



**Швець С. В.,
Швець У. С.,
Борисюк В. М.**



МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАТРОННОЇ КОВАЛЬСЬКО-ПРЕСОВОЇ СИСТЕМИ



**Навчальний
посібник**

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет

**Швець С. В.,
Швець У. С.,
Борисюк В. М.**

МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАТРОННОЇ КОВАЛЬСЬКО-ПРЕСОВОЇ СИСТЕМИ

Навчальний посібник

Рекомендовано вченою радою Сумського державного університету



Суми
Сумський державний університет
2022

УДК 621.98.043(075.8)

Ш 35

Рецензенти:

В. П. Ларшин – доктор технічних наук, професор Одеського національного політехнічного університету;
І. В. Павленко – доктор технічних наук, професор Сумського державного університету

*Рекомендовано до видання
вченою радою Сумського державного університету
як навчальний посібник
(протокол № 13 від 23 червня 2022 року)*

Швець С. В.

Ш 35 Моделювання мехатронної ковальсько-пресової системи : навчальний посібник / С. В. Швець, У. С. Швець, В. М. Борисюк. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 177 с.

ISBN 978-966-657-913-6

У навчальному посібнику викладені основні загальні положення вибору ковальсько-штампувальних машин, проектування штампів, прес-форм. Надані рекомендації щодо проектування заготовок для витягування деталей із листових заготовок. Запропоновані зміст і порядок розроблення процесів холодного штампування. Розглянуті класифікаційні ознаки прес-форм. Звернена увага читача на єдність конструювання та виготовлення штампів, прес-форм і технологічних процесів. Визначена роль числового програмного керування в роботі ковальсько-пресового обладнання. Проаналізовані умови маркування пресів. Розглянуті конструктивні елементи штампів і прес-форм.

Навчальний посібник призначений насамперед для студентів та може бути корисним й інженерам-механікам.

УДК 621.98.043(075.8)

© Сумський державний університет, 2022
ISBN 978-966-657-913-6 © Швець С. В., Швець У. С., Борисюк В. М., 2022

ЗМІСТ

С.

ПЕРЕДМОВА	6
1 КОВАЛЬСЬКО-ШТАМПУВАЛЬНІ МАШИНИ	8
1.1 Розвиток машинної технології кування.....	8
1.2 Класифікація ковальсько-штампувальних машин	9
1.3 Головні параметри і критерії порівняння ковальсько- штампувальних машин	13
1.4 Стати.....	14
1.5 Гідравлічні ковальсько-пресові машини	15
1.7 Кривошипні машини.....	24
1.8 Гвинтові преси	31
1.9 Штампувальні й кувальні молоти.....	41
1.10 Вібраційні та імпульсні машини	48
1.11 Ротаційні й роторні машини	51
1.12 Оснащення ковальсько-пресових машин системами ЧПК	57
1.13 Маркування ковальсько-пресового обладнання.....	61
<i>Контрольні питання.....</i>	<i>66</i>
2 ОСНОВНІ ОПЕРАЦІЇ ХОЛОДНОГО ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ.....	68
2.1 Операції розділення	68
2.2 Процес різання листового матеріалу	71
2.3 Механізми та умови пластичної деформації	73
2.4 Операції зміни форми	77
2.5 Штампувальні елементи	81
2.6 Методи комбінованого штампування.....	83
<i>Контрольні питання.....</i>	<i>85</i>
3 ПРОЄКТУВАННЯ ЗАГОТОВОК	86
3.1 Загальні технологічні вимоги до заготовки, що підлягає вигину.....	86
3.2 Витягування листових металів	86
3.3 Витягування круглих деталей.....	89
3.4 Витягування круглих високих коробок.....	93
<i>Контрольні питання.....</i>	<i>95</i>
4 КОНСТРУЮВАННЯ ШТАМПІВ	97
4.1 Класифікація штампів.....	97

4.2 Типові вузли штампів	98
4.3 Напрямні елементи	99
4.4 Формоутворювальні деталі штампів	100
4.5 Фіксувальні деталі штампів	102
4.6 Знімачі та виштовхувачі	104
4.7 Кріпильні деталі	105
4.8 Матеріали для деталей штампів	105
4.9 Технологічні зазори між матрицею й пуансоном	107
4.10 Чистове вирубування, пробивання та відрізання	108
4.11 Виконавчі розміри пуансонів і матриць	109
4.12 Визначення центра тиску штампа	114
4.13 Визначення зусилля вирубування.....	117
4.14 Розрахунок пуансонів на міцність	119
4.15 Технологія виготовлення деталей штампів	124
4.16 Складання штампів	132
<i>Контрольні питання.....</i>	<i>133</i>
5 ЗМІСТ І ПОРЯДОК РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХОЛОДНОГО ШТАМПУВАННЯ.....	135
5.1. Використання мастил під час витягування	135
5.2 Наклеп металу та відпалювання під час витягування.....	135
5.3 Рекомендації та етапи створення технологічного процесу штампування.....	136
5.4 Загальні технологічні вимоги до конструкції штампованих листових деталей	139
<i>Контрольні питання.....</i>	<i>141</i>
6 ПРЕС-ФОРМИ.....	142
6.1 Основні класифікаційні ознаки прес-форм	142
6.2 Стаціонарні прес-форми	142
6.3 Напівстаціонарні прес-форми.....	143
6.4 Знімні та змінні блокові прес-форми.....	144
6.5 Прес-форми прямого та виливного пресування.....	145
6.6 Прес-форми відкритого й закритого типів	145
6.7 Прес-форми зі спільною та індивідуальною завантажувальними камерами	147
6.8 Прес-форми з верхньою та нижньою завантажувальними камерами	148
6.9 Формувальні гнізда, матриці та пуансони.....	148

<i>Контрольні питання</i>	150
7 КОНСТРУКТИВНІ ЕЛЕМЕНТИ ДЕТАЛЕЙ ПРЕС-ФОРМИ	151
7.1 Нормалізовані й спеціальні деталі.....	151
7.2 Проектування ливникової системи.....	153
7.3 Проектування вентиляційних каналів	157
7.4 Видалення виробів із форми	160
7.5 Установлення й закріплення арматури.....	161
7.6 Системи переміщення та центрування.....	162
7.7 Термостабілізація форм	166
<i>Контрольні питання</i>	171
ПІСЛЯМОВА.....	173
Список літератури	175

ПЕРЕДМОВА

Мехатроніка – це синергічна інтеграція машинобудування з електронікою та інтелектуальним комп'ютерним керуванням під час проєктування й виробництва промислових продуктів і процесів. Мехатроніка об'єднує механічні системи (механічні елементи, компоненти та машини), електронні системи (мікроелектроніка, технологія датчиків і приводів) та інформаційні технології. Таким чином, мехатронні системи є складною інтеграцією надзвичайно передових технологічних компонентів, здатних виконувати завдання з високою точністю та гнучкістю [1].

Мехатроніка оброблення матеріалів тиском – це наука, в якій інтегровано знання процесів деформування металів, проєктування і зношування штампів та прес-форм, ковальсько-пресових машин, засобів автоматизації й механізації, електроніки, комп'ютерів, інформатики та програмного забезпечення [3].

Ковальсько-пресові машини складають важливу частину системи оброблення тиском і призначені для створення відповідних зусиль під час змінювання форми металів, сплавів і неметалічних матеріалів. Сучасні конструкції ковальсько-пресових машин розробляють із застосуванням інформаційних технологій, проєктних процедур і засобів автоматизованого проєктування, оснащують системами ЧПК, комп'ютерного моніторингу й діагностики.

Інструмент (штамп, прес-форма, гідростатичне, гідроімпульсне, газоімпульсне, електромагнітне поле) безпосередньо контактує з оброблюваним матеріалом, перетворюючи заготовку на готову деталь.

Проєктування штампів, їх виготовлення, розроблення технологічного процесу і вибір ковальсько-пресової машини нерозривно пов'язані. Штампове обладнання дороге й складне, гнучкість його складових щодо номенклатури виробів не велика, і якщо виникає потреба незначних змін конструкції виробу чи

технологічного процесу, то воно стає повністю не придатним. Останнім часом розробляють стандартизовані вузли й деталі, але робочі поверхні інструментів створюються відповідно до форм поверхонь деталей.

Тому і технолог, і конструктор повинні розуміти процеси, що відбуваються під час перетворення заготовки на готову деталь, знати основи конструювання інструменту та вибору обладнання, зміст і порядок розроблення технологічного процесу.

Зважаючи на це, в навчальному посібнику розглянуто класифікацію ковальсько-пресових машин, утворення нових форм під час холодного листового штампування, об'ємні зміни й проектування заготовок, послідовність розроблення технологічних процесів, виготовлення штампів і прес-форм.

1 КОВАЛЬСЬКО-ШТАМПУВАЛЬНІ МАШИНИ

1.1 Розвиток машинної технології кування

Ковальська справа – один із найдавніших способів оброблення металів [4, 21]. Ще в четвертому й третьому тисячоліттях єгиптяни вміли кувати метеоритне залізо, а в Стародавніх Греції та Римі ковальське ремесло досягло високого ступеня досконалості.

На території нашої країни ковальське оброблення металів було відомим скіфам, які населяли райони Північного Причорномор'я в VII—IV ст. до н. е. У Київській Русі ремісники-ковалі чудово володіли мистецтвом виготовлення із заліза знарядь праці та зброї.

З розвитком оброблення металів ручні молоти, якими користувалися давні ковалі, не могли задовольнити всіх потреб виробництва. Виготовлення важких якорів та іншого корабельного оснащення в XV—XVI століттях вимагало заміни ручного кування та появи перших важільних молотів. Як привід у них використовували енергію води, тому їх називали водяними молотами. Вага рухомих частин не перевищувала 700 Н. Там, де не було гідроенергії, застосовували кінний привід або використовувалися молоти копрового типу.

У 1839 р. була створена парова машина, а в 1842 р. Джемс Несміт побудував перший паровий молот, у 1846 р. Армстронг – перший паровий гідропрес. Поява першого гідравлічного преса у Віденських залізничних майстернях у 1861 р. була викликана неможливістю встановлення важкого парового молота (через поганий ґрунт та близьке розміщення житлових кварталів).

З покращанням конструкцій гідравлічних пресів та підвищенням їх швидкохідності вони поступово почали витіснити великі кувальні молоти.

Для масового виробництва дрібних виробів великі й потужні парові молоти та гідравлічні преси стали економічно не вигідними, тому поява електродвигунів сприяла розвитку

кривошипних пресів, які на сьогодні становлять до 60 % ковальсько-пресового обладнання. На заміну пароповітряному молоту прийшов кривошипний гарячештампувальний прес, який відкривав великі можливості для механізації, автоматизації та впровадження економічних видів штампування.

Застосування в техніці таких матеріалів як молібден, цирконій, ніобій та інших, під час оброблення яких тиском необхідні потужний імпульс енергії за малий проміжок часу та швидкість деформації 60 м/с і більше, зумовило використання енергії стисненого газу, або енергії вибуху.

1.2 Класифікація ковальсько-штампувальних машин

Класи характеризуються деформівною силою (від 30 кН до 750 МК), ефективною енергією (від 1 кДж до 5 МДж), швидкісним діапазоном дії на оброблюваний матеріал (від часток міліметрів за секунду до 100 м/с і більше).

Характер зміни швидкості робочої ланки (повзуна), виконавчого механізму в процесі деформації металу (робочого ходу) є першою науково обґрунтованою ознакою [3]. Згідно з цією ознакою сучасні ковальсько-пресові машини в ієрархічній класифікації поділяють на вісім класів у порядку зростання максимального значення швидкості робочої ланки.

Перший клас – стати. У гідравлічних і газових статах швидкість деформації матеріалу у вигляді порошку або гранул характеризується малою (квазістатичною) величиною за підвищення тиску і рівністю нулю за витримки під тиском.

Другий клас – гідравлічні преси. Належать до машин квазістатичної (приблизно статичної) дії на матеріал. Швидкість деформації становить (0,005–0,01) м/с для пресів із насосним приводом і до 0,3 м/с – для пресів із насосно-акумуляторним приводом. Для деформації використовують енергію тиску робочої рідини (мінеральної, синтетичної олії або водної емульсії), стислої до тиску $p = 10\text{--}32$ МПа, а в деяких конструкціях $p = 120\text{--}300$ МПа.

Третій клас – кривошипні преси. Належать до натискних машин, які деформують матеріали з початковою швидкістю деформації 0,1–0,35 м/с, що зменшується до нуля, підлягаючи кінематиці кривошипно-шатуного механізму.

Четвертий клас – гвинтові преси. Належать до машин ударної дії на матеріал із швидкістю 0,3–0,5 (до 1,5) м/с.

П'ятий клас – молоти. Належать до машин ударної дії на метал із швидкістю 5–7 м/с (до 20 м/с).

Шостий клас – імпульсні машини. Швидкість деформації матеріалу в імпульсних машинах характеризується короткочасністю досягнення максимального значення, залежить від форми імпульсу, генерованого джерелом: електромагнітним полем, електричним розрядом, вибуховою речовиною, стислою рідиною.

Сьомий клас – вібраційні машини. У вібраційних машинах механічні коливання (вібрації), що впливають на метал (матеріал) під час деформації, характеризуються амплітудою й частотою.

Восьмий клас – ротаційні машини. Належать до машин натискної дії на матеріал. Вони характеризуються ефективною енергією обертального руху аналогічно кривошипним пресам.

Ковальсько-пресові машини складаються з привода, передавального механізму і виконавчого або робочого органа. Складові ковальсько-пресові машини об'єднані станиною. Привід може бути пневматичним, пароповітряним, гідравлічним та електричним. Для накопичення енергії в періоди між робочими ходами машини застосовують спеціальні пристрої. Це пневматичні, гідравлічні чи механічні акумулятори.

За способом передавання енергії на заготовку ковальсько-пресові машини поділяють на машини ударної дії, натискні й комбінованої дії [21].

У машинах ударної дії заготовка деформується за рахунок раніше накопиченої енергії, а тому силовий зв'язок між приводом і заготовкою не є необхідним. До машин ударної дії

належать молоти. Молоти простої дії використовують енергію вільного падіння маси.

Для підвищення швидкості, тобто посилення удару в сучасних молотах частини, що падають примусово розганяються дією пари, стисненого повітря та іншими способами. Такі молоти називають молотами подвійної дії, їх швидкість становить 6–8 м/с.

У молотах з однобічним ударом рух здійснюють верхні робочі частини молота. Нижня частина (шабот) залишається в спокої.

У молотах із двобічним ударом верхня й нижня частини здійснюють зустрічний рух (безшаботні молоти).

До групи молотів належать також машини, в яких використовується кінетична енергія обертального руху, якщо зв'язку між приводом та робочими частинами в процесі деформування заготовки немає (гвинтова пара, електродвигун, механічний або гідравлічний пристрій).

Розрізняють електрогвинтові, фрикційні або гідрогвинтові молоти.

До обладнання ударної дії належать установки для штампування вибухом, електричним розрядом, магнітно-імпульсним впливом.

Натискні машини характеризуються наявністю силового зв'язку між приводом і заготовкою. Це машини зі зворотно-поступальним та обертальним рухом (гідравлічні й механічні преси, радіально-обтискні машини, роторні машини та ін.).

Гідравлічні преси деформують метал тиском робочої рідини, що створюється в робочих циліндрах. Механічні преси деформують заготовку тиском робочих частин, яким надає дії перетворення обертального руху електродвигуна на зворотно-поступальний. Найбільш широко використовують кривошипно-шатунні та важільні механізми.

До натискних машин належать радіально-обтискні, роторні (в радіально-обтискних та роторних машинах обертальний рух слугує для переміщення інструменту) та ротаційні машини,

наприклад, вальці з гладкими чи фігурними валками (в ротаційних машинах обертальний рух застосовують для здійснення робочого ходу).

У машинах комбінованої дії поєднуються удар і натискання. Такі машини називають прес-молотами.

У процесі деформування заготовки зв'язок між приводом і робочими частинами прес-молота не порушується, а тому використовуються сила тиску робочої рідини в гідравлічному циліндрі й накопичена кінетична енергія.

Загальним призначенням ковальсько-пресового обладнання є деформація металевих заготовок для надання їм необхідної геометричної форми. Існує класифікація цієї промислової техніки. Наявність різного ковальсько-пресового обладнання дозволяє промисловим підприємствам підбирати технічні засоби для вирішення конкретних виробничих завдань.

До основних класифікаційних ознак входять: температура заготовок, значення головного технологічного параметра, спосіб подання матеріалу до зони оброблення, тип операцій.

Температура заготовок. Розрізняються преси для холодного оброблення та кувальні машини. До перших відносять верстати для вирубного та об'ємного штампування листового металопрокату. Другі здійснюють динамічну деформацію об'ємних заготовок, розігрітих до пластичного стану. Існує окремий вид обладнання, яке застосовують для роботи як із холодним, так і з гарячим металом.

Головний технологічний параметр. Це зусилля, з яким виконавчий орган впливає на заготовку. Преси класифікують залежно від тиску. Кувальні молоти поділяють за ударною енергією. Ротаційні машини розрізняються за крутним моментом.

Спосіб подання металу до зони оброблення. Існують такі способи подання металевих заготовок до зони штампування або кування: ручне, механічне, напівавтоматичне, автоматичне.

Ручні преси та штампи застосовують рідше, оскільки випускаються компактні та недорогі механізовані преси для невеликих підприємств.

Тип технологічних операцій. Залежно від типу операцій, які проводять на ковальсько-пресовому устаткуванні, машини поділяють на заготівельні, основні та чистові. Перші надають заготовкам первинної геометрії, створюють загальні контури готової продукції. Основні ковальсько-пресові машини виготовляють потрібний виріб. Чистові преси та кувальні машини використовують для проведення операцій на завершальних етапах пресування або кування.

Додатковими критеріями для класифікації ковальсько-пресового обладнання є метод керування (ручне, напівавтоматичне, автоматичне) і вид енергії (електрика, гідравліка, пневматика).

Врахування допоміжних класифікаційних критеріїв під час вибору ковальсько-пресового обладнання дозволяє оптимізувати виробництво металопродукції. Йдеться про зниження експлуатаційних витрат. Наприклад, якщо виробничий процес передбачає великі енерговитрати, доцільно використовувати гідравлічні машини. А в разі випуску великих партій однотипних виробів найкраще застосовувати автоматичні штампувальні лінії.

1.3 Головні параметри і критерії порівняння ковальсько-штампувальних машин

Ковальсько-штампувальні машини характеризують розмірними, лінійними, швидкісними, енергетичними і масовими параметрами [3].

Головний розмірний параметр для машин квазістатичної дії – це номінальна сила F , створена робочою ланкою головного виконавчого механізму; для машин динамічної (ударної) дії – кінетична енергія T_e рухомих частин машини або їх маса m .

Лінійні параметри можуть визначати технологічне призначення ковальсько-пресових машин, бути пов'язаними з її монтажем. *Технологічні лінійні параметри* – розміри робочого простору, габарити й елементи кріплення інструменту, заготовки та готового виробу, хід робочого органа машини. *Установлювально-монтажні лінійні параметри* – габарити машини і місць її кріплення до основи, маса машини.

Швидкісним параметром для одноступових машин є швидкохідність, тобто кількість холостих ходів (циклів) робочої ланки (повзуна, ударної маси) за 1 хвилину.

Енергетичні параметри характеризують двигун або енергоносії. *Відносна маса* виражається коефіцієнтом маси: відношенням сили тяжіння mg конструкції машини до максимальної сили F , машиною, що розвивається.

Ефективність використання споживаної енергії виражається відношенням корисної роботи деформації поковки A_0 до енергії E , витраченої машиною впродовж одного машинного циклу.

Екологічність виражається декількома показниками, що характеризують вплив машини на оточуючий простір і оператора: рівнями шуму, вібрацій, електромагнітного випромінювання, температурою, вологістю і т. ін.

1.4 Стати

Гідравлічні та газові статі належать до машин квазістатичного впливу на матеріал, використовують енергію тиску рідини або газу. У гідравлічних і газових статах за малої швидкості деформування матеріалу підвищується тиск із подальшою витримкою під тиском за нульової швидкості.

Вони мають камеру, в яку завантажують оброблюваний матеріал (у вигляді порошку чи гранул) і подають рідину або нейтральний газ (азот, аргон) під високим тиском. Швидкість деформування становить соті й десяті частки міліметра за 1 секунду. Матеріал підлягає всебічному гідростатичному стиску

впродовж необхідного часу, а потім камера розвантажується за певним законом.

Енергія привода E_{Π} витрачається на пружну деформацію конструкції камери E_{κ} , стиснення рідини E_{ρ} і деформування матеріалу $E_{\text{м}}$:

$$E_{\Pi} = E_{\kappa} + E_{\rho} + E_{\text{м}} .$$

1.5 Гідравлічні ковальсько-пресові машини

Гідравлічні преси, гідростати, гідромолоти, гідрогвинтові преси, гідроімпульсні й гідровібраційні преси та інші, енергоносієм приводу яких служить робоча рідина.

Гідравлічні КПМ поділяють на машини статичної, квазістатичної, ударної, імпульсної та вібраційної (пульсуючої) дії.

Гідравлічний прес – це машина майже статичної дії [21]. Виконує роботу за рахунок енергії двигуна, який надає рух насосу, що пов'язаний із робочим циліндром преса системою трубопроводів.

Згідно із законом Паскаля тиск у стисненій рідині передається на всі боки рівномірно й діє нормально до поверхні. На принциповій схемі (рис. 1.1) два циліндри різних діаметрів з'єднані трубопроводом. Циліндр малого діаметра – насос, великого – циліндр преса. Якщо на поршень циліндра малого діаметра з площею S_1 впливати зусиллям P_1 , то в рідині виникає тиск $p = P_1/S_1$ і по трубопроводу передається в циліндр великого діаметра. На поршень площею S_2 буде діяти сила $P_2 = pS_2 = P_1S_2/S_1$.

Отже, сила на поршні більшого діаметра в стільки разів більша від сили, що діє на поршень меншого діаметра, в скільки разів площа робочого поршня більша за площу поршня насоса. Ця сила за допомогою штампового інструменту передається на заготовку й деформує її.

Вважається, що за тисків, які використовують у приводі гідравлічних пресів, рідина практично не стискається (її об'єм

зменшується лише на 1–1,5 %). Тому можна вважати, що об'єм V рідини, витіснений ходом h_1 малого поршня, $V = h_1 S_1$

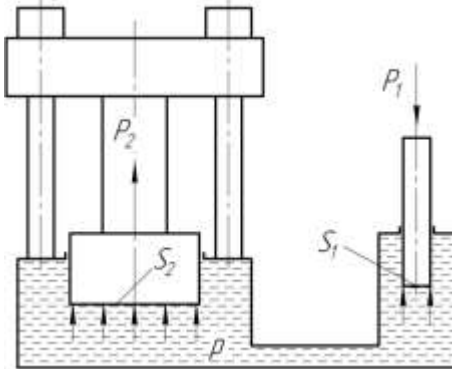


Рисунок 1.1 – Принципова схема гідравлічного преса

дорівнює об'єму рідини в циліндрі великого діаметра в разі зміщення його поршня на величину h_2 , $V = h_2 S_2$. Звідси $h_2 = h_1 S_2 / S_1$.

Таким чином, хід гідравлічного преса в стільки разів менший від ходу поршня насоса, в скільки разів його сила більша від сили, що діє на поршень насоса. У скільки

разів є вигреш у силі, в стільки ж разів – програш у переміщенні. Водночас кількість енергії, підведена до малого поршня, дорівнює роботі, здійснюваній великим поршнем.

Це без урахування гідравлічних та механічних втрат. Втрати зменшують фактичний вигреш у силі, а частина енергії, що підводиться до насоса, втрачається.

Сила, що створюється гідравлічним пресом, теоретично може бути як завгодно великою за рахунок збільшення площі робочого плунжера і підвищення тиску в гідросистемі. Проте створення пресів дуже великих зусиль обмежується міцністю його конструкції. Допустимі напруження під час розрахунку базових деталей беруть до 45–60 МН/м², тобто запас міцності становить 6–8. Для пресів зусиллям понад 150 000 кН роблять виняток і допустимі напруження підвищують до 80 МН/м². За таких допустимих напружень розміри деталей пресів виходять за межі технічних можливостей пресобудівних заводів.

Для збільшення ходу преса не потрібно збільшувати хід насоса. Достатньо встановити клапан, який пропускатиме рідину лише від насоса до робочого циліндра, тоді за рахунок великої

кількості ходів плунжера насоса можна забезпечити хід преса будь-якої величини.

Швидкість руху поршня преса визначається кількістю рідини, що надходить до робочого циліндра за одиницю часу. Змінюючи кількість насосів, їх продуктивність, використовуючи акумулятор, можна регулювати швидкість преса в широких межах. Так само можна регулювати силу преса. Регулювання може бути плавним, ступінчастим, може забезпечити тривалу витримку під тиском.

Гідравлічні преси переважно працюють за малих швидкостей. Тому, за винятком молотів, гідравлічні машини вважають машинами статичної дії.

Сила, створювана робочим циліндром, замикається через заготовку в станині і не передається на фундамент. Фундамент сприймає лише власну масу преса і не передає вібрації в оточуюче середовище.

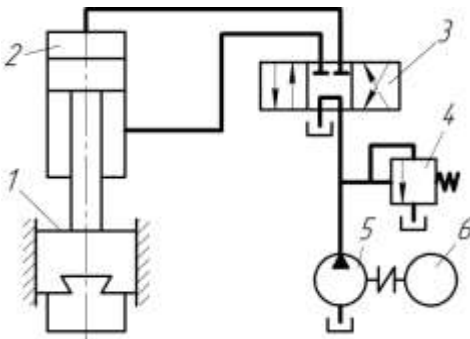


Рисунок 1.2 – Схема насосного гідропривода: 1 – повзун; 2 – робочий циліндр; 3 – розподільник; 4 – запобіжний клапан; 5 – насос; 6 – електродвигун

Цикл роботи гідропреса складається з наближення рухомої поперечини до заготовки (холостий хід), руху рухомої поперечини під час деформації заготовки (робочий хід), повернення рухомої поперечини до вихідного положення.

Робочий хід преса здійснюється за тиску рідини 20–45 МПа, холостий хід – за тиску рідини 400–1 200 кПа.

Приводи високого тиску: безакумуляторний насосний, насосно-акумуляторний, мультиплікаторний.

Низький тиск рідини забезпечується так званою системою наповнення. Зазвичай це один або кілька закритих баків, у яких рідина перебуває під тиском 400–800 кПа.

Насосний безакумуляторний привід (рис. 1.2) зазвичай обслуговує один прес. За насосного безакумуляторного привода рідина подається в робочі циліндри безпосередньо насосом. У безакумуляторному приводі тиск робочої рідини досягає 20 МПа.

Насосно-акумуляторний привід (рис. 1.3) відрізняється тим, що між насосом і пресом установлюють акумулятор – систему балонів, у якій накопичується (акумуляється) рідина високого тиску. Він обслуговує одночасно кілька пресів.

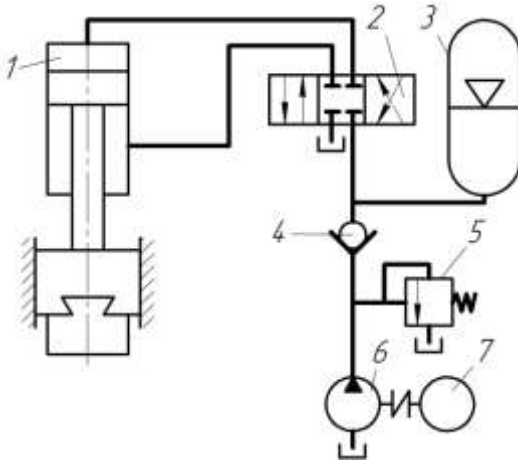


Рисунок 1.3 – Насосно-акумуляторний гідропривод: 1 – робочий циліндр; 2 – розподільник; 3 – акумулятор; 4 – зворотний клапан; 5 – запобіжний клапан; 6 – насос; 7 – електродвигун

систему балонів, у якій накопичується (акумуляється) рідина високого тиску. Він обслуговує одночасно кілька пресів. Акумулятор збільшує продуктивність насосів і потужність двигунів, забезпечуючи високу швидкість руху поперечини і необхідну силу преса. Тиск 20–32 МПа.

Мультиплікатор застосовують за безакумуляторного або акумуляторного привода для додаткового підвищення тиску рідини перед поданням у робочі циліндри. Із застосуванням мультиплікатора тиск підвищується до 63 МПа.

У мультиплікаторному приводі енергія стисненого повітря, або механічна енергія, електродвигуна перетворюється на енергію тиску рідини за допомогою пристрою збільшення тиску рідини (мультиплікатора). Для привода первинної ланки

мультиплікатора застосовують електромеханічні пристрої: рейкові, гвинтові, кривошипні. За допомогою рейкового, гвинтового або кривошипного механізмів обертальний рух електродвигуна перетворюється на поступальне переміщення плунжера мультиплікатора.

Як робочу рідину в гідропресах використовують водні емульсії та олії. Емульсію використовують в установках, де для привода преса застосовують кривошипні плунжерні насоси. У радіально-плунжерних насосах застосовують олію. Олія більш в'язка рідина, ніж емульсія. Тому використання тієї чи іншої робочої рідини впливає на конструкцію елементів машини (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Особливості конструкції елементів преса залежно від використаної робочої рідини

Елемент пресової установки	Емульсія	Мінеральна олія
Насоси	Тихохідні, збільшених розмірів	Швидкохідні, малогабаритні
Акумулятори	Без роздільних елементів або з роздільними елементами	Лише з роздільними елементами між олією та газом
Розподільники рідини високого тиску	Клапанні	Золотникові, зрідка клапанні
Ущільнення гідроапаратури	М'які ущільнення	Притирання поверхонь, поршневі кільця
Циліндри	Плунжерні	Поршневі, для великих діаметрів плунжерні
Ущільнення плунжерів діаметром до 60–70 мм за високого тиску	Набивальний або манжетний	Малий діаметральний зазор між плунжером і втулкою

Гідравлічні преси поділяють за конструктивними особливостями і технологічним призначенням.

Конструктивні ознаки – це розміщення циліндрів і тип станини. Преси з вертикальним розміщенням робочих циліндрів називають вертикальними, а з горизонтальним – горизонталь-

ними. Циліндри можуть розміщуватися у верхній або нижній частині преса.

Станина належить до основних вузлів гідравлічних пресів, це основний силовий елемент преса. Вони мають рамну конструкцію. Вертикальні елементи рам, якими переміщується рухома поперечина, виготовляють у вигляді стояків або колон. Одностоякові станини застосовують у пресах невеликого зусилля. Така конструкція забезпечує вільний доступ до робочого простору преса. Двостоякова станина має краще спрямування рухомих елементів, підвищену жорсткість, але гірший доступ до робочої зони.

Колонні преси мають різну кількість колон – від 2 та більше. Найпоширеніші чотириколонні преси. За своїми конструктивними особливостями станини гідравлічних пресів дуже різноманітні. Однак найбільш великого поширення набули колонні та двостоякові конструкції. Станини більшості пресів складаються з поперечин та колон.

Верхню, нижню та рухома поперечини виготовляють зі сталі литими або звареними. Верхня поперечина (рис. 1.4) зазвичай являє собою литу коробчасту конструкцію, що складається з двох плит, з'єднаних між собою системою ребер, утворюють гнізда для розміщення робочих циліндрів. Ребра надають верхній поперечині потрібну жорсткість у поєднанні з легкістю та міцністю.

Аналогічні конструкції мають також нижні й рухомі поперечини. Нижня поверхня рухомої поперечини і верхня поверхня нижньої поперечини мають пази для кріплення інструменту.

Колони пов'язують нижню та верхню поперечини преса, а також є напрямними для рухомої поперечини. Поверхня колон, якою ковзає рухома поперечина, ретельно шліфують. Колони у верхній та нижній поперечинах закріплюють гайками. Їх виготовляють кованими зі сталей 35 або 45. Допустиме напруження в колонах не перевищує 50 МПа.

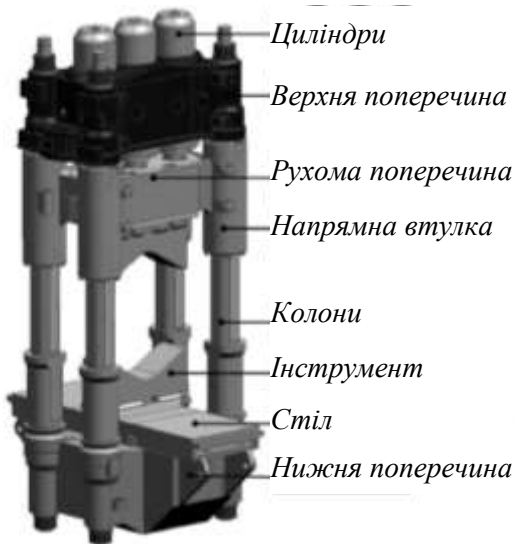


Рисунок 1.4 – Гідравлічні преси

Циліндри – найбільш навантажені елементи преса. Вони мають циліндричну оболонку з днищами плоскої або куполоподібної форми. У нижній частині внутрішньої поверхні циліндра встановлюють ущільнення, притискне кільце і напрямну втулку. На зовнішній поверхні циліндра є посадкові пояски для встановлення його в поперечині.

Циліндр сприймає тиск робочої рідини і внаслідок високих навантажень частіше за інші деталі преса виходить з ладу. Від розмірів циліндра залежать розміри всього преса. Розрахунок розмірів циліндра виконують таким чином.

Внутрішній радіус циліндра дорівнює

$$r = \sqrt{\frac{Q}{m\pi p}}, \quad (1.1)$$

де m – кількість циліндрів;
 Q – сила преса;
 p – тиск у циліндрі.

Для визначення зовнішнього радіуса розітнемо циліндр діаметральною площиною (рис. 1.5). За умови врівноваження всіх сил, проєкція їх на вісь y дорівнює нулю:

$$-N + \int_0^{\pi/2} plr \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha = 0.$$

Звідси

$$N = \int_0^{\pi/2} plr \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha = prl,$$

де l – довжина циліндра.

Площа перерізу стінки циліндра $F = (R - r)l$.

Тоді допустиме напруження в тілі циліндра

$$\sigma_{\text{доп}} = \frac{N}{F} = \frac{pr}{R-r}.$$

Звідси зовнішній радіус циліндра

$$R = r \left(1 + \frac{p}{\sigma_{\text{доп}}} \right).$$

Установимо запас міцності 20 %. Тоді

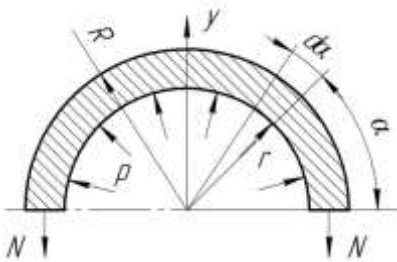


Рисунок 1.5 – Схема для визначення радіусів циліндра

$$R = r \left(1 + \frac{p}{\sigma_{\text{доп}}} \right) \cdot k, \quad (1.2)$$

де $k = 1,2$ – коефіцієнт запасу міцності.

Для циліндра зі сталі 35 $\sigma_{\text{доп}} = 80\text{--}100$ МПа, оптимальний тиск $p = 25$ МПа [3; 21]. Для циліндрів із кованої вуглецевої сталі $\sigma_{\text{доп}} = 110\text{--}150$ МПа, оптимальний тиск

$p = 32$ МПа. А для циліндрів із легованої сталі $\sigma_{\text{доп}} = 160\text{--}$

180 МПа і $p = 45$ МПа. Взагалі в першому наближенні можна вважати, що $p = 0,3 \sigma_{\text{доп}}$.

Приклад. Визначити внутрішні й зовнішні радіуси двох циліндрів, виготовлених із сталі 35 ($\sigma_{\text{доп}} = 80$ МПа), із кованої вуглецевої сталі ($\sigma_{\text{доп}} = 120$ МПа), із легованої сталі ($\sigma_{\text{доп}} = 180$ МПа) на тиск $p = 32$ МПа для пресів зусиллям Q 130 кН, 500 кН, 2 МН. Розв’язок показаний на рисунку 1.6.

Як бачимо, результати розрахунків збігаються з установленими практикою (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Радіуси гідроциліндрів на номінальний тиск 32 МПа [3]

$2R$, мм	85	100	120	150	180	230	280	320	360	460
$2r$, мм	50	60	80	100	125	160	200	220	250	320

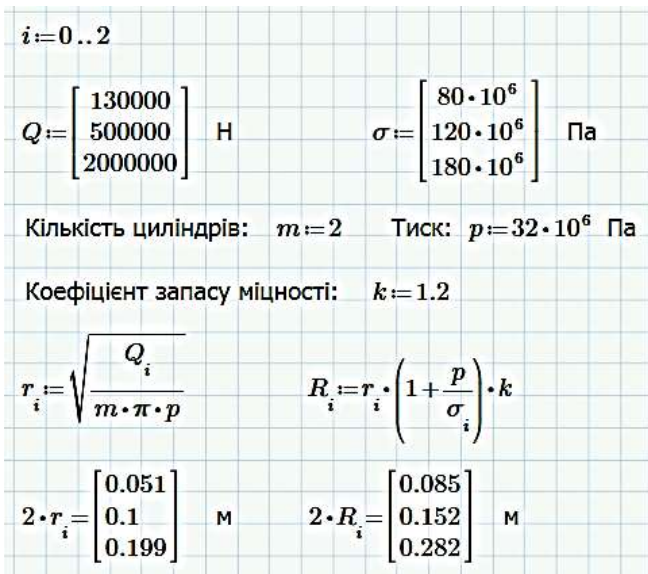


Рисунок 1.6 – Визначення радіусів циліндрів у Mathcad

Плунжер переміщується всередині циліндра по напрямній бронзовій втулці. Зазвичай плунжер стискається, але в разі ексцентричного навантаження він сприймає також вигин. Цією обставиною й визначається конструкція плунжера, в якій

найскладнішою частиною є його поєднання з рухомою поперечиною.

Поверхню плунжера шліфують. Для виготовлення плунжерів використовують леговану сталь або чавун.

Ущільнення в рухомих і нерухомих з'єднаннях запобігають витоку робочої рідини. Це найбільш схильні до зношення вузли преса. Вихід із ладу ущільнень спричиняє зупинення преса, збільшує витрати на його експлуатацію. На довговічність ущільнень впливають температура та ступінь забрудненості робочої рідини, стан поверхні плунжера, якість мастила тощо.

