переходу щаблів готового виробу.

Характеристики ротаційно- і радіально-обтискних машин наведені в довіднику [6, т. 2, с. 179]. Дрібні вироби діаметром до 20 мм вигідно обробляти на більш продуктивних ротаційно-обтискних машинах. Нескладні одноступінчасті профілі й короткі багатоступінчасті вироби, довжина проміжних щаблів яких не перевищує довжини бойка, можна обробляти на більш простих за конструкцією машинах з постійним ступенем обтиснення (так зване роздільне обтиснення). Вали, що мають кілька перепадів перерізу за довжиною або подовжені конічні ділянки, виготовляють профільним обтисненням на машинах зі змінним ступенем обтиснення. Застосування вертикальних машин спрощує видалення окалини, але довжина виробів обмежується.

Машини зі змінним ступенем обтиснення постачаються програмувальним пристроєм, що підтримує задані режими обтиснень. Якщо максимальна ступінь обтиснення виробу $q = [(d_0 - d_{\min}) / d_0] \cdot 100 \%$ (де d_0 , $d_{\min}$ – діаметр заготовки й найменшого уступу) не перевершує той, що допускається за прохід $q_{\text{доп}}$, то заготовка вводиться в бойки до упору й кується остаточно по щаблях з подачею від робочої головки. В іншому випадку кування здійснюється за кілька проходів з поверненням заготовки в бойки після кожного проходу. Можливі й інші схеми кування.

Технолог розраховує кількість переходів і складає карту налагодження процесу кування. У ході освоєння процесу уточнюються швидкість подачі в ро-

бочому режимі й під час холостого ходу, а також швидкість обертання заготовки, яка подається, що забезпечують мінімальну овальність перерізу й задану чистоту поверхні. Шестигранні й квадратні профілі в машинах з обертовим інструментом одержують вирівнюванням швидкості обертання заготовки й шпинделя.

Задана точність обробки й висока якість поверхні виробів залежать від правильності вибору параметрів робочого контуру бойків: кута західного конуса α , кута охоплення заготовки бойками θ , довжини західної l_k і калібрувальної $l_{\text{ц}}$ ділянок рівчаків радіуса робочого профілю r_p і радіусів сполучення ділянок. Для точної обробки порожніх виробів мають бути сконструйовані оправлення.

У сучасних ротаційно- і радіально-обтискних машинах застосовується автоматична подача заготовок за заданою програмою. Подальшим напрямком удосконалення організації роботи на ділянці обтискних машин є автоматизація доставки заготовки і видалення готових виробів промисловими маніпуляторами.

5.2 Одержання поковок на гарячештампувальних автоматах

Масове виробництво поковок, які за своїми розмірами, високим опором деформації або недостатньою пластичністю матеріалу не можуть бути відштамповані у холодному стані, здійснюється на гарячештампувальних автоматах. Автомат А315 призначений для штампування кувань стрижневого типу довжиною 50...250 мм із головкою діаметром у 27...36 мм. Потужні багатопозиційні автомати для виготовлення виробів стрижневого типу випускає фірма Peltzer. Діаметр головки одержуваних на них виробів досягає 100 мм [28, с. 26].

На багатопозиційних гарячештампувальних автоматах (табл. 5.1) штампують гайки, поковки шестерні, фланці, кільця з максимальним діаметром до 145 мм і масою 0,02...5 кг. Число ходів повзуна за хвилину визначає теоретичну продуктивність автомата, для дрібних виробів воно досягає 180 шт/хв. Продуктивність штампування обирається досить високою, щоб заготовка не встигала охолонути й час контакту інструмента з заготовкою був мінімальним.

Таблиця 5.1 – Коротка технічна характеристика гарячештампувальних автоматів для штампування коротких виробів

Модель	Найбільший діаметр, мм		Найбільший розмір гайок під ключ, мм	Вихідна маса заготовки, кг	Кількість позицій	Максимальне число ходів за хвилину
	виробу	прутка				
АМР-20	38	25	36	0,01...0,15	3	180
АМР-30	64	40	56	0.05...0.70	3	140
АМР-50	92	50	80	0,17...1,70	4	100
АМР-70	145	75	130	0,40...5,00	4	80

Це забезпечує економічно доцільну стійкість інструмента. Регулюючи частоту ходів повзуна залежно від конфігурації, маси поковки й необхідного зу-

силля деформуванню, досягають оптимальних умов штампування.

На автомобільних заводах СРСР за автоматом закріплюють 5–10 найменувань поковок при річній програмі близько 5 млн. шт. Значні витрати часу на заміну й налагодження інструмента знижують коефіцієнт використання агрегату в часі до 0,6. На ВАЗі середня годинна продуктивність автомата моделі АМР–30 становить 4 – 6 тис. поковок, а моделі GF–6 – 1,5–4,2 тис. [32].

Технологія штампування стрижневих виробів. На автоматі А315 нагрітий пруток подається до упору, рухома напівматриця відрізає заготовку, а потім затискає її, об'єднуючись із нерухомою напівматрицею. Пуансон висаджує головку за один хід повзуна. Суцільне нагрівання прутка не тільки збільшує витрати енергії, але й знижує якість виробів. За розніманням напівматриць утвориться важковидалювана поперечна задирка. Одноперехідне висадження обмежує розміри головок, що висаджуються, крім того, багатогранну головку болта не вдається відштампувати без задирки.

Фірма Peltzer випускає вертикальні автомати, що мають три або чотири штампувальні позиції [28, с. 26]. Автомат комплектується устаткуванням для відрізання заготовок із бунта, нагрівання деформованої ділянки, обрізання задирки й накатки нарізки. Між позиціями штампування заготовка переноситься рейферним механізмом. Розміри переходів визначаються за загальними правилами (див. підрозд. 3.5). Редукування стрижня при гарячому штампуванні неможливе, тому часто прибігають до висадження підголовка, при цьому вихідний діаметр заготовки приймають таким, що дорівнює середньому діаметру нарізки (під накатування).

Технологія штампування коротких виробів. Лінія багатопозиційного гарячештампувального автомата поєднує операції нагрівання, оброблення прокату на заготовці, штампування й прошивання або обрізання поковок. Сучасні автомати комплектуються автоматичним стелажем. Індукційний нагрівач максимально наближений до позицій штампування для збереження тепла заготовки.

Малоокисне нагрівання, відсутність окалини на торцях заготовок, які відрізаються, і легкість її видалення з бічних поверхонь напівфабрикатів, що осаджуються в першому переході, визначають високу точність штампованих поковок. Припуски й допуски призначаються жорсткіше, ніж за першим класом ГОСТ 7505 [28, с. 17]. Суворе дозування маси заготовки, що відрізається, й індивідуальне регулювання довжини пуансонів за позиціями дають можливість одержувати поковки в закритих штампах без задирки.

Незначні відхилення об'єму заготовки відбиваються на зміні в межах допусків величини торцевих радіусів поковки. Останні не мають штампувальних ухилів, за винятком незначної конусності на внутрішньому отворі, величина якої розраховується так само, як і для порожнин, утворених на ГKM. В отворі діаметром d прошивається перемичка товщиною (мм) $s = 0,1d + 2$. Точність поковки й призначуваний припуск залежать від різнотовщинності, що є наслідком несиметричного плину металу. У конструкції автомата передбачена чітка осьова фіксація напівфабрикату на всіх переходах. Напівфабрикат фіксується інструментом раніше, ніж звільняються затискачі перекладників, а після штампування утримується затискачами інструмента доти, поки не замкнуться кліщі пере-

кладника. У переходах, показаних на рис. 5.1, б, попередній напівфабрикат центрується маточинною частиною рівчака.

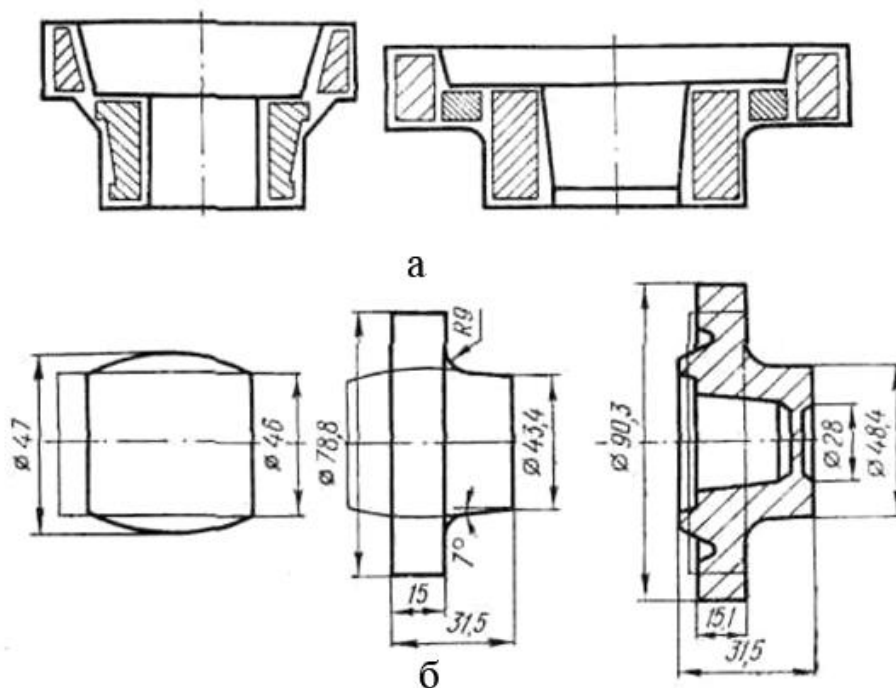


Рисунок 5.1 – Схеми поковок (а) і переходів штампування (б) на гарячештампувальному автоматі

Таким чином, маточину необхідно передбачати, конструюючи єдину поковку для двох-трьох деталей (рис. 5.1, а). На складові поковка ділиться в самому автоматі або в процесі механічної обробки. Розробка й освоєння формотвірних переходів штампування на автоматі – процеси досить складні й тривалі. Через відсутність чітких розрахункових методик переважає емпіричний підхід.

Після вибору типу автомата й визначення кількості штампувальних позицій розраховуються переходи. При цьому дотримуються умов сталості об'єму й надійного центрування напівфабрикату в подальшому рівчаку [32, с. 217; 28, с. 41,42]. Прошивання порожнин повинно супроводжуватися плином металу в радіальних напрямках. Це зменшує навантаження на прошивний пуансон і запобігає утворенню затисків. На формозміну металу можна активно впливати зміною кутів конусності прошивня, радіусів закруглення й співвідношення діаметра й висоти фланця напівфабрикату, що надходить для остаточного формування. Гарні умови формозміни створюються, якщо напівфабрикат має діаметр фланцевої частини менший, а товщину більшу, ніж у поковки.

Інструмент автомата складний, складений. Використання високоякісних штампових сталей, інтенсивного внутрішнього й зовнішнього водяного охолодження визначає високу стійкість інструмента (до 50 тис. кувань). Технологічні мастила, як правило, не застосовуються. Продуктивні гарячештампувальні автомати доцільно встановлювати поблизу складу металу й включати до комплексної технологічної лінії, що містить агрегати для термообробки й потокового контролю кувань [6, т. 2, с. 242].

5.3 Поперечно-клинове вальцювання

Воно використовується для одержання з вуглецевих, низько- і середньолегованих марок сталей східчастих виробів типу тіл обертання з невеликим припуском під токарську обробку (або шліфування), а також заготовок під подальше штампування. Діаметр останніх не перевищує 100 мм, довжина 750 мм. Висока точність вальцьованих заготовок дозволяє штампувати в закритих штампах подовжені в плані поковки. Вироби можуть мати циліндричні, конічні або сферичні щаблі з плавними або різкими переходами між ними. Шорсткість поверхні після гарячого вальцювання не перевищує $R_z 80$, але може бути зменшена до $R_z 40$.

У вітчизняній промисловості експлуатується три типи машин для поперечно-клинової прокатки: плоскоклинові машини, валково-клинові й валково-сегментні вальці. У великосерійному й масовому виробництві проміжні заготовки під подальше штампування доцільно виготовляти на валково-сегментних і валково-клинових вальцях. У разі необхідності забезпечення високого темпу штампування перевагу віддають першим з них. У дрібно- і середньосерійному виробництві одержання проміжних заготовок поперечно-клиновим вальцюванням не є ефективним [18, с. 48].

Стійкість розглянутого процесу можлива тільки за умови обертання заготовки навколо поздовжньої осі без проковзування щодо інструмента.

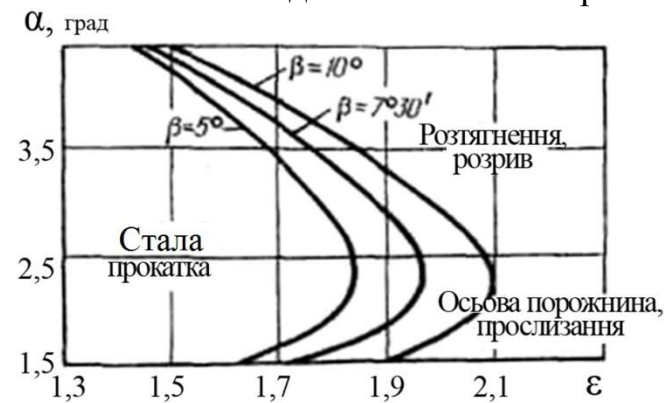


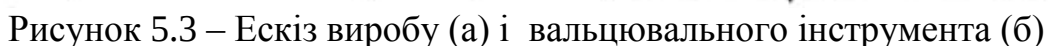
Рисунок 5.2 – Діаграма для вибору оптимального поєднання факторів прокатки

Необхідна якість виробу досягається в тому випадку, якщо виключені неконтрольоване розтягання зони деформації й осьова порожнина у вальцьованому стрижні. Оптимальні умови процесу створюються сприятливим поєднанням таких параметрів: ступеня обтиснення $\epsilon = d_0 / d$, де d_0 , d – діаметри вихідної й обтиснутої заготовки (рис. 5.2); кута загострення клина β і кута нахилу деформувальних граней ін-

струмента α (рис. 5.3).

Складання креслення вальцьованої заготовки. Відповідно до рекомендацій ЕНІКМАША, припуски на вальцьовані заготовки під подальшу токарську обробку, шліфування або штампування можуть призначатися за першим класом (ГОСТ 7505) або зменшуватися на 30 %, а допуски – на 10 %.

Допустимі відхилення на зігнутість і взаємний зсув клинових інструментів уздовж осі заготовки приймаються за першим класом (ГОСТ 7505), що відповідно дорівнюють табличним і зменшеним у два рази. Допуск на овальність циліндричних поверхонь виробу встановлюється в межах поля допусків на діаметральні розміри. На торцях виробу, оформлюваних у процесі вальцювання відрізними ножами, допускаються виступи довільної форми висотою до 1 мм. Для спарених виробів, які розділяються в процесі вальцювання клиноподібними ножами, на стикувальних торцях призначається ухил 5° .



Технологічна схема вальцювання. Раціональний підбір геометричних параметрів інструмента (див. рис. 5.2) дозволяє одержувати вироби, що мають $d_{\max}/d_{\min} \leq 2$, остаточно за одномаршрутною схемою деформації за один перехід [18, с. 22–25]. Вироби зі співвідношенням $d_{\max} / d_{\min} > 2$ виготовляються за двомаршрутною схемою, за якої заготовка діаметром d_0 попередньо обтискається до діаметра d' , а потім до кінцевих діаметрів d_i . У методичних рекомендаціях пропонується 16 найбільш раціональних технологічних схем, вісім з яких є двомаршрутними [18, с. 22–31].

89

вироби стикаються шаблями меншого діаметра. Щоб спростити конструкцію інструмента, іноді доводиться з'єднувати вироби протилежними кінцями.

Поділ парної заготовки на штучні може бути виконано ножами в процесі вальцювання. Плоскі розділові ножі вирізають перемичку, що дорівнює ширині ножа (12 мм і більше). Для зменшення відходів металу під розрізання заздалегідь готується сполучна перемичка діаметром не більше ніж 10 мм. При використанні клинових розділових ножів такої перемички не потрібно, але на торцях розділюваних виробів оформляються конуси з кутом в основі не менш ніж 5° . Крім того, клинові розділові ножі повідомляють виробам деякий осьовий зсув, що може призвести до вигину. Останньому можна запобігти коректуванням інструмента, що забезпечує свободу невеликого осьового переміщення розділюваних заготовок.

Вироби, що виготовляються на валково-клинових вальцях, фіксуються в процесі прокатки напрямними проводками за найбільшим діаметром $d_{\max}$. Щоб уникнути зминання, довжина фіксованої ділянки $l_{\max}$ має бути досить великою: $l_{\max} / d_{\max} \geq 0,1$. Несиметричні східчасті вироби з немонотонною зміною діаметрів шаблів прокочують поштучно, якщо спарена прокатка неможлива через обмежену ширину інструмента. Діаметр вихідної заготовки d_0 обирається за ГОСТ 2590 так, щоб його мінімальне значення d'_0 було більшим за діаметр готового виробу $d'_{\max}$ навіть після вигору заготовки в нагрівальному пристрої: $d'_0 \geq d'_{\max} \cdot k_y$, де k_y – коефіцієнт, що враховує вигар (при індукційному нагріванні $k_y = 1,01$, а при нагріванні в полум'яних печах $k_y = 1,025$).

Об'єм відходів, пов'язаних з торцевою утяжиною на кінцевих шаблях діаметром d_{k1} і d_{k2} , розраховується за формулою $V_k = 0,75\pi(k_{h1}d_{k1}^3 + k_{h2}d_{k2}^3)$, де k_{h1} , k_{h2} коефіцієнти, що залежать від глибини торцевої утяжини (рис. 5.4). Застосування допоміжних клинів, які попередньо обтискають кінцеві шаблі на конус, дозволяє зменшити значення k_h до 0,25.

Об'єм вихідної заготовки $V_0 = k_y V_{в.з} + V_k$, де $V_{в.з}$ – об'єм вальцьованої заготовки, обумовлений за номінальними розмірами з урахуванням 0,5 додатного граничного відхилення для зовнішніх розмірів і 0,5 від'ємного для внутрішніх. Номінальна довжина вихідної заготовки l_0 обчислюється за формулою:

$$l_0 = 1,27V_0 / (d_0 - 0,5\Delta)^2,$$

де Δ – від'ємний допуск на сортамент.

Розрізають заготовки на прес-ножицях, допуск на їхню довжину приймається додатним [6, т. 1, с. 81]. Якщо максимальний розмір виробу примикає до краю, то діаметр вихідної заготовки необхідно збільшити на 2...4 мм, щоб невеликим обтисненням усунути зминання кінця, що виникло при відрізанні, або застосувати різання з диференційованим затисканням заготовки.

На сьогодні освоєно метод гарячого поперечно-клинового вальцювання. Для запобігання розкриттю порожнини температурний інтервал процесу починається в області підвищеної пластичності матеріалу, який обробляється. Більшість марок сталі обтискається при 1100...1250 °С. Верхня границя інтервалу використовується для одержання проміжних заготовок під подальше штампування з одного нагрівання. Якщо температуру нагрівання завищити, стійкість процесу вальцювання порушиться: припиниться обертання заготовки або відбудеться неконтрольоване її стоншення.

Вибір устаткування й проектування інструмента. У наближених розрахунках типорозмір поперечно-вальцювальної машини можна вибрати за максимальним діаметром вихідної заготовки $d_{0\max}$ і довжиною виробу l_n , що обговорюються в технічних характеристиках машини. Якщо для розглянутої технології $d_0 \leq 0,8d_{0\max}$, то докладної перевірки придатності машини зазвичай не потрібно. У необхідних випадках визначаються технологічні розпирне P_z і тангенціальне P_x зусилля, а також робота деформації [18, с. 43–45]. Технологічні параметри зіставляються з допускними зусиллями, крутним моментом і запасом роботи приводу, зазначеними у характеристиці машини. Для валково-сегментних вальців перевіряється можливість одержання виробу за кожне обертання валка.

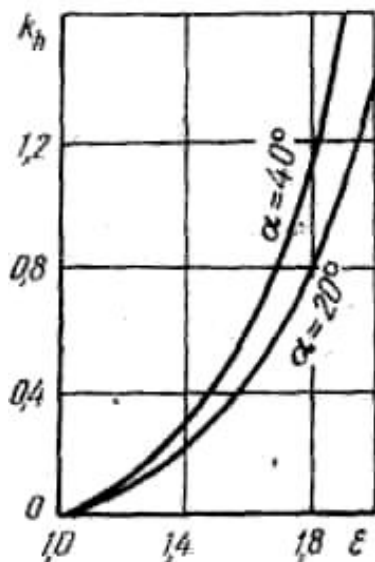


Рисунок 5.4 – Залежність коефіцієнта k_h від параметрів обтиснення α і ϵ

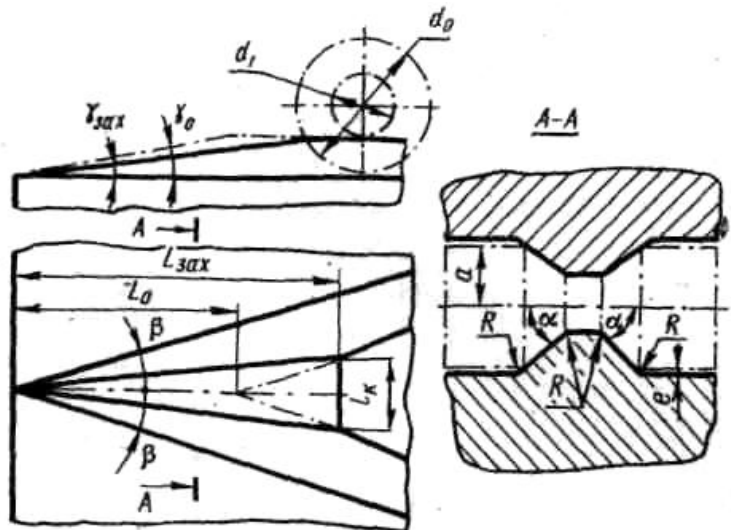


Рисунок 5.5 – Схема трапецеїдальних західних ділянок

Розглянемо проектування клинового інструмента до плоскоклинових машин. Для завантаження вихідної заготовки в зону обробки на клиновому інструменті передбачається завантажувальна ділянка довжиною $L_{\text{заг}} = (1...2)d_0$ (див. рис. 5.3,б). Нульові поверхні інструмента встановлюються в машині паралельно на відстані $2a = d_0 + 2e$, де $e = 1...2$ мм – зазор між вихідною нагрітою заготовкою й нульовою поверхнею інструмента.

Деформація заготовки починається з плавного занурення деформувального бурту на західній ділянці інструмента, довжина якого обчислюється за формулою $L_{01} = (\alpha - 0,5d_1) / (\text{tg } \alpha_1 \cdot \text{tg } \beta_1)$. Тут α – відстань від осі заготовки до нульової поверхні інструмента; d_1 – діаметр обтискного щабля (див. рис. 5.3); α_1 – кут нахилу деформувальних граней до поздовжньої осі заготовки; β_1 – кут загострення клина.

Якщо ступінь обтиснення заготовки $\epsilon < 1,6$, застосовується гострокутна західна ділянка, а якщо $\epsilon > 1,6$, – трапецеїдальна, що утвориться з гострокутної за допомогою площини, яка відтинає вершину гострого бурту (рис. 5.5). Пло-

щина нахилена до нульової поверхні під кутом $\gamma_{\text{зах}}$:

$$\text{tg } \gamma_{\text{зах}} = [(2\alpha - d_1) / (2\alpha - d_1 + l_k \text{tg } \alpha)] \text{tg } \gamma_0,$$

де $\text{tg } \gamma_0 = \text{tg } \alpha \cdot \text{tg } \beta$.

Щоб виключити утворення осьової порожнини в заготовці, що прокочується, ширина меншої основи трапецеїдальної ділянки приймається $l_k < 2d_1$. Довжина цієї ділянки $L_{\text{зах}}$ збільшується в порівнянні з гострокутною:

$$L_{\text{зах}} = L_{01} + l_k / (2 \text{tg } \beta).$$

Таке збільшення довжини відбувається за рахунок скорочення формотвірної ділянки, тому загальна довжина інструмента не змінюється. Вершини гострокутного й трапецеїдального буртів скругляються радіусами $R = 4 \dots 8$ мм. На похилих деформувальних гранях західного бурту виконуються технологічні рифлення.

Граничне значення кута β на формотвірній ділянці інструмента не повинно перевищувати 12° при $\varepsilon < 1,6$ і 10° при $\varepsilon > 1,6$. Доцільно приймати кут β близьким до граничного, тому що з його збільшенням скорочується довжина деформуючої ділянки інструмента й підвищується к.к.д. процесу. Кут α залежить від ступеня обтиснення:

ε	$\leq 1,6$	$1,6 \dots 1,8$	$1,8 \dots 2$
α , град	$30 \dots 40$	$25 \dots 30$	$20 \dots 25$

Не рекомендується приймати $\alpha < 20^\circ$ і $\alpha > 40^\circ$, оскільки в першому випадку в заготовці можуть утворитися осьові порожнини, а в другому – спіралеподібні гребінці на поверхні виробу.

