

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри машинобудування,
мехатроніки і робототехніки
канд. техн. наук, доцент

_____ Андрій ГРЕЧКА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти на тему
«Технологічне забезпечення виготовлення деталі «Гільза»»
«Technological support for the production of the "Sleeve" part»

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ПМ(ОТ)-20
спеціальності 131 «Прикладна механіка»

_____ Савченко М. С.

Керівник проекту
канд. техн. наук, доцент

_____ Володимир СВЯЦЬКИЙ

Рецензент
канд. техн. наук, доцент

_____ Любов ОЛІЙНІЧЕНКО

м. Кропивницький 2024

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет: механіко-технологічний

Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма: «Прикладна механіка»

Завідувач кафедри машинобудування,
мехатроніки і робототехніки

канд. техн. наук, доцент

_____ Андрій ГРЕЧКА

9 квітня 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти Савченку Михайлу Станіславовичу

1. Тема роботи: «Технологічне забезпечення виготовлення деталі «Гільза»»
2. Керівник роботи: Свяцький Володимир Вячеславович
3. Строк подання роботи до захисту: 21 червня 2024 р.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи.

Мета: розробка технологічного процесу виготовлення деталі «Гільза».

Завдання: обґрунтувати актуальність теми та напрямок розрахунків; провести аналіз технологічної деформованості матеріалу, розробити технологію підготовчих операцій та спроектувати технологічний маршрут холодного видавлювання деталі за допомогою системи кінцево-елементного аналізу механіки і термодинаміки процесів деформування матеріалів DEFORM™-3D, підібрати засоби технологічного оснащення.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури	19.04.2024 р.	
2	Аналіз технологічної деформованості матеріалу	25.04.2024 р.	
3	Проектування технології підготовчих операцій та технологічного процесу виготовлення деталі, вибір засобів технологічного оснащення	30.05.2024 р.	
4	Написання першого варіанта тексту, подання його на ознайомлення керівникові	05.06.2024 р.	
5	Усунення недоліків, написання останнього варіанта тексту	10.06.2024 р.	
6	Перевірка роботи на плагіат	14.06.2023 р.	
7	Зовнішнє рецензування роботи	15.06.2024 р.	
8	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні екзаменаційної комісії	21.06.2024 р.	

Дата видачі завдання
9 квітня 2024 р.

Підпис керівника
_____ Свяцький В. В.

Завдання прийнято до виконання
9 квітня 2024 р.

Підпис здобувача
_____ Савченко М. С.

АНОТАЦІЯ

Савченко М. С. Технологічне забезпечення виготовлення деталі «Гільза». Кваліфікаційна робота для освітнього рівня «бакалавр», спеціальність 131 «Прикладна механіка», ОПП «Прикладна механіка»: Центральнуукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2024 рік.

Матеріали презентації – 5 слайдів.

Об'єктом дослідження є деталь типу «Гільза». Мета роботи – розробка технологічного процесу виготовлення деталі «Гільза». У результаті розробки був проведений аналіз технологічної деформованості матеріалу, розроблена технологія підготовчих операцій та спроектований технологічний маршрут холодного видавлювання деталі за допомогою системи кінцево-елементного аналізу механіки і термодинаміки процесів деформування матеріалів DEFORM™-3D, підібрані засоби технологічного оснащення.

гільза, деформування, кінцево-елементний аналіз, технологічний процес, інструмент

ANNOTATION

Mykhailo SAVCHENKO. Technological support for the production of the "Sleeve" part. Qualification work for the educational level "Bachelor", specialty 131 "Applied mechanics", OPP "Applied mechanics": Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2024.

Presentation materials – 5 slides.

The object of the study is a detail of the "Sleeve" type. The purpose of the work is to develop the manufacturing process of the "Sleeve" part. As a result of the development, an analysis of the technological deformation of the material was carried out, the technology of preparatory operations was developed and the technological route of cold extrusion of the part was designed using the system of finite element analysis of the mechanics and thermodynamics of the deformation processes of materials DEFORM™-3D, and the means of technological equipment were selected.

sleeve, deformation, finite element analysis, technological process, tool

Зміст

Вступ	5
1 Аналіз технологічності конструкції деталі	5
2 Моніторинг технологічної деформованості матеріалу, що підлягають холодному видавлюванню.	6
3 Проектування технологічного маршруту.	9
4 Розробка технології підготовчих операцій ХОШ.	11
4.1 Очищення поверхні	11
4.2 Попередня та проміжна термообробка	11
4.3 Мастильні матеріали та покриття	13
5 Визначення розмірів розмірів виробу після холодного видавлювання та допусків.	13
6. Вибір технологічного процесу отримання вихідної заготовки.	16
7 Проектування технологічного процесу в системі DEFORM™-3D	20
9 Розрахунок та проектування технологічного оснащення	23
10 Вибір засобів механізації (автоматизації) процесу ХОШ та мікропланувальних рішень обладнання	25
Висновок	29
Перелік літератури	30
Додатки	31
Додаток А. Конструктивно-технологічний аналіз деталі «Гільза» ...	32
Додаток Б. Схема для проектування технологічного оснащення зворотного видавлювання.	33

Вступ

Машинобудування – галузь промисловості, яка займається виробництвом машин, верстатів, устаткування, приладів. Машинобудування посідає перше місце з виробництва продукції серед усіх галузей світової промисловості.

Високотехнологічні галузі машинобудування потребують виготовлення якісних виробів складної конфігурації із сучасних сплавів із заданим хімічним складом і механічними властивостями.

Виробництво видавлюванням заготовок профілів заданої форми і перерізів типу «Гільза» часто виявляється більш економічним процесом, ніж штампування їх з наступною механічною обробкою. Це пояснюється тим, що обробкою тиском можна отримати вироби необхідних розмірів з малими допусками і, тим самим, скоротити до мінімуму подальшу механічну обробку деталі.

Виконанню цих завдань сприяють організація роботи на основі сучасних засобів виробництва, впровадження передових технологій і прогресивного технологічного оснащення.

1 Аналіз технологічності конструкції деталі

Проводиться по двом основним напрямкам – стосовно вихідного матеріалу та стосовно конфігурації штампованого виробу.

Холодному видавлюванню піддають якісні конструкційні сталі, хімічний склад та механічні властивості яких відповідають ГОСТ 1050, ГОСТ 4543 та ГОСТ 801 та кольорові метали. Сталі звичайної якості застосовувати для холодного видавлювання небажано через ненормованість деяких показників (межі плинності, вмісту окремих хімічних елементів, ударної в'язкості тощо), які мають суттєве значення для якісного проведення штампування.

Складність кінематики переміщення деформованих частинок матеріалу, зміни в його структурі та вплив зміцнення на характер деформації

обумовлюють суттєві обмеження на зміст вуглецю в сталях та деяких легуючих елементів і хімічних домішок у кольорових металах. Такі обмеження складають: по вуглецю С 0,35%, по марганцю Mn 1,5%, по хрому Cr 1,5%, по нікелю Ni 0,75%, по міді Cu 0,25%, по молібдену Mo 0,5%, по силіцію (кремнію) Si 0,1%, по сірці та фосфору – до 0,045%.