Досвід показує [21], що кращими для ущільнення рухомих частин є так звані шевронні багаторядні ущільнення, які виготовляють із прогумованої тканини. За правильних умов експлуатації ці ущільнення можуть працювати до трьох років. Використовують і шкіряні манжети.

У циліндрах гідравлічних пресів застосовують також металічні ущільнення у вигляді поршневих кілець. Останнім часом у гідропресах із високим тиском (до 150 МПа) набувають поширення ущільнення з нейлону, капрону, тефлону та інших поліамідів. Ущільнення нерухомих з'єднань виготовляють із відпаленої міді, фібри, пароніту.

За технологічною ознакою гідравлічні преси поділяють на кувальні, штампувальні, видавлювальні, згинальні, прошивальні, протяжні, пакетувальні та ін.

Технологічне призначення визначає й особливості конструкції. Так, для штампувальних пресів основним є точне спрямування поперечини, для кувальних необхідно насамперед забезпечити хорошу маневреність у робочому просторі.

1.7 Кривошипні машини

Кривошипною машиною називають ковальсько-пресову машину, в якій за вхідну ланку виконавчого механізму, що перетворює обертовий рух привода на зворотно-поступальний

робочого органа (повзуна), використовують кривошипний, колінчастий або ексцентрикний вали.

Кривошипні машини розрізняють за призначенням, особливостями конструкції, силовими характеристиками.

За призначеннями кривошипні машини поділяють на гарячештампувальні преси, листоштампувальні преси, калібрувальні преси, горизонтально-кувальні машини, ковальсько-штампувальні автомати, ножиці [21].

На гарячештампувальних кривошипних пресах штампують гарячі поковки у відкритих та закритих штампах. Листоштампувальні преси призначені для оброблення листового матеріалу: згинання, витягування, вирубування.

Калібрувальні преси використовують для нанесення на поверхню заготовки неглибокого рельєфу. На них виготовляють монети та медалі, вибивають візерунки та написи, калібрують поковки.

На горизонтально-кувальних машинах із прутків виготовляють різні вироби через осадження, прошивання, згинання та відрізування.

На ковальсько-штампувальних автоматах за кілька переходів виготовляють дрібні деталі.

На ножицях ріжуть як листовий, так і сортовий метал. Існують ножиці лише для листа, лише для сортового металу, а також комбіновані, використовувані для розрізання як листового, так і сортового металу.

За типом головного привода кривошипні машини поділяють на чисто кривошипні (рис. 1.7 а), ексцентрикні

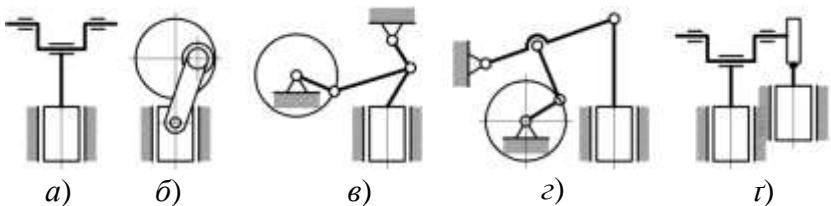


Рисунок 1.7 – Типи головного руху

(рис. 1.7 б), кривошипно-колінні (з передаванням через систему ламкого важеля) (рис. 1.7 в), кривошипно-важільні (з передаванням через жорстку важільну систему) (рис. 1.7 г), важільно-кулачкові (разом із важільно-кулачковим механізмом для допоміжних операцій) (рис. 1.7 г).

За напрямком руху повзуна кривошипні машини поділяють на вертикальні, горизонтальні та нахилені. У пресів, що нахилиються, спеціальний пристрій дозволяє відхилити станину на 30–40° від вертикалі.

За конструкцією станин преси бувають одностоякові та двостоякові. В одностоякових пресах кривошипно-шатунний механізм розміщений із боку станини. У двостоякових пресах кривошипно-шатунний механізм розміщений між стояками станини. Вісь робочого вала в одному й іншому перпендикулярна або паралельна передній площині преса.

Для зручності експлуатації бажано, щоб конструкція станини забезпечувала вільний доступ до пресового столу. Тому одностоякові преси мають станини С-подібної форми. Це преси відкритого типу. Проте преси з такою станиною мають і серйозні недоліки, тому що під навантаженням С-подібна станина деформується. Це негативно впливає на точність оброблення та знижує стійкість інструменту.

Щоб зменшити деформацію станини, її посилюють спеціальними рамами. Такі преси називають пресами закритого типу, оскільки доступ до робочого простору з боків обмежений.

За кількістю кривошипів, що надають рух повзуну, преси поділяють на одно-, дво- і чотирикривошипні. Підвіска повзуна в кількох точках значно покращує умови роботи напрямних. Під час штампування деталей великих габаритних розмірів, особливо несиметричних деталей, центр тиску важко поєднати з віссю преса. Це призводить до перекошування повзуна та швидкого зношування напрямних.

Якщо підвісити повзун на чотирьох шатунах, розміщених на вершинах прямокутника, то центр тиску за такої схеми

знаходиться всередині цього прямокутника, і повзун не перекошується.

Є преси з верхнім і нижнім приводами. Конструкція з нижнім приводом зменшує коливання преса під час вібрацій, дозволяє підвищити його швидкохідність (до 700 ходів за 1 хвилину). Привід закритий спеціальним кожухом, що підвищує безпеку експлуатації преса.

На типовій схемі кривошипного преса (рис. 1.8) рух передається від електродвигуна 2. Шків 3, з'єднаний із валом електродвигуна, через клинопасову передачу обертає маховик 4. Маховик 4 закріплений на валу 1 не жорстко, а за допомогою фрикційного запобіжного пристрою, який може передавати з

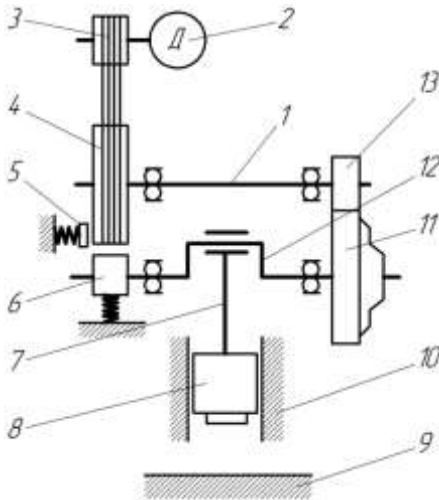


Рисунок 1.8 – Схема кривошипно-шатунного преса

маховика на вал крутний момент, що не перевищує заданої конструктором величини. У разі виникнення більшого моменту (це може статися в разі порушення технологічного процесу або з інших причин) запобіжний пристрій починає прослизати і тим самим захищає вал 1 і наступні за ним елементи кінематичного ланцюга від навантаження. Для зупинення маховика слугує

гальмо 5, яке автоматично включається як тільки буде вимкнений електродвигун 2.

На іншому кінці вала 1 закріплена шестерня 13, що знаходиться в зачепленні із зубчастим колесом 11. Усередині цього колеса змонтована муфта ввімкнення. Шатун 7 передає рух колінчастого вала 12 повзуну 8. На іншому кінці колінчастого вала 12 установлене гальмо 6, призначене для

швидкого зупинення кривошипно-шатунного механізму преса після вимкнення муфти. Штампу установлюють на столі преса 9.

Величина ходу – це відстань, пройдена повзуном в одному напрямку.

Закритою висотою преса називають відстань від підштампової плити до повзуна в нижньому його положенні за найбільшої величини ходу.

Відкрита висота преса – це відстань від підштампової плити до повзуна у верхньому положенні.

Кінематика кривошипно-шатунного механізму (рис. 1.9) поєднує переміщення провідної ланки з переміщенням, швидкістю та прискоренням робочої ланки. Привідна ланка – кривошип, що обертається з постійною кутовою швидкістю [11].

Деформування заготовок здійснюється переважно в разі

знаходження повзуна поблизу нижнього положення, що відповідає обертанню кривошипа в одному квадранті. Тому для полегшення розрахунків за початок відліку переміщень і кутів

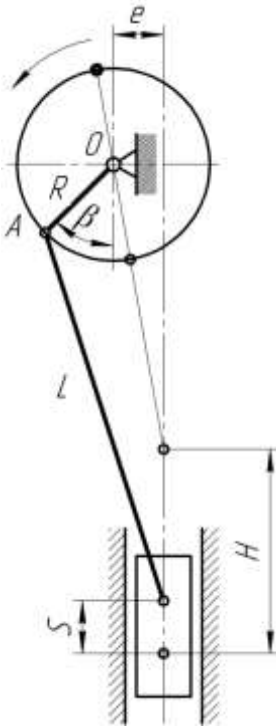


Рисунок 1.9 –
Схема кривошипно-шатунного механізму

повороту беруть положення, що відповідає крайньому нижньому положенню повзуна, проводячи відлік у бік, протилежний фактичному переміщенню елементів. У цьому разі кути в тригонометричних функціях від 0° до 90° . Умови існування механізму визначають нерівністю

$$R < L - e.$$

Механізми бувають аксіальні (або центральні) та дезаксіальні (нецентральні). Якщо вісь обертання кривошипа O збігається з траєкторією руху повзуна, тобто $e = 0$, то такий механізм називають аксіальним, якщо ж $e \neq 0$, то механізм дезаксіальний.

Переваги аксіального механізму полягають у симетричному навантаженні станини, технологічності. Дезаксіальний механізм зменшує сили, які діють на напрямні, що стабілізує рух повзуна.

Таблиця 1.3 – Рекомендовані значення μ

Тип кривошипної машини	Коефіцієнт μ
Листоштампувальні з регульованим ходом	0,065–0,085
Листоштампувальні з нормальним ходом	0,085–0,125
Листоштампувальні зі збільшеним ходом	0,145–0,175
Витяжні подвійної дії	0,19–0,27
З плунжерною підвіскою шатуна універсальні простої дії	0,3–0,35
З плунжерною підвіскою шатуна витяжні подвійної дії	0,4–0,49
Листоштампувальні автомати	0,06–0,25
Гарячештампувальні преси	0,14–0,175
Горизонтально-кувальні машини	0,27–0,33
Обрізувальні	0,1–0,12
А Автомати об'ємного штампування	0,12–0,2

Зв'язок між переміщенням повзуна S і кутом повороту кривошипа β дезаксіального механізму визначають за наближеним виразом:

$$S = R \left[1 - \cos \beta + \frac{\mu}{4} (1 - \cos 2\beta) + k\mu \sin \beta + \frac{1}{2} \cdot \frac{k^2 \mu^2}{1+\mu} \right]. \quad (1.3)$$

Залежно від типу кривошипної машини призначають $\mu = R / L = (0,06 - 0,49)$, табл. 1.3, та $k = e / R = (1-1,3)$.

Якщо точка O знаходиться нижче або зліва від осі повзуна,

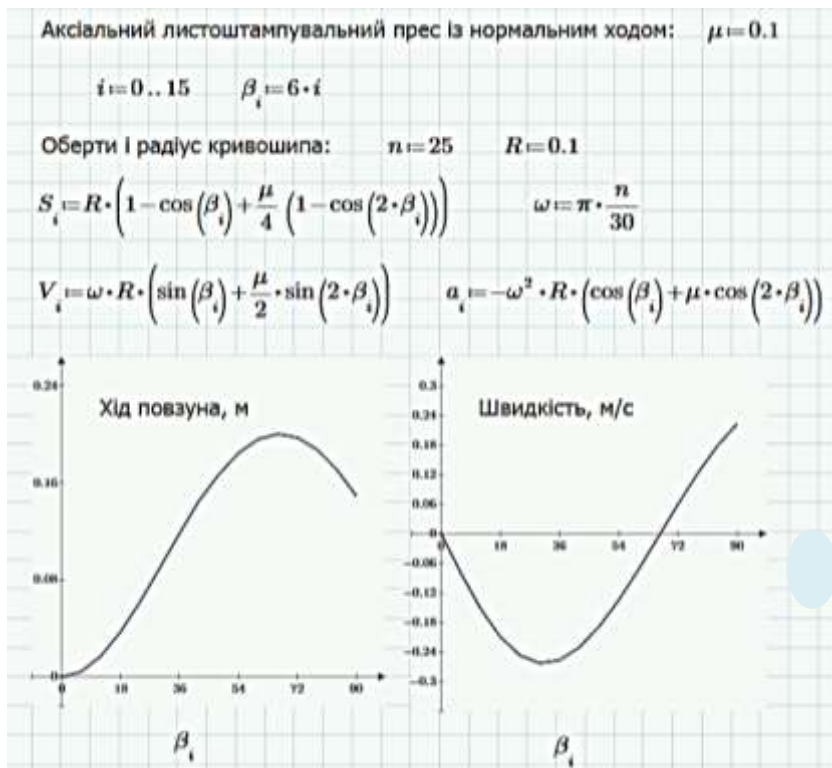


Рисунок 1.10 – Визначення кінематичних характеристик кривошипного преса

e і k – позитивні, а якщо вище або праворуч – негативні.

Для аксіального механізму (за $k = 0$) вираз (1.3) спрощується:

$$S = R \left[1 - \cos \beta + \frac{\mu}{4} (1 - \cos 2\beta) \right]. \quad (1.4)$$

Для дезаксіального механізму повний хід дорівнює

$$H = \sqrt{(R + L)^2 - e^2} - \sqrt{(R - L)^2 - e^2}.$$

Для аксіального механізму, якщо $e = 0$, $H = 2R$.

Розрахункова формула швидкості повзуна дезаксіального механізму:

$$V = \omega R \left(\sin \beta + \frac{\mu}{2} \sin 2\beta + k\mu \cos \beta \right), \quad (1.5)$$

де $\omega = \frac{\pi n_{\text{п}}}{30}$ – кутова швидкість обертання кривошипа, с^{-1} ; ($n_{\text{п}}$ – кількість ходів повзуна, обертів кривошипа, хв^{-1}).

Для аксіального механізму

$$V = \omega R \left(\sin \beta + \frac{\mu}{2} \sin 2\beta \right). \quad (1.6)$$

Наближена формула для визначення прискорень повзуна дезаксіального механізму:

$$a = -\omega^2 R (\cos \beta + \mu \cos 2\beta - k\mu \sin \beta). \quad (1.7)$$

Для аксіального механізму

$$a = -\omega^2 R (\cos \beta + \mu \cos 2\beta). \quad (1.8)$$

Приклад. Визначити залежності переміщення повзуна, його швидкості та прискорення від кута повороту кривошипа аксіального листоштампувального преса. Радіус кривошипа – 0,1 м, кількість ходів повзуна – 25 хв^{-1} .

Розв'язання наведене на рисунку 1.10.

1.8 Гвинтові преси

Гвинтові преси за допомогою гвинтового негальмівного механізму використовують кінетичну енергію обертального та поступального рухів робочих мас для пластичного деформування поковки [3].

Гвинтові преси застосовують для холодного та гарячого об'ємного штампування деталей підвищеної точності в серійному виробництві.

Принцип дії гвинтових пресів полягає в розгоні робочих частин відповідної маси m і моменту інерції J енергією привода до певної лінійної V і кутової ω швидкостей для накопичення кінетичної енергії обертального T_o і поступального T_n рухів. Під час робочого ходу цю енергію використовують для виконання роботи A деформування поковок:

$$T_o + T_n = \frac{J\omega^2}{2} + \frac{mV^2}{2} = T \rightarrow A = \int_0^{e_d} F_d(e)de, \quad (1.9)$$

де F_d – сила деформування;

e – деформація.

Зазвичай кінетична енергія обертального руху $T_o = (0,8–0,9)$ від повної енергії, лінійна швидкість робочих частин $V = 0,5–1$ м/с (до 1,5 м/с), час деформування $t = 0,1–0,2$ с.

Для гвинтового механізму співвідношення кутової та лінійної швидкостей

$$\omega = \frac{2V}{d_c \operatorname{tg} \alpha} = \frac{2\pi V}{h},$$

де d_c – середній діаметр різі гвинта;

α – кут підйому різі, $\alpha = 12–14^\circ$;

h – хід гвинта.

Тому ефективну кінетичну енергію робочих частин преса можна визначити як

$$T_e = [m(h/2\pi)^2 + J_1] \cdot \frac{\omega^2}{2} = \frac{J\omega^2}{2},$$

або

$$T_e = [m + J_1(2\pi/h)^2] \cdot \frac{MV^2}{2}.$$

де J – зведений момент інерції робочих частин;

m, J_1 – відповідно маса частин із поступальним рухом та осьовий момент інерції робочих частин з обертальним рухом;

h – хід гвинта;

M – зведена маса робочих частин.

Гвинтові преси застосовують у машинобудівній промисловості для гарячого та холодного об'ємних штампувань. Це пояснюється низкою переваг гвинтового не гальмівного механізму: сприятливий для гарячого штампування діапазон швидкостей деформування, відсутність впливу пружної деформації на точність поковки, відсутність небезпеки заклинювання робочого механізму.

Залежно від типу привода гвинтові преси поділяють на *фрикційні, муфтові, електрогвинтові й гідрогвинтові*. Головні параметри гвинтових пресів – це номінальна й максимальна допустимі сили, ефективна енергія, хід повзуна, розміри штампового простору, швидкохідність.

Гвинтові преси належать до машин ударного впливу на поковку, тому значення сили, що розвивається пресом під час штампування, залежить від балансу витрати кінетичної енергії робочих частин під час деформування поковки. Кінетична енергія T_e робочих частин під час робочого ходу витрачається на корисну роботу пластичного деформування поковки A , пружну деформацію деталей преса, штампів та поковки.

Під час робочого ходу за рахунок запасу кінетичної енергії відбуваються зіткнення робочих частин преса з поковкою і перехід кінетичної енергії в роботу пластичного деформування поковки, пружного деформування деталей преса та штампів і подолання тертя. У гвинтових пресах поєднуються ударне навантаження поковки, (як у молотів, але з меншою на порядок швидкістю) і силовий тиск (як у пресів) унаслідок реакції в різі гвинтового механізму. Це дало підставу називати гвинтові преси гвинтовими молотами і прес-молотами.

Динамічне навантаження гвинтового негальмівного механізму супроводжується одночасними лінійними й кутовими деформаціями гвинта і станини. Це створює труднощі повного аналітичного опису процесів, що відбуваються в механічній системі гвинтового преса під час робочого ходу.

Проте можна розрахувати основні параметри. До основних параметрів гвинтових робочих механізмів належать середній діаметр d_c та кут підйому різі α . Важливими параметрами також є зовнішній і внутрішній діаметри, крок та число заходів різі. У гвинтових пресах різних конструкцій зазвичай застосовують суцільні або порожнисті (що мають наскрізний центральний отвір невеликого діаметра) гвинти.

У гвинтах із гвинтовим рухом (за закріпленої в станині гайці) під час робочого ходу створюється напруження стиснення від сили F на ділянці від повзуна до гайки незалежно від кута підйому різі α :

$$\sigma = 4F/(\pi d_c^2) \leq [\sigma], \quad (1.10)$$

і напруження кручення τ від дії моменту M на ділянці від гайки до маховика тим більші, чим більший кут α :

$$\tau = \frac{M}{0,2d_c^3} = \frac{Fd_c/2(\operatorname{tg}\alpha - \rho)}{0,2d_c^3} = \frac{F(\operatorname{tg}\alpha - \rho)}{0,4d_c^2} \leq [\tau],$$

де $[\sigma]$, $[\tau]$ – допустимі напруження під час стискання та кручення для матеріалу гвинта;

$$\tau = \frac{M}{0,2d_c^3} = \frac{Fd_c/2(\operatorname{tg}\alpha - \rho)}{0,2d_c^3} = \frac{F(\operatorname{tg}\alpha - \rho)}{0,4d_c^2} \leq [\tau],$$

де α , ρ – відповідно кут підйому різі і кут тертя в різі, $\rho = \operatorname{arctg}(\mu)$ (μ – коефіцієнт тертя);

d_c – середній діаметр гвинта.

Зазвичай $(\alpha - \rho) \leq 16^\circ 10'$, тоді з формули (1.10) маємо

$$d_c = \sqrt{\frac{4F}{\pi[\sigma]}} = 1,128 \sqrt{\frac{F}{[\sigma]}}.$$

Для сталі 40Х за $[\sigma] = 127$ МПа

$$d_c = 10^{-4} \sqrt{F}, \text{ м.}$$

Для гвинтів з обертальним рухом (під час лінійного руху гайки, закріпленої в повзуні) середній діаметр гвинта визначають із виразу

$$d_c = \left(\frac{F(1,62 + 18,75 \operatorname{tg}^2(\alpha - \rho))}{[\sigma]} \right)^{0,5}.$$

Для $(\alpha - \rho) = 12^\circ 30' - 3^\circ = 9^\circ 30'$. Тоді

$$d_c = 1,465 \sqrt{\frac{F}{[\sigma]}}.$$

Якщо для сталі 40Х $[\sigma] = 127$ МПа, то для гвинтів з обертальним рухом

$$d_c = 1,3 \cdot 10^{-4} \sqrt{F}, \text{ м,}$$

що на 30 % більше, ніж для гвинта з гвинтовим рухом.

Ходом гвинта h називають переміщення, яке він отримає під час повороту в гайці на один оберт. У гвинтових пресах використовують різні профілі різі. Застосовують одно- і багато-західну різі із числом заходів $i = 3-6$.

Хід гвинта з багатозахідною різзю

$$h = \pi d_c \operatorname{tg} \alpha = it,$$

де t – крок різі.

Швидкість гвинта визначають за формулою

$$V = \frac{h}{2\pi} \omega = \omega \frac{d_c}{2} \operatorname{tg} \alpha.$$

Коефіцієнт корисної дії гвинтового механізму з прямокутним профілем різі під час руху гвинта в напрямку дії сили або крутного моменту під час розгону та холостого руху повзуна вниз і вгору $\eta = \operatorname{tg}(\alpha - \rho) / \operatorname{tg} \alpha$.

Застосування в пресах гвинтових механізмів із кутом підйому різі $12^\circ \leq \alpha \leq 16^\circ$ за $\mu = 0,05$ забезпечує коефіцієнт корисної дії гвинтового механізму $\eta = 0,76-0,81$. Найбільш поширені гвинти з кутом підйому різі $\alpha = 12^\circ-12^\circ 30'$.

1.8.1 Фрикційні гвинтові преси (рис. 1.11) використовують крутний момент тертя, що виникає на ободі маховика під час контакту з ним приводного диска.



Рисунок 1.11– Фрикційний гвинтовий прес

У конструкціях фрикційних пресів (рис. 1.12) для руху вниз і вгору гвинта 3 з маховиком 4 (рис. 1.12 а) чи повзуна преса 1 використовують крутний момент тертя M , що виникає на ободі маховика 4 під час натискання на нього приводним диском 6 або 7. Напрямок руху повзуна змінюється зміненням дисків. Робота приводного диска під час руху повзуна вниз (у напрямку до поковки) перетворюється на кінетичну енергію робочих частин і на роботу деформування поковки.

Щоб уникнути надмірного зношування фрикційних матеріалів за різкого гальмування робочих частин під час деформування поковки, елементи передавального механізму фрикційного преса повинні бути відведені від маховика. Деформування поковки здійснюється кінетичною енергією робочих частин, накопиченої на момент відведення дисків.

Найбільшого поширення в промисловості набули фрикційні дводискові гвинтові преси з лобовим фрикційним передавальним механізмом. Привод маховика 4 здійснюється електродвигуном 9 через ремінну передачу 8 і диски 6 та 7. За допомогою натискного механізму 5 відбувається попереми́не натискання лівим або правим диском на обід маховика 4, обладнаного фрикційними накладками. Гвинт 3, прикріплений до маховика, здійснює щодо гайки 2 гвинтовий (рис. 1.12 а) або обертальний (рис. 1.12 б) рух.

Під час ходу повзуна вниз колові швидкості точок контакту маховика та диска відрізняються. А на початку руху повзуна вгору маховик прослизає відносно диска. Тобто в ці моменти часу підвищується зношення фрикційних накладок.

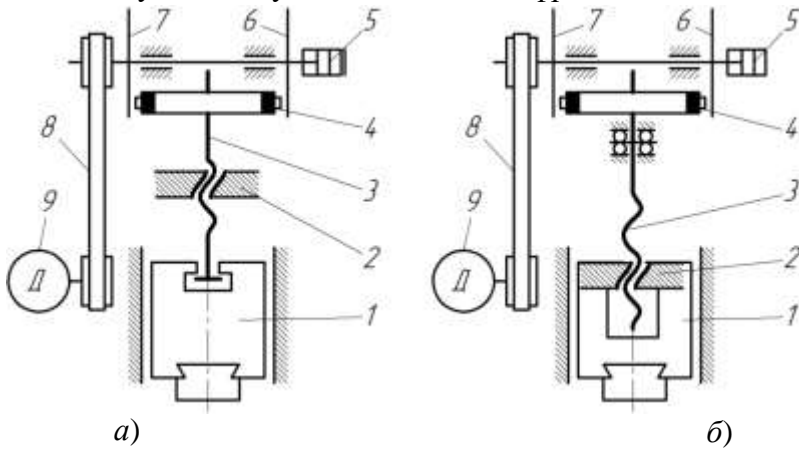


Рисунок 1.12 – Принципові схеми гвинтових фрикційних пресів:
 1 – повзун; 2 – гайка; 3 – гвинт; 4 – маховик; 5 – натискний механізм;
 6 – правий диск; 7 – лівий диск; 8 – пасова передача;
 9 – електродвигун

Для зменшення зношення механізму під час руху повзуна вгору застосовують тридисковий передавальний механізм.

1.8.2 У конструкціях гвинтових муфтових пресів (рис. 1.13) двигун 9 через пасову передачу 8 обертає головний маховик 5, призначений для накопичення кінетичної енергії. Головний маховик 5 обертається постійно (як у кривошипних пресах). У разі ввімкнення механізму 7 він з'єднується фрикційною муфтою 6 із веденим диском і допоміжним маховиком 4, скріпленим з гвинтом 3 для розгону робочих частин преса вниз. Механізм 7 повинен вимкнути муфту і маховик 5 під час робочого ходу так, щоб використовувати для деформування частину кінетичної енергії маховика 5, а ведений диск спільно з гвинтом, гайкою 2 і повзуном 1 завершують

роботу деформування поковки. Для зворотного ходу повзуна застосовують пневматичні або гідравлічні циліндри 10.

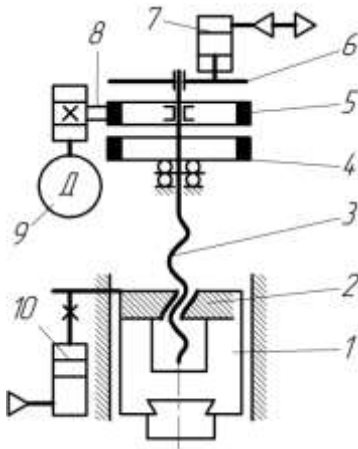


Рисунок 1.13 – Схема гвинтового муфтового преса

Принцип дії гвинтових муфтових пресів полягає у використанні для деформування поковок частини кінетичної енергії головного маховика, який постійно обертається електродвигуном. Для поступального руху повзуна він за допомогою фрикційної муфти з'єднується з допоміжним маховиком.

У разі ввімкнення фрикційної муфти і розгону робочих частин зі стану спокою до максимальної швидкості втрачається певна кількість енергії. Тому коефіцієнт корисної

дії становить приблизно 0,3–0,35. Під час деформування фрикційна муфта вимикається. Зворотний хід забезпечується гідравлічними чи пневматичними циліндрами.

Фрикційний муфтовий привод розширює технологічні можливості гвинтових пресів і дозволяє здійснювати регулювання трьох основних параметрів преса: максимальної деформівної сили, роботи деформування та робочого ходу.

1.8.3 Електрогвинтові преси поділяють за типом привода на преси з безредукторним та електромеханічним редукторним приводами. Принцип дії електрогвинтових пресів із безредукторним приводом (рис. 1.14 а) полягає в розгоні ротора-маховика 2 з гвинтом 3 електромагнітним полем статора 1 спеціального електродвигуна до необхідної кутової швидкості, що забезпечує роботу пластичного деформування поковки під час робочого ходу повзуна 5.

Маховиком є ротор спеціального асинхронного електродвигуна, статор якого закріплений нерухомо на станині

преса. Перед початком робочого ходу електродвигун вимикається, і деформування кування здійснюється за рахунок

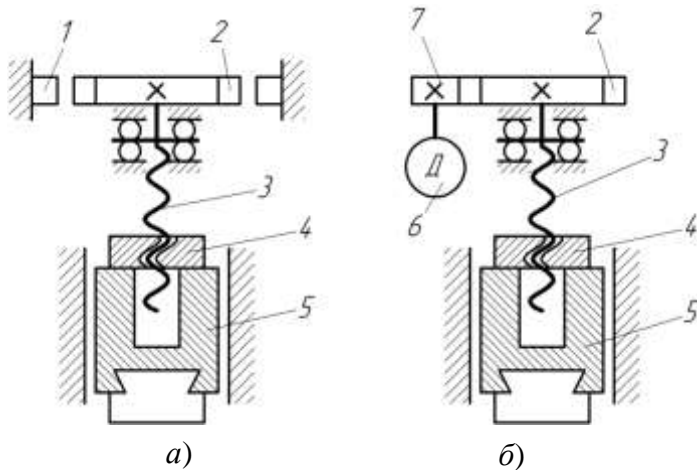


Рисунок 1.14 – Схеми електрогвинтових пресів:
 а – безредукторний привод; б – електромеханічний привод;
 1 – статор; 2 – ротор-маховик; 3 – гвинт; 4 – гайка; 5 – повзун; 6 – електродвигун; 7 – зубчаста передача

кінетичної енергії робочих частин преса. Зворотний процес відбувається під час реверсування електродвигуна. Оскільки електродвигун нагрівається, то для його охолодження застосовують вентилятор з автономним електродвигуном. Для привода електрогвинтових пресів застосовують спеціальні тихохідні електродвигуни, які зазвичай не потребують редукторів.

У електрогвинтових пресах з електромеханічним редукторним приводом (рис. 1.14 б) крутний момент передається маховику 2 від електродвигуна 6 за допомогою зубчастої передачі 7.

Запровадження у виробництво нових моделей гвинтових пресів із сервоприводом (рис. 1.15) підвищує їх ККД майже до 100 %. Сервопривод дозволяє легко налаштувати необхідну швидкість, сформувати умови для гарячого кування. Велика

швидкість (підведення, відведення інструменту до заготовки) є дуже важливим фактором під час гарячого кування.



Рисунок 1.15 –
Автоматизований прес
із сервоприводом,
мод. 1000 ZESH

Сервоприводи за принципом дії поділяють на електромеханічні та електрогідромеханічні. В електромеханічних сервоприводах рух формується електродвигуном та редуктором. У електрогідромеханічних сервоприводах рух формується системою «поршень – циліндр». У цих сервоприводах швидкодія на порядок вища порівняно з електромеханічними.

1.8.4 Принцип дії гідروгвинтових пресів полягає в приводі повзуна та інших робочих частин за допомогою гідроциліндра (рис. 1.16 а) або гідромотора

(рис. 1.16 б).

У пресах із приводними гідроциліндрами робочі частини розганяються і переміщуються гідроприводом і силою, що

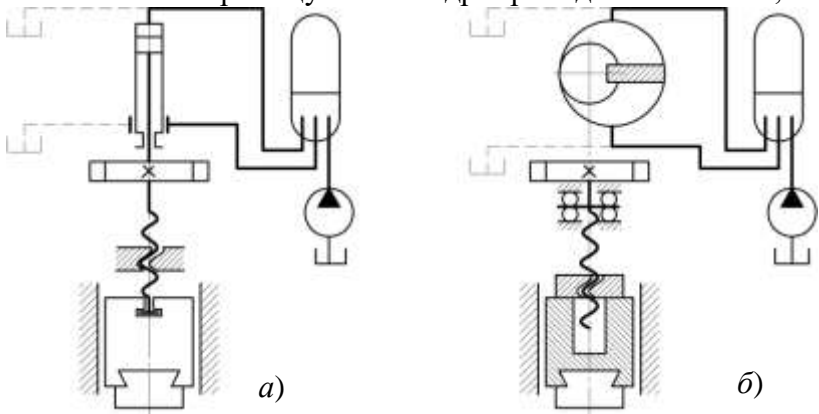


Рисунок 1.16 – Структурні схеми гідрогвинтових пресів:
а – з приводним гідроциліндром, б – із приводним гідромотором

виникає від тиску рідини на площу гідроциліндра. Кінетичну енергію поступального та обертального рухів зведених мас робочих частин використовують для роботи деформування поковки під час робочого ходу.

У конструкціях гідрогвинтових пресів із приводними гідромоторами (див. рис. 1.16 б) робочі маси зі зведеним моментом інерції розганяються до заданої кутової швидкості під дією гідромоторів обертального руху. Гідромотори з'єднані з маховиком через зубчасту передачу. Номінальний момент гідромотора на кутовому переміщенні розвиває кінетичну енергію, необхідну для виконання роботи деформування поковки.

У промисловості застосовують переважно конструкції з одним гвинтовим робочим механізмом, із гвинтовим та обертальним рухом гвинта, з приводними гідроциліндрами й гідромоторами. Двогвинтові конструкції виготовляють рідко, а багатогвинтові в промисловості не застосовують.

1.9 Штампувальні й кувальні молоти

Молотами називають ковальсько-пресові машини ударної дії, в яких енергія привода перетворюється на кінетичну енергію лінійного руху робочих мас, а під час удару – на роботу деформування поковки [2; 3]. Іншими словами, молоти долають опір деформуванню використанням кінетичної енергії, накопиченої рухомими частинами.

Для роботи молотів спочатку використовували енергію води, кінний привод. Потім застосовували пару, стиснене повітря або газ, рідину під тиском, горючу суміш, вибухові речовини, електромагнітне та гравітаційне поля.

Принцип дії молотів полягає в розгоні робочих мас до швидкості V у напрямку до поковки для накопичення кінетичної енергії T_e і використання її для роботи деформування.

За технологічною ознакою молоти поділяють на кувальні – для вільного кування, штампувальні – для об'ємного

штампування, листоштампувальні – для штампування листових матеріалів.

Молоти бувають простої та подвійної дії. У молотів простої дії рух униз здійснюється силою тяжіння робочих частин. Робота сили тяжіння перетворюється на кінетичну енергію, використовувану для деформування поковки. Піднімання робочих частин здійснюється парою, повітрям, газом, рідиною під тиском, електродвигуном.

У молотів подвійної дії рух униз здійснюється під дією і сили тяжіння, і додаткової енергії.

Під час удару виникає шум, на основу та в оточуюче середовище передаються значні вібрації, для зменшення шкідливого впливу яких застосовують віброізоляцію фундаментів.

За конструкцією станини молоти можуть бути одностояковими та двостояковими (арковими і мостовими).

У процесі ударного деформування поковки зі збільшенням швидкості зіткнення зростає сила опору металу. Збільшуються напруження в деталях молота і штампів, посилюються навантаження на фундамент, вібрації системи та шум під час удару. Для зменшення вібрацій та шуму там, де це економічно й екологічно доцільно, штампувальні молоти для гарячого штампування замінюють на гвинтові гарячештампувальні преси.

Молоти з нерухомою масою, що сприймає удар, називають шаботними, а з рухомою, яка рухається назустріч робочим частинам, – безшаботними.

У шаботних молотів без віброізоляції частина енергії передається в оточуюче середовище, спричиняючи несприятливі вібрації. Безшаботні молоти на оточуюче середовище впливають значно менше.

Основним розмірним параметром шаботних молотів є ударна маса m робочих елементів (баби молота). Іншим важливим параметром шаботних молотів є ефективна кінетична енергія T_e , що розвивається ударною масою перед ударом. Наприклад, для пароповітряних штампувальних шаботних

молотів $T_e = 16\text{--}630$ кДж. Швидкість ударної маси (робочих частин) перед ударом є залежним параметром, що перебуває в діапазоні 5–9 м/с:

$$V = \sqrt{\frac{2T_e}{m}}$$

Для безшаботних молотів основним розмірним параметром є ефективна кінетична енергія T_e , що перебуває в діапазоні 20–800 кДж. Другим параметром є швидкість кожної ударної маси перед ударом. Зазвичай ця швидкість $V \approx 3$ м/с. Величина ударної маси стає залежним параметром:

$$m = T_e/V^2,$$

і звичайно перебуває в діапазоні $(2\text{--}80) \cdot 10^4$ Н.

У безшаботних молотів дві ударні маси (рис. 1.17) рухаються назустріч одна одній за допомогою механічного (стрічкового) чи гідравлічного механізму зв'язку. Зовнішня сила, створювана пароповітряним, газовим або гідравлічним робочим циліндром, діє на одну з мас, а рух іншої здійснюється внаслідок наявності спеціального механізму, яким обидві маси пов'язані кінематично. У горизонтальних молотах застосовують незалежний привід мас.

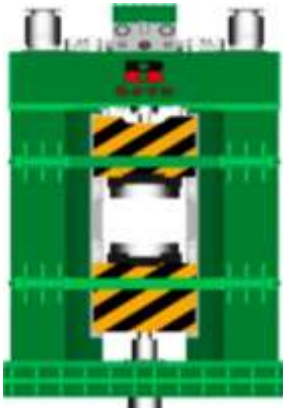


Рисунок 1.17 –
Безшаботний молот

У більшості конструкцій ударні маси мають приблизно однакові масу та хід.

Сили удару замикаються всередині конструкції молота. Тому фундамент безшаботного молота у 8–10 разів менший від еквівалентного за енергією шаботного молота, а маса менша від маси еквівалентного шаботного молота приблизно втричі.

Розрізняють вертикальні та горизонтальні безшаботні молоти із залежним та незалежним приводами ударних мас, із механічним та гідравлічним механізмами зв'язку. У вертикальних безшаботних молотах заготовку встановлюють у нижню половину штампа або матрицю, розміщену на нижній ударній масі. На верхній ударній масі кріплять верхню половину штампа або пуансон. У горизонтальних безшаботних молотах заготовку розміщують у спеціальних захватах у площині зіткнення ударних мас.

У разі зіткнення мас, що рухаються назустріч одна одній, більшість накопиченої ними кінетичної енергії витрачається на роботу деформування поковки, тому ККД деформування в середньому на 10 % вищий, ніж під час штампування на шаботних молотах. Імпульси деформівної сили під час штампування на фундамент майже не передаються. З огляду на це відсутні коливання ґрунту й вібрації будівель та обладнання.

За конструкційною ознакою молоти поділяють на пароповітряні, пневматичні, електромагнітні, механічні, газогідравлічні та гідравлічні, високошвидкісні газові, вибухові.