Значення α і β залишаються постійними на всій формотвірній ділянці тільки в найпростіших випадках прокатки симетричних профілів з довільним сполученням шаблів. Якщо при прокатуванні несиметричних виробів шаблі, що обтискаються одночасно, мають праворуч і ліворуч від осі інструмента різну довжину (наприклад, $(l_{\text{in}} - l_{\text{il}}) / l_{\text{in}} > 0,2$), то з одного боку кут β_{il} залишається постійним, а з іншого коректується відповідно до рівняння $\text{tg } \beta_{\text{il}} = \text{tg } \beta_{\text{in}} l_{\text{in}} / l_{\text{il}}$. При істотному розходженні діаметрів, наприклад $(d_{\text{in}} - d_{\text{il}}) / d_{\text{in}} > 0,1$, обраний оптимальний кут α_{il} праворуч від осі коректується для лівого осередку деформації: $\text{tg } \alpha_{\text{il}} = \text{tg } \alpha_{\text{in}} \varepsilon_{\text{il}}^2 / \varepsilon_{\text{in}}^2$, де $\varepsilon_{\text{il}} = d_0 / d_{\text{il}}$; $\varepsilon_{\text{in}} = d_0 / d_{\text{in}}$.

Шаблі виробу з переходами від одного діаметра до іншого при $\alpha_{\text{в}} < \alpha$ обтискаються клинами з оптимальними кутами β і α . Після утворення шабля оформляється необхідний кут $\alpha_{\text{в}}$ [18, с. 23].

Розглянемо інструмент для прокатки несиметричного виробу з різкими переходами шаблів $\alpha_{\text{в}} > \alpha$ (див. рис. 5.3). Вальцювання шабля довжиною l_1 і максимальним діаметром d_1 здійснюються ділянкою інструмента $L_1 - L_{01}$. Ділянками $L_2 - L_1$ і $L_3 - L_1$ виконується калібрування оформленого шабля, а $L_4 - L_2$ – вальцювання уступу діаметром d_2 і довжиною l_2 . Значення L_1 , L_2 , L_3 і L_4 розраховуються за формулами:

$$\begin{aligned} L_1 &= (0,5l_1 + \frac{\alpha - 0,5d_1}{\text{tg } \alpha_1}) / \text{tg } \beta_1 ; & L_2 &= (0,5l_1 + \frac{\alpha - 0,5d_2}{\text{tg } \alpha_1}) / \text{tg } \beta_1 ; \\ L_3 &= (0,5l_1 + \frac{\alpha - 0,5d_3}{\text{tg } \alpha_1}) / \text{tg } \beta_1 ; & L_4 &= (0,5l_1 + l_2 + \frac{\alpha - 0,5d_2}{\text{tg } \alpha_1}) / \text{tg } \beta_1 . \end{aligned}$$

На довжині клина $L_5 + L_6 + L_7$ вальцюється виїмка діаметром d_3 , довжиною l_3 . Кути $\alpha_{\text{в}1}$, що примикають до шабля довжиною l_1 , оформляються на ді-

лянках інструмента, що прокочують шаблі менших діаметрів (див. рис. 5.3,б).

Спочатку виїмка діаметром d_3 деформується клиновою ділянкою інструмента з оптимальними кутами α і β . Довжина цієї ділянки:

$$L_5 = (l_3 / \operatorname{tg} \beta_1) - [(\varepsilon_3^3 - 1)d_3 / (6 \operatorname{tg} \alpha_1 \operatorname{tg} \beta_1)],$$

де l_3 – загальна довжина виїмки діаметром d_3 ;

$\varepsilon_3 = d_0 / d_3$. Інша частина виїмки оформляється при куті $\alpha_2 = (\alpha_1 + \alpha_{B2})/2$.

На ділянці $L_6 = d_3(\varepsilon_3^3 - 1)(\frac{1}{\operatorname{tg} \alpha_1} - \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha_2}) / (6 \operatorname{tg} \beta_1)$ кут клиноподібності зменшується до β_2 , обумовленого з рівняння $\operatorname{tg} \beta_2 = \operatorname{tg} \beta_1(\varepsilon_3^2 + \varepsilon_3 - 2) / (\varepsilon_3^2 + \varepsilon_3 + 1)$, а на ділянці $L_7 = (\varepsilon_3^3 - 1)d_3 / (6 \operatorname{tg} \alpha_2 \operatorname{tg} \beta_2)$ – до β_3 :

$$\operatorname{tg} \beta_3 = \operatorname{tg} \beta_1(\varepsilon_3^2 + \varepsilon_3 - 2)^2 / (\varepsilon_3^2 + \varepsilon_3 + 1)^2.$$

У результаті наприкінці виїмки довжиною l_3 оформляється перехідний кут α_{B2} .

Клиноподібний інструмент для вальцювання крайнього шабля діаметром d_4 має західну ділянку довжиною $L_{02} = (\alpha - 0,5d_4) / (\operatorname{tg} \alpha_4 \operatorname{tg} \beta_4)$ і формотвірну довжиною $L_B = l_4 / \operatorname{tg} \beta_4$, де α_4, β_4 – кути, оптимальні для ступеня обтиснення $\varepsilon_4 = d_0 / d_4$. Висота елементів (виступів) робочого профілю від його нульової поверхні (див. рис. 5.3, б) визначається за формулою $h_i = \alpha - d_i / 2$, де d_i – діаметр відповідного елемента виробу. Для усунення спіралеподібних гребінців на поверхні виробу кути деформувальних граней скругляються радіусами $R_i = 1,5h_i$.

Ділянки виробу, що виходять з похилої грані, калібруються на горизонтальній поверхні інструмента, пов'язаній з деформувальною гранню. Ширина плоского калібрувального паска $b_n = (2,5...3)\pi r_k \operatorname{tg} \beta$ (тут r_k – радіус кочення заготовки по клиновому інструменту). Інша поверхня інструмента робиться на 0,4...0,8 мм нижчою, щоб виключити контакт виробу з інструментом. Це зменшує тангенціальне розкочування, попереджає скручування заготовки й зниження температури в процесі вальцювання. Стійкість обертання заготовки забезпечується рифленнями, нанесеними на похилі грані інструмента.

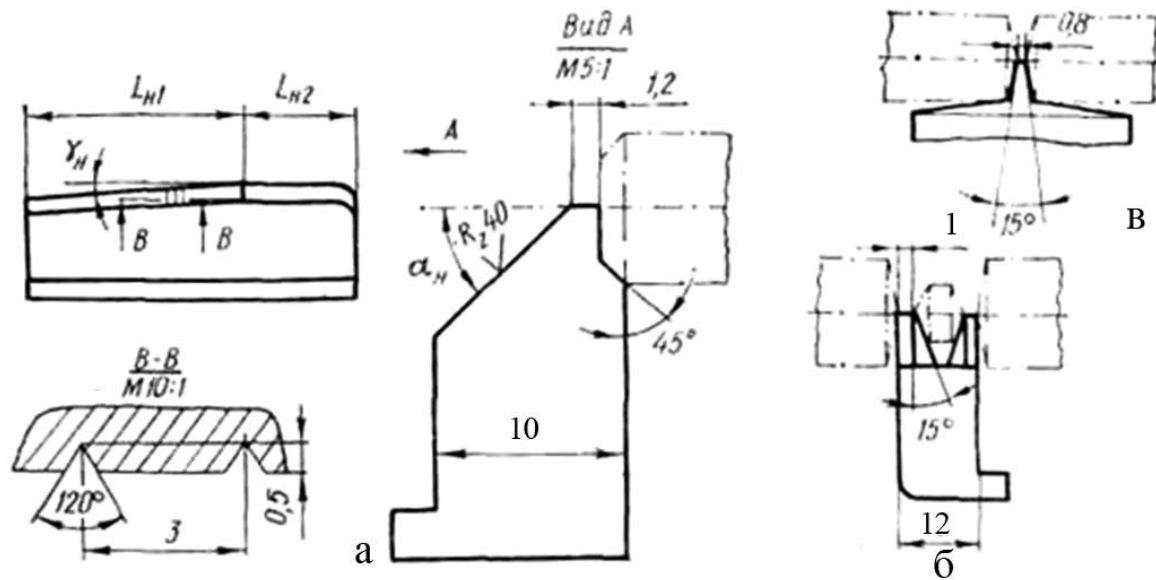
До закінчення формоутворення виробу некаліброваними залишаються лише кінцеві елементи невеликої довжини. Їх обробляють на калібрувальній ділянці довжиною в $L_k = (1-2) \pi r_k$ (див. рис. 5.3).

На відрізній ділянці інструмента розташовані відрізи й розділові ножі. Довжина ділянки підйому, на якому ніж занурюється до осі заготовки, $L_{H1} = d_k / (2 \operatorname{tg} \gamma_n)$, де d_k – діаметр шабля, що розрізається; γ_n – кут підйому робочого профілю ножа (рис. 5.6, а). Стійке обертання заготовки забезпечується за умови $\operatorname{tg} \gamma_n < \mu / \pi$. Тут μ – коефіцієнт тертя. Звичайно кут підйому приймається не більшим ніж 5° .

Гарантоване відділення відходу або спареного виробу забезпечує ділянка ножа з постійною висотою профілю $L_{H2} = k_n \pi r_k$. Для плоскоклинових машин приймається $k_n = 1...1,5$. Поверхня торця виробу звичайно оформляється відрізним ножем, що має профіль бічної поверхні, який контактує з виробом. Кут нахилу бічної грані відрізного ножа до осі заготовки $\alpha_n = 65...75^\circ$. На грань наносять технологічні рифлення.

Один ніж установлюється на 0,2...0,3 мм вище за інші й перетинає вісь заготовки, забезпечуючи відділення кінцевого відходу без залишку. Плоскі розді-

лові ножі (рис. 5.6,б) вирізають перемичку у відхід, а клинові (рис. 5.6, в) злегка зміщують розділювані вироби в осьовому напрямку.



а – відрізний; б – плоский розділовий; в – клиновий розділовий

Рисунок 5.6 – Схеми змінних ножів

Кривизна усувається на правильній ділянці. Правку східчастих виробів рекомендується робити послідовно групами шаблів однакового діаметра. Довжина правильної ділянки L_{Π} (див. рис. 5.3) визначається за формулою $L_{\Pi} = (0,5 \dots 1) \pi \sum_{i=1}^n d_i$, де $\sum_{i=1}^n d_i$ – сума середніх діаметрів кожної n -ї групи шаблів виробу, що піддаються послідовній правці. Варто пам'ятати, що правка одночасно всього профілю погіршує якість виробу у зв'язку з розбіжністю швидкостей кочення на шаблях різного діаметра.

6 ОБРОБКА Й ОЧИЩЕННЯ ПОКОВОК

6.1 Обрізка задирки і прошивання отворів

Вибір способу обрізання й прошивання. Сталі із вмістом вуглецю, вищим за 0,45 %, і високолеговані відрізняються підвищеною крихкістю. Для запобігання розтріскуванню за лінією рознімання поковки із цих сталей повинні обрізатися в гарячому стані або після термообробки. Гаряче обрізання зручне в потоковому виробництві, що дозволяє включити такі обробні операції, як гаряча правка, гнуття й т. п. При гарячому обрізанні потрібно менш потужне устаткування, підвищується стійкість інструмента, зменшуються витрати на транспортування поковок, тому його використовують для великогабаритних поковок, штампованих на молотах з масою спадних частин понад 1,5 т або на пресах зусиллям понад 16 МН.

Гаряче обрізання й прошивання рекомендується виконувати в простих, сполучених або послідовних штампах, а холодне – роздільно в простих. Складні комбіновані штампи доцільно застосовувати у великосерійному й масовому виробництві. Штампи з напрямними колонками дорожчі, але більш довговічні.

У простих обрізних штампах з однобічним зазором між матрицею й пуансоном $\delta \leq 0,5$ мм, а також у простих прошивних штампах із зазором між прошивним пуансоном і провальним вікном матриці $\delta < 1,5$ мм обов'язкові напрямні колонки.

У сполучених штампах із зазором між матрицею, пуансоном і прошивником $\delta > 0,6$ мм без них можна обійтися. Знімач задирки необхідний при малих¹ значеннях δ і в прошивних штампах. При обрізанні великих круглих у плані поковок ручне знімання задирки полегшує ексцентрична проточка на пуансоні, що заміняє знімач [6, т. 2, с. 261].

Проектування інструменту. Товщина стінки обрізної матриці та її висота h , а також розміри b_1 і h_1 щаблів (рис. 6.1, а) вибирають залежно від товщини задирки [6, т. 2, с. 257]. Цільні матриці, що виготовляються литтям або штампуванням, звичайно мають різальну крайку з паском висотою в 5...12 мм. У секційних матрицях скіс стінки провального отвору під кутом 5° починається безпосередньо біля робочої крайки матриці. У необхідних випадках на матриці виконуються виїмки під кліщовину, спарену поковку або під канавку для контрольного заливання штампувального рівчака.

Різальний контур матриці виготовляють по контуру рознімання поковки й підганяють при холодному обрізанні за поковкою, а при гарячому – за виливом з остаточного рівчака. Якщо поковка занурюється в матрицю до площини рознімання на глибину 6...8 мм, вона надійно центрується.

Поверхня контакту пуансона з поковкою $F_{\text{п}}$ має бути такою, щоб зусилля, необхідне для зрізання задирки, було меншим, ніж зусилля зминання поверхні контакту. Зусилля обрізання задирки $P_{\text{обр}}$ (МН) товщиною h_3 (мм) периметром

¹ Для холодного обрізання $\delta < 0,5$ мм, для гарячого $\delta < 1$ мм.

поковки П (мм) підраховується за формулою:

$$P_{обр} = (1,9 \dots 2,2) \sigma_{cp} \Pi h_3 \cdot 10^{-6}, \quad (6.1)$$

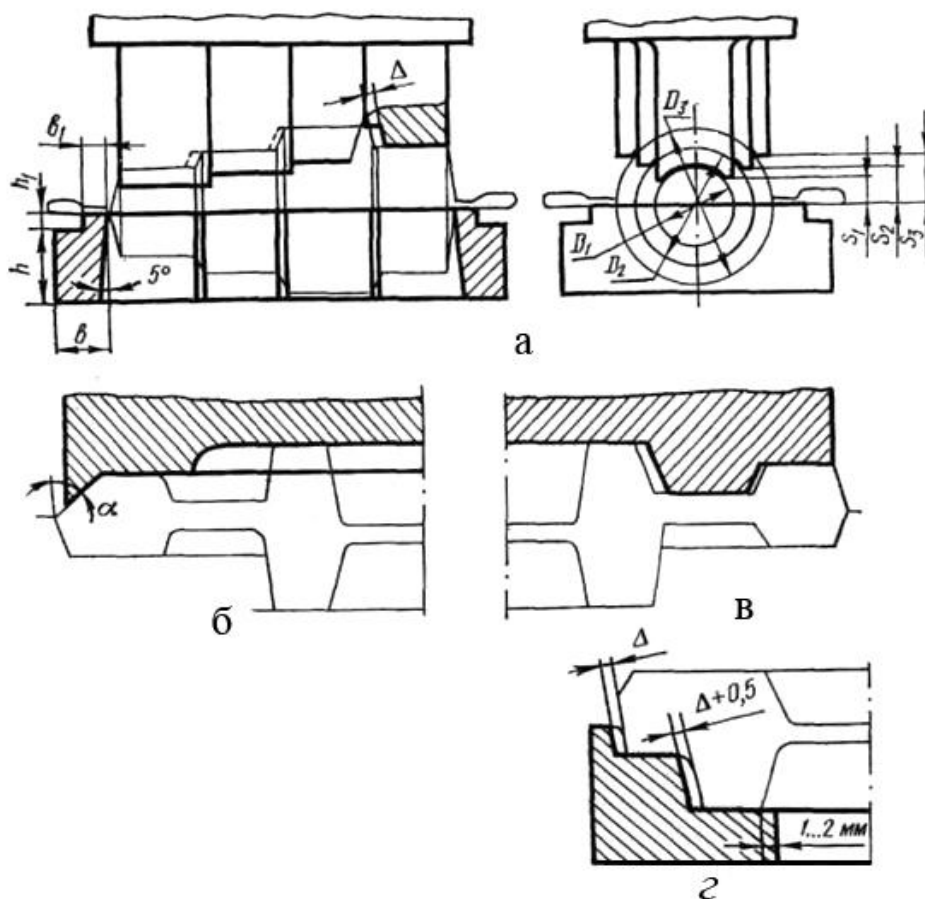
де $\sigma_{cp} = 0,8 \sigma_v$.

Тимчасовий опір розриву σ_v визначається для матеріалу поковки при температурі обрізання. Зусилля прошивання перемички $P_{пр}$ товщиною s і периметром Π обчислюється за аналогічною формулою:

$$P_{обр} = (1,9 \dots 2,2) \sigma_{cp} \Pi s \cdot 10^{-6}.$$

Відповідно до сформульованої умови необхідно, щоб:

$$F_{\Pi} > \frac{P}{\sigma_{cm}} 10^6. \quad (6.2)$$



а – обрізання задирки на поковці типу вала;

б, в – варіанти обрізного пуансона; г – прошивна матриця

Рисунок 6.1 – Схема інструмента для обрізання й прошивання:

У сполучених штампах $P = P_{обр} + P_{пр}$, якщо зусилля докладаються одночасно, а якщо по черзі, то P прирівнюється до максимального зі значень $P_{обр}$ і $P_{пр}$. Для простих обрізних штамів $P = P_{обр}$.

Форма робочої поверхні обрізного пуансона приймається такою, щоб напруги зрізу σ_{cp} досягалися раніше, ніж напруги вигину, що допускаються в будь-якому перерізі поковки. Пуансон для обрізання поковок із круглим поперечним перерізом (рис. 6.1, а) виконується охоплювальним. Перевірка за формулою (6.2) показує, наскільки можна спростити форму пуансона (рис. 6.1, б, в). Для поковки, зображеної на рис. 6.1, б, опора тільки на маточину або тільки на

обід може викликати відповідно жолоблення виробу й вигин під впливом зусилля прошивання. Недостатня жорсткість периферійних ділянок поковки, що виходять до лінії рознімання під кутом $\alpha > 15^\circ$, вимагає охоплення цих ділянок пуансоном. Зазор між різальними крайками в цьому випадку становить $\delta = 0,3$ мм (див. рис. 6.1, б). [6, т. 2, с. 256]. У пуансонів, що охоплюють бічну поверхню поковок, гострі крайки зрізаються на відстані від лінії рознімання (мм) $S_i = 0,2D + 1$ (див. рис. 6.1, а).

Робочу поверхню охоплювального пуансона підганяють за контуром поковки або вилівка з остаточного ривчака. Центрувальними контурами розміри пуансона й поковки, що обрізається, збігаються, а за нецентрувальними між ними передбачається зазор Δ , який дорівнює половині верхнього відхилення від відповідного горизонтального розміру поковки з додаванням 0,3...0,5 мм. Недоцільно охоплювати швидкозношувані елементи поковки. Для штовхальних пуансонів, які входять у матрицю, зазор між пуансоном і матрицею чітко регламентований [6, т. 2, с. 256]. Якщо пуансон не входить в обрізну матрицю¹, його форма може бути довільною, єдиною для цілої групи поковок, але має дотримуватися умова (6.2) і виключатися жолоблення.

Якщо в обрізанні беруть участь робочі крайки матриці й пуансона, зазор δ повинен становити 8...10 % товщини задирки, але не менше ніж 0,2 мм. При цьому зменшуються розміри пуансона. У прошивному штампі необхідно передбачати центрування поковки й достатню площу опори. Зазор по центрувальному контуру прошивної матриці Δ приймають таким, що дорівнює половині верхнього відхилення від відповідного розміру поковки, по нецентрувальному контуру зазор на сторону встановлюють таким, що дорівнює $\Delta + 0,5$ мм (рис. 6.1, г). Прагнучи зменшити габарити матриці, центрування поковки часто здійснюють кронштейнами з установлювальними упорами, однак площа опорної поверхні матриці F_m повинна задовольняти нерівності (6.2).

Різальний контур пуансона виготовляють за контуром отвору, що прошивається, з урахуванням усадки. Розміри провального вікна матриці повинні забезпечувати вільне видалення відходів і приймаються на 1...2 мм меншими, ніж відповідні розміри контуру крайки порожнини поковки, щоб на опорному торці виробу не залишалася відбитків. Якщо перемичка, яку прошивають, приєднується до опорного торця поковки або ухил у внутрішній порожнині перевищує 15° , матриця виконується з різальною крайкою. Зазор між пуансоном і матрицею досягається збільшенням розміру отвору [6, т. 2, с. 280].

Конструкція й розміри універсальних штампів для обрізання задирки в круглих у плані поковок регламентовані ГОСТ 23209. Штампи експлуатуються на однокривошипних пресах зусиллям 1,6, 2,5 і 4 МН ГОСТ 10026. Максимальні розміри поковок, що обрізаються, такі:

зусилля преса, МН	1,6	2,5	4
діаметр, мм	150	200	250
висота, мм	75	100	125

¹ При цьому поковка, як правило, виступає з матриці не менше ніж на 100 мм.

Блоки мають напрямні колонки, що виконуються за класом точності IT7 – IT8. У нижній плиті коробчастого типу передбачено пази для видалення обрізаної поковки. Верхня плита закріплюється на повзуні чотирма болтами й хвостовиком. У ГОСТ 23209 наводяться габаритні розміри й закрита висота змінних пакетів, що встановлюються в блоки. Проектування штампа зводиться до визначення профілю й розмірів робочих частин матриці й пуансона, довжини робочої частини пуансона, що відповідає стандартній закритій висоті змінного пакета Н.

Зсув поковки пуансоном становить 3...5 товщин задирки. На момент зіткнення пуансона з поковкою колонка повинна увійти у втулку на глибину не менш ніж 12 мм. При нижньому положенні пуансона між верхнім торцем колонки й повзуном преса повинна залишатися відстань не менш ніж 15 мм. Зовнішній діаметр матриці й напрямна частина пуансона, виконані з граничними відхиленнями відповідно по е8 і h9, забезпечують надійне центрування змінного інструмента у верхній і нижній плитах. Матриця заглиблена в нижню плиту й закріплюється чотирма прихватами. Пуансон із заплічками засувається в паз пуансонотримача й фіксується притиском.

Конструкція й розміри універсальних штамів для обрізання задирки поковок із подовженою віссю приймаються відповідно до ГОСТ 23210. Штами встановлюються на однокривошипних закритих пресах зусиллям 1,6, 2,5, 4 МН і оснащуються напрямними колонками й жорсткими знімачами (ГОСТ 10026). Пуансон центрується у верхній плиті й закріплюється прихватами. Матриця центрується щодо пуансона за допомогою восьми відтискних гвинтів (по два на кожній грані) і теж кріпиться до плити прихватами.

Основні розміри змінного пакета, що складається з матриці, пуансона й знімача, повинні відповідати ГОСТ 23210. Розрахувавши зусилля обрізання за формулою (6.1), необхідну товщину стінки обрізної матриці b і її висоту h , вибирають типорозмір стандартного блоку за зусиллям преса й габаритами матриці. Для обраного стандартного блоку підраховується висота пуансона, що забезпечує закриту висоту пакета Н з урахуванням необхідної величини зрушення поковки при обрізанні.

Конструкція й розміри блоків універсальних штамів сполученої дії для обрізання задирки й пробивання отвору в круглих у плані поковок регламентовані ГОСТ 23211. Максимальні діаметри отворів, що пробиваються, на пресах зусиллям 1,6, 2,5, 4 МН відповідно дорівнюють 80, 110 і 150 мм. Габарити поковок, що обрізаються, приймають за ГОСТ 23209. Змінний пакет штампа містить пуансон, матрицю, прошивень і виштовхувач. Чотири штовхачі під впливом гідропневматичного пристрою преса (подушки) піднімають виштовхувач, що видаляє поковку з матриці за час зворотного ходу повзуна. Якщо в комплекті преса відсутня гідропневматична подушка, за рекомендаціями ГОСТ 23211, проектується буферний пристрій з тарілчастими або гвинтовими циліндричними пружинами.

Серед нестандартних штамів широкого поширення набули штампи із секційними матрицями [6, т. 2, с. 259]. Для послідовних штамів, які, крім обрізання, виконують операції прошивання, правки, гнуття, виготовляють спеціа-

льні плити [6, т. 2, с. 282]. У сполучених штампах обрізну матрицю й прошивний пуансон іноді розташовують угорі. У цьому випадку поковка фіксується в нерухомій прошивній матриці або в знімачі [6, т. 2, с. 283, 284]. Основні розрахункові залежності для проектування штампів простої й сполученої дії наведені в довіднику [6, т. 2, с. 262, 280, 285–287].

Загальний вигляд рекомендується викреслювати тільки для штампів спеціальних конструкцій. У технічних вимогах доцільно обговорювати: відхилення від паралельності опорних поверхонь верхньої й нижньої плит (не більш ніж 0,05 мм на 100 мм довжини); вільне переміщення (без перекосів і заїдань) верхньої частини штампа за напрямними колонками; чистоту поверхонь деталі, що піддають механічній обробці (без тріщин, забоїн та інших дефектів); вид нарізки (метрична за СТ СЕВ 182), допуски на нарізку 7Н/8g (ГОСТ 16093), розміри стоків, недорізів, фасок для нарізки (ГОСТ 10549); технічні характеристики преса й міри безпечної експлуатації штампа.