Якість поверхні вихідного металопрокату аналізується за такими показниками:

- дефекти у вигляді закатів, тріщин та глибоких рисок неприпустимі;
- окремі зім'ятини повинні бути не більше половини допуску на розмір (напівсуми граничних відхилень);
- неглибокі риси не повинні перевищувати 0,1 мм для прутків перерізом до 20 мм та 0,2 мм для прутків перерізом більше 20 мм.

Для виготовлення деталі типу «Гільза» використовуємо латунь марки Л60 (або аналог CuZn40 CW509L).

2 Моніторинг технологічної деформованості матеріалу, що підлягають холодному видавлюванню

Латунь марки Л60 (або аналог CuZn40 CW509L), придатна для ХОПІ за ступенем своєї деформованості, має практичне значення для проектування технології холодного з помірним опором пластичному деформуванню.

Характеристика матеріалу Л60

Марка :	Л60
Класифікація :	Латунь, оброблювана тиском
Доповнення:	Латунь проста (подвійна). Добре деформується в гарячому й холодному стані (сплав ковкий і придатний для глибокої витяжки); гарна в'язкість

Хімічний склад в % матеріалу Л60

Fe	P	Cu	Pb	Zn	Sb	Bi	Домішок
до 0.2	до 0.01	59 - 62	до 0.3	37 - 41	до 0.01	до 0.003	усього 1

Примітка: Zn - основа; процентний вміст Zn дане приблизно

Ливарно-технологічні властивості матеріалу Л60

Температура плавлення :	904 °С
Температура гарячої обробки :	750 - 880 °С
Температура відпалу:	550 - 650 °С

Механічні властивості при T = 20 °С матеріалу Л60

Сортамент	Розмір	Напр.	σ_b	σ_t	d_5	γ	KCU	Термообр.
-	мм	-	МПа	МПа	%	%	кДж / м ²	-
Труби пресовані			340					
Сплав м'який			370-420		40-50			
Сплав твердий			650-750		2-4			

Твердість Л60, сплав м'який	HB 10 ⁻¹ = 60 - 70 МПа
Твердість Л60, сплав твердий	HB 10 ⁻¹ = 155 - 165 МПа

Фізичні властивості матеріалу Л60

T	E 10 ⁻⁵	a 10 ⁶	l	г	C	R 10 ⁹
Градуси	МПа	1/Гради	Вт/(м·гради)	кг/м ³	Дж/(кг·гради)	Ом·м
20	1.18		104.67	8400		75
100		20.7			376.81	

Коефіцієнт тертя матеріалу Л60

Коефіцієнт тертя зі змащенням :	0.012
Коефіцієнт тертя без змащення :	0.45

Закордонні аналоги матеріалу Л60

Увага! Зазначені як точні, так і найближчі аналоги.

США	Японія	Франція	Англія	Євросоюз	Польща	Чехія	Австрія
-	JIS	AFNOR	BS	EN	PN	CSN	ONORM
C28000	C2801 C3712	Cuzn40 U-Z40	CZ109	Cuzn40 CW509L	Cuzn40	423220	Cuzn40

Позначення:

Механічні властивості :

σ_b - Межа короткочасної міцності, [МПа]

σ_t - Межа пропорційності (границя текучості для залишкової деформації),
[МПа]

d_5 - Відносне подовження при розриві, [%]

y - Відносне звуження, [%]

НВ - Твердість по Брінеллю, [МПа]

Фізичні властивості :

- T** - Температура, при якій отримані дані властивості, [Гради]
- E** - Модуль пружності першого роду, [МПа]
- a** - Коефіцієнт температурного (лінійного) розширення (діапазон 20° - T), [1/Гради]
- I** - Коефіцієнт теплопровідності (теплоємність матеріалу), [Вт/(м·гради)]
- r** - Щільність матеріалу, [кг/м³]
- C** - Питома теплоємність матеріалу (діапазон 20° - T), [Дж/(кг·гради)]
- R** - Питомий електроопір, [Ом·м]

3 Проектування технологічного маршруту

Незважаючи на великі технологічні можливості холодного видавлювання, можливості цього процесу не безмежні. Деякі з елементів контуру майбутньої деталі (наприклад, галтельні канавки, зворотні фаски тощо) виготовити цим методом взагалі неможливо, деякі не отримують видавлюванням внаслідок низької стійкості робочого інструменту (матриць, нижніх виштовхувачів тощо).

Краще проводити конструктивно-технологічний аналіз деталі на стадії її проектування (спільно із конструктором вузлу, де передбачається встановлення цієї деталі). Подібна співпраця фахівця з ОМТ та конструктора дозволяє найбільш ретельно і точно врахувати особливості процесу холодного видавлювання та визначити оптимальну форму виробу.

Аналіз проводимо по таких позиціях.

Зміцнення. Під час холодного видавлювання практично всі деформовані метали підвищують значення істинного опору деформуванню σ_s у 1,6-2,6 рази і більше. Тому для видавлювання створюється сприятлива можливість застосування менш міцних матеріалів і отримувати вироби, експлуатаційні властивості яких не нижче, ніж у деталей з більш міцних матеріалів, які раніше виготовлялися обробкою різанням.

Ефективність та можливість зміни встановлюються за допомогою експериментальних графіків зміцнення або за допомогою емпіричних формул.

Видавлюється деталь «Гільза» із матеріалу з $\sigma_s = 650$ МПа. Проаналізувати можливість отримання стінки товщиною, зазначеною на рис. 1.

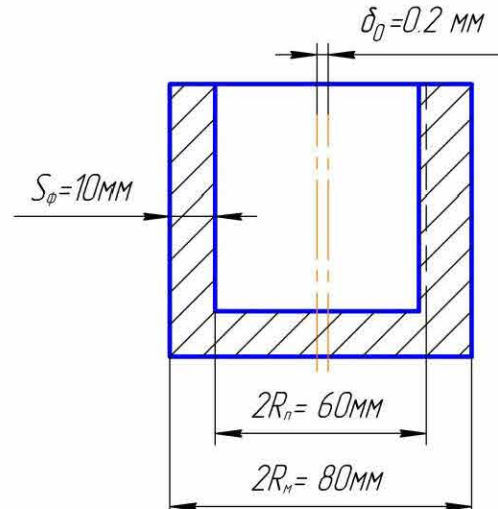


Рис.1. Креслення деталі «Гільза»

Встановлюємо значення відносного питомого зусилля деформації

$$p = \frac{R_n}{R_m} = \frac{30}{40} = 0,75.$$

Встановлюємо відносну неспіввісність інструменту

$$\delta = \frac{\delta}{R_m - R_n} = \frac{0,2}{40 - 30} = 0,02.$$

За [2] встановлюємо питоме зусилля, $p = 4,1$. Тоді верхня оцінка зусилля

$$P_d = \pi \cdot 30^2 \cdot 4,1 = 11592,48$$

Користуючись відомою формулою для знаходження кореню квадратного рівняння, отримаємо

$$12,88s^2 - 1030,44s + 9016,37 = 0$$

Звідки знаходимо два значення для s :

$$s_1 = 10 \text{ (мм)}; s_2 = 70 \text{ (мм)}$$

Значення s_2 не має фізичного змісту, отже попередньо обрана товщина стінки $s = 10$ мм може бути отримана методом холодного видавлювання без

подальшої механічної дробки стінки виробу.

