

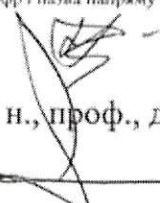
Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет машинобудування та транспорту
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра галузевого машинобудування
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:
«РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ШТАМПУ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ
ОСАДКИ ДОВГОМІРНОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ЗАГОТОВКИ»

Виконав: студент 4 курсу, групи ІГМ-206
спеціальності 133 – галузеве машинобудування
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

 Герець Д. В.
(прізвище та ініціали)

Керівник: д. т. н., проф., доцент каф. ГМ

 Сивак Р. І.
(прізвище та ініціали)

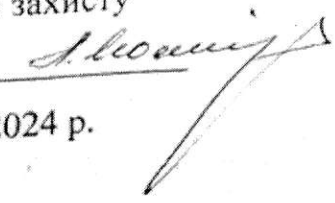
«09» 06 2024 р.

Рецензент: д. т. н., проф., професор каф. АТМ

 Макаров В. А.
(прізвище та ініціали)

«14» 06 2024 р.

Допущено до захисту

Зав. кафедри 

«14» червня 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Вінницький національний технічний університет

Факультет машинобудування та транспорту
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра галузевого машинобудування
(повна назва кафедри)

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань – 13 «Механічна інженерія»
(шифр і назва)

Спеціальність – 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва спеціальності)

Освітньо - професійна програма – Галузеве машинобудування
(назва освітньо - професійної програми)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

А. Могиль
"12" березня 2024 року

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Герецю Дмитру Васильовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка конструкції штамбу для реалізації процесу осадки довгомірної циліндричної заготовки»

Керівник роботи Сивак Роман Іванович, д. т. н., професор,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "11" березня 2024 року
№80

2. Термін подання студентом роботи 14 червня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: внутрішній радіус конічної частини цанги – 25 мм; зовнішній радіус конічної частини цанги – 35 мм; довжина ділянки конічної частини цанги – 25 мм; матеріал – сталь 40Х; модуль Юнга – $2 \cdot 10^5$ МПа; осьові моменти інерції цанги – $2 \cdot 10^6$ мм⁴; жорсткість цанги – $1,9 \cdot 10^3$ Н/мм; методичні вказівки до виконання дипломних проектів.

4. Зміст текстової частини: обсяг пояснювальної записки – 61 стор., рисунків – 21, таблиць – 8.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
складальне креслення (формат А1) – 1 лист; деталювання (формат А3) – 4 листа; результати розрахунку геометричних та силових параметрів (формат А1) – 1 лист

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технічний розділ (основна частина)	д. т. н., доц. Роман СИВАК	12.03.24	09.06.24
Охорона праці, безпека життєдіяльності	к. т. н., доц. Інна ВІШТАК	06.05.24	24.05.24

7. Дата видачі завдання 12.03.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Теоретичний огляд	24.05.2024 р.	Вик.
2	Розробка конструкції	24.05.2024 р.	Вик.
3	Розрахунок геометричних та силових параметрів	24.05.2024 р.	Вик.
4	Розробка складальних креслень	24.05.2024 р.	Вик.
5	Охорона праці	24.05.2024 р.	Вик.
6	Оформлення текстової та графічної частини проекту	09.06.2024 р.	Вик.
7	Перевірка на плагіат	10.06.2024 р.	Вик.
8	Нормо контроль БКР	11.06.2024 р.	Вик.
9	Попередній захист БКР	12.06.2024 р.	Вик.
10	Рецензування БКР	14.06.2024 р.	Вик.
11	Захист БКР	за графіком	Вик.

Студент Д. В. Герець
(підпис) (ініціали і прізвище)

Керівник роботи Р. І. Сивак
(підпис) (ініціали і прізвище)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська кваліфікаційна робота складається з 61 стор. формату А4, на яких є 21 рисунок, 8 таблиць, список використаних джерел містить 21 найменування.

Метою роботи є розробка конструкцій штампової оснастки для реалізації нетрадиційних процесів пластичної обробки циліндричних заготовок для покращення експлуатаційних властивостей елементів конструкцій.

Виконано огляд сучасних методів пластичної обробки заготовок із металів і сплавів. Проаналізований стан технологічного оснащення для нетрадиційної пластичної обробки заготовок та пресове обладнання для реалізації процесу осадки з крученням. Розглянуті сучасні технології підвищення стійкості інструментів.

Запропоновано конструкцію технологічного оснащення та пресового обладнання для пластичної обробки заготовок. Розроблено конструкцію штампу для осадки з крученням довгомірних циліндричних заготовок на основі гідроприводу та штамп для осадки довгомірної циліндричної заготовки з використанням цанги.

Виконано моделювання пластичного деформування заготовок. Здійснена оцінка напружено-деформованого стану при осадці (розтягові) з крученням циліндричних заготовок та стійкості довгомірних циліндричних заготовок при осадці з крученням.

Ключові слова: осадка, кручення, напруження, деформації, стійкість, довгомірна циліндрична заготовка.

ABSTRACT

The bachelor qualification thesis consists of 61 pages. A4 format, which have 21 figures, 8 tables, the list of used sources contains 21 items.

The purpose of the work is the development of die tooling structures for the implementation of non-traditional processes of plastic processing of cylindrical blanks to improve the operational properties of structural elements.

An overview of modern methods of plastic processing of blanks from metals and alloys was performed. The state of technological equipment for non-traditional plastic processing of blanks and press equipment for the implementation of the process of sedimentation with twisting was analyzed. Modern technologies for increasing the stability of tools are considered.

The design of technological equipment and press equipment for plastic processing of blanks is proposed. The design of the punch for the draft with the twisting of long cylindrical workpieces based on the hydraulic drive and the punch for the draft of the long cylindrical workpiece using a collet has been developed.

Modeling of plastic deformation of the workpieces was performed. An assessment of the stress-strain state during slump (tensile) with torsion of cylindrical blanks and the stability of long cylindrical blanks during slump with torsion was carried out.

Key words: settlement, torsion, stress, deformations, stability, long cylindrical workpiece.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ПЛАСТИЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВОК ІЗ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ.....	9
1.1. Технологічне оснащення для нетрадиційної пластичної обробки заготовок та пресове обладнання для осадки з крученням ...	9
1.2. Технології підвищення стійкості інструментів.....	13
2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ТА ПРЕСОВОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЛАСТИЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВОК.....	19
2.1 Штмп для осадки з крученням довгомірних циліндричних заготовок на основі гідроприводу	19
2.2 Штмп для осадки довгомірної циліндричної заготовки з використанням цанги.....	23
3 МОДЕЛЮВАННЯ ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ЗАГОТОВОК	28
3.1 Моделювання напружено-деформованого стану при осадці (розтягу) з крученням циліндричних заготовок.....	28
3.2 Стійкість довгомірних циліндричних заготовок при осадці з крученням	32
3.3 Підвищення міцності валів	36
4 ОХОРОНА ПРАЦІ... ..	47
4.1 Аналіз умов праці.....	47
4.2 Виробнича санітарія.....	48
4.3 Техніка безпеки	53
4.4 Пожежна безпека.....	55
ВИСНОВКИ.....	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	58
ДОДАТКИ.....	61

ДОДАТОК А технічне завдання	62
ДОДАТОК Б ілюстраційна частина.....	67
ДОДАТОК В протокол перевірки кваліфікаційної роботи....	76

ВСТУП

Надійність елементів конструкцій визначається їх високими експлуатаційними властивостями. Тому в техніці надається велике значення розробкам технологій підвищення несучої здатності машин та механізмів, а також покращення технологічності їх виготовлення. При цьому несуча здатність в основному залежить від властивостей міцності матеріалів. Тому для машинобудування завжди актуальні різного роду інноваційні технологічні розробки, спрямовані на збільшення цієї характеристики.

У механіці вже давно відомий ефект збільшення міцності більшості металевих сплавів з допомогою пластичного деформування. У зв'язку з цим є актуальними інноваційні розробки нетрадиційних процесів пластичної обробки заготовок в залежності від їх форми та призначення. Зокрема розробки технологій попередньої механічної обробки довгомірних циліндричних деталей спонукають до пошуку нових методів процесу осадки заготовок, що у звичайних умовах практично не реалізується через втрату стійкості.

Надійність роботи елементів конструкції залежить певною мірою і від технології пластичної формозміни. Заготовку із заданою точністю форми та розмірів можна отримувати за один перехід або через вичерпання ресурсу пластичності за кілька переходів для підвищення пластичності матеріалу заготовки. У другому випадку можна з високою ефективністю використовувати немонотонні процеси пластичної формозміни.

Реалізація немонотонних процесів пластичної обробки заготовок викликає нагальну потребу у створенні нових конструкцій штампів та пресового обладнання для застосування їх у промисловості.

1. Огляд сучасних методів пластичної обробки заготовок із металів ісплавів

1.1 Технологічне оснащення для нетрадиційної пластичної обробки заготовок та пресове обладнання для осадки з крученням

В даний час у машинобудуванні широко використовується термомеханічна обробка з метою надання підвищених експлуатаційних властивостей елементам конструкцій. Даний вид обробки металів включає в себе в різних поєднаннях пластичну формозміна та термообробку. При цьому як операцію пластичного деформування використовують в основному прокатку або обтиск.

Однак ці види обробки тиском мають суттєвий недолік, пов'язаний з неможливістю забезпечення однорідного або прогнозованого напружено-деформованого стану по всьому об'єму деформованої заготовки. У зв'язку з цим більш кращими порівняно із зазначеними видами є осадка, кручення або їх поєднання, тобто осадка з крученням циліндричних заготовок.

З метою розширення технологічних можливостей термомеханічної обробки довгомірних циліндричних деталей (осі, вали, ріжучі інструменти - свердла, зенкери, розгортки, кінцеві фрези тощо), довжина яких перевищує більш ніж у 2-3 рази їх діаметр, у роботі [1] представлена низка конструкцій штампової оснастки для реалізації пластичної осадки зазначених типів деталей.

На рис 1.1 показано одну з конструктивних схем штампової оснастки для осадки довгомірної циліндричної заготовки. Штамп складається з корпусу 1 із вставленою в нього основою 2, підтримуючих елементів 3, виготовлених розрізанням на рівні сектори заготовки у формі усіченого конуса з кутом конусності β , висотою L та співвісним отвором діаметром d , обойми 4 із співвісними циліндричної та конічної форми поверхнями з кутом β , необхідної для забезпечення кінематичного взаємозв'язку між корпусом і

секторами, кришки 5, пуансона 6 для навантаження зразка 7. Його складання проводять наступним чином. На основу 2 між підтримуючими секторами ставлять довгомірну заготовку 7. Далі встановлюють у корпусі 1 обойму 4 на сектори 3, забезпечуючи тим самим спільне збирання останніх та заготовки. При цьому заготовка сполучається по циліндричній поверхні діаметра d з секторами. Для зменшення сил тертя між рухомими елементами штамп, що торкаються, рекомендується розміщувати антифрикційне покриття.

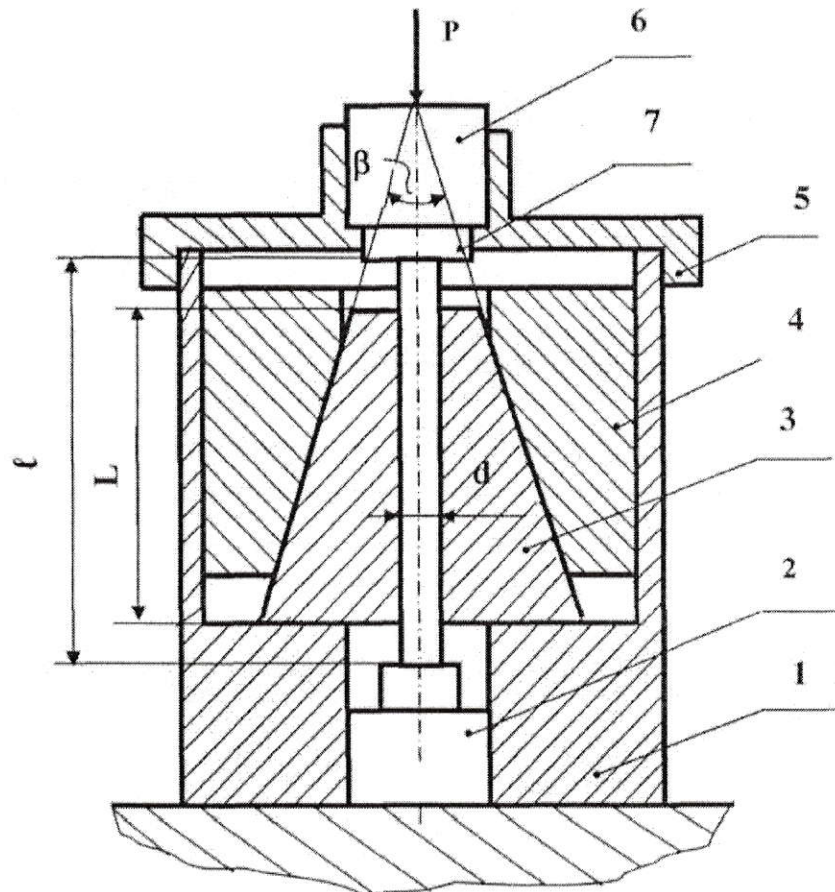


Рисунок 1.1 - Конструкція штамп

Штамп із заготовкою ставлять на опорну плиту преса, закривають кришкою 5 і пуансоном 6. Кришка та пуансон необхідні для застосування навантаження стиску P строго по осі заготовки. При стисканні заготовки внаслідок збільшення її поперечного розміру сектори 3 будуть переміщатися по опорній торцевій поверхні корпусу 1 у радіальному напрямі. При цьому завдяки поєднанню секторів та обойми 4 по конічній поверхні остання буде також рухатися, але вгору відносно корпусу по його напрямній циліндричній

поверхні, забезпечуючи цим одночасне переміщення всіх секторів, оскільки рух тільки одного з них, можливий через поздовжній вигин заготовки, викличе заклинювання обойми в корпусі. Обойма буде підніматися вгору лише за одночасного руху всіх секторів. Таким чином завдяки обоймі 4 заготовка 7 під дією сили P буде стискатися без поздовжнього вигину.