На плитах блоків обрізних штампів зазначається, які захисні пристрої варто застосовувати при роботі на них. Штампи повинні бути виконані з урахуванням вимог безпеки: між рухомими й нерухомими частинами в нижньому положенні повзуна передбачається зазор не менший ніж 15...20 мм; повинен виключатися схід напрямних втулок з колонок при підйомі повзуна; обмежувачі закритої висоти штампа варто розташовувати в безпечній зоні; габаритні розміри верхньої плити не повинні перевищувати розмірів нижньої; у кріпленнях штампів для холодного обрізання передбачається застосування контргайок або пружинних шайб.

Якщо для обрізання й прошивання використовується стандартний універсальний штамп, на кресленні показують тільки змінний пакет із зазначенням габаритних і приєднувальних розмірів. У примітці до креслення вказується, що фігури в пуансоні й матриці необхідно виконувати за кресленням поковки, призначеним для виготовлення штампа, і приганяти за поковкою або за виливком. У технічних вимогах обговорюється також розмір зазору між пуансоном і матрицею, допуски на розміри, шорсткість поверхонь, місця маркування, умовні позначки стандартного блоку. Марки сталі й норми твердості деталей штампів призначаються за довідником [6, т. 2, с. 379].

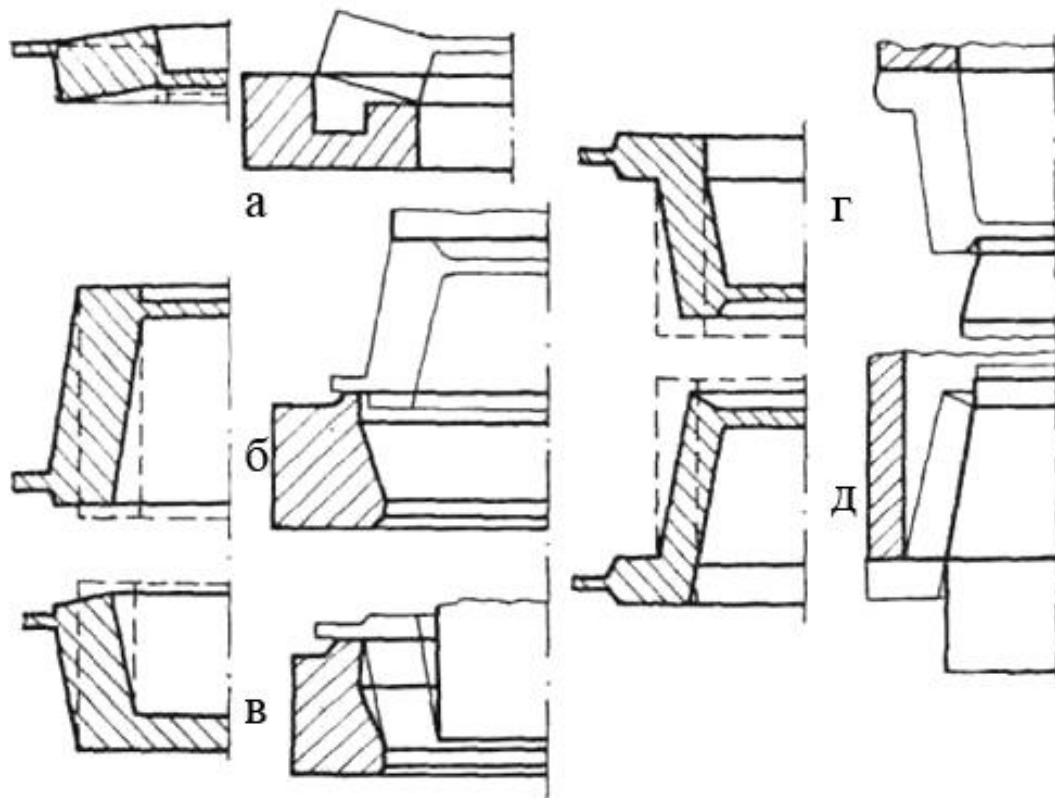
6.2 Правка поковок

Підвищення точності форми поковок. Потворні форми поковки деформації можуть виникати при охолодженні після штампування, виймання з рівчака, обрізання задирки й при термічній обробці. Щоб ліквідувати погіршеності форми й зменшити припуски на механічну обробку (табл. В.1 дод. В), вдаються до холодної правки. Дрібні й середні поковки правлять на гвинтових пресах або молотах, установлених у термічному відділенні, а великі подовженої форми – на правильних гідравлічних пресах.

Гарячу правку здійснюють після обрізання задирки в спеціальному штампі на кривошипному пресі або в штампувальному рівчаку. Правила проектування коректувальних рівчаків і конструкції штампів наведені в довіднику [6, т.

1, с. 288–289].

Одержання поковок без штампувальних ухилів. Деякі типи круглих у плані поковок можна одержати без штампувальних ухилів.



а – низькі кільця; б – високі кільця; в – поковки типу склянки;
г – поковки з фланцем і маточиною; д – те саме, з високою маточиною

Рисунок 6.2 – Ескізи попередніх поковок і схеми обробних операцій:

Такі поковки оформляються в штампувальному рівчаку в розгорнутому вигляді, а потім на обрізному кривошипному пресі їм надається остаточна форма гарячою правкою (рис. 6.2, а), обтиском (рис. 6.2, б, в) або роздачею (рис. 6.2, г, д).

Відсутність напусків на ухили зменшує масу поковок і трудомісткість механічної обробки. Бічна поверхня попередніх поковок майже повністю оформляється в одній половині штампа, тому припуск на зовнішній діаметр деталей P_{ϕ} можна зменшити порівняно з припуском P за ГОСТ 7505: $P_{\phi} = P - 0,5c$, де c – припустиме зміщення штампів. Максимальне віддалення внутрішньої лінії рознімання від зовнішньої дозволяє оформляти попередні поковки з мінімальними відходами в задирки.

У поковках, підданих правці й роздачі, у відхід з перемичкою видаляється менше металу (рис. 6.2, а, г, д). Рекомендації з проектування штампів і побудови графіків робочих навантажень при обробних операціях наводяться в спеціальній літературі [33].

6.3 Калібрування, термообробка й очищення поковок

Калібрування використовується для одержання точних розмірів поковок і поліпшення якості поверхонь. Воно поєднується з утворенням на обтискних поверхнях рельєфної фігури й зі зняттям штампувальних ухилів обтисненням стінок виробу. Холодне калібрування, що виконується після термообробки й очищення поковки від окалини, дозволяє в деяких випадках відмовитися від механічної обробки поковки в цілому або її окремих елементів.

Задана точність розмірів між каліброваними поверхнями може бути отримана при деформації за висотою 1...2 %, але чистота поверхні може виявитися недостатньою. У дод. 1 ГОСТ 7505 обговорюються допуски на калібровані розміри й мінімальні значення однобічного припуску на калібрування, що забезпечує необхідну якість каліброваних поверхонь. При обтисненні декількох пар паралельних площин поковки припуски визначаються окремо для кожного вертикального розміру.

Холодне калібрування забезпечує шорсткість каліброваних площин $R_{a0,32} - R_{a2,5}$. Краї обтискних поверхонь набувають необхідної шорсткості раніше, ніж середина, тому на каліброваних елементах поковок бажано передбачити порожнини у вигляді позначок. На ділянках, що мають незначне відношення висоти до ширини або таких, що зазнають травлення, замість обробки дробом, необхідна величина обтиснення зменшується. Рясне змащення погіршує якість каліброваних поверхонь.

Основною перешкодою для одержання високої точності розмірів при площинному калібруванні є утворення опуклості попередньо плоского торця, що розраховується за формулою (мм):

$$f_m = \frac{0,36 p_{уд} \sqrt{F}}{E}, \quad (6.3)$$

де $p_{уд}$ – тиск калібрування, МПа;

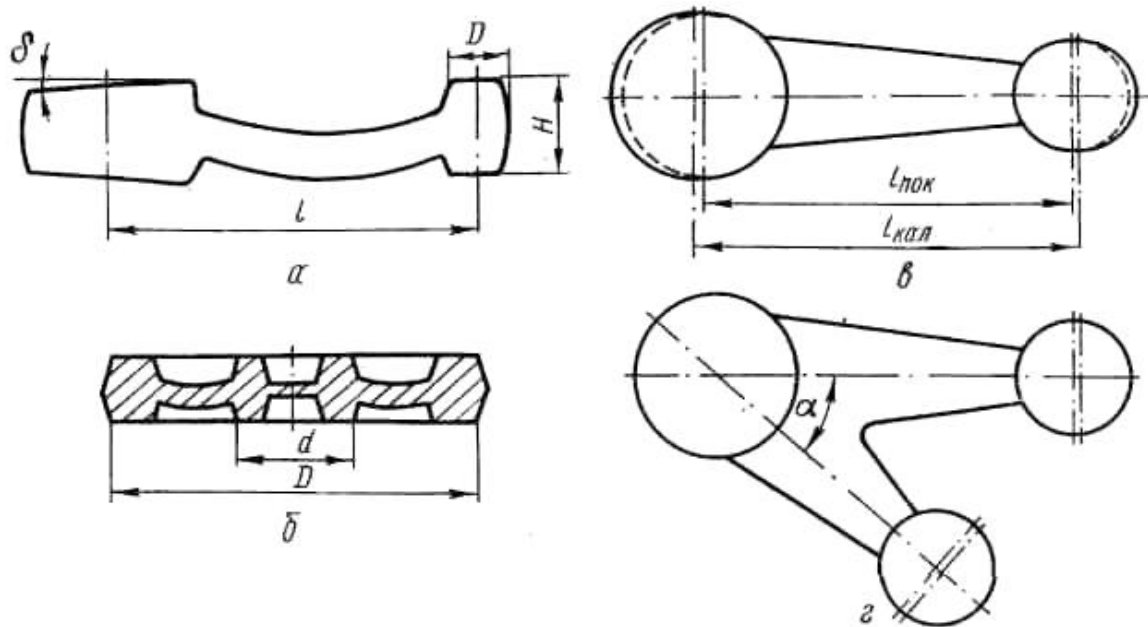
F – площа калібрування, мм²;

E – модуль пружності матеріалу штампових плит, МПа.

Тиск можна знизити застосуванням гарячого калібрування, термообробкою поковок, зменшенням контактного тертя ефективним змащенням і ретельною обробкою поверхні інструмента. Ці заходи особливо ефективні на ділянках поковки зі значним відношенням поперечних розмірів до висоти. Гаряче калібрування погіршує якість поверхні. Її не можна застосовувати для поковок, що зазнають загартування й відпускання, якщо виключається подальша механічна обробка.

Модуль пружності можна підвищити підбором матеріалу штампа й орієнтуванням волокна в напрямку стискальних напруг. Допуски на калібровані розміри при цьому можуть бути знижені на 25 % [16, с. 518].

Опуклість зменшується при використанні масивних калібрувальних плит з розвинутою опорною поверхнею або ввігнутістю відповідних площин штампувального рівчака. Дворазове обтиснення за кожний хід повзуна, що здійснюється при калібруванні на кривошипно-колінних пресах, підвищує точність каліброваних розмірів.



а – непаралельність каліброваних поверхонь і вигин стрижня важеля;
 б – вигин полотна шестерні; в – збільшення міжцентрової відстані;
 г – зміна кута α між осями

Рисунок 6.3 – Дефекти каліброваних поковок

П'ять-шість дворазових обтиснень за кожний хід повзуна на пресах з кулачковим приводом кривошипно-колінного механізму знижують шорсткість обтискних поверхонь удвічі. Калібрування в штампі з упорами, що обмежують вигин і пружну ввігнутість калібрувальних плит дає можливість зменшити допуск на калібровані розміри в 1,7...2 рази.

Підвищений опір плину металу на каліброваних поверхнях за певними напрямками (рис. 6.3, а) може викликати різнотовщинність каліброваних елементів. Для її компенсації у штампованих поковках передбачається непаралельність каліброваних площин з розбіжністю у зворотний бік. Зустрічний плин металу за різними обтискними площинами одночасно призводить до вигину нежорстких елементів поковки, розташованих між каліброваними ділянками (рис. 6.3, а, б). Такий вигин можна усунути, зменшивши припуск на калібрування (див. рис. 6.3,б) або застосувавши роздільне калібрування площин (див. рис. 6.3, а).

Якщо стрижень поковки жорсткий, калібровані головки набувають еліптичної форми, а міжцентрова відстань $l_{\text{пок}}$ збільшується до l_k (рис. 6.3, в). У більш складних поковках змінюються також кути між елементами α (рис. 6.3, г). На кресленні каліброваної поковки розміри, що змінюються, проставляють із примітками: «штампувати» і «калібрувати». Наприклад, висота каліброваної головки важеля H позначається так: штампувати $27,3^{+1,3}_{-0,6}$, калібрувати $25^{-0,35}$. Для діаметра D вказується: штампувати $\varnothing 28^{+1,3}_{-0,6}$, калібрувати $\varnothing 28^{+2,6}_{-0,6}$. Якщо при калібруванні змінюється форма поковки, готують два окремих креслення поковки: до калібрування й після його. Горизонтальні розміри поковок, що укладаються в рівчак для об'ємного калібрування, роблять меншими, ніж остато-

чні, на 0,5...0,8 мм, а вертикальні збільшують, дотримуючись умов сталості об'єму. На поковки, калібровані з утворенням задирки, призначається припуск із урахуванням передбачуваного об'єму.

У необхідних випадках горизонтальні розміри штампувального рівчака виконуються зменшеними на величину очікуваних під час площинного калібрування збільшень розмірів поковки. Якщо допуск на розмір або чистота каліброваної поверхні не відповідають вимогам, висунутим до готової деталі, призначається припуск на подальше шліфування – 0,2...0,4 мм на сторону.

Зусилля калібрування орієнтовно визначається за дослідним значенням тисків [6, т. 2, с. 290]. Гаряче калібрування виконується на молотах, фрикційних або кривошипних гарячештампувальних пресах, а холодне – на холодноштампувальних кривошипно-колінних, розміщених у термічному відділенні штампувального цеху. Високу продуктивність і безпечні умови праці забезпечує механізація обслуговування каліброваного штампа за допомогою шибєрних подач, грейферного перекладника або інших пристроїв [32, с. 263].

Споживач обговорює матеріал і норми твердості або категорію міцності¹ поковки на кресленні деталі або в замовленні. Режим термічної обробки, що забезпечує необхідний рівень механічних властивостей поковки, установлюється підприємством-виготовлювачем. Поковки, що пройшли після термічної обробки правку в холодному або підігрітому стані, піддають відпусканню для зняття внутрішніх напружень.

Енергетично вигідні операції термообробки, здійснювані з використанням кувального тепла. Гарні результати дає поєднання термообробки з формозмінними операціями, наприклад, у гартівних пресах.

Очищення від окалини виконують при підготовці поверхні поковок під покриття й для підвищення стійкості різального інструмента. Рациональний спосіб очищення вибирається залежно від маси, форми й вимог до якості поверхні поковок на основі порівняльних характеристик різних способів [6, т. 2, с. 301].

¹ Норми твердості, що відповідають різним категоріям міцності, наведені в табл. 2 ГОСТ 8479-70.

7 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ

Технологічний процес листового штампування розробляється за етапами: аналіз технологічності деталі; визначення форми й розмірів заготовки; проектування переходів штампування; розрахунок технологічних зусиль, вибір типу устаткування; проектування штампа; визначення трудомісткості виготовлення деталей і завантаження устаткування. Черговість етапів може змінюватися. Так, у технологічних процесах, що містять гнуття, витяжку й формування, розміри заготовки встановлюються після розрахунку переходів штампування. Вихідними даними для проектування технологічного процесу є креслення деталі із зазначенням матеріалу, технічних вимог й програми випуску деталей.

Серійність виробництва обумовлює ступінь універсальності штампувального устаткування й тип штампа: універсально-збірний, пінцетний, універсально-переналагоджувальний, спеціальний [3, с. 17; 19, с. 312]. При подальшому аналізі креслення деталі й технічних вимог (точності розмірів, припустимих погрешностей форми) тип штампа уточнюється. За узгодженням із замовником можуть коректуватися й технічні вимоги (щоб вони відповідали обраному способу штампування).

Попередньо відібрані два-три варіанти штампування зіставляються за технологічною собівартістю, що включає вартість матеріалу, заробітну плату, витрати на виготовлення, установку й переналагодження штампа, експлуатацію й амортизацію штампів і пресів. На основі такого економічного аналізу вибирається оптимальний варіант.

7.1 Аналіз технологічності

Показником технологічності є найменша собівартість штампованих деталей. При аналізі особливу увагу варто приділяти раціональному використанню матеріалу, з огляду на те, що економія 10 % металу рівноцінна збільшенню продуктивності праці в три рази. Технологічними прийнято вважати легкі конструкції з пластичного матеріалу малої товщини. Їхня жорсткість досягається формуванням ребер, відбортовкою, закачуванням крайок. Технологічності можна домогтися, замінивши відлиті ковані або клепані деталі штампозварними, зменшивши кількість складових у цільноштампованому вузлі або застосувавши при складанні вузла операції розклепування, відбортовки, загинання крайок і лапок, закачування шва. Іноді незначні зміни форми деталі дозволяють використовувати маловідхідне або безвідхідне розкроювання заготовки.

Технологічність конструктивної форми. Вимоги технологічності плоских деталей включають обмеження за такими мінімальними розмірами: радіусами сполучення прямолінійних ділянок, кутами загострення зовнішнього й внутрішнього контурів, розмірами отворів і пазів, відстаней між ними й від краю деталей [19, с. 280; 27, с. 43]. У вигнутих деталях обмежені радіуси й кути загинання, відстані від краю відігнутої полиці або від краю отвору в ній, а також від границі просторового елемента на полиці до лінії загинання, відстані між відігнути-

ми полицями. Мінімальні радіуси загинання доцільно застосовувати лише у випадках конструктивної необхідності. Для твердих і малопластичних матеріалів товщиною s найменший радіус вигину становить $(2...4)s$. Лінію вигину бажано розташовувати поперек волокон. Жорсткість гнутих деталей доцільно підвищувати штампуванням ребер жорсткості впоперек кута вигину (ГОСТ 17040).

Для порожніх деталей обговорюються радіуси дна, фланця, кутів коробчастих деталей, мінімальна відстань між уступами в круглих деталях, найбільша висота залежно від ходу витяжного повзуна. Необхідно уникати складних і несиметричних форм виробів, що витягаються, неприпустимі уступи на стінках. Для формованих деталей обмежується висота виступів, ребер і елементів, виготовлених відбортовкою, мінімальні радіуси закруглень на ребрах, уступах і в плані (якщо виступи некруглі), відстань між просторовими елементами [19, с. 282; 27, с. 45].

У поелементному штампуванні неприпустимі такі елементи контуру плоских деталей і заготовок: криві, що не є дугами кола; внутрішні гострі кути, для утворення яких відсутній стандартизований інструмент; вузькі перемички шириною до $2s$. Для гнутих потрібна максимальна простота профілю й радіуса загинання $R = 1,6s$. Порожні деталі, що витягаються, поелементним штампуванням не виготовляються. Для просторових елементів листових деталей необхідною умовою застосування такого штампування є відповідність форми й розмірів робочих частин універсальних штампів або змінного інструмента.

Точність деталей. У масовому й особливо в дрібносерійному виробництві деталей варто враховувати економічну точність штампування. Жорсткість нормального допуску на 20 % підвищує собівартість деталі на 50...80 %, а зниження його на 40 і 60 % збільшує витрати відповідно в 2,5 і 4 рази.

Значення економічно доцільних (ЕД) і гранично досяжних (ГД) допусків на розміри деталей, виготовлених комплексним і поелементним штампуванням, розраховуються або визначаються за таблицями [27, с. 44–46]. У серійному виробництві ЕД для плоских деталей доцільно визначати залежно від класу точності штампа, а зміщення отворів щодо зовнішнього контуру – з урахуванням типу штампа (сполучений, послідовний) і способу фіксації в ньому заготовки [19, с. 316, 317].

У штампі сполученого типу може бути досягнута підвищена й середня точність штампування IT9 – IT12, а в штампі послідовного типу – середня й знижена IT13–IT15. Щоб підвищити точність плоских деталей до IT6–IT9, вводять додаткову операцію зачищення. Шорсткість поверхні зрізу при цьому відповідає $R_a 0,4$ – $R_a 1,25$, однак у крайки деталі з'являється невеликий відкол, якого можна уникнути, застосувавши чистове вирубування. Підвищені вимоги до геометричної форми плоских деталей забезпечуються притискними пристроями штампів або додатковою правкою.

Відхилення по висоті полиць і відстань до осі отворів у вигнутих деталях залежать від способу фіксації заготовки в штампі. Деталі підвищеної точності з погрішністю розмірів $+0,05s$ виготовляють у штампах спеціальної конструкції. Калібрування витягнутих або вигнутих деталей дозволяє одержати мінімальні радіуси закруглення. Отвори легше пробити в плоскій деталі. Якщо в процесі загинання змінюються міжосьові відстані, пробивання отворів роблять після нього.

Загинанням без притискання вдається одержати деталі з розмірами точні-

стю до IT14. Використання для фіксації заготовки притискання дозволяє підвищити точність до IT12. За допомогою технологічних баз і додаткового калібрування можна довести точність розмірів до IT9–IT11. Відхилення по діаметру й висоті порожніх деталей визначаються з урахуванням обрізки після витягування [19, с. 318, 320; 27, с. 46]. Без обрізки одержують деталі з коефіцієнтом витягування $m = 0,8 \dots 0,7$, якщо необхідні відхилення висоти не перевищують IT11, IT12 у простому штампі й IT9–IT11 у сполученому вирубно-витяжному.

У ряді випадків розміри штампованої деталі визначаються шириною смужової заготовки або стрічки. Допуски на ширину смуг, нарізаних на гільйотинних ножицях, призначаються залежно від товщини матеріалу [19, с. 297]. Точність різання на дискових ножицях із прямо поставленими ножами відповідає відхиленню розмірів за IT14. Допуски на ширину смуг (стрічок), які одержують на багатодискових ножицях, становлять $\pm(0,05 \dots 0,2)$ мм. Точність розмірів за товщиною листових деталей визначається допусками на товщину матеріалу, передбаченими в стандартах на сортамент (ГОСТ 14637, ГОСТ 9045, ГОСТ 19904, ГОСТ 24244, ГОСТ 2283, ГОСТ 503). Шорсткість поверхні зрізу при розділових операціях у штампі або на ножицях становить $R_z 20 - R_z 80$. Підвищена чистота поверхні зрізу досягається зачищенням або чистовим вирубанням [27, с. 45].

Зазначеним способом установлюються економічно доцільні допуски на готову деталь і операційні допуски. Якщо економічна точність штампування не забезпечує одержання заданих конструктивних допусків, розглядається питання про їхню зміну або введення в технологічний процес додаткових операцій (калібрування, правки, зачищення й т. п.). У технічних вимогах на штамповану деталь вказується величина задирки, що допускається: $H_3 = (0,03 \dots 0,04)s$, якщо $s < 0,6$ мм; $H_3 = 0,03\sqrt{s}$, якщо $s > 0,6$ мм. У необхідних випадках задирка видаляється правкою, зачищенням, галтуванням або вібраційним очищенням [19, с. 233].

7.2 Визначення форми й розмірів заготовки

Розкроювання смуги в процесі штампування. Найбільш ефективним є одержання деталей маловідходним або безвідхідним розкроюванням, що забезпечує похибку зовнішнього контуру в межах IT14 (іноді IT13). У кожному конкретному випадку необхідно порівняти методи розкрою (прямий, похилий, зустрічний, комбінований, багаторядний та ін.) і вибрати з них найбільш доцільний.

Якщо складність або висока точність контуру не дозволяють використовувати безвідхідне розкроювання, призначаються перемички за таблицями довідника [19, с. 293]. Такі технічні заходи, як застосування бічного притискання, фіксація стрічки вловлювачами, зменшують необхідну ширину перемичок, але бічні притискання надійно працюють лише при товщині матеріалу $s > 0,3$ мм.

Штампування із кліщовою автоматичною подачею дозволяють зменшити перемички порівняно з табличними на 10...20 %, а застосування гачкових подач збільшує їх на 10 %. При використанні крокового ножа, що підвищує точність подачі, можна приймати мінімальні значення поздовжньої перемички. Однак у

цьому випадку буде потрібне обрізання бічної крайки [19, с. 294]. Послідовне витягання в стрічці здійснюється з поздовжніми перемичками 1,5...2,5 мм. Бічні перемички призначаються залежно від розмірів заготовок.

Варіанти розкрою смуги з відходами досить докладно висвітлені в спеціальній літературі [19, с. 288; 3, с. 101–103]. Довгу вісь деталі краще розташовувати впоперек смуги, щоб зменшити кількість розрізів, скоротити крок подачі заготовки в штамп і знизити кінцеві відходи. Значну економію металу при виробництві дрібних деталей забезпечують багаторядні послідовні штампи, що мають 2, 3, 5, 7, 9 або 11 рядів [19, с. 292].