4 Розробка технології підготовчих операцій ХОШ

4.1 Очищення поверхні

Перед ХОШ поверхня вихідного металопрокату повинна бути повністю очищена від іржі, окалини, інших забруднень, що негативно впливають на точність штампування та стійкість штампів. Очищення може бути механічним (за допомогою дискових щіток), хімічним (травлення у розчинах соляної чи фосфорної кислоти – остання застосовується для очищення металопрокату із легованих сталей) або електролітичним (обробка у розчині сульфатів заліза або соди; катодом або анодом слугує сам очищуваний матеріал). Приймаємо певний процес очищення металу в розплавах солей. Цей метод застосовується переважно для холоднокатаних прутків (мотків), що інтенсивно зміцнюються, тому що завдяки високій температурі ванни з розплавом (600-700°) одночасно із очищенням виконується і зняття внутрішніх напружень, обумовлених холодною деформацією прокатування.

4.2 Попередня та проміжна термообробка

Термічну обробку вихідного металопрокату виконують з метою підвищення показників технологічної деформованості. При цьому, в залежності від кінцевої мети, або зменшують значення σ_s , або збільшують $[\varepsilon]$ без ризику погіршення мікроструктури матеріалу. За допомогою попередньої термообробки можна також мінімізувати кількість технологічних переходів холодного видавлювання.

Основні параметри процесу термообробки – температура нагрівання, час витримки, швидкості нагрівання та охолодження, а також тип нагрівального пристрою і атмосфери в ньому.

Температуру нагрівання і час витримки приймають зазвичай мінімальними за умови отримання стабільних структур та властивостей матеріалу. Втім, застосування електронагрівачів є небажаним, оскільки при цьому реалізуються такі швидкості нагрівання, при яких не гарантується рівномірність збільшення пластичності металу. Водночас показники межі плинності σ_T деформованого металу суттєво не зменшуються. Атмосфера, в якій відбуватиметься нагрівання, не повинна містити парів H_2O , водень і вуглеводні сполуки, які під час взаємодії з поверхневими шарами металу заготовки погіршують її технологічні характеристики.

Попередню термообробку, виконують перед волочінням, що дозволяє зменшити питомі зусилля процесу на 15-20%. Попередня термообробка не передбачається у таких випадках:

Для попередньої термообробки застосовують два режими:

- низькотемпературний відпал ($530^\circ - 600^\circ$) передбачають з метою унеможливлення появи крупнозернистої структури металу, яка (що було пояснено вище) з'являється під час його деформування в області критичних ступеней деформації (для ХОШ – до 15 - 16%).

- рекристалізаційний відпал ($650^\circ - 720^\circ$) застосовують для відновлення структури металу. Подібна структура вважається найбільш сприятливою для ХОШ. Досягнення такого структурного стану з меншими витратами часу досягаються стосовно пресованого (не прокатаного!) металопрокату, що не проходив попереднє волочіння;

- проміжний відпал ($180^\circ - 210^\circ$) приймають для багатопозиційного ХОШ матеріалів, що інтенсивно зміцнюються під час деформування. При цьому суттєво зростають навантаження на робочі деталі штампів, а в деяких випадках (наприклад, при зворотному видавлюванні тонкостінних виробів) можливе тріщиноутворення на заготовці. Проміжний відпал при підвищених температурах ($550^\circ - 600^\circ$) передбачають також для заготовок складної конфігурації. Режими відпалу для латуні Л60 вибираємо відносно таблиць механічних і фізичних властивостей.

4.3 Мастильні матеріали та покриття

Процеси ХОШ супроводжуються значними тисками на інструмент, інтенсивним переміщенням та оновленням поверхні металу стосовно робочих деталей штампів, нагріванням деформованого матеріалу внаслідок теплового ефекту деформації та контактного тертя. Тому застосування оптимальних марок мастильно-охолоджуючих речовин (МОР) в технопроцесах холодного видавлювання є обов'язковим.

Вибираємо [3] для латуні Л60 в якості мастильного матеріалу 8-25% Рb3O4 (або стеарата свинцю), 10% графіту, решта – масло «Вапор-І»; тальк – 8%, масло циліндрове – 10%, гліцерин – 0,3%, топлеє сало – 2,7%, решта – СС14. Наноситься на стінки порожнини матриці, після чого остання, з метою більш рівномірного розподілу МОР, обдувається стиснутим повітрям/

5 Визначення розмірів розмірів виробу після холодного видавлювання та допусків

Особливість визначення розмірів виробу після холодного видавлювання полягає в окремому призначенні допусків на діаметральні (поперечні) та висотні (повздовжні) розміри. Стосовно першої групи допусків їх представляють залежно від місцезнаходження елемента – по зовнішній (стержень) чи по внутрішній (порожнина) твірній деталі (табл. 1).

Таблиця 1

Розмір, мм	Допуски, мм на розміри	
	порожнини	стержню
10-18	$\pm 0,04-0,11$	$\pm 0,06-0,18$
18-30	$\pm 0,05-0,13$	$\pm 0,08-0,21$
30-50	$\pm 0,06-0,16$	$\pm 0,1-0,25$
50-80	$\pm 0,08-0,19$	$\pm 0,12-0,30$
80-100	$\pm 0,1-0,22$	$\pm 0,15-0,35$

Допуски на висотні розміри визначаються жорсткістю системи «штамп-прес» і тому залежать від потужності застосовуваного обладнання. Оскільки визначення технологічних зусиль процесу холодного видавлювання проводиться на більш пізніх етапах курсового проектування, тут їх визначають лише попередньо і потім – при необхідності – уточнюють.

Для розрахунку допуску на висотні розміри можна користуватися формулою:

$$\Delta h = \pm \Delta P / C_{\text{пш}}$$

де $C_{\text{пш}} = 0,15 - 4$ Гн/м (менші значення - для обладнання меншого технологічного зусилля P_d).

$$\Delta P = \pm (0,08-0,14)P_d$$

Окрему групу допусків складають допуски на різностінність виробу (для зворотнього та комбінованого видавлювання) або на ексцентричність стержню (для прямого видавлювання). Такі допуски залежать від якості виготовлення та налагоджування штампа і приймаються в межах 0,05-1 мм.

Допуски на відхилення розмірів вихідної заготовки залежать від способу її отримання.

Припуски на подальшу механічну доробку виробу (якщо це потрібно) обчислюють за такими залежностями:

-припуски у поперечному напрямку

$$\Pi_{D(d)} = 0,05 \sqrt{D(d)}$$

-припуски у поздовжньому напрямку

$$\Pi_L = (0,01-0,05)L$$

де $D(d)$ та L – відповідно розміри у діаметральному чи висотному напрямках, стосовно яких встановлюється припуск.