1.9.1 Енергоносіями в пароповітряних молотах є пара або стиснене повітря. Пара надходить до робочого циліндра трубопроводом від парових турбін, стиснене повітря – від компресорної станції. Передавальний механізм пароповітряного молота складається з поршня та штока. Виконавчим механізмом є ударна маса (баба) із закріпленням у ній бойком чи штампом. Баба, штамп, шток та поршень утворюють масу робочих частин. Швидкість під час удару становить 7–9 м/с, частота ударів – 80–100 хв⁻¹.

Для привода робочих частин пароповітряного молота подвійної дії застосовують пару або стиснене до 0,6–0,9 МПа повітря, що надає робочим частинам додаткову кінетичну енергію. Поршень за допомогою штока передає вплив тиску пари або повітря (енергоносія) на ударну масу, яку називають бабою молота. На ній закріплений верхній бойок, а на масі, що сприймає удар (шаботі), закріплений нижній бойок. Ударна

маса, поршень, шток і верхній бойок складають робочі частини молота масою m . Під тиском енергоносія та під дією сили тяжіння mg робочі частини розвивають необхідні швидкість і кінетичну енергію для деформування поковки.

Режим роботи залежить від характеру розподілення робочих періодів енергоносія. Молот може працювати послідовними ударами (під час натискання на педаль після кожного удару), одиночними ударами з верхньою паузою і циклічними ударами.

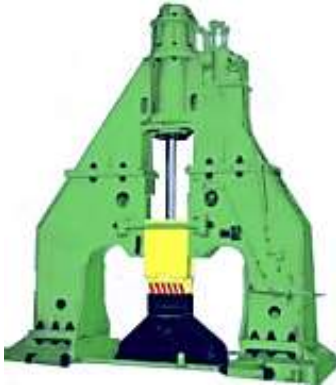


Рисунок 1.18 –
Пароповітряний молот
арочного типу,
мод. М1345

За технологічним призначенням пароповітряні молоти поділяють на кувальні для вільного кування, для гарячого об'ємного штампування, для штампування з листової заготовки. Найбільшого поширення у промисловості набули шаботні пароповітряні штампувальні молоти зі станиною арочного типу (рис. 1.18).

У молотах застосовують зазвичай вологу насичену пару. Робочі процеси вологої насиченої пари (розширення та стиснення) близькі до адіабатичних.

1.9.2 Енергоносієм пневматичних молотів (рис. 1.19) є стиснене повітря, що надходить від убудованого компресора. Компресор з електродвигуном установлений безпосередньо на молоті. Повітря стискається приводним поршнем компресора і надходить у порожнини робочого циліндра каналами, що з'єднують порожнини компресорного й робочого циліндрів, здійснюючи пружний зв'язок між компресорним і робочим поршнями. Це забезпечує рух робочого поршня в певній залежності від руху поршня компресора. Під час руху поршня компресора змінюються об'єми нижньої та верхньої порожнин циліндра, завдяки цьому в них відбувається зміна тиску повітря,

що спричиняє рух робочого поршня. Функції передавального та виконавчого механізмів суміщені. Швидкість під час удару становить від 4,5 м/с до 7,5 м/с, частота ударів – від 50 хв⁻¹ до 80 хв⁻¹.



Рисунок 1.19 –
Пневматичний молот

Пневматичні молоти переважно застосовують для вільного кування. Значення енергії удару регулюється ступенем відкриття каналів за допомогою поворотних кранів.

За впливом повітря на робочий поршень пневматичні молоти поділяють на однієї та двохсторонньої дії. Їх поділяють також за кількістю циліндрів, за способом спрямування руху баби (без напрямних та з напрямними), за конструкцією повітроділюючого пристрою (з кранами та золотниками), за типом

станини (одно- та двостоякові).

1.9.3 У гідравлічних молотах рідина під тиском від насосів та акумуляторів діє на поршень. Енергія тиску рідини під час розгону маси робочих частин перетворюється на кінетичну енергію. Швидкість під час удару становить 5—6 м/с, частота ударів – 60—80 хв⁻¹. Швидкість під час удару високошвидкісних молотів досягає 20 м/с. Молоти поділяють за типом енергоносія на гідравлічні та газогідравлічні, за умовами використання енергоносія – простої та подвійної дії, за типом привода – з насосним та насосно-акумуляторним приводом, за характером механічного впливу на поковку – молоти та прес-молоти.

Гідравлічні штампувальні молоти за принципом дії та призначенням аналогічні пароповітряним, але замість пари або повітря для індивідуального привода застосовують робочу рідину (мінеральну олію, синтетичні рідини, водні емульсії) та газ (технічний азот). Розрізняють два варіанти конструкції

гідравлічного привода: гідравлічний насосний та насосно-акумуляторний для руху вниз і вгору. На рисунку 1.20 показаний молот для вільного кування з повністю гідравлічним приводом. Удар і повернення баби здійснюються гідравлікою, що дозволяє забезпечити високу енергію удару та гнучке керування.



*Рисунок 1.20 –
Гідравлічний молот
арочного типу для вільного
кування, мод. С66У*

У газогідравлічних молотах подвійної дії для розгону маси робочих частин вниз до швидкості $V = 5-6$ м/с застосовують стислий азот або повітря і силу тяжіння ударної маси mg , а для зворотного переміщення робочої маси – робочу рідину. Застосування гідропривода дає можливість збільшувати ККД молота (до 35 %), використовувати гідравлічні виштовхувачі, програмне керування й точне дозування ефективної енергії, що дозволяє підвищити якість штампованих заготовок, збільшити продуктивність та покращити екологічні умови праці.

На їх основі розробляють автоматизовані та роботизовані технологічні комплекси для виготовлення штампованих заготовок підвищеної точності.

До високошвидкісних молотів належать молоти, що розвивають швидкість робочих частин на момент удару $V = 15-20$ м/с. Принцип дії високошвидкісних молотів базується на використанні для розгону робочих мас енергії високого тиску, енергії швидкого згоряння горючих сумішей, вибухових речовин і т. ін. Енергоносієм у вибухових молотах є суміш рідкої паливної речовини з повітрям. Високошвидкісні молоти бувають однокамерні та двокамерні, з верхнім і нижнім ударом, вертикальні й горизонтальні.

1.10 Вібраційні та імпульсні машини

Принцип дії вібраційних та імпульсних машин базується на створенні вібраційного чи імпульсного впливу на матеріал заготовки, необхідного для інтенсифікації процесів оброблення тиском.

Вібраційний та імпульсний впливи характеризуються частотою, амплітудою навантаження, тривалістю передавання об'єкту оброблення енергії. Такий вплив на заготовку створюють вібраційні, імпульсні, гідроімпульсні, електрогідролінійні, електромагнітні машини. Виконавчі ланки вібраційних машин впливають на матеріал періодичними коливаннями. Вібрації дозволяють знизити силу та підвищити якість оброблених деталей в операціях вирубування, обтискання, карбування-калібрування, витягування, пресування й віброуцільнення металевих і неметалевих (наприклад, піщано-бетонних) матеріалів.

За технологією вібропресування працює верстат для виробництва будівельних блоків різної форми, товщини і розміру з цементно-піщаної суміші в спеціальній матриці (рис. 1.21). Метод дозволяє отримати міцну, зносостійку продукцію.



Рисунок 1.21 – Вібропрес для будівельних блоків

Імпульсні машини (гідролінійні імпульсні преси, прес-молоти, магнітно-імпульсні та електрогідроімпульсні преси) призначені для оброблення матеріалу тиском поодинокими або послідовними імпульсами сили.

Джерелом енергії, яка за допомогою імпульсу передавального середовища (рідини, газу, твердого тіла, сипучого

середовища) виконує роботу деформування оброблюваного матеріалу, є гідро- і газоакумулятори, генератори ударних хвиль рідини та газу, вибухові речовини та суміші, електричні розряди, електромагнітні та гравітаційні поля.

1.10.1 Гідравлічні імпульсні машини поділяють на гідроімпульсні преси, що застосовують для штампування енергією імпульсної розрядки рідини, попередньо стиснутої в замкненому об'ємі акумулятора, і прес-молоти, в яких використовують імпульс півхвилі ударного тиску рідини.

Принцип дії гідровібраційних та гідроімпульсних пресів та прес-молотів ґрунтується на застосуванні імпульсів тиску, що утворюються внаслідок швидкої розрядки потенціальної енергії стиснутої рідини в акумуляторі. Клапан-пульсатор (віброзбудник) автоматично відкривається в разі досягнення заданого тиску в акумуляторі.

Гідроінерційні вібропреси за принципом дії відрізняються від гідровібраційних пресів тим, що формування деформівної сили здійснюється за допомогою інерційних мас.

1.10.2 У промисловості широко використовують електрогідроімпульсне та магнітно-імпульсне оброблення, зокрема різновид останнього – магнітно-еластоімпульсне оброблення виробів із листових і трубчастих заготовок.

Принцип дії електрогідроімпульсних машин полягає у використанні енергії електричного розряду в рідині для деформування металу. Процес одержав назву електрогідравлічного штампування.

Технологія електрогідроімпульсного оброблення розплаву використовує імпульсні способи фізичного впливу. Оброблення реалізується дією на розплав імпульсів тиску, які створюються за високовольтного пробую рідини в розрядній камері і з певною частотою передаються в розплав через хвилевід (рис. 1.22). Електрична енергія запасається в ємнісному накопичувачі 6 і через електрод 5 виділяється в міжелектродному проміжку 7 у розрядній камері 4, заповненій водою, впродовж мікросекундного діапазону часу. Генерований

у цьому разі імпульс тиску по хвилеводу 2 надходить у розплав 1. Далі розрядний канал 7 перетворюється на пульсуючу парогазову порожнину, що деформує пружну мембрану 3 (нижню стінку розрядної камери), механічні коливання якої через хвилевід передаються в розплав.

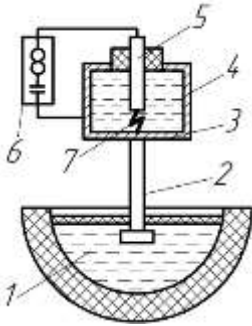


Рисунок 1.22 – Схема електрогідроімпульсного оброблення розплаву

Мікропотоки, що виникають у розплаві, прискорюють процеси теплопередачі й розчинності, спричиняють перемішування розплаву й забезпечують його гомогенізацію. У розплаві виникає об'ємна акустична кавітація, що викликає подрібнювання зернистої структури металу, збільшення розчинності тугоплавких елементів

шихти й уведених модифікаторів, рівномірне розподілення хімічних елементів в об'ємі розплаву. Розплав стає хімічно більш однорідним, що підвищує якість литої продукції.

1.10.3 Вибухові імпульсні машини, що використовують енергію швидкого згоряння (вибуху) хімічних речовин або горючих сумішей, реалізовані у вигляді високошвидкісних молотів. Застосування цих машин обмежене через необхідність використання вибухових речовин і відсутність істотних технологічних переваг порівняно з газовими та газогідравлічними молотами.

До вибухових імпульсних машин також належать вибухові установки, в яких використовують енергію вибуху для утворення вибухової ударної хвилі в передавальному середовищі (газі, рідині, сипучому матеріалі). Ці установки дозволяють реалізовувати процес штампування малими серіями деталей із будь-яких пластичних матеріалів великих габаритних розмірів та складної конфігурації. Їх застосування обмежене екологічними вимогами.

1.10.4 Принцип дії магнітно-імпульсних машин полягає у використанні для деформування металу енергії імпульсного електромагнітного поля, що створюється під час розряду конденсаторної батареї в індукторі, яке, взаємодіючи з вихровими струмами, що виникають у металі заготовки, створює імпульсний електромагнітний тиск. Машини для магнітно-імпульсного штампування бувають для кольорових металів та сплавів, низьковуглецевих сталей без засобів автоматизації, для таких самих матеріалів, але для роботи в автоматичному режимі, для деформування матеріалів товщиною до 0,1 мм в автоматичному режимі.

1.11 Ротаційні й роторні машини

Ротаційними називають ковальсько-штампувальні машини, робоча виконавча ланка або заготовка в яких у процесі робочого ходу здійснює обертальний рух [2]. Кутова та колова швидкості робочої виконавчої ланки таких машин залежать від кінематики привода та передавального механізму і залишаються сталими впродовж усього робочого ходу. Енергія привода трансформується в кінетичну енергію робочих частин машини, а потім – у корисну роботу деформування. Залежно від форми та відносних розмірів виконавчої ланки ротаційні машини поділяють на шпindelельні, валкові, роликові, дискові.

За технологічною ознакою ротаційні машини поділяються на радіально-обтискні (кувальні), кувальні вальці, правильні, вигинальні, розкочувальні, сферорухові.

1.11.1 Радіально-обтискні машини деформують поковки з витягнутою віссю методами вільного кування за допомогою бойків, які переміщуються радіально. Розрізняють ротаційно-обтискні та радіально-обтискні машини. Перші – це переважно машини з роликовим приводом механізму обтискання (кування), другі – машини з кривошипно-важільним чи гідравлічним приводом механізму обтискання. Зазвичай для обох типів машин прийнята загальна назва – радіально-обтискні (кувальні)

машини.

Радіально-обтискні (кувальні) машини розрізняють за типами поковок, способами обтиснення, формою заготовок, механізмами привода бойків (роликівий, кривошипно-важільний, гідравлічний), механізмами подавання заготовок, типами керування (ручне, програмне). До спеціальних належать машини для складання, комбіновані комплекси для радіального обтиснення та об'ємного штампування, для радіального обтискання та механічного оброблення.

Наприклад, верстат обтискний Uniflex S6 Ecoline, радіально-пресова машина з електроприводом для обтискання в напівавтоматичному режимі роботи (рис. 1.23). Оснащується електронною панеллю керування CONTROL B+Touch (сенсорна). Виготовляє рукави високого тиску, стискає сталеві канати та стропи, осаджує труби.



*Рисунок 1.23 – Радіально-пресова машина
Uniflex S6 Ecoline*

У машинобудуванні набули поширення роликіві та кривошипно-важільні радіально-обтискні машини. Машини з гідравлічним приводом виготовляють в одиничних зразках переважно для оброблення поковок у гарячому стані великого діаметра, що потребують великої потужності. Машини з гідравлічним приводом мають більшу витрату енергії, меншу

частоту ходів бойка, вищий рівень шуму.

1.11.2 Роликові радіально-обтискні машини (рис. 1.24) призначені переважно для виготовлення методом холодного деформування виробів із малим поперечним перерізом (прутків

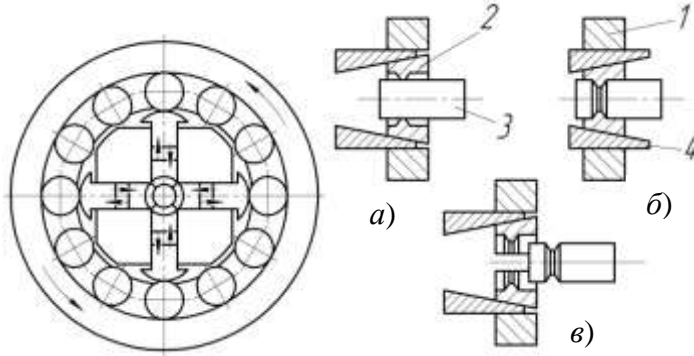


Рисунок 1.24 – Принципова схема радіально-обтискної машини з роликовим приводом:

*а – подавання заготовки; б – зведення бойків;
в – вивантаження деталі*

діаметром до 50 мм, труб – до 100 мм), що потребують сили деформування до 2 МН. На схемі: 1 – обойма, 2 – бойки, 3 – заготовка, 4 – механізм регулювання. Хід бойка вимірюють десятими частками міліметра, повний хід становить 2–3 мм. У цьому разі частота ходу бойків досягає $10\,000\text{ хв}^{-1}$. З огляду на це роликові радіально-обтискні машини відрізняються великим рівнем шуму і зношування пар ролик – бойок і ролик – обойма. З метою зменшення шуму робочий профіль бойка, що контактує з роликом, профілюють по синусоїді, вживають інших заходів, які забезпечують плавний кінематичний зв'язок ролика з бойком.

Роликові радіально-обтискні машини виготовляють переважно з обертовим шпинделем і встановленими в ньому бойками. Заготовка (пруток чи труба) не обертається. Відстань між бойками не регулюється. В окремих конструкціях застосовують обертову обойму та регульовану відстань між бойками, а також обертову обойму і шпиндель. Заготовка

переважно обробляється в горизонтальному положенні.

Кривошипно-важільні радіально-обтискні машини призначені для виготовлення виробів методом гарячого та холодного деформування силою 1–30 МН із прутків за холодного деформування до 150 мм діаметром, за гарячого – до 1 000 мм діаметром і довжиною до 12 м. У кривошипно-важільних радіально-обтискних машинах на відміну від роликкових бойки не обертаються. У процесі оброблення обертається заготовка. Швидкість обертання регулюється, хід бойка постійний, відстань між бойками регулюється.

1.11.3 Робота кувальних вальців полягає в деформуванні

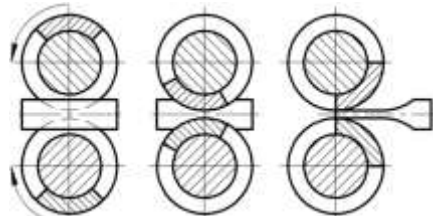


Рисунок 1.25 – Принцип дії кувальних вальців

металу для оформлення змінного профілю по довжині заготовки. Вальці обертаються в протилежний бік за поздовжнього вальцювання (рис. 1.25), а під час роботи плоскими інструментами рухаються назустріч один одному.

Вальцювання використовують для створення заготовок для подальшого штампування на молотах, гарячештампвальних кривошипних пресах (заготовки шатунів, колінчастих валів двигунів, важелів тощо), для металорізальних інструментів (свердел, протяжок, напилків тощо), точних заготовок (розвідні гайкові ключі, кульові пальці тощо). Кувальні вальці RCW (рис. 1.26) призначені для попереднього формування круглого та чотиригранного матеріалу. Заготовка подається вальцям радіально за допомогою маніпулятора та обробляється тиском в окремих секторах (зазвичай від двох до п'яти проходів).

Конструкції кувальних вальців для цих процесів поділяють на три основні типи: закриті (двохопорні), консольні та вальці для поперечно-клинового вальцювання. У комбінованих вальцях застосовують поєднання закритої кліти та консольного розміщення валків. У багатоклітьових конструкціях використовують по-сплідовно кілька вальців.



Рисунок 1.26 – Кувальні вальці RCW

За конструктивним виконанням кувальні вальці поділяють на консольні й закриті залежно від розміщення інструменту на консольній частині робочих валків або в серединній частині між опорами.

Багатоклітьові вальці (рис. 1.27) застосовують для згинання заготовок циліндричної форми.



а)



б)

Рисунок 1.27 – Вальці: а) тривалкові ИБ2216;
б) чотиривалкові гідравлічні 4RHS 20-220

1.11.4 Сутність сферорухомого штампування полягає в тому, що одна з половин штампа набуває колових сферичних коливань, а робочий тиск за цього коливання передається на частину поверхні заготовки. Сферорухомими пресами

називають обладнання для локального деформування розкочуванням у торець циліндричних і фасонних заготовок у холодному стані похилим обертальним інструментом.

Деталі, отримані за допомогою цього обладнання, мають високу точність розмірів і зміцнений поверхневий шар. Спостерігаються зниження енергетичних витрат, зменшення обсягу механічного оброблення та економія металу до 25 %. Технологічний процес полягає в тому, що попередньо осаджену на пресі заготовку прокочують до остаточної форми і розмірів в штампах, робочі частини яких обертаються й нахилені одна до одної (рис. 1.28). Завдяки похилому положенню інструмент лише частково контактує із заготовкою. Під дією навантаження

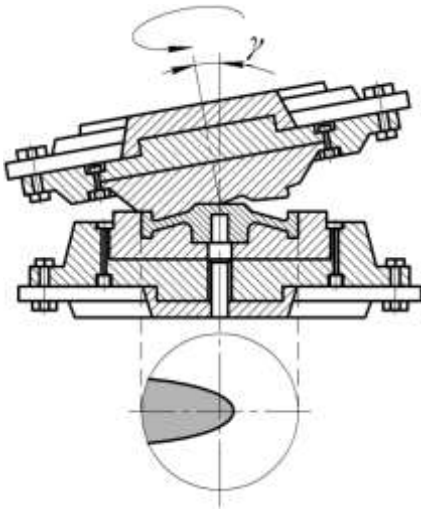


Рисунок 1.28 – Схема виробництва коліс сферорухомим пресувачем

зона контакту інструменту та заготовки набирає параболоїдної форми, внаслідок цього, під час обертання інструменту обертається й параболоїдний осередок деформації [21].

Деформація здійснюється в результаті локального, послідовного й багаторазового впливу штампа на заготовку, а це означає, що заготовка зазнає послідовного пульсуючого навантаження. Однією з ефективних напрямів удосконалення процесів ущільнення порошків є розвиток локальних методів, до яких належить і штампу-

вання обкочуванням.

Сферорухомий пресувач являє собою комплекс із двох механізмів, що одночасно впливають на штамп і робочий інструмент. Від одного механізму інструменту надається сферичний рух, від іншого механізму – тиск. Основною

особливістю процесу штампування обкатуванням є деформування заготовки інструментом, що робить складний рух – сферичний та поступальний. Він може надаватися як одному, так і обом інструментам із пари «пуансон – матриця» в різних комбінаціях. Тому штампування обкатуванням належить до процесів, що характеризуються циклічним характером навантаження заготовки.

Порівняно з традиційною схемою ущільнення порошку осадженням у закритій матриці ущільнення з використанням сферорухомого пресувача має низку переваг: істотне зниження питомого зусилля, покращення умов ущільнення порошку за рахунок інтенсивних деформацій, розширення технологічних можливостей ущільнення, зменшення потрібного технологічного зусилля.

1.12 Оснащення ковальсько-пресових машин системами ЧПК

Ковальсько-пресові автомати та багато пресів забезпечуються автоматичним керуванням, оскільки через швидкість процесів втручання людини зазвичай неможливе. Системи ЧПК, якими оснащуються ковальсько-пресові машини, виконують функції діагностики, змінювання інструменту та оброблюваного матеріалу, подавання заготовок і видалення деталей.

Особливості оброблення тиском впливають на обладнання ковальсько-пресових машин ЧПК. Формоутворення відбувається не в результаті програмування кінематики руху інструменту, а за рахунок форми самого інструменту. Крім того, розсіювання вихідних технологічних параметрів заготовки, зміцнення й термічні перетворення в процесі деформації призводять до труднощів автоматизації. Тому частка ковальсько-штампувальних машин із ЧПК значно менша порівняно із загальною кількістю металообробних машин із ЧПК.

Керованість процесами оброблення тиском полягає в можливості змінювати пластичність матеріалів за допомогою інструменту, машини, зовнішніх полів та середовищ. Процеси дискретного деформування мають високий рівень керованості, а процеси змінювання форми – найменший.

У процесах вільного деформування геометрія та розмірна точність деталей не залежать від форми інструменту. Точність розмірів залежить від точності переміщення та кінцевої позиції інструменту. Керованість таких процесів середня або висока.

У процесах закритого формоутворення форма деталі є відображенням форми робочих поверхонь штампа. Точність розмірів щодо висоти залежить від кінцевого положення інструменту. Тому застосовують керування зі зворотним зв'язком (за кінцевим положенням штампа).

Керованість машин це можливість основних їх робочих механізмів змінювати вихідні параметри й показники під впливом програмного керування.

Керування змінними штампами (інструментами) застосовують для операцій листового штампування. Наприклад, у процесах листового витягування, гідроформування матриця складається зі стрижневих елементів, що встановлюються за програмою. Під час гідроформування трубчастих заготовок матриця складається із сегментів, положення яких змінюється за програмою залежно від необхідної форми виробу. Листозгинальні преси з ЧПК фірми Lingo (рис. 1.29) використовують прецизійний сегментований інструмент, щоб зробити точні вигини.

Система ЧПК може безпосередньо керувати процесом формоутворення за допомогою змінювання розміщення деформівних поверхонь інструменту. Це машини з локальною дією інструменту на заготовку. Машини цієї групи працюють зазвичай із зворотним зв'язком, тобто регулюванням розміщення інструменту за результатами попереднього оброблення.

Є машини з ЧПК, у яких програмуються переміщення оброблюваного матеріалу та зміна комплектів штампового інструменту. Процес формоутворення, закладений у конструкцію інструменту, не регулюється.



Рисунок 1.29 – Листозгинальний прес із ЧПК

І нарешті, штампувальні обробні центри й роботизовані штампувальні комплекси, де можуть бути запрограмованими змінювання комплекту штампового інструменту, оброблюваного матеріалу, подавання заготовок і видалення готових деталей, складання штампуванням.

Сучасні системи ЧПК застосовують для новостворених ковальсько-пресових машин. Розроблення системи ЧПК проводять паралельно зі створенням конструкції машини. Системи ЧПК передбачають логічне циклове керування на основі синхронізації роботи різних вузлів механізму, параметричне керування за рахунок зворотних зв'язків із параметрами механізмів та виробів, попереджувальне керування

для оптимізації роботи механізмів за рахунок статистичного аналізу параметрів роботи системи.

Розрізняють різні типи систем керування. Насамперед жорстке керування (алгоритм без зворотних зв'язків). Керування реалізується за допомогою жорстких механічних або безконтактних зв'язків різних вузлів обладнання. У разі застосування жорсткого програмного керування враховують невідповідність реальних змін робочих параметрів механізму розрахунковим. У разі відхилення процесу потрібне переналагодження.

Координатне керування вирішує завдання програмного змінювання координат переміщення робочої ланки машини (повзуна) або допоміжного механізму.

Силове керування змінює значення деформівної сили, а часове керування – час увімкнення та вимкнення виконавчих пристроїв, золотників, клапанів.

Якщо для створення керувального впливу використовують параметри виробів, то ковальсько-пресова машина оснащується вимірювальним приладом, що дозволяє через зворотний зв'язок коригувати геометрію заготовки, силу деформування, силу притискання, умови тертя.

Системи програмного керування забезпечують не лише керування ковальсько-пресовими машинами чи оброблюваними центрами, а й інформаційний зв'язок із централізованою системою керування.

Для створення системи ЧПК необхідно мати адекватну математичну модель функціонування ковальсько-пресового комплексу. Така модель відображає інформацію про змінювання динамічних параметрів системи та керовані параметри, про залежності від них деформівної сили, енергії, швидкості. Вона враховує властивості деформованого матеріалу, тип процесу та переходи змінювання форми. На основі моделювання повинні бути визначені значення деформівної сили та роботи деформування, переходи, які стають завданням для ковальсько-пресової системи.

Метою керування є встановлення і переміщення робочих поверхонь інструменту по заданих координатах, забезпечення необхідних значень керованих параметрів і запобігання шкідливим впливам зовнішнього середовища.

Поряд із цим система ЧПК виконує функцію діагностики. Завданнями діагностики є визначення стану обладнання та технологічного оснащення, прогнозування дефектів для забезпечення надійності роботи, недопущення аварійних ситуацій.

Діагностика виявляє технічний стан машини за умов обмеженої інформації, використовує методи та засоби автоматизованого визначення й прогнозування технічного стану ковальсько-пресових машин і механізмів без їх демонтажу та розбирання. Важливо, що підпрограми системи діагностики негайно реагують на всі процеси, навіть за необхідності виробляють сигнал до раптового зупинення комплексу. Розвиток інформаційних технологій визначає нові вимоги до систем ЧПК ковальсько-пресового обладнання.

1.13 Маркування ковальсько-пресового обладнання

Машини та механізми підлягають маркуванню. Якщо виріб відповідає основним вимогам директив і стандартів Європейського Союзу, то на нього наносять маркування «СЕ» – Conformance Européenne. Маркування СЕ свідчить про те, що виріб не є небезпечним для здоров'я споживачів, а також нешкідливий для довкілля.

Знак СЕ не є символом якості продукції. Відповідно до Рішення Європейського парламенту, існують рекомендації країнам Європейського Союзу з контролю над внутрішнім ринком Європейського Союзу з обігу продукції, що підлягає обов'язковому маркуванню знаком СЕ. У країнах Європейського співтовариства уведені адміністративні та кримінальні покарання за порушення правил, що стосуються застосування маркування СЕ. Продукція, яка не відповідає

директивам і стандартам Європейського Союзу, де відсутній знак CE, не допускається на внутрішній ринок Європейського Союзу. Знак CE є єдиним знаком у країнах Європейського Союзу, що підтверджує відповідність продукції європейським стандартам безпеки для людини, майна та довкілля.

У Європейському Союзі під час маркування машин та механізмів, крім марки CE, наносять різну інформацію, без нав'язування будь-якої конкретної форми нанесення. Відповідно до вимог Європейського Союзу маркування на машини наносять на видному місці зовні. Символи, які використовують для маркування, повинні бути досить великими, щоб їх легко було читати. Маркування не може бути стертим упродовж терміну служби машини. Якщо вся інформація відображається на табличці, її необхідно надійно закріпити.

Маркування може бути відображене на міцній етикетці, прикріпленій до продукту в будь-якому місці. Усі дані на маркуванні повинні бути відображені однією з офіційних мов Європейського Союзу. У разі якщо виробником машин та обладнання призначений Уповноважений представник виробника в Європейському Союзі, крім найменування фірми (компанії), повної адреси виробника, відображається інформація про Authorized Representative. Повна адреса виробника означає поштову адресу. Якщо складно відобразити всі дані про виробника, вони можуть бути внесені в спеціальний код.

На маркуванні повинна бути така інформація: позначення серії або типу; код або номер, що надається виробником моделі машин; серійний номер, якщо такий є; рік випуску.

На додаток до загальних вимог щодо маркування машин та механізмів, існують додаткові вимоги до маркування рухомої техніки, маркування ланцюгів, канатів та лямок. Існують додаткові вимоги до маркування обладнання, призначеного для піднімання людей.

Виробник зазвичай розміщує більшість інформації в технічних паспортах, інструкціях користувача. Однак інформація про необхідні аспекти безпечного використання

машин повинна бути нанесена на обладнанні на видному місці. Це можуть бути вимога до максимальних розмірів заготовок, максимальні розміри інструментів, максимальні швидкість, сила і т. ін.

Прес є механізмом, призначеним для стиснення, оброблення або зміни форми матеріалу за рахунок сильного тиску. Таке обладнання дуже небезпечно для персоналу та інших осіб, які перебувають поряд під час виконання робіт. Тому виробник повинен не лише підтвердити безпеку механізму в процесі сертифікації, а й нанести на прес спеціальне маркування. Воно повинне містити основні відомості про виробника та сам пристрій.

В. Ф. Буренков [4] наводить маркування ковальсько-пресового обладнання, яке фактично збігається з вимогами Європейського Союзу. Вид машин позначають літерами (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Позначення видів ковальсько-пресового обладнання

Вид машини	Позначення
Автомати ковальсько-пресові	А
Преси пакування і брикетування	Б
Машини кувальні	В
Устаткування гідравлічне	Г
Преси гідравлічні для неметалевих матеріалів	Д
Машини згинальні й правильні	И
Преси кривошипні	К
Молоти	М
Ножиці й холодноломи	Н
Преси гідравлічні для металу	П
Вальці кувальні	С
Преси гвинтові, рейкові, важільні	Ф

Усередині виду машини поділяють на групи за загальними конструктивними або технологічними вимогами. Номер групи проставляють за літерним позначенням виду (цифри від 1 до 10).

Кожну групу розбивають ще на типи за другорядними конструктивними ознаками або технологічним призначенням.

Наприклад, у 8-й групі кривошипних пресів є 5 типів машин: карбування з нормальним ходом – 3; карбування зі збільшеним ходом – 4; для гарячого об'ємного штампування – 5; для гарячого витікання – 6; для холодного витікання – 7. (Цифри від 1 до 10).

Кожний тип машини також поділяють на розміри основного параметра з привласненням двозначного числа (від 00 до 59). Тобто це умовне позначення сили, енергії або діаметра штампованого виробу на автоматі.

Отже, марка машини відображає вид, групу, тип і розмір. Наприклад, K8540 – кривошипний гарячештампувальний прес із зусиллям 10 МН.

Усі інші моделі машин цього типу, що відрізняються від базової моделі за деякими параметрами (кількість ходів, розміри штампового простору), класифікуються як модифікація з додаванням літери в кінці позначення. Наприклад, перша модифікація K8540 – це K8540A.

Якщо у виробництво введена машина такого самого розміру, але з принциповими відмінностями щодо конструкції або зі зміною основних параметрів, її вважають паралельною базовій і вона має в позначенні виду 2 літери. Наприклад, KA8540 – автоматизований кривошипний гарячештампувальний прес із зусиллям 10 МН для штампування клапанів. У цьому разі можлива модифікація такої машини (KA8540A).

У разі пластичного деформування використовують імпульсні машини, де як робочу енергію застосовують енергію вибуху. Послідовність маркування такого обладнання така:

- наявність сертифіката однієї з випробувальних лабораторій країн Європейського Союзу;
- галузь застосування (I – підземні застосування; II – наземне застосування);

- категорія зони (0 – постійна наявність вибухо-небезпечних речовин; 1–10 – 1 000 годин за 1 рік; 2 – менше ніж 10 годин за 1 рік);
- оточуюча атмосфера (*G* – газ; *D* – пил);
- *E* – згідно з європейськими нормами; *Ex* – вибухо-захищене обладнання;
- температура займання ($T_1 > 450\text{ }^\circ\text{C}$; $T_2 = 300\text{--}450\text{ }^\circ\text{C}$; $T_3 = 200\text{--}300\text{ }^\circ\text{C}$; $T_4 = 135\text{--}200\text{ }^\circ\text{C}$; $T_5 = 100\text{--}135\text{ }^\circ\text{C}$; $T_6 = 85\text{--}100\text{ }^\circ\text{C}$);
- класифікація видів захисту (*d* – вибухонепроникна оболонка; *e* – підвищений захист; *o* – масляне заповнення; *p* – продування оболонки; *q* – кварцове заповнення; *m* – заповнення компаундом; *i* – іскробезпечний електроланцюг; *ia* – небезпечна ситуація не може виникнути в разі комбінації двох можливих несправностей; *ib* – небезпечна ситуація не може виникнути в разі однієї несправності).

Для видів захисту «*d*» та «*i*» в разі наземного застосування вводять підгрупи ПА, ПВ та ПС.

Наприклад, маркування [*Ex ia*] ПС свідчить про обладнання, що перебуває у вибухонебезпечній зоні. Позначення у квадратних дужках свідчить про те, що це пов'язане обладнання. Пов'язане обладнання, розміщене у вибухонебезпечній зоні та що має вигляд вибухозахисту «вибухонепроникна оболонка» маркується таким чином: *Ex d [ia]* ПСТ4.

Нанесення маркування передбачене для всіх видів продукції. Метою цієї процедури є надання споживачам можливості ознайомитися з основними характеристиками машин, дізнатися про нормативні значення для експлуатації, інші дані. Також до обов'язкових відомостей входять умовні позначення та знаки про безпеки й ризики, з якими можуть зіткнутися персонал, служба сервісу та ремонту.

Преси належать до промислового обладнання. Маркувати механізми повинен виробник чи імпортер, інформацію наносять безпосередньо на виріб. До змісту маркування входять такі дані:

- назва виробу та адреса виробника, постачальника (імпортера);
- знак відповідності (підтверджує пройдену сертифікацію);
- рік випуску чи виробництва;
- тип, серійний номер виробу;
- нормативна маса механізму (без допоміжних пристроїв, інструментів);
- точки для піднімання преса під час перевезення та монтажу;
- номінальне значення сили, заявлене виробником;
- допустимі габарити та маса інструментів;
- мінімальні й максимальні швидкісні режими обладнання, робоча швидкість;
- довжина ходу рухомих частин преса;
- відомості про пневматичну, гідравлічну та електричну системи;
- час зупинення (вимкнення);
- безпечні відстані;
- обмеження за видами роботи та застосовуваними інструментами (за необхідності);
- умовні позначення та знаки небезпек, якими супроводжується робота та обслуговування обладнання.

Цей обов'язковий перелік відомостей може доповнюватися виробником на власний розсуд. Продублювати дані, нанесені на виріб або його табличку, потрібно в експлуатаційних документах (паспорти, інструкції, посібники).

Контрольні питання

1. На які класи за характером зміни швидкості робочої ланки поділяють ковальсько-пресові машини?
2. Що таке стати?
3. У яких машинах більша швидкість деформації: в гідравлічних чи кривошипних пресах?
4. Яку частину преса називають «баба»?
5. Що таке шабот?

6. Як конструктивно виглядає безшаботний молот?
7. Чим відрізняються машини ударної і натискної дій?
8. Яке призначення ковальсько-пресового обладнання?
9. Який головний технологічний параметр ковальсько-пресової машини?
10. Яким чином металеві заготовки подають до зони штампування?
11. Що таке головний розмірний параметр преса?
12. Яка швидкість деформування в статах?
13. Принцип роботи гідравлічного преса.
14. Схема насосного гідропривода.
15. Схема насосно-акумуляторного гідропривода.
16. Які конструктивні особливості гідравлічних пресів?
17. Визначення зовнішнього і внутрішнього радіусів циліндрів гідравлічних пресів.
18. Що таке кривошипна машина?
19. Як кривошипні машини розрізняють за призначенням?
20. Які типи головного привода бувають у кривошипних машинах?
21. Скільки кривошипів може бути в преса?
22. Схема кривошипного преса.
23. Типи кривошипних машин.
24. Принцип дії гвинтового преса.
25. Схеми гвинтових фрикційних пресів.
26. Схема електрогвинтового преса.
27. Яку ковальсько-пресову машину називають молотом?
28. Принцип дії вібраційних та імпульсних машин.
29. Що таке ротаційні ковальсько-пресові машини?
30. Які функції виконує система ЧПК ковальсько-пресового обладнання?
31. У чому полягає керуваність процесами оброблення тиском?
32. Типи систем керування ковальсько-пресовими машинами.
33. Завдання системи ЧПК ковальсько-пресового обладнання.
34. Що означає маркування «СЕ»?
35. Яку інформацію наводять під час маркування машин?
36. Хто повинен маркувати механізми?

2 ОСНОВНІ ОПЕРАЦІЇ ХОЛОДНОГО ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ

2.1 Операції розділення

Операція розділення – це оброблення тиском, у результаті якого одна частина заготовки відділяється від іншої за заданим контуром.

За характером деформацій розрізняють дві основні групи штампувальних операцій [6; 17]:

- операції з розділенням металу,
- операції змінювання форми.