Основним геометричним параметром штапу є кут конусності сполучених між собою обойми та секторів. Оптимальне розрахункове значення цього кута, що забезпечує можливість осадки заготовки в умовах одновісного напруженого стану, визначають за отриманою на основі аналізу клинового механізму формули

$$\sin \beta' - f_2 \cos \beta' = \frac{2F}{qL} + 2f_1 + f_2. \quad (1.1)$$

де f_1, f_2 - коефіцієнти тертя відповідно в кінематичних парах обойма - корпус та сектори - обойма;

L - висота секторів;

q - інтенсивність розподілу навантаження, що діє з боку секторів на заготівлю;

F - сила, що перешкоджає переміщенню обойми до корпусу.

У зв'язку з тим, що прийнята для отримання цього співвідношення розрахункова схема є наближеною, то проектне значення кута пропонується визначати за формулою

$$\beta = (1,2 \dots 1,5) \beta' \quad (1.2)$$

Значення інтенсивності розподіленого навантаження q у співвідношенні (1.1) визначається на підставі аналізу втрати стійкості циліндричного стрижня, кінцеві перерізи якого не мають можливості повороту. При цьому на стрижні завдовжки l (рис. 1.2) діє поряд з основною стискаючою силою P розподілене навантаження постійної інтенсивності q , спрямована перпендикулярно осі стрижня в бік протилежний напрямку його викривлення, і тим самим перешкоджаючи втраті стійкості стрижня, що стискається.

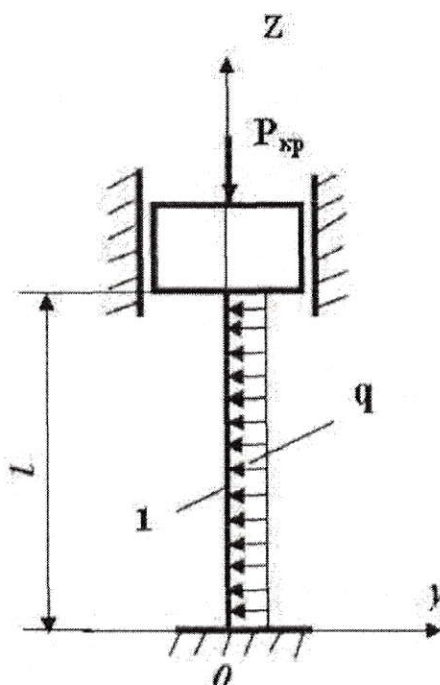


Рисунок 1.2 - Схема визначення інтенсивності q

Аналіз критичного стану стержня за межами пружності проводиться на основі енергетичного критерію стійкості з використанням поняття дотичного модуля, що характеризує тангенс кута нахилу дотичної до кривої течії матеріалу $\sigma = \sigma(\epsilon)$.

Представлені в роботі [2] конструкції технологічного оснащення вимагають відповідного доопрацювання (або модернізації) з метою використання їх для осадки з крученням заготовок.

На виробництві нерідко виникає необхідність осадки з крученням невисоких циліндричних заготовок з метою отримання поковок у формі диска зі структурою субзернистого типу [3], і тому у таких випадках буде потрібне пресове обладнання для реалізації зазначеного процесу обробки заготовок.

У промисловості такий процес поки що не використовується через відсутність пресового обладнання. Тому виникає актуальне завдання розробка преса з можливістю комбінованого навантаження заготовок.

У [4] представлені конструкції преса для осідання з крученням, що базуються на використанні кривошипних механізмів. Головним недоліком

цих конструкцій преса є складність та неможливість розвивати в них через наявність зазначених механізмів великі навантаження та відповідно обробляти заготовки великих розмірів. І в цьому випадку потрібен пошук конструкторських розробок преса для комбінованого навантаження заготовок з більш простою конструкцією та достатнім для виробничих умов зусиллям.

1.2 Технології підвищення стійкості інструментів

Розвиток машинобудування висуває нові жорсткіші вимоги до виробів - висока якість, оптимальна вага і довговічність конструкції. Ці вимоги не можна виконати без використання металів із високими механічними властивостями. Для механічної обробки таких матеріалів потрібні інструменти з підвищеними експлуатаційними характеристиками. Традиційними інструментальними матеріалами, що використовуються для виготовлення інструментів, є наступні: вуглецеві інструментальні сталі, вуглецеві низьколеговані сталі, швидкорізальні сталі та тверді сплави. Проблема підвищення стійкості інструментів із цих матеріалів залишається актуальною і сьогодні.

В даний час у промисловості для підвищення експлуатаційного ресурсу інструментів використовуються:

1. Технології, пов'язані з розробкою нових марок інструментальних сталей шляхом додаткового легування при виплавці на металургійних підприємствах.
2. Процеси, пов'язані з нанесенням зносостійких покриттів на ріжучі кромки інструменту, а також насичення поверхневого шару інструментів зносостійкими карбідами та нітридами.
3. Оптимізація геометричних параметрів інструментів і пошук ефективних мастильно-охолодних технологічних середовищ.

4. Технології, засновані на поєднанні пластичного деформування заготовок та термообробки. До них відносять: термомеханічну обробку, механотермічну обробку та попередню термомеханічну обробку.

У [5] досліджено і класифіковано основні методи термомеханічної обробки, що дозволяють покращувати експлуатаційні характеристики конструкційних сталей, поєднуючи пластичну деформацію та термічну обробку. Однак у цих роботах мало уваги приділяється вивченню впливу термомеханічної обробки на експлуатаційні характеристики інструментальних сталей, зокрема зносостійкість.

У промисловості використовується широка номенклатура марок інструментальних сталей. Вимоги до різних типів інструментальних сталей можуть бути одними і тими ж, наприклад, твердість, в'язкість тощо. Однак їх необхідний рівень неоднаковий. Хімічний склад, а також структура сталей не однаковою мірою впливають на ріжучі властивості інструментів. Оптимальне поєднання в інструментальній сталі вуглецю та легуючих елементів призводить до високих експлуатаційних характеристик інструментів.

У [6] запропоновано інструментальну сталь для обробки сплавів великої твердості та в'язкості. Порівняно з відомою сталлю, містить вольфрам, ванадій, хром, молібден, запропонована сталь додатково легована титаном, цирконієм і має підвищені різальні властивості. Сталь забезпечує границю міцності на вигин 2900-3000 МПа, ударну в'язкість 2,3-2,6 кгм/см², червоностійкість 665°C.

Підвищені ріжучі властивості інструментальної сталі розглядаються у [7]. Це досягається тим, що запропонована сталь містить титан і не містить цирконію.

Фізико-механічні характеристики інструментальної сталі наступні:

- межа міцності на вигин: 2700-2800 МПа;
- ударна в'язкість: 2,0-2,2кгм/см²;
- червоностійкість: 700°C;
- твердість: HRC 68-70.

У [8] пропонується сталь, що відрізняється від сталі в [7] тим, що додатково легується цезієм та кальцієм. Ці елементи забезпечують для цієї сталі вищі технологічні і ріжучі характеристики.

Запропонована сталь має наступні фізико-механічні властивості:

- межа міцності на вигин: 2900-3200 МПа;
- ударна в'язкість: 2,7-3,1 кгм/см²;
- червоностійкість: 660°C;
- твердість: HRC 65-67.

Стійкість інструменту з цієї інструментальної сталі при обробці деталей зі сталі ВНС2 в 1,5-2рази вище, ніж стійкість інструменту зі сталі Р18Ф2К8М.

У [9] пропонується сталь, що відрізняється від сталі в [8] тим, що вона додатково легована цирконієм, цезієм та кальцієм. Після загартування від 1230-1245°C і триразового відпуску при 550-580°C сталь має наступні властивості:

- межа міцності на вигин: 2800-3000 МПа;
- ударна в'язкість: 2,4-2,6 кгм/см²;
- червоностійкість: 680°C;
- твердість: HRC 66-70.

Пропонована в [10] інструментальна сталь виробляється методами порошкової металургії за технологією, що полягає у розпиленні розплаву азотом та подальшому спіканні отриманого порошку. Використання методів гранул у металургії дозволяє отримувати в структурі дрібні карбіди типу МС (середній розмір після загартування складає 0,8-1,3 мкм). Дисперсність карбідів та їх достатня об'ємна частка, ефективно стримують зростання зерна при термічній обробці та зменшують різнозернистість.

Технології, пов'язані з нанесенням зносостійких покриттів [11] і насиченням поверхневого шару карбідами та нітридами [12], є досить перспективними. Значний економічний ефект приносять інструменти, ріжуча кромка яких передбачає переточування.

На підприємствах набула широкого поширення технологія іонно-плазмового напилення. Процес полягає в нанесенні зносостійких покриттів з нітридів титану, молібдену, цирконію на ріжучі кромки інструменту в сильноточній дузі в умовах вакууму, внаслідок чого забезпечується підвищення його твердості та зносостійкості. Температура процесу становить 400-800°C. Ефект підвищення зносостійкості різального інструменту не однаковий і залежить від швидкості різання [13]. Так, покриття з нітриду титану, зміщує максимум зносостійкості в бік менших швидкостей різання для сталей із твердістю $HRC < 40$. Це пов'язано із збільшенням коефіцієнта тертя в зоні контакту стружки з передньої поверхнею інструменту, а також із зменшенням порівняно з інструментальним матеріалом теплопровідності покриття, тобто з збільшенням теплонапруженості процесу різання. При різанні конструкційних сталей із твердістю $HRC > 40-50$ максимум зносостійкості зміщується у бік великих швидкостей різання. Технологія іонно-плазмового напилення є трудомісткою та дорогою, тому при призначенні цього методу зміцнення необхідно керуватися економічною доцільністю.

Останнім часом знаходять поширення технології нанесення багатошарових покриттів. Так пропонується з метою підвищення стійкості інструменту при обробці жароміцних сталей і сплавів в покриття, що містить нітрид титану, також вводити і нітрид хрому. При обробці нітрид хрому виконує функцію бар'єру, що перешкоджає активним адгезійним процесам на контактних поверхнях інструменту, підвищуючи його стійкість. Крім того, виникаюче при високих температурах у процесі різання часткове окислення нітриду хрому призводить до утворення термодинамічно стійких оксидів хрому, які ще більш знижують адгезійно-втомний знос інструменту. Внаслідок цього при обробці жароміцних сталей та сплавів стійкість пропонованого інструменту, порівняно з відомим, підвищується у 2-5 разів. З метою підвищення стійкості інструменту пропонується при різанні важкооброблюваних матеріалів внутрішній шар, безпосередньо що межує з

інструментальним матеріалом, формувати з хрому завтовшки не більше 1 мкм, а зовнішній шар - з нітриду гафнію завтовшки 3-7 мкм із твердістю 3800-4200 HV.

Шар хрому наноситься з енергією 1-1,5 кев. У цьому випадку іони хрому, маючи таку енергію, впроваджуються в інструментальну основу, заповнюють мікропори та мікротріщини, проникають по межах кобальтової фази (для твердого сплаву) та здійснюють ефект залікування, за рахунок чого міцність інструментального матеріалу збільшується на 27...29%. Крім того, шар хрому забезпечує надійну адгезію наступного зносостійкого шару з нітриду гафнію до інструментальної підкладки та запобігає сколам крихкого зносостійкого шару при ударно-уривчастому різанні, завдяки тому, що в пружному шарі хрому гасяться напруження, що виникають у шарі нітриду гафнію.

Стійкість інструментів з покриттям на основі нітриду гафнію в 3,5...4 рази вище порівняно з базовим інструментом, що має покриття з нітриду титану.

Таким чином, зміцнення робочих поверхонь інструментів можна досягти нанесенням різних зносостійких покриттів (твердосплавних, TiN, ZrN, HfN, Cr, кераміки та їх поєднання). Ці покриття, нанесені різними методами (іонним напиленням, наплавкою, детонаційним способом тощо), дозволяють не тільки збільшити міцність робочої поверхні, але й надійно розділити контакти в процесі обробки поверхні деталі та інструменту, тим самим, підвищити їхню стійкість.

Великий інтерес становлять технології хіміко-термічної обробки різального інструменту. Ця обробка (карбонітрація, азотування та деякі інші аналогічні процеси) забезпечує підвищення стійкості інструменту в 1,5...3 рази за рахунок формування в поверхневих шарах інструменту нітридних та карбідних фаз, що мають підвищену твердість. Пропонується спосіб зміцнювальної обробки методом розкладання карбоніду в нагрітому, герметично закритому модулі. Сутність методу карбонітрації з газової фази

полягає в тому, що атомарний азот і вуглець, отриманий при розкладанні карбоніду в діапазоні температур 480 - 600°C, дифундує в поверхневі шари металу та утворюють нітриди та карбіди. Порівняно з іншими відомими методами зміцнення цей метод є простим і ефективним. Він може бути здійснений на діючому обладнанні термічних ділянок без додаткових витрат.

Наступний технологічний процес відрізняється від аналізованого тим, що тут карбонітрація інструменту виробляється шляхом витримки його в 100% розплаві ціановокислового калію (KCNO) при температурі 550° з сталі P6M5 і 560° з P18.

Розділ 2

Розробка конструкцій технологічного оснащення та пресового обладнання для пластичної обробки заготовок

2.1 Штмп для осадки з крученням довгомірних циліндричних заготовок на основі гідроприводу

Відомі конструкції пристроїв для пластичного деформування заготовок мають у порівнянні з іншими аналогічними пристроями перевагу, що виражається тим, що вони досить прості у конструктивному відношенні через наявність гвинтового механізму, і не вимагають великих витрат на їх виготовлення та експлуатацію. Однак, вони не дозволяють досить гнучко та безперервно змінювати режими деформування заготовки, пов'язані з комбінуванням деформацій зсуву та осадки.

З метою розширення технологічних можливостей низки штапкової оснастки розглядається конструкція штапу для пластичної обробки довгомірних циліндричних заготовок з застосуванням гідроприводу [14].