Найкращий варіант розкроювання визначається за найбільшим значенням коефіцієнта розкроювання $k_p = [f_0 n_p / (Bh)] \cdot 100 \%$, де f_0 – площа поверхні деталі (включаючи дрібні отвори); n_p – кількість рядів розкроювання; B – ширина смуги; h – крок вирубкування. Якщо штампування здійснюється з бічним притискуванням, ширина смуги розраховується за формулою:

$$B = D + 2b + \Delta_{\text{ш}}, \quad (7.1)$$

а якщо без нього – за виразом:

$$B = D + 2(b + \Delta_{\text{ш}}) + z, \quad (7.2)$$

де D – ширина деталі, що вирізається;

b – найменша ширина бічної перемички;

$\Delta_{\text{ш}}$ – однобічний (мінусовий) допуск на ширину смуги;

z – гарантійний зазор між напрямними й найбільшою можливою шириною смуги [19, с. 297].

У штампі з бічним притискуванням ширина смуги зменшується на 1...5 мм.

Розкроювання листа. Економічно вигідне масове штампування великогабаритних деталей з листів кратних або мірних розмірів¹, а дрібних деталей – з рулонної заготовки. У кожному разі розкроювання має забезпечувати найбільший коефіцієнт використання металу:

$$k_{\text{и}} = \frac{f n}{L B} 100 \%, \quad (7.3)$$

де f – площа деталі без отворів;

n – фактична кількість деталей, одержуваних зі стрічки або листа (з урахуванням невикористовуваних кінцевих відходів);

L, B – довжина й ширина смуги (стрічки або листа).

Кінцеві відходи менші на довгій смузі, тому вузькі смуги доцільно різати вздовж аркуша. Часто площа листа повніше використовується при комбінованому розкроювання. Напрямок прокатки враховується тільки в заготовках, що піддаються загинанню з малим радіусом. Якщо орієнтування лінії загинання поперек волокон спричиняє нераціональне розкроювання, необхідно спробувати переглянути технологічність деталі. Завдання вибору кращого варіанта розкроювання смуги й листа доцільно вирішувати на ЕОМ.

¹ Форма 1, 3 або 4 за ГОСТ 19903-74

7.3 Технологічні розрахунки

Технологічна схема штампа. Технологічність деталі повинна бути забезпечена рішеннями, закладеними в конструкцію штампа, тому в завданні на його конструювання обговорюються: тип штампа, найменування й послідовність виконуваних операцій; кількість одночасно штампованих деталей і схема розташування робочих частин штампа; спосіб подачі й фіксації заготовки; спосіб видалення деталей і відходів. Найменування операцій і їхня послідовність визначаються при аналізі технологічності деталі. Складним завданням є вибір ступеня суміщеності операцій.

Мало- і великогабаритні деталі доцільно виготовляти в більш продуктивних й безпечних комбінованих штампах, необхідно тільки правильно вибрати його тип [19, с. 299]. Штampi сполученої дії забезпечують високу точність розмірів деталей, гарну їхню площинність. Однак спосіб видалення деталей з них (викидаються на поверхню штампа) знижує продуктивність, підвищує небезпеку травматизму. На швидкохідних пресах надійніше працюють штampi послідовної дії, вартість яких для деталей простої конфігурації нижча, а стійкість (міцність деталей) вища, ніж штампів сполученої дії.

Ефективність використання комбінованих штампів у порівнянні з одноопераційними оцінюється за виразом $K_{г.доп} \leq (C_1 - C_2)N$, де $K_{г.доп}$ – вартість додаткових капіталовкладень, віднесена до одного року роботи штампів; C_1 , C_2 – собівартість операцій за варіантами, що зіставляються; N – річний випуск штампованих деталей. Витрати на штampi приймаються за дослідними даними.

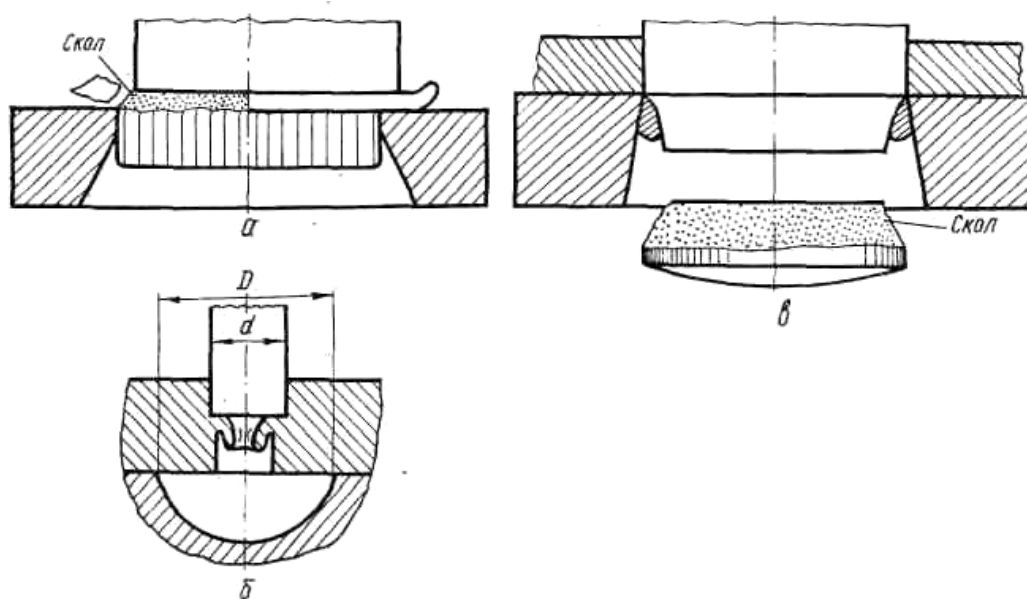
Оптимальність штампувальних перемичок і допусків, зазначених на кресленні деталі, повинна бути підтверджена конструктивними рішеннями з фіксації заготовки або смуги в штампі. У штампах з ручною подачею заготовки позиціонування здійснюється упорами або фіксаторами різноманітних конструкцій [19, с. 394–398]. Точність подачі за переходами в штампі послідовної дії, забезпечувана вловлювачами, становить $\pm 0,1$ мм (для невеликих деталей товщиною до 2 мм). Подається рулонний і смуговий матеріал за допомогою автоматичних пристроїв валкового, кліщового або гачкового типу. Точність валкової подачі становить $\pm 0,05 \dots \pm 0,25$ мм. Швидкість переміщення стрічки може досягати 70 м/хв. Кліщова подача застосовується для широкого діапазону товщин матеріалу (до 8 мм) і відрізняється підвищеною точністю: $\pm 0,02$ мм при кроці подачі 40 мм і $\pm 0,08$ мм – при 150 мм. Подачі кліщового, клино-роликового або гачкового типу, що вбудовуються в штамп, переміщують стрічку або смугу на крок до 50 мм із точністю $\pm 0,5$ мм.

Штучні заготовки подаються в штамп автоматичними бункерними й грейферними пристроями або лотковими, револьверними, фрикційними й магазинними механізмами. Для маніпулювання великогабаритними штучними заготовками використовуються механічні руки підлогового або підвісного типу. У дрібносерійному листоштампувальному виробництві все більшого поширення набувають автоматичні маніпулятори для подачі штучних заготовок у штамп, переміщення їх за позиціями, видалення деталей і відходів.

Відштамповані вироби провалюються в отвір матриці, виштовхуються в

стрічку, що рухається, або на поверхню штампа з подальшим ручним або автоматичним видаленням. Видалення деталей і відходів вручну малопродуктивне й небезпечне, тому допускається тільки у виняткових випадках.

Технологічні розрахунки при розділових операціях. Основним технологічним фактором, що визначає опір зрізу, стійкість штампа, а також якість поверхні поділу після операцій, пробивання й вирубування, є зазор між пуансоном і матрицею. Він установлюється залежно від товщини й властивостей оброблюваного матеріалу в межах від $2z_{\min}$ до $2z_{\max}$ [19, с. 25]. Зменшення зазору викликає інтенсивне зношування різальних крайок, а збільшення погіршує якість штампованих виробів. Допустима зміна зазору не повинна перевищувати допуск на розмір штампованої деталі, а його напрямок (збільшення матриці або зменшення пуансона) вибирається так, щоб при зношуванні інструмента розміри штампованої деталі не виходили за межі допуску.



а – зазор між інструментами додатний (ліворуч) і від’ємний (праворуч); б – зачищення отворів малого діаметра;
в – із пробиванням

Рисунок 7.1 – Схеми зачищення

Гладку й перпендикулярну поверхню зрізу штампованих деталей одержують чистовою вирубкою й пробиванням. Сутність чистової вирубki полягає в створенні інтенсивного гідростатичного тиску в зоні різання. Найпоширенішим є метод місцевого вдавлювання притискача, який має клинове ребро. Для матеріалів товщиною до 4 мм ребро робиться тільки на притискачеві, а для більшої товщини – по обидва боки.

Якщо виріб має складну конфігурацію, спрощують контур клинового ребра [19, с. 27]. Зазор при чистовому вирубуванні повинен бути мінімальним, майже нульовим. Бічні перемички між вирізами з урахуванням клинового ребра приймаються трохи більшими, ніж звичайно. Способи чистової вирубki – пробивання й технологічні обмеження їхнього застосування наведені в довіднику [19, с. 33–39].

Зачищення виконують для підвищення точності деталей і чистоти поверхні зрізу. Воно полягає у видаленні невеликої стружки по контуру деталі (рис. 7.1, а). Дрібні деталі, які подаються в зачисний штамп рухомими завантажувальними пристроями, що не забезпечують надійної фіксації, попередньо вирубуються зі збільшеним зазором $z = (0,06...0,08)s$ і підвищеним припуском на наступне зачищення $0,5\delta > 0,1s$. Точна фіксація й притискання в зачисному штампі деталей середніх розмірів дозволяють здійснювати попередню вирубку зі зменшеним зазором $z = (0,02...0,04)s$ і незначним припуском на зачищення $0,5\delta < 0,08s$ [19, с. 42].

Зачищення отворів, діаметр яких менший за товщину матеріалу, виконується після попереднього пробивання з малим зазором. Двосторонній припуск на зачищення приймають $0,15...0,2$ мм. Для попередньо просвердлених отворів припуск на зачищення зменшується до $0,1...0,15$ мм. Зачисний пуансон не сполучається з матрицею, стружка виходить через лунку діаметром $D = 1,5d$ (рис. 7.1, б). З урахуванням пружних деформацій заготовки в процесі зачищення пуансон збільшують у діаметрі на $0,005...0,015$ мм. Зачищення більших отворів діаметром $d \geq (3...4)s$ у заготовках товщиною до 8 мм доцільно сполучати із пробиванням (рис. 7.1, в). Діаметр пробивного пуансона визначається за діаметром зачисної матриці з урахуванням подвоєного в порівнянні зі звичайним зазором. Деформації деталі запобігає притискач.

Зусилля, необхідне для зачищення, обчислюється за формулою:

$$P = 0,5\delta L\sigma_{cp} \cdot 10^{-6} + \sum Q,$$

де $0,5\delta$ – однобічний припуск на зачищення, мм;

L – довжина периметра зачищення, мм;

$\sum Q$ – зусилля проштовхування, стискання буфера й т. п., МН.

Загинання. Визначення розмірів заготовки, що зазнає загинання, засновано на рівності довжин заготовки й нейтрального шару. Виріб, що згинається по радіусу r , має довжину розгорнення $l = (\pi\phi / 180) (r + \chi s) = 0,017(r + \chi s)$. Тут l – довжина нейтрального шару; ϕ – кут вигнутої ділянки; χ – коефіцієнт, що визначає положення нейтрального шару. Для деталей з кутом вигинання понад 180° рекомендується приймати $\chi = 0,5$. Значення довжини нейтрального шару сполучень кута 90° наведені в довіднику [19, с. 64]. Для будь-якого іншого кута загинання ϕ табличні дані перераховуються множенням на коефіцієнт $0,011\phi$.

Якщо деталь вигнута без закруглень, довжина заготовки визначається за формулою $L = l_1 + l_2 + \dots + l_n + ks(n - 1)$, де $l_1, l_2, \dots, l_n$ – довжина прямих ділянок, мм; k – коефіцієнт, що дорівнює $0,38 - 0,4$ при $r = 0,05s$ і $0,45...0,48$ при $r = 0,1s$ (менші значення відповідають товщині матеріалу $s < 1$ мм, а більші товщині $s = 3...4$ мм). Одночасне загинання кількох кутів супроводжується розтягуванням металу в середині й на кінцях ділянки. У цих випадках можна приймати $k = 0,25$ [5].

Мінімально припустимий внутрішній радіус закруглення деталі обмежується гранично припустимими деформаціями крайніх волокон:

$$\psi_R = 1 - \{ (r / s + 0,5\alpha) / [r / (\alpha s) + 1] \},$$

де ψ_R – відносне звуження поперечного перерізу;

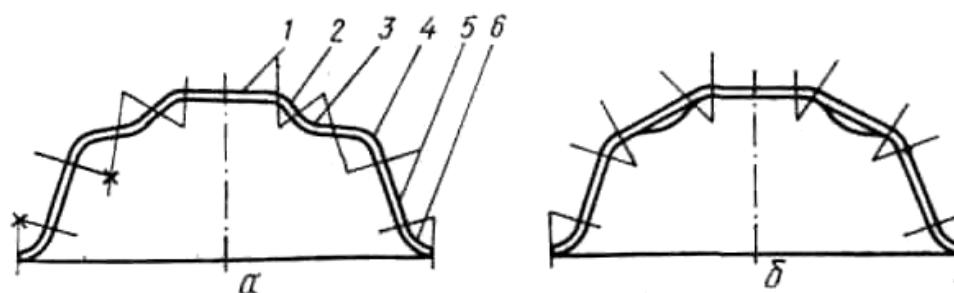
r – радіус загинання;

s – товщина матеріалу;

α – кут згинання. Мінімальні відносні радіуси згинання наведені в таблиці.

цях довідника [19, с. 61].

Вигнута заготовка, пружно деформуючись після зняття навантаження, змінює задані інструментом розміри. Деталі невисокої точності можна одержувати вільним V-подібним загинанням з відносно довгих заготовок. Точні розміри полиць забезпечуються притискними пристроями, роль яких виконують переважно круглі стрижні. Пружинення при однокутовому загинанні компенсується зменшенням кута інструмента. Як правило, П-подібне загинання здійснюється із притискання. Однак варто враховувати, що недостатня сила притискання погіршує якість продукції. Схема загинання з глухим каліброваним ударом підвищує точність виробів, але вимагає більш жорстких допусків за товщиною матеріалу й запасом потужності преса.



а – повна розбивка на елементарні ділянки 1–6;

б – спрощена побудова твірної

Рисунок 7.2 – Схеми до розрахунку розмірів заготовки, що витягається

Для того, щоб не відбувалося затиснення заготовки, значного її тоншення й руйнування, застосовується послідовне згинання або згинання в складнозгинальних штампах. Розміри конструктивно-технологічних елементів робочих частин згинальних штампів приймаються за довідником [19, с. 74].

Витягування. Розрахунок заготовок для витягування деталей круглої форми виконується за принципом рівності площ поверхні заготовки й готової деталі з припуском на обрізання. Діаметр круглої заготовки визначається за формулою $D_{\text{заг}} = 1,13\sqrt{F} = 1,13\sqrt{\sum f}$, де F – площа поверхні готової деталі, мм^2 ; $\sum f$ – сума площ окремих елементів поверхні деталі, мм^2 .

Обчислення діаметра заготовки можна звести до розрахунку за формулами для найпоширеніших форм виробів, що витягаються, [19, с. 92–98]. Для витягувань, які не вимагають великої точності, підрахунок здійснюють за зовнішніми розмірами деталі. Якщо витягування здійснюється без обрізання деталей з матеріалу товщиною понад 1 мм, розрахунки виконуються за середньою лінією. Рекомендовані припуски на обрізання після витягування вибираються залежно від висоти виробу й діаметра фланця [19, с. 99].

У ряді випадків частина поверхонь виробу оформляється тільки наприкінці ходу за рахунок місцевого розтягування без плину металу з країв заготовки (рис. 7.2). Тому зона третьої торової поверхні (рис. 7.2, а) може бути замінена на конічну (рис. 7.2, б). Якщо деталь, що зазнає витягування, має твірну, яку не

вдається розбити на елементарні ділянки, аналогічні табличним, то її поверхня визначається за правилом Гюльдена-Паппуша. Відповідно до цього правила площа поверхні тіла, утвореного кривою довільної форми при обертанні її навколо осі, що перебуває в тій самій площині й не перетинає криву, дорівнює добутку довжини твірної L на шлях її центра ваги: $F = 2\pi RL$, де $2\pi R$ – довжина окружності, описаної центром ваги твірної.

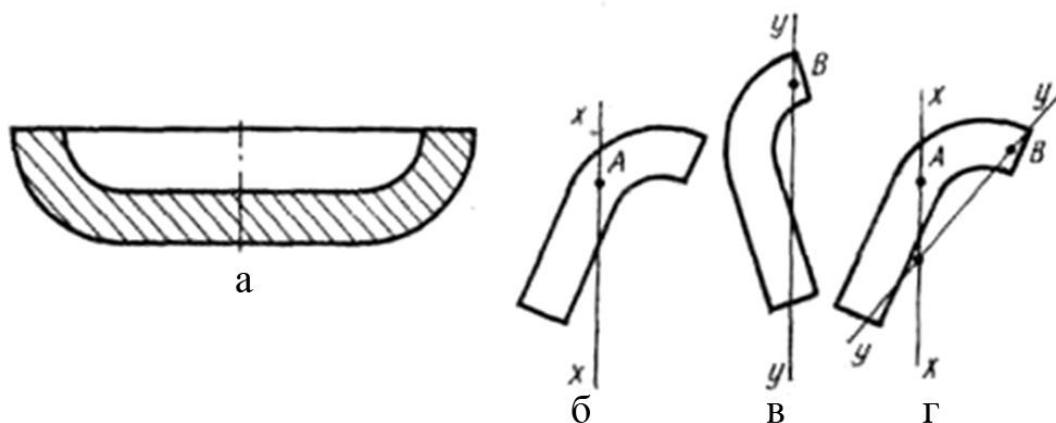
Розрахунок розмірів заготовки за принципом рівності площ дає гарні результати для тонкостінних виробів з відносно постійною товщиною за всім перерізом. Для деталей товстостінних, великогабаритних і таких, що мають змінний переріз за товщиною, доцільно застосовувати метод рівності об'ємів заготовки $V_{\text{заг}}$ і виробу $V_{\text{и}}$. Значення $V_{\text{и}}$ можна визначити за правилом Гюльдена:

$$V_{\text{и}} = 2\pi R F_{\text{п.с.}}$$

Тут R – відстань від центра ваги перерізу до осі виробу;

$F_{\text{п.с}}$ – площа поперечного перерізу виробу.

Таким чином, $V_{\text{заг}} = V_{\text{и}} = \pi D_{\text{заг}} s / 4 = 2\pi R F_{\text{п.с.}}$, звідки $D_{\text{заг}} = \sqrt{8 R F_{\text{п.с.}} / s}$.



а – штампована деталь; б – підвіска шаблона в точці А;
в – підвіска шаблона в точці В; г – центр ваги половини перерізу
на перетинанні ліній

Рисунок 7.3 – Визначення центру ваги за допомогою підвішених шаблонів

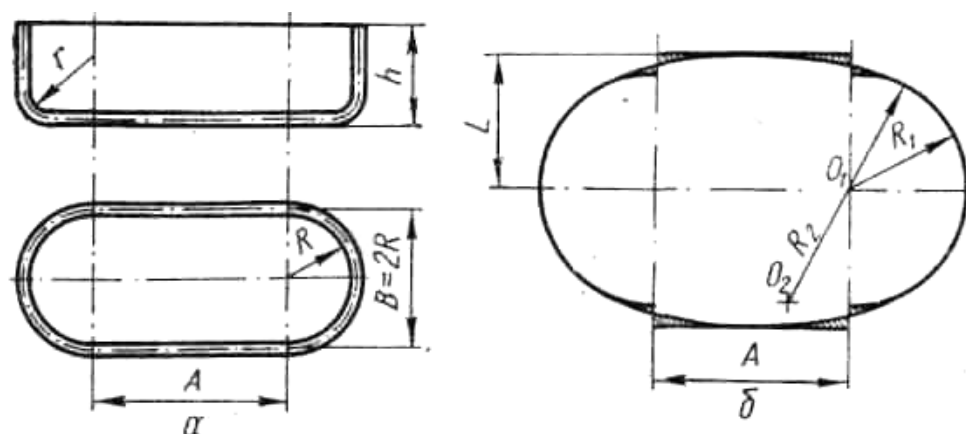
Площу поперечного перерізу розраховують за відомими формулами, у складних випадках вдаються до планіметрування. Центр ваги площі перерізу можна визначити за допомогою попередньо виготовленого шаблона (рис. 7.3). Останній підвішують у двох або трьох досить віддалених одна від одної точках. При кожному підвішуванні по схилу проводять вертикальну лінію. Точка перетинання двох або трьох ліній буде центром ваги перерізу. Якщо відомо масу виробу $M_{\text{в}}$ й густину матеріалу γ , то діаметр заготовки $D_{\text{заг}} = 1,13 \sqrt{M_{\text{в}} / (s \gamma)}$.

Метод розрахунку й побудови форми заготовки при витягуванні прямокутних коробчастих деталей значною мірою залежить від відносної висоти коробки H/B й відносного радіуса кутового закруглення r/B . Залежно від сполучення зазначених параметрів спостерігається різне витиснення металу в бічні стінки, тому встановлено окремі області, яким відповідають різні способи по-

будови форми заготовки [19, с. 106].

При розрахунку заготовки для овальних низьких ($H/B \leq 0,8$) коробок застосовується спосіб, запропонований Н. П. Обозовим. Ширина прямолінійної ділянки заготовки L (рис. 7.4) визначається з умов згинання борта: $L = R + h - 0,43r$. Радіус заготовки R_1 визначається з умов витягування: $R_1 = [R^2 + 2R(h - 0,43r) - 0,14r^2]^{0,5}$. Значення r , R і h вимірюються за середньою лінією. Перехід від радіуса R_1 до прямолінійної ділянки виконується за правилами сполучення радіусом $R_2 = (L + 3R_1) / 2$.

Розміри заготовки при витягуванні в стрічці з надрізами обчислюються так само, як і при витягуванні зі штучних заготовок. Якщо витягування здійснюється в цілій стрічці, обчислюють діаметр умовної заготовки з урахуванням коефіцієнта стоншення $\alpha = 0,96 \dots 0,98$ для однорядного витягування й $\alpha = 0,92 \dots 0,95$ для багаторядного: $F_{\text{заг}} = F\alpha$.



а – форма коробки; б – схема побудови заготовки

Рисунок 7.4 – Побудова контуру заготовки для витягування овальних коробок

Методи точного розрахунку заготовки для деталей складної просторової форми лише розвиваються. Орієнтовні розрахунки уточнюються при виробничих випробуваннях витяжного штампа. Відкоректована заготовка використовується для проектування вирубного штампа. Перш ніж почати побудову технологічного процесу, варто встановити необхідність застосування притискувача-складкотримача за наближеною умовою втрати стійкості:

$$\frac{s}{D} 100 \leq 4,5(1 - m_1). \quad (7.4)$$

Коефіцієнт першого витягування $m_1 = d_1 / D_{\text{заг}}$, де d_1 – діаметр витягнутої деталі; $D_{\text{заг}}$ – діаметр заготовки. Виконання умови (7.4) означає, що притискання необхідне.

Розміри за переходами циліндричних деталей без фланця при витягуванні з притисканням розраховуються за відомим мінімально припустимим коефіцієнтом витягування: $d_1 = m_1 D_{\text{заг}}$; $d_2 = m_2 d_1$; $d_n = m_n d_{n-1}$. Останній з них визначається з умови $d_n = d_{\text{дет}}$. Тут $d_{\text{дет}}$ – діаметр деталі після витягування. Якщо коефіцієнт m_n істотно більший за мінімально припустимий, доцільно перерозподілити ко-

ефіцієнти за всіма переходами, зм'якшуючи останні. Це підвищить надійність технологічного процесу.

Мінімально припустимі коефіцієнти витягування без притискання визначаються залежно від форми матриці (плоска або конічна) [19, с. 122]. При витягуванні деталей із широким фланцем вони зменшуються у зв'язку зі зниженням ступеня деформації. Тому деформацію виробів із фланцем правильніше оцінювати відносною глибиною витягування h / d [19, с. 132].

Розрахунок переходів витягування циліндричних деталей доцільно робити на ЕОМ. При витягуванні в стрічці через цілий ряд технологічних особливостей процесу відносна глибина й коефіцієнти витягування трохи відрізняються від звичайних [19, с. 136–138].

Для конструювання штампів, визначення величини ходу й закритої висоти преса необхідно знати висоту витягування h за кожною операцією. Формули для підрахунку значень h наведені в довіднику [19, с. 124, 125]. Оскільки висота повинна включати припуск на обрізання, діаметр заготовки варто обчислювати з урахуванням цього припуску.

Проектуючи розглянутий процес для коробчастих деталей, необхідно в першу чергу за коефіцієнтом кутового витягування перевірити можливість її здійснення в одну операцію. Для багатоопераційного процесу кількість операцій визначається залежно від загального коефіцієнта витягування, що являє собою відношення периметрів витягнутої деталі й заготовки. Способи технологічних розрахунків багатоопераційного витягування квадратних і прямокутних коробок різні й розглядаються роздільно [19, с. 111, 112]. Радіуси витяжних крайок матриць і пуансонів варто вибирати за ступенем витягування й відносною товщиною заготовки, а зазори між пуансоном і матрицею – з урахуванням стовщення краю заготовки при витягуванні [19, с. 179, 180].