Листові матеріали для холодного штампування здебільшого попередньо розрізають на смуги або заготовки необхідних розмірів. Різання смуг є заготівельною операцією і проводиться на важільних, гільйотинних, дискових (роликкових) або вібраційних ножицях, а також спеціальних відрізних штампах.

Процес різання листового матеріалу ножицями складається з трьох послідовних стадій: пружної, пластичної та сколювання.

На зрізаній кромці листа чітко виділяються дві зони: вузька блискуча смуга, що відповідає пластичній стадії, і ширша матова зона сколювання. Під час різання товстого матеріалу одержують S-подібну форму сколювання.

Найбільш поширене різання листів на гільйотинних ножицях. У цехах металевих конструкцій і заготівельних цехах деяких заводів ріжуть сортовий і профільний прокат спеціальними ножицями із зусиллям до 1 600 т за найбільшого розміру перерізу 250 мм x 250 мм.

До розділювальних операцій належать штампувальні операції, основою яких є процес зсуву матеріалу:

- відрізування (рис. 2.1 а) – повне відділення частини заготовки по незамкненому контуру; розрізання (рис. 2.1 б) – розділення заготовки на частини по незамкненому контуру;

- вирубубання (рис. 2.1 в) – повне відділення заготовки або деталі від листової заготовки чи профільного матеріалу по

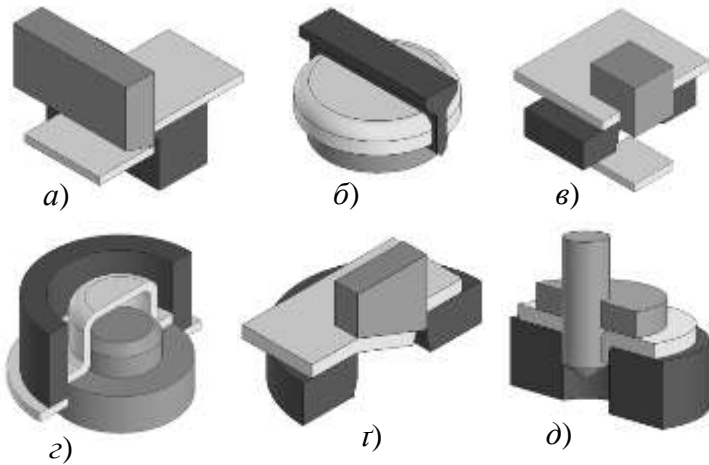


Рисунок 2.1 – Роз'єднувальні операції холодного штампування

замкненому контуру, або пробивання – утворення в заготовці наскрізних отворів і пазів із видаленням матеріалу у відхід;

- обрізування (рис. 2.1 з) – видалення припуску;
- надрізування (рис. 2.1 г) – неповне відділення частини заготовки;
- проколювання (рис. 2.1 д) – утворення наскрізних отворів у листовій заготовці без видалення матеріалу у відхід (вона також містить елементи змінення форми матеріалу).

Процес різання штампами під час вирубубання, пробивання та інших операцій до певної міри аналогічний процесу різання ножицями. У цьому разі пуансон і матриця є ніби ножами замкненої конфігурації, що мають сполучені різальні кромки. Однак процеси різання істотно відрізняються.

Процес різання штампами також складається з трьох стадій: пружної, пластичної та сколювання.

На першій стадії відбувається пружний вигин металу з легким вичавлюванням його в отвір матриці. У цьому разі напруження в металі не перевищують межі пружності.

На пластичній стадії відбуваються вдавлювання пуансона в метал та видавлювання його в отвір матриці.

Вдавлювання вирубного пуансона відбувається не по всій торцевій поверхні, а лише по кільцевому (або іншій формі в плані) пояску шириною n . Таке саме втискання спостерігається і з боку матриці. Відбитки від локалізованого вдавлювання пуансона та матриці залишаються на вирубаній деталі та відході у вигляді зім'ятої смужки вздовж контуру різання.

Унаслідок локалізованого вдавлювання пуансона в матрицю виникає коловий згинальний момент, утворений силами різання та рівнодійними нормальних напружень.

Під дією колового згинального моменту заготовка зазнає просторового вигину (випинання), за якого на зовнішньому (опуклому) боці заготовки виникає напружений стан розтягнення, а на внутрішньому боці – стиснення.

Безпосередньо під різальною кромкою пуансона створюється напружений стан об'ємного стиснення, а над різальною кромкою матриці – напружений стан радіального розтягнення. Перше більш сприятливе для пластичного стану металу, а друге сприяє виникненню мікротріщин у зоні різання.

До кінця другої стадії напруження поблизу різальних кромок досягають максимальної величини, що відповідає опору металу зрізуванню.

На третій стадії процесу вирубання біля різальних кромок матриці утворюються тріщини сколювання. Після подальшого занурення пуансона тріщини сколювання виникають і біля різальних кромок пуансона. Ця послідовність сколювання підтверджується тим, що блискучий пояс, який відповідає пластичній стадії різання, на відході значно ширший, ніж на деталі.

Тріщини сколювання, спрямовані по лініях найбільших деформацій зсуву (поверхня ковзання), швидко поширюються на внутрішні шари металу і спричиняють відділення вирізуваної деталі.

2.2 Процес різання листового матеріалу

Різання тонкого металу вважають заготівельною операцією. Процес складається з трьох послідовних стадій: пружної, пластичної, сколювання.



Рисунок 2.2 – Зони що на зрізаній поверхні

На зрізаній крайці листа (рис. 2.2) виділяються дві зони, вузька блискуча смужка, відповідає пластичній стадії, і більш широка матова – зона сколювання. Чим більша

швидкість руху штампа, тим тонша блискуча смужка. У першому наближенні можна зазначити, що в разі збільшення швидкості деформації пластичність знижується.

Але це не завжди так. Вплив швидкості деформації під час холодного оброблення тиском значно менший, ніж під час гарячого. Зі збільшенням швидкості деформації особливо різко знижується пластичність деяких магнієвих сплавів, високолегованої сталі та мідних сплавів деяких марок. Менш чутливі до швидкості деформації більшість алюмінієвих сплавів, низьколегована та вуглецева конструкційна сталь [Error! Reference source not found.].

В окремих випадках холодного оброблення тиском за високих швидкостей деформування внаслідок температурного ефекту пластичність може бути більшою, ніж це було за меншої швидкості.

У разі гарячої деформації відбувається процес рекристалізації. Чим вища швидкість деформації і менша швидкість рекристалізації, тим менша пластичність.

Схеми різних конструкцій ножиць та їх використання наведені на рисунках 2.2–2.7.

Гільйотинні та важільні ножиці. Використовують для різання смуг. Кут $\varphi = 1\text{--}12^\circ$, кут різання $\delta = 75\text{--}85^\circ$, задній кут $\alpha = 2\text{--}3^\circ$. Зазор між ножами – від 0,05 мм до 0,2 мм.

Товщина заготовки – до 40 мм (рис. 2.3). Силу різання можна розрахувати за формулою

$$P = L \cdot S \cdot \sigma_{зр},$$

де L – довжина різця;

S – товщина заготовки;

$\sigma_{зр}$ – напруження зрізування, $\sigma_{зр} = (0,6-0,8) \sigma_{в}$.

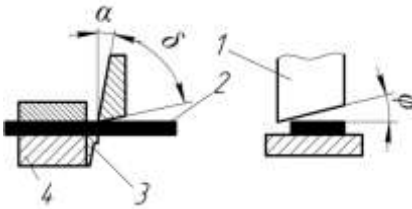


Рисунок 2.3 – Гільйотинні та важільні ножиці

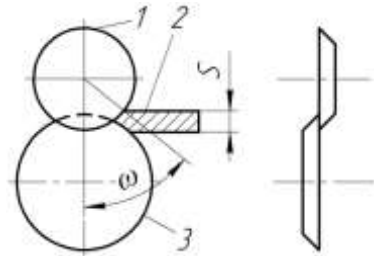


Рисунок 2.4 – Ножиці дискові з паралельними осями

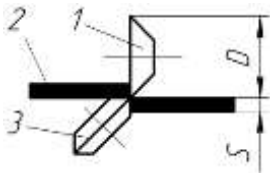


Рисунок 2.5 – Дискові ножиці з похилим нижнім ножем

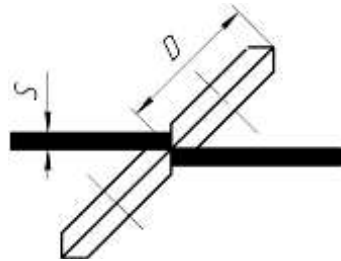


Рисунок 2.6 – Дискові ножиці з двома похилими ножами

Ножиці дискові з паралельними осями. Використовують для різання смуг та круглих заготовок (рис. 2.4). Товщина заготовки S – до 30 мм, діаметр дисків $D = (25-30) S$, ω – кут захоплення.

Дискові ножиці з похилим нижнім ножем. Різання смуг і круглих заготовок. Товщина заготовки – до 30 мм, діаметр дисків $D = 20 S$ (рис. 2.5).

Дискові ножиці з двома похилими ножами. Різання круглих і криволінійних заготовок товщиною до 20 мм, діаметр дисків $D \approx 12 S$ (рис. 2.6).

Вібрувальні ножиці. Різання криволінійних заготовок товщиною до 10 мм. Число ходів – 2 000–25 000 за 1 хвилину, хід ножа – 2–3 мм, $\gamma = 6-7^\circ$ (рис. 2.7).

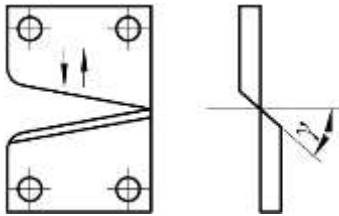


Рисунок 2.7 – Вібрувальні ножиці

Поведінка металу за дуже великих швидкостей деформування, наприклад штампування вибухом, поки що вивчене недостатньо. Досліди показують, що під час штампування вибухом вуглецеві та леговані конструкційні сталі, а також пластичні сплави кольорових металів стають надпластичними.

Для деяких металів і сплавів виявлено критичні швидкості деформації, за яких вони втрачають пластичність і стають крихкими.

Отже, в одних випадках підвищення швидкості деформації збільшує пластичність, а в інших – зменшує [Error! Reference source not found.].

2.3 Механізми та умови пластичної деформації

Елементарним актом пластичної деформації є спрямоване переміщення групи атомів [7]. Повторення елементарного акту призводить до зміни форми та розмірів деформованого тіла. Напрямок переміщення залежить від накладеного поля напружень і структури тіла, що деформується. Залежно від умов групові переміщення атомів можуть істотно відрізнитися, тому виникають різні механізми пластичної деформації.

Розрізняють аморфний механізм, трансляційне ковзання, складне ковзання, міжблоковий механізм, двійникування та міжкристалічну деформацію.

Аморфний механізм стає основним за температур, що наближаються до температур плавлення кристалічних тіл. Цей механізм здійснюється за допомогою послідовного переміщення атомів у напрямку градієнта накладеного поля напружень. Особливістю аморфного механізму є відсутність будь-якої впорядкованості в послідовності переміщень.

Трансляційним ковзанням називають той випадок, якщо під час переміщення атомів немає вигину, скручування, утворення блоків, двійникування. Трансляційне ковзання виникає за початкових, порівняно невеликих ступенів пластичної деформації. З подальшим розвитком пластичної деформації трансляційне ковзання перетворюється на складне ковзання.

Просте ковзання з розвитком пластичної деформації перетворюється на *складне ковзання*. Складне ковзання полягає у накладенні на механізм трансляційного ковзання додаткових явищ кристалографічного та механічного характеру. Це несиметрична переорієнтація областей усередині монокристала зерна, згинання траєкторій ковзання, скручування траєкторій ковзання, подвійне ковзання, порушення цілісності траєкторій ковзання.

У разі фрагментації кристала спостерігається *обертання мікроблоків*. Це стає приводом для несиметричної переорієнтації. Щодо механізму переорієнтації, то він проходить як без участі ковзання, так і за звичайного ковзання по системі паралельних атомних площин. Вигин і скручування поверхонь ковзання є результатом поворотів мікроблоків, які відбуваються в процесі ковзання.

Сутність *міжблокового механізму* полягає в порушенні зв'язків та утворенні мікропорушень на межах блоків. Залежно від умов деформації ці порушення можуть заліковуватися чи накопичуватися, переходячи в макропорушення, що означає появу початкової стадії руйнації. З міжблоковим механізмом тісно пов'язане й утворення блоків. Якщо в монокристалі утворення блоків є результатом пластичної деформації, то в

полікристалі утворення блоків полегшує деформацію полікристала загалом.

Двійникування – це процес, що призводить кристал до незворотної зміни форми за особливого напруженого стану, температури та швидкості деформування.

На противагу зсуву в разі двійникування немає безперервної зміни орієнтування.

Водночас відбувається перехід решітки до нового положення. Розмір пластичної деформації в разі двійникування відносно малий. Додаткові можливості для пластичної деформації, що створюються двійникуванням, швидко вичерпуються.

Описані вище механізми пластичної деформації відбуваються всередині монокристалів або зерен. Однак форма полікристала змінюється не лише за рахунок цих внутрішніх процесів, а й за рахунок переміщень зерен. Одним із видів *між-зеренного механізму* є такий, за якого порушуються зв'язки між зернами не відновлюються або відновлюються за допомогою «схоплювання».

Якщо зв'язки не відновлюються, то за допомогою лише переміщення зерен пластичної деформації не відбувається. У разі відновлення порушених зв'язків спостерігається пластичність. Проте якщо зв'язки не відновлюються повністю, то пошкодження зерен накопичуватимуться і призведе до руйнування.

Значні пластичні деформації за наявності переміщень зерен можуть бути, якщо пошкодження меж зерен відновлюється повністю в процесі самої пластичної деформації. Відновлення порушених зв'язків у зближених атомних шарах може відбуватися за рахунок «схоплювання», рекристалізації, хімічної взаємодії.

Пластична зміна форми кристалічного тіла здійснюється за допомогою різних механізмів. Той чи інший механізм визначається умовами деформації та властивостями тіла. Пластичність речовини тим більша, чим більше механізмів діє

одночасно. Пластична деформація супроводжуються кристалографічними та механічними явищами, а в деяких випадках і хімічними, наприклад утворенням нових фаз. Отже, пластична деформація являє собою складний фізико-хімічний процес, що супроводжується структурними змінами та зміною фізичних та фізико-хімічних властивостей тіла.

Основною особливістю пластичної деформації металів є її неоднорідність. Саме в місцях локалізації пластичної деформації виникають розтягувальні напруження, відбуваються структурні зміни завдяки рекристалізації, утворення нових фаз. У разі деформації ударом вуглецевої сталі в місцях локалізації виникає інша структура – голчастий мартенсит.

Найважливішими умовами пластичної деформації є її механічна схема, температура і швидкість. Пластична деформація може здійснюватися за різних комбінацій напруженого й деформованого стану, що являє собою різні механічні схеми деформації. Механічна схема деформації значною мірою визначає властивості металу в процесі деформування та набуття нових властивостей у результаті деформації. Відповідна механічна схема може значно підвищити пластичність металу.

Дифузійні та кристалографічні процеси, що відбуваються за незворотної зміни форми тіла, порушують його цілісність. Ці порушення можуть «заліковуватися» в процесі деформації. «Заліковування» зменшується за низьких температур і великих швидкостей деформації, тому що знижується робота в зоні взаємодії утворених порушенням цілісності об'ємів. Якщо часу для «заліковування» недостатньо, то накопичення мікропорушень відбувається інтенсивніше, ніж їх «заліковування». Унаслідок цього метал стає крихким, пластичність його зменшується, збільшується опір деформуванню. За температур рекристалізації можливе повне «заліковування» мікропорушень цілісності. Цей процес можливий в інтервалі температур $(0,7-1) T_{пл}$.

Вирішальний вплив на процес деформації має температурно-швидкісний фактор. Це швидкість зміцнювальних процесів і температурний ефект, тобто підвищення температури деформованого тіла в результаті тепла, що виділяється під час пластичної деформації. Тепло, що є результатом роботи пластичної деформації, розсіюється в оточуючому середовищі або залишається в тілі, що деформується. Якщо залишається в тілі, то підвищує його температуру.

Збільшуючи швидкість деформації, можна спостерігати охолодження металу, що деформується, а іноді навіть підвищити його температуру. Тому варіюючи швидкістю деформації, можна послабити або посилити ступінь розміцнення.

Температурний ефект може змінити опір деформуванню, змінити вид процесу деформації, спричинити фазові зміни, змінити властивості та структуру металу. В одних випадках температурний ефект підвищує пластичність металу. В інших випадках температурний ефект призводить до крихкості. Це відбувається внаслідок температурного ефекту як виділення крихких фаз, розплавлення евтектик, оплавлення меж зерен.

На процес пластичної деформації дуже впливає не лише температурно-швидкісний фактор, а й ступінь деформації. Чим вищий ступінь деформації, тим більша швидкість рекристалізації. Підвищення ступеня деформації знижує температуру початку та кінця рекристалізації. Таким чином, підвищення ступеня деформації впливає на процес пластичної деформації в тому самому напрямку, як і зниження швидкості деформації під час ізотермічного процесу пластичної деформації.

2.4 Операції змінювання форми

Операція змінювання форми – оброблення тиском, унаслідок цього заготовці за допомогою пластичної деформації матеріалу надають заданої форми.

Вигин (рис. 2.8 а) – утворення або зміна кутів між частинами заготовки або надання їй криволінійної форми.

Щоб під час вигинання не виникали тріщини, задирки, які утворюються під час вирубування, повинні бути спрямовані усередину кута вигину. Для запобігання тріщинам заготовки, які будуть вигинати з малим радіусом, розміщують на металі таким чином, щоб лінія вигину проходила поперек чи під кутом до напрямку волокон прокату.

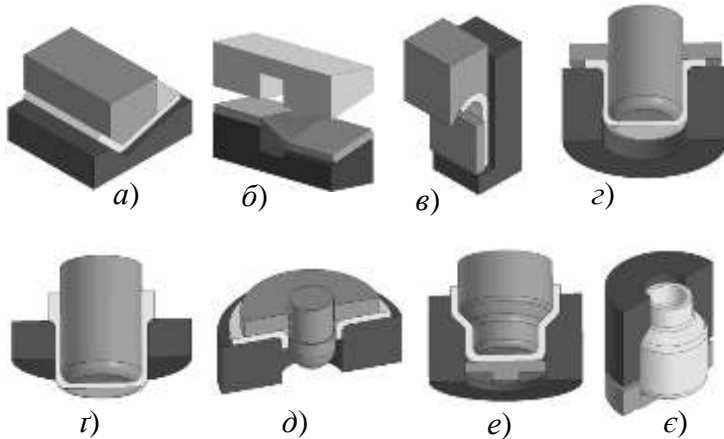


Рисунок 2.8 – Формозмінювальні операції холодного листового штампування

Скручування (рис. 2.8 б) – поворот частини заготовки навколо поздовжньої осі.

Загортання (рис. 2.8 в) – утворення заокруглених бортів на краях плоскої або порожнистої заготовки.

Витягування (рис. 2.8 г) – утворення порожнистої заготовки чи деталі з плоскої або порожнистої листової заготовки.

Витягування із потоншенням (рис. 2.8 г) – витягування із заданим потоншенням стінок.

Відборткування (рис. 2.8 д) – утворення борту по внутрішньому або зовнішньому контуру листової заготовки.

Роздавання (рис. 2.8 е) – збільшення периметра порожнистої заготовки.

Обтискування (рис. 2.8 ϵ) – зменшення периметра порожнистої заготовки.

До операцій змінювання форми також належать: рельєфне формування (утворення рельєфу в листовій заготовці з її місцевою деформацією); рельєфна чеканка (утворення рельєфних зображень на деформованому матеріалі); кернування (рельєфна чеканка точкових поглиблень); правлення (усунення спотворень форми заготовки за допомогою пластичної деформації).

Вплив зовнішніх сил на тверде тіло спричиняє зміни його форми і розмірів. Для оцінювання величини зміни використовують поняття деформації. Змінювання форми відбувається внаслідок пластичної деформації.

Деформації бувають лінійні, кутові, поверхневі та об'ємні [Error! Reference source not found.]. Ці види деформацій характеризують як елементарний об'єм, так і все тіло. Розрізняють абсолютні, відносні та логарифмічні деформації. Абсолютна деформація відображає абсолютну зміну будь-якого розміру. Відносну деформацію визначають як відношення абсолютної зміни будь-якого параметра до початкового значення цього параметра. Логарифмічна деформація є натуральним логарифмом відношення зміненого розміру до початкового розміру твердого тіла.

Лінійні деформації – це змінювання якогось одного розміру. Кутові деформації характеризують змінювання кута між якими-небудь двома лініями на деформованому тілі. Поверхневі деформації показують змінювання площі на поверхні тіла. Що стосується об'ємних деформацій, то вони настільки незначні (навіть існує умова «нестиснення»), що під час пластичного оброблення металів у промисловості на них можна не зважати. Якщо внаслідок пластичної деформації відбуваються потоншення листа товщиною S , подовження в радіальному напрямку r , стиснення в діаметральному напрямку, то дійсні деформації: $\epsilon_r = \ln\left(\frac{r}{r_0}\right)$, $\epsilon_S = \ln\left(\frac{S}{S_0}\right)$, $\epsilon_d = \ln\left(\frac{d}{d_0}\right)$. За

умови нестиснення $\varepsilon_r + \varepsilon_S + \varepsilon_d = 0$, або $\ln\left(\frac{r}{r_0}\right) + \ln\left(\frac{S}{S_0}\right) + \ln\left(\frac{d}{d_0}\right) = 0$. І, отже, $\frac{r}{r_0} \cdot \frac{S}{S_0} \cdot \frac{S}{S_0} = 1$.

Якщо деформація, спричинена зовнішніми силами, зникає в разі зняття навантаження, і тіло повністю відновлює свої форми та розміри, то таку деформацію називають пружною. Якщо ж у разі зняття зовнішнього навантаження тіло не повністю відновлює свої вихідні форми, то таку деформацію називають пластичною. Пружна і пластична деформації відбуваються без руйнування тіла.

Пластичність можна оцінювати максимальною величиною пластичної деформації, яку можна одержати без руйнування тіла.

Будь-яка деформація, пружна чи пластична, здійснюється у твердих тілах за відносного зміщення атомів.

В умовах пластичної деформації є як пластична складова, так і пружна.

За кутової деформації, наприклад вигину, процес проходить через зону пружності (рис. 2.9). Тому після зняття



Рисунок 2.9 – Залежність між σ та ε

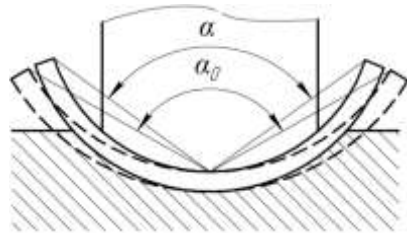


Рисунок 2.10 – Збільшення кута після зняття навантаження

навантаження відбувається кутова зміна в бік збільшення кута (рис. 2.10). Кут пружинення $\beta = \alpha_0 - \alpha$ визначається аналітично чи (переважно) за допомогою випробувань та вимірювання.

Найлегше визначити кут пружинення за дослідом (він різний залежно від матеріалу, від налагодження преса, тощо).

Для компенсації кута пружинення, необхідно зменшити кут пуансона на β . Схема вигину кутового профілю показана на рисунку 2.11.

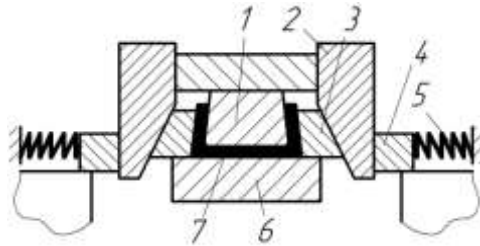


Рисунок 2.11 – Схема штампа для вигину кутового профілю:
 1 – пуансон; 2 – клин; 3 – повзун для бокового пригинання
 полиць; 4 – упор; 5 – пружини; 6 – опорна плита; 7 – деталь

Під час виготовлення деталей із малою кривизною звичайний метод застосовувати не можна. Деталі будуть розпрямлятися, тому використовують вигин із розтягуванням.

2.5 Штампувальні елементи

У результаті виконання штампувальних операцій на заготовці утворюються різні штамповані елементи, поєднання яких забезпечує отримання заданих деталей. На практиці



Рисунок 2.12 – Відбортування: а) нормальне; б) кутове;
 в) тарілчасте; г) глухе

листового штампування найбільш часто використовують штамповані елементи, показані на рисунках 2.12–2.16.

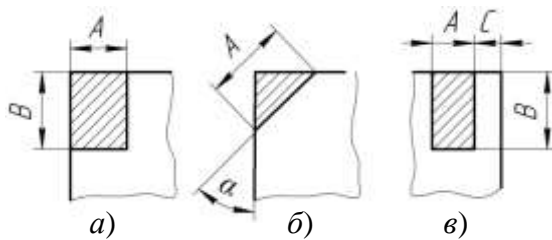


Рисунок 2.13 – Зрізування кутів: а) прямий внутрішній кут; б) прямолінійна фаска; в) внутрішній прямокутний паз

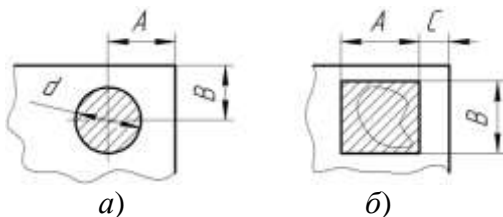


Рисунок 2.14 – Утворення отворів: а) круглий отвір; б) прямокутний або фігурний отвір

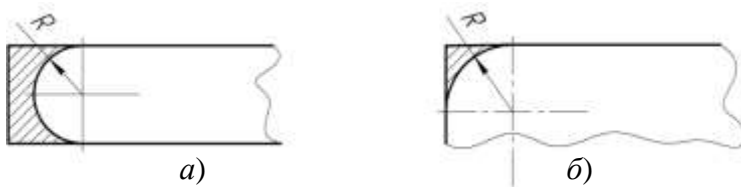


Рисунок 2.15 – Утворення заокруглень: а) дуга 180° ; б) дуга 90°

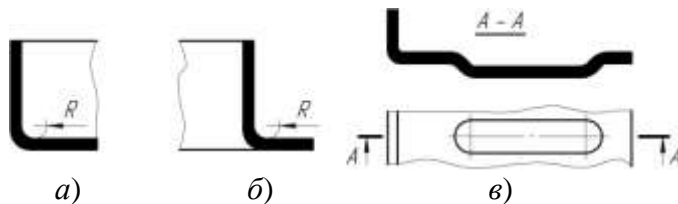


Рисунок 2.16 – Борт: а) випуклий; б) ввігнутий; в) рифлення

2.6 Методи комбінованого штампування

Прості, елементарні операції застосовують зрідка, тому що це економічно не вигідно. Отже, використовують методи комбінованого штампування, що об'єднують кілька таких операцій. Значить повинна бути спеціальна конструкція штампа, що дозволяє їх об'єднувати.

За способом виконання комбіноване штампування поділяють на три групи:

- поєднане;
- послідовне;
- поєднано-послідовне.

За поєднаного штампування з однієї установки заготовки і за один хід преса виконують кілька різних операцій. На рисунку 2.17: 1 – пробивальний пуансон; 2 – вирубувальний пуансон; 3 – знімач; 4 – оброблюваний матеріал (смуга); 5 – вирубувальна матриця; 6 – пробивальна матриця; 7 – пружина.

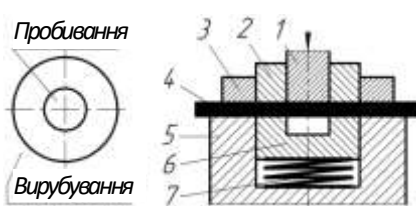


Рисунок 2.17 – Схема процесу поєднаного штампування

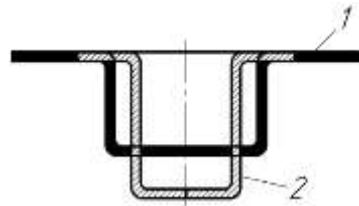


Рисунок 2.18 – Схема послідовного витягування

Послідовне штампування складається з кількох різних переходів. Вони здійснюються послідовно окремими пуансонами під час переміщення заготовки між ними. Кожний пуансон вимагає свого ходу преса (рис. 2.18).

Послідовний штамп для виготовлення чаші показаний на рисунку 2.19. До верхньої плити 1 прикріплений тримач пуансонів 6, у якому запресовані пуансони: першого витягування 9, другого – 8, пробивання 17, вирубування 10. Усі пуансони спираються на загартовану опорну плиту 7. По

пуансонах ковзає плита притискання 5, що підтримується гвинтами 10 і здійснює притискання (і знімання з пуансонів) стрічки під дією пружин 4. На нижній плиті 15 закріплена матриця 19, у якій запресована матриця-вставка 16 і розміщені

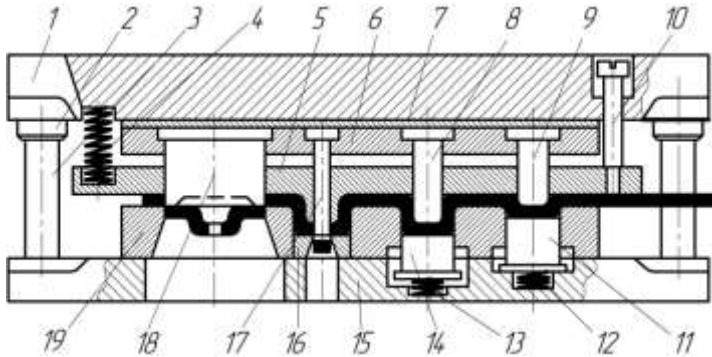


Рисунок 2.19 – Штaмп для послідовного витягування і вирубувaння чaші

виштовхувачі 11 і 14, що прагнуть зайняти крайнє верхнє положення під дією пружин 12 і 13.

Спрямування верхньої плити забезпечується колонками 3 і втулками 2. Стрічка послідовно рухається вперед, і в ній виконують перше й друге витягування, потім у дні витягнутої деталі пробивається отвір, і на останній операції вирубуеться готова деталь.

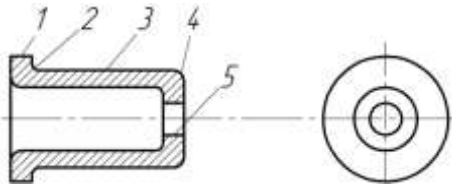


Рисунок 2.20 – Схема поєднано-послідовного штампувaння:
1, 5 – поєднaнa; 2, 3, 4 – послідовнa

За поєднано-послідовного штампувaння в одному штампі об'єднуються поєднаний і послідовний процеси (рис. 2.20).

Конструкція штампа ускладнюється. Холодне листове штампування застосовують у масовому, серійному та одиничному виробництвах.

Характеристикою типу виробництва є кількість операцій, закріплених за пресом (табл. 2.1).

Таблиця 2.1– Тип виробництва

Тип виробництва	Масове	Велико-серійне	Серійне	Дрібно-серійне	Одиничне
Кількість операцій	1–3	4 –10	11–30	31–100	> 100

Контрольні питання

1. Що таке операція розділення?
2. Стадії процесу різання.
3. Що таке відрізування?
4. Що таке вирубування?
5. Що таке надрізування?
6. Що таке проколювання?
7. Як швидкість деформації впливає на пластичність металу?
8. Аморфний механізм пластичної деформації
9. Як виникає трансляційне ковзання?
10. Сутність міжблокового механізму пластичної деформації.
11. Змінювання форми за рахунок переміщення зерен.
12. Умови пластичної деформації.
13. Що таке логарифмічні деформації?
14. Схеми різних конструкцій ножиць.
15. Механізми пластичної деформації.
16. Вплив на процес деформації температурно-швидкісного чинника.
17. Що таке операція змінювання форми?
18. Які бувають операції змінювання форми?
19. Що таке відносна й логарифмічна деформації?
20. Що таке кут пружинення?
21. Штампувальні елементи.
22. На які групи поділяється комбіноване штампування?
23. Що таке поєднане штампування?
24. Що таке послідовне штампування?
25. Тип виробництва під час штампування.

3 ПРОЄКТУВАННЯ ЗАГОТОВОК

3.1 Загальні технологічні вимоги до заготовки, що підлягає вигину

Вигин здійснюється внаслідок пружно-пластичної деформації. Шари металу всередині кута вигину стискаються в поздовжньому напрямку (рис. 3.1) і розтягуються – в поперечному. Зовнішні шари розтягуються в поздовжньому і стискаються в поперечному напрямках.

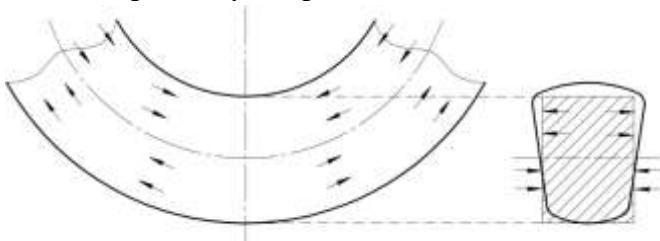


Рисунок 3.1 – Рух шарів матеріалу при вигині

Вирубубання заготовок, що підлягають вигину з малим радіусом, виконують за такого розміщення на смузі, щоб лінія вигину проходила поперек чи під кутом до напрямку волокон прокату. Інакше можливі тріщини. За великих радіусів напрямок волокон може бути будь-яким (для м'якої сталі малий радіус $r < (0,5-1)$ мм).

Вирубубання заготовок несиметричного контуру здійснюють у такому напрямку, щоб під час вигину задирки були спрямовані всередину кута вигину. Інакше утворяться тріщини.

Заготовку бажано піддавати віброгалтуванню для видалення задирок або видаляти їх іншим способом.

3.2 Витягування листових металів

Витягування – це процес перетворення плоскої заготовки на порожнисту деталь будь-якої форми. Його виконують у

витагувальних штампах. Розглянемо схему витагування циліндричної деталі з плоскої заготовки й послідовність переміщення металу в процесі витагування (рис. 3.2). Нехай процес передбачає чотири етапи. У результаті відбувається поступове зменшення зовнішнього діаметра фланця.

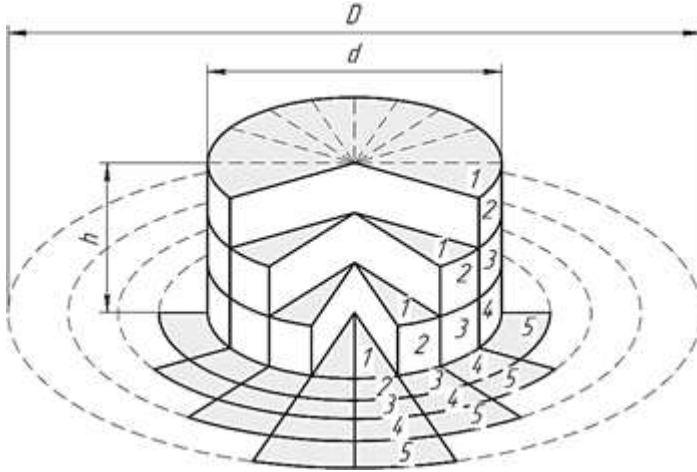


Рисунок 3.2 – Послідовність переміщення металу в процесі витагування

Під час витагування кільцева частина заготовки $(D - d)$ перетворюється на циліндр діаметром d і висотою h . Об’єм металу внаслідок витагування не змінюється, тому висота деталі

$$h = \frac{D^2 - d^2}{4d}.$$

Витагування відбувається за рахунок пластичної деформації. У разі невеликої товщини матеріалу зміщений об’єм є причиною утворення гофрів (хвиль) на деталі. Для запобігання утворенню гофрів застосовують притискання заготовки тримачем складок. Глибоке витагування виконують за дві стадії (рис. 3.3). На верхніх схемах I – початкова стадія витагування,

що складається з локальної деформації кільцевої ділянки *a* за затиснутого фланця.

На цій стадії відбувається розтягування кільцевої ділянки *a*.

Потім починається II стадія. Тягове зусилля перевищує силу затискання фланця й починається рух – витягування фланця.

За технологією методи витягування поділяють відповідно до виду напруженого стану деформованої частини заготовки.

Виділяють три основних методи витягування [15]:

1. Витягування порожнистих деталей способом перетворення плоского фланця на циліндричну чи коробчасту

форму в результаті створення у фланці плоского напруженого стану за схемою стиснення-розтягнення. Цей метод передбачає витягування циліндричних, овальних, коробчастих та інших деталей із вертикальними чи злегка похилими стінками. Його застосовують до металу підвищеної пластичності й низької міцності (сталі 08, 10 у відпаленому стані).

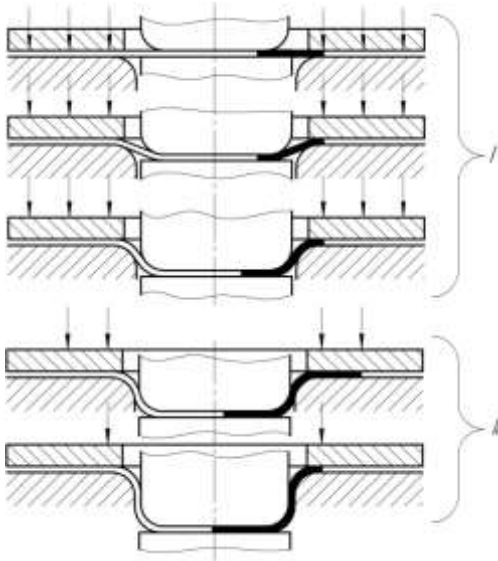


Рисунок \ 3.3 – Послідовність процесу глибокого витягування з притискуванням заготовки

витягувальними (гальмовими) ребрами (нерівномірним напруженням). У такому разі під притискачем переважають розтягувальні напруження та деформації, а в іншій частині

2. Витягування сферичних, криволінійних і складної форми деталей у штампах із

заготовки виникає напружений стан двобічного розтягування. Другий метод потребує високої пластичності й підвищеної міцності матеріалу (наприклад, сталь X18H9T).

3. Витягування еластичною матрицею, за якого знижується розтягувальне напруження у вогнищі деформації, внаслідок цього полегшується процес. Третій метод застосовують до металу без підвищених механічних властивостей.

Визначення розмірів і форми заготовок під час витягування базується на основному правилі – рівності об'ємів заготовки й готової деталі. Здебільшого зміни товщини матеріалу ($\ln(S/S_0) = 0$) не враховують і визначають розміри заготовки за рівністю площ поверхні заготовки та готової деталі з припуском на обрізування.