На рис. 2.1 представлена конструкція даного штапу. Вона складається із наступних основних елементів. Корпус 1 циліндричної форми, в якому встановлюється на радіально-упорному підшипнику 2 нижня опора 3 у вигляді зубчастого колеса з розрахунковим діаметром початкового кола D . Для встановлення та навантаження заготовки 4 в зубчастому колесі закріплено за допомогою шпонкового та різьбового з'єднання нижня кругла плита з радіально спрямованими на її торці насічками.

Підтримуючі сектори 6, виготовлені розрізанням на 6 або 8 рівних частин заготовки у формі зрізаного конуса з кутом конусності β , співвісним отвором діаметра d і висотою H . При цьому сектори сполучаються кінематично одночасно із заготовкою 4 по циліндричній поверхні діаметра d і конічній поверхні з обіймою 7, яка у свою чергу сполучається з корпусом 1

по циліндричній поверхні діаметра D_3 . Для деформування заготовки в штампі використовується пуансон, що навантажує, який складається з гідроциліндра 8 і поршня діаметром $9 D_1$. Для запобігання повороту гідроциліндра 8 відносно корпусу 1 в останньому виконаний поздовжній напрямний паз, яким по ковзній посадці переміщається в осьовому напрямку жорстко закріплений у вказаному циліндрі палець 10.

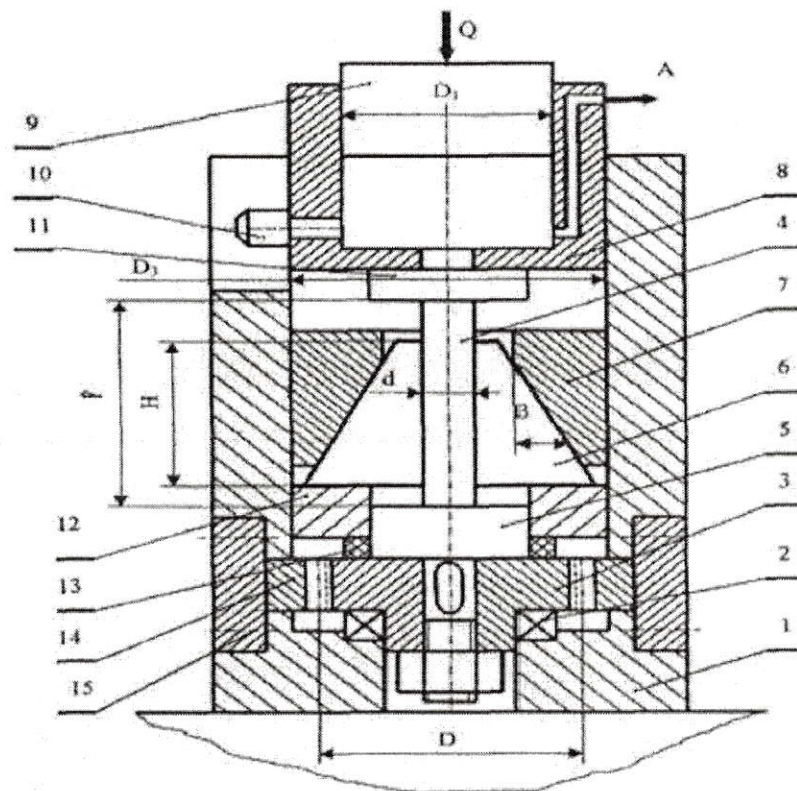


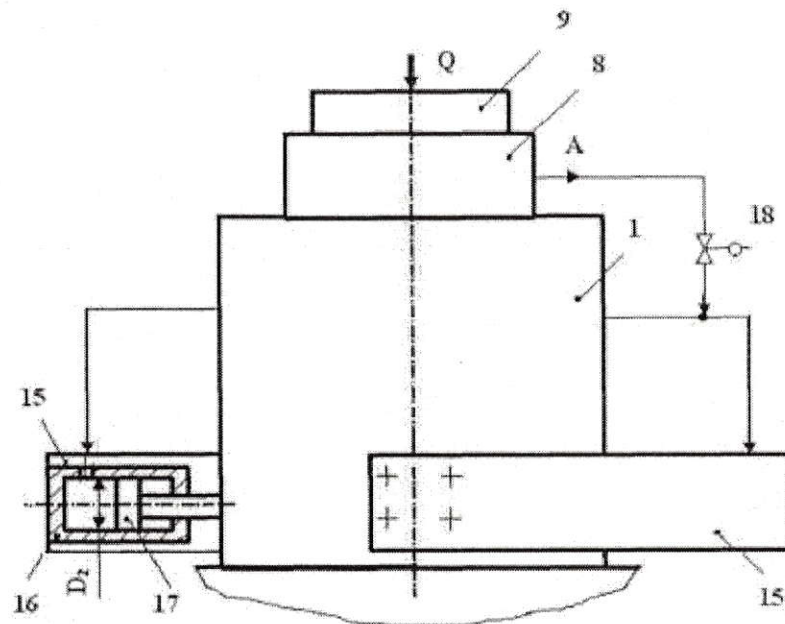
Рисунок 2.1 – Штамп з гідроприводом

У нижній частині циліндра встановлюється співвісно з ним по пресовій посадці верхня кругла плита 11 з радіально спрямованими на її торці насічками.

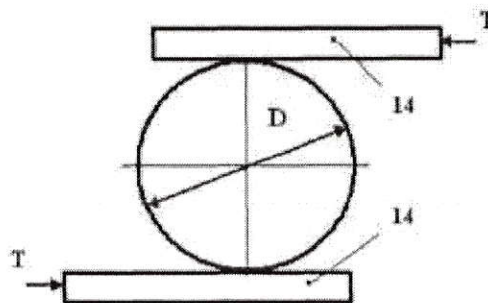
У стінці гідроциліндра 8 просвердлені відповідні отвори для протікання через них рідини з робочої порожнини в трубопроводі (на рисунку не показано) гідросистеми до дросельного клапана (див. по стрілці А). Для створення опорної площини для секторів 6 між ними та зубчастим колесом 3 встановлюється диск 12 з антифрикційною прокладкою 13.

З метою навантаження заготовки крутільним моментом у штампі застосовується рейкова передача, що складається з двох зубчастих рейок 14, що перебувають у зачепленні з колесом 3, і переміщаються в протилежних напрямках відносно кола діаметра D .

Рейки рухаються за допомогою гідроциліндрів 16 з поршнями 17 (рис. 2.2, а), штоки яких жорстко з'єднані із зазначеними рейками. При цьому приводні гідроциліндри встановлюються на планках 15, які, у свою чергу, жорстко закріплені, наприклад, на корпусі 1.



а)



б)

Рисунок 2.2 – Схема привода з рейковою передачею

Штамп працює в такий спосіб. Після встановлення заготовки 4 на нижню плиту 5 між секторами 6 із сполучною з ними обоймою 7 штамп

зверху закривають пуансоном, що навантажує. Далі через поршень 9 і гідроциліндр 8 проводиться навантаження заготовки 4 на пресі силою Р. При цьому в робочій порожнині циліндра 8 створюється тиск рідини інтенсивністю q, яка через відповідні отвори в циліндрі 8 і трубопроводах передається через дросельний клапан 18 у робочі порожнини гідроциліндрів приводу 16, поршні через відповідні штоки переміщатимуть рейки 14 з силою Т (рис 2.2, б), створюючи при цьому на зубчастому колесі момент пари сил рівний

де $k < 1$ - функція витрати рідини дросельного клапана гідросистеми; D_2 -

$$M = kq \frac{\pi D_2^2}{4} D,$$

діаметр робочої порожнини приводних гідроциліндрів.

Таким чином, заготовка 4 одночасно осаджуватиметься силою Р і скручуватись моментом М завдяки наявності радіально спрямованих насічок на торцях нижньої 4 та верхньої 11 плит. Встановлені у штампі сектори 6 та обойма 7 будуть при відповідному значенні кута конусності Р забезпечувати деформування заготовки без викривлення. У разі стиснення заготовки внаслідок збільшення її поперечного розміру сектори 6 будуть переміщатися по опорній торцевій поверхні диска 12 в радіальному напрямі. При цьому завдяки поєднанню секторів та обойми 7 по конічній поверхні остання також рухатиметься, але вгору відносно корпусу 1 по його напрямній циліндричній поверхні, забезпечуючи тим самим одночасне переміщення всіх секторів, оскільки рух тільки одного з них, можливий через поздовжній вигин заготовки, викличе заклинювання обойми в корпусі. Обойма підніматиметься вгору лише за одночасного руху всіх секторів. Таким чином, завдяки обоймі 7 заготовка 4 під дією сили Р деформуватиметься без поздовжнього вигину.

Проектне значення кута конусності секторів 5 встановлюють по співвідношенням (1.1) і (1.2).

З метою запобігання викривлення виступаючих із секторів 6 кінцевих частин заготовки рекомендується вихідну довжину заготовки призначити відповідно до виразу

$$l_0 = H + 2(2...3)d_0$$

де H – висота секторів; d_0 – початковий діаметр заготовки.

2.2 Штамп для осадки довгомірної циліндричної заготовки з використанням цанги

Для реалізації процесу осадки довгомірної циліндричної заготовки без втрати стійкості форми втулка 9 з секціями А (отримують розрізкою по діаметральній площині на 4 або 6 рівних частин), має опуклі внутрішні для контакту із заготовкою 6 робочі поверхні, а зовнішня поверхня виконана конічною з кутом конусності α . На верхню частину втулки 9 запресовано кільце 7 з метою спрощення у конструктивному відношенні спеціального штампу. Довгомірні ($\alpha_0 = \frac{l_0}{d} \geq 3$) заготовки можна пластично осаджувати з

0

використанням підтримуючих елементів, які мають забезпечити деформування без поздовжнього вигину.

Для цього спроектований штамп для осадки циліндричних заготовок. Простота та надійність пропонованого штампу дозволяє використовувати його у виробничих умовах для осадки довгомірних заготовок із інструментальних сталей.

Конструктивна схема штампу представлена на рис. 2.3.

Штамп містить циліндричний корпус 1 з опорою 2, встановлену на ній опорну пружину 3, пуансон 4 з кінематично пов'язаною з ним по рухомій посадці цангову втулку із секціями. Цангова втулка використовується для утворення кінематичної пари по рухомій посадці з внутрішньою поверхнею корпусу 1. Обойма 8 встановлена по рухомій посадці на цанговій втулці 9,

має внутрішню конічну поверхню з кутом конусності α для утворення відповідної кінематичної пари з секціями А. На цанговій втулці 9 між кільцем 7 і обоймою 8 встановлена пружина 5. Для забезпечення можливості поздовжнього переміщення цангової втулки 9 з обоймою 8 відносно пуансона 4 між виступом останнього та кільцем 7 встановлюється підпірна пружина стискування 10.

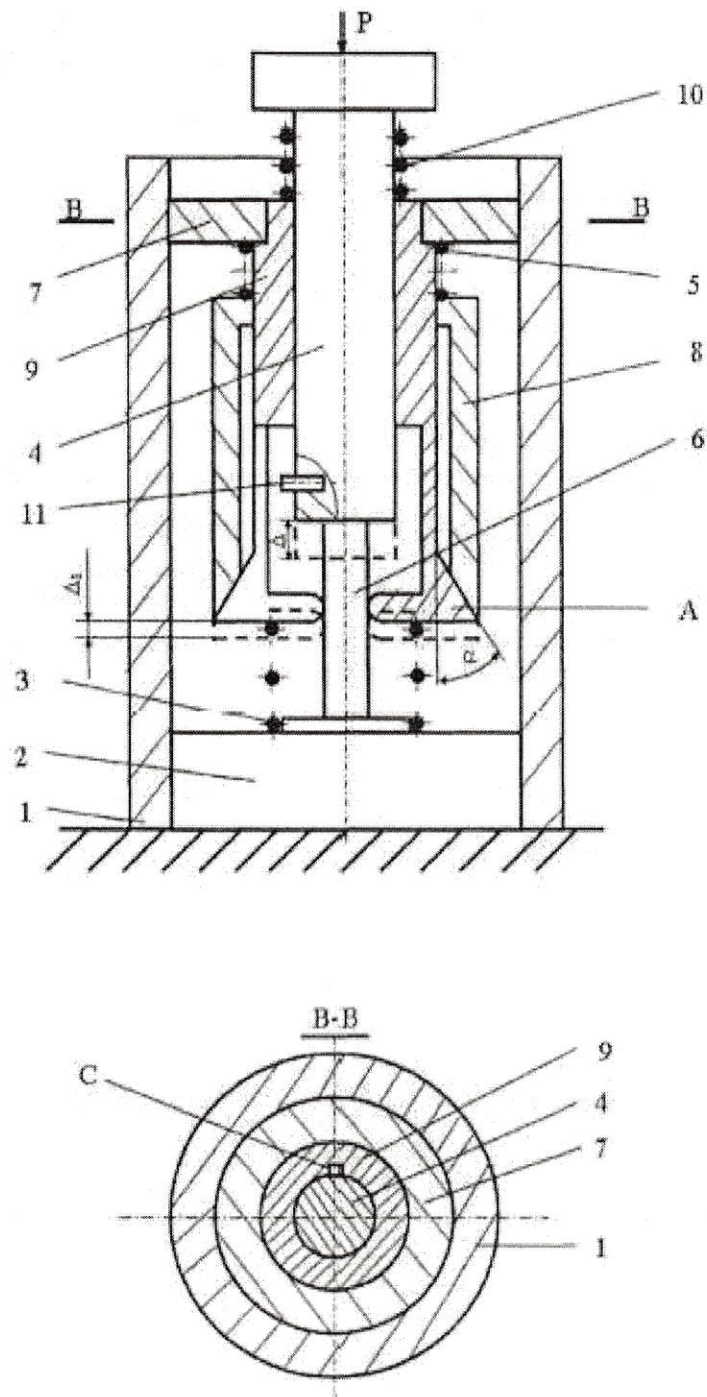


Рисунок 2.3 – Конструкція штапу

Пуансон 4 і цангова втулка 9 після збирання повинні утворити рухоме нероз'ємне з'єднання і, у зв'язку з цим, пуансон 4 в нижній його частини запресований у радіальному напрямку штифт 11, а для здійснення їх складання на внутрішній поверхні втулки 9 виконаний шпонковий паз С. Складання пуансона 4 і цангової втулки 9 проводиться рухом в осьовому напрямку по отвору втулки 9 пуансона 4 після установки його штифта в пазу шпонки втулки. Після проходження штифта по всій довжині зазначеного пазу роблять поворот пуансона 4 відносно втулки 9 на кут 90^0 , і, тим самим, створюється вищезазначене з'єднання, необхідне для реалізації техпроцесу пластичної обробки заготовки у штампі.