Визначення розмірів вихідної заготовки виконують після того, як вирішене питання щодо виду металопрокату, з якого буде проводитись холодне видавлювання. Якщо в якості вихідної заготовки приймаються циліндричні, що відрізатимуться від прутка (або дроту), то довжина вихідної заготовки

$$h_3 = \frac{4V_d}{\pi d^2},$$

де V_d – об'єм деталі (згідно розмірів креслення); якщо процес видавлювання супроводжується появою технологічного відходу, наприклад, при пробиванні, обрізуванні тощо, то замість V_d у формулу підставляють $V_d + V_v$, де V_v – об'єм відходу.

З метою мінімізації відходів при видавлюванні його величина призначається з урахуванням степеню використання ресурсу пластичності деформованого матеріалу та моментом закінчення стаціонарної стадії холодного видавлювання.

Визначаємо об'єм технологічного відходу при холодному видавлюванні деталі «Гільза».

«Гільза» виготовлятиметься методом зворотного видавлювання. Матеріал втулки – латунь Л60, пруток виготовлено прокатуванням (напівтвердий). Застосуємо програму розрахунку мінімальної товщини дна, прогнозуючи бажане значення $h_{вд} = 10$ мм. Вихідні дані для розрахунку: $R_m = 14$ мм, $\mu = 0,25$ (з урахуванням потрібного запасу міцності передбачаємо найгірші умови тертя); коефіцієнт загострення торцю $f_3 = 0,33$.

Отже об'єм технологічного відходу при пробиванні дна виробу

$$V_v = \frac{\pi d_{отв}^2}{4} h_{вд} = \frac{\pi \cdot 20^2}{4} \cdot 4 \approx 1256,64 \text{ (мм)}$$

Тоді об'єм заготовки

$$V_3 = V_d + V_b = 25534,86 + 1256,64 = 26791,5 \text{ (мм}^3\text{)}$$

Коефіцієнт використання металу

$$k_M = \frac{V_d}{V_3} 100\% = \frac{25534,86}{26791,5} = 95,31\%$$

Діаметр вихідної заготовки, згідно сортаменту ГОСТ 2060 приймаємо $d_3 = 78$ мм (з метою полегшення встановлення заготовки у порожнину штампу).

Тоді

$$h_3^p = \frac{4V_3}{\pi d_3^2} = \frac{4 \cdot 26791,5}{\pi \cdot 38^2} = 23,62 \text{ (мм)}$$

Діаметр d_3 призначаємо, виходячи з того, яке видавлювання – пряме чи зворотне - проектується. Для прямого видавлювання звичайно

$$d_3 = (0,8-0,9)D_{\text{п}} \quad (1.12)$$

а для зворотнього видавлювання

$$d_3 = (0,8-0,9)D_M \quad (1.13)$$

У нашому прикладі $d_3 = 38$ мм = 0,95 D_M .

Приймати отримане значення $h_3^p = 23,62$ мм для подальших розрахунків не можна, оскільки тут не врахований допуск на неточність довжини відрізаної заготовки, який залежить від способу її отримання і коливається в межах 0,1-5 мм. Тому приймаємо $h_3 = 24$ мм (допуск + 0,38 мм відповідатиме умовам точного відрізання заготовки у штампі).

6. Вибір технологічного процесу отримання вихідної заготовки

Заготовки під подальше холодне видавлювання отримують:

- механічним способом (відрізанням на токарних напівавтоматах, дискових чи фрикційних пилах);
- точним відрізанням у штампах або на прес-ножицях;
- вирубуванням з листа або штаби.

Найкращу точність по довжині заготовки ($\pm 0,1$ мм) дають способи

механічного відрізання, проте через низьку продуктивність відповідного обладнання вони можуть застосовуватись лише у дрібносерійному та серійному виробництві. До того ж втрати металу при механічному відрізання досягають 20%.

Низькі заготовки ($h_3/d_3 < 0,2$ або $h_3 \leq 6$ мм) отримують вирубанням з листового металопрокату у звичайних багаторядних штампах холодного листового штампування. В якості вихідного металопрокату приймають штабу або лист. Процес відзначається стабільністю розмірів отримуваних заготовок та високою продуктивністю (вирубання звичайно проводиться в автоматичному режимі на штампувальних комплексах). Проте до 25-30% маси металу складають втрати на перетинки. Крім того, товщина листа або штаби регламентована стандартом і не завжди відповідає розрахунковій висоті h_3 заготовки, що призводить до перевитрати металу. Тому найбільш економічною та доцільною слід визначити технологію відрізання зсувом в штампах на пресах або на сортових ножицях точного відрізання. Для цілей ХОШ використовують три схеми відрізання: неповну відкриту, неповну закриту та закриту.

Неповне відкрите відрізання з поперечним затискуванням прутка застосовується при співвідношенні $h_3/d_3 \geq 1,5$. Неповне закрите відрізання з пасивним притискуванням приймають для заготовок з $h_3/d_3 \geq 0,8$. Закрите відрізання з осьовим стискуванням заготовки дозволяє відрізати заготовки з $h_3/d_3 \geq 0,2$.

Неповне відкрите та неповне закрите відрізання проектуємо на комплексах для точного відрізання серій Н 1800 (табл. 2).

Таблиця 2

Модель	Номінальне зусилля, мм	Найбільший діаметр прутка, що розрізається, мм	Де виготовляється
ASSE-I	1,0	80	Німеччина

Вибір обладнання здійснюється після розрахунку зусилля відрізання.

Для процесів неповного відкритого відрізання

$$P_B = P_T + Q$$

де $P_T = (0,85-0,9)\sigma_B F_3$ (F_3 – площа перерізу вихідної заготовки)

Q – зусилля поперечного притискування:

$$Q = \frac{3(0,17d_3 + z_0)P_T}{h_3}$$

z_0 – осьовий зазор між ножами, вибирається в залежності від механічних властивостей матеріалу заготовки (табл. 3)

Таблиця 3

z_0	$0,014 d_3$	$0,011 d_3$	$0,08 d_3$
σ_B , МПа	≤ 500	≤ 700	> 700

Зусилля неповного закритого відрізання розраховують за формулою:

$$P_B = 2,88 \left(\frac{d_3}{2} \right)^2 \sigma_B \arcsin \frac{d_3 - 2\varepsilon_{отн}}{d_3}$$

де $\varepsilon_{отн} = (1,2-1,6)\delta_5$ (δ_5 – відносне подовження матеріалу заготовки).

Зусилля повного закритого відрізання:

$$P_B = P_T + T$$

де $P_T = (1,15-1,2)\sigma_B F_3$, а T – зусилля осьового стискування, що становить:

$$T = (0,1-0,18)P_T$$

Користуючись вищенаведеними залежностями, визначають зусилля відрізання та здійснюють вибір відповідного типорозміру обладнання.

7 Проектування технологічного процесу в системі DEFORM™-3D

DEFORM™-3D – це гнучка і відкрита (Fortran, Python), крос-платформна (UNIX/Windows) система кінцево-елементного аналізу механіки і термодинаміки процесів деформування матеріалів при тривимірній постановці завдання (рис. 2).

Призначення:

обробка матеріалів тиском:

горяче кування, об'ємне штампування і прокатка;

холодне об'ємне і листове штампування й прокатка;

кольцеве розкочування;

волочіння;

екструзія;

процеси спікання під тиском порошкових матеріалів;

обробка металів різанням;

термодинаміка технологічних процесів.