Якщо відбувається велике стоншення стінок, то розрахунок виконують за рівністю об'ємів заготовки й виробу.

На практиці трапляється таке витягування, що потребує різних способів підрахунку розмірів заготовок:

- витягування круглих деталей простої форми;
- витягування круглих деталей складної форми;
- витягування прямокутних коробчастих деталей;
- витягування деталей складної та несиметричної конфігурацій;
- витягування з потоншенням матеріалу.

Геометрична форма деталі – побічна ознака. Згідно з нею всі порожнисті деталі поділяють на три групи: тіла обертання, коробчастої форми, складної несиметричної форми.

Кожна з цих груп може мати кілька різновидів. Наприклад, тіла обертання можуть бути циліндрами, конусами, гладкими, східчастими і т. ін.

3.3 Витягування круглих деталей

У результаті витягування круглих деталей простої форми заготовка має форму кола, діаметр якого визначають за формулою

$$D = 1,13\sqrt{F}, \quad (3.1)$$

де $F = \sum f$ – площа поверхні готової деталі, що дорівнює сумі площ окремих поверхонь.

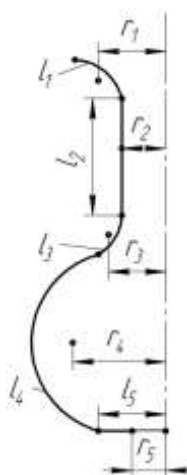


Рисунок 3.4 – Профіль деталі

У довідниках наведені формули для розрахунку f . Припуски на обрізування також зазначені в таблицях довідників.

Діаметри заготовок для витягування деталей складної форми визначають згідно із правилом Гюльдіна – Паппа: «Площа поверхні тіла обертання, утвореного кривою довільної форми внаслідок її обертання навколо осі, розміщеної в тій самій площині, дорівнює добутку довжини кривої на довжину кола, описаного її центром ваги»:

$$F = 2\pi \cdot R_s \cdot L,$$

де L – довжина твірної;

R_s – відстань від осі до центра ваги.

$$F = F_{\text{загот}}, \quad 2\pi \cdot R_s \cdot L = \pi \frac{D^2}{4}.$$

У такому разі діаметр заготовки визначають як

$$D = \sqrt{8L \cdot R_s} = \sqrt{8 \sum l_i \cdot r_i}. \quad (3.2)$$

Алгоритм визначення діаметра заготовки [6] такий:

1. Лінію контуру деталі розбивають на ділянки – прямі відрізки й дуги (рис. 3.4).

2. Центр ваги кожної ділянки позначають точкою (відрізка – посередині, дуги – положення розрахувати чи взяти за таблицею).

3. Визначають довжину кожної з ділянок l_i .

4. Визначають відстані центрів ваги до осі обертання r_i .

5. Перемножують l_i на r_i та обчислюють суму:
 $\sum l_i r_i = l_1 r_1 + \dots + l_n r_n$.

6. За цією сумою (чи з таблиці) за формулою $D = \sqrt{8 \sum l_i r_i}$ визначають діаметр заготовки.

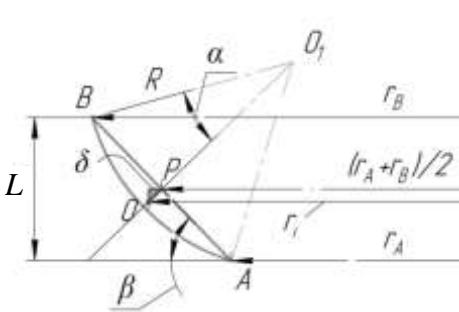


Рисунок 3.5 – Схема для визначення відстані від центра ваги дуги до осі обертання

Відстань від центра ваги дугової ділянки профілю до осі, навколо якої вона обертається, можна визначити таким способом. Нехай R – радіус дуги профілю; r_A , r_B – відстані від крайніх точок дуги профілю (A і B) до осі, навколо якої вона обертається; L –

відстань між тими самими точками вздовж осі обертання (рис. 3.5). Половина хорди, що проходить через точки A і B , дорівнює

$$\frac{AB}{2} = \frac{\sqrt{L^2 + (r_B - r_A)^2}}{2}, \quad (3.3)$$

а відстань від центра дуги O_1 до цієї хорди

$$O_1P = \sqrt{R^2 - \frac{L^2 + (r_B - r_A)^2}{4}}. \quad (3.3)$$

Кут між відрізком O_1P й радіусом у точці B дорівнює

$$\alpha = \arcsin \left(\frac{\sqrt{L^2 + (r_B - r_A)^2}}{2R} \right). \quad (3.5)$$

Відстань від центра дуги O_1 до центра її ваги можна визначити за формулою

$$OO_1 = R \frac{\sin \alpha}{\alpha}, \quad (3.6)$$

де α – у радіанах.

Різниця між відрізками OO_1 та $O_1P - \Delta$. Тоді відрізок $\delta = \Delta \sin \beta$. Кут β можна визначити за значеннями r_B, r_A, l :

$$\beta = \arcsin \left(\frac{L}{\sqrt{L^2 + (r_B - r_A)^2}} \right). \quad (3.7)$$

Тоді відстань від центра ваги до осі обертання

$$r_i = \frac{r_A + r_B}{2} \pm \delta, \quad (3.8)$$

де (+) – для випуклої поверхні, (-) – для ввігнутої поверхні.

Відповідно до цього можна записати вираз для визначення

Кількість дуг на профілі: 3 $i=0..2$

Параметри дуг профілю:

$$r_B := \begin{bmatrix} 45 \\ 61.666667 \\ 61.666667 \end{bmatrix} \quad r_A := \begin{bmatrix} 65 \\ 45 \\ 45 \end{bmatrix} \quad L := \begin{bmatrix} 20 \\ 17.445764 \\ 198.60133 \end{bmatrix} \quad R := \begin{bmatrix} 20 \\ 20 \\ 100 \end{bmatrix}$$

Дуга випукла – (+1), дуга ввігнута – (-1): $\mu := \begin{bmatrix} -1 \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix}$

Визначення відстані від центра ваги дуги профілю до осі обертання:

$$\beta_i := \arcsin \left(\frac{L_i}{\sqrt{(L_i)^2 + (r_{B_i} - r_{A_i})^2}} \right) \quad \alpha_i := \arcsin \left(\frac{\sqrt{(L_i)^2 + (r_{B_i} - r_{A_i})^2}}{2 \cdot R_i} \right)$$

$$rd_i := \left(\frac{(r_{A_i} + r_{B_i})}{2} \right) + \mu_i \cdot \sin(\beta_i) \cdot \left(R_i \cdot \frac{\sin(\alpha_i)}{\alpha_i} - \sqrt{R_i^2 - \frac{(L_i)^2 + (r_{B_i} - r_{A_i})^2}{4}} \right)$$

Загальна кількість прямих відрізків і дуг на профілі: 5 $j=0..4$

$$l := \begin{bmatrix} 31.415927 \\ 61.678404 \\ 28.066965 \\ 297.414457 \\ 45 \end{bmatrix} \quad r := \begin{bmatrix} rd_0 \\ 45 \\ rd_1 \\ rd_2 \\ 22.5 \end{bmatrix}$$

Діаметр заготовки:

$$D := \sqrt{8 \cdot \sum_{j=0}^4 (l_j \cdot r_j)} \quad D = 566.508$$

Рисунок 3.6 – Приклад визначення діаметра заготовки в середовищі «Mathcad»

відстаней від центрів ваги дуг профілю до осі, навколо якої вони обертаються:

$$r_i = \frac{r_A + r_B}{2} \pm \sin \beta \cdot \left(R \frac{\sin \alpha}{\alpha} - \sqrt{R^2 - \frac{L^2 + (r_B - r_A)^2}{4}} \right). \quad (3.9)$$

Кути α і β можна визначити за формулами (3.5), (3.7). Код розрахункової програми наведений на рисунку 3.6.

3.4 Витягування круглих високих коробок

Під час багатоопераційного витягування високих коробок заготовка має форму круга.

Приклад. Розрахувати кількість операцій і розміри переходів для витягування циліндричної деталі зовнішнім діаметром $d_3 = 92$ мм і висотою $h = 202$ мм зі сталі 08 товщиною $S = 2$ мм із круглої заготовки діаметром D (рис. 3.7).

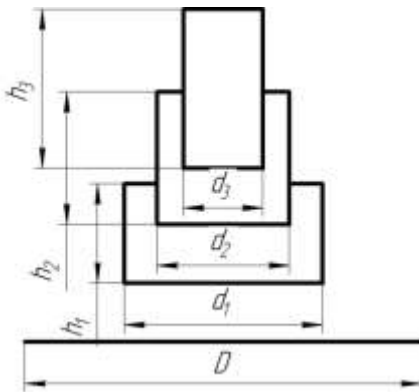


Рисунок 3.7 – До розрахунку процесу витягування

Розрахунковий діаметр по середній лінії

$$d_p = 92 - 2 = 90 \text{ мм.}$$

Визначаємо припуск на обрізування (за табл. 3.1). Для відношення $h/d_p = 202/90 \approx 2,24$ припуск дорівнює 8 мм. Таким чином, висота деталі з припуском на обрізування дорівнює

$$h_p = 202 + 8 = 210 \text{ мм.}$$

Використовуючи електронну 3-D модель деталі (d_p , h_p), визначаємо площу її поверхні F , що дозволяє розрахувати діаметр заготовки за формулою 3.1:

$$D = 1,13\sqrt{F}.$$

За $d_p = 90$ мм й $h_p = 210$ мм діаметр $D = 293,24$ мм.

Знаходимо відносну товщину заготовки:

$$\frac{S}{D} \cdot 100 = \frac{2}{293,24} \cdot 100 = 0,68 \%$$

Таблиця 3.1 – Припуски по висоті на обрізування циліндричних деталей без фланця

Повна висота деталі, мм	Відносна висота деталі, h/d_p			
	0,5–0,8	0,8–1,6	1,6–2,5	2,5–4,0
10	1,0	1,2	1,5	2,0
20	1,2	1,6	2,0	2,5
50	2,0	2,5	3,3	4,0
100	3,0	3,8	5,0	6,0
150	4,0	5,0	6,5	8,0
200	5,0	6,3	8,0	10,0
250	6,0	7,5	9,0	11,0
300	7,0	8,5	10,0	12,0

Витягування круглих високих коробок відбувається за декілька етапів (див. рис. 3.7). У таблиці 3.2 наведені оптимальні значення коефіцієнтів витягування циліндричних деталей без фланця для п'яти послідовних етапів (під час витягування з притисканням) залежно від відносної товщини заготовки для сталей 08, 10Г, 15Г, м'якої латуні та аналогічних їм сплавів. Із цієї таблиці визначаємо коефіцієнти витягування:

$$m_1 = 0,52 - 0,56 \approx 0,54;$$

$$m_2 = 0,74 - 0,76 \approx 0,75;$$

$$m_3 = 0,76 - 0,78 \approx 0,77;$$

$$m_4 = 0,78 - 0,8 \approx 0,79.$$

Тоді діаметри переходів по середній лінії дорівнюють:

$$d_1 = 293,24 \cdot 0,54 = 158 \text{ мм}; \quad d_2 = 158 \cdot 0,75 = 118 \text{ мм};$$

$$d_3 = 118 \cdot 0,77 = 90,86 \text{ мм}.$$

Але за умовою задачі визначено, що $d_p = 90$ мм. Уточнюємо коефіцієнт $m_3 = 90/118 = 0,763$. Це може бути. Отже, одержуємо деталь за три операції.

Підраховуємо міжопераційну висоту деталей, що витягуються, за формулою $h_i = \frac{F}{(\pi d_i)} - d_i/4$: $h_1 = 93$, $h_2 = 148$, $h_3 = 210$.

Результати одержаних підрахунків є вихідними даними для проектування штампів, а також для визначення зусилля витягування та вибору преса.

Таблиця 3.2 – Коефіцієнти витягування для циліндричних деталей без фланця

Коефіцієнт витягування	Відносна товщина заготовки (S/D),%				
	0,06–0,2	0,2–0,5	0,5–1,0	1,0–1,5	1,5–2,0
m_1	0,58–0,60	0,56–0,58	0,52–0,56	0,50–0,53	0,46–0,50
m_2	0,78–0,80	0,76–0,78	0,74–0,76	0,72–0,74	0,70–0,72
m_3	0,80–0,82	0,78–0,80	0,76–0,78	0,74–0,76	0,72–0,74
m_4	0,82–0,84	0,80–0,82	0,78–0,80	0,76–0,78	0,74–0,76
m_5	0,84–0,86	0,82–0,84	0,80–0,82	0,78–0,80	0,76–0,78

Контрольні питання

1. Схема витягування циліндричної деталі з плоскої заготовки.
2. Що таке гофри на деталі під час витягування?
3. Стадії під час глибокого витягування.
4. Що відбувається на першій стадії глибокого витягування?
5. Витягування в результаті створення у фланці плоского напруженого стану.
6. Витягування в штампах із витягувальними ребрами.
7. Витягування еластичною матрицею.
8. Правило рівності об'ємів заготовки і готової деталі.
9. На які групи поділяють деталі за формою?
10. Яку форму має заготовка для витягування круглих деталей?
11. Правило Гюльдіна – Паппа.
12. Як «розділяють» лінію контура деталі під час проектування заготовок для витягування круглих деталей?
13. Як визначають центр ваги примітива, що входить до лінії контуру?
14. Чому дорівнює відстань від центра ваги до осі обертання?
15. Формула для визначення відстані від центра дуги до центра її ваги.
16. Алгоритм визначення діаметра заготовки.
17. Формула для визначення діаметра заготовки.

18. Припуск на обрізування під час витягування високих коробок.
19. Форма заготовки під час витягування високих коробок.
20. Що таке коефіцієнти витягування циліндричних деталей на переходах?
21. Як визначають діаметри переходів?
22. Уточнення коефіцієнта витягування на останньому переході?
23. Визначення висоти деталі на кожному переході під час витягування.

4 КОНСТРУЮВАННЯ ШТАМПІВ

4.1 Класифікація штампів

Штampi класифікують за трьома ознаками:

- технологічною (за родом та суміщеністю операцій);
- конструктивною (без напрямних і з напрямними).
- експлуатаційною (подавання заготовок і видалення відходів).

Технологічна ознака – це суміщеність операцій: одноопераційні (або прості) і багатоопераційні (комбіновані штampi).

Комбіновані штampi бувають:

- послідовної дії;
- сполученої дії;
- послідовно-сполученої дії.

Конструктивна ознака – це штampi без напрямних і штampi з напрямними. Штampi без напрямних, або пінцетні, (рис. 4.1) прості, але не надійні. Їх застосовують у дрібносерійному і дослідному виробництвах.

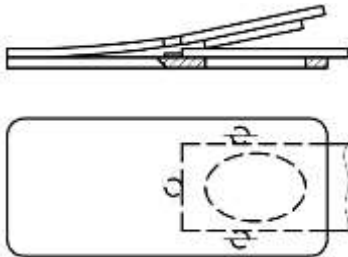


Рисунок 4.1 – Схема штампів без напрямних

Штampi з напрямними більш складні, але надійні в експлуатації, мають більш високу стійкість. Їх застосовують у великосерійному і масовому виробництвах.

Експлуатаційна ознака – це спосіб подавання й установлення заготовки (ручний або автоматичний) і спосіб видалення деталей:

- провал через отвори матриці;
- зворотна вставка у стрічку і видалення разом із нею;

- зворотне виштовхування на поверхню штампа і ручне видалення;
- зворотне виштовхування й автоматичне видалення.

4.2 Типові вузли штампів

Усі деталі можуть бути поділені на дві групи: деталі технологічного призначення, деталі конструктивного характеру.

Перші безпосередньо беруть участь у виконанні операції і контактують із матеріалом і виробом. Другі призначені для монтажу й складання [6].

Основні вузли штампів – це комплекти верхніх і нижніх основ із напрямними пристроями, так звані блоки й пакети.

Блоки – комплекти верхніх і нижніх основ штампів, зв’язаних напрямними пристроями (колонки, планки, циліндри). Блоки бувають індивідуальними (призначеними для окремих штампів) та універсальними (для змінних пакетів).

Пакети – верхні й нижні комплекти штампів із пуансоно-тримачами, пуансонами, матрицями, знімачами. Пакети встановлюють на стандартних блоках.

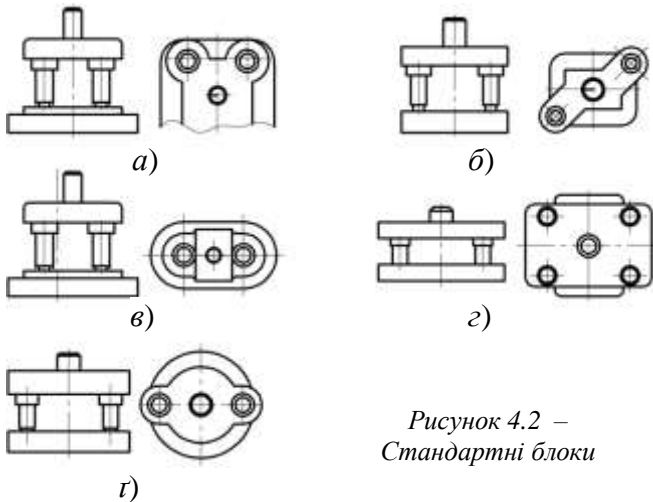


Рисунок 4.2 –
Стандартні блоки

Блоки.

1 Із заднім розміщенням напрямних колонок, відстань між якими 60–500 мм (рис. 4.2 *а*). Застосовують для звичайного штампування деталей середньої складності й точності зі смугових і штучних заготовок (вирубубвання, пробивання, вигин, витягування тощо).

2 З діагональним розміщенням напрямних колонок. Відстань між ними також 60–500 мм (рис. 4.2 *б*). Застосовують для штампування більш точних деталей під час роботи зі смугами на швидкохідних пресах.

3 З осьовим (симетричним) розміщенням напрямних колонок на відстані 60–500 мм (рис. 4.2 *в*). Застосовують для штампування дрібних точних деталей зі штучних заготовок.

4 З кутовим розміщенням чотирьох напрямних колонок послідовних штампів (рис. 4.2 *г*).

5 Круглі з осьовим (на відстані 200–1 200 мм) розміщенням напрямних колонок (рис. 4.2 *г*). Застосовують для штампування круглих деталей підвищеної точності зі штучних або смугових заготовок.

4.3 Напрямні елементи

Деякі типи напрямних колонок показані на рисунках 4.3, 4.4. Напрямні колонки бувають гладкі (рис. 4.3 *а*), із

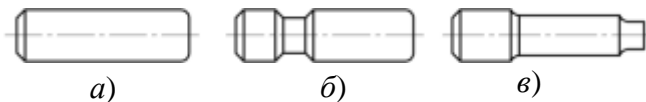


Рисунок 4.3 – Напрямні колонки

проточуванням (рис. 4.3 *б*) і східчасті (рис. 4.3 *в*).

Напрямні планки (рис. 4.4 *а*) і напрямні призми (рис. 4.4 *б*) застосовують для плит досить великих штампів в автомобільній і тракторній промисловостях.

На рисунку 4.4 *в* показана кулькова напрямна. Їх застосовують у прецизійних штампах для штампування дрібних

точних деталей, у штампах із твёрдосплавними різальними частинами. Особливо доцільним є їх використання на пресах-автоматах із підвищеною кількістю ходів.

Застосування кулькових напрямних замість звичайних втулок знижує коефіцієнт тертя, замінюючи тертя ковзання тертям кочення. Переваги кулькових напрямних: немає

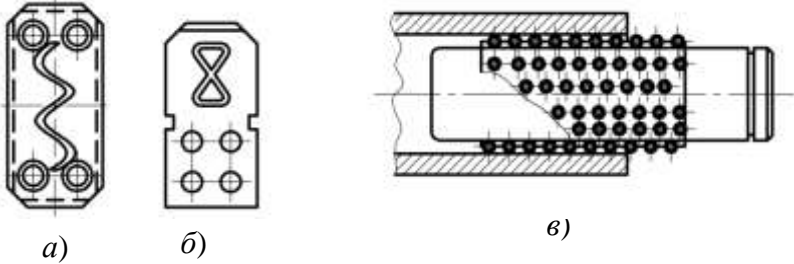


Рисунок 4.4 – Напрямні: а) планкова, б) призматична, в) кулькова

нагрівання, точність переміщення, підвищена стійкість штампів, надійність в експлуатації. У кулькових напрямних зазвичай застосовують підшипникові кульки діаметром 3 мм.

4.4 Формоутворювальні деталі штампів

У штампуванні застосовують велику кількість пуансонів різного технологічного призначення, значна частина з яких не є типовими, а залежить від форми і характеру штампованих деталей.

Можна говорити про спосіб і зручність кріплення пуансонів. Наприклад, пробивні пуанسونи можуть бути із заплічником (рис. 4.5 а), а з розклепаною головкою, обов'язково вимагає застосування сталеві загартованої прокладки між головкою пуансона і плитою штампа.

Пуанسونи, утримувані кульками (рис. 4.5 б), застосовують для швидкої заміни. Змінювання пуансона відбувається без зняття штампа з преса за допомогою натискання через отвір d на кульку.

Пуансони, що закріплюються за допомогою затяжної гайки, застосовують для швидкої їх зміни, але вже в штампах для важких пробивних робіт, коли кріплення кулькою не забезпечить утримання пуансона під час зворотного ходу повзуна (рис. 4.5 в).

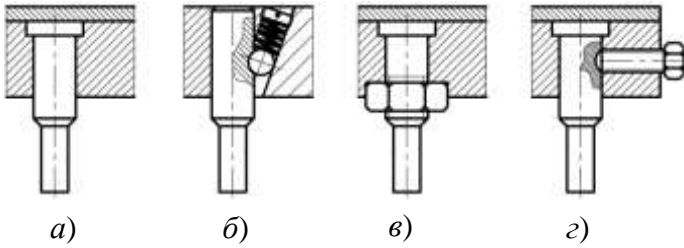


Рисунок 4.5 – Кріплення пуансонів

Кріплення пуансонів за допомогою гвинта використовують під час пробивання квадратних та овальних отворів (рис. 4.5 з).

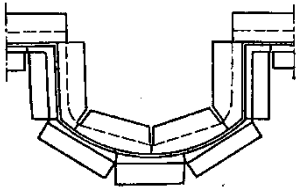


Рисунок 4.6 – Складені різальні кромки

Різальні кромки вирубувальних штамсів можуть бути складеними. Водночас стики пуансонів не повинні збігатися зі стиками матриць, як це показано на рисунку 4.6.

Основним елементом матриці вирубувальних і пробивних штамсів є форма робочого отвору. Форми робочих отворів таких матриць показані на рисунку 4.7. Для вирубання деталей складної конфігурації застосовують отвір із шийкою (рис. 4.7 а). Для

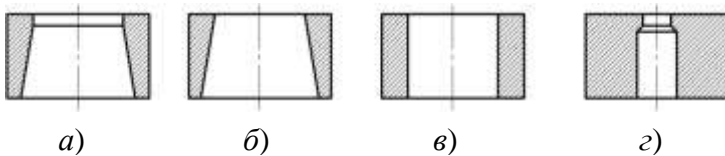


Рисунок 4.7 – Форми робочих отворів матриць

вирубубання невеликих деталей простої конфігурації використовують конусний отвір матриці (рис. 4.7 б).

Під час вирубубання деталей зі зворотним виштовхуванням у штампах сполученої дії і вирубубання великих деталей застосовують призматичний тип отвору (рис. 4.7 в). У круглих вставних матрицях для пробивання отворів діаметром до 25 мм використовують отвори з циліндричним розширенням (рис. 4.7 г).

Конструктивно матриці можуть бути стаціонарними та змінними. Типи змінних матриць показані на рисунку 4.8. Для пробивання невеликих отворів застосовують круглу матрицю, що кріпиться в штампі за допомогою впресовування її в тримач матриці (рис. 4.8 а). Кругла із заплічником (рис. 4.8 б) має таке

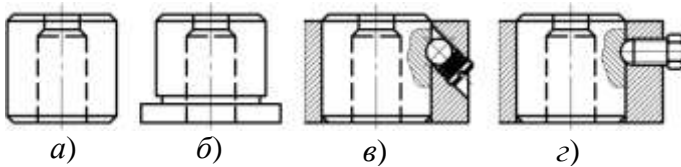


Рисунок 4.8 – Кріплення матриць

саме застосування що й попередня, але потребує меншого зусилля для посадки, тому що вона утримується в отворі заплічниками. Круглу швидкозмінну, з кулькою і пружинкою, застосовують для пробивання отворів у матеріалі товщиною до 6 мм і діаметром до 22 мм (рис. 4.8 в). Для пробивання квадратних та овальних отворів застосовують матрицю, утримувану гвинтом (рис. 4.8 г).

4.5 Фіксувальні деталі штампів

Упори, вловлювачі, фіксатори (трафарети) необхідні для точної фіксації стрічки (упори та вловлювачі) і штучних заготовок.

Конструкція й тип упора визначають точність і продуктивність штампування, а також безпеку роботи.

На рисунку 4.9 показана конструкція коливального упора, який застосовують у вирубувальних штампах із ручним подаванням матеріалу. Упор 1 спочатку впирається робочим кінцем в поверхню матриці. Заготовка притискає робочий кінець за напрямком подавання. У такому положенні й відбувається вирубування. Наприкінці робочого ходу штифт 2 натискає на лопатку упора, піднімаючи її робочий кінець вгору, а пружина повертає його у зворотному напрямку.

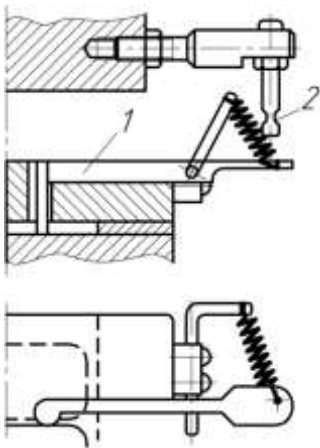


Рисунок 4.9 – Коливальний упор

Під час падіння вниз робочий кінець упора потрапляє в перемичку, не заважаючи її переміщенню, знову фіксується на поверхні матриці, дозволяючи перемістити стрічку на крок подачі.

Уловлювачі використовують у штампах послідовної дії для точної фіксації стрічки, щоб відбувався збіг осей попередньо пробитого отвору і вирізної матриці. Приклад конструкції вловлювача показаний на рисунку 4.10 а. Це стрижневий уловлювач. Він міститься всередині вирубувального пуансона, і перш ніж почне працювати пуансон,

уловлювач увійде в отвір і зорієнтує стрічку щодо осі пуансона.

Фіксатори або трафарети призначені для швидкого й

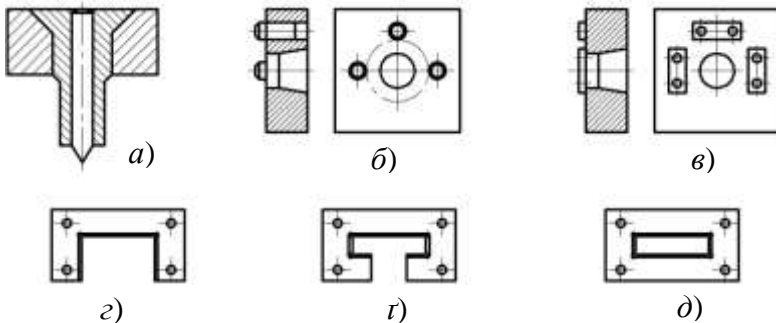


Рисунок 4.10 – Уловлювачі та фіксатори

точного встановлення штучних заготовок по осі матриці та пуансона. Фіксатори можуть бути різної конструкції залежно від конструкції штампа й заготовки. Деякі конструкції фіксаторів показані на рисунку:

- штифтовий фіксатор (рис. 4.10 б);
- складений планчастий фіксатор (рис. 4.10 в);
- цілісний відкритий фіксатор (рис. 4.10 з);
- цілісний напівзакритий фіксатор (рис. 4.10 т);
- цілісний закритий фіксатор (рис. 4.10 д).

4.6 Знімачі та виштовхувачі

Способом знімання і видалення деталей визначають продуктивність та безпеку роботи. Найбільш поширеним способом видалення деталі зі штампа є провал через отвір у матриці. Зворотнє виштовхування використовують лише під час комбінованого штампування деталей великих розмірів.

Деякі конструкції знімачів показані на рисунку 4.11. Жорсткий знімач (нерухомий, відкритий) (рис. 4.11 а). Цей знімач застосовують у дрібносерійному виробництві для грубого вирубання з матеріалу товщиною більше ніж 3 мм.

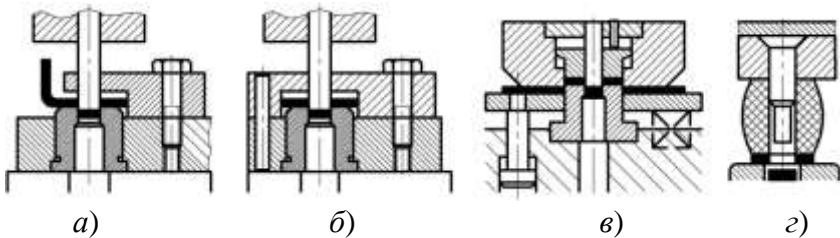


Рисунок 4.11 – Знімачі

Знімач нерухомий, жорсткий, закритий (рис. 4.11 б). Цей вид знімачів застосовують у пакетних штампах, він відіграє роль напрямної для пуансона, безпечний у роботі.

Знімач нижній (рис. 4.11 в). Цей вид знімача використовують під час вирубання з тонкого матеріалу (до

0,2 мм) або під час вирубування великих деталей. Замість пружин можна використовувати гумові буфери.

Рухомий, гумовий, верхній (рис. 4.11 з). Знімач надівають на пуансон або штифт, утримується стиском гуми. Застосовують у серійному виробництві з великою кількістю пуансонів на штампах для вирубування.

4.7 Кріпильні деталі

Кріпильними деталями штампів є гвинти й болти. З'єднувальні гвинти зазвичай лише з циліндричними головками для потайного з'єднання. Переважно застосовують гвинти з шестигранним отвором. У невеликих штампах використовують гвинти зі шліцом.

Орієнтують деталі штампів за допомогою штифтів.

Останнім часом набули великого поширення конструкції штампів, де деталі з'єднуються за допомогою пластмас, що швидко затвердіють.

4.8 Матеріали для деталей штампів

Робочі деталі (матриці й пуансони) зазнають ударного навантаження і сильної концентрації напружень на робочих кромках і поверхнях. Тому матеріал повинний бути твердим і зносостійким за достатньої в'язкості. Для їх виготовлення використовують такі матеріали:

- вуглецеві сталі (до 25 мм) – У8А, У10А, У8, У10 (низьке гартування);
- леговані сталі (\varnothing до 40—50 мм) підвищеного гартування – ШХ15, ШХ9, 9Х, 9ХС, 9ХФ, ХВГ, 9ХВГ, ХГСВФ;
- сталі з високим вмістом хрому (\varnothing до 80 мм) високого гартування та високої зносостійкості, що незначно деформуються під час гартування – Х12Ф1, Х12ф, Х12М, Х6ВФ і ХГЗСВФ;

- леговані сталі підвищеного гартування (за твердості HRC56-58) – 4XC, 6XC, 4XB2C, 5XB2C, 6XB2C, 5XBГ.

Вибір матеріалів для матриць та пуансонів переважно залежить від розмірів деталей.

Інші деталі виготовляють із таких матеріалів:

- плити штампів – чавун СЧ20, СЧ25, сталеве лиття 30Л, 40Л, сталь 40, 50, Ст.5;
- хвостовики – сталь 35, 40; Ст.4, Ст.5;
- колонки напрямні – сталь 20, сталь 45, 50, Ст.2 (цементувати й гартувати);
- втулки напрямні – ШХ15, гартувати до HRC 50—62;
- тримачі пуансонів – сталь 35, 45, Ст.3;
- підкладки під пуансони – сталь 45, Ст.5 (гартувати, якщо можна, до HRC 40);
- знімачі – Ст.3, сталь 25;
- притискачі, напрямні планки, виштовхувачі – сталь 40, 45, Ст.5 (гартувати до HRC 50);
- упори – сталь 45 (гартувати до HRC 40—45);
- уловлювачі – У8А, У7А (гартувати до HRC 50—54);
- штифти – сталь У8 (гартувати до HRC 45—50);
- гвинти – сталь 65М, 60С2 (гартувати до HRC 40—48).

Під час витягування нержавіючої сталі витяжні матриці виготовляють із бронзи БрАЖН10-4-6, щоб виключити налипання.

Для витягування автомобільних кузовів застосовують пластмаси. Найбільшого застосування набули пластмаси на основі епоксидних, фенол-формальдегідних та акрилових смол. Крім того, використовують гуму і поліуретан.

Вигин у поліуретанових штампах дає точні розміри і дозволяє гнути з меншими радіусами заокруглень, а також зменшує величину пружинення матеріалу порівняно з вигином у звичайних штампах, тому що матеріал заготовки перебуває під високим тиском. Суцільні блоки з поліуретану не повинні деформуватися більше ніж на 1/3 товщини. Якщо потрібна велика деформація, то передбачаються канавки, як показано на

рисунку 4.12. Стійкість поліуретанових штампів може бути від 1 000 до 450 000 деталей залежно від складності штампування.

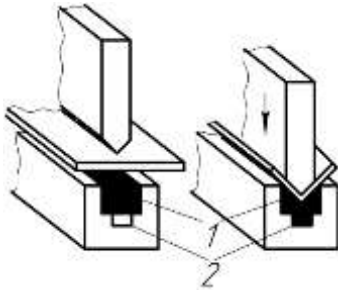


Рисунок 4.12 – Використання поліуретану для вигинального штампів:
1 – поліуретановий брусок; 2 – канавка

У штампах застосовують поліуретан марки СКУ-7Л.

4.9 Технологічні зазори між матрицею й пуансоном

Наявність зазору між матрицею та пуансоном обумовлює відхилення від перпендикулярності поверхні зрізу до площини деталі, зменшує стійкість штампа й підвищує величину опору зрізу. Під час вирубування деталей із матеріалу, товщина якого більше ніж 1 мм, рекомендуються різальні кромки матриці притупляти радіусом 0,05–0,1 мм.

Різниця щодо розміру зазорів для різних матеріалів незначна, до того ж вона практично перекривається коливаннями допусків на виготовлення пуансонів і матриць. Тому під час конструювання вирубувальних штампів рекомендується призначати зазори лише на підставі товщини матеріалу заготовки. Величини цих зазорів наведені в таблицях довідників або визначаються відповідно до товщини заготовки P за такими формулами:

$$S_{\min} = \exp(1,4548 \ln P - 2,7613),$$

$$S_{\max} = \exp(1,3388 \ln P - 2,3163).$$

Круглі матриці та пуансони звичайно виготовляють окремо. Однак за допусків на деталь, вищих від 11-го квалітета пуансон доопрацьовують за матрицею.

4.10 Чистове вирубання, пробивання та відрізання

Звичайне вирубання за допомогою пуансона і матриці дає нерівну, злегка криволінійну поверхню.

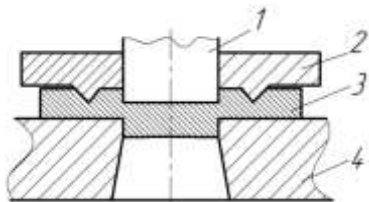


Рисунок 4.13 – Місцеве вдавлювання ребра

Щоб домогтися перпендикулярності поверхні, створюють високий тиск на заготовку 3 і змінюють напружений стан у зоні різання. Створюють стан об'ємного тиску.

Для цього здійснюють місцеве вдавнення клиноподібного ребра, розміщеного на притискачі 2 (рис. 4.13). Після цього взаємодіють матриця 4 і пуансон 1.

Конструктивні параметри ребра (рис. 4.14) залежно від товщини заготовки S можна визначити за допомогою таких формул:

$$a = \frac{1}{\frac{1,3278}{S} + 0,0035S}$$

$$h = 0,004S^2 + 0,438 - \frac{0,393}{\exp(S)}$$

$$b = 0,004S^2 + 0,488 - \frac{0,393}{\exp(S)}$$

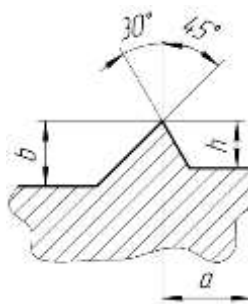


Рисунок 4.14 – Клиноподібне ребро

Вдавнення ребра створює підвищену інтенсивність напружень по контуру вирубання. Після цього пуансон вирізує деталь із гладкою та перпендикулярною поверхнею.

4.11 Виконавчі розміри пуансонів і матриць

Допуски на розміри пуансона і матриці призначають залежно від того чи вирубуеться контур, чи пробивається отвір [9].

У разі зношення матриці розміри деталі, що вирубуеться, збільшуються. Тому виконавчі розміри матриці та пуансона повинні бути прив'язані до найменшого граничного розміру контура, що вирубуеться (рис. 4.15):

$$D_M = (d_{\max} - \Pi)^{+TD},$$

$$d_n = (d_{\max} - \Pi - S)^{-Td},$$

де d_{\max} – найбільший діаметр деталі;

Π – припуск на зношення матриці;

S – зазор;

TD – допуск на діаметр матриці;

Td – допуск на діаметр пуансона.

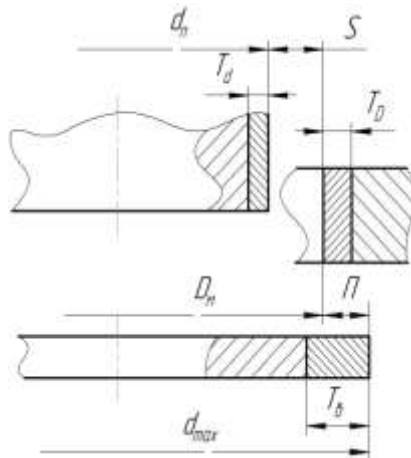


Рисунок 4.15 – Визначення виконавчих розмірів матриці та пуансона під час вирубання

За допусків на розмір штампованої деталі $Td_0 \leq 0,1$ мм беруть $\Pi = Td_0$.