Загальну деформацію при витягуванні на багатопозиційних автоматах можна підвищити, зменшивши ступінь деформації на кожному переході й збільшивши їхню кількість. Надійність технологічного процесу зі зм'якшеними коефіцієнтами витягування підвищується без зниження продуктивності. Деякі вчені вважають, що величина коефіцієнта попереднього витягування незначно впливає на зусилля наступного. Однак це можна визнати справедливим у тому випадку, якщо застосовується проміжне відпалювання. Оскільки на багатопозиційних пресах проміжне відпалювання відсутнє, зміцнення при $m_1 = 0,61 \dots 0,54$ приводить до збільшення зусиль на 10...20 %. Для зменшення розтягувальних напруг використовують спосіб наступного витягування з плоским притискувачем, заштовхувальне зусилля якого знижує напругу в небезпечному перерізі (рис. 7.5, а). У цьому випадку витягування можна розглядати як спільну операцію витягування й обтискання. Очевидно, що при певному значенні заштовхувальної сили відбувається втрата стійкості заготовки. Визначити критичне напруження можна за такими формулами:

для сталі П ВГ08кп:

$$\sigma_{кр} = (1,1 \cdot 10^4 \delta - 3),$$

для латуні Л62М і Л68М:

$$\sigma_{кр} = (1,1 \cdot 10^4 \delta - 9,5).$$

Формули справедливі, якщо $m_1 = 0,8...0,85$, $r_m = (5...6)s$, $r_n = 6s$ і $0,01 \leq \delta \leq 0,022$, де $\delta = s / D_{i-1}$ – відносна товщина заготовки; r_m , r_n – радіуси скруглення матриць і пуансона.

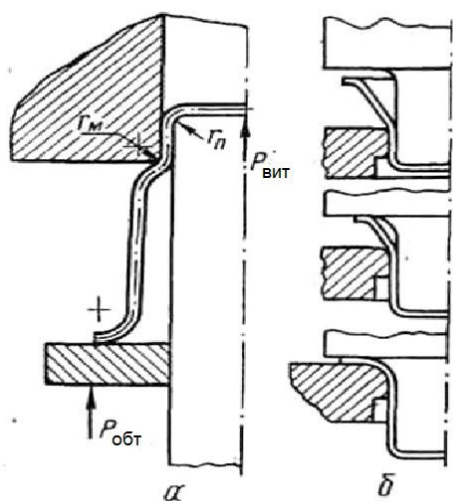
Важливою характеристикою процесу є безрозмірна величина заштовхувальної сили λ_0 , що являє собою відношення стискальної напруги до істинної границі текучості: $|\lambda_0| = 0,1...0,3$.

Якщо відомо зусилля буферного пристрою, то $|\lambda_0|_{\min} = \Theta_{\text{пр}} / \pi D_{i-1} \varphi_n \sigma_B$, за умови втрати стійкості $|\lambda_0|_{\min} < |\lambda_0|_{\text{кр}} = \sigma_{\text{кр}} / \varphi_n \sigma_B$. Коефіцієнт, що враховує зміцнення на попередніх переходах, можна обчислити за формулою:

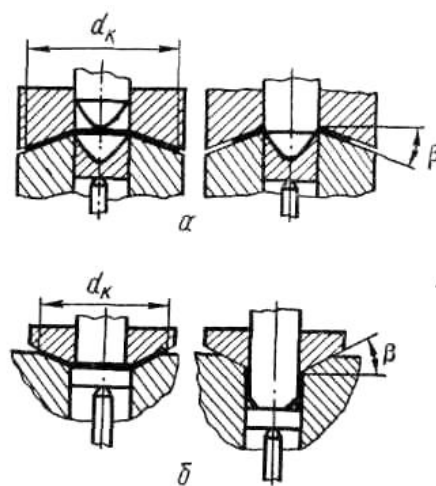
$$\varphi_n = \frac{1}{1-\psi_p} \left[\frac{1-0,5(m_1 m_2 \dots m_{i-1})(m_{i+1})}{\psi_p} \right] \psi_p / (1-\psi_p), \quad (7.5)$$

де $m_1, m_2, \dots, m_i$ – коефіцієнти витягування по переходах;

ψ_p – відносне звуження поперечного перерізу при випробуванні на розрив.



а – витягування з плоским притискувачем; б – прошовкування східчастим пуансоном
Рисунок 7.5 – Схема витягування з прошовкуванням



а – зворотним; б – прямим
Рисунок 7.6 – Схеми штампування з конічним притискувачем

На останньому етапі операції витягування із заштовхуванням іноді виникає необхідність переміщення фланцевої частини заготовки з-під плоского притискувача в циліндричну частину. Це можливо в тому випадку, якщо $m_y \geq 0,6$; $\delta \leq 0,03$ і $r_m = (5...6)s$. Умовний коефіцієнт витягування деталі із фланцем:

$$m_y = 1 / \sqrt{1 / m_{i\phi}^2 + (4,6n\delta) / m_i},$$

де $m_{i\phi}$ – коефіцієнт витягування фланця;

$n = r_m / s$.

У процесі витягування деталей із фланцем заготовку можна прошовкувати буртом пуансона, діаметр якого більший за діаметр фланця (рис. 7.5,б). У цьому випадку граничний коефіцієнт переходу можна підрахувати за формулою:

$$m_i = 1,125 - 0,35\sigma_B / \sigma_T - 0,025r_{mi} / s_i - 5,5s_i / d_{i-1},$$

де r_{mi} – радіус матриці i-го переходу;

s_i – товщина заготовки переходу;

d_{i-1} – діаметр напівфабрикату після попереднього переходу.

Значення σ_b і σ_T варто вибрати з урахуванням зміцнення.

Щоб скоротити кількість переходів при витягуванні, рекомендується застосовувати витяжні штампи з конічним притискувачем. Їх поділяють на два види: прямий – для витягування деталей циліндричної форми або близької до неї (рис. 7.6, б) і зворотний – для деталей сферичної, овальної й іншої складної форм (рис. 7.6, а). Кут конусності притискувача й фланцевої частини матриці встановлюється з виразу $\cos \beta = (\frac{D^2}{N^2} - d^2)/(D^2 - d^2)$, де D , d – діаметри заготовки й деталі; $N = d_k / D$ – коефіцієнт посадки конусної чашки (табл. 7.1). Граничний коефіцієнт витягування в штампах з конічним притискувачем $m_k = km$. Тут k – коефіцієнт, що визначається залежно від відносної товщини заготовки (табл. 7.2); m – коефіцієнт звичайного витягування з притискувачем.

Таблиця 7.1 – Значення коефіцієнта N

$s/D \cdot 100$	N	$s/D \cdot 100$	N	$s/D \cdot 100$	N
1,8	0,757	1,2	0,921	0,6	0,985
1,7	0,813	1,1	0,934	0,5	0,990
1,6	0,840	1,0	0,948	0,4	0,993
1,5	0,645	0,9	0,690	0,3	0,995
1,4	0,886	0,8	0,969	0,1	0,996
1,3	0,905	0,7	0,976	0,05	0,997

Таблиця 7.2 – Значення коефіцієнта k

$s/D \cdot 100$	k	$s/D \cdot 100$	k
1,80	0,810	0,30	0,86
1,15	0,820	0,15	0,87
1,00	0,850	0,08	0,88
0,60	0,855	0,05	0,89

Найбільш надійним способом знаходження граничного коефіцієнта витягування з нагріванням заготовки є випробування на штампі-приладі. Для підвищення економічності необхідно прагнути до проектування одноперехідного процесу гарячого штампування. Зменшення міцнісних характеристик матеріалу фланця шляхом його розігрівання при збереженні високої міцності небезпечно-го перерізу дозволяє істотно інтенсифікувати процес витягування (рис. 7.7). Основні технологічні параметри для проектування такого технологічного процесу наведені в табл. 7.3 [19, с. 21]. Подальшим розвитком описаного способу є витягування з різким охолодженням пуансона рідким повітрям.

Збільшити висоту стінки склянки після витяжки дозволяє операція протягання. Кількість протягань можна визначити за формулою:

$$n = (\lg s_0 - \lg s_n) / \{\lg [100 / (100 - \varepsilon)]\},$$

де s_0 , s_n – товщина заготовки й стінки виробу.

Припустимий ступінь деформації $\varepsilon = (s_{i-1} - s_i) / s_{i-1}$. Тут s_{i-1} , s_i – товщина стінок до й після протягування. Коефіцієнт витягування $m_{yt} = s_i / s_{i-1}$.

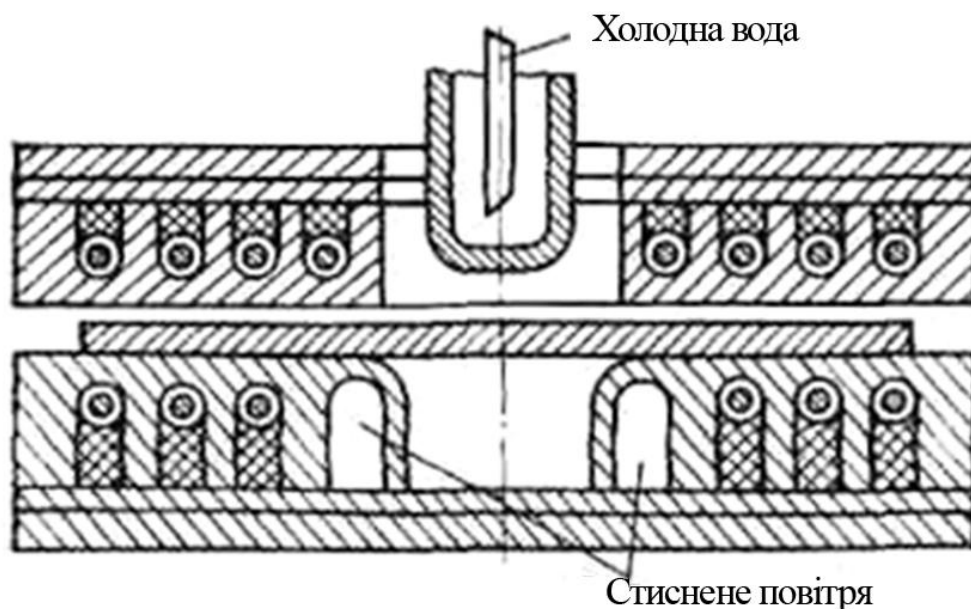


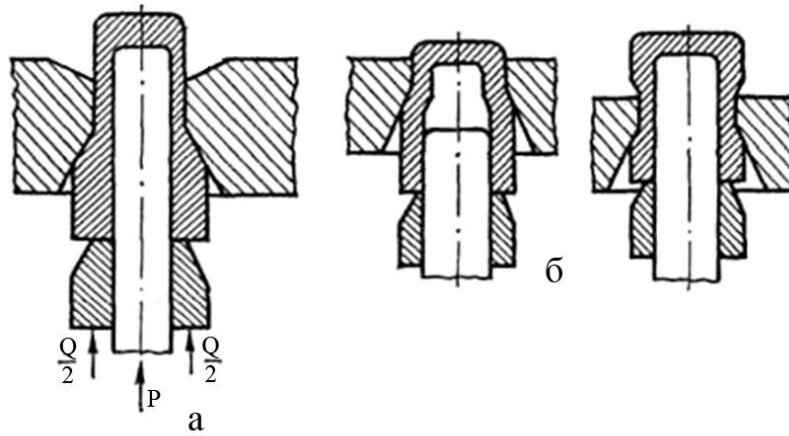
Рисунок 7.7 – Схема витягування
з підігріванням фланця заготовки

Таблиця 7.3 – Рекомендовані технічні параметри витягування нагрітої заготовки

Матеріал	$t_{\text{опт}}$ °С,	$m_{\text{пред}}$	q , МПа	σ_b , МПа (небезпечний переріз)
АМ, АМдМ	320...340	0,39...0,42	0,2...0,6	40...60
МА1, МА8	360...380	0,30...0,32	0,3...0,5	40...60
Д16АТ	400...420	0,33...0,37	0,6...0,8	180
Л63	480...500	0,33...0,40	0,8...1,1	160
08кп	580...600	0,36...0,40	0,8...1,1	200

Щоб скоротити кількість переходів, зменшують одночасно товщину стінок і діаметр (комбіноване витягування). У цьому випадку ступінь деформації $\varepsilon = 1 - m_{\text{ут}}$, де m – коефіцієнт витягування циліндричних деталей [19, с. 118].

Процес витягування зі стоншенням можна інтенсифікувати шляхом додання додаткового зусилля проштовхування на вільний торець заготовки (рис: 7.8, а). У результаті значно підвищується ступінь деформації, що допускається, і точність деталей. Різновтовщинність знижується для сталі 10кп, латуні Л62, міді М1, АМцА–М до 0,02 мм у межах кільцевого перерізу й до 0,04 мм за висотою.



а – прошовхування при витягуванні глибоких стаканів; б – утворення щаблів

Рисунок 7.8 – Схема витягування зі стоншенням

Знаючи границю текучості матеріалу σ_t , коефіцієнт тертя μ , кут конусної частини отвору α й приймаючи коефіцієнт стоншення s_i/s_0 , можна розрахувати необхідний тиск на вільний торець:

$$\frac{q}{\sigma_t} = \left[1 - tg \frac{\alpha}{2} - \ln \frac{s_0}{s} - \frac{\mu}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \left(1 - \frac{1}{2} \ln \frac{s_0}{s_1} \right) \left(1 - \frac{s_1}{s_0} \right) \right] / \left[1 + \frac{\mu}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} (1 - s_i/s_0) \right].$$

Зусилля прошовхування $Q = \pi d s_0 q \cdot 10^{-6}$, де d – діаметр пуансона. Цей спосіб можна використовувати для виготовлення східчастих деталей (рис. 7.8,б). Схдинка виходить за рахунок вільного обтискання в початковій стадії частини порожньої заготовки, що виступає над поверхнею пуансона.

Підвищення міцнісних і зниження пластичних властивостей у результаті наклепу на попередніх операціях значно знижує здатність металу до витягування. Кількість операцій витягування, виконуваних без міжопераційного відпалювання, для кожного матеріалу обмежено. Режими проміжної термообробки наведені в довіднику [19, с. 190–192]. Більш досконалим є випалювання фланця зі збереженням міцнісних характеристик у небезпечному перерізі. Окалина після термообробки видаляється травленням. Технологічні мастила, що захищають штампи і вироби від задирок і налипання, а також знижують напруги в деталі, яка витягається, варто вибирати залежно від матеріалу штампа й заготовки [19, с. 187–189].

Приклад. Розрахувати параметри технології витягування порожнього циліндра (рис. 7.9,а). Вихідна заготовка – лист $\frac{0-1,0 \times 1000 \times 2000 \text{ ГОСТ } 19904}{1-m-OCB-08Ю \text{ ГОСТ } 9045}$; річна програма 100 тис. шт.

За площею поверхні деталь належить до дрібної. Для її виготовлення в умовах серійного виробництва рекомендується використовувати спеціальні штампи, установлені на універсальних пресах. Відповідно до вимог технологічності конструктивної форми радіус дна виробу, що витягається, не повинен перевищувати $3s$. Відхилення за зовнішнім діаметром становить не менш ніж 0,7 мм, а від площинності дна – не менш ніж 0,9 мм. Ці значення можуть бути

отримані на остаточній операції калібрування. Відхилення ± 2 мм по висоті деталі забезпечуються при обрізанні [19, с. 319, 320]. Радіус дна $r1$. Припуск на обрізання $\Delta h = 9$ мм [19, с. 99], тобто висота виробу після калібрування становить $h_b = 240 + 9 = 249$ мм.

Діаметр плоскої заготовки D'_p залежно від зовнішнього діаметра готового виробу d розраховується за формулою:

$$D'_p = (d^2 + 4dh_b - 1,72rd - 0,56r^2)^{0,5} = (100^2 + 4 \cdot 100 \cdot 249 - 1,72 \cdot 1 \cdot 100 - 0,56 \cdot 1^2)^{0,5} \approx 331 \text{ мм.}$$

При багатоопераційному інтенсивному витягуванні помітно збільшується поверхня заготовки, що враховується введенням коефіцієнта $\beta = 1,06$ [19, с. 99], тому доцільно вирубати заготовку діаметром $D = D'_p / \beta = 331 / 1,06 \approx 312$ мм.

Оптимальні коефіцієнти витягування із заготовки, відносна товщина якої $(s / D) 100 = (1 / 312) 100 \approx 0,32 \%$, становлять $m_1 = 0,56$, $m_2 = 0,76$, $m_3 = 0,78$ [19, с. 118]. Витягування здійснюється із притисканням [19, с. 122].

Діаметри переходів:

$$d_1 = m_1 D = 0,56 \cdot 312 \approx 175 \text{ мм,}$$

$$d_2 = m_2 d_1 = 0,76 \cdot 175 \approx 133 \text{ мм,}$$

$$d_3 = m_3 d_2 = 0,78 \cdot 133 \approx 104 \text{ мм.}$$

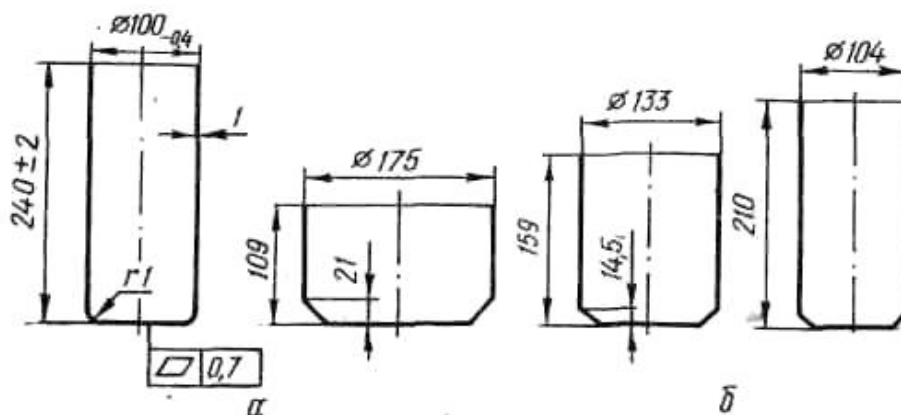


Рисунок 7.9 – Креслення деталі (а) і схеми переходів витягування (б)

Для полегшення процесу витягування приймаємо форму дна зі скосом під кутом 45° (рис. 7.9,б). Висота конічних ділянок за переходами: $a_1 = 21$ мм; $a_2 = 14,5$ мм; $a_3 = 2$ мм. Висота виробів, що витягаються, після кожної операції:

$$h_1 = 0,25(D / m_1 - d_1) + 0,57(a_1 / d_1)(d_1 + 0,86a_1) = 0,25[(312 / 0,56) - 175] + 0,57(21 / 175)(175 + 0,86 \cdot 21) \approx 109 \text{ мм;}$$

$$h_2 = 0,25[D / (m_1 m_2) - d_2] + 0,57(a_2 / d_2)(d_2 + 0,86a_2) = 0,25[312 / (0,56 \cdot 0,76) - 133] + 0,57(14,5 / 133)(133 + 0,86 \cdot 14,5) \approx 159 \text{ мм;}$$

$$h_3 = 0,25[D / (m_1 m_2 m_3) - d_3] + 0,57(a_3 / d_3)(d_3 + 0,86a_3) = 0,25[(312 / 0,56 \cdot 0,76 \cdot 0,78) - 104] + 0,57(2 / 104)(104 + 0,86 \cdot 2) \approx 210 \text{ мм.}$$

Заготовка діаметром $d_{\text{заг}} = 104$ мм і висотою $h_{\text{заг}} = 210$ мм надходить на операцію калібрування. Висока пластичність матеріалу 1-м-ОСВ-08Ю (ГОСТ 9045) і оптимальні технологічні параметри дозволяють всі операції виконати без проміжного відпалу [19, с. 190].

Вихідними даними для розрахунку є товщина заготовки s , діаметр d , висота h , радіус сполучення дна зі стінкою готової деталі r , припуск Δh на обрі-

зання. Діаметр плоскої заготовки D визначається за розмірами деталі з урахуванням припуску Δh [19, с. 95].

Значення коефіцієнтів витягування із притиском пластичних матеріалів апроксимовані виразами: для першої операції $m_1 = 0,6 - 0,07(100s / D)$, а для наступних:

$$m_n = 0,8 - 0,098(100s / D) + 0,05(100s / D)^2 - 0,013(100s / D)^3 + (n - 2)0,02,$$

де n – порядковий номер операції. Коефіцієнти витягування без притиску можна розрахувати за рівнянням:

$$m_1 = 0,9559 - 0,2931(100s / D) + 0,0699(100s / D)^2 - 0,066(100s / D)^3;$$

$$m_2 = 1,7498 - 1,2331(100s / D) + 0,4999(100s / D)^2 - 0,066(100s / D)^3;$$

$$m_3 = 1,6649 - 1,081(100s / D) + 0,4441(100s / D)^2 - 0,599(100s / D)^3;$$

$$m_4 = 1,6354 - 1,0244(100s / D) + 0,4329(100s / D)^2 - 0,06(100s / D)^3;$$

$$m_5 = 1,6002 - 0,9294(100s / D) + 0,3885(100s / D)^2 - 0,05333(100s / D)^3.$$

За граничним значенням коефіцієнтів витягування визначаються діаметри заготовок за кожною операцією: $d_n = D \prod_{i=1}^n m_i$. Обчислення тривають доти, поки діаметр заготовки d_n у n -й операції не стане меншим за діаметр готового виробу d . Значення n при цьому вказує на необхідну кількість операцій. Коригувальний коефіцієнт обчислюється за формулою $\chi = (d / d_n)^{1/n} - 1$. Його враховують при визначенні збільшення коефіцієнтів $\Delta m_i = \chi m_i$ і скоректованих убік збільшення діаметрів переходів на кожній з n операцій $d_n^* = D \prod_{i=1}^n (m_i + \Delta m_i)$.

У такий спосіб досягається рівномірне завантаження всіх операцій витягування.

Притиск необхідний, якщо виконуються умови: на першій операції $100s / D < 4,5(1 - m_1)$, а на наступних $100s / d_{n-1} < (5 \dots 7)(1 - m_n)$. У розглянутій методиці розрахунку на всіх переходах, крім остаточного, приймається конічна форма дна з висотою донного скосу $\alpha_n = (d_n^* - d_{n+1}^*) / 2$. З урахуванням цього висота заготовки на проміжних операціях розраховується за формулою:

$$h_n = 0,25 \left[\frac{D}{\prod_{i=1}^n m_i^*} - d_n^* \right] + 0,57 \left(\frac{\alpha_n}{d_n^*} \right) (d_n^* + 0,86\alpha_n).$$

Висота кінцевого продукту з радіусом донного закруглення r обчислюється так:

$$h_n = 0,25 \left[\frac{D}{\prod_{i=1}^n m_i^*} - d_n^* \right] + 0,43 \left(\frac{r}{d_n^*} \right) (d_n^* + 0,32r).$$

Приклад. Розрахувати розміри заготовки й кількість переходів при таких вихідних даних: $s = 1$ мм; $d_n = 210$ мм; $r = 2$ мм; $\Delta h = 0$ мм. Результат розрахунку – витягування здійснюється в чотири переходи із притиском. Скоректовані коефіцієнти витягування за переходами: $m_1^* = 0,5986$; $m_2^* = 0,8015$; $m_3^* = 0,8229$; $m_4^* = 0,8429$. Діаметри заготовок на кожній операції: $d_1^* = 187,22$ мм; $d_2^* = 150,06$ мм; $d_3^* = 123,38$ мм; $d_4^* = 104$ мм. Висота заготовок $h_1 = 95,3$ мм; $h_2 = 133,64$ мм; $h_3 = 173,25$ мм; $h_4 = 210$ мм, а донного скосу $\alpha_1 = 18,58$ мм; $\alpha_2 = 13,34$ мм; $\alpha_3 = 9,69$ мм; $\alpha_4 = 0$ мм.

Листове формування. Місцеві заглиблення, ребра, виступи одержують рельєфним формуванням. Припустимі розміри виступів і форма контурів визначаються при аналізі технологічності деталей з урахуванням рекомендацій ГОСТ 17040. Граничні розміри рифтів, штампованих гумою, наведені в довіднику [19, с. 216] і методичних рекомендаціях [9, с. 45].

Формування відбувається завдяки місцевому розтягнню заготовки. Необхідне для формування ребер подовження можна встановити за відносною глибиною профілю [19, с. 216]. Суцільність не порушується, якщо деформація за одну операцію не перевищує $[(B_1 - B) / B]100 \leq 0,75\delta \leq 15...18 \%$, де B , B_1 – довжина матеріалу за обраним перерізом рельєфу до й після формування; δ – відносне подовження при випробуванні матеріалу заготовки.

Більш глибокий і складний рельєф одержують за кілька операцій з міжопераційним відпалюванням заготовки. Площинність формованої деталі забезпечується застосуванням притиску з тиском у 1,5...2,5 МПа. Формування складних, глибоких, розташованих близько до краю рельєфів супроводжується перекручуванням краю заготовки. Для запобігання цьому дефекту призначають припуск на обрізання c (рис. 7.10), величину якого встановлюють експериментально. Багатоопераційним формуванням у перших переходах необхідно одержувати найбільш віддалені від краю елементи, а потім формувати крайні.