Штамп працює в такий спосіб. Спочатку встановлюють по центру опори 2 заготовку 6 (з вихідною довжиною l_0 діаметром d_0). Після цього пуансон разом з цанговою втулкою 9 вставляють по кільцю 7 у корпус 1 створюючи при цьому кінематичну пару з рухомої посадки відповідних циліндричних поверхонь до зіткнення секцій А цанги 9 з опорною пружиною 3, що служить для фіксації пуансона цанговою втулкою у вихідному положенні відносно заготовки. При цьому секції А цанги 9 охоплюють бічну поверхню посередині її довжини ($l_0/2$). Навантаження заготовки 6 здійснюється силою через пуансон 4 на пресі.

Для розрахунку жорсткості секції А цанги 9 необхідно врахувати конструкцію останньої та всі її розміри. У зв'язку з цим на рис. 2.4 представлено креслення цанги 9 у розрізі.

У першому наближенні з метою спрощення розрахунку можна вказану секцію розглядати як пряму консольну балку (рис. 2.5) відповідно з постійними осьовими моментами інерції перерізу.

При їх визначенні представлена форма поперечного перерізу секції (рис. 2.6, а) замінюється на прямокутну форму зі сторонами h - висота, b - ширина

(рис. 2.6, б). Тут $r_{cp} = \frac{r_s + r_n}{2}$ - середній радіус поперечного перерізу.

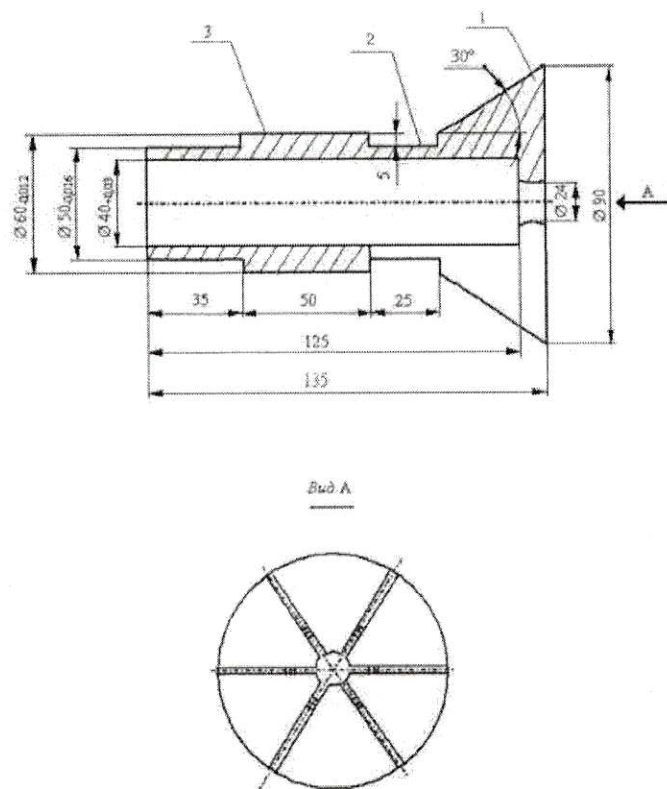


Рисунок 2.4 – Креслення цанги

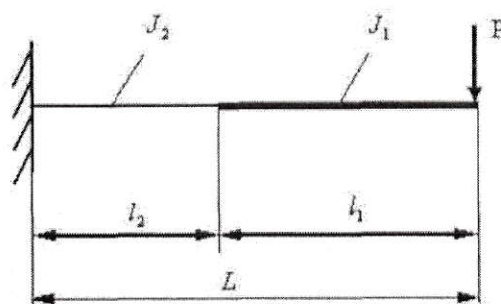


Рисунок 2.5 – Схема консольної балки

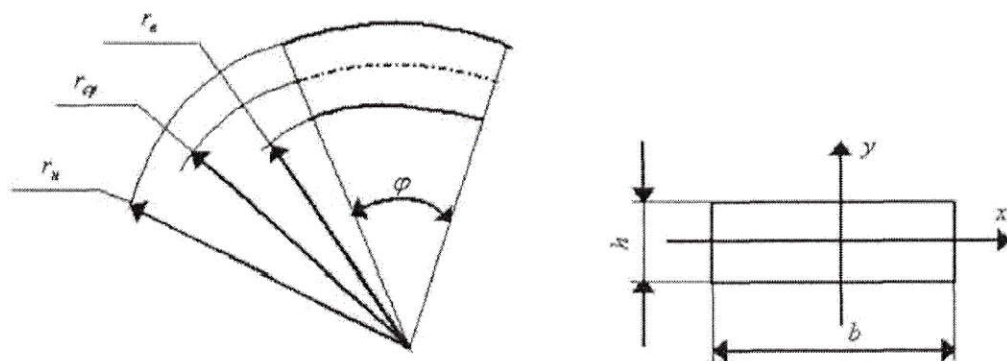


Рисунок 2.6 – Поперечний переріз балки

Висоту h і ширину b у прямокутнику можна визначати за співвідношеннями

$$h = r_{\text{в}} - r_{\text{г}}; b = \frac{2\pi r_{\text{сп}}}{n}$$

де n – число секцій у цанзі.

3 Моделювання пластичного деформування заготовок

3.1 Моделювання напружено-деформованого стану при осадці (розтягу) зкрученням циліндричних заготовок

У разі використання пластичної осадки (або розтягування) з крученням як механічної обробки при проектуванні нових технологій термомеханічної обробки необхідно для оптимізації останніх вміти вирішувати завдання оцінки напружено-деформованого стану у заготовках. При цьому вирішення зазначеної задачі буде мати велику практичну цінність, якщо воно дозволить визначати напруження та деформації в заготовках з урахуванням реальних властивостей матеріалів, а саме їх зміцнюваності, що в результаті дасть можливість більш ефективно призначати енергосилові та кінематичні параметри пластичної обробки заготовок.

Результати розв'язання задачі матимуть також значення й у розвитку теорії пластичності, й інших практичних додатків, наприклад, при побудові діаграм пластичності, які широко використовуються при розробці комп'ютерних технологій в обробці металів тиском.

Для визначення напружено - деформованого стану оброблюваної заготовки розглядається розрахункова схема, подана на рис. 3.1 [15]. Тут довгомірна заготовка 1, встановлена на підставці 2 навантажується переміщенням пуансона 3 зі швидкістю V і одночасним обертанням його з кутовою швидкістю ω без ковзання відносно торця заготовки. При цьому з метою запобігання поздовжнього вигину останню можна деформувати у спеціальному пристрої [4] без вигину.

Нехай заготовка 1 з вихідними радіусом R_0 та довжиною l_0 розглядається в циліндричній системі координат z, ρ, φ з початком в точці O , поєднаної з центром ваги нижнього нерухомого перерізу (рис. 3.1). Тоді компоненти швидкості переміщення довільної точки A заготовки з поточними координатами z, ρ, φ дорівнюватимуть

$$v_z = \frac{Vz}{l}; \quad v_\rho = \frac{V\rho}{2R}; \quad v_\varphi = \frac{\omega\rho}{l}z$$

де l - висота осадженої на величину Δl заготовки;

R – поточний радіус заготовки.

У разі розтягу з крученням заготовки необхідно швидкість поступального руху пуансону V приймати у поданих виразах зі знаком мінус.

Компоненти тензора швидкостей деформації визначаються за співвідношенням

$$\left. \begin{aligned} \xi_z &= -2\xi_\rho = -2\xi_\varphi = -V/l; \\ \xi_{\varphi z} &= \omega\rho/2l; \xi_{z\rho} = \xi_{z\varphi} = 0, \end{aligned} \right\}$$

а інтенсивність швидкостей деформації

$$\dot{\varepsilon} = \frac{1}{l} \sqrt{V^2 + \frac{1}{3}\omega^2\rho^2}$$

Ступінь деформації (або накопичена деформація) буде дорівнювати

$$e = \int_0^t \dot{\varepsilon} \cdot dt = \frac{1}{V} \ln \frac{l_0}{l} \cdot \sqrt{V^2 + \frac{1}{3}\omega^2\rho^2}$$

При виконанні розрахунків розглянутих кінематичних параметрів буває часом зручним визначати останні як функції відносної деформації та зсуву на поверхні заготовки. У зв'язку з цим надаються такі співвідношення необхідні для математичних перетворень виразу

$$l = (1 - \varepsilon) \cdot l_0; \quad \frac{\omega}{V} = \frac{\omega \cdot t \cdot l}{V \cdot t \cdot l} = \gamma(1 - \varepsilon)/R\varepsilon$$

Тоді з урахуванням цих співвідношень кінематичні параметри будуть рівні

$$\xi_z = -2\xi_\varphi = -2\xi_\rho = -V/(1 - \varepsilon)l_0; \quad \xi_{\varphi z} = \omega\rho/2(1 - \varepsilon)l_0;$$

$$\varepsilon = V\Delta/(1 - \varepsilon)l_0; \quad e = \ln \frac{1}{1 - \varepsilon} \cdot \Delta,$$

де
$$\Delta = \sqrt{1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{\gamma^2 (1 - \varepsilon)^2}{R^2 \varepsilon^2}} \rho^2$$
.

Компоненти тензора напружень визначаються для ізотропного матеріалу, що зміцнюється за рівняннями стану [1]

$$S_{ij} = \frac{2}{3} \frac{\sigma_0(e)}{\dot{\varepsilon}} \xi_{ij}, \quad (i, j = 1, 2, 3; 1 - z, 2 - \rho, 3 - \varphi)$$

і диференціальному рівнянню рівноваги

$$\frac{\partial \sigma_\rho}{\partial \rho} + \frac{\sigma_\rho - \sigma_\varphi}{\rho} = 0$$

де S_{ij} – компоненти девіатора напружень; $\sigma_0(e)$ – інтенсивність напружень.

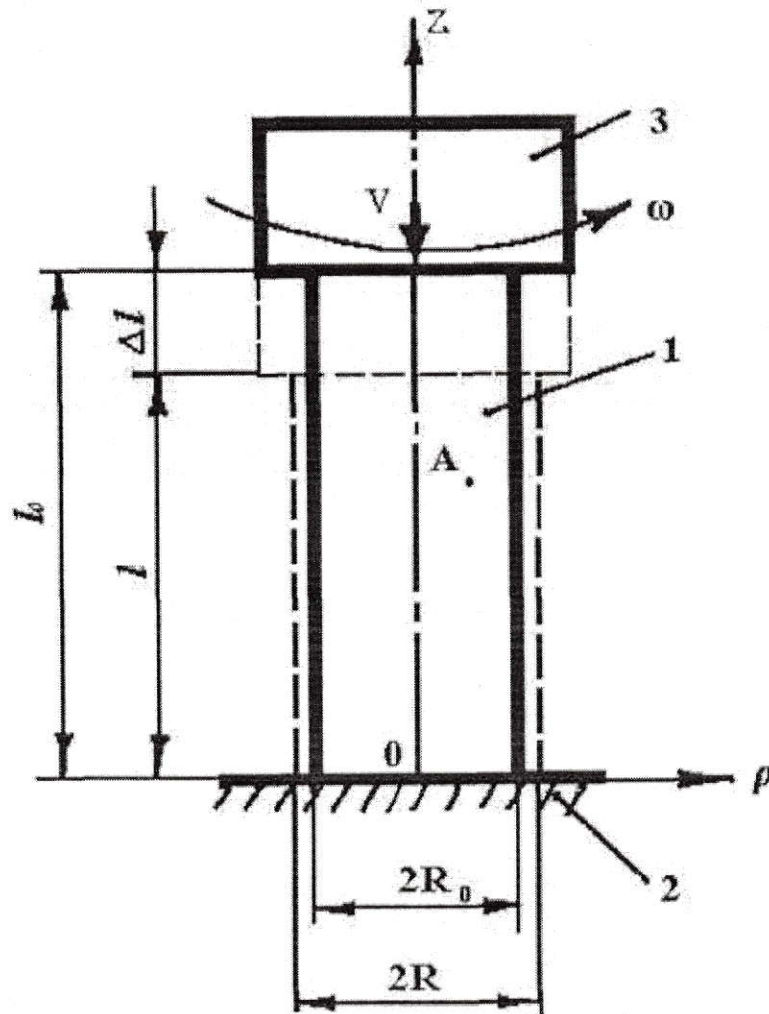


Рисунок 3.1 – Схема навантаження заготовки

Якщо осьове зусилля при осадці заготовки без закручування

$$P' = \pm \pi R^2 \sigma_0(\bar{\epsilon})$$

де
$$\bar{\epsilon} = \ln \frac{1}{1 \pm \epsilon}$$

Тоді за допомогою функції

$$\alpha = \frac{P}{P'} = \frac{2}{\sigma_0(\bar{\epsilon}) R^2} \int_0^R \sigma_0(e) \rho \cdot \Delta^{-1} d\rho$$

можна буде дослідити вплив деформації зсуву на величину зусилля осадки.

На рис. 4.2 представлені графіки зміни функції α залежно від відносної деформації ϵ . Тут суцільна та штрихова лінії відносяться відповідно до дослідних та розрахункових значень α .