Тому виконавчий розмір матриці (див. рис. 4.15):

$$D_M = (d_{\max} - Td)^{+TD}, \text{ або } D_M = d_{\min}^{+TD}.$$

Виконавчий розмір пуансона

$$d_n = (d_{\min} - S)^{-Td}.$$

У разі зношення пуансона розмір отвору зменшується. Тому виконавчі розміри пуансона і матриці під час пробивання отвору повинні бути прив'язаними до найбільшого розміру отвору (рис. 4.16):

$$d_n = (D_{\min} + \Pi)^{-Td},$$

$$D_M = (D_{\min} + \Pi + S)^{+TD},$$

де D_{\min} – найменший діаметр отвору, який пробивають.

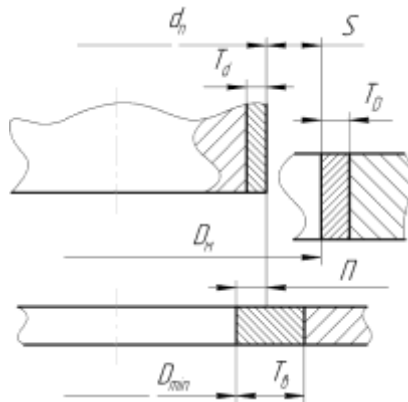


Рисунок 4.16 – Визначення виконавчих розмірів матриці та пуансона під час пробивання

Якщо $TD_\delta \leq 0,1$ мм, то $\Pi = TD_\delta$. Тому (див. рис. 4.16):

$$d_n = D_{\max}^{-Td},$$

$$D_M = (D_{\max} + S)^{+TD}.$$

Виконавчі розміри на кресленні проставляють залежно від вибраного способу виготовлення матриць і пуансонів.

Якщо пуансон доопрацьовують за матрицею із заданим зазором, то виконавчі розміри розраховують лише для матриці й проставляють на її кресленні.

На кресленні пуансона – примітка: *пуансон доопрацьовувати за матрицею із зазором S*.

Якщо ж матрицю виготовляють за відбитком пуансона і доопрацьовують за ним із заданим зазором, то виконавчі розміри розраховують для пуансона й проставляють на кресленні пуансона.

На кресленні матриці роблять таку примітку: *матрицю доопрацьовувати за пуансоном із зазором S*.

Приклад. Вирубується деталь (рис. 4.17). Потрібно визначити виконавчі розміри матриці.

Усі розміри робочого контура матриці розподіляють на такі, що збільшуються, зменшуються й незмінні в разі зношення матриці.

Відповідно змінюються або залишаються без зміни розміри контура, що вирубується.

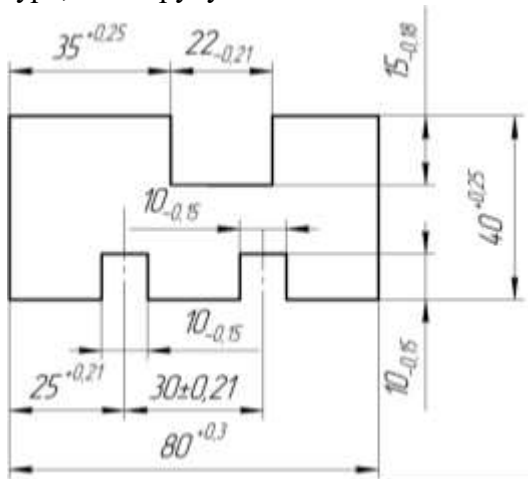


Рисунок 4.17 – Креслення деталі

Розміри, що збільшуються:

$$L_{M1} = (L_{max} - \Pi)^{+Tl}. \quad (4.1)$$

Розміри, що зменшуються:

$$L_{M2} = (L_{min} - \Pi)^{-Tl}. \quad (4.2)$$

Розміри, що не змінюються:

$$L_{M3} = L_{сер} \pm 0,25T_B, \quad (4.3)$$

де $L_{сер}$ – середній розмір виробу;

T_B – допуск на розмір виробу.

Таблиця 4.1 – Розрахунок виконавчих розмірів матриці

Позначення розміру	Розміри деталі L	Граничні відхилення розмірів	Характер розміру матриці	Припуск на зношення Π	Номинальні розміри матриці L_M	Відхилення розмірів матриці T_l	Виконавчий розмір матриці
1	2	3	4	5	6	7	8
A	35	+ 0,25	Збільш.	0,2	35,05	+ 0,045	35,07 + 0,045
B	22	- 0,21	Зменш.	0,16	21,95	- 0,035	21,95 - 0,035
C	15	- 0,18	Не змін.		14,91	± 0,05	14,91 ± 0,05
D	40	+ 0,25	Збільш.	0,2	40,05	+ 0,045	40,05 + 0,045
E	10	- 0,15	Не змін.		9,925	± 0,04	9,925 ± 0,04
F	10	- 0,15	Зменш.	0,14	9,99	- 0,035	9,99 - 0,035
G	10	- 0,15	Зменш.	0,14	9,99	- 0,035	9,99 - 0,035
H	30	± 0,21	Не змін.		30	± 0,105	30 ± 0,105
I	25	+ 0,21	Збільш.	0,16	25,05	+ 0,035	25,05 + 0,035
J	80	+ 0,3	Збільш.	0,25	80,05	+ 0,06	80,05 + 0,06

Вихідні дані, табличні значення і результати розрахунків запишемо в таблицю (табл. 4.1).

Значення в 2-гу та 3-тю колонки записуємо з креслення, 5-ту колонку – з таблиці 4.2, 7-му колонку заповнюємо з таблиці довідників (табл. 4.3), 6-ту колонку розраховуємо залежно від

характеру поведінки розмірів матриці в результаті зношення за формулами (4.1)–(4.3).

Таблиця 4.2 – Припуски на зношення матриць і пуансонів

Допуск на розмір деталі	Припуск на зношення Π	Допуск на розмір деталі	Припуск на зношення Π
$\leq 0,1$	$\Pi = Td_d(TD_d)$	0,43–0,46	0,35
0,12	0,1	0,52–0,53	0,40
0,14	0,12	0,60–0,62	0,50
0,16–0,17	0,14	0,68	0,55
0,20	0,16	0,74–0,76	0,60
0,23–0,24	0,18	0,87	0,70
0,25–0,28	0,20	1,00	0,80
0,30–0,34	0,25	1,15–1,35	0,90
0,36–0,40	0,30	1,55	1,25

Таблиця 4.3 – Допуски на виготовлення некруглих матриць і пуансонів

Допуск на розмір, мм			Допуск на розмір, мм		
деталі	матриці	пуансона	деталі	матриці	пуансона
0,02	0,006	0,004	0,20–0,24	0,035	0,035
0,025	0,008	0,005	0,25–0,28	0,045	0,045
0,030	0,009	0,006	0,30–0,34	0,060	0,060
0,035–0,04	0,011	0,008	0,36–0,40	0,080	0,080
0,045	0,013	0,009	0,43–0,46	0,100	0,100
0,050	0,015	0,011	0,52–0,53	0,120	0,120
0,060	0,018	0,013	0,60–0,62	0,140	0,140
0,070	0,021	0,015	0,68–0,76	0,170	0,170
0,080	0,024	0,018	0,87–1,00	0,200	0,200
0,090	0,027	0,020	1,15–1,35	0,260	0,260
0,10–0,12	0,030	0,022	1,55	0,300	0,300
0,14–0,17	0,035	0,030	–	–	–

Виконавчі розміри (колонка 8) проставляємо на кресленні матриці (рис. 4.18).

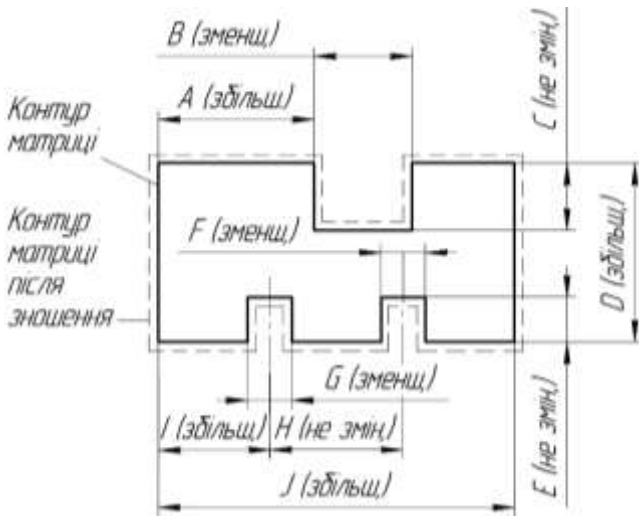


Рисунок 4.18 – Креслення матриці

4.12 Визначення центра тиску штампа

Для врівноваженої роботи штампа контур, що вирізається, необхідно розмістити на матриці так, щоб центр тиску збігався з віссю хвостовика. Інакше виникають перекоси, зношення напрямних і притуплення різальних кромки. Можлива також і поломка.

Існують два способи визначення центра тиску: графічний та аналітичний.

4.12.1 Графічний спосіб знаходження центра тиску показаний на рисунку 4.19. Зусилля вирубування пропорційне периметрам пуансонів. Із центрів ваги фігур у довільному масштабі проводять відрізки $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$, величина яких пропорційна периметрам (або силам). Будуємо мотузковий багатокутник (рис. 4.19 а). В одну лінію відкладаємо всі сили P_1-P_6 , вибираємо довільну точку O і потім з'єднуємо кінці

векторів P_1-P_6 із точкою O . Отримані відрізки нумеруємо 1–6. Далі під схемою штампа на лінії дії сили P_1 вибираємо довільно точку і через неї проводимо лінію паралельну променю 1. Від точки до перетину з продовженням сил P_2 і P_3 проводимо лінію паралельно променю 2 і так далі до лінії 6. Точка перетину променів 1 і 6 (показані штриховими лініями) дає вісь центра тиску S_y . Оскільки пуанسونи розміщені несиметрично,

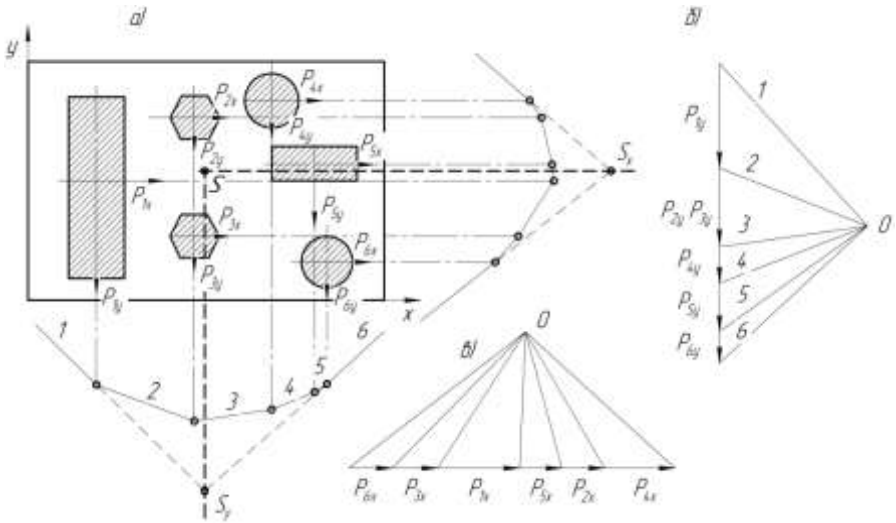


Рисунок 4.19 – Графічний спосіб знаходження центра тиску штампа

аналогічно знаходимо вісь центра тиску в перпендикулярному напрямку (рис. 4.19 в). Для цього, повторивши побудову мотузкового багатокутника, визначимо точку S_x (друга вісь центра тиску). Перетин ліній, що проходять через точки S_0 і S_1 , дає точку S – центр тиску даного штампа.

4.12.2 Аналітичний метод базується на рівності моменту рівнодійної всіх сил сумі моментів цих сил щодо однієї й тієї самої осі.

Напрямок осей збігається зі сторонами тримача пуансонів, від яких виконують його розмітку (рис. 4.20). Складаємо рівняння рівності моментів щодо обох осей. Під час розрахунку

замість зусилля вирубування можна підставляти периметр відповідного контура.

З урахуванням моментів сил, що діють уздовж осі Y , маємо

$$x = \frac{P_{1y} \cdot x_1 + P_{2y} \cdot x_2 + P_{3y} \cdot x_3 + P_{4y} \cdot x_4 + P_{5y} \cdot x_5 + P_{6y} \cdot x_6}{P_{1y} + P_{2y} + P_{3y} + P_{4y} + P_{5y} + P_{6y}}.$$

Ураховуючи моменти сил, що діють уздовж осі X , визначаємо

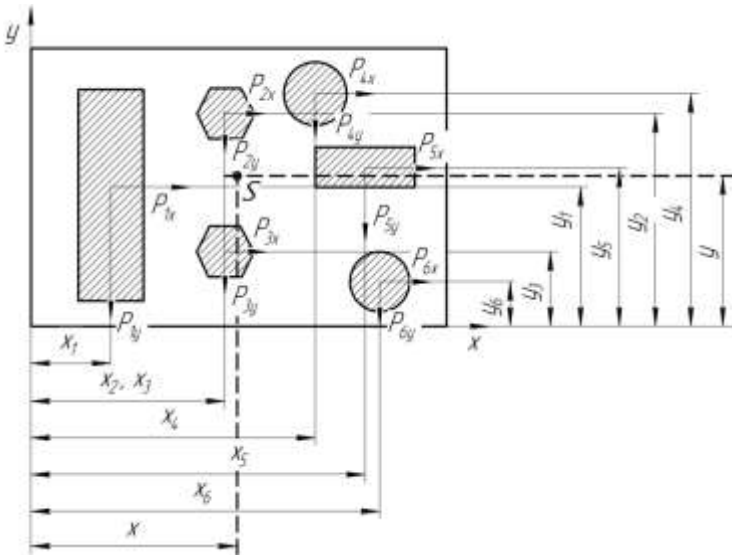


Рисунок 4.20 – Схема до аналітичного способу визначення положення центра тиску штамп

$$y = \frac{P_{1x} \cdot y_1 + P_{2x} \cdot y_2 + P_{3x} \cdot y_3 + P_{4x} \cdot y_4 + P_{5x} \cdot y_5 + P_{6x} \cdot y_6}{P_{1x} + P_{2x} + P_{3x} + P_{4x} + P_{5x} + P_{6x}},$$

де x – шукана відстань від осі OY до центра ваги;

y – шукана відстань від осі OX до центра ваги;

$x_1, x_2 - x_6$ – відстань від центра ваги фігури до осі OY ;

$y_1, y_2 - y_6$ – те саме до осі OX ;

P_1, P_2 тощо – зусилля вирубування.

4.13 Визначення зусилля вирубування

Зсув відбувається під час розрізування, пробивання та вирубування. Деформація зсуву характеризується тим, що з усіх шести складових головного вектора сили R та головного моменту M лише одна поперечна сила відмінна від нуля. Проте на практиці такий вид деформації одержати неможливо. Зазвичай її супроводжують інші деформації. Через те що під час вирубування й пробивання існує зазор Z між матрицею та пуансоном, то найчастіше додають деформацію вигину (рис. 4.21).

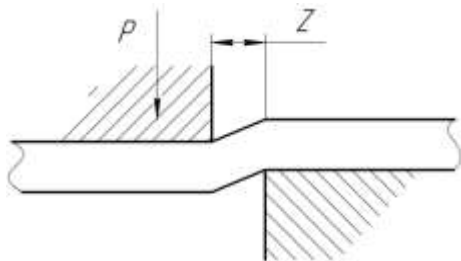


Рисунок 4.21 – Вигин через зазор

У цьому разі зовнішня сила P урівноважує внутрішню силу Q , що виникає на поверхні розділення (рис. 4.22). Внутрішню силу визначають через дотичні напруження τ і площу поверхні розділення:

$$Q = \int_F \tau dF = \tau F.$$

Площу розділення можна визначити як

$$F = LS,$$

де L – довжина поверхні розділення (у разі вирубування круглої деталі $L = \pi d$);

S – товщина листа.

Дотичні напруження τ можна визначити за межею міцності матеріалу σ :

$$\tau \approx 0,6\sigma .$$

Необхідне зусилля визначають урахуваючи, що вирубування відбувається зі зворотним виштовхуванням деталі та пружинним зніманням відходу з пуансона. Тиск буфера повинен бути не меншим ніж $0,1P$. Тиск стиснення пружин знімача – $0,06P$. Крім того, через недосконалість методики розрахунку потрібно зусилля вирубування збільшити на 30 %.

Для прикладу розглянуто визначення розрахункового зусилля і вибір преса для вирубування деталі діаметром $d = 50$ мм із сталльної заготовки 20кп ($\sigma = 40$ кг/мм²) товщиною $S = 5$ мм.

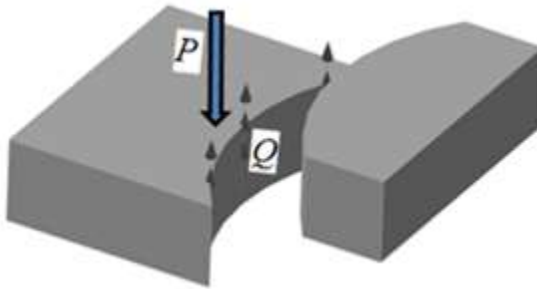


Рисунок 4.22 – Зовнішня сила P урівноважує внутрішню силу Q

Визначають дотичні напруження:

$$\tau \approx 0,6\sigma = 0,6 \cdot 40 = 24 \text{ кг/мм}^2.$$

Розрахункове зусилля зрізування

$$P = Q = \tau \cdot \pi \cdot d \cdot S = 24 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 5 = 18\,850 \text{ кг.}$$

Зусилля преса (з урахуванням дії буфера і знімача)

$$P_{\text{пр}} = 1,3P + 0,1P + 0,06P = 1,46P = 27\,521 \text{ кг.}$$

З переліку кривошипних пресів, що випускаються серійно (табл. 4.4), підходить прес КД2126К із зусиллям 400 кН.

Визначивши розрахункове зусилля, вибирають прес для вирубування заготовки діаметром d , мм (або зі сторонами $a \times b$), із листа товщиною S , мм, і відповідного матеріалу (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Технічні характеристики пресів

Назва преса	Модель	Зусилля, кН	Хід повзуна, мм
Прес однокривошипний простої дії	КД2114А	25	4–36
	КД2118А	63	5–50
	КД2122Г	160	71
	КД2124К	250	80
	КД2126К	400	90
	КД2128К	630	100
	КЕ2130А	1 000	130
	КВ2132А	1 600	25–160
	КН2134	2 500	25–200
	КГ3539.01	8 000	320
КА3540	10 000	400	
Прес гідравлічний листоштамповий	ПБ3432	1 600	630
	ПА3438	6 300	900
	ПА3241Ф1	12 500	1 200

4.14 Розрахунок пуансонів на міцність

Розрахунок пуансонів на міцність виконують за умови

$$P_{\text{доп}} > P_3,$$

де $P_{\text{доп}}$ – допустиме навантаження на стиснення;

P_3 – потрібне (технологічне) зусилля під час зрізування.

Допустиме навантаження на стиснення і стійкість робочої частини пуансонів рекомендують визначати за формулою

$$P_{\text{доп}} = \varphi F_k [\sigma]_{\text{ст}}, \quad (4.4)$$

де φ – коефіцієнт зниження допустимого напруження;

F_k – площа контакту робочого торця пуансона зі штампованим матеріалом, яку визначають у мм²;

$[\sigma]_{ст}$ – допустиме напруження на стиснення.

Коефіцієнт зниження допустимого напруження φ залежить від умовної гнучкості (табл. 4.5) і характеризується співвідношенням

$$\frac{\mu h_1}{i_{min}}, \quad (4.5)$$

де μ – коефіцієнт зведеної довжини, характеризує спосіб закріплення кінця стрижня, його беруть таким, що дорівнює 0,7;

h_1 – довжина робочої частини пуансона, мм;

i_{min} – мінімальний радіус інерції робочого перерізу пуансона, мм.

Мінімальний радіус інерції робочого перерізу пуансона визначають за формулою

$$i_{min} = \sqrt{\frac{I}{F_{пер}}}, \quad (4.6)$$

де I – мінімальний осьовий момент інерції поперечного перерізу робочої частини пуансона, мм²;

$F_{пер}$ – площа поперечного перерізу робочої частини пуансона, мм².

Для круглого перерізу пуансона мінімальний радіус інерції визначають як

$$i_{min} = 0,25d.$$

Таблиця 4.5 – Значення коефіцієнта φ

$\frac{\mu h_1}{i_{min}}$	До 4	Понад 4 до 8	Понад 8 до 12	Понад 12 до 16	Понад 16 до 23	Понад 23 до 30
φ	1,00	0,80	0,75	0,72	0,65	0,60

Площу контакту робочого торця пуансона зі штампованим матеріалом F_k визначають залежно від співвідношення товщини

матеріалу S і діаметра пуансона d або мінімальної його ширини b .

За $\frac{S}{d} \geq 1$, або $\frac{S}{b} \geq 1$ (рис. 4.23 а):

$$F_k = F_{\text{пер}}, \quad (4.7)$$

За співвідношення $\frac{S}{d} < 1$, $\frac{S}{b} < 1$ площу контакту F_k беруть такою, що дорівнює площі поясочка шириною $0,5S$ (рис. 4.23 б) по всьому периметру робочого торця пуансона:

$$F_k = \frac{\pi S(2d-S)}{4}. \quad (4.8)$$

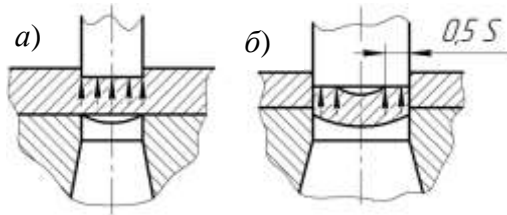


Рисунок 4.23 – Співвідношення S/d

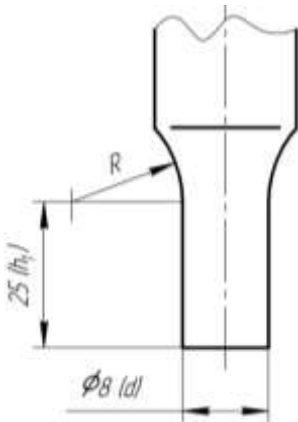


Рисунок 4.24 – Круглий пуансон

Приклад 1. Вибрати марку сталі для пуансона (рис. 4.24) і виконати розрахунок на допустиме навантаження, якщо технологічне зусилля пробивання отвору $P_3 = 63\,000$ Н, товщина штампованого матеріалу $S = 5$ мм.

Розв'язання

$$P_{\text{доп}} = \varphi F_k [\sigma]_{\text{ст}} \geq P_3 \cdot$$

$$1 \frac{\mu h_1}{i_{\text{min}}} = \frac{0,7 \cdot 25}{0,25d} = \frac{0,7 \cdot 25}{0,25 \cdot 8} = 8,75.$$

$$2 \varphi = 0,75 \quad (\text{за таблицею 4.5}).$$

$$3 \frac{S}{d} = \frac{5}{8} = 0,625 < 1 < 1, \text{ отже,}$$

$$F_k = \frac{\pi S \cdot (2d - S)}{4} = \frac{3,14 \cdot 5 \cdot (2 \cdot 8 - 5)}{4} = 43,175 \text{ мм}^2.$$

4 Матеріалом для пуансона може бути вуглецева інструментальна сталь (У8А, У10А та інші), у якої допустиме напруження на стиснення $[\sigma]_{\text{ст}} = 1\ 600$ МПа, або низьколегована інструментальна сталь (Х12М, 9ХС та інші) із $[\sigma]_{\text{ст}} = 1\ 900$ МПа. Призначимо сталь У10А. Тут $[\sigma]_{\text{ст}}$ прийнято із запасом міцності 1,5–2.

$$5 P_{\text{доп}} = \varphi F_k [\sigma]_{\text{ст}} = 0,75 \cdot 1\ 600 \cdot 43,175 = 51\ 810 \text{ Н}.$$

Оскільки умова стійкості $P_{\text{доп}} < P_3$ не виконується, то вибираємо більш міцний матеріал із групи низьколегованих сталей призначаємо марку 9ХС. Тоді

$$P_{\text{доп}} = 0,75 \cdot 1\ 900 \cdot 43,175 = 61\ 520 \text{ Н}.$$

Ураховуючи, що $[\sigma]_{\text{ст}}$ прийнято із запасом міцності 1,5–2, застосування марки сталі 9ХС допустиме. Якщо ж необхідна більша надійність, то доцільно змінити конструкцію штамп застосувати спеціальну напрямку для пуансона, яка збільшить його поздовжню стійкість.

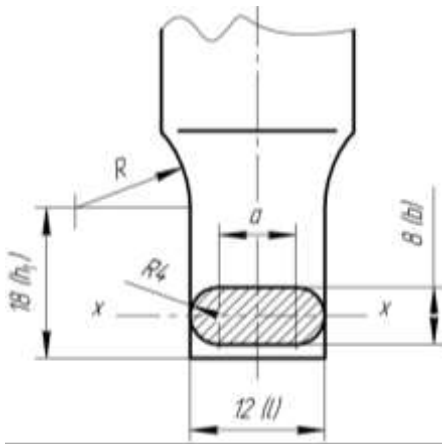


Рисунок 4.25 – Овальний пуансон

Приклад 2. Вибрати марку сталі для пуансона (рис. 4.25) і виконати розрахунок на допустиме навантаження, якщо технологічне зусилля пробивання отвору $P_3 = 90\ 000$ Н, товщина штампованого матеріалу $S = 8$ мм.

Розв'язання

$$1 P_{\text{доп}} = \varphi F_k [\sigma]_{\text{ст}} \geq P_3.$$

Пуансон некруглий, тому мінімальний радіус інерції

робочого перерізу пуансона визначають за формулою

$$i_{min} = \sqrt{\frac{I}{F_{пер}}}$$

Момент інерції фігур типу еліпса має мінімальне значення відносно великої осі, що проходить через її центр ваги (в даному разі – вісь $x - x$).

$$I = I_1 + I_2.$$

де I_1 – момент інерції кола;

I_2 – момент інерції прямокутника відносно осі $x - x$.

$$I_1 = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi R^4}{4} = \frac{3,14 \cdot 4^4}{4} = 200,96 \text{ мм}^4,$$

$$I_2 = \frac{a \cdot b^3}{12} = \frac{(12 - 8)8^3}{12} = \frac{4 \cdot 512}{12} = 170,66 \text{ мм}^4,$$

$$I = 200,96 + 170,66 = 371,62 \text{ мм}^4.$$

Площа поперечного перерізу $F_{пер} = F_1 + F_2$,

де F_1 – площа кола;

F_2 – площа прямокутника.

$$F_{пер} = \frac{\pi d^2}{4} + ab = \frac{3,14 \cdot 8^2}{4} + 4 \cdot 8 = 50,23 + 32 = 82,23 \text{ мм}^2,$$

$$i_{min} = \sqrt{\frac{I}{F_{пер}}} = \sqrt{\frac{371,62}{82,23}} = \sqrt{4,4} = 2,12 \text{ мм}.$$

2 Співвідношення $\frac{\mu h_1}{i_{min}} = \frac{0,7 \cdot 18}{2,12} = 5,94$, отже за таблицею 4.5

$\varphi = 0,8$.

3 $\frac{s}{b} = \frac{8}{8} = 1$, тому $F_k = F_{пер}$.

4 Призначаємо для пуансона сталь У10А ($[\sigma]_{ст} = 1 \text{ 600 МПа}$).

Тоді $P_{доп} = \varphi F_k [\sigma]_{ст} = 0,8 \cdot 82,23 \cdot 1 \text{ 600} = 105 \text{ 254 Н}$.

Призначена для пуансона марка сталі У10А задане навантаження витримує, оскільки $105 \text{ 254 Н} > P_3$.

4.15 Технологія виготовлення деталей штампів

Для виготовлення кожного штампа для холодного штампування розробляють технологічний маршрут виготовлення деталей і складання штампа. Заготовками для виготовлення штампів холодного штампування є чавунні й сталеві відливання, поковки круглого і прямокутного перерізів з вуглецевих та легованих інструментальних сталей.

Для заготовок також використовують прокат інструментальних легованих і вуглецевих сталей, а також тверді сплави.

Залежно від конструкції штампа та використаних матеріалів на першому етапі технологічного процесу виготовлення штампів, виконують різання заготовок, виготовлення моделей для відливання деталей штампів, виготовлення прес-форм для пресування твердосплавних вставок, шаблонів і спеціального інструменту.

Усі заготовки з інструментальних легованих і вуглецевих сталей відпалюють, що поліпшує їх оброблюваність і сприяє зменшенню деформацій під час гартування й підвищення стійкості.

На другому етапі проводять попереднє оброблення деталей: швидкісне фрезерування, грубе оброблення на стругальних верстатах без розмітки.

Після грубого механічного оброблення знімають фаски або затупляють гострі кромки (крім різальних кромок пуансонів і матриць), щоб виключити можливість травмування робітників.

У деталях штампів, вага яких перевищує 30 кг і в конструкціях яких не передбачені приливи або виїмки для транспортування, свердять підймальні отвори, а якщо потрібно нарізують там різь. Потім проводять розмітку і повторне верстатне оброблення.

На поверхню деталі, яку розмічають, наносять покриття, що забезпечує виразну видимість проведених ліній. На оброблену поверхню наносять розчин мідного купоросу.

Необроблені поверхні відливання чи поковки покривають крейдою.

На цьому етапі деталі підлягають координатному розточуванню, контурному фрезеруванню, фасонному струганню, токарному обробленню, шліфуванню абразивними і алмазними кругами, електроіскровому й ультразвуковому обробленню.

Наступними етапами оброблення є слюсарне оброблення (до і після термічного оброблення), термічне оброблення, остаточне верстатне оброблення і складання.

У процесі оброблення проводять свердлення і зенкерування отворів, зняття фасок і нарізування різей, ручне й машинне обпилювання, прочищення отворів після термічного оброблення, таврування деталей штампів та їх місць на штампи, таврування штампа, свердлення отворів у складеному стані, полірування, розмагнічування деталей після шліфування, складання вузлів і остаточне складання.

На завершальному етапі проводять контроль, випробування і налагодження штампа.

Виготовлення плит. Верхні й нижні плити штампів після розмічання і свердлення підіймальних отворів обробляють з двох боків до необхідного розміру з припуском на шліфування. Оброблення виконується на вертикально-фрезерному або стругальному верстаті. У цьому разі обробляють розміром як полиця для кріплення штампів і виступи для таврування.

Шліфують плити з двох боків на плоскошліфувальних верстатах.

Існують декілька варіантів виконання отворів під колонки і втулки.

У дрібносерійному виробництві за відсутності спеціалізованого металорізального устаткування застосовують східчасті колонки. Великий діаметр цих колонок дорівнює зовнішньому діаметру втулки. Для здійснення точної

співвісності всіх отворів в обох плитах їх скріплюють, а потім разом свердлять і розточують.

Роздільне свердлення і розточування отворів під колонки і втулки можна виконувати за розміткою або за допомогою кондуктора. Під час свердлення отворів під колонки і втулки в кондукторі одночасно свердлять технологічний центр плити.

Технологічне центрове заглиблення використовують для точного установа плити на столі координатно-розточувального верстата, де проводять остаточне оброблення отворів під колонки і втулки. У цьому разі на координатно-розточувальному верстаті можуть бути виконані й інші отвори, передбачені кресленням плити.

Наскрізні й глухі отвори під хвостовики у верхніх плитах виконують на токарних верстатах після розмічання і кернення центра отвору. Поглиблення, зроблене керном, використовують для точного установа плити на верстаті: в нього вводять центр задньої бабки, за допомогою якого плиту притискають до планшайби. Пливу закріплюють на планшайбі болтами й планками.

На зовнішньому боці верхньої плити радіусною кінцевою фрезою на вертикально-фрезерному верстаті фрезерують канави радіусів для виходу повітря.

На закінчення передбачене слюсарне оброблення плити – напилком запилують задирки.

Виготовлення колонок. Напрямні колонки виготовляють на токарних і круглошліфувальних верстатах. Заготовку на одну деталь відрізають на відрізнному верстаті дисковою пилою. На токарному верстаті в заготовці підрізають торці й зацентровують. Потім проточують посадкову й зовнішню циліндричні частини, залишаючи припуск на шліфування, точать виточку для виходу шліфувального круга і радіус у верхній частині колонки, знімають фаску.

Гладкі колонки невеликого діаметра обробляють на безцентрово-шліфувальних верстатах. Їх виготовляють за системою вала. З цієї причини вони не мають виточки для виходу

шліфувального круга. Колонки з виточкою обробляють на круглошліфувальному верстаті.

Виготовлення втулок. Починають з відрізання дисковою фрезою заготовки на одну деталь на відрізнаму верстаті. Потім заготовку обробляють на револьверному верстаті, де підрізають торець, свердлять отвір, обточують із припуском на шліфування зовнішній діаметр. Після цього з припуском на шліфування розточують отвір втулки і проточують канавки, знімають фаски. Потім підрізають другий торець, обточують зовнішній діаметр і радіуси.

Після термічного оброблення аналогічно обробленню колонок на внутрішньошліфувальному верстаті шліфують внутрішній діаметр втулки. Оброблення зовнішнього діаметра втулки виконують на круглошліфувальному верстаті з посадкою втулки на оправку.

Напрямні планки і призми для плит великих штампів фрезерують на вертикально-фрезерному верстаті або стругають на поперечно-стругальному верстаті розмірами з припуском на шліфування, потім розмічають. На напрямних планках розмічають отвори, канавки і фаски, а на призмах – отвори, пази і канави.

Канавки і фаски фрезерують за розміткою планок і зенкують на радіально-свердлувальному верстаті.

Потім напилком запилують задирки і деталі спрямовують на термічне оброблення. Після термічного оброблення шліфують до розмірів на плоскошліфувальному верстаті.

Виготовлення хвостовиків. Хвостовики переважно обробляють на токарних верстатах. Отвори у фланцях хвостовиків свердлять за розміткою на радіально-свердлувальних верстатах. У хвостовиків із бортиками поверхню, яку запресовують, обробляють на круглошліфувальному верстаті.

Виготовлення тримачів пуансонів і матриць. Заготовки тримачів стругають або фрезерують з усіх боків, залишаючи

припуск на шліфування поверхні, прилеглої до плити. Після розмічання свердлять отвір для посадки пуансона (матриці) та кріпильні й фіксувальні отвори. Отвори під гвинти з потайною головкою зенкують.

Остаточне оброблення посадкового отвору виконують на координатно-розточувальному верстаті.

У разі оброблення тримачів швидкозмінних пуансонів і матриць на свердлильному верстаті отвір під кульку та пружину обробляють за кондуктором.

Виготовлення пробивних пуансонів. На токарному верстаті відрізують заготовку з припуском на технологічні центри. Після підрізування торців і центрування заготовку зрізають із двох боків розміром по довжині. Потім пуансон повністю обробляють із залишенням припуску на шліфування; обточують радіуси, заплічники, проточують канавку для виходу шліфувального круга.

Після термічного оброблення і шліфування зрізають технологічні центри. На закінчення шліфують робочий торець пуансона.

Швидкозмінні пуансони у виготовленні так само прості, як і пуансони із заплічниками. Відмінність полягає в тому, що після токарної операції на вертикально-фрезерному верстаті в спеціальному пристрої роблять виїмку під кульку.

Виготовлення матриць. Круглі матриці без заплічника повністю обробляють на токарному верстаті. Заготовку беруть на декілька деталей. Після підрізання торця обробляють зовнішній діаметр із припуском на шліфування, знімають фаску, свердлять робочий отвір матриці з припуском на шліфування. Після відрізування деталей обробляють із протилежного боку: підрізають у розмір торець, знімають фаску, розточують вихідний отвір. Потім проводять термічне оброблення, після якого на внутрішньошліфувальному верстаті шліфують робочий отвір і торець матриці, а на круглошліфувальному – зовнішній діаметр (у цьому разі матрицю встановлюють на оправку).

Виготовлення круглих матриць із заплічниками відрізняється від виготовлення круглих матриць без заплічників тим, що під час токарного оброблення проточують канавку для виходу шліфувального круга.

Під час виготовлення матриць із великою кількістю точно розміщених отворів або з робочими отворами некруглої форми використовують координатне розточування. Координатне розточування деталей штампів виконують за координатними розрахунками. У координатному розрахунку всі лінійні розміри робочого профілю виражають у прямокутній системі координат і проставляють від однієї бази.

Початком координат можуть бути центр будь-якого отвору, геометричний центр заготовки, бічна й нижня сторони заготовки. Усі кутові розміри перераховують у лінійні, а всі координатні розміри проставляють із точністю до третього знака після коми.

Виготовлення вирубувальних пуансонів і матриць. Існують два основні способи отримання робочого профілю пуансонів і матриць. У сучасних штампових цехах пуансони й матриці виготовляють одночасно згідно з розмірами креслення і в суворій відповідності з принципом взаємозамінності. Завдяки цьому можна виготовляти запасні робочі частини паралельно з експлуатацією штампа. Застосування незалежного способу оброблення потребує технологічних конструкцій пуансонів і матриць. Ці вимоги задовольняють складені матриці та пуансони, точність розмірів яких досягають їх шліфуванням після гартування.

У недостатньо оснащених технологічно цехах, де виробництво штампів має індивідуальний характер, пуансони і матриці виготовляють методом взаємної пригінки.

Під час виготовлення невеликих матриць, а також матриць із легованих сталей, якщо вони деформуються в процесі термічного оброблення, внутрішній контур матриці обробляють за пуансоном. Остаточо оброблені згідно з розмірами креслення пуансони встановлюють у блоці штампа. У цьому

самому блоці закріплюють гвинтами й фіксують штифтами незагартовану і заздалегідь оброблену за габаритними розмірами матрицю. Після встановлення блока на пресі до верхньої плити прикладають навантаження, достатнє для отримання відбитка пуансона на поверхні матриці, заздалегідь покритої сплавом на свинцево-олов'янистій основі. За цим відбитком, як за розміткою, виконують висвердлювання робочого контуру, фрезерування, розточування й попереднє припилювання.

Остаточне калібрування робочого контуру матриці виконують пуансоном. Для цього матрицю знову встановлюють у блок.

Доведення робочого контуру для отримання необхідного зазору відбувається до термічного оброблення матриці.

Під час виготовлення штампів із матрицями з вуглецевих інструментальних сталей застосовують пригінку робочого контуру пуансона за готовою матрицею. Це пояснюється великими деформаціями вуглецевих інструментальних сталей під час гартування.

Під час оброблення пуансонів на фасонно-стругальному верстаті на неробочому торці пуансона виконують нарізний отвір для кріплення на оправці; оправку затискують у патроні верстата.