При формуванні мембран розмір вихідної заготовки можна визначити за формою профілю гофра. Зусилля штампування ребер жорсткості обчислюється за формулою (МН): $P = L\sigma_b k \cdot 10^{-6}$, де L – довжина ребра, мм; $k = 0,7...1$. Зусилля штампування рельєфів площею $F < 2000 \text{ мм}^2$ з матеріалу товщиною $s \leq 1,5 \text{ мм}$ розраховується в такий спосіб: $P = Fs^2 k$. Тут $k = (1,5...2) \cdot 10^{-4}$ для латуні, $k = (2...3) \cdot 10^{-4}$ для сталі.

Внутрішню відбортовку використовують для одержання борта навколо отвору або на ввігнутій ділянці замкнутого, а також незамкнутого зовнішнього криволінійного контуру. Граничні умови відбортовки обмежені припустимим коефіцієнтом $k_0 = d / D$, де d – діаметр отвору до відбортовки; D – діаметр відбортовки (по середній лінії).

При $k < k_0$ відбортовка супроводжується розривами за крайкою борта. Граничний коефіцієнт відбортовки замкнутого контуру некруглої форми знижується зі зменшенням центрального кута α (рис. 7.11, а).

Нормальний зазор між пуансоном і матрицею при відбортовці без навминого стоншення z трохи більший за товщину заготовки s . Природне стоншення металу досягає 60...70 % на краях і 50 % на половині висоти борта. Розмір вікна в плоскій заготовці під відбортовку:

$$b = A - (2h + \pi R). \quad (7.6)$$

Тут A – відстань між центрами радіусів закруглення протилежних бортів деталі; h – висота борта; R – радіус закруглення борта за середньою лінією.

Відбортовка циліндричного отвору (рис. 7.11, б) виконується після пробивання (свердління) отвору діаметром:

$$d = D_1(2h + \pi R). \quad (7.7)$$

Формули (7.6), (7.7) можна використовувати для розрахунку висоти борта h при заданих розмірах вікна в заготовці. Якщо прийняти зазор між пуансоном і матрицею $z = (8...10)s$, збільшується висота борта при незмінному коефіцієнті відбортовки й на 30...35 % знижується зусилля деформації, однак одночасно збільшується радіус борта R .

Для незамкнутої внутрішньої відбортовки (рис. 7.11, г) використовується розгорнута (вихідна) заготовка, профіль якої тільки на частині дуги характери-

зується розміром умовного діаметра отвору під відбортовку $d_{\text{отв}}$. Якщо кут охоплення $\alpha > 150^\circ$, потрібно лише невелике притуплення кутів розгорнутої заготовки в місцях переходу від кола діаметром $d_{\text{отв}}$ до краю. Зі зменшенням охоплення ($\alpha < 150^\circ$) контур вирізу заготовки здобуває кривизну великого радіуса ρ . Якщо ж $\alpha < 60^\circ$, то $\rho = \infty$. У цьому випадку довжину й форму заготовки розраховують за правилами звичайного вигину.

Більшу висоту борта H можна одержати попереднім витягуванням за одну або кілька операцій до висоти H_2 (рис. 7.11, в): $H_2 = H - h_{\text{max}} + R_1$, де h_{max} – найбільша висота, що допускається, відбортовки при діаметрі борта D , коефіцієнті відбортовки k , що допускається, і радіусі дна витягнутого виробу R_1 . Значення $h_{\text{max}} = D[(1 - k) / 2] + 0,57R$. Діаметр отвору, необхідного для одержання борта висотою $R / d = D + 1,14R - 2h_{\text{max}}$. У штампах для внутрішньої відбортовки не слід застосовувати притиск, тому що він негативно впливає на процес деформації.

Необхідне для відбортовки отвору d до діаметра борта D зусилля:

$$P = 1,1\pi\sigma_T(D - d)10^{-6}. \quad (7.8)$$

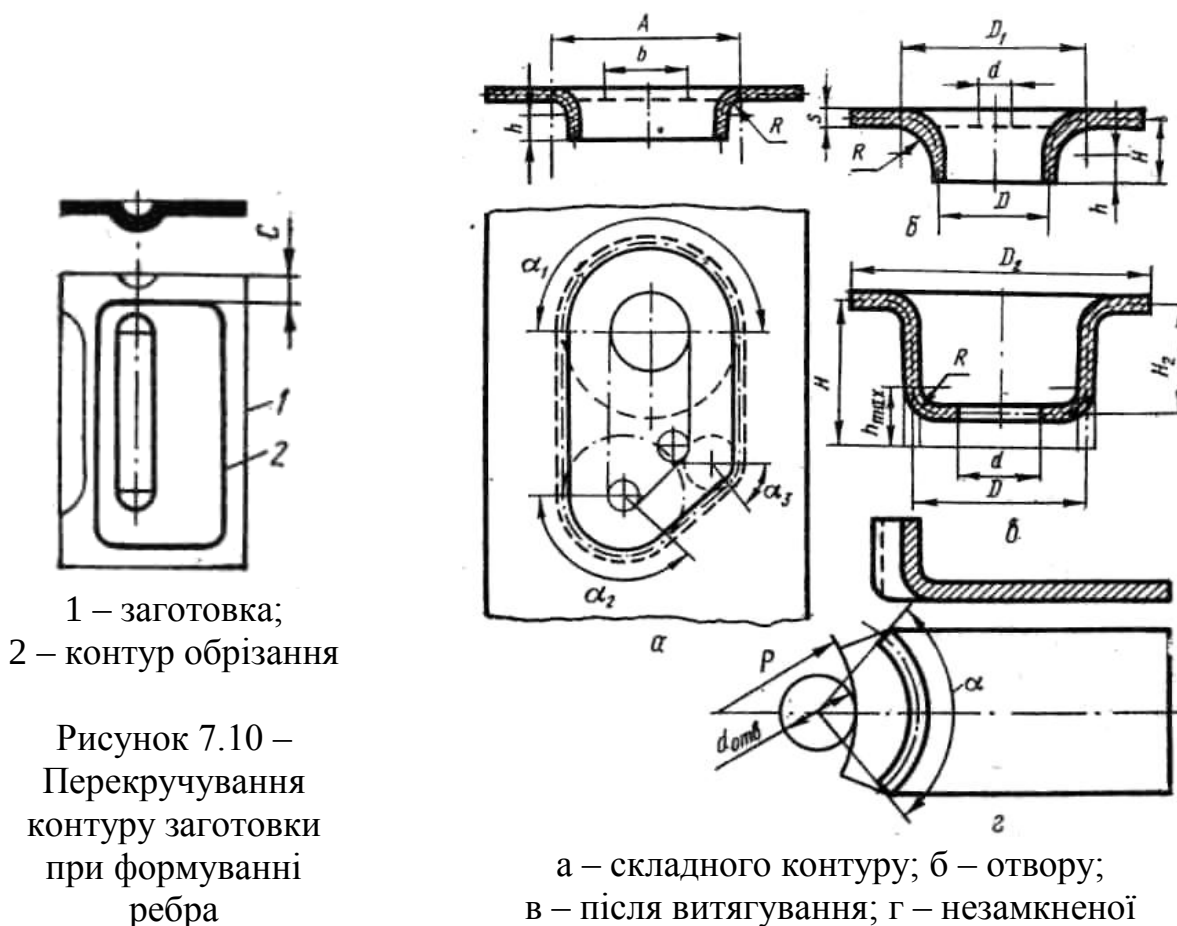


Рисунок 7.11 – Схеми внутрішньої відбортовки

Збільшення радіуса закруглення торця пуансона з перетворенням плоского торця у сферичний і криволінійний (за трактрисою) зменшує зусилля відбортовки й сприятливо позначається на деформації. Для визначення зусилля відбо-

ртовки зовнішнього контуру довжиною L можна користуватися наближеною формулою (МН):

$$P \approx (2,5 \dots 2,7) L s \sigma_b \cdot 10^{-7}. \quad (7.9)$$

Утворення борта за опуклим криволінійним контуром, супроводжуване деформацією тангенціального розтягнення або стиснення, прийнято називати зовнішньою відбортовкою (рис. 7.12, а). За характером деформацій цей процес аналогічний неглибокому витягуванню без притиску. Отвір у процесі деформації не змінює своїх розмірів або збільшується [19, с. 217]. Формозміну при зовнішній відбортовці криволінійних контурів розраховують, використовуючи закономірності витягування циліндричних виробів. Труднощі розрахунку розмірів заготовки пов'язані з відсутністю даних про зміну отвору в процесі відбортовки.

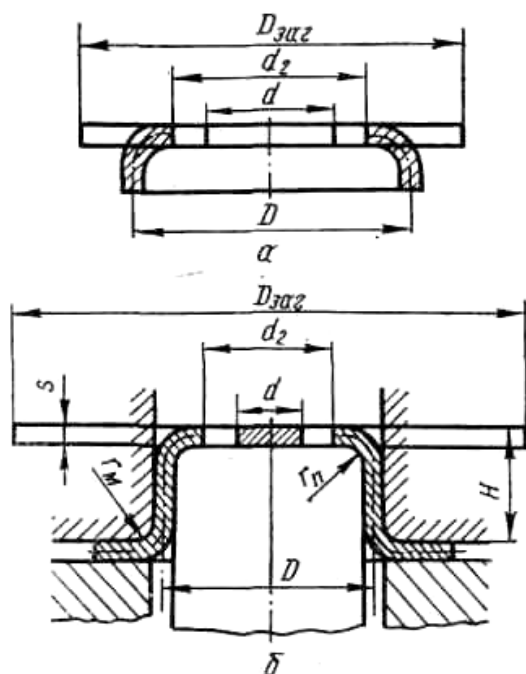
Кількість операцій витягування (формування) циліндричних деталей із фланцем і витрату металу можна зменшити, якщо робити штампування із заготовки з попередньо пробитим (просвердленим) центральним діаметром d . Бічна поверхня деталі, що витягується, утвориться не тільки за рахунок плину металу із країв заготовки, але й завдяки збільшенню діаметра отвору (рис. 7.12, б).

Діаметр отвору після деформації рекомендується визначати за залежністю:

$$d_2 = d H \varepsilon / (k_1 D), \quad (7.10)$$

$$\varepsilon = (D_{\text{заг}} - D) / D_{\text{заг}} = 1 - m. \quad (7.11)$$

Тут H і D – висота і діаметр виробу після витягування; k_1 – безрозмірний коефіцієнт; $D_{\text{заг}}$ – діаметр плоскої заготовки; $m = D / D_{\text{заг}}$ – коефіцієнт витягування.



а – зовнішніх крайок;

б – у поєднанні з витягуванням

Рисунок 7.12 – Схеми зовнішньої відбортовки

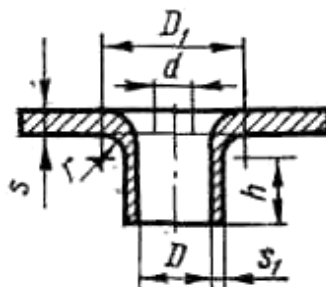


Рисунок 7.13 – Схема відбортовки з навмисним стоншенням стінок

Дослідні значення коефіцієнта k_1 визначені для співвідношення розмірів $\sqrt{(s - 100) / D_{\text{заг}}} = 1,11$.

В умовах, що відрізняються, коефіцієнт k_1 необхідно встановлювати експериментально при налагодженні процесу штампування. Аналогічного ефекту поліпшення умов витягування можна домогтися за допомогою місцевих надрізів дна в зонах найбільших розтягальних напруг. Переміщення металу на дні обчислюється за формулою (7.10). У розрахунку складного контуру оперують зміною розмірів умовного діаметра. Точні геометричні розміри отвору або борта одержують після обрізання. Притиск у штампі сприяє зовнішній відбортовці. Її зусилля для складного контуру орієнтовно можна розрахувати за формулою (7.9), а для циліндричних виробів – за тими самими формулами, що й при звичайному витягуванні.

При відбортовці з навмисним стоншенням стінок зменшення зазору між пуансоном і матрицею з до $s_1 < s$ дозволяє збільшити висоту борта без зміни коефіцієнтів k . Розмір отвору для формування борта висотою h , товщиною $s_1 < s$ визначається з умови сталості об'єму (рис. 7.13): $d = D_1 - (2hs / s_1 - \pi(r + 0,5s))$, де $r = r_m$ – радіус біля основи борта. Дослідами підтверджено можливість зменшення товщини стінки сталевих заготовок на 50...70 %, а заготовок із м'яких алюмінієвих сплавів – на 75...80 % [19, с. 51]. Дрібні отвори одержують при відбортовці пуансонами із загостреною або сферичною формою кінця, а середні – східчастими пуансонами з кільцевими виступами [19, с. 225]. Необхідне зусилля відбортовки зростає при збільшенні деформації стінки.

7.4 Розрахунок технологічних зусиль і вибір устаткування

Визначення зусиль і побудова графіків робочих навантажень. Зусилля різання листового металу паралельними ножами, гільйотинними й дисковими ножицями визначаються за формулами, рекомендованими в довіднику [19, с. 10]. Повне зусилля пробивання-вирубкування включає зусилля стиску буфера. До технологічних параметрів належать також зусилля зняття смуги з пуансона, прошовхування заготовки через матрицю [19, с. 15–22; 10, с. 14]. Зусилля чисового вирубування вище, ніж у звичайному процесі, і визначається за спеціальною методикою [19, с. 28–32]. Потужність устаткування для штампування гумою й поліуретаном повинна забезпечувати необхідний тиск на всю площу еластичного інструмента [19, с. 46; 32].

Максимальне зусилля пробивання-вирубкування визначається за формулою (МН) $P = Ls\sigma_{cp} \cdot 10^{-6}$, де L , s – довжина розрізу й товщина листа, мм. Якщо $s / d \geq 0,2$, у формулі для опору зрізу σ_{cp} має враховуватися зростання циліндричної жорсткості відходу діаметром d : $\sigma_{cp} = (ms / d + 0,6)\sigma_v$. Тут m – коефіцієнт, що залежить від відносного зазору z / s [19, с. 16]. У розрахунках процесів пробивання-вирубкування деталей малої жорсткості можна користуватися величиною $\sigma_{cp} = (0,7...0,8) \sigma_v$.

Хід пуансона h_n , що відповідає максимальному зусиллю на графіку робочих навантажень пробивання-вирубкування, визначається залежно від пластичності металу, товщини заготовки, зазору й швидкості деформування [19, с. 18]. Найчастіше графік робочих навантажень представляють у вигляді трикутника, з'єднуючи прямими лініями точку $(P - h_n)$ із точками початку й кінця ходу, у яких

зусилля дорівнює нулю. Побудова більш точної залежності зусилля різання від ходу пуансона можлива, але пов'язана з труднощами визначення пластичних характеристик матеріалу й не завжди необхідна.

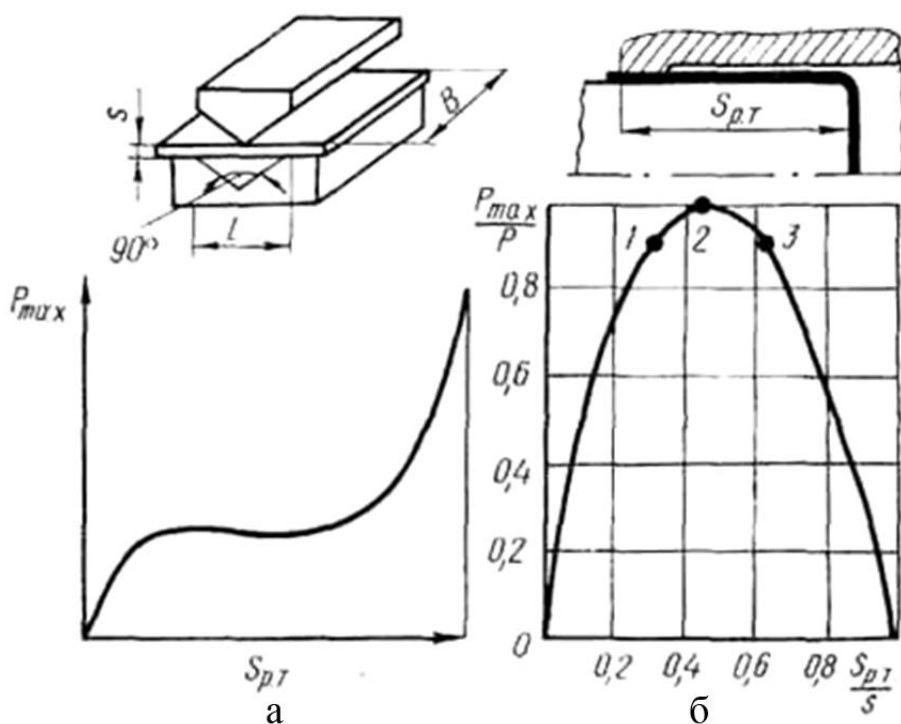
Роботу різання A (кДж) можна обчислити за формулою $A \approx 0,6Ps$. У багатопуансонному пробиванні-вирубці графік сумарних робочих навантажень будується з урахуванням зсуву робочих торців інструмента. Зусилля різання в штампах зі скошеними крайками залежить від типу скосу; графік робочих навантажень відрізняється великою довжиною [19, с. 19, 20].

Зусилля гнуття визначається з урахуванням схеми операції й виду матеріалу [19, с. 72]. Деталі підвищеної точності (ІТ12) штампуються з притиском, зусилля якого становить 0,25...0,3 зусилля вільного вигину. Згинання деталей високої точності (ІТ9, ІТ10) здійснюється з глухим калібруванням ударом. Наближені значення тисків калібрування наведені в довіднику [19, с. 73]. До заготовки висуваються підвищені вимоги за різнотовщинністю, прес, щоб уникнути заклинювання, вибирається із запасом потужності.

На першій ділянці графіка робочих навантажень для V-подібного згинання під кутом 90° (рис. 7.14, а) зусилля розраховується за формулою:

$$P_1 = 1,3(s^2 / l)B\sigma_B \cdot 10^{-6}.$$

Тут B – ширина заготовки, мм; l – ширина зіву матриці, мм. Довжина абсциси першої ділянки дорівнює $0,5l$. Точка на графіку з координатами $(P, 0,5l)$ з'єднується плавною кривою із точкою $(P_{\max}, S_{p.t.})$. Значення $S_{p.t.}$ – повна величина робочого ходу. Максимальне зусилля наприкінці ходу $P_{\max}$ установлюється за рекомендаціями довідника [19, с. 72].



а – згинання; б – витягування

Рисунок 7.14 – Побудова графіків робочих навантажень

Зусилля витягування виробів різної форми визначаються за емпіричними формулами [19, с. 172–175]. Зусилля притиску має бути достатнім для запобігання утворенню складок. Якщо витягування виконується на пресі простої дії, зусилля витягування й притиску підсумуються. На кривошипних пресах швидкість інструмента в процесі витягування змінюється за рівнянням:

$$v \approx 0,105v_b \sqrt{h(H-h)}, \quad (7.12)$$

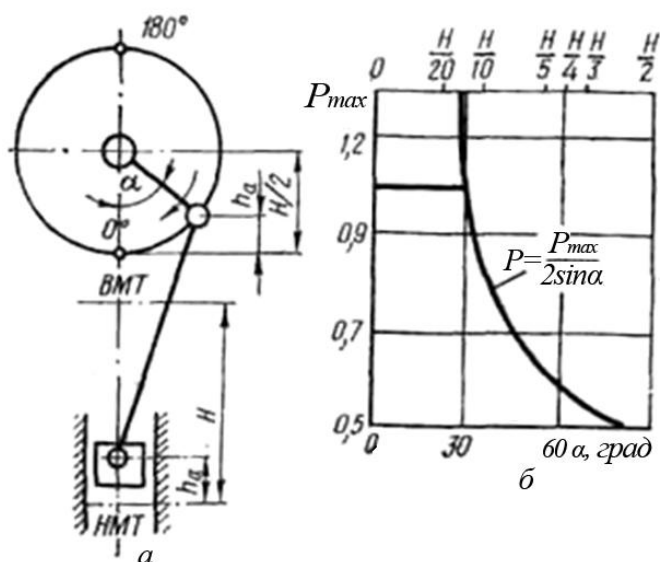
де v_b – швидкість обертання вала, об/хв;
 h – робоча частина ходу (від початку деформації), мм;
 H – повний хід повзуна, мм.

Щоб уникнути розривів заготовки, швидкість до початку процесу витягування не повинна перевищувати на великих витяжних пресах 450 мм/с, а на невеликих 700 мм/с. Графік робочих навантажень при витягуванні без фланця «напровал» може бути побудований за трьома характерними точками (рис. 7.14,б): 1 – з координатами $0,9P_{\max}$ і $0,3S_{p.t.}$; 2 – з координатами $P_{\max}$ і $0,42S_{p.t.}$; 3 – з координатами $0,9P_{\max}$ і $0,63S_{p.t.}$. Максимальне зусилля витягування визначається за формулами, наведеними в довіднику [19, с. 172–175]. Повна величина робочого ходу $S_{p.t.}$ дорівнює висоті виробу S_d .

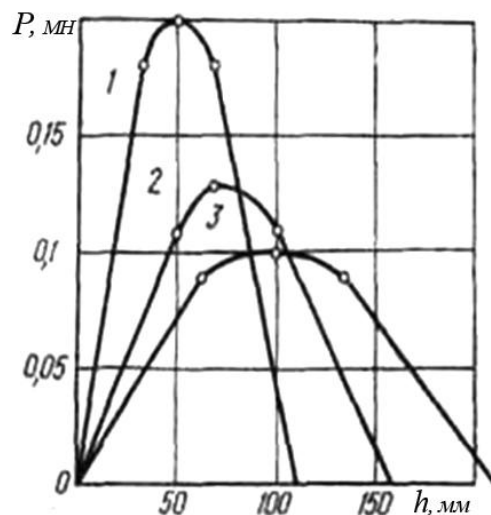
Вибір пресового устаткування. Прес вибирається за зусиллям, роботою деформації, жорсткістю, величиною й швидкістю ходу, закритою висотою й розмірами штампового простору. Максимальне зусилля технологічної операції (при одночасному виконанні декількох операцій – сумарне зусилля) служить лише орієнтиром для вибору преса. За сумарним зусиллям приймають стандартний прес запевне більшої потужності. На операціях пробивання-вирубки прес більшого зусилля й жорсткості забезпечує підвищену стійкість штампа. З огляду на значний зсув максимуму зусилля операції витягування від нижньої мертвої точки, зусилля витяжного преса варто приймати при глибокому витягуванні $P_{\text{ном}} = (1,6 \dots 2)P_{\max}$, а при неглибокому $P_{\text{ном}} = (1,2 \dots 1,4)P_{\max}$. Номінальне зусилля багатопозиційного преса-автомата приймається в 1,5...2 рази вищим, ніж сумарне розрахункове.

Графіки робочих навантажень виконуваних операцій (з урахуванням зусилля стиску буфера) або сумарних навантажень накладаються на графік допускних зусиль преса, наведений у паспорті. Наближений графік допускних зусиль кривошипного преса (рис. 7.15) будується в припущенні, що номінальне зусилля, обумовлене міцністю колінчастого вала, розвивається при куті повороту кривошипа $\alpha = 30^\circ$ або на відстані $h_\alpha = (0,05 \dots 0,07)H$ повзуна від нижньої мертвої точки. На іншій частині ходу допускне зусилля обмежується величиною допустимого крутного моменту, міцністю зубчастих коліс і розраховується за рівнянням $P = P_{\max} / (2 \sin \alpha)$.

У пресів з регульованим ходом зменшення ходу істотно збільшує кут повороту кривошипа, при якому допускається максимальне зусилля, тому регулювання доцільне завжди, коли воно не суперечить технологічним вимогам. Якщо при накладенні графік сумарних робочих навантажень перетинає графік допускних зусиль преса й регулюванням ходу це усунути не вдається, варто вибрати більш потужний прес.



а – кінематична схема;
б – графік зусиль
Рисунок 7.15 – Схема до визначення допускних зусиль на повзуні кривошипного преса



витягування в першому (1),
другому (2)
і третьому (3) переходах
Рисунок 7.16 – Графіки робочих навантажень

Робота деформування A визначається площею, що знаходиться під кривою графіка робочих навантажень. Значення A в сумі з роботою стискування буфера й виштовхувача A_6 не повинно перевищувати роботу $A_{пр}$, що може зробити прес за один робочий хід: $A_{пр} \geq A + A_6$. Наближене значення $A_{пр}$ можна розрахувати за формулою:

$$A_{пр} \approx \frac{MD^2n_0^2}{k},$$

де M – маса маховика, кг;

D – його діаметр інерції, м; n_0 – номінальна швидкість обертання, об/хв.

Для преса, що працює одиночними ходами, коефіцієнт $k = 197$. При безперервній роботі приймається $k = 374$.

Підвищити енергію маховика можна за рахунок збільшення числа обертів n_0 , однак швидкість на ободі не повинна бути більшою за 25 м/с для чавунного й 40 м/с для сталевго маховика. Перевірка енергетичних можливостей преса особливо потрібна для енергоємних процесів штампування (витягування, згинання, різання інструментом зі скошеними крайками).