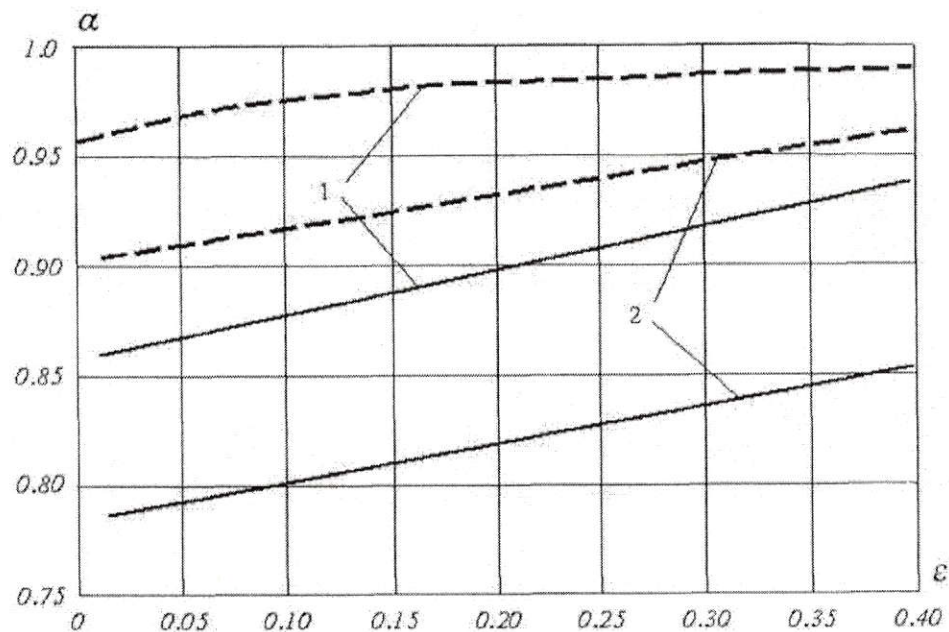


Рисунок 3.2 – Зміна функції α

Таким чином, із зіставлення розрахункових та дослідних даних (відхилення знаходиться в межах 15%) можна зробити висновок, що отримане розв'язання задачі про осадку з крученням циліндричних заготовок задовільно описує пластичні властивості матеріалів при їх формозміні, і у зв'язку з цим ще раз, на додаток до множини раніше встановленим

обґрунтованим дослідним даним, свідчить про правомірність основних положень теорії пластичності.

3.2 Стійкість довгомірних циліндричних заготовок при осадці з крученням

У зв'язку з реалізацією осадки з крученням довгомірних циліндричних заготовок виникає нагальна потреба розробки відповідного технологічного оснащення. Для деформування зазначених заготовок без втрати стійкості у штампі необхідно використовувати підтримуючі елементи, що дозволяють осаджувати довгомірну заготовку без викривлення до великих ступенів відносної деформації ϵ .

Залежно від конструкції штампу вплив підтримуючих елементів на деформовану заготовку розглядається в двох варіантах:

1. Поперечні зосереджені сили Q (рис. 3.3), що додаються до заготовки на відстані $\frac{l_0}{m+1}$, де l_0 - вихідна розрахункова довжина заготовки; m - число зазначених сил.

2. Поперечне розподілене навантаження постійної інтенсивності q (рис. 3.4).

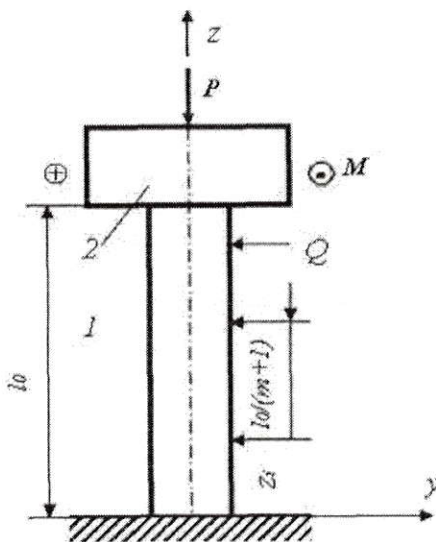


Рисунок 3.3 – Схема до визначення Q

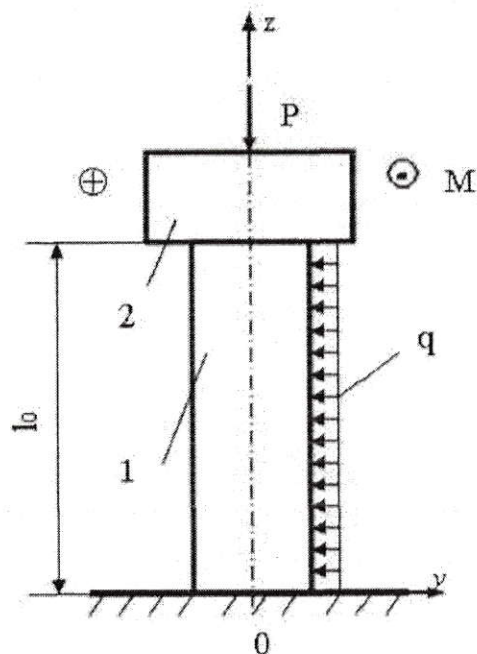


Рисунок 3.4 – Схема до визначення q

Для забезпечення осадки заготовки без її викривлення важливим є знання оптимальних значень сили Q та інтенсивності q , що залежать від розмірів заготовки, механічних властивостей матеріалу останньої, які визначають геометричні параметри основних елементів технологічного оснащення.

Для розрахунку сил Q на рис. 4.6 представлена схема навантаження заготовки 1 силою P та моментом M через пуансон 2. Тут n поперечних сил Q прикладені перпендикулярно до осі заготовки і спрямовані в сторону протилежну напрямку її вигину.

З метою визначення зазначеної сили проводиться аналіз стійкості заготовки при її стисканні з крученням на основі найбільш відповідному дослідним даним критерію позитивності роботи додаткових навантажень dP , dM , який з урахуванням дії поперечних сил запишеться у вигляді

$$dPdl + dMd\varphi + A(dQ) \geq 0 \quad (3.1)$$

де dl - прирощення довжини заготовки;

$d\varphi$ - мала зміна кута повороту кінцевих перерізів заготовки відносно один одного;

$A(dQ)$ - робота додаткового навантаження dQ .

Величину вказаного кута повороту визначають за формулою

$$\varphi = \theta \cdot l = \gamma \cdot l / R$$

де θ - відносний кут повороту кінцевих перерізів заготовки поточною довжиною;

γ - зсув поверхні заготовки з поточним радіусом R .

Аналіз критерію (3.1) проводитиметься на основі розв'язання задачі про осадку з крученням циліндричної заготовки.

Диференціали доданих до заготовки навантажень рівні

$$\left. \begin{aligned} dP &= 2\pi \left(\bar{\sigma}_z R dR + \int_0^R d\sigma_z \rho d\rho \right); \\ dM &= 2\pi \left(\bar{\tau} R^2 dR + \int_0^R d\tau \rho^2 d\rho \right), \end{aligned} \right\}$$

де $\bar{\sigma}_z, \bar{\tau}$ - нормальні та дотичні напруження в точках перерізу заготовки при $\rho = R$.

Ці напруження визначаються за співвідношеннями

$$\left. \begin{aligned} \bar{\sigma}_z &= \sigma_0(\tilde{\varepsilon}) / \Delta_1; \\ \bar{\tau} &= \frac{1}{3} \sigma_0(\tilde{\varepsilon}) \gamma (1 - \varepsilon) / \varepsilon \Delta_1, \end{aligned} \right\}$$

де $\Delta_1 = \sqrt{1 + \frac{1}{3} \frac{\gamma^2 (1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^2}}; \tilde{\varepsilon} = \bar{\varepsilon} \cdot \Delta_1$

Співвідношення для визначення Q можна представити у вигляді

$$Q = \frac{\bar{Q}}{\gamma_0}$$

де $\bar{Q} = \frac{\pi R_0^2 l_0 A^2 (e_0 + e)^n}{6 k_m E} \int_0^{\varepsilon'} \frac{(e_0 + e)^n [6 + c^2 (2 - 5\varepsilon)]}{\tilde{\Delta}_1 (1 - \varepsilon)^3} d\varepsilon$ (3.1)

$y_0=(0,005\dots 0,01)l_0$ – найбільший прогин осі заготовки

$$\tilde{\Delta}_1 = \sqrt{1 + \frac{1}{3}c^2(1-\varepsilon)^2}$$

На рис. 3.5 представлена залежність $\bar{Q}$ від накопиченої деформації ε для заготівлі із сталі 45 ($l_0=80\text{мм}$ і $R_0=8\text{мм}$): суцільна лінія відповідає співвідношенню (3.1), а штрихова лінія - ідеально пластичному матеріалу ($n=0$).

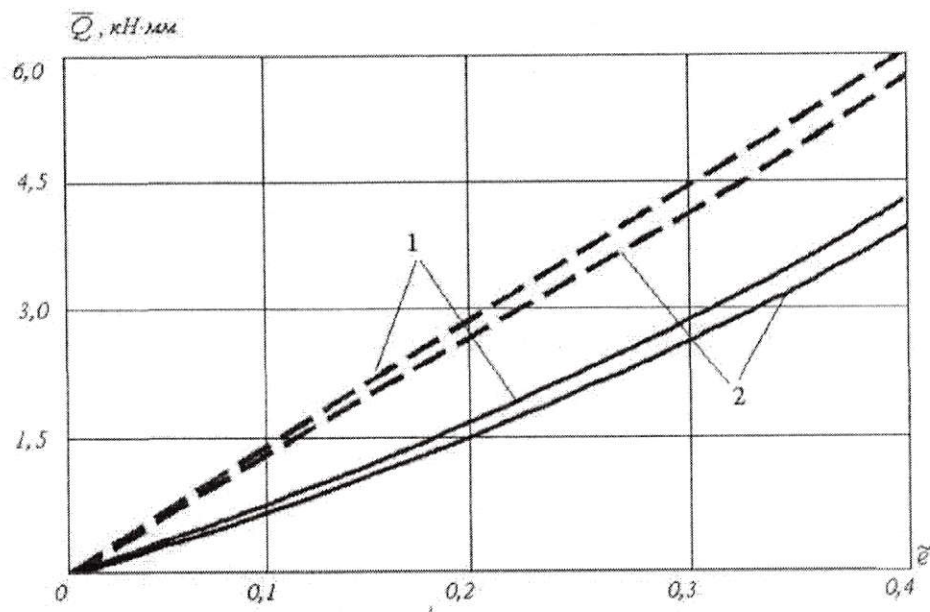


Рисунок 3.5 – Графік зміни $\bar{Q}$

Значення інтенсивності розподіленого навантаження

$$q = \frac{\bar{q}}{y_0}$$

$$\bar{q} = \frac{\pi R_0^2 A^2 (e_0 + \tilde{\varepsilon})^n}{3E} \int_0^{\varepsilon'} \frac{(e_0 + \tilde{\varepsilon})^n [6 + c^2(2 - 5\varepsilon)]}{\tilde{\Delta}_1 (1 - \varepsilon)^2} d\varepsilon \quad (3.2)$$

де

На рис. 3.6 показана залежність (3.2) - суцільна лінія, штрихова лінія - для ідеально пластичного матеріалу ($n=0$) при тих же прийнятих у формулі 3.1 характеристиках матеріалу заготовки та її геометричних розмірів ($l_0=80\text{мм}$ і $R_0=8\text{мм}$). Як бачимо, зі зростанням відносної деформації інтенсивність розподіленого навантаження q монотонно зростає.

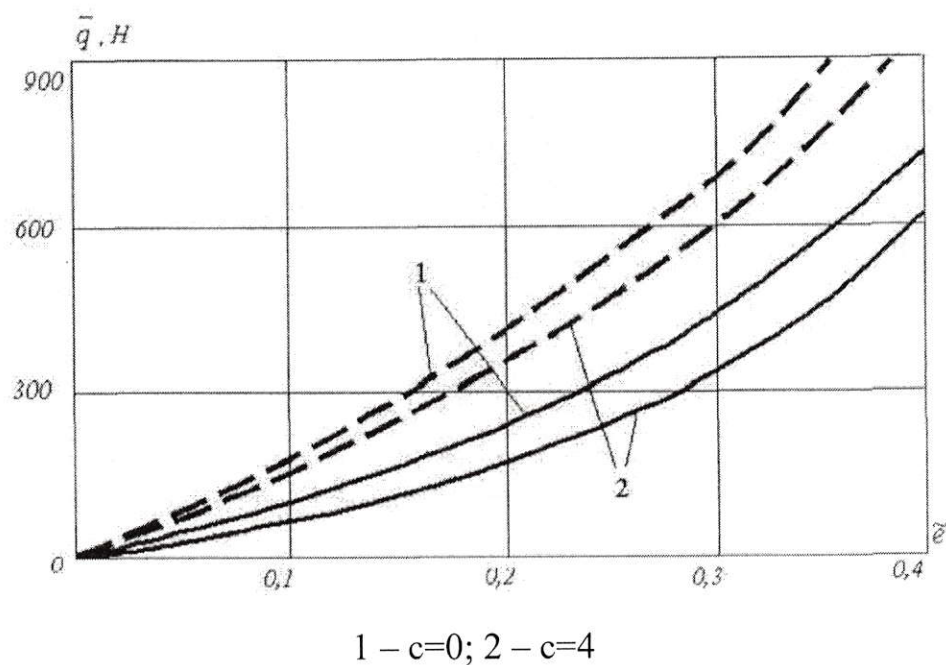


Рисунок 3.6 – Графік зміни $\bar{q}$

3.3 Підвищення міцності валів

У машинобудуванні існують різні способи зміцнення обробкою пластичним деформуванням - роликів обкатка, дробоструменева обробка тощо. Однак при виконанні більшості відомих методів обробки, як правило реалізується неоднорідний напружений стан в деталях, що зміцнюються, внаслідок чого в останніх виникають залишкові напруження, що викликають додаткове пружне деформування деталей. У зв'язку з цим можна запропонувати досить ефективний спосіб зміцнення широко застосовуваних у різних машинах та механізмах валів – пластичне осьове деформування їх заготовок, при якому по всьому об'єму останніх буде реалізовано однорідний напружено-деформований стан.