Профільне шліфування пуансонів здійснюють на круглошліфувальних і плоскошліфувальних верстатах із горизонтальним шпинделем та плоским столом, на спеціальних оптичних профіleshліфувальних верстатах, універсально заточувальних та ін.

З високою точністю методом профільного шліфування обробляють пуансони й матриці, що мають складний профіль. У цьому разі усувають дефекти, спричинені термічним обробленням (деформація, знеуглецьований шар), і досягають низької шорсткості поверхні. Профільне шліфування дозволяє з окремих шліфованих секцій виготовляти різальні контури пуансонів і матриць без ручної пригінки.

Для профільного шліфування застосовують профільовані шліфувальні круги, на яких за допомогою спеціальних пристроїв заправлений профіль, який є зворотним профілем оброблюваної ділянки деталі. Профільне шліфування виконують на оправці, закріпленій у центрах ділильної головки. Пуансони з конфігурацією тіл обертання шліфують на круглешліфувальних верстатах.

Складніші деталі потрібно обробляти електроерозійним способом. У цьому разі як електрод-інструмент для оброблення загартованої матриці можна використовувати пуансони. Робочий контур матриці точно повторює профіль пуансона, а зазор між пуансоном і матрицею одержують рівномірним по всьому контуру. Матрицю також можна використовувати як інструмент для оброблення пуансона.

Робочі деталі штампа, оброблені на електроерозійному верстаті, не підлягають термічному обробленню, оскільки на оброблення вони надходять в загартованому стані.

Виготовлення твердосплавних робочих частин штампів. Як заготовки для пуансонів і матриць використовують остаточно або заздалегідь спечені й пластифіковані тверді сплави. Твердосплавні заготовки зазвичай бувають у вигляді брусків, пластин, дисків і кілець, але можуть бути й у вигляді деталей із готовим профілем, у яких припуск на оброблення не перевищує 0,2–0,8 мм.

Деталі з пластифікованих і напівспечених заготовок після механічного оброблення піддають остаточному спіканню у водневому середовищі за температури 1 350–1 450 °С.

Остаточне оброблення виконують на профільно-шліфувальному верстаті алмазним інструментом.

Якщо твердосплавна вставка складається з декількох секцій, то їх підгонку за робочим контуром виконують за допомогою карбіду бору або алмазного пилу. Підігнавши секції за робочим профілем, їх збирають і припаюють до сталевого корпусу, шліфують по зовнішньому діаметру й запресовують у сталеву обойму.

Оброблення остаточно спечених заготовок здійснюють методами електроіскрового, ультразвукового та алмазного оброблення.

4.16 Складання штампів

Складальні роботи під час виготовлення штампів займають до 50 % від загальної трудомісткості. У процесі складальних робіт виконують такі операції: свердлення, zenкування, розвертання й притирання отворів, нарізування різей, впресовування колонок, фіксувальних штифтів і втулок, обпилювання, зачищення й маркування деталей, припасування матриць і пуансонів, монтаж та кріплення всіх деталей, доведення робочих елементів штампа, спаровування верхньої й нижньої частин штампа, налагодження і перевірку штампа у складеному вигляді.

Складання штампів проходить за вузлами. Вузли штампа вмонтовують на верхній і нижній плитах. Пуансони вирубувальних і пробивних штампів установлюють у тримачі. Залежно від конструкції вузла пуансони в тримачі кріплять пресуванням із натягом, розклепуванням, кулькою або заливанням швидкотверднучою пластмасою. Складений вузол, тримач із пуансонами, суміщають із матрицею. Якщо складання виконане правильно, пуансони входять в усі вікна матриці. Якщо ж пуансони закріплені з перекосом, то вони не входять у вікна матриці. Складання пуансонів повторюють до їх з'єднання з вікнами матриці, оскільки від правильного з'єднання пуансона й матриці залежить не лише якість виготовлюваної деталі, а й стійкість штампа.

Після пригінки матриці встановлюють знімачі, а склавши й налагодивши пакет штампа, до якого входять матриця, пуансони, тримач пуансонів, знімач та інші вузли, на матрицю встановлюють нап'ямні, планки.

Отвори в планках свердлять, користуючись як кондуктором отворами в матриці. Для цього струбцинами притискують планки до матриці.

Після монтування всіх вузлів і деталей на верхній та нижній плитах штамп складають і передають на випробування.

Контрольні питання

1. Ознаки класифікації штампів.
2. Визначення технологічної ознаки штампа.
3. Які бувають комбіновані штампи?
4. Визначення конструктивної ознаки штампа.
5. Що таке пінцетний штамп?
6. Визначення експлуатаційної ознаки штампа.
7. Як видаляють деталь?
8. Які деталі штампа називають деталями технологічного призначення?
9. Основні вузли штампів.
10. Що таке блоки?
11. Що таке пакети?
12. Які бувають блоки?
13. Типи напрямних.
14. Кріплення пуансонів.
15. Складені різальні кромки вирубувальних штампів.
16. Форми робочих отворів матриць пробивних штампів.
17. Конструкції змінних матриць.
18. Фіксувальні деталі штампів.
19. Конструкція коливального упора.
20. Типи і конструкції фіксаторів.
21. Призначення знімачів й виштовхувачів.
22. Кріпильні деталі штампів.
23. Орієнтація деталей штампів під час складання.
24. Матеріали деталей штампів.
25. Від чого залежать зазори між матрицею і пуансоном у вирубувальних штампах?
26. Як створюють стан об'ємного тиску під час вирубування?
27. Конструктивні параметри ребер на притискачі.
28. Як вирубування контура чи пробивання отвору впливає на допуски на розміри матриці й пуансона?
29. Коли пуансон доопрацьовують за матрицею?
30. Коли матрицю доопрацьовують за пуансоном?

31. Графічний метод визначення центра тиску штампа.
32. Аналітичний метод знаходження центра тиску штампа.
33. Визначення зусилля вирубування.
34. Умова міцності пуансонів.
35. Визначення міцності пуансона круглого перерізу.
36. Визначення міцності пуансона еліптичного перерізу.
37. Технологія виготовлення деталей штампів.

5 ЗМІСТ І ПОРЯДОК РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХОЛОДНОГО ШТАМПУВАННЯ

5.1. Використання мастил під час витягування

За рахунок мастил зменшують тертя між матеріалом та інструментом, запобігають тріщинкам і подряпинам на штампах та виробках.

Мастило повинне створювати міцну плівку, що не засихає й витримує великі тиски; прилипати й рівномірно розподілятися по поверхні заготовки; легко видалятися з поверхні; не псувати механічно й хімічно інструмент і деталь; бути хімічно стійким та нешкідливим.

За складом мастила поділяють на мінеральні олії, водомасляні емульсії, мильно-масляні емульсії, консистентні змащення з наповнювачами, тверді плівки і мастила.

Під час витягування вуглецевих сталей найбільш поширені емульсійні й консистентні мастила з наповнювачами. Як наповнювачі використовують крейду, тальк, графіт.

Конкретний склад мастила (табл. 5.1) вибирають за рекомендаціями довідників.

Таблиця 5.1 – Один із рецептів мастила

Склад	Веретенна олія	Солідол	Графіт	Сірка	Спирт	Вода
у %	20	40	20	7	1	12

5.2 Наклеп металу та відпалювання під час витягування

У процесі холодної пластичної деформації всі метали (крім свинцю й олова) піддають зміцненню або наклепу. Це підвищує їх міцність і знижує пластичність. Тому необхідне міжопераційне відпалювання. Зазвичай відпалюють усю деталь повністю. Але під час багатоопераційного витягування таке відпалювання недоцільне, тому що є ділянки (небезпечний переріз), міцність яких знижувати небажано.

Тому застосовують місцеве відпалювання. Для цього занурюють частину деталі в селітрову чи свинцеву ванну і роблять локальне нагрівання індукційним методом (контактним електронагрівачем, газовим пальником і т. ін.)

Найбільш поширене індукційне нагрівання. Нагрівальна установка являє собою однофазний трансформатор, у якому деталь, яку відпалюють, є вторинною одновитковою обмоткою. Тривалість відпалювання – 20–40 с.

Щоб уникнути великого окиснювання деталей (утворення окалини), виконують «світле відпалювання» в печах із нейтральним середовищем.

Якщо ж умови відпалювання такі, що утвориться окалина, то її видаляють шляхом травлення в кислотах, електролітичним травленням, ультразвуковим очищенням.

Травлення нержавіючої сталі відбувається в розплавленому лузі (80 % їдкого натру і 20 % селітри) – 10–30 хвилин, або в 13 % розчині сірчаної чи соляної кислоти – 5–20 хвилин.

Електролітичне травлення виконують у ванні з 5 % сірчаною кислотою. Густина струму – 8–10 А/дм², напруга $U = 6$ В. Деталі приєднують до анода. Після закінчення процесу деталі промивають у холодній воді, в гарячій воді, нейтралізують у слабкому лужному розчині за $t = 60$ –80 °С.

Ультразвукове очищення можливе двома способами: 1-й спосіб – одночасно з травленням у розчині (2–5 хвилин за $t = 50$ –60 °С) 10 % сірчаної кислоти чи 5 % соляної кислоти, чи 5 г/л кухонної солі; 2-й спосіб – після попереднього травлення в кислоті занурюють у воду і вмикають ультразвук.

5.3 Рекомендації та етапи створення технологічного процесу штампування

Складність і висока вартість штампів вимагають вибору ефективного варіанта технологічного процесу. Навіть незначні

подальші зміни призводять до перероблення штампа, що потребує великих витрат.

Ефективність процесу штампування залежить від конструкції готової деталі, її технологічності. Тому технологічність штампованих деталей є найважливішою передумовою прогресивності технологічних методів та економічності виробництва.

Під технологічністю необхідно розуміти таку сукупність властивостей та конструктивних елементів, які забезпечують найбільш просте й економічне виготовлення деталей (в умовах даної серійності виробництва) за додержання технічних та експлуатаційних вимог до них [15].

Експлуатаційно-технічні вимоги до листових штампованих деталей – це повна відповідність конструкції до призначення та умов експлуатації деталі; забезпечення необхідної міцності та жорсткості за мінімальної витрати матеріалу, забезпечення необхідної точності та взаємозамінності, відповідність спеціальним фізичним, хімічним або технічним умовам.

Основними показниками технологічності штампованих деталей є:

- найменша витрата матеріалу;
- найменша кількість і низька трудомісткість операцій;
- відсутність подальшого механічного оброблення;
- найменша кількість необхідного обладнання та виробничих площ;
- найменша кількість оснащення за скорочення витрат і термінів підготовки виробництва;
- збільшення продуктивності окремих операцій та цеху загалом.

Загальним результативним показником технологічності є найменша собівартість штампованих деталей.

Оскільки величина і співвідношення елементів собівартості виробів (матеріал, заробітна плата, цехові витрати) залежать від серійності виробництва, то поняття технологічності нерозривно пов'язані з серійністю виробництва. Технологічна

конструкція в умовах дрібносерійного виробництва може виявитися нетехнологічною в масовому виробництві й навпаки.

Здебільшого основним критерієм технологічності конструкції є найбільш економне витрачання матеріалу за найменшої кількості операцій та зниження трудомісткості.

Загальна економічність процесів холодного штампування не лише не знижує, а ще більше підвищує значення економії металу.

Аналіз собівартості штампованих деталей засвідчує, що економія матеріалу на 10 % рівноцінна збільшенню продуктивності втричі на всіх операціях. Економія матеріалу на 20–25 % здебільшого настільки ефективна, що вартість заощадженого матеріалу зазвичай перевищує суму прямої заробітної плати.

Тому це потрібно враховувати конструюючи готову деталь. Наприклад, можна деталь із трьома отворами спроектувати по-різному (рис. 5.1).

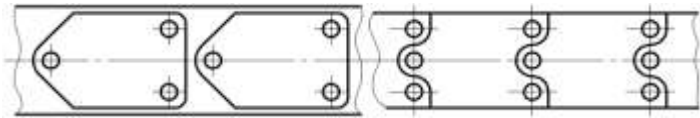


Рисунок 5.1 – Конструкції деталі з трьома отворами

Під час створення деталей, які виробляють штампуванням, варто враховувати такі рекомендації:

- створювати легкі і полегшені конструкції, а для збільшення їх жорсткості передбачати ребра жорсткості, відбортування, згинання фланців і т. ін.;
- конфігурація деталі та її розгорнення повинні забезпечувати найвигідніше використання листового матеріалу – маловідхідний чи безвідхідний розкрій;
- якщо відходи неминучі, то бажано надати їм конфігурації іншої деталі;
- необхідно уникати вузьких і довгих прорізів. Ширина b залежить від товщини листа S , $b > 2S$;

- не вирубувати довгі й вузькі деталі, а краще замінити цей процес розплющуванням заготовок із дроту (за $b < 2S$).
- під час вигинання радіуси повинні бути $r \geq S$, менші значення r – лише у випадку конструктивної необхідності;
- потрібно уникати складних форм деталей, які витягують;
- відкриті форми порожнистих деталей можна проєктувати з урахуванням спареної витяжки з подальшим розрізанням на дві деталі.

Етапи створення технологічного процесу:

- 1 Аналіз технологічності форми і конструктивних елементів деталі.
 - 2 Визначення форми і розмірів заготовки.
 - 3 Визначення змісту, кількості та послідовності операцій (суміщеність операцій, кількість одночасно штампованих деталей).
 - 4 Розрахунок потужності штампа, визначення його типу й габаритів.
 - 5 Вибір способу подавання заготовки та знімання деталі
 - 6 Визначення трудомісткості виготовлення деталей.
 - 7 Визначення завантаження устаткування.
- Річну економію визначають за формулою

$$E_p = (Z_1 - Z_2)N,$$

де Z_1 і Z_2 – собівартість деталі за різними варіантами.

5.4 Загальні технологічні вимоги до конструкції штампованих листових деталей

Механічні властивості листового матеріалу повинні відповідати не лише вимогам міцності та жорсткості виробу, а й процесу змінювання форми й характеру пластичних деформацій.

Необхідно враховувати можливість застосування для формозмінювальних операцій більш пластичного, хоча й менш міцного металу, тому що в процесі холодного штампування

відбувається його наклеп, що значно збільшує характеристики міцності матеріалу.

Під час розрахунку на міцність не потрібно завищувати товщину листового металу, враховуючи зміцнення його в процесі холодної деформації та досить високу жорсткість штампованих деталей.

Необхідно прагнути до створення легких і полегшених конструкцій деталей, застосовуючи збільшення жорсткості штампуванням ребер жорсткості, відбортуння, загинання фланців, закручування кромки тощо і навіть заміну важких стандартних прокатних профілів легшими – гнутими чи згорнутими профілями з листового металу.

Конфігурація деталі або її розгортки повинна забезпечувати повне використання листового матеріалу, даючи можливість застосовувати маловідхідний чи безвідхідний розкрій. Для отримання безвідхідного розкрою не потрібно штучно збільшувати розміри та площу заготовки.

Якщо відхід неминучий, то бажано надати йому конфігурації, що відповідає іншій деталі, або використовувати його вдруге.

Необхідно уніфікувати та зменшити асортимент застосовуваних товщин і марок листового металу.

Необхідно додержуватися кратності розмірів великих штучних заготовок розмірів листа, інакше відходи значно збільшаться.

Потрібно широко використовувати технологічні штамповано-зварні конструкції замість литих, кованих або клепаних виробів.

Необхідно прагнути до зменшення кількості окремих деталей, замінюючи їх суцільноштампованими, що зазвичай приводить до спрощення технологічного процесу та економії матеріалу. Винятком є випадки, коли в результаті зазначеної заміни одержують деталь настільки складної конфігурації, що вона потребує підвищеної витрати матеріалу, є громіздкою чи нетехнологічною.

Необхідно широко використовувати штампувальні методи для складання окремих деталей за допомогою розклепування, відбортування, порожнистої висадки, загинання кромки і лапок, заковчування шва тощо.

Допуски на розміри штампованих деталей повинні відповідати економічній точності операцій холодного штампування (10–12-й квалітети). У разі потреби підвищена точність деталей (7–9-й квалітети) може бути одержана запровадженням додаткових операцій (зачищення, калібрування, правлення).

Контрольні питання

1. Призначення мастила під час при холодного штампування.
2. Вимоги до мастила.
3. Як мастило поділяють за складом?
4. Для чого використовують міжопераційне відпалювання?
5. Що таке місцеве відпалювання?
6. Як можна уникнути окиснювання деталей під час відпалювання?
7. Методи видалення окалини.
8. Травлення нержавіючої сталі.
9. Технологія електролітичного травлення.
10. Очищення окалини ультразвуком.
11. Що таке технологічність деталей?
12. Основні показники технологічності штампованих деталей.
13. Загальний показник технологічності.
14. Вплив економії металу на собівартість штампованих деталей.
15. Рекомендації до конструювання деталей, вироблених штампуванням.
16. Етапи створення технологічного процесу штампування.
17. Відповідність механічних властивостей матеріалу заготовки процесу змінювання форми.
18. З якою метою на конструкції деталі утворюють ребра й відбортовку?
19. Що означає маловідхідний або безвідхідний розкрий?
20. Якої точності досягають у штампованих деталях?

6 ПРЕС-ФОРМИ

6.1 Основні класифікаційні ознаки прес-форм

Прес-форми застосовують для виливання під тиском металів і полімерних матеріалів, виливання за виплавлюваними моделями, пресування полімерних матеріалів та металевих сплавів.

Прес-форми за способом формування поділяють на три основні групи: прес-форми прямого пресування, ливарного пресування з верхньою завантажувальною камерою і ливарного пресування з нижньою завантажувальною камерою, що також поділяють за типовими конструктивними ознаками, серед яких найбільш характерними є схема монтажу на пресі, розміщення площини розніму, вид формувальних гнізд, кількість формувальних гнізд [2; 5; 8; 16; 19].

За схемою монтажу на пресі конструкції прес-форм мають такі різновиди: прес-форми знімні, напівстаціонарні, стаціонарні, знімні та змінні блоки.

За розміщенням поверхонь розніму прес-форми поділяють на прес-форми з горизонтальною (що мають конструкцію формувальних деталей, які розкриваються в напрямку ходу плунжера преса) і вертикальною (матриця розкривається перпендикулярно до напрямку ходу плунжера преса) поверхнями розніму.

Прес-форма має таку структуру: пакет плит, система центрування, система живлення (ливникова система), система виштовхування, система охолодження, система формотворних деталей.

6.2 Стаціонарні прес-форми

Стаціонарні прес-форми для пресування виробів закріплюють на пресі: верхню частину – до повзуна, а нижню – до столу преса. Упродовж усього періоду пресування заданої

партії виробів прес-форми перебувають у закріпленому стані та не знімаються з преса. Стационарні прес-форми характеризуються відсутністю знімних елементів, їх

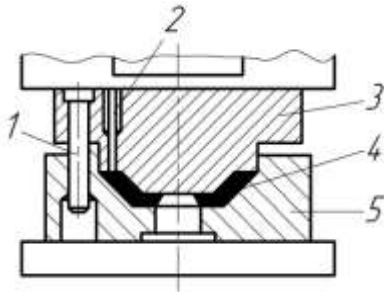


Рисунок 6.1 – Стационарна прес-форма

закріплюють на плитах преса на період виготовлення всієї партії виробів (рис. 6.1). Складаються з: 1 – напрямна колона; 2 – виштовхувачі; 3 – пуансон; 4 – виріб; 5 – матриця.

Такі прес-форми забезпечують оптимальний технологічний процес, максимальну продуктивність і дозволяють автоматизувати весь цикл

пресування (виливання).

Проте такі форми дорогі, тому їх необхідно застосовувати в умовах великосерійного і масового виробництва.

6.3 Напівстационарні прес-форми

Мають окремі знімні елементи, закріплюються на плитах преса як стационарні.

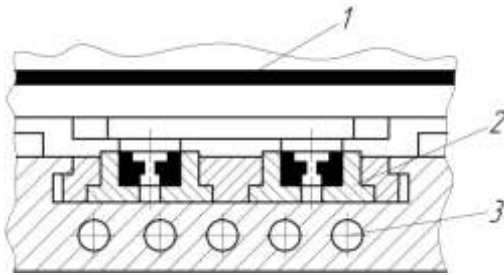


Рисунок 6.2 – Напівстационарна прес-форма

Для прискорення циклу пресування (виливання) їх забезпечують не менше ніж двома комплектами знімних елементів, які по черзі встановлюють у форму. Це дозволяє поєднати операції пресування і відокремлення готового

виробу від касети (рис. 6.2): 1 – теплоізоляція; 2 – знімна касета; 3 – канали для води.

6.4 Знімні та змінні блокові прес-форми

Знімні прес-форми на відміну від стаціонарних і напівстаціонарних не закріплюють на плитах. Після кожної операції пресування (виливання) їх виносять за межі преса для відокремлення виробу, очищення, встановлення арматури і т. ін. Знімні форми не мають власної системи нагрівання (охолодження), не можуть забезпечити оптимального технологічного режиму, тому їх застосовують переважно в одиничному виробництві.

На рисунку 6.3 показана типова конструкція знімної прес-форми для прямого пресування,

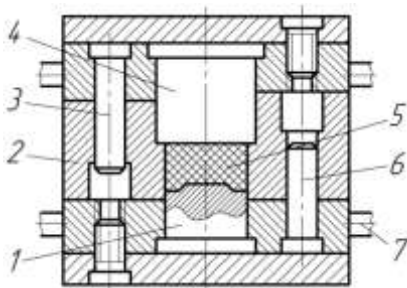


Рисунок 6.3 – Знімна прес-форма

що має горизонтальні площини розніму. Представлена знімна прес-форма для прямого пресування з двома площинами розніму. Складається з таких основних деталей: матриці 1, рухомої матриці 2, що знімається під час розкладання прес-форми, пуансона 4, напрямних колонок 3 і 6,

призначених для суміщення матриці 1 та пуансона 4 під час роботи. Прес-форму транспортують на стіл преса за допомогою ручок 7, розміщених ліворуч і праворуч. Їх використовують у процесі розніму прес-форми на спеціальному пристрої під час вилучення з формувальної порожнини матриці 2 сформованого виробу 5.

Змінні блокові прес-форми закріплюють у блоці, встановленому на пресі й не знімають із нього впродовж усього часу формування заданої партії виробів. Весь цикл виготовлення виробів, як і стаціонарних прес-форм, здійснюють безпосередньо на пресі.

Найбільш широко у виробництві використовують стандартні блоки та змінні прес-форми прямого й ливарного

пресування. Змінні блокові прес-форми встановлюють на блок, не закріплюючи, і після кожного циклу пресування знімають із нього, щоб витягти вироби, а також установити арматуру й різьбові знаки.

6.5 Прес-форми прямого та виливного пресування

У прес-формі прямого пресування завантажувальна камера є продовженням матриці. Матеріал завантажують у матрицю, де він, нагріваючись, набуває пластичності, а потім ущільнюється під дією пуансона.

Прес-форма прямого пресування повністю змикається, коли виріб остаточно оформлений. Такий клас прес-форм використовують для виробництва малих партій простих за конфігурацією виробів.

Прес-форма виливного пресування має завантажувальну камеру, відокремлену від гнізда, і ливникову систему, що з'єднує завантажувальну камеру з гніздом.

Прес-матеріал надходить із завантажувальної камери у формотворну порожнину через отвори (канали) ливників.

Прес-форми виливного пресування мають верхню або нижню завантажувальну камеру. Такий клас прес-форм використовують для масового виробництва виробів практично будь-якої складності.

6.6 Прес-форми відкритого й закритого типів

Прес-форма відкритого типу не має завантажувальної камери, що спрощує конструкцію матриці та пуансона (рис. 6.4 *a*). Такі форми застосовують для виготовлення неглибоких виробів із великою площею пресування (тарілки, кришки) за порівняно тонких стінок, коли сировина повністю розміщується в гнізді матриці.

Недоліками таких прес-форм є підвищена витрата матеріалу (до 10–15 %) та деякий відсоток браку виробів через можливість недопресування.

Прес-форма закритого типу (поршнева) характеризується тим, що гніздо є безпосереднім продовженням завантажувальної камери (рис. 6.4 б). У процесі формування пуансон входить у завантажувальну камеру з малим проміжком, що запобігає витіканню матеріалу з гнізда. У таких прес-формах виготовляють вироби з пластмас із малою пластичністю.

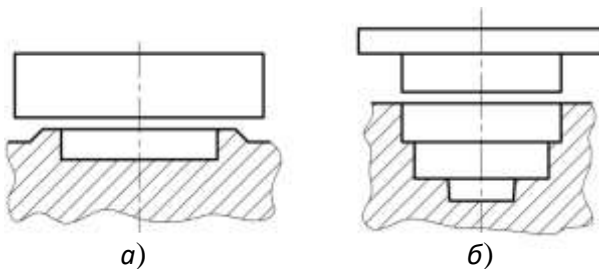


Рисунок 6.4 – Прес-форми: а) відкритого типу;
б) закритого типу

Недоліки таких форм: необхідність суворої відповідності мас матеріалу і готового виробу, складність отримання точних за висотою виробів, збільшене зношення пуансона й матриці.

Унаслідок зазначених недоліків прес-форми відкритого й закритого типів не набули великого поширення.

Прес-форма напівзакритого типу (з перетіканням) характеризується наявністю мінімально необхідного гарантованого проміжку по периметру між пуансоном і спеціально виконаною завантажувальною камерою. Цей проміжок забезпечує витікання надлишку матеріалу під час пресування й гарантує створення необхідного тиску пресування. Завантажувальна камера має дещо більші розміри, ніж пресований виріб. Це необхідно для створення відтискного поясок, що забезпечує остаточне замикання гнізда.

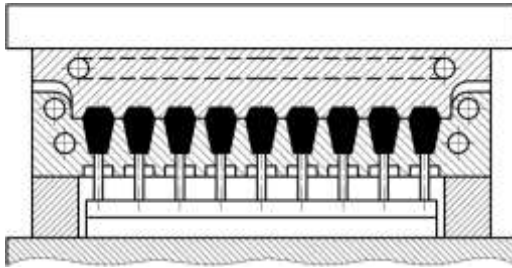
Така прес-форма дозволяє відпресовувати будь-які вироби методом прямого пресування, знижує зношення пуансона й

завантажувальної камери, не потребує точного дозування матеріалу, допускає підпресування.

Недолік прес-форм із перетіканням – деяке збільшення площі пресування через утворення відтискного поясочка. Але завдяки своїм перевагам такі форми набули найбільшого поширення.

6.7 Прес-форми зі спільною та індивідуальною завантажувальними камерами

Прес-форми зі спільною завантажувальною камерою застосовують для виготовлення простих невеликих виробів (рис. 6.5). Основні переваги таких форм: невеликі розміри, малі



*Рисунок 6.5 – Прес-форма
зі спільною завантажувальною камерою*

трудомісткість виготовлення та металомісткість, а також простота завантаження сировини. Недоліки: зазвичай збільшені площа пресування та облой, великий розкид розмірів по висоті, дещо більші витрати сировини.

Прес-форми з індивідуальною завантажувальною камерою застосовують більше (рис. 6.6). Їх переваги: велика точність виготовлення гнізда і відповідно виробу, більш висока ремонтпридатність, менші витрати сировини, недоліки: великі розміри і металомісткість.

6.8 Прес-форми з верхньою та нижньою завантажувальними камерами

Прес-форму з верхньою завантажувальною камерою можна встановити на всіх пресах, які використовують для прямого пресування.

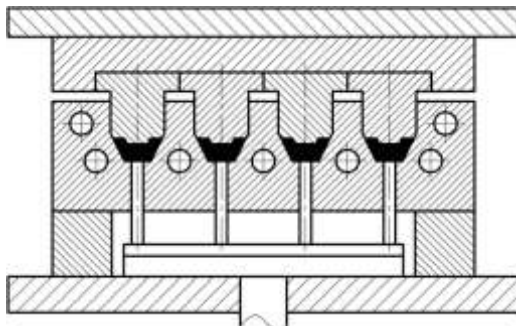


Рисунок 6.6 – Прес-форма з індивідуальною завантажувальною камерою

До недоліків необхідно віднести такі: обмеженість простору для обслуговування гнізда, великі технологічні втрати матеріалу і дещо велику трудомісткість видалення затверділого надлишку матеріалу.

Прес-форму з нижньою завантажувальною камерою найдоцільніше застосовувати на спеціальних пресах зі збільшеним зусиллям нижнього гідравлічного циліндра. Регулюванням цього зусилля в процесі пресування можна отримати відливання з поверхнею пресування майже вдвічі більше, ніж без регулювання.

6.9 Формувальні гнізда, матриці та пуансони

Формувальні гнізда залежно від конструктивного виконання можуть бути відкритими, закритими поршневыми та закритими з перетіканням і мають різне призначення. Відкриті формувальні гнізда (рис. 6.4 а) є одночасно й завантажувальною

порожниною, застосовують для виготовлення великогабаритних виробів, а також виробів, що мають порівняно тонкі стінки. Завантажувальний прес-матеріал повністю міститься у формувальному гнізді матриці.

Закриті поршневі формувальні гнізда (рис. 6.4 б), в яких формувальна порожнина безпосередньо продовжує завантажувальний об'єм, використовують для пресування волокнистих матеріалів і матеріалів із малою пластичністю.

Закриті з перетіканням формувальні гнізда мають відтискну кромку, розміщену на стику пуансона з матрицею.

За кількістю формувальних гнізд прес-форми поділяють на одно- й багатогніздові. Застосування багатогніздових прес-форм підвищує продуктивність процесу пресування. Кількість їх у прес-формі визначають за розрахунком собівартості виробів.

Формувальні гнізда прес-форм ливарного пресування, а також відкритих прес-форм прямого пресування повинні точно відповідати конфігурації виробів. Поєднання пуансона з матрицею в знімних прес-формах рекомендується призначати за посадкою Н9/ф7, а в стаціонарних та змінних блокових прес-формах – Н7/ф7.

Щоб зменшити товщину облою, утворюваного на виробі, пуансон торцевою частиною перекриває матрицю на 1–1,5 мм.

Надлишковий прес-матеріал та гази з формувального гнізда прес-форми прямого пресування видаляють утворенням на робочій частині круглих пуансонів фасок шириною 0,2–0,3 мм, на прямокутних пуансонах малих розмірів – утворенням різних радіусів закруглень завантажувальної порожнини та пуансона, а на великих прямокутних пуансонах – утворенням канавок глибиною 0,2–0,3 мм на їх бічних поверхнях.

Матриці – найважливіші деталі прес-форм, у яких виріб набирає необхідних конфігурації та розмірів. Порівняно з іншими деталями прес-форм матриці найбільш трудомісткі. Щоб покращити технологічність їх конструкцій, завдяки застосуванню ефективних методів оброблення, рекомендують

застосовувати складену конструкцію, тобто обійму з уставними матрицями.

Пуансони в прес-формах прямого пресування передають тиск на прес-матеріал і формують зовнішній або внутрішній контур виробу.

Контрольні питання

1. Призначення прес-форм.
2. Групи прес-форм за способом формування.
3. Різновиди прес-форм за схемою монтажу на пресі.
4. Розподілення прес-форм за розміщенням поверхонь розліму.
5. Структура прес-форм.
6. Які прес-форми називають стаціонарними?
7. Де застосовують стаціонарні прес-форми?
8. Напівстаціонарні прес-форми.
9. Знімні прес-форми.
10. Як розміщують завантажувальну камеру в прес-формі прямого пресування?
11. Як розміщують завантажувальну камеру в прес-формі виливного пресування?
12. Конструкція прес-форми відкритого типу.
13. Конструкція і недоліки прес-форми закритого типу.
14. Прес-форми з перетіканням.
15. Прес-форми зі спільною та індивідуальною завантажувальними камерами.
16. Конструкції формувальних гнізд прес-форм.
17. За якими посадками поєднують пуансон і матрицю в прес-формах?
18. Застосування складеної матриці.

8 КОНСТРУКТИВНІ ЕЛЕМЕНТИ ДЕТАЛЕЙ ПРЕС-ФОРМИ

7.1 Нормалізовані й спеціальні деталі

Прес-форма складається з великої кількості деталей, які повинні бути точно з'єднані між собою. Деталі прес-форм поділяють на нормалізовані й спеціальні. Конструкція нормалізованих деталей прес-форми може бути встановлена заздалегідь незалежно від конструктивних особливостей виробів, що виливаються у прес-формі. Будь-яка прес-форма на 50–95 % складається зі стандартних деталей. На ці деталі припадає від 10 % до 60 % від її повної вартості. Вирішення одного й того самого технічного завдання під час проектування прес-форми завжди інваріантне (кількість гнізд, ливникова система, система виштовхування тощо).

До нормалізованих деталей прес-форми належать:

- верхні й нижні плити прес-форми;
- прості плити, механічно оброблені з усіх боків, для виготовлення пуансонів і матриць;
- деталі для прес-форм (напрявні втулки й колонки, фіксатори, вставки);
- виштовхувачі та елементи для витягування деталей із форми (хвостовики, підшипники, шестерні);
- ливникова система (втулки, інжектори, колектори, фільтри);
- елементи автоматичного керування (розніми, датчики контролю, вимірювальні прилади);
- система охолодження (штуцери, муфти, спіральні вставки для пуансонів, прокладки, шланги);
- інструменти й додаткове устаткування (спеціальні інструменти і пристрої, мастильні матеріали, конічні свердла, електроди, готові вставки з графіту).

До спеціальних деталей прес-форми належать матриці, пуансони, гладкі знаки, різьбові знаки, кільця.

Виробництвом спеціальних деталей займаються спеціалізовані інструментальні фірми зазвичай компанії, в яких безпосередньо замовляють прес-форми.

Найбільш трудомістка деталь прес-форми – матриця. Гнізда прес-форм повинні точно відповідати конфігурації виробів.

Пуанسونи застосовують для оформлення зовнішнього або внутрішнього контура виробу в прес-формі.

Гладкі знаки використовують для оформлення отворів у виробах, що відливаються. Гладкі знаки можуть одночасно бути виштовхувачами.

Різьбові знаки й кільця призначені для оформлення відповідно внутрішньої й зовнішньої різьби у виробах із пластмаси.

Виштовхувачі призначені для видалення готового виробу з гнізда прес-форми.

Окрім системи формотворних, усі інші деталі можуть бути стандартними або перероблятися зі стандартних деталей, які поставляються як заготовки.

Поширена система швидкого виготовлення прес-форм і пробних партій виробів за технологією TAFA (високошвидкісне газополум'яне напилення). У конструкцію прес-форм закладають уніфіковані елементи. Це дозволяє виробникам прес-форм зосередитися на обробленні формотворних деталей, знизити трудомісткість робіт і скоротити терміни виготовлення прес-форм.

Виробництво у цьому разі відбувається за такою схемою:

- закупівля та доопрацювання уніфікованих деталей;
- самостійне виготовлення деталей формотворної системи;
- за необхідності виготовлення оригінальних деталей прес-форми.

Завдяки застосуванню уніфікованих елементів для прес-форми, виготовлених на фірмах, що спеціалізуються в цій галузі, вдається підвищити якість і довговічність прес-форм.

7.2 Проктування ливникової системи

До найважливіших елементів виливних прес-форм належить *ливникова система*, що з'єднує форму з виливним циліндром машини. Ливникова система – це система каналів,



Рисунок 7.1 – Ливникова система

якою розплав матеріалу рухається від циліндра виливної машини до порожнини форми (рис. 7.1). Застиглий у виливних каналах полімер називають вилівком.

Найбільш поширена ливникова система складається з *центрального ливника, розвідних каналів і впускних каналів*. Така система дозволяє відливати в одній формі відразу багато виробів, її застосовують під час виготовлення найрізноманітніших типів виробів.

Центральний ливник є найбільш простою формою системи ливника, за якої канал ливника безпосередньо з'єднаний із порожниною форми в місці його найбільшого перерізу. Його переважно використовують для форм, порожнини яких важко заповнюються, або для товстостінних деталей, що повинні мати точні розміри.

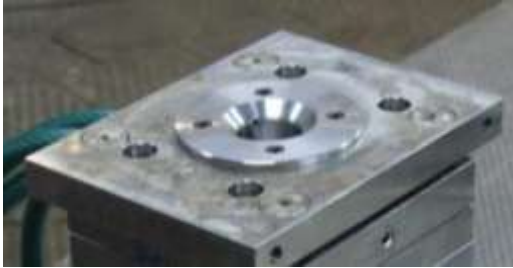
Ливникова система повинна забезпечувати заповнення порожнини форми, а також отримання виробу із задовільним зовнішнім виглядом і необхідними фізико-механічними властивостями.

Різні конструкції ливникових систем за їх технологічним призначенням можна поділити на два типи.

Перший тип – «холодноканальна» система, за якої температура стінок каналів ливників нижча від температури плавлення термопласту.

Другий тип – «гарячеканальна» система, температура якої дорівнює температурі плавлення термопластів. Цю систему ливника застосовують рідше і лише для певних термопластів.

Центральний ливник (рис. 7.2 а), який безпосередньо контактує із соплом виливного циліндра (рис. 7.2 б), є зрізаним конусом. Найменший діаметр центрального ливника повинен бути більшим від діаметра сопла на 0,5—1,0 мм.



а)



б)

Рисунок 7.2 – Центральний ливник (а) та сопло виливного циліндра (б)

Розвідні канали можуть бути круглими, квадратними, напівкруглими, прямокутними й трапецеїдальними. Найкращим типом каналу зазвичай є круглий, проте його потрібно робити в обох половинах форми, що не завжди здійснено. Простішими у виготовленні є канали з трапецеїдальним перерізом, оскільки їх виконують лише в одній половині форми. Об'єм такого каналу лише на 14 % більший від об'єму круглого каналу.

Під час визначення розмірів поперечного перерізу розвідного каналу ливника доводиться враховувати властивості термопласту, масу та розміри виробу, відстань від порожнини форми до центрального ливника, умови охолодження каналів і т. ін.

Поперечний переріз каналів повинен бути достатнім для заповнення форми, перш ніж матеріал затвердіє в каналі, а також для ущільнення матеріалу у формі. Виходячи з цього, діаметр каналів не повинен бути меншим ніж 3 мм. Водночас

поперечний переріз каналу не повинен бути надто великим, оскільки це впливає на тривалість циклу лиття і витрати матеріалу. Тому діаметр каналу повинен не перевищувати 10 мм.

Правильне розміщення розвідних каналів ливників передусім повинне забезпечувати мінімальні втрати тиску, а це можливо, якщо довжина каналів буде мінімальною.