Система має шаблони:

DEFORM™ -F3/DEFORM™ -F2-моделювання процесів кування і штампування;

machining [Cutting]-різання металів (свердління, гостріння, фрезерование);

die Stress Analysis - аналіз навантажень на інструмент;

Shape Rolling - прокатка;

Ring Rolling - кільцеве розкочування;

Heat Treatment - процеси теплообміну;

Вихідні дані задаються через геометрію: 3D-паралелепіпед, циліндр, порожній циліндр із/без скруглень на крайках; екструзія і обертання із плоского перетину довільної форми (*.IGS); імпорт із CAD-систем (*.STL, *.PDA, *.IGS);

Підтримується бібліотека матеріалів (250 найменувань AISI, DIN, JAPAN стандарти), матеріали, створені користувачем;

Початкові і граничні умови задаються:

умовами контакту; моделлю тертя; умовами теплообміну; фазовим складом; розміром зерна.

Проведений аналіз роботи методу кінцевих елементів при зворотному видалюванні деталі «Гільза» наведений на рис. 2-6.

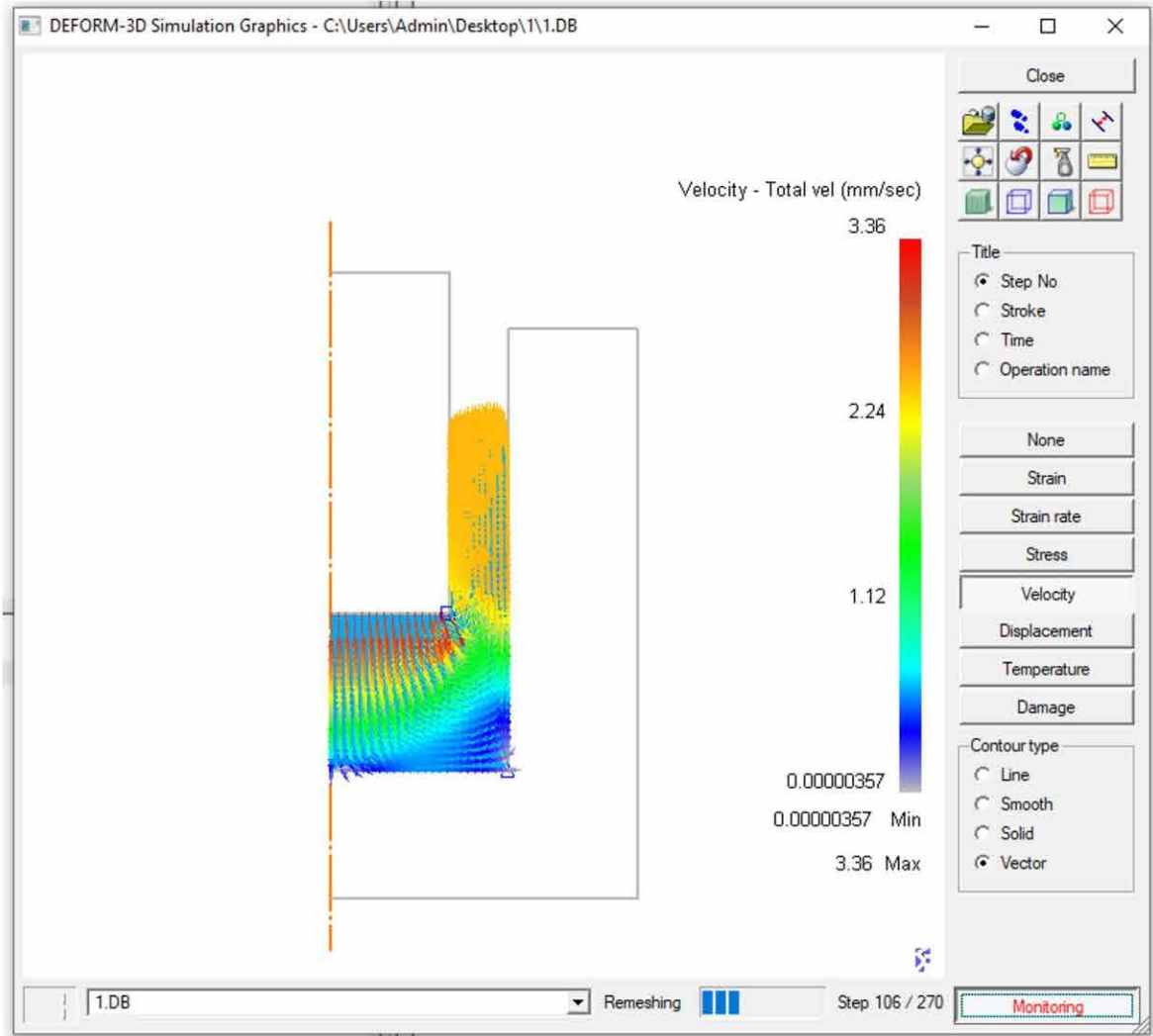


Рис. 2. Постановка завдання та кроки розрахунку деталі «Гільза» в системі кінцево-елементного аналізу механіки і термодинаміки процесів деформування матеріалів DEFORM™-3D