Проведені раніше дослідження показали суттєве підвищення границі текучості на зсув під час кручення. При цьому встановлено, що в сталі ст. 3 границі текучості при деформації 0,2 збільшилася порівняно з вихідним значенням майже на 75%.

Очевидно, що розглянутий спосіб зміцнення валів буде досить ефективним, якщо останні виготовлятимуться з термічно незміцнених металів (деякі кольорові сплави, маловуглецеві сталі, аустенітні нержавіючі сталі тощо).

При проектуванні технологічних процесів, що зміцнюють, обробки заготовок валів необхідно вміти розраховувати величину підвищеного значення границі текучості, що є однією з найважливіших характеристик міцності металів з точки зору оцінки несучої здатності елементів конструкцій. У зв'язку з цим у роботі розглядається задача оцінки ступеня збільшення границі текучості при крученні валів після попереднього осьового деформування їх заготовок до певної накопиченої пластичної деформації. Розв'язання цієї задачі пропонується отримати на основі розробленої Г. Бакхаузом моделі ізотропного тіла з анізотропним зміцненням. При цьому напружено-деформований стан у заготовках, що закручуються, визначається в циліндричній системі координат.

В умовах вільного кручення валу, коли його довжина залежить від умов попереднього навантаження він може вільно подовжуватися та коротшати, компоненти прирощень пластичних деформацій будуть визначатися за співвідношенням

$$\left. \begin{aligned} d\varepsilon_{z\rho} = d\varepsilon_{\rho\eta} = 0; d\varepsilon_{z\eta} \neq 0, \\ d\varepsilon_z = -2d\varepsilon_{\rho} = -2d\varepsilon_{\eta}. \end{aligned} \right\}$$

Компоненти девіаторів напружень при прийнятих цих співвідношеннях згідно з рівняннями стану

$$\alpha_{ij} = \frac{1 - \beta(e)}{3} \sigma_0(e) \frac{d\varepsilon_{ij}}{de} - \frac{1}{3} \int_0^e [1 - \beta(e^*)] \sigma_0(e^*) \rho(e - e^*) \frac{d^2 \varepsilon_{ij}}{de^{*2}} de^*$$

будуть рівні

$$\left. \begin{aligned} S_{z\rho} = S_{\rho\eta} = 0; S_{\rho} = S_{\eta} = -0,5S_z; \\ S_z = \frac{2}{3}\sigma_0(e)\frac{d\varepsilon_z}{de} - \frac{1}{3}[1 - \beta(\varepsilon_0)]\sigma_0(\varepsilon_0)\varphi(e - \varepsilon_0)\left[\left(\frac{d\varepsilon_z}{de}\right)_0 \mp 1\right]; \\ S_{z\eta} = \tau = \frac{2}{3}\sigma_0(e)\frac{d\varepsilon_{z\eta}}{de} - \frac{1}{3}[1 - \beta(\varepsilon_0)]\sigma_0(\varepsilon_0)\varphi(e - \varepsilon_0)\left(\frac{d\varepsilon_{z\eta}}{de}\right)_0. \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

З рівняння рівноваги

$$\frac{dS_{\rho}}{d\rho} + \frac{S_{\rho} - S_{\eta}}{\rho} = 0 \quad (3.4)$$

і співвідношень (3.3) випливає, що нормальне напруження в радіальному напрямі по всьому перерізу буде постійним. Оскільки на контурі поперечного перерізу заготовки (при $\rho=R$ де R - зовнішній радіус заготовки)

$\sigma_{\rho}=0$, то і по всьому перерізу σ_{ρ} дорівнюватиме нулю. Тому на підставі рівності дівіаторів напружень S_{ρ} і S_{η} згідно з рівнянням (3.3) слідує і рівність $\sigma_{\eta}=0$. Таким чином, компоненти дівіатора напружень будуть рівні

$$S_{\rho} = S_{\eta} = -0,5S_z = \sigma_z / 3 \quad (3.5)$$

У розв'язку задачі передбачається, що при вільному крученні заготовки осьові напруження σ_z в ній дорівнюватимуть нулю тільки в момент початку пластичного кручення. Тоді додатково до системи (3.3) маємо згідно з виразом (3.4)

$$(S_z)_0 = (S_{\eta})_0 = (S_{\rho})_0 = 0 \quad (3.6)$$

де індекс "0" означає початок пластичного закручування заготовки. У зв'язку з цим, прийнявши у другому рівнянні системи (3.3) $e=\varepsilon_0$ та враховуючи (3.6), а також, що $\varphi(0)=1$, отримаємо формулу для визначення похідної деформації ε_z у момент початку закручування заготовки

$$\left(\frac{d\varepsilon_z}{de}\right)_0 = \mp \frac{1 - \beta(\varepsilon_0)}{1 + \beta(\varepsilon_0)} \quad (3.7)$$

Тут знак "-" відноситься до кручення після розтягування, а "+" - до кручення після стиснення. У свою чергу, підставивши цей вираз у співвідношення

$$\left(\frac{d\varepsilon_z}{de}\right)^2 + \frac{4}{3}\left(\frac{d\varepsilon_{z\eta}}{de}\right)^2 = 1 \quad (3.8)$$

отриманого згідно з визначенням збільшення накопиченої деформації, визначимо похідну кутову деформацію

$$\left(\frac{d\varepsilon_{z\eta}}{de}\right)_0 = \frac{\sqrt{3\beta(\varepsilon_0)}}{1 + \beta(\varepsilon_0)} \quad (3.9)$$

Вирішуючи спільно рівняння (3.3) - (3.9), отримаємо співвідношення для розрахунку першої похідної деформацій ε_z , $\varepsilon_{z\eta}$ та дотичного напруження τ .

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\varepsilon_z}{de} &= \mp \frac{[1 - \beta(\varepsilon_0)]\sigma_0(\varepsilon_0)}{[1 + \beta(\varepsilon_0)]\sigma_0(e)} \varphi(e - \varepsilon_0); \\ \frac{d\varepsilon_{z\eta}}{de} &= \frac{\sqrt{3}}{2[1 + \beta(\varepsilon_0)]\sigma_0(e)} \cdot \sqrt{[1 + \beta(\varepsilon_0)]^2 \sigma_0^2(e) - [1 + \beta(\varepsilon_0)]^2 \sigma_0^2(\varepsilon_0) \varphi^2(e - \varepsilon_0)}. \end{aligned} \right\}$$

$$\tau = \frac{1}{\sqrt{3}[1 + \beta(\varepsilon_0)]} \cdot \left\{ \sqrt{[1 + \beta(\varepsilon_0)]^2 \sigma_0^2(e) - [1 + \beta(\varepsilon_0)]^2 \sigma_0^2(\varepsilon_0) \varphi^2(e - \varepsilon_0)} - \sqrt{\beta(\varepsilon_0)} \cdot [1 - \beta(\varepsilon_0)] \sigma(\varepsilon_0) \varphi(e - \varepsilon_0) \right\}. \quad (3.10)$$

Слід зазначити, що отримані співвідношення будуть справедливими при немонотонному деформуванні тільки тонкостінних трубок в силу припущення про реалізацію в них однорідного напружено-деформованого стану. Для трубчастих заготовок із зовнішнім радіусом R та товщиною стінки t осьову деформацію можна визначити інтегруванням першого рівняння у співвідношеннях (3.10).

У початковий момент пластичного закручування ($e = \varepsilon_0$) вирази (3.10) наводяться відповідно до співвідношень (3.7) та (3.9).

Відносне напруження, що відповідає при цьому умовній границі текучості $\tau_{0,3}$ буде рівно

$$\tau_{0,3} = \frac{\sigma_0(\varepsilon_0)\sqrt{\beta(\varepsilon_0)}}{\sqrt{3}}$$

Якщо в даному співвідношенні прийняти $\varepsilon_0=e$, то одержують залежність границі текучості на зсув від накопиченої деформації e попереднього розтягування (при стисканні) заготівлі

$$\tau_{0,3} = \frac{\sigma_0(e)\sqrt{\beta(e)}}{\sqrt{3}} \quad (3.11)$$

Для ізотропного матеріалу з ізотропним зміцненням $\beta(e)=1$ і отримані співвідношення приводяться до співвідношення Мізеса, що виражає зв'язок між дотичним напруженням та інтенсивністю напружень.

Осьові деформації майже на два порядки менші від накопиченої деформації e і тому з достатнім ступенем точності можна при визначенні зсуву $\varepsilon_{z\eta}$ напруження τ прийняти

$$de = d\gamma_0 / \sqrt{3}$$

або з урахуванням рівності $\gamma_0=\theta R$ (θ - відносний кут закручування; γ_0 - зсув на поверхні трубки)

$$de = Rd\theta / \sqrt{3} \quad (3.12)$$

Накопичена деформація при пластичному закручуванні трубки ($e>\varepsilon_0$) у співвідношеннях (3.3) і (3.4) дорівнюватиме

$$e = \varepsilon_0 + R\theta / \sqrt{3} \quad (3.13)$$

Тоді осьова та кутова деформації на підставі отриманих співвідношень будуть визначатися за такими формулами

$$\varepsilon_z = \mp \left[\frac{1 - \beta(\varepsilon_0)}{1 + \beta(\varepsilon_0)\sqrt{3}} \right] \sigma_0(\varepsilon_0) R \int_0^\theta \frac{\varphi(\theta R \sqrt{3})}{\sigma(\varepsilon_0 + \theta R \sqrt{3})} d\theta;$$

$$\varepsilon_{z\eta} = \frac{R}{2[1 + \beta(\varepsilon_0)]} \int_0^\theta \left\{ \sqrt{[1 + \beta(\varepsilon_0)]^2 \sigma_0^2(\varepsilon_0 + \theta R \sqrt{3})} - \right.$$

$$\left. - [1 - \beta(\varepsilon_0)]^2 \sigma_0^2(\varepsilon_0) \varphi(\theta R / \sqrt{3}) / \sigma(\varepsilon_0 + \theta R / \sqrt{3}) \right\} d\theta$$

Крутний момент для тонкостінних трубок можна з достатнім ступенем точності розрахувати за формулою

$$M_K = 2\pi R^2 t \tau$$

Це рівняння з урахуванням виразів (3.10) та (3.13) можна привести до вигляду

$$M_K = \frac{2\pi R^2 t}{\sqrt{3}[1 + \beta(\varepsilon_0)]} \left\{ \sqrt{[1 + \beta(\varepsilon_0)]^2 \sigma_0^2(\varepsilon_0 + R\theta / \sqrt{3})} - [1 - \beta(\varepsilon_0)]^2 \times \right.$$

$$\left. \times \sigma_0^2(\varepsilon_0) \varphi^2(\theta R / \sqrt{3}) - \sqrt{\beta(\varepsilon_0)[1 - \beta(\varepsilon_0)]} \varphi(\theta R / \sqrt{3}) \right\}.$$

У початковий момент пластичного закручування ($\theta=0$) крутний момент дорівнюватиме

$$M_{KT} = \frac{2\pi R^2 t \sqrt{\beta(\varepsilon_0)}}{\sqrt{3}} \sigma_0(\varepsilon_0)$$

У цьому співвідношенні так само, як і в рівнянні (3.4) можна прийняти $\varepsilon_0=e$, в результаті чого отримують формулу для розрахунку мінімального пластичного крутного моменту за заданою величиною накопиченої деформації розтягування (або стиснення) трубчастої заготовки

$$M_{KT} = \frac{2\pi R^2 t \sqrt{\beta(e)}}{\sqrt{3}} \sigma_0(e)$$

Якщо розглядається кручення заготовки суцільного перерізу, то при вихідних співвідношеннях (3.11) та умови симетрії розподілу осьових деформацій ε_z щодо будь-якого поперечного перерізу заготовки збільшення деформації не повинно залежати від координати ρ , і у зв'язку з цим по всьому перерізу

$$d\varepsilon_z=0$$

Співвідношення (3.12) і (3.13) в даному випадку набудуть відповідно вигляду

$$e = \varepsilon_0 + R\theta / \sqrt{3}$$

Тоді осьова та кутова деформації на підставі отриманих співвідношень будуть визначатися за такими формулами

$$\varepsilon_z = \mp \left[\frac{1 - \beta(\varepsilon_0)}{1 + \beta(\varepsilon_0)\sqrt{3}} \right] \sigma_0(\varepsilon_0) R \int_0^\theta \frac{\varphi(\theta R \sqrt{3})}{\sigma(\varepsilon_0 + \theta R \sqrt{3})} d\theta;$$

$$\varepsilon_{z\eta} = \frac{R}{2[1 + \beta(\varepsilon_0)]} \int_0^\theta \left\{ \sqrt{[1 + \beta(\varepsilon_0)]^2 \sigma_0^2(\varepsilon_0 + \theta R \sqrt{3})} - \right.$$

$$\left. - [1 - \beta(\varepsilon_0)]^2 \sigma_0^2(\varepsilon_0) \varphi(\theta R / \sqrt{3}) / \sigma(\varepsilon_0 + \theta R / \sqrt{3}) \right\} d\theta$$

Результати зіставлення границь текучості τ_{03} у випадках вільного

$$\tau_{0,3} = \frac{\sigma_0(e)}{\sqrt{3}} \left\{ 1 - \frac{[1 - \beta(e)]\sqrt{\beta(e)}}{1 + \beta(e)} \right\} \quad (3.14)$$