Щоб було легше видаляти відштамповані деталі, хід витяжного повзуна повинен у 2,5 рази перевищувати висоту деталі. В операціях пробивання-вирубкx хід повзуна повинен бути на кілька міліметрів більший за відстань між матрицею й знімачем. Мінімальна величина ходу забезпечує сприятливу форму графіка навантажень, що допускаються, і зменшує висоту напрямних колонок штампа. Типорозмір і модель обраного за стандартами, каталогами або довідковою літературою преса уточнюється за габаритами необхідного штампового простору.

Приклад. Визначимо зусилля деформування на операціях штампування порожнього циліндра (див. рис. 7.9). На першій операції вирубється плоска заготовка діаметром $D = 312$ мм і товщиною $s = 1$ мм, тобто $s / D \ll 0,2$. Тому $\sigma_{\text{ср}} = 0,8\sigma_{\text{в}} = 0,8 \cdot 323 = 258,4$ МПа. Значення $\sigma_{\text{в}}$ для сталі 1–М–ОСВ–08Ю прийняте за ГОСТ 9045. Максимальне зусилля вирубки:

$$P = \pi D s \sigma_{\text{ср}} \cdot 10^{-6} = 3,14 \cdot 312 \cdot 1 \cdot 258,4 \cdot 10^{-6} \approx 0,25 \text{ МН.}$$

Абсциса точки з максимальним зусиллям на графіку робочих навантажень:

$$h_n = s(0,76 - 0,035s - 0,0014n) = 1(0,76 - 0,035 \cdot 1 - 0,0014 \cdot 70) = 0,62 \text{ мм,}$$

де $n = 70$ – кількість ходів преса на хвилину.

Для виконання операції вибираємо за ГОСТ 9408 однокривошипний відкритий прес простої дії, номінальним зусиллям 0,4 МН, виконання з розмірами стола $L \times B = 710 \times 580$ мм і відстанню від осі повзуна до станини $C = 315$ мм.

Максимальні зусилля на операціях витягування P_n (рис. 7.8, б) розраховуємо за формулою $P_n = \pi d_n s \sigma_{\text{в}} k_n \cdot 10^{-6}$. Підставляючи числові значення, одержуємо:

$$P_1 = 3,14 \cdot 175 \cdot 1 \cdot 323 \cdot 1,1 \cdot 10^{-6} = 0,2 \text{ МН,}$$

$$P_2 = 3,14 \cdot 133 \cdot 1 \cdot 323 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \approx 0,13 \text{ МН,}$$

$$P_3 = 3,14 \cdot 104 \cdot 1 \cdot 323 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \approx 0,1 \text{ МН.}$$

На рис. 7.16 показані графіки робочих навантажень витягування, побудовані за описаною вище методикою.

Тиск притиску на першій операції витягування визначаємо за формулою:

$$q_1 = 2(D / d_1 - 1,2)[(D / (s \cdot 100))] = 2(312 / 175 - 1,2) [(312 / (1 \cdot 100))] \approx 3,6 \text{ МПа.}$$

На наступних операціях можна приймати менший тиск:

$$q_{2,3} = 2(175 / 133 - 1,2) [175 / (1 \cdot 100)] \approx 0,4 \text{ МПа.}$$

Радіус закруглення витяжних крайок матриць r_m вибирається залежно від відносної товщини заготовки й коефіцієнта витягування [19, с. 179]. На всіх операціях приймаємо $r_m = 8$ мм. Зусилля притиску на n -й операції витягування визначаємо за формулою $Q_n = 0,25\pi[d_{n-1}^2 - (d_n + 2r_m)^2]q_n \cdot 10^{-6}$. Підставивши в неї числові значення, одержимо:

$$Q_1 = 0,25 \cdot 3,14[312^2 - (175 + 2 \cdot 8)^2]3,6 \cdot 10^{-6} \approx 0,05 \text{ МН;}$$

$$Q_2 = 0,25 \cdot 3,14[175^2 - (133 + 2 \cdot 8)^2]0,4 \cdot 10^{-6} = 0,003 \text{ МН;}$$

$$Q_3 = 0,25 \cdot 3,14[133^2 - (104 + 2 \cdot 8)^2]0,4 \cdot 10^{-6} \approx 0,001 \text{ МН.}$$

Прес для витягування вибираємо за технологічними зусиллями з умови, що хід H витяжного повзуна повинен у 2,5 рази перевищувати висоту деталі, тобто $H > 2,5 \cdot 249 = 622,5$ мм. Цим вимогам відповідає прес однокривошипної, закритої, подвійної дії, з номінальним зусиллям витяжного повзуна 3,15 МН, притискного 2 МН і ходом витяжного повзуна $H = 630$ мм. Швидкість інструмента до початку процесу витягування:

$$v = 0,105V_{\text{в}}\sqrt{h(H-h)} = 0,105 \cdot 12\sqrt{249(630-249)} \approx 388 \text{ мм/с.}$$

Число безперервних ходів повзуна за хвилину прийняте за ГОСТ 7639. Робоча частина ходу h дорівнює максимальній висоті заготовки. Отримане значення швидкості відповідає рекомендованому для операцій витягуванню [19, с. 177].

Організація робочого місця. При плануванні устаткування в цехах холодного штампування керуються «Нормами технологічного проектування цехів

холодного листового штампування». Схеми організації робочого місця й норми відстаней між пресами й елементами будівлі наведені в літературі [19, с. 347–352; 12, с. 279–294].

7.5 Конструювання штампів

Підставою для проектування є технологічна схема штампа. Крім того, конструктор повинен мати у своєму розпорядженні характеристики устаткування, що включають: графік допускних зусиль кривошипного преса; хід повзуна й можливості його регулювання; розміри закритої висоти й діапазон її регулювання; оснащеність засобами механізації та їхні характеристики; розміри місць кріплення штампа; відстань від стола до напрямних, виліт від осі стола до станини; розміри механічного виштовхувача, провального отвору в столі й підштамповій плиті; наявність і характеристику буфера, розміри й розташування його тарілок, сітку під буферні шпильки.

Розпочинаючи конструювання штампа, доцільно проаналізувати наявні типові конструкції, використовувати виробничий досвід і літературні дані [4, 5, 9, 10, 19, 30].

Штампові блоки. Для масового й дрібносерійного штампування дрібних і середніх деталей підвищеної точності можуть бути використані стандартні блоки класу точності IT6–IT7 з напрямними пристроями класу точності IT5–IT6. Менш точне штампування можливе в блоках точності IT8–IT10 з напрямними пристроями IT7–IT8. Технічні вимоги до блоків обумовлені ГОСТ 13130 [22, с. 96–99].

Блоки змінних розділових штампів за ГОСТ 17662, ГОСТ 17671, призначені для установки на них робочих пакетів (ГОСТ 18717– ГОСТ 18719), оснащені швидкодійними поворотними прихоплювачами й верхніми виштовхувачами. Висока точність блоків забезпечується кульковими напрямними (ГОСТ 17695). Блоки універсальних і універсально-налагоджувальних штампів також оснащені кульковими напрямними, змінні деталі штампа проектується на базі заготовок за ГОСТ 19846, ГОСТ 16582, ГОСТ 16584.

Плити масою понад 16 кг забезпечуються прихоплювачами. Пружні деформації плит негативно позначаються на роботі штампа. Необхідної твердості його варто домагатися за рахунок розмірів і форми опорної поверхні плит, раціонального компонування напрямних і кріпильних пристроїв [19, с. 453–455]. Напрявні колонки сполучаються з втулками до початку процесу деформації. На пресах з ходом до 150 мм рекомендується забезпечувати постійний контакт у напрямній парі на всьому шляху повзуна. Зазор у напрямному вузлі не повинен перевищувати половини різального зазору. Високою стійкістю (до $1,5 \cdot 10^6$ циклів) характеризуються напрямні з втулкою, армованою бронзою. Застосування пластмас, які самотвердіють, знижує трудомісткість кріплення колонок і втулок у плитах.

На швидкохідних пресах при швидкості понад 0,5 м/с напрямна пари, виконана за високим класом точності, перегрівається й заїдає. Цей недолік усувається застосуванням кулькових напрямних, що мають до того ж високу стійкість (до $1 \cdot 10^6$ циклів).

При величині технологічного зазору $z > 0,03$ мм і вильоті¹ інструмента $E \leq 400$ мм допускається застосування блоку із двома консольно розташованими колонками. Якщо $z = 0,02 \dots 0,04$ мм і діаметр інструмента $D_{\text{ин}} \leq 250$ мм, варто застосовувати двоколонні блоки з діагональним або осьовим розташуванням напрямних. В інших випадках рекомендується використовувати три або чотири напрямні елементи.

Колонки запресовуються в нижню або верхню плиту. Комбіноване розташування напрямних дає можливість шліфувати інструмент без розбирання штампа. У великогабаритних (в основному формозмінних) штампах застосовуються більш технологічні у виготовленні, хоча й менш точні призматичні напрямні (ГОСТ 18811).

Жорсткі хвостовики з буртом і фланцем забезпечують міцний зв'язок верхньої плити з повзуном, але при більших відривних зусиллях необхідно передбачати фіксацію хвостовика болтом преса або додаткове кріплення плити до повзуна. Плаваючі хвостовики також є несучими. Їх раціонально використовувати в розділових штампах з технологічним зазором менш ніж $0,05$ мм, особливо в розділових штампах із твердосплавним інструментом. У штампах із плаваючим хвостовиком напрямні колонки не повинні виходити із втулок при розкритті штампа. Центрувальні хвостовики мають меншу довжину й менш жорстке кріплення до плити.

Вісь хвостовика збігається з центром тиску штампа, що визначається за методикою, викладеною в довіднику [19, с. 451–453]. При проектуванні штампа для двостоякових пресів без кріпильного хвостовика необхідність у визначенні центра тиску відпадає. Незрівноваженість штампа компенсується реакціями напрямних повзуна, його масою й точками підвіски.

Робочі деталі. Ухил або уступ в отворі різальних матриць зменшує зусилля проштовхування деталей (відходів), збільшуючи стійкість інструмента [19, с. 393]. Матриця для одnobічного різання при зворотному виштовхуванні заготовки до різальної крайки виконується з вертикальною стінкою вікна (рис. 7.17, в). Гарні експлуатаційні властивості показали матриці з невеликим скосом робочої крайки $\gamma = 30'$ (рис. 7.17, г) або із загальним ухилом стінки $\alpha = 10 \dots 60'$ (рис. 7.17, б). Така форма матриці допускає перешліфування різальної крайки на глибину до 20 мм зі збереженням зазору в межах допуску.

Товщина H і ширина B вирубної матриці залежать від товщини заготовки й ширини матричного отвору [19, с. 455]. Мінімальна товщина стінки запресованої в державку матриці $\delta_{\text{min}} = (0,2 \dots 0,3)d$, де d – діаметр робочого вікна. Розміри малогабаритних матриць регламентовані ГОСТ 16637 – ГОСТ 16647. Великогабаритні матриці зі складною формою різального контуру виконуються секційними [19, с. 388]. Максимальна довжина секції $200 \dots 350$ мм при $L / B < 5$, розміри секційних матриць зазначені в ГОСТ 18732.

¹ Найбільша відстань робочих крайок інструмента від осі колонок.

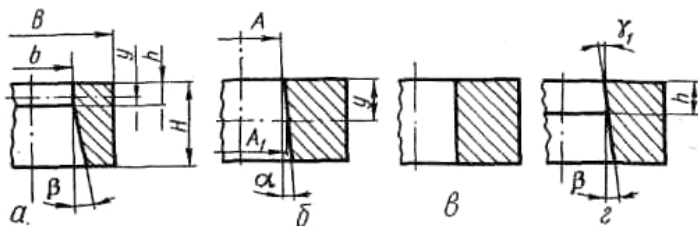


Рисунок 7.17 – Типи різальних крайок матриць

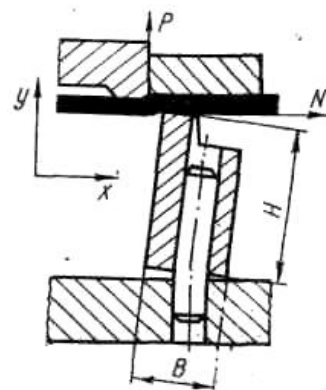


Рисунок 7.18 – Схема перекидання нестійкої секції

Нестійкі секції з відношенням $B / H < 0,8$ (рис. 7.18) перекидаються навіть при незначній величині розпiрного зусилля у зв'язку з вібрацією пружнодеформованих штифтів. Такі секції необхідно кріпити до додаткової опори в напрямку осі x , тому кращими є стійкі секції з відношенням $B / H > 1,2 \dots 1,5$. Важко навантажені різальні матриці розраховуються на міцність під впливом рівномірно розподілених за різальним контуром тисків p і контактних напруг стиску [19, с. 456, 459]. Опорна поверхня матриці перевіряється на зминання. Якщо $\sigma_{cm} \geq 100$ МПа, потрібна загартована підкладка, що встановлюється під матрицю.

Робочий торець вирубного пуансона звичайно приймається плоским. Стійкість пробивних пуансонів малого діаметра підвищується при куті різальної крайки, збільшеному до 110° (рис. 7.19, а). Застосування ввігнутого (рис. 7.19, б) або загостреного торця (рис. 7.19, в) сприяє стійкості пробивних пуансонів великого діаметра. Конусна форма бічної поверхні зменшує зусилля знімання штампованого матеріалу з пуансона.

Масивні пуансони кріпляться безпосередньо до плити. Нестійкі пуансони з відношенням середнього діаметра до загальної довжини $D / L < 0,5$ центруються діаметром D_1 за посадкою H_7/n_6 у державці на ділянці довжиною $l_2 = H = (0,25 \dots 0,4)L$. Перехідний щабель діаметром $D_2 \leq 2d$ призначено для зменшення довжини робочої частини пуансона l_1 . Вона розраховується залежно від типу знімача й способу центрування пуансона. Направлений по ділянці h_3 у жорсткому знімачі (рис. 7.20, а) пуансон має довжину $l_1 = h_1 + h_2 + h_3 + h_4$, де $h_1 = 0,1 \dots 1$ – заглиблення пуансона в матрицю, мм; h_2 – висота знімача над рівнем матриці, мм; $h_4 = 3 \dots 5$ – припуск на перешліфування пуансона, мм.

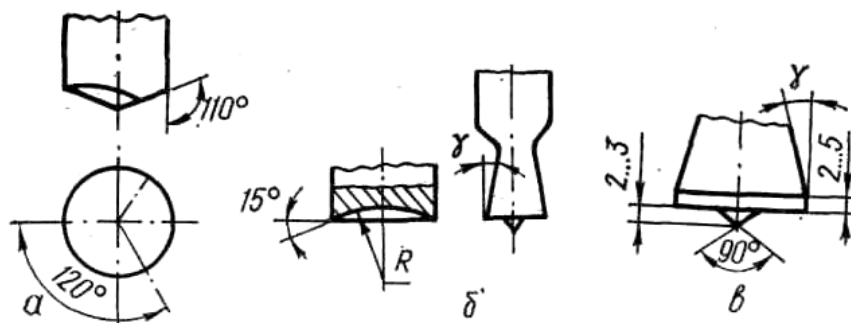


Рисунок 7.19 – Схеми різальної частини пробивних пуансонів

Центрування за діаметром D_2 у жорсткому знімачі (рис. 7.20, б) можливе при відносно товстій заготовці. У цьому випадку пуансон може бути коротшим: $l_1 = h_1 + s + h_4$. Для тонких пуансонів ($d / s < 2$) напруження є обов'язковим. Найкращі умови забезпечує еластичний знімач, що центрується відносно матриці. Доцільно заповнювати напрямну частину знімача пластмасою або легкими сплавами, які мають високу стійкість й антифрикційні властивості. Зазор між знімачем і пуансоном виконується за методичними вказівками [10, с. 16]. Міцність тонких пуансонів забезпечується телескопічними пристроями.

Посадкові частини пуансонів необхідно привести до максимально простої форми. Співвідношення розмірів робочого контуру $a / b \leq 2$, якщо $a < 15$ мм, і $a / b < 1,3$, коли $a < 30$ мм, характерні для пуансонів із круглою посадковою частиною (рис. 7.21). При інших співвідношеннях робочих розмірів застосовується прямокутна форма опорної частини.

Важко навантажені пуансони розраховуються на стиск і стійкість. Матеріал різального інструмента вибирають залежно від питомого навантаження на робочі краї, розрахованого за методикою В. П. Романовського, за допомогою графіків найбільш імовірної міцності різноманітних інструментальних сталей [19, с. 458]. Опорна поверхня пуансонів перевіряється на зминання.

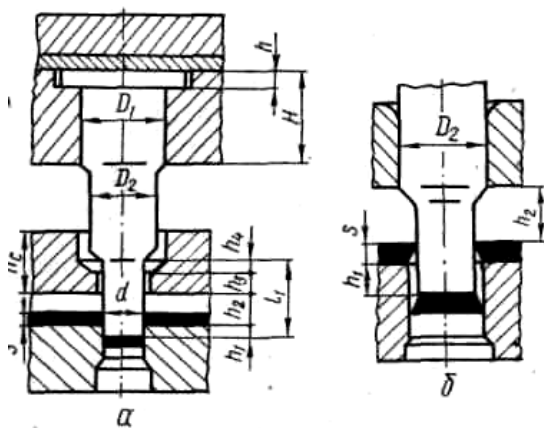


Рисунок 7.20 – Ескізи до розрахунку довжини робочої частини пуансона

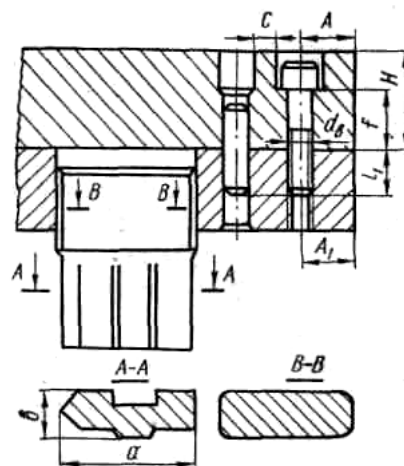


Рисунок 7.21 – Схема кріплення пуансона

Конструкція й розміри різальних пуансонів з максимальним розміром робочого контуру до 40 мм регламентовані ГОСТ 16621 – ГОСТ 16636. Виконавчі розміри інструмента при спільному або роздільному його виготовленні можуть бути визначені за методичними вказівками [10, с. 11–14]. Матеріали, норми твердості й шорсткість поверхні деталей штампів наведені в довіднику [19, с. 406, 411].

Кріплення деталей штампів здійснюється гвинтами з циліндричною голівкою (ГОСТ 11738), шліцьовими (ГОСТ 1491, ГОСТ 14475, ГОСТ 17473) або східчастими (ГОСТ 18786, ГОСТ 18787). Необхідний силовий ефект при затягуванні гвинтів досягається в тому випадку, якщо максимальна довжина стрижня не перевищує шести діаметрів, а нормальна глибина загвинчування

$l_1 = (1,5...2)d$. Необхідно прагнути до зменшення числа типорозмірів кріпильних деталей, що використовуються в штампі.

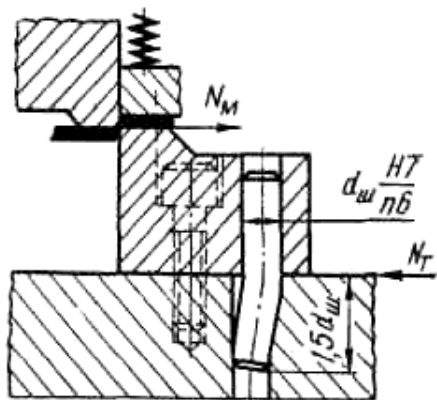


Рисунок 7.22 – Ескіз до розрахунку штифтового кріплення секції

Гвинти розраховуються на відривні зусилля, що виникають при знятті смуги або деталі з пуансона й при виштовхуванні виробів з матриці. Враховується також маса великих деталей, що закріплюються у верхній плиті. Найчастіше досить виконати спрощений розрахунок затягнутого нарізного з'єднання, навантаженого осьюовою силою. У необхідних випадках здійснюється уточнений розрахунок, при якому враховуються піддатливість гвинта й деталей, що стягаються, зусилля затягування, додаткові напруги від вигину й крутіння, нерівномірності навантаження в груповому з'єднанні.

У деяких випадках визначальними є конструктивні міркування. Наприклад, кріплення нижньої плити до стола преса здійснюється болтами не менш ніж у двох точках навіть за відсутності відривних зусиль.

Штифти служать для точної фіксації деталей штампа й сполучаються за посадкою H7/n6. Найпоширеніші діаметри циліндричних штифтів 8, 10, 12 і 16 мм. Глибина запресовування штифта в тіло деталі, що скріплюється, $1,5d_{ш}$. У товстих деталях частину отвору, що не сполучається, рекомендується обробляти на більший діаметр (див. рис. 7.21). Штифти сприймають зсувні зусилля у скріплюваних деталях і розраховуються на зминання, вигин і зріз.

Зсувне зусилля N , яке впливає на секційну матрицю, складається з сил: тиску оброблюваного металу на бічну стінку матриці N_m , тиску торців заготовок, що застрягли в матриці після вирубки, N_0 і тертя між секцією матриці й плитою N_r (рис. 7.22). Отримане зсувне зусилля зрівнюється з навантаженням, що допускається з умови зминання плити і штифтів. У необхідних випадках застосовуються противіджимання, урізання секцій, додаткове їхнє кріплення приставними шпонками [19, с. 388, 405].

Запресовування матриць і пуансонів за наявності відривних зусиль сполучається із кріпленням фланцями, гвинтами, прихоплювачами. Усе більш поширим стає кріплення робочого інструмента в державках заливання пластмасами, що твердіють самостійно, або іншими легкоплавкими матеріалами. Швидкозмінний інструмент кріплять гвинтами, прихоплювачами й гайками [19, с. 390, 394, 415]. Високу точність і надійність забезпечує кулькове кріплення інструмента з круглим контуром.

Конструкція й розміри державок для кріплення дрібного інструмента повинні відповідати ГОСТ 16648 – ГОСТ 16665. Для нестандартних конструкцій мінімально припустимі розміри місць кріплення наведені в табл. 7.4. Дрібні штампи зручно монтувати з направленням кріпильних гвинтів у верхній і нижній половини штампа зверху донизу. Однак нарізні отвори в термооброблюваних деталях штампа не бажані.

Зустрічний напрямок гвинтів зручний для зміни інструмента у великогабаритних штампах без зняття їх із преса. У дрібносерійному виробництві добре себе за-

рекомендували блоки з електромагнітним кріпленням робочих частин [19, с. 363].

Питання техніки безпеки при конструюванні штампа. Безпечна експлуатація штампа можлива при механізації подачі заготовок, видалення деталей і відходів. Робоча зона штампа захищається козирками, щитками або ґратами. Передня його частина закривається прозорим екраном. Огороджувальні щитки обов'язкові для штамів, що мають рухомі деталі, які переміщуються до змикання. Напрямні колонки, що виходять за межі втулок, захищаються подовженими втулками або телескопічними кожухами.

З погляду безпеки призначається відстань між державкою і знімачем, установлюються відлипачі, підйомники, пристрої для легкої зміни робочого інструмента. Безпека штампа підвищується при використанні блокувальних пристроїв, що контролюють правильне положення заготовок, видалення деталей і відходів, а також вимикають привід преса при порушенні нормальної роботи штампа.

Таблиця 7.4 – Мінімально допустимі розміри місць кріплень деталей штампів, мм

Тип розміру (див. рис. 7.21)	Стан сталевих деталей	Діаметр гвинта або штифта, мм				
		8	10	12	14	16
А	Загартована	12	14	16	18	22
	Незагартована	9	11	13	15	16
А ₁	Загартована	10	12	14	16	18
	Незагартована	7	9	11	13	15
С	Загартована	6	7	8	10	12
	Незагартована	4	5	6	6	8
f	Загартована	6	7	8	10	12
	Незагартована	4	5	6	7	8
Н	Загартована	15	18	20	25	30
	Незагартована	13	16	19	22	25

Примітка. Дані наведено для гвинтів, що мають циліндричну головку з внутрішнім шестигранником.

Правила оформлення креслення штампа. Креслення штампів листового штампування оформляються відповідно до ГОСТ 2.424 та інших стандартів ЕСКД. Обов'язковими для складального креслення є головний вигляд, плани низу. Інші вигляди й розрізи наводяться за потреби. Головний вигляд рекомендується виконувати в розрізі, положення січної площини наноситься на плані низу й верху або тільки плані низу й вибирається так, щоб головний вигляд повніше розкривав схему роботи штампа. На головному вигляді штамп зображується в зімкнутому стані, а на додаткових виглядах допускається зображення в розкритому стані з обов'язковим написом «У розкритому стані». Деталь або заготовка в штампі зображується у вигляді «обстановки» за ГОСТ 2.109.

У правому верхньому куті першого аркуша складального креслення містяться ескізи переходів штампованої деталі. Ліворуч від операційних ескізів допускається поміщати зображення заготовки або схеми розкроювання смуги з відповідними написами. Ескізи можуть виконуватися на окремому (останньому) аркуші складального креслення.