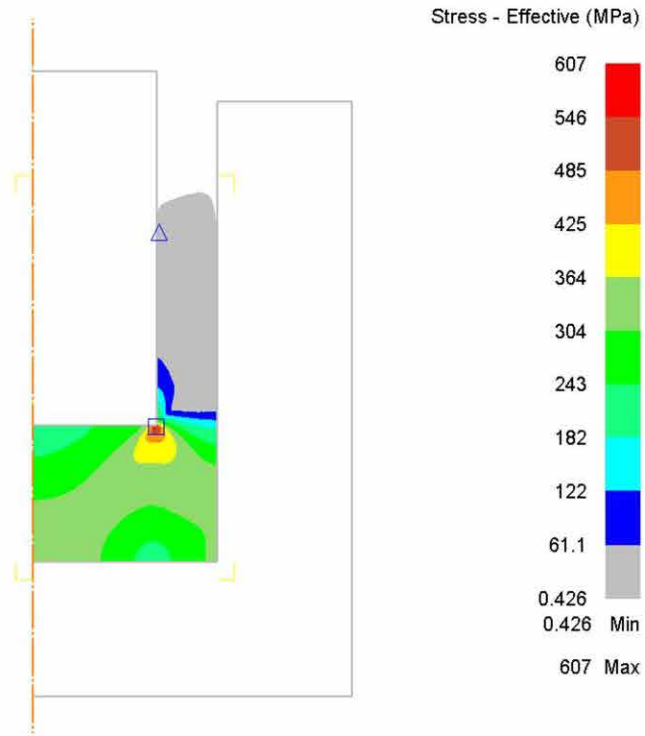


Рис. 3. Розподіл інтенсивностей напружень при видавлюванні

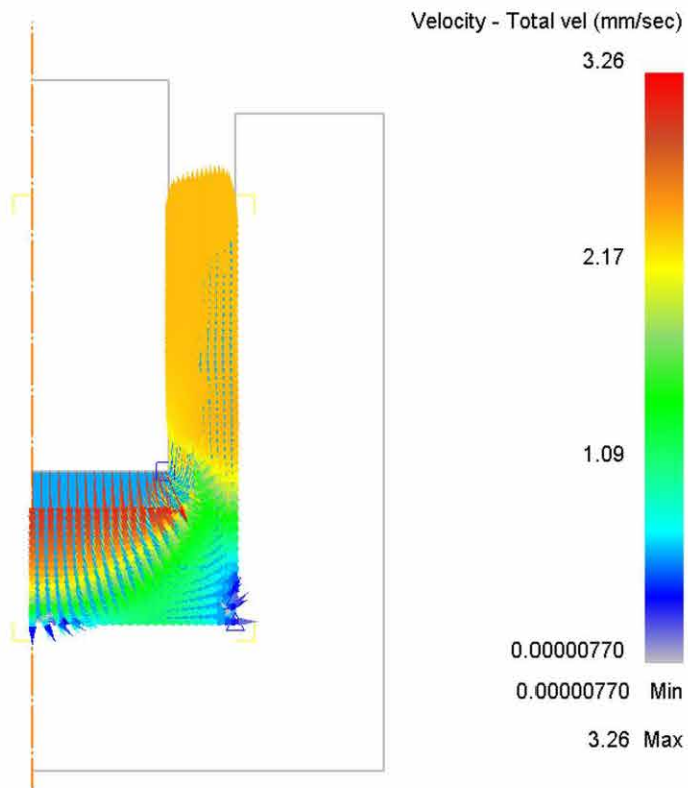


Рис. 4. Розподіл деформацій при зворотному методі видавлювання

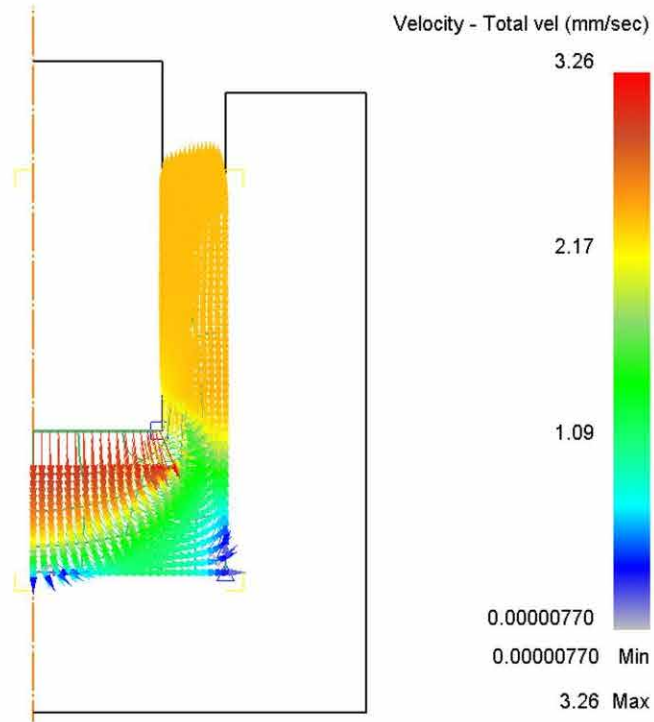


Рис. 5. Векторне поле швидкостей в залежності від переміщення прес-шайбы

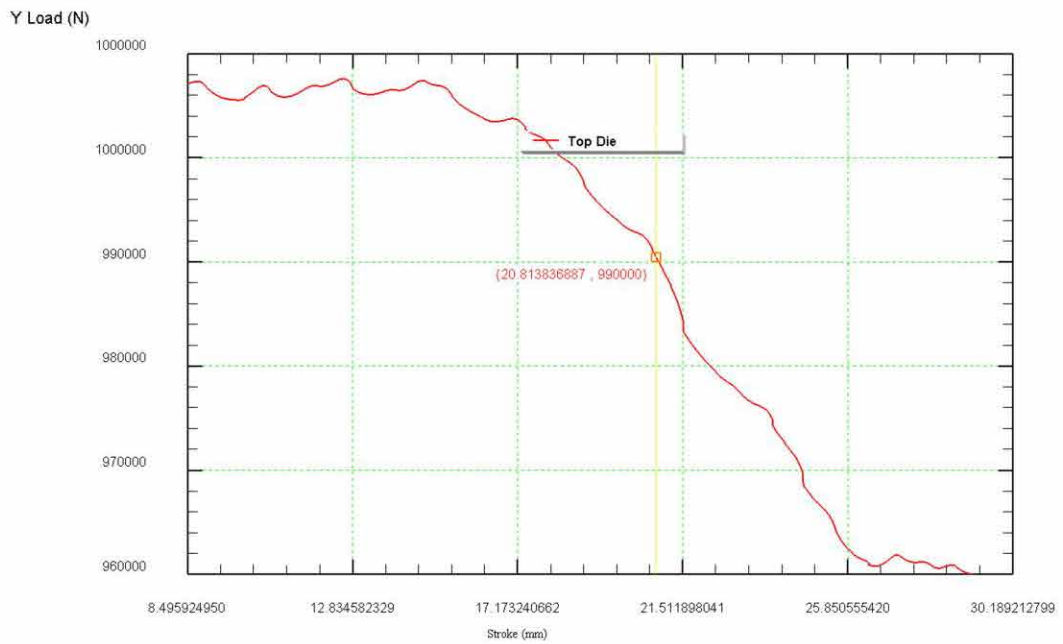


Рис. 6. Векторне поле швидкостей і зміна зусилля в залежності від переміщення прес-шайбы

9. Розрахунок та проектування технологічного оснащення

Штампи для холодного видавлювання працюють в дуже жорстких режимах, а тому підхід до їх проектування має відзначатися особливою ретельністю. Попередньо належить вирішити такі питання:

- наявність та спосіб центрування і напрямку пуансону по матриці;
- спосіб вилучення готової деталі із штампу та переміщення напівфабриката з позиції на позицію (для багатопозиційного штампування).

Традиційні конструкції штамсів передбачають їх напрям за допомогою напрямних вузлів типу «колонка-втулка» (інші способи напрямку, а також застосування кулькових напрямних вузлів практичного розповсюдження при проектуванні штапів ХОШ не отримали). Однак кількість та габарити таких вузлів суттєво відрізняються від інструменту холодного листового штампування: а) металоємність напрямних вузлів значно вища; б) діаметри колонок мають бути максимально можливими; в) довжина колонок – найменшою (це унеможливує вигин верхньої плити штампу відносно нижньої). Практично встановлені такі співвідношення між виконавчими елементами напрямних вузлів штампу (рис. 7):

$$D_k = ad_k,$$

де $a = 2,2 - 2,5$ – для однопозиційних штапів і $a = 2,5 - 3,0$ – для багатопозиційних штапів.