та стисненого

$$\tau_{0,3} = \frac{1 + \beta(e)}{2\sqrt{3}} \sigma_0(e) \quad (3.15)$$

кручення заготовок суцільного перерізу після їх попереднього деформування в осьовому напрямку до накопиченої деформації e показують, що ці механічні показники відрізняються один від одного. У зв'язку з цим для кількісної оцінки відмінності τ_{03} на рис. 3.7 наводяться графіки зміни величин A_1 і A_2 відповідно до рівнянь (3.14) та (3.15) залежно від параметра β , що характеризує ефект Баушінгера

$$A_1 = 1 - \frac{[1 - \beta(e)]\sqrt{\beta(e)}}{1 + \beta(e)}$$

$$A_2 = \frac{1 + \beta(e)}{2}.$$

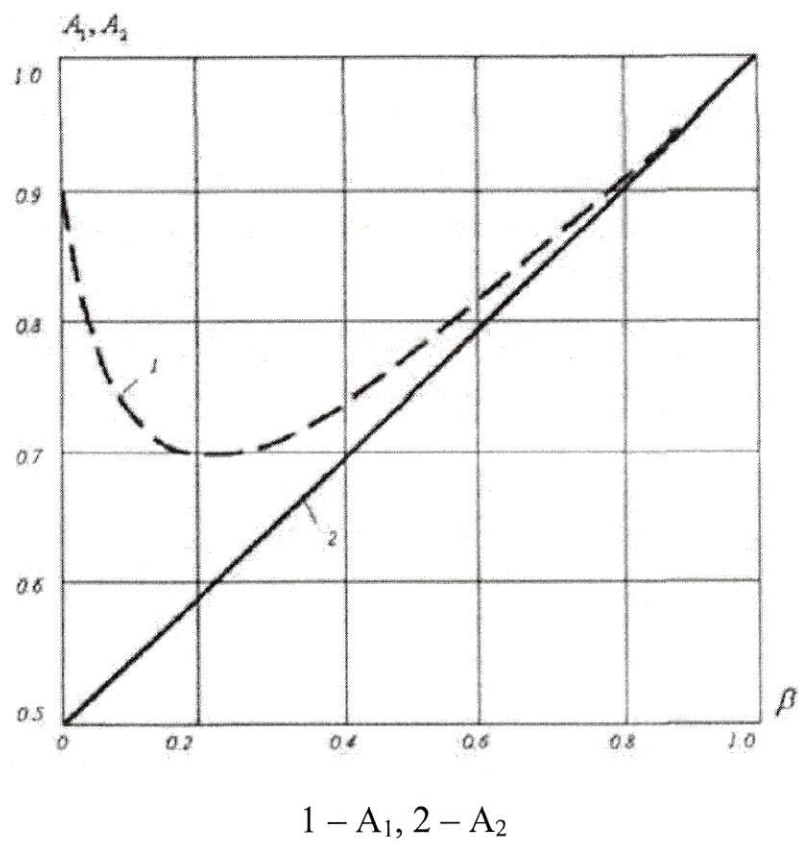


Рисунок 3.7 - Графік зміни величини А

На рис. 3.8 - 3.13 представлені залежності $\tau = \tau(e)$ для досліджених матеріалів.