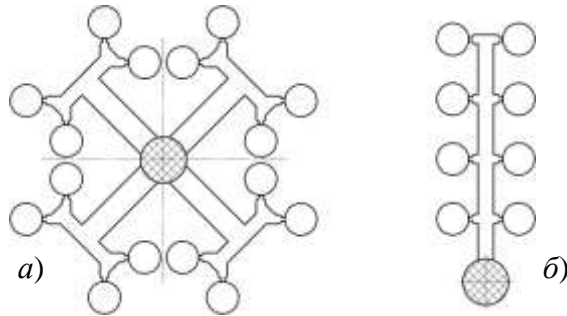


Рисунок 7.3 – Розвідні канали

Гнізда у формі необхідно розміщувати так, щоб умови течії розплаву полімеру від сопла до всіх гнізд форми і шлях до всіх гнізд форми були однаковими (рис. 7.3 а). Симетрія гнізд у формі дає можливість одночасно заповнювати всі гнізда та однаково підживлювати їх у разі витримки під тиском.

Така схема розміщення гнізд, як на рисунку 7.3 б, не може гарантувати рівноцінних умов заповнення всіх гнізд.

Перехід від розвідного каналу ливника до форми здійснюється через впускний канал. Найкращою формою переходу вважають напівкруглу з радіусом, що дорівнює половині діаметра розвідного каналу, $r = d/2$ (рис. 7.4).

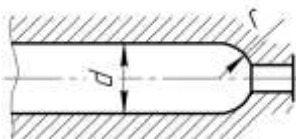


Рисунок 7.4 – Впускний канал

Впускний канал має відносно малий розмір, через який розплав термопласту входить у порожнину форми. Розміри впускання залежать від багатьох чинників: властивостей термопласту, товщини виробу, об'єму порожнини форми, температури

розплаву й форми, точності розмірів виробу і т. ін.

Час уприскування визначають за паспортом ливарної машини і його пов'язують із масою й товщиною S_B відливання. Для тонкостінних виливків час уприскування менший, для товстостінних – більший. Оптимальна довжина виливного каналу повинна бути 20–40 мм залежно від його діаметра d .

Розплав, рухаючись центральним виливним і розвідним каналами, охолоджується. Щоб у форми не потрапив передній фронт охолодженого розплаву, розвідні канали потрібно робити з карманами (рис. 7.5), в яких залишається охолоджений передній шар розплаву. Розміри збірників призначають як $b = (1-1,5) \cdot d$.

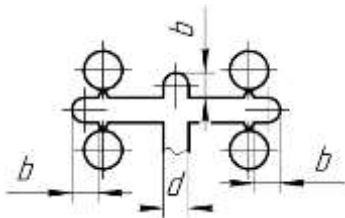


Рисунок 7.5 – Кармани-збирачі

Канали впускні (живильники) – це остання ланка в системі виливних каналів, що підводять матеріал до формувальної порожнини форми. Від їх розмірів і розміщення значною

мірою залежить якість відлитого виробу. Під час відливання термопластів найбільш часто застосовують впускні канали з круглим і прямокутним перерізами.

Під час конструювання ливникової системи необхідно дотримуватися таких правил:

- впускання повинне бути розміщене так, щоб по можливості забезпечити рівномірне заповнення й одночасне досягнення розплавом країв формувальної порожнини;
- порожнина повинна заповнюватися в напрямку потоку прямолінійним фронтом, а не вільним струменем;
- під час формування довгих плоских суцільних виробів розплав потрібно підводити не паралельно великому боку виробу, а перпендикулярно до нього;
- впускання повинне бути розміщене в місцях найбільшої товщини виробу;
- канал впускання повинен забезпечувати рух матеріалів у тому напрямку, в якому необхідно отримати найбільшу

міцність, оскільки в напрямі руху полімеру опір навантаженню, ударна в'язкість, межа витривалості більші, ніж у перпендикулярному напрямі.

7.3 Проектування вентиляційних каналів

У разі заповнення порожнини форми повітрям, яке в ній міститься, а також газами, що виділяються з полімеру, вони стискаються, перешкоджаючи заповненню форми матеріалом. Тому у формі необхідно проектувати канали для відведення газу в тих місцях форми, які ним заповнюються.

Максимальну глибину каналу під час виливання пластмас призначають залежно від матеріалу виробу.

Кількість каналів вибирають із конструктивних міркувань.

Необхідно передбачити видалення повітря та газів із порожнини форми й у разі заповнення її металом [16]. У разі суцільного потоку металу повітря витісняється в кінцеву частину порожнини, в якій і повинні розміщуватися вентиляційні канали. Якщо вентиляційні канали розміщені біля живильника, то вони швидко перекриваються потоком металу й перестають діяти.

Вентиляційні канали прорізають у площині розніму прес-форми шириною 20–40 мм та глибиною 0,05–0,3 мм (табл. 7.2).

Таблиця 7.2 – Глибина вентиляційних каналів для різних сплавів

Сплав	δ_v
Свинцево-олов'янистий	0,05—0,1
Цинковий	0,08—0,12
Алюмінієвий	0,1—0,12
Магнієвий	0,1—0,15
Мідний	0,15—0,2
Сталь	0,2—0,3

Вентиляційні канали виконують у вигляді прямокутних проточок, глибина яких залежить від виду сплаву, який заливають. Іноді з метою збільшення площі поперечного

перерізу вентиляційних каналів їх створюють на стрижнях і виштовхувачах.

Якщо форма заповнюється турбулентним (або дисперсним) потоком, то газу й повітря витісняються в напрямку, протилежному до руху металу в живильнику.

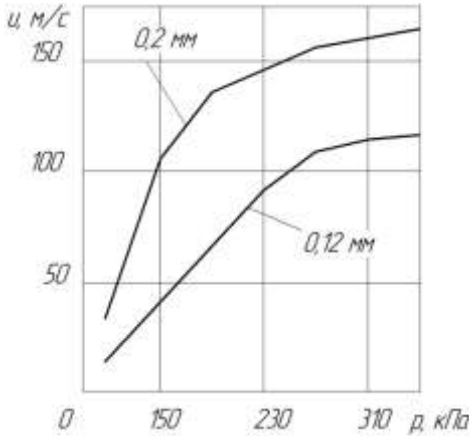


Рисунок 7.6 – Залежність швидкості руху газів від тиску в різних за глибиною каналах під час виливання алюмінієвих сплавів

У разі заповнення форми дисперсним потоком утворюється суміш крапель металу та повітря, яка надалі стискається утворюючи уявне заповнення. Швидкість згущення зростає зі збільшенням швидкості потоку. За такого характеру заповнення вентиляційні канали повинні розміщуватися по всій поверхні розливу.

Основними факторами, що впливають на пористість виливків під час лиття під тиском, є повітря та газу в камері пресування, ливниковій системі та порожнині форми. Для їх видалення використовують вентиляційні канали, площу яких розраховують або встановлюють за рекомендаціями.

Формула для розрахунку площі вентиляційних каналів має вигляд [12]:

$$f = \frac{V_{\phi} \cdot p \cdot T_{\Gamma}}{u \cdot t \cdot p_{\Gamma} \cdot T},$$

де $p = 101\,325$ Па та $T = 293$ К – відповідно тиск і температура газу в порожнині форми перед початком заповнення її металом;

$p_{\Gamma} = 150\,000$ Па та $T_{\Gamma} = 873$ К – відповідно тиск і температура газу в порожнині форми в разі заповнення її металом;

V_{ϕ} – об’єм виливка, м³;

u – швидкість руху газів у разі заповнення форми, м/с;

t – час заповнення форми, с.

Вихідні дані:			
$p := 101325$	$T := 273$	$p_2 := 150000$	$T_2 := 873$
$t := 0.033$	$V := 2 \cdot 10^{-5}$		
Площа поперечного перерізу вентиляційного каналу за його глибини 0,12 мм:			
$u := 40$	$f_1 := \frac{V \cdot p \cdot T_2}{u \cdot t \cdot p_2 \cdot T}$	$f_1 = 3.273 \cdot 10^{-5}$	
Площа поперечного перерізу вентиляційного каналу за його глибини 0,2 мм:			
$u := 100$	$f_2 := \frac{V \cdot p \cdot T_2}{u \cdot t \cdot p_2 \cdot T}$	$f_2 = 1.309 \cdot 10^{-5}$	
			$\frac{f_1}{f_2} = 2.5$

Рисунок 7.7 – Визначення поперечного перерізу
вентиляційного каналу

Швидкості руху повітря у вентиляційних каналах глибиною 0,12 та 0,2 мм залежно від тиску в разі заповнення прес-форми алюмінієвим сплавом наведені на рисунку 7.6.

Приклад. Розрахувати площі поперечного перерізу вентиляційних каналів глибиною 0,12 і 0,2 мм для виготовлення виливків з алюмінієвого сплаву об’ємом $2 \cdot 10^{-5}$ м³. Час заповнення порожнини форми становить 0,033 с. Тиск газів у порожнині прес-форми беремо таким, що дорівнює 150 кПа.

За глибини каналу 0,12 мм швидкість руху газів (рис. 7.6) становить 40 м/с, а за глибини 0,2 мм – 100 м/с.

Розрахунки доводять, що в разі збільшення глибини каналу до 0,2 мм (рис. 7.7) площа його поперечного перерізу, необхідна

для видалення $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ газу, зменшується порівняно з каналом глибиною 0,12 мм у 2,5 рази.

У разі якщо ширина вентиляційних каналів, визначена за запропонованою методикою, виявиться більшою від половини довжини периметра вилівка в площині розніму, необхідно вживати спеціальних заходів щодо зниження протитиску газів у порожнині форми за рахунок збільшення глибини та зменшення довжини вентиляційних каналів.

7.4 Видалення виробів із форми

До системи видалення виробів входять різні механізми знімання та укладання виробів поза робочою зоною преса. Здебільшого таку систему називають виштовхувальною. Така система може бути механічною, пневматичною, комбінованою. Якщо форма дуже висока, то виріб витягають вручну, оскільки немає місця для розміщення виштовхувальної системи.

Механічна система виштовхує й скидає вироби спеціальними виштовхувачами, зіштовхувальними плитами, роз'ємними матрицями і бічними розсувними знаками. Розміри виштовхувачів та їх форми стандартні й наведені у довіднику. У деяких випадках у разі складної конструкції виробу у формі передбачаються бокові виштовхувачі. У цьому разі плити форми будуть подовженими. Виштовхувачі у формі переміщуються в напрямних втулках, розміри й форми яких також наведені в довідниках.

Пневматичні та комбіновані системи виштовхування застосовують для знімання з пуансона або матриці великогабаритних виробів із м'яких матеріалів із пустотами. До систему входять деталі, взаємодія яких (після формування виробів та розмикання прес-форм) приводить до переміщення та виштовхування виробів.

Вибір виштовхувачів залежить від конфігурації та габаритів виробу, який пресують. Відомі стрижневі (найбільш поширені), клинові (малопоширені), комбіновані (для вилучення

виробів складної конфігурації в стаціонарних прес-формах) варіанти виштовхувальних систем. Іноді для видалення виробів використовують пуансон.

Найпростіший і найпоширеніший спосіб виштовхування – стрижнем із гладким торцем. Його використовують для виробів, поверхня яких має плоскі ділянки. Іноді виштовхування виробу проводять через арматуру.

Під час розміщення виштовхувачів необхідно передбачати, щоб виріб не перекошувався під час видалення з матриці. Сліди від виштовхувачів не повинні псувати зовнішнього вигляду виробу. Виштовхувачі повинні бути однакової висоти, інакше можливі перекошування та поломка виробу. Величина ходу виштовхувачів повинна забезпечувати повне видалення виробу з прес-форми. Кріплення виштовхувачів у стаціонарних прес-формах рекомендується робити вільним – плаваючим. Виштовхувачі не можна розміщувати впритул до стінок формувального гнізда, щоб його не пошкодити, їх необхідно встановлювати якомога ближче до контуру формувального елемента.

7.5 Установлення й закріплення арматури

Арматуру в прес-формах установлюють для армування пластмасових виробів у процесі пресування. Армування, тобто запресовування металевих деталей у пластмасових виробках, підвищує механічну міцність і зносостійкість виробів.

Арматура має різні геометричні форми. Найбільш поширені різьбові шпильки, гвинти, осі, штифти (штифтова арматура), різні втулки, пелюстки і контакти.

Якщо відливання містить у собі додаткові елементи, які називають арматурою, то їх перед подаванням у форму розплаву потрібно покласти у відповідні місця форми. Якщо кількість елементів арматури велика, то їх з'єднують у касету. Але здебільшого установлення арматури у формі здійснюють вручну. У разі масового виробництва застосовують і

автоматичне укладання арматури, якщо дозволяє її вид. Найбільш просто автоматизується встановлення арматури з дроту, гладких стрижнів, циліндрів та інших подібних елементів.

Щоб арматура під час роботи форми залишалася на заданому місці, її у формі певним чином потрібно закріпити. Кріплення здійснюють пружинами, цангами, притисками та ін. Сталеву арматуру зручно кріпити за допомогою магнітів.

7.6 Системи переміщення та центрування

Точність переміщення рухомої півформи пов'язана з точністю центрування обох півформ. Це переміщення забезпечується механізмом змикання машини-автомата.

Деталі, що оформлюють бічні отвори, піднутрення на зовнішніх та внутрішніх поверхнях виливків (розсувні напівматриці, складені пуансони, знаки) переміщують за допомогою приводів – механічного, гідравлічного, пневматичного [13]. Їх переміщення пов'язані з додержанням заданої точності руху, поверненням до вихідного стану, тобто з центруванням поєднаних деталей.

Досить часто конструкція виробу така, що сформувати її й вийняти з форми за один рух плит форми неможливо. У цьому разі у формі передбачають бічні рухи елементів форми.

Механічні приводи. З механічних приводів найбільш поширений привод із похило розміщеними колонками й спеціальними повзунами (рис. 7.8).

Діаметр отвору у повзуні 2 повинен бути більшим діаметра D колонки 1 як мінімум на 1 мм. Це необхідно для того, щоб у початковий момент розкриття форми розвантажити повзун 2 і закріплени на ньому формувальні елементи від зусилля замикаання форми, а також запобігти заклинюванню колонки в кінцевий момент стулення форми, коли компенсаційна планка 3 затискає повзун.

Вихідними даними для розрахунку виконавчих розмірів колонки є хід повзуна (див. рис. 7.8) l_x , кут нахилу колонки α , діаметр колонки D і товщина плити h .

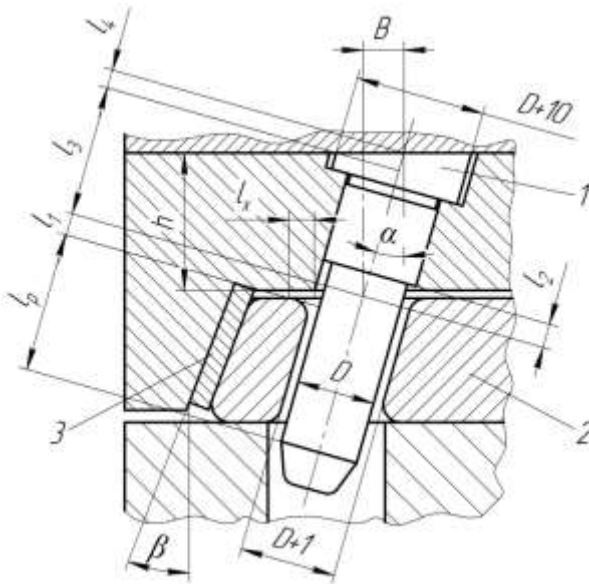


Рисунок 7.8 – Схема механічного привода рухомого елемента за допомогою похилої колонки

З достатньою для практичних цілей точністю розміри колонки (рис. 7.9) розраховують за такими формулами:

$$l_0 = l_3 + l_4 - l_2, \quad (7.1)$$

де $l_3 = \frac{h}{\cos \alpha}$, $l_4 = 0,5 \cdot (D + 10) \cdot \operatorname{tg} \alpha$, $l_2 = 2 + (D + 5) \cdot \operatorname{tg} \alpha$;

$$l = l_p + l_1 + l_3 + l_4, \quad (7.2)$$

де $l_p = \frac{l_x}{\sin \alpha} + \frac{0,5}{\operatorname{tg} \alpha}$, (7.3)

$$l_1 = (R + \delta) / \cos \alpha,$$

де $\delta = 0,5 \cdot (D_1 - D)$, D_1 – діаметр отвору в повзуні 2.

$$L = l + l_4 + 8. \quad (7.4)$$

Різниця координат посадкового отвору під колонку та отвору в повзуні дорівнює

$$B = (h + \delta) \operatorname{tg} \alpha. \quad (7.5)$$

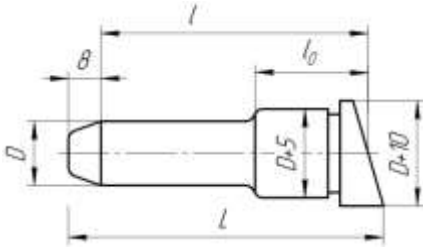


Рисунок 7.9 – Колонка

Якщо вилівок у разі розмикання форми залишається в її нерухомій частині, рухомі елементи розміщують у нерухомій частині форми, а похилі пальці – у рухомій. Іноді похилі пальці є одночасно й формувальними знаками.

Пружинні механізми привода застосовують для переміщення повзунів, якщо хід повзуна не більший ніж 5 мм. Пружини зазвичай спіральні, працюють на стиснення. Для матеріалів із високою адгезією і для переміщення важких повзунів рекомендують тарілчасті пружини.

На рисунку 7.10 показаний приклад використання пружини для безпосереднього переміщення формувального знака 1, розміщеного на зовнішній поверхні виробу. У робоче положення знак установлюють клином 2.

Гідропривод використовують для вилучення з вилівка рухомих елементів за значних зусиль, для отримання великого ходу довгих формувальних знаків, якщо застосування механічного привода неможливе через конструктивні особливості форми.

Оформлення піднутрення на поверхні вилівка здійснюють сегментами, складеними пуансонами, похилими штовхачами і т. ін.

Сегменти використовують для утворення піднутрення невеликої глибини. У разі використання *сегментного механізму* сегменти переміщуються під час розмикання форми,

розходяться і звільняють піднутрення. Рух під кутом до осі форми забезпечується спеціальними похилими напрямними. Сегменти рухають прямими або похилими штовхачами, пружинами, ланцюговою передачею та іншими способами.

Переміщення рухомих елементів під час оформлення різи складається з двох прямолінійних рухів або є поєднанням обертального й прямолінійного рухів. Рухомі елементи не повинні зміщуватися після розкриття форми, тому в крайніх положеннях їх фіксують за допомогою кульок, пальцевих фіксаторів, пружинних або пневматичних запобіжників.

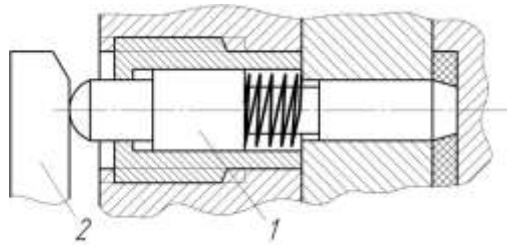


Рисунок 7.10 – Формувальний знак

Центрувальні елементи форм. Якість одержаних виробів, особливо тонкостінних, а також надійність роботи форм багато в чому залежать від точного розміщення півформ та їх окремих елементів. Базувальними елементами півформ є фланці кріпильних плит. На нерухомій плиті машини фланець забезпечує співвісність центральної виливної втулки форми і сопла матеріального циліндра машини. На рухомій плиті фланець забезпечує співвісність рухомої й нерухомої півформ. Остаточне центрування частин форм забезпечують напрямні колонки, планки, конічні або похилі поверхні, поперечні вали, конічні цапфи та ін.

Вибір того чи іншого способу центрування залежить від величини поперечних сил, допустимого відхилення від співвісності пуансона та матриці, форми виробу та технологічних можливостей виготовлення форми.

Напрямні елементи необхідно встановлювати якомога ближче до країв плит для вільного й зручного розміщення формотворних елементів і систем температурної стабілізації.

Напрямні колонки не лише центрують пуансон і матрицю, а й ними переміщуються плити форми під час замикання та розмикання. Колонки повинні бути достатньою міцними й жорсткими, тому необхідно правильно вибирати діаметр колонки і забезпечувати жорстку посадку її в плиті. Товщину плити вибирають не меншою ніж $1,5d$ (де d – діаметр колонки).

Для форм товщиною до 600 мм діаметр колонок рекомендують визначати за емпіричною формулою:

$$d = 4 + 0,06D, \quad (7.6)$$

де d – діаметр прямої частини колонки, мм;

D – діаметр форми, мм.

Для спрямування та фіксації частин великих ливарних форм застосовують напрямні планки, які пригвинчують до боковин форми. Зазвичай їх чотири. Використання планок дозволяє забезпечувати точність рухів за великих силових і теплових навантажень, легко змінювати їх у разі зношення.

Система центрування впливає на якість виробів. Вона повинна забезпечити точне розміщення пуансона щодо матриці. Відхилення положення може відбуватися через несиметричну конфігурацію виробу й нерівномірне заповнення порожнини, несиметричну площину розливу форми, похибки форми і неточність напрямних колонок. У цьому разі виникають непередбачені поперечні сили.

7.7 Термостабілізація форм

Система термостабілізації форми призначена для охолодження вилівки. Тепло від розплаву передається до металевої форми, далі – до холодоагенту і в навколишнє середовище.

Швидкість і рівномірність охолодження виробу впливають на ступінь кристалічності, величину та характер внутрішніх напружень у виливках. Час охолодження повинен бути економічно обґрунтованим, він становить основну частину технологічного циклу.

Системи температурної стабілізації бувають водоциркулюючі, маслоциркулюючі, компресорно-охолоджувальні, охолоджувані випаровуванням.

У водоциркулюючих системах температурні обмеження води пов'язані з осадженням солей на стінках каналів, що змінює тепловий баланс форми. Проте такі системи охолодження є основними, що забезпечують працездатність форм.

Охолодження виливків можливе поза формою на повітрі та у ваннах з охолоджувальною рідиною. Безпосередньо у формі під час охолодження формотворних деталей чи в разі контакту з охолоджувальними плитами.

Основні ознаки системи термостабілізації – це конструктивні особливості її елементів: якої форми переріз каналів (круглий, прямокутний і т. ін.), якої конфігурації порожнини (круглі, прямокутні, конічні). До додаткової ознаки належить форма траєкторії охолоджувальних каналів. Канали можуть бути паралельними, спіральними, перехресними та ін. (рис. 7.11).

Якість охолодження залежить від розміщення охолоджувальних каналів стосовно робочих поверхонь форми, поперечного перерізу каналів і відстані між ними. Труднощі з розміщенням каналів виникають з огляду на те, що вони повинні огинати виштовхувачі та напрямні колонки. Зазвичай діаметри охолоджувальних каналів беруть такими, що дорівнюють $d = 8\text{--}10$ мм, у найвужчих місцях переріз не повинен бути меншим ніж $25\text{--}30$ мм². За великих перерізів різко збільшується потреба в охолоджувальній рідині.

Довжина каналів повинна бути мінімальною. Найбільш сприятлива відстань між каналами охолодження $l = (1\text{--}1,5) \cdot d$.

Прагнення до інтенсифікації охолодження за рахунок збільшення прохідного перерізу каналів призводить до надмірного ослаблення відповідних деталей форми та руйнування їх за впливу динамічних навантажень.

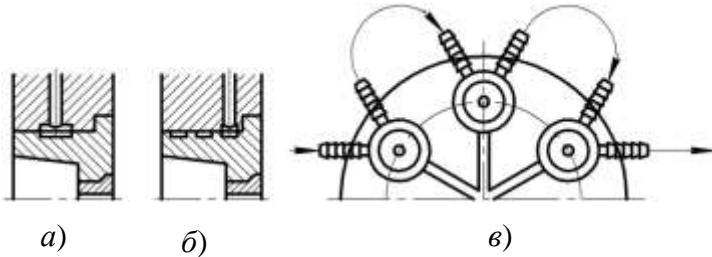


Рисунок 7.11 – Форми охолоджувальних каналів у матриці:
а) кільцева; б) гвинтова; в) послідовного охолодження

Порушення працездатності системи охолодження може бути пов'язане з розгерметизацією охолоджувальних каналів і порожнин через корозію металу або засмічення нерозчинними осадами. Охолоджувальна рідина не повинна потрапляти на робочі поверхні форм, оскільки це призводить до браку деталі.

Під час розрахунків системи охолодження встановлюють кількість тепла, що віддається розплавом формі, знаходять витрату охолоджувальної води, визначають швидкість її руху на підставі заданих діаметрів охолоджувальних каналів або розмірів порожнин, визначають коефіцієнт тепловіддачі від форми до води, розраховують довжину та кількість каналів, поперечний переріз порожнин, відстань між каналами.

Охолодження полімеру у формі потребує відведення великої кількості теплоти. З огляду на це тривалість циклу відливання значною мірою залежить від ефективності відведення тепла. Крім того, режим охолодження впливає на якість виробу.

Завдання конструктора полягає в правильному розрахунку і проектуванні системи термостабілізуювальних каналів форми, яка забезпечить підтримання необхідного теплового режиму.

Методика розрахунку така. Кількість теплоти, що надходить із розплавом і віддається виливком, Дж:

$$Q_B = m_B c_B (t_{\text{п}} - t_{\text{к}}),$$

де m_B – маса виливку, кг;

c_B – питома теплоємність матеріалу відливання, Дж/(кг · К);

$t_{\text{п}}$ – початкова температура виробу, що дорівнює температурі вприскуваного у форму розплаву, К;

$t_{\text{к}}$ – температура виробу, за якої розкривається форма, К.

Кількість тепла, що відводиться охолоджувачем (якщо вважати, що в навколишнє середовище відходить його незначна кількість),

$$Q_{\text{охол}} = Q_B. \quad (7.7)$$

Проте якщо охолоджувач нагрівається до високої температури, то потрібно враховувати відведення тепла в навколишнє середовище:

$$Q_{\text{сер}} = Q_{\text{к}} + Q_{\text{т}} + Q_{\text{випр}},$$

де $Q_{\text{к}}$, $Q_{\text{т}}$, $Q_{\text{випр}}$ – кількість тепла що передається в навколишнє середовище конвективно, через кріпильні плити машини і випромінюванням.

Оскільки в цьому разі необхідно передбачити теплову ізоляцію форми від плит преса, то $Q_{\text{т}}$ під час розрахунків можна не враховувати. За високих температур форми $Q_{\text{випр}} \approx 0,25Q_{\text{к}}$, тому остаточно можна записати

$$Q_{\text{сер}} = 1,25Q_{\text{к}},$$

і тоді

$$Q_{\text{охол}} = Q_B - 1,25Q_{\text{к}}. \quad (7.8)$$

Використовуючи (7.7) чи (7.8), складають рівняння теплового балансу для охолоджувача:

$$Q_{\text{охол}} = m_p \cdot c_p \cdot \Delta t, \quad (7.9)$$

де m_p – маса охолоджувача, кг;

c_p – питома теплоємність охолоджувача, Дж/(кг · К);

Δt – різниця температур охолоджувача на виході й вході в канали форми (щоб запобігти нерівномірності охолодження беруть не більше ніж 2–4° К).

Довжина каналу

$$l = \omega \cdot \tau,$$

де τ – час циклу охолодження, с;

$\omega = 0,5\text{--}1,0$ м/с – швидкість руху охолоджувача.

Маса охолоджувача

$$m_p = F \cdot l \cdot \rho_p, \quad (7.10)$$

де ρ_p – питома густина охолоджувача, кг/м³.

Тоді площа перерізу охолоджувального каналу на основі (7.9) і (7.10)

$$F = Q_{\text{охол}} / (l \cdot \rho_p \cdot c_p \cdot \Delta t).$$

Діаметр каналу, або сторона квадратного каналу, м,

$$d = 1,13\sqrt{F}.$$

Приклад. Розрахувати діаметр охолоджувального каналу для оснащення прес-форми для виливання деталі з алюмінію розмірами 0,08 мм х 0,06 мм х 0,15 мм. Питома густина й питома теплоємність розплаву алюмінію $\rho_m = 8\ 000$ кг/м³ і $c = 1\ 000$ Дж/(кг · К) відповідно. Температура розплаву $t_m = 933$ К, температура розкриття форми $t_k = 400$ К.

Швидкість руху рідини охолоджувальним каналом $\omega = 0,8$ м/с, час охолодження $\tau = 600$ с, питома густина й питома теплоємність охолоджувальної рідини $\rho = 997$ кг/м³ і

$c_p = 4\,180 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ відповідно. Різниця температур охолоджувача на виході й вході в канал форми $\Delta t = 4 \text{ К}$.
 Результат розрахунку поданий на рисунку 7.12.

Маса виливка з алюмінію, кг						
Розміри деталі, м, $H \times B \times L$:		$H = 0.08$	$B = 0.06$	$L = 0.15$		
Питома густина матеріалу, $\text{кг}/\text{м}^3$:		$\rho_m = 8000$				
Маса:		$m = H \cdot B \cdot L \cdot \rho_m \quad m = 5.76$				
Тепло, яке необхідно відвести від деталі, Дж						
$c = 1000$	$t_n = 933$	$t_k = 400$	$Q = m \cdot c \cdot (t_n - t_k)$			
Діаметр охолоджувального каналу, м						
$Q_o = Q$	$\omega = 0.8$	$\tau = 600$	$\rho = 997$	$c_p = 4180$	$\Delta t = 4$	
Площа перерізу каналу		$F = \frac{Q_o}{\omega \cdot \tau \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta t}$				
Діаметр:		$d = 1.13 \cdot \sqrt{F} \quad d = 0.022$				

Рисунок 7.12 – Визначення діаметра охолоджувального каналу

Контрольні питання

1. Нормалізовані деталі прес-форм.
2. Спеціальні деталі прес-форм.
3. Система швидкого виготовлення прес-форм.
4. Схема виробництва прес-форм.
5. Призначення ливникової системи.
6. Склад ливникової системи.
7. Типи ливникових систем.
8. Конструкція центрального ливника.
9. Форми розвідних каналів.
10. Як визначають розмір поперечного перерізу розвідного каналу?
11. Як правильно розмістити гнізда?

12. Для чого необхідні кармани на розвідних каналах?
13. Правила конструювання ливникової системи.
14. Призначення вентиляційних каналів.
15. Що таке уявне заповнення форми?
16. Фактори, що впливають на пористість виробів.
17. Механічна виштовхувальна система.
18. Пневматичні й комбіновані системи виштовхування.
19. З якою метою в прес-формах установлюють арматуру?
20. Кріплення арматури в прес-формі.
21. Приводи переміщення деталей, які оформлюють бічні отвори й піднутрення.
22. Призначення системи термостабілізації.
23. Форма перерізу і траєкторія охолоджувальних каналів.
24. Від чого залежить якість охолодження?
25. Як можна регулювати температуру форми?

ПІСЛЯМОВА

Для виробництва виробів пластичним деформуванням використовують спеціальне ковальсько-пресове устаткування. Ковальсько-пресове устаткування складається з певного переліку верстатів, що виконують операції в процесі оброблення металу тиском. Сучасне ковальсько-пресове устаткування призначене для організації виробництва на всіх етапах, починаючи із заготівельних операцій та закінчуючи виготовленням готових виробів. Ковальсько-пресове устаткування використовують в індивідуальному і масовому виробництвах.

Найбільшого поширення набуло ковальсько-пресове устаткування для холодного листового та об'ємного штампування. Це гільйотинні ножиці, кривошипні, листозгинальні преси, молоти, ковальсько-пресові автомати.

Процес холодного штампування характеризується невеликою енергоємністю, високою продуктивністю і дозволяє виготовляти складні вироби з мінімальними відходами.

Гідравлічні преси користуються великою затребуваністю завдяки тому, що можна одержувати високий тиск із використанням малих зусиль. Механічні преси виготовляють деталі з листового матеріалу з використанням таких операцій холодного штампування, як вирубування, витягування й вигин. До механічних верстатів належать, зокрема, кривошипні преси подвійної дії, призначені для глибокого витягування з листової заготовки. Кривошипні штампувальні преси виконують основні операції холодного штампування, а процеси переналагодження преса й зміна штампа проходять у частково механізованому режимі, що дозволяє скоротити витрати часу й забезпечити безпеку під час роботи з верстатом.

Ковальсько-пресові автомати використовують для накручування пружин, розтягування ланок ланцюгів і виготовлення різних деталей із металевої стрічки методом холодного штампування. До ковальсько-пресового устаткування

належать також лінії поздовжньо-поперечного різання й преси для пакування. Преси для пакування листових відходів і металевого лому чорних і кольорових металів у пакети призначені для зручності їх зберігання й перевезення. Існують також преси для пакування побутових відходів із картону, паперу, пластику.

Система ЧПК ковальсько-пресових машин керує електромагнітами, переміщенням заготовок і деталей, системою змащення, двигуном головного привода; забезпечує надійну та безпечну роботу преса; ідентифікує несправності обладнання; вказує штампувальникові на послідовність дій. ЧПК ковальсько-пресового обладнання і металорізальних верстатів мають істотні відмінності.

Формоутворення під час різання відбувається в результаті програмування кінематики руху інструменту, лезовий інструмент «відкидає» з поверхні заготовки непотрібні частинки металу (припуск), утворюючи деталь. Під час оброблення тиском частини металу змінюють своє положення відносно об'єму заготовки під дією робочих поверхонь інструментів (штампів чи прес-форм), реалізується безвідхідне виробництво.

А на початку 80-х років ХХ ст. почали розвиватися нові методи виробництва деталей, що ґрунтуються не на видаленні матеріалу, не на переміщенні його об'ємів під дією тиску, а на пошаровому виготовленні виробу за тривимірною електронною моделлю. Група цих технологій одержала назву Additive Manufacturing – «адитивне виробництво». Завдяки вдосконаленню обчислювальної техніки й програмного забезпечення технології адитивного виробництва зробили значний ривок і можуть в майбутньому витіснити процеси різання та оброблення тиском.

Механізми пресів, інструменти, проектування заготовок, система ЧПК рухом заготовок і деталей, діагностики стану обладнання і відповідне програмне забезпечення складають мехатронну ковальсько-пресову систему, а оптимізація взаємодії всіх її елементів і є основним завданням моделювання.

Список літератури

1. Mechatronic systems design and solid materials. Methods and Practices / Satya Bir Singh, Prabhat Ranjan, Alexander V. Vakhrushev, A. K. Naghi. – CRC Press, 2021. – 241 p.
2. Басов Н. И. Расчет и конструирование формующего инструмента для изготовления изделий из полимерных материалов / Н. И. Басов, В. Л. Брагинский, Ю. В. Казанков. – Москва : Химия, 1991. – 352 с.
3. Бочаров Ю. А. Кузнечно-штамповочное оборудование / Ю. А. Бочаров. – Москва : Издательский центр «Академия», 2008. – 480 с.
4. Буренков В. Ф. Теория, расчеты и конструкции кузнечно-штамповочного оборудования. Ч. 1. Кривошипные машины / В. Ф. Буренков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2011. – 127 с.
5. Горюнов И. И. Пресс-формы для литья под давлением : справочное пособие / И. И. Горюнов. – Ленинград : Машиностроение, 1973. – 256 с.
6. Григорьев Л. Л. Холодная штамповка : справочник / Л. Л. Григорьев, К. М. Иванов, Э. Е. Юргенсон. – Санкт-Петербург : Политехника, 2011. – 665 с.
7. Губкин С. И. Основы теории обработки металлов давлением / С. И. Губкин, Б. П. Звороно, В. Ф. Катков и др. – Москва : Машиностроение, 1959. – 540 с.
8. Гуль В. Е. Основы переработки пластмасс / В. Е. Гуль, М. С. Акутин. – Москва : Химия, 1985. – 400 с.
9. Допуски и посадки : справочник : в 2 ч. / В. Д. Мягков и др. – Ленинград : Машиностроение, 1979. – 1032 с.
10. Иванов К. М. Механика процессов обработки давлением / К. М. Иванов, Н. И. Нестеров, Д. В. Усманов. – Санкт-Петербург : БГТУ, 2012. – 299 с.
11. Ланской Е. Н. Элементы расчета деталей и узлов кривошипных прессов / Е. Н. Ланской, А. Н. Банкетов. – Москва : Машиностроение, 1966. – 380 с.
12. Михальцов А. М. Вентиляция пресс-форм при литье под давлением / А. М. Михальцов, А. А. Пивоварчик // Литье и металлургия. – 2019. – № 1. С. 34–37.
13. Пантелеев А. П. Справочник по проектированию оснастки для переработки пластмасс / А. П. Пантелеев, Ю. М. Шевцов, И. А. Горячев. – Москва : Машиностроение, 1986. – 400 с.
14. Плєснецов Ю. О. Ковальсько-штампувальне обладнання. Механічні преси / Ю. О. Плєснецов, В. О. Маковей. – Харків : НТУ «ХПІ», 2014. – 236 с.
15. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. – 6-е изд., перераб. и доп. / В. П. Романовский. – Ленинград : Машиностроение, 1979. – 520 с.

16. Скворцов В. А. Конструирование и расчет деталей пресс-форм литья под давлением / В. А. Скворцов, Ю. А. Николайчик. – Минск : БЫТУ, 2019. – 50 с.
17. Сторожев М. В. Теория обработки металлов давлением / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. – Москва : Машиностроение, 1977. – 423 с.
18. Технология листовой штамповки / В. И. Стеблюк, В. Л. Марченко, В. В. Белов, А. Г. Гривачевский. – Киев : Вища школа, 1983. – 280 с.
19. Филатов В. И. Технологическая подготовка процессов формования изделий из пластмасс / В. И. Филатов, В. Д. Корсаков. – Ленинград : Политехника, 1991. – 352 с.
20. Швець С. В. Штампи та прес-форми, конструювання та технологія виготовлення / С. В. Швець, Л. М. Седінкін. – Суми : Сумський державний університет, 2005. – 117 с.
21. Щеглов В. Ф. Кузнечно-прессовые машины. Теория, конструкция и расчет / В. Ф. Щеглов, Л. Ю. Максимов, В. П. Линц. – Москва : Машиностроение, 1979. – 304 с.

Навчальне видання

**Швець Станіслав Володимирович,
Швець Уляна Станіславівна,
Борисюк Вадим Миколайович**

МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАТРОННОЇ КОВАЛЬСЬКО-ПРЕСОВОЇ СИСТЕМИ

Навчальний посібник

Художнє оформлення обкладинки С. В. Швеця
Редактор С. М. Симоненко
Комп'ютерне верстання С. В. Швеця

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 10,46. Обл.-вид. арк. 10,24. Тираж 300 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.