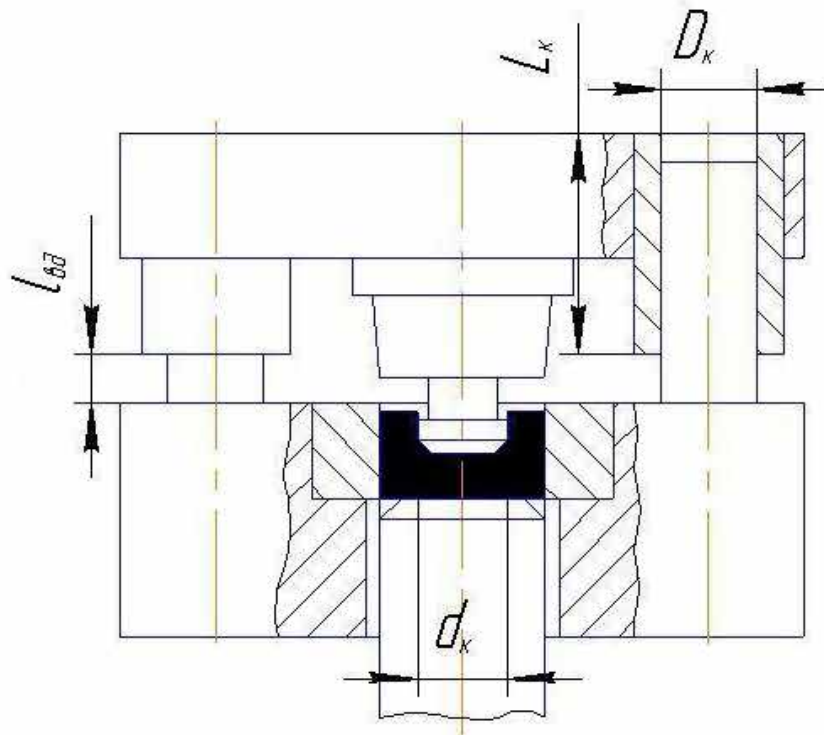


Рис. 7

Кількість колонок для важконавантажених процесів холодного видавлювання (питомий тиск $p > 1,8 - 2$ ГПа) – не менше чотирьох, при цьому $L_k \geq (2-2,5)D_k$. Вільна довжина колонок $l_{вд}$ з метою підвищення їх жорсткості повинна бути мінімально допустимою.

Посадка колонок по втулкам має бути Н7/н7. Виключення небезпеки можливого вигину пуансона під навантаженням досягається оригінальним компонованням штампів, коли замість традиційних двох опорних плит – верхньої та нижньої - вводиться ще проміжна плита, в якій і розміщують блок матриць та напрямні колонки. У кожній плиті встановлюють вузол виштовхування. Викривлення (неспівпадання) осей пуансону відносно вісі матриці зменшується пропорційно зменшенню відстані від верхньої плити штампу до проміжної.

Виштовхуючі системи в штампах для холодного видавлювання проектують практично незалежно від наявності виштовхувачів у обраному в п. 1.8. типорозмірі обладнання. Важільні виштовхувачі, хоч і ускладнюють схему штампу, проте збільшують експлуатаційну стійкість деталей технологічного

оснащення і дозволяють уникнути обмежень, пов'язаних із компонованням виштовхувача преса.

Таким чином, вірно сконструйований штамп для холодного видавлювання дозволяє:

Мінімізувати робочі навантаження на пуансони та матриці;

Виключити (або звести до мінімуму) вплив концентраторів локальних напружень;

Забезпечити надійність роботи штампів незалежно від кваліфікації налагоджувальника;

Оптимізувати розміри штампів;

Забезпечити технологічність виготовлення основних робочих деталей;

Передбачити можливість застосування засобів механізації та автоматизації процесу;

10 Вибір засобів механізації (автоматизації) процесу ХОШ та мікропланувальних рішень обладнання

Якщо в якості основного штампувального обладнання з певних причин не було прийнято автоматизований комплекс, доцільно передбачити проведення холодного видавлювання із застосуванням таких засобів механізації (автоматизації):

-бункерних орієнтуючих пристроїв (подача штучних заготовок, переважно до однопозиційних штампів);

-револьверних та грейферних подач (передача заготовки з позиції на позицію для багатопозиційних штампів).

Типові мікропланувальні рішення штампувальних комплексів для виконання операцій холодного видавлювання див. рис. 8-9 та табл. 4.

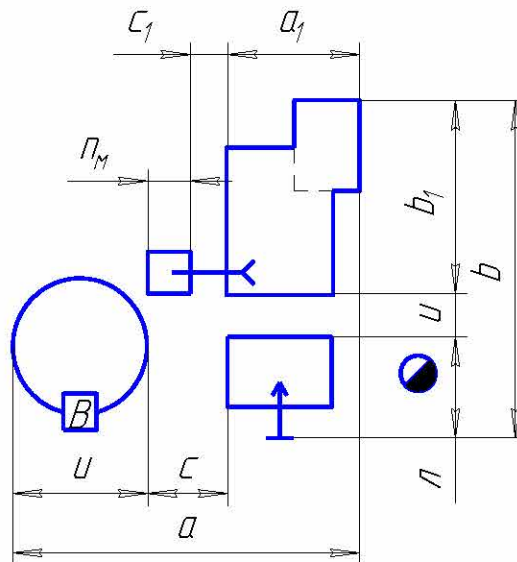


Рис. 8. Мікропланувальне рішення комплексу для ХОП із штучних заготовок

Таблиця 4

m_3 , кг	До 3	До 10	До 25	До 45
c , м	$l_3^{\max} + 0,1$ (l_3^{\max} - найбільший розмір вихідної заготовки в плані)			
c_1 , м	0,5с	0,6с	0,75с	0,9с
u , м	0,17	0,26	0,41	0,65
l , м	0,75	1,1	1,16	1,5

(m_3 – найбільше завантаження вібробункеру заготовками, кг)

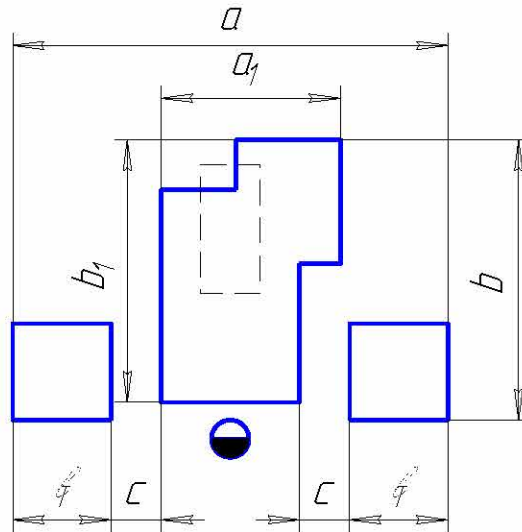


Рис. 9. Мікропланувальне рішення для неавтоматизованого обладнання

Конструкції однопозиційних штампів ХОШ на пресах регламентовані ГОСТ 19579-19584. Прогресивні конструкції одно- та багатопозиційних штампів для ХОШ наведені рис. 10-11 за [4], а також [5].