На складальному кресленні вказуються закрита висота штампа, габарити блока в плані, розміри вильоту й установлювальні. На креслення витяжних штампів, установлюваних на пресі подвійної дії, наносяться два розміри закритої висоти – для внутрішнього й зовнішнього повзунів.

У штампах, призначених для експлуатації на пресі з С-подібною станиною, виліт проставляється до краю плити, протилежного фронту преса, для зіставлення його з вильотом останнього. Установлювальні (конструктивні) розміри визначають взаємне положення деталей штампа, що закріплюються порізно. Вони вказуються на плані низу, верху (рідше) або на головному вигляді. Рекомендується одну з деталей штампа прийняти за базову, закоординувавши її робочий контур щодо поздовжньої й поперечної осей штампа, а інші деталі комплексу за допомогою встановлювальних розмірів погоджувати з базовою деталлю. За допомогою встановлювальних розмірів координують також положення упорів, фіксаторів і напрямних планок.

На складальному кресленні формотвірного штампа наводяться розмір технологічного зазору з відхиленнями, що допускаються, і контрольні розміри штампованих деталей, яких потрібно дотримуватися при виготовленні й налагодженні штампа. Графи основного напису слід заповнювати відповідно до ГОСТ 2.104. Найменування штампа формулюється за ГОСТ 15830: «Штамп простої дії...», «Штамп сполученої (послідовної) дії...», «Універсальний штамп...». До нього додається термін операції за ГОСТ 18970 у непрямому відмінку: «...для витягування», «...для витягування й обрізання». Дозволяється в найменуванні опускати технологічну ознаку штампа, наприклад, «Штамп для вирубування».

Перелік специфікацій складається за ГОСТ 2.108. На першому аркуші складального креслення праворуч і знизу від зображення вказуються технічні вимоги на виготовлення й експлуатацію штампа. Іноді в них наводяться короткі відомості про прес, на який встановлюється штамп, розміри підкладних плит, брусків, буферних шпильок. Для пресів з регульованим ходом повзуна доцільна оцінка «Працювати при ході..., мм». Безпечні прийоми праці обговорюються в технічних вимогах відповідними вказівками: «Працювати з автоподачею...», «Вироби видаляти повітрям», «Працювати тільки з увімкненим блокуванням», «Працювати з нахилом преса» тощо. У випадках, передбачених завданням, виконуються робочі креслення деталей штампа, які оформляються відповідно до вимог ЕСКД і ГОСТ 2.424.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Трубин В. Н. Автоматизация проектирования технологииковки на молотах [Текст] / В. Н. Трубин, С. Д. Шалягин, С. Н. Орлов и др. – М. : Машиностроение, 1974. – 160 с.
2. Бабенко В. А. Объемная штамповка: Атлас схем и типовых конструкций штампов [Текст] / В. А. Бабенко, В. В. Бойцов, Ю. П. Волик. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1982. – 104 с.
3. Григорьев Л. Л. Автоматизированное проектирование в холодной листовой штамповке [Текст] / Л. Л. Григорьев. – Л. : Машиностроение, 1984. – 279 с.
4. Дурандин М. М. Штампы для холодной штамповки мелких деталей: Альбом конструкций и схем [Текст] / М. М. Дурандин, Н. П. Рымзин, Н. А. Шихов. – М. : Машиностроение, 1978. – 108 с.
5. Зубцов М. Е. Листовая штамповка [Текст] / М. Е. Зубцов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л. : Машиностроение, 1980. – 431 с.
6. Сторожев М. В. Ковка и объемная штамповка стали [Текст]: Справочник в 2-х т. / М. В. Сторожев. – 2-е изд., перераб. – М. : Машиностроение, 1967-1968. – 2 т.
7. Корнеев Н. И. Ковка и штамповка цветных металлов [Текст]: Справочник / Н. И. Корнеев, В. М. Аржаков, Б. Г. Бармашенко и др. – М. : Машиностроение, 1971. – 232 с.
8. Соколов Л. Н. Ковка слитков на прессах [Текст] / Л. Н. Соколов, Н. М. Золотухин, В. Н. Ефимов и др. – К. : Техника, 1984. – 127 с.
9. Пневмоударная и статикодинамическая штамповка сложнорельефных листовых деталей упругими средами [Текст] : монография / Е. А. Фролов, А. Я. Мовшович, И. В. Манаенков и др. – Х. : УкрГАЗТ – Краматорск : ДГМА, изд. центр НТУ «ХПИ», 2010. – 286 с.
10. Боков В. М. Конструювання та виготовлення штампів. Проектування розділових штампів: Навчальний посібник. [Текст] / В. М. Боков. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий ТОВ «Імекс-ЛТД», 2006. – 274 с.
11. Исаченков Е. И. Штамповка резиной и жидкостью [Текст] / Е. И. Исаченков. – М. : Машиностроение, 1967. – 367 с.
12. Норицын И. А. Проектирование кузнечных и холодноштамповочных цехов и заводов [Текст] / И. А. Норицын, В. Я. Шехтер, А. М. Мансуров. – М. : Высшая школа, 1977. – 423 с.
13. Каргин Б. С. Инновационные технологии изготовления, испытания и опыт внедрения технологических смазок для обработки металлов давлением : учебное пособие [Текст] / Б. С. Каргин, В. В. Кухарь, С. Б. Каргин ; под общей редакцией проф. Б. С. Каргина. – Мариуполь : ПГТУ, 2016. – 132 с.
14. Технологія кування [Текст] / Л. М. Соколов, І. С. Алієв, О. Є. Марков, Л. І. Алієва. – Краматорськ: ДДМА, 2011. – 268 с.
15. Taylan Altan. Cold and Hot Forging: Fundamentals and Applications [Текст] / Taylan Altan, Gracious Ngaile, Gangshu Shen. – OH: ASM International, 2005. – 341 с.

16. Охрименко Я. М. Технология кузнечно-штампового производства [Текст] / Я. М. Охрименко. – М. : Машиностроение, 1976. – 560 с.
17. Полухин П. И. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов [Текст]: Справочник / П. И. Полухин, Г. Я. Гун, А. М. Галкин. – М. : Metallurgy, 1983. – 350 с.
18. Скрябин С. А. Технология горячего деформирования заготовок из алюминиевых сплавов на ковочных вальцах : монография [Текст] / С. А. Скрябин. – Винница, 2007. – 284 с.
19. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке [Текст] / В. П. Романовский. – Л. : Машиностроение, 1979. – 520 с.
20. Трубин В. Н. Система управления качеством проектирования технологических процессовковки [Текст] / В. Н. Трубин, В. И. Макаров, С. Н. Орлов и др. – М. : Машиностроение, 1984. – 184 с.
21. Смирнов В. К. Горячая вальцовка заготовок [Текст] / В. К. Смирнов, И. И. Литвинов, С. В. Харитонин. – М. : Машиностроение, 1980. – 151 с.
22. Altan Taylan. Metal forming : fundamentals and applications / Altan Taylan, Gegel H. L, Oh, Soo-Ik. – OH: American Society for Metals, Metals Park, 1983. – 353 p.
23. Сторожев М. В. Теория обработки металлов давлением [Текст] / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. – М. : Машиностроение, 1977. – 423 с.
24. Марков О. Е. Автоматизированное проектирование технологических процессовковки крупных поковок : учеб. пособие / О. Е. Марков, Л. Н. Соколов. – Краматорск: ДГМА, 2007. – 236 с.
25. Злотников С. Л. Техника безопасности и производственная санитария в кузнечно-прессовых цехах [Текст] / С. Л. Злотников, В. П. Михайлова, П. И. Казакевич. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1984. – 252 с.
26. Огородніков В. А. Механіка процесів холодного пластичного деформування вісесиметричних заготовок з глухим отвором [Текст] : монографія / В. А. Огородніков, І. Ю. Кириця, В. Є. Перлов. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 163 с.
27. Стеблюк В. И. Технология листовой штамповки [Текст]: Курсовое проектирование / В. И. Стеблюк, В. Л. Марченко, В. В. Белов, А. Г. Гривачевский. – К. : Вища школа, 1983. – 279 с.
28. Трофимов И. Д. Автоматы и автоматические линии для горячей объемной штамповки [Текст] / И. Д. Трофимов, Н. М. Бухер. – М. : Машиностроение, 1981. – 276 с.
29. Аверкиев Ю. А. Технология холодной штамповки: учебник для вузов [Текст] / Ю. А. Аверкиев, А. Ю. Аверкиев. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.
30. Фойгельман Г. А. Альбом конструкций универсальных штампов, блоков и узлов для холодной штамповки [Текст] / Г. А. Фойгельман. – 3-е изд., перераб. – М. : Машиностроение, 1980. – 112 с.
31. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / Под общ. ред. Л. И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.
32. Шнейберг В. М. Кузнечно-штамповочное производство Волжского автомобильного завода [Текст] / В. М. Шнейберг, И. Л. Акаро. – М. : Машино-

строение, 1977. – 302 с.

33.Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Гаряче об'ємне штампування. Навчальний посібник [Текст] / Ж. П. Дусанюк, І. О. Сивак, С. В. Дусанюк, С. В. Репінський. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 106 с.

34.Скрябин С. А. Изготовление поковок из алюминиевых сплавов горячим деформированием : монография [Текст] / Скрябин С. А. – К.: Квіц, 2004. – 346 с.

35.Altan Taylan. Sheet Metal Forming: Processes and Applications [Текст] / Altan Taylan, Tekkaya A. E. – OH: ASM International, 2012 – 400 p.

36.Metal forming handbook [Текст] / Schuler GmbH. – Springer, Berlin Heidelberg, 1998. – 563 p.

37.Каргин С. Б. Инновационные технологииковки валов [Текст] : монография / С. Б. Каргин, Б. С. Каргин, В. В. Кухарь. – Мариуполь : ПГТУ, 2016. – 145 с.

38.Кухарь В. В. Проектирование индукционных нагревателей и безопасность при электротермическом нагреве [Текст] : учебное пособие / В. В. Кухарь, Ю. П. Нижельская, А. С. Анищенко. – Мариуполь : ПГТУ, 2016. – 173 с.

39.Боков В. М. Конструювання та виготовлення штампів. Штмп як об'єкт проектування: Навчальний посібник [Текст] / В. М. Боков. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий ТОВ «Імекс–ЛТД», 2005. – 216 с.

40.Боков В. М. Конструювання та виготовлення штампів. Проектування штампів: формозмінних, складної дії, для складання та автоматичного штампування: Навчальний посібник [Текст] / В. М. Боков. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий ТОВ «Імекс–ЛТД», 2010. – 322 с.

41.Боков В. М. Конструювання та виготовлення штампів. Практикум: Навчальний посібник [Текст] / В. М. Боков. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий ТОВ «Імекс–ЛТД», 2005. – 132 с.

42.Швець С. В. Штампипрес-форми, конструювання та технологія виготовлення : навч. посіб. [Текст] / С. В. Швець, Л. М. Сєдінкін. – Суми : Вид-во СумДУ, 2005. – 118 с.

43.Бочаров Ю. А. Кузнечно-штамповочное оборудование: Учебник для вузов [Текст] / Ю. А. Бочаров. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 480 с.

44.Явтушенко А. В. Проектирование и расчёт кривошипных прес-сов [Текст] / А. В. Явтушенко. – Запорожье: ЗНТУ, 2008. – 301 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Затверджую:
Зав. кафедри _____
ПІБ
« ____ » _____ 201 ____ р.

ЗАВДАННЯ на виконання курсового проекту з курсу «Технологія процесів за фахом»

Студентові _____ групи _____

Розробити раціональний технологічний процес виготовлення деталі _____ при річній програмі _____ шт. Сконструювати для розробленого технологічного процесу _____

Скласти розрахунково-пояснювальну записку, відбивши в ній такі питання. Вступ – цілій завдання проекту.

1.Обґрунтування доцільності розробки (удосконалення) процесу виготовлення поковки (деталі).

1.1.Креслення деталі, умови її роботи у вузлі й технічні вимоги.

1.2.Опис чинного (заводського) технологічного процесу і його критичний аналіз.

1.3.Обговорення можливих варіантів виготовлення деталі й вибір найбільш раціонального варіанта для докладного опрацювання.

2.Розробка раціонального варіанта технологічного процесу виготовлення деталі (поковки).

2.1.Складання креслення поковки (аналіз технологічності деталі).

2.2.Визначення маси й розмірів заготовки.

2.3. Вибір операцій і розрахунок переходів кування, штампування.

2.4.Термічний режим кування, штампування, вибір нагрівальних пристроїв (підготовка заготовок до штампування).

2.5. Розрахунок зусиль, вибір технологічного встаткування й засобів механізації.

2.6. Проектування інструменту.

3.Організація праці й техніка безпеки.

4.Техніко-економічне зіставлення варіантів виготовлення деталі (поковки) .

5. Оформлення технологічної документації.

6. Список використаної літератури.

Співвідношення трудомісткості етапів таке.

Перший етап – 10 %. Попередні розрахунки технологічних процесів, їхній критичний аналіз і зіставлення, вибір оптимального варіанта для детального опрацювання.

Другий етап – 40 %. Докладна розробка раціонального технологічного процесу з оформленням карт технологічної документації відповідно до ЄСТД.

Третій етап – 40 %. Розрахунок і проектування штамів з виконанням креслень.

Четвертий етап – 10 %. Оформлення розрахунково-пояснювальної записки.

Керівник проекту _____
Дата видачі _____ *Строк захисту* _____

Таблиця Б.1 – Базовий опір деформуванню σ_0 (МПа) і коефіцієнти до формули (2.9)

Марка матеріалу	S	σ_0	a	b	c
15Г	0,842	103,0	0,126	0,188	-2,74
Ст3кп	0,885	77,9	0,135	0,164	-2,80
Ст5сп	0,917	89,5	0,144	0,208	-3,35
45	1,000	87,4	0,143	0,173	-3,05
35ГС	0,975	89,6	0,136	0,187	-2,79
30ХГСА	0,996	92,4	0,134	0,250	-3,34
15ХСНД	0,88	93,2	0,122	0,226	-2,90
20ХГ2Ц	1,011	95,8	0,125	0,213	-3,65
15ХГНТА	0,932	108,0	0,108	0,257	-3,25
40Х	0,979	87,5	0,130	0,170	-3,62
40ХН	0,935	88,5	0,134	0,234	-3,47
40ХГНМ	0,87	103,0	0,173	0,144	-2,64
38ХМЮА	1,016	100,0	0,114	0,273	-3,72
40ХНМА	0,966	92,7	0,125	0,175	-3,40
65Г	1,007	72,7	0,166	0,222	-3,02
У7А	0,948	78,3	0,159	0,197	-2,87
У10А	0,995	80,5	0,163	0,194	-3,57
У12А	1,057	70,0	0,173	0,180	-3,26
60С2	0,921	105,0	0,153	0,197	-3,46
ШХ15	1,010	79,6	0,137	0,220	-4,07
P18	0,780	237,0	0,136	0,100	-3,01
1Х13	0,950	145,0	0,102	0,125	-3,50
2Х13	0,900	136,0	0,132	0,210	-3,26
Х12М	0,861	212,0	0,127	0,067	-3,12
12Х2НЧА	0,906	104,0	0,100	0,226	-3,20
3Х2В8Ф	0,895	162,0	0,113	0,113	-3,54
Х18Н10Т (12Х18Н9Т)	0,825	222,0	0,112	0,088	-4,35
Х23Н18	0,848	211	0,093	0,105	-3,18

Таблиця Б.2 – Значення границі текучості σ_T (МПа) і сталей до формули (2.10)

Марки сталей	$T_0, ^\circ\text{C}$	σ_T	G	α	m
45	800	37,2	840	0,33	0,54
	900	22,3	510	0,38	0,53
	1000	12,3	220	0,37	0,52
	1100	7,6	200	0,42	0,50
	1200	5,6	160	0,49	0,43
9ХС	800	44,8	1180	0,33	0,58
	900	29,9	700	0,34	0,56
	1000	17,6	610	0,35	0,57
	1100	9,9	220	0,35	0,52
	1200	6,9	180	0,36	0,52
40Х	800	40,0	1010	0,36	0,50
	900	23,8	550	0,35	0,47
	1000	13,4	340	0,37	0,46
	1100	7,8	250	0,37	0,40
	1200	5,6	146	0,39	0,40
ХН38ВТ (ЭИ703)	1000	39,6	917	0,52	0,58
	1100	23,7	650	0,46	0,54
	1150...1200	14,7	510	0,45	0,51

Таблиця Б.3 – Значення сталих до формули (2.11)

Марка матеріалу	σ_0	k_1	G_1	k_2	α_1	B_1	m_1
У10А	0,91	8,01	43,50	6,60	1,86	-1,16	-1,36
45	1,02	7,44	25,75	7,08	1,13	-0,73	-1,07
35	1,19	6,80	41,69	7,47	1,53	-0,83	-1,04
5ХВ2С	1,32	7,54	35,54	7,75	1,94	-1,35	-1,62
9ХС	1,34	7,40	45,91	6,47	1,09	-0,82	-1,31
30ХГСА	1,32	7,32	53,75	8,12	1,82	-0,88	-0,98
40Х	0,97	7,72	58,55	7,03	1,17	-0,60	-0,98
ХН38ВТ (ЭИ703)	2,86	7,57	69,60	8,42	0,99	-0,51	-0,94
08Х18Н10Т	1,98	7,18	49,51	7,17	1,16	-0,49	-0,64

Таблиця В.1 – Складова припуску $M_{рез}$ при обробці торцевих поверхонь поковок, мм

Тип деталі	Необхідна чистота поверхні	Діаметр деталі, мм	
		до 200	понад 200
Шестерні, барабани, стакани, диски, втулки, корпуси підшипників, кільця	До $R_z 40$	0,40	0,50
	$R_z 40 - R_a 1,25$	0,60	0,70
	$R_a 1,25$ і вище	0,80	0,90
Шестерні із хвостовиком, вали шестерні тощо	До $R_z 40$	0,50	0,55
	$R_z 40 - R_a 1,25$	0,60	0,70
	$R_a 1,25$ і вище	0,80	0,90
Важелі, качани	До $R_z 40$	0,35	0,35
	$R_z 40 - R_a 1,25$	0,40	0,40
	$R_a 1,25$ і вище	0,60	0,60

Таблиця В.2 – Складова припуску $M_{рез}$ при механічній обробці зовнішніх і внутрішніх поверхонь обертання, мм

Діаметр кування, мм	Необхідна чистота поверхні	$M_{рез}$	Діаметр кування, мм	Необхідна чистота поверхні	$M_{рез}$
До 50	До $R_z 40$	0,40	151...200	До $R_z 40$	0,50
	$R_z 40 - R_a 1,25$	0,50		$R_z 40 - R_a 1,25$	0,70
	$R_a 1,25$ і вище	0,70		$R_a 1,25$ і вище	0,90
51...100	До $R_z 40$	0,45	201...300	До $R_z 40$	0,55
	$R_z 40 - R_a 1,25$	0,10		$R_z 40 - R_a 1,25$	0,90
	$R_a 1,25$ і вище	0,80		$R_a 1,25$ і вище	1,20
101...150	До $R_z 40$	0,50	301 і вище	До $R_z 40$	0,70
	$R_z 40 - R_a 1,25$	0,65		$R_z 40 - R_a 1,25$	1,00
	$R_a 1,25$ і вище	0,85		$R_a 1,25$ і вище	1,20

Таблиця В.3 – Погрішності штампування, що враховуються в розрахунку припусків

Маса поковки, кг	Глибина раковин, мм		Зсув штампів, мм			Термообробка, мм	Питома зігнутість, мкм на мм			
			Молот		ГКМ		Вали, осі, важелі		Круглі в плані поковки	
	ГКМ і КГШП	Молот	Із зам- ком	Без зам- ка			Без правки	З прав- кою	Без правки	З прав- кою
До 0,25	0,4	0,35	0,30	0,4	0,4	0,12	14,0	8,0	16	5,8
0,25...0,63	0,5	0,45	0,30	0,4	0,5	0,14	13,5	7,5	16	5,8
0,63...1,60	0,7	0,55	0,30	0,6	0,6	0,16	13,0	7,0	15	5,5
1,60...2,50	0,8	0,65	0,35	0,7	0,6	0,18	13,0	6,0	14	5,3
2,50...4,00	0,9	0,75	0,35	0,8	0,7	0,20	12,5	5,0	13	5,2
4,00...6,30	0,9	0,80	0,40	0,9	0,8	0,23	12,0	5,0	12	5,1
6,30...10,0	1,0	0,90	0,45	1,0	0,8	0,26	11,0	4,0	11	5,0
10,00...16,00	1,1	1,00	0,50	1,1	0,8	0,30	11,0	4,0	10	5,0
16,00...25,00	1,1	1,10	0,55	1,2	—	0,33	10,5	3,5	9	5,0
25,00...40,00	—	1,10	0,60	1,3	—	0,35	10,0	3,0	9	5,0
40,00...63,00	—	1,20	0,65	1,4	—	0,40	9,5	2,7	9	4,5
63,00...100,00	—	1,20	0,70	1,5	—	0,45	9,0	2,5	7	4,0

Примітки:

1. Похибка щодо зігнутості дана на розмір поковки, тому при обчисленні припуску на сторону її варто ділити на два.
2. При газовому й індукційному нагріванні глибина раковин приймається відповідно на 10 і 60 % меншою.

Додаток Г

Таблиця Г.1 – Опір деформуванню (МПа) сталі при кувальних температурах

Марка сталі	800 °С		900 °С		1000 °С		1100 °С		1200 °С	
	σ_0	β	σ_0	β	σ_0	β	σ_0	β	σ_0	β
<i>Сталь з підвищеним вмістом марганцю</i>										
14Г2	180,3	0,12	137,2	0,13	103,9	0,14	78,4	0,16	62,7	0,18
Г14	235,2	0,14	158,8	0,17	107,8	0,20	72,5	0,24	49,0	0,27
35МГ2	–	–	179,3	0,09	133,3	0,11	99,0	0,12	69,6	0,15
<i>Легована високоякісна сталь</i>										
30ХГСА	206,8	0,12	153,9	0,13	110,7	0,13	79,4	0,16	59,8	0,15
12ХН3А	215,6	0,12	166,6	0,14	127,4	0,15	92,1	0,16	68,6	0,18
38ХН3МА	–	–	189,1	0,09	149,0	0,10	108,8	0,11	76,4	0,13
35ХМВ16	231,3	0,08	149,0	0,11	96,0	0,15	61,7	0,18	40,2	0,22
ШХ15	225,4	0,15	155,8	0,15	104,9	0,16	73,5	0,18	49,0	0,20
<i>Ресорно-пружинна якісна сталь.</i>										
60С2	236,2	0,13	167,6	0,13	130,3	0,13	102,0	0,14	78,4	0,13
60СГ	–	–	197,0	0,10	148,0	0,11	100,0	0,13	72,5	0,16
<i>Інструментальна сталь</i>										
У7	144,1	0,12	119,6	0,14	81,3	0,18	56,8	0,20	–	–
У10	219,5	0,11	130,3	0,12	101,9	0,13	71,5	0,18	49,0	0,23
Х12	–	–	296,0	0,09	208,7	0,11	148,0	0,14	99,6	0,13
Х12М	392,01	0,08	220,5	0,14	123,5	0,20	69,6	0,26	39,2	0,32
Р18	391,0	0,07	258,7	0,11	170,5	0,16	112,7	0,20	74,5	0,25
<i>Сталь нержавіюча й кислотостійка</i>										
3Х13	277,3	0,09	205,8	0,12	151,9	0,15	112,7	0,18	84,3	0,21
Х17Г	78,4	0,20	51,0	0,24	32,3	0,27	21,6	0,31	13,7	0,35
Х18Н9	–	–	250,9	0,06	190,1	0,09	141,1	0,09	100,0	0,11
1Х18Н12М3	223,4	0,13	161,7	0,16	116,6	0,19	85,3	0,22	61,7	0,25
1Х18Н9М	356,7	0,10	258,7	0,13	187,2	0,15	127,4	0,18	99,0	0,21
Х28Н5М2	200,9	0,15	130,3	0,20	84,3	0,24	53,9	0,29	35,3	0,34
1Х19Н9Т	392,0	0,04	–	0,07	–	0,13	–	0,16	73,5	0,18
ХДН	166,6	0,07	125,4	0,13	60,8	0,16	31,4	0,15	–	–
<i>Окалиностійка й жароміцна сталь</i>										
Х9С2	–	–	140,1	0,13	198,0	0,11	130,3	0,15	85,3	0,17
4Х14Н14В2М	–	–	296,0	0,10	214,6	0,14	155,8	0,18	112,7	0,22
ЭИ69	921,2	0,03	666,4	0,09	392,0	0,19	242,0	0,22	142,1	0,24
<i>Вуглецева сталь</i>										
15	56,8	0,09	44,1	0,10	27,4	0,11	23,5	0,12	13,7	0,13
30	94,4	0,09	70,0	0,10	51,7	0,11	34,7	0,12	24,8	0,13
45	107,8	0,09	74,5	0,10	54,9	0,11	36,2	0,12	26,2	0,13

Примітка. Для сталі 15 приймають $\dot{\epsilon}_0$ (1/с) = 0,00046,
сталі 30 і 45 – $\dot{\epsilon}_0$ (1/с) = 0,02...0,04, для інших – $\dot{\epsilon}_0$ (1/с) = 1.