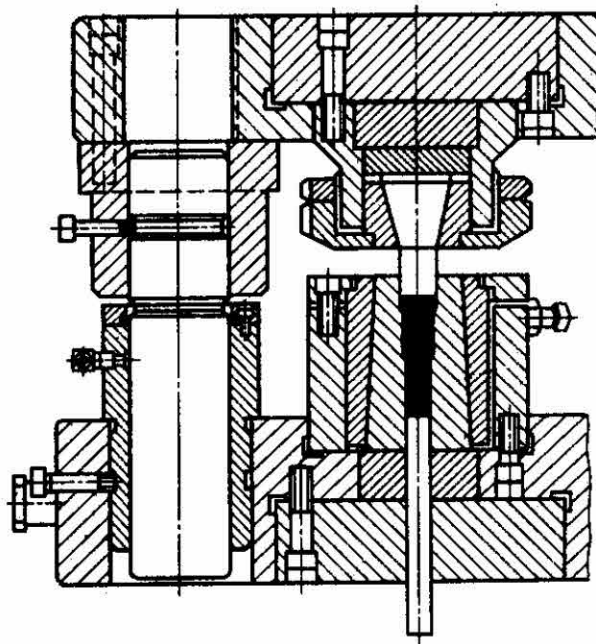


Рис. 10

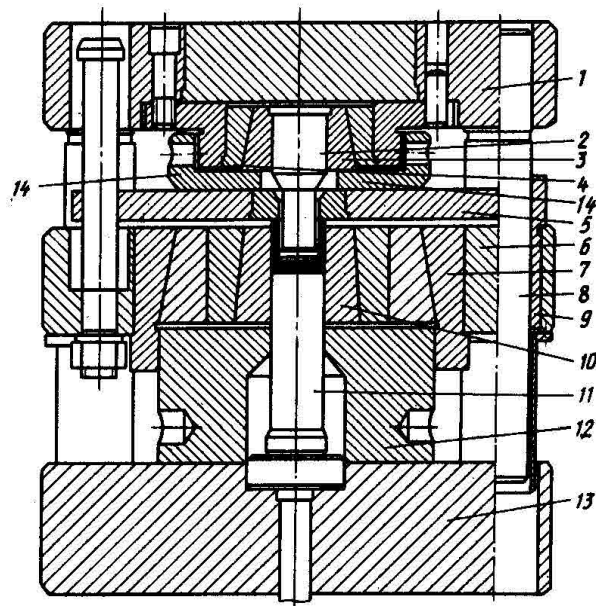


Рис. 11:

1- верхня плита; 2 – напрямна втулка; 3 – перехідна втулка;
 4 – пуансонотримач; 5 – револьверний диск; 6 – втулка; 7 – проміжна
 плита; 8 – напрямна колонка; 9 – напрямна втулка; 10 – матриця;
 11 – виштовхувач; 12 – корпус; 13 – нижня плита; 14 – накидна гайка

Висновок

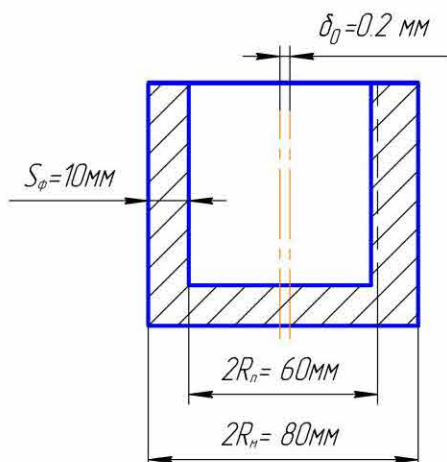
У ході роботи був розроблений технологічний процес виготовлення деталі типу «Гільза». На першому етапі розробки зроблений аналіз технологічності конструкції деталі. Розроблений технологічний маршрут і обраний спосіб одержання заготовки. На етапі проектування технологічних операцій були розраховані розміри виробу після холодного видавлювання та допуски, розроблена технологія підготовчих операцій та спроектований технологічний маршрут холодного видавлювання деталі за допомогою системи кінцево-елементного аналізу механіки і термодинаміки процесів деформування матеріалів DEFORM™-3D, підібрані засоби технологічного оснащення.

Перелік літератури

1. Паливода Ю. Є. Заготовки у машинобудівному виробництві : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. 2022. 148 с.
2. Евстратов В.А. Теория обработки металлов давлением. Харьков : Вища школа. 1981. 248 с.
3. Холодная объёмная штамповка: справочник; под ред. Г. А. Навроцкого. М. : Машиностроение, 1973. 496 с.
4. Оптимизация технологических процессов и конструкций штампов для холодного и полугорячего выдавливания. М.: ВНИИТЭМР, 1989. 192 с.
5. Ковка и штамповка: справочник; в 4-х т.; ред. совет: Е. И. Семёнов (пред.) и др. М.: Машиностроение. 1987. Т. 3. Холодная объёмная штамповка; под ред. Г. А. Навроцкого. 1987. 384 с.
6. Боков В. М. Холодне об'ємне штампування. Методичні вказівки до лабораторних робіт. Кіровоград : КНТУ. 2014. 50 с.
7. Forging, Stamping and General Smithing... / B. Saunders. E. & F.N. Spon, limited, 2012. 512 p.

ДОДАТКИ

Конструктивно-технологічний аналіз деталі «Гільза»



Значення відносного питомого
зусилля деформації

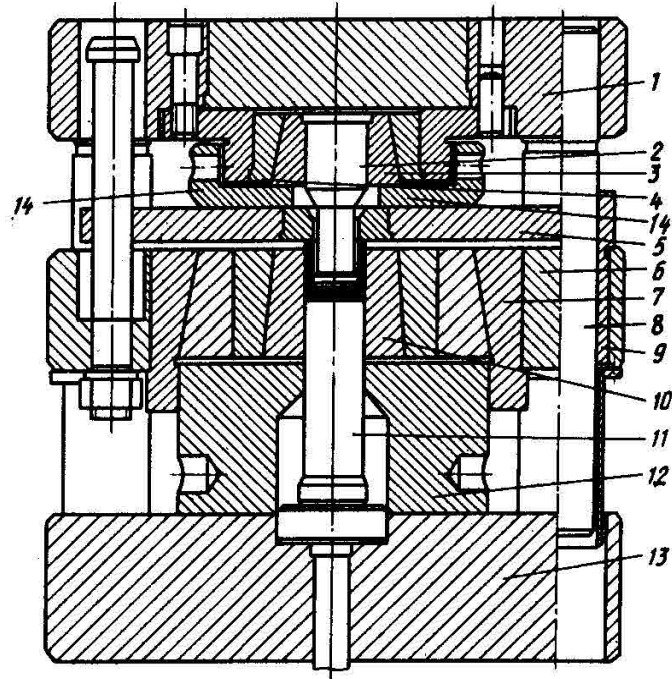
$$p = \frac{R_n}{R_m} = \frac{30}{40} = 0,75.$$

Відносна неспіввісність інструменту

$$\delta = \frac{\delta}{R_m - R_n} = \frac{0,2}{40 - 30} = 0,02.$$

Обрана товщина стінки $s = 10$ мм
може бути отримана методом
холодного видавлювання без
подальшої механічної дробки
стінки виробу.

Схема для проектування
технологічного оснащення зворотного видавлювання



- 1 – верхня плита; 2 – пряма втулка; 3 – перехідна втулка; 4 – пуансонотримач; 5 – револьверний диск; 6 – втулка; 7 – проміжна плита; 8 – пряма колонка; 9 – пряма втулка; 10 – матриця; 11 – виштовхувач; 12 – корпус; 13 – нижня плита; 14 – накидна гайка