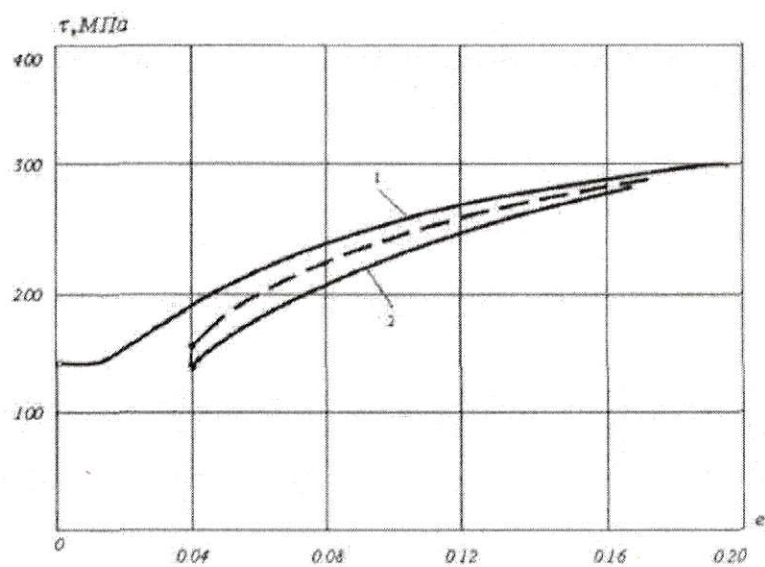


Рисунок 3.8 - Діаграма зсуву. Сталь 20; $\epsilon_0 = 0.040$

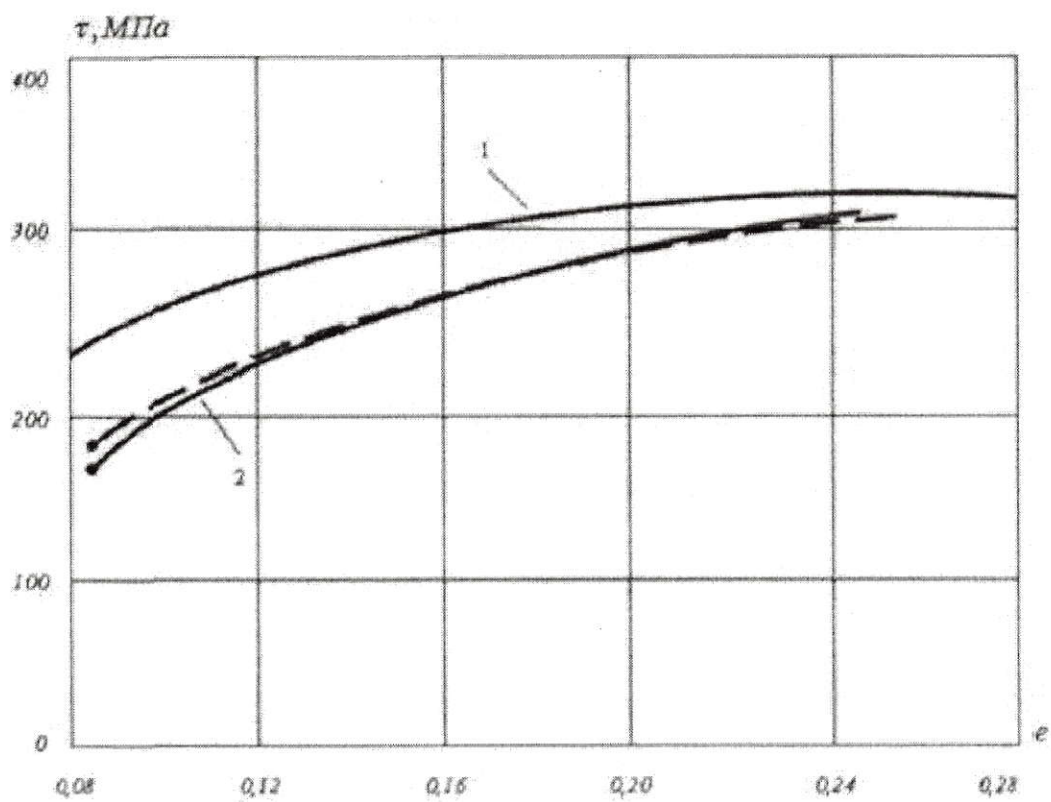


Рисунок 3.9 - Діаграма зсуву. Сталь 20; $\varepsilon_0 = 0.084$

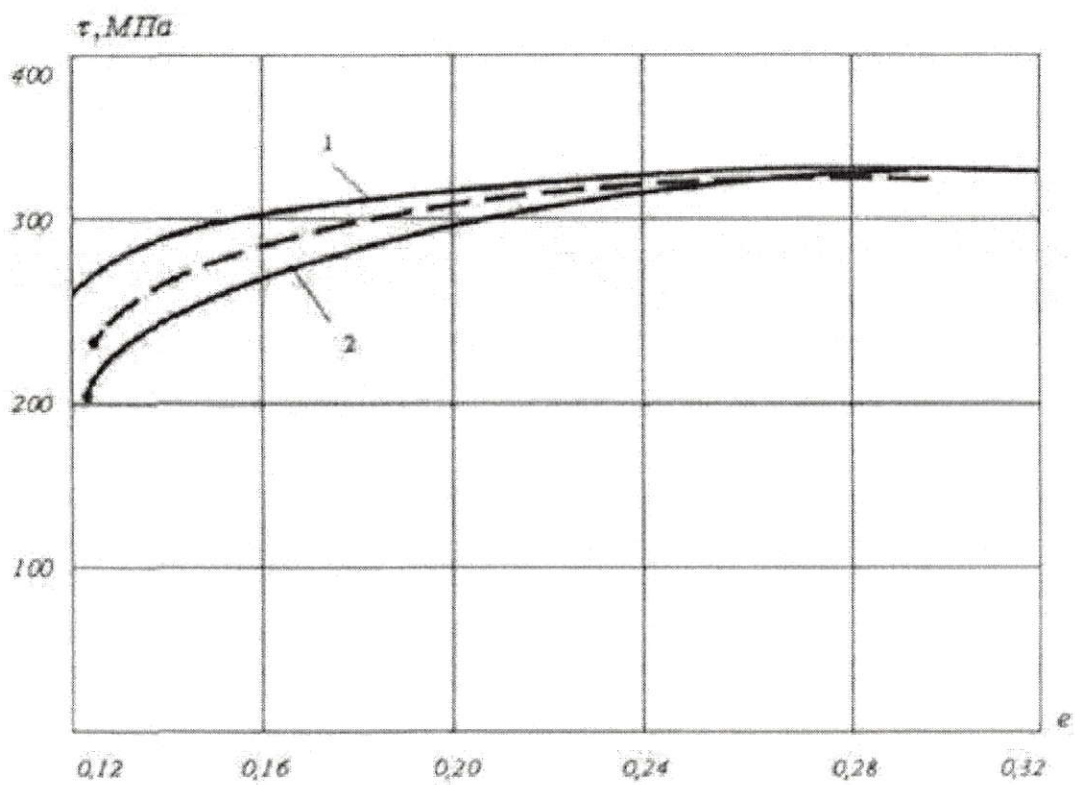


Рисунок 3.10 - Діаграма зсуву. Сталь 20; $\varepsilon_0 = 0.126$

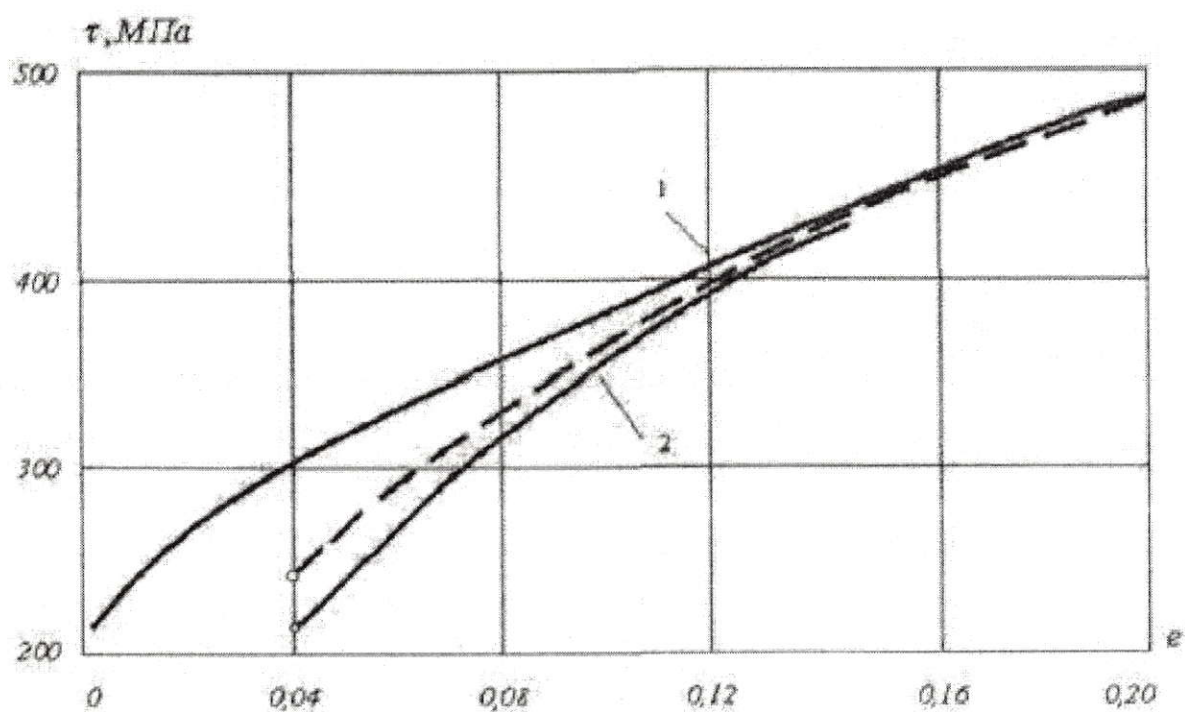


Рисунок 3.11 - Діаграма зсуву. Сталь 1X18H9T; $\epsilon_0 = 0.040$

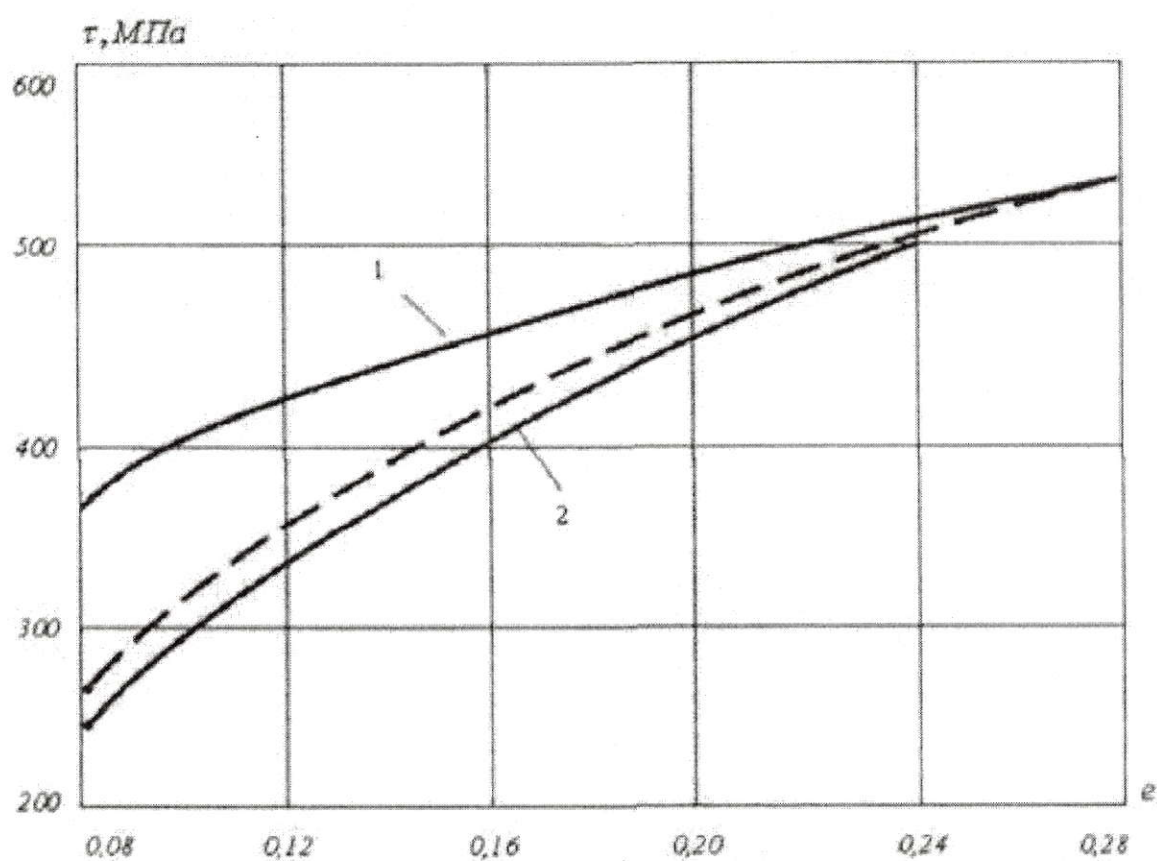


Рисунок 3.12 - Діаграма зсуву. Сталь 1X18H9T; $\epsilon_0 = 0.084$

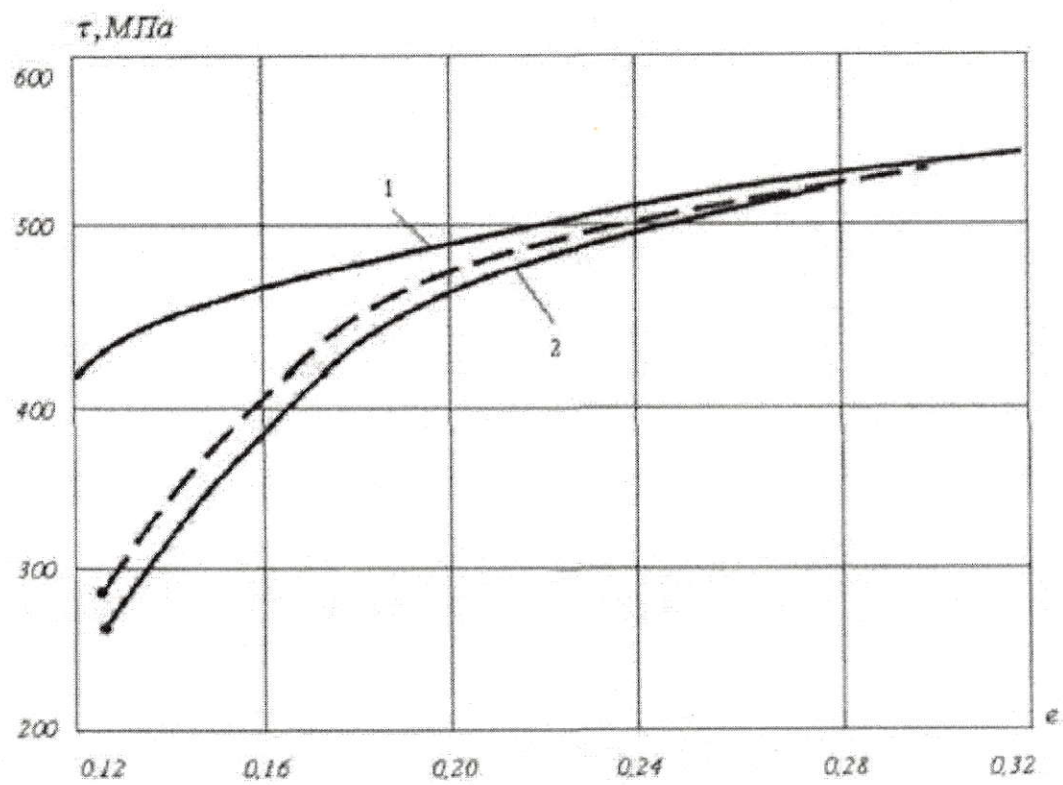


Рисунок 3.13 - Діаграма зсуву. Сталь 1X18H9T; $\epsilon_0 = 0.126$

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз умов праці

Приміщення в якому виконується технологічний процес розробки конструкції штамп для реалізації процесу осадки довгомірної циліндричної заготовки може мати шкідливі фізичні небезпечні виробничі чинники, а саме:

- підвищена та понижена температура повітря робочої зони;
- підвищена температура поверхонь обладнання;
- підвищена швидкість руху повітря;
- понижена вологість повітря,
- підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може пройти крізь тіло людини;
- підвищений рівень вібрації;
- нестача природного освітлення;
- недостатня освітленість робочої зони.

До небезпечних виробничих факторів відносяться: небезпека ураження людини електричним струмом напругою 220/380 В; використання несправного інструменту; опіки від розігрітих частин обладнання.

Психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (динамічні);
- нервово-психічні перевантаження (монотонність праці, перенапруга аналізаторів).

4.2 Виробнича санітарія

Показниками, що характеризують мікроклімат є: температура повітря, відносна вологість, швидкість руху повітря, інтенсивність теплового випромінювання. Оптимальні показники мікроклімату поширюються на всю робочу зону, допустимі показники встановлюються диференційовано, у нашому випадку для постійного робочого місця.

Роботи, що виконуються відносяться до категорії робіт IIa – середньої важкості. Вони пов'язані з розбиранням і збиранням вузлів і агрегатів, процесами механічної обробки деталей. Ці роботи пов'язані з середнім фізичним навантаженням.

Оптимальні і допустимі норми цих параметрів в залежності від категорії робіт, періоду року визначає [16]. Допустимі параметри мікроклімату приведені в таблиці 1

Таблиця 4.1 - Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні виробничого приміщення

Період року	Категорія робіт по важкості	Температура °С	Відносна вологість %	Швидкість повітря м/с
		Допустима	Допустима	Допустима
Холодний	Середня II a	17-23	75	<0,3
Теплий	Середня II a	18-27	65 при 26°	0,2-0,4

Інтенсивність теплового випромінювання на працюючих визначається нагрітими поверхнями технологічного обладнання, освітлювальними пристроями. Інсоляції на постійних і непостійних робочих місцях не повинні перевищувати 36 Вт/м² при опроміненні більше 25% поверхні тіла.

Забезпечення метеорологічних умов праці в приміщенні здійснюється за допомогою системи припливно-витяжної вентиляції та регулярного провітрювання.

Шкідливі речовини, які виділяються на дільниці показані в табл. 2. Це в основному речовини, які містяться в відпрацьованих газах.

Таблиця 4.2 - Шкідливі речовини та їх ГДК

Назва речовини	Величина ГДК, мг/м ³	Агрегатний стан	Клас небезпеки	Особливість дії на організм
Акролеїн	0.2	П	II	
Азоту окис (NO ₂)	5	П	III	0
Бенз(а)пирен	0.0001	П	I	К
Окис вуглецю (CO)	20	П	IV	0
Свинець та його сполуки	0.01/0.005	A	I	
Тетраетилсвинець	0.005	П	I	0

Для захисту від шкідливих речовин, які знаходяться в повітрі робочої зони діагностування застосовують такі заходи:

- 1) обладнання приміщення дільниці загально-обмінною припливно-витяжною механічною вентиляцією;
- 2) обладнання постів діагностування автомобілів місцевими відсмоктувачами відпрацьованих газів;
- 3) спеціальна підготовка та інструктаж обслуговуючого персоналу;
- 4) своєчасний якісний ремонт вентиляційного обладнання;
- 5) регулярне прибирання приміщення;
- 6) застосування засобів індивідуального захисту працюючих (спецодяг, захисні окуляри, тощо);
- 7) попереджувальні та періодичні медичні огляди, профілактичне харчування і дотримання правил особистої гігієни.

Система опалення забезпечує рівномірне нагрівання повітря в зоні, можливість місцевого регулювання і вимикання, зручність в експлуатації, а

також доступ при ремонті.

Викиди в атмосферу із системи вентиляції розташовані на відстані від приймальних пристроїв для зовнішнього повітря більше 10 м. по горизонталі, викиди із системи місцевого відсмоктувача розташоване на висоті більше 2 м. над найвищою точкою покрівлі.

Приміщення повинні мати природне і штучне освітлення.

Природне освітлення має здійснюватись через світлопройми, орієнтовані переважно на північ і північний схід, і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості не нижче 1,2% у зонах зі стійким сніжним покривом і не нижче 1,5% на іншій території.

Згідно з [17] розряд зорової роботи IV а. Освітленість при системі одного загального освітлення 300 лк. Характеристика зорової роботи середньої точності. Найменший розмір розрізнення 1 мм.

На ділянці спроектоване устаткування для освітлення з урахуванням класифікації пожежовибухонебезпечних технологічних одиниць і устаткувань. Значення якісних та кількісних показників освітлення передбачені вимогами і наведені в таблиці 3.

Таблиця 4.3 - Параметри штучного та природного освітлення

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Характеристика фону	Штучне освітлення	Природне освітлення
					Освітленість, лк	КПО %
Малі точності	1	IV	а	малий	300	1,5

Нормоване значення КПО для суміщеного освітлення даного виробничого приміщення розраховуємо за формулою:

$$e_N = e_n \cdot m_N,$$

де m_N - коефіцієнт світлового клімату, $m_N = 0,9$ при орієнтації вікон на північ.

Природне освітлення $e_N = 1,5 \cdot 0,9 = 1,4\%$.

У виробничих приміщеннях, особливо в зимовий період, коли світловий день досить короткий, природнього освітлення недостатньо, тому використовуємо штучне освітлення (таблиця 5).

Таблиця 4.5 - Вибір освітлювального пристрою

Тип світильника	Кососвітло емальоване
Світло розподілення	Несиметричне
Потужність лампи, Вт	До 200
ККД	0,6
Найменша висота підвіски	Будь-яка
Рекомендації по використанню світильників	Для освітлення вертикальних поверхонь пультів управління та інших приладів

Дія шуму на людину може викликати зміни, функціональні розлади і механічні пошкодження. На ділянці роботи шум по характеру спектра - широкосмуговий, з безперервним спектром шириною більше октави. За часовою характеристикою шум відноситься до категорії постійного.

Основним джерелом шуму у приміщеннях є верстати, вентиляційна система, трансформатори, випрямлячі та інше обладнання.

Характеристикою такого шуму на робочих місцях є рівні звукового тиску (дБ) в октавних смугах з середньо - геометричними частотами 31,5: 63: 125: 250: 500: 1000; 2000: 4000 та 8000 Гц. Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приймаються за вимогами [18] і наведені в таблиці 6.

Таблиця 4.6 - Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях

Робоче місце	Рівень звукового тиску в дБ в октавних смугах з середньо-геометричними частотами								
	31,5	63	125	250	500	1000;	2000	4000	8000
Виробниче	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Рівень звукового тиску на робочих місцях постійний, але при необхідності виконання деяких непостійних робіт (вибухові та ремонтні), рівень звуку може змінюватись.

Для зменшення рівня шуму до допустимого застосовують малошумні установки, оснащення машин і установок засобами дистанційного керування і тиску в даному виробничому приміщенні при постійному шумі (дБА).

При надмірних шумах встановлено звукоізоляцію, кожухи, відбиваючі екрани, заглушки та інші пристрої. Шумові машини закриваються звукоізованими кожухами, які виготовлені з металу та облицьовані з середини звукопоглинаючими матеріалами, де неможливо ізолювати джерела шуму проводять акустичну обробку

Вібрацією називають будь-які механічні коливання пружних тіл, які проявляються в їх переміщенні в просторі. Коливання частотою нижче 16 (Гц) сприймаються органами як вібрації.

Джерелами вібрацій є інструмент, що працює, електродвигуни, вентилятори. Джерелом збудження вібрацій є зворотньо-поступальний рух системи, невірноваженої маси.

Захист від вібрації повинен задовольняти вимогам [19]. Основними гігієнічними характеристиками вібрації, які визначають вплив на людину, є середньоквадратичні значення віброшвидкості чи її логарифми. Систематична дія вібрації призводить до різних порушень здоров'я людини,

стає причиною вібраційної хвороби. Загальна вібрація діє на нервову, серцево-судинну систему, порушується обмін речовин; виникає головний біль, порушується сон, знижується продуктивність праці.

З метою виключення можливості виникнення віброхвороби обмежують параметри вібрації робочих місць і поверхні контакту працюючих

Допустимі значення нормованих вібрацій на постійних робочих місцях в даному виробничому приміщенні приведені в таблиці 7.

Таблиця 4.7 - Допустимі рівні вібрації на робочих місцях.

Види вібрацій	Октавні смуга з середньо-геометричними частотами, Гц				
	2	4	8	16	31,5
На постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	1,3/108	0,45/99	0,22/93	0,2/92	0,2/92

Заходи боротьби: динамічне гасіння коливань і зміна конструктивних елементів установки.

Боротьба з вібрацією досягається вибором таких кінематичних і технологічних схем, при яких динамічні процеси, які викликані поштовхами, різкими прискореннями, будуть виключені чи гранично знижені. Динамічне гасіння вібрації відбувається частіше всього шляхом розміщення установок на фундаменті, масу яких визначають з розрахунку, щоб амплітуда коливань не перевищувала 0,1-0,2 (мм).

4.3 Техніка безпеки

Робочі місця не слід розміщувати поблизу силових кабелів і вводів, високовольтних трансформаторів, технологічного обладнання, що створює перешкоди у роботі.

Оскільки повинно подаватися стабілізоване електроживлення (з відхиленням від 220 В не більше -10 % +15 %), подачу електроенергії в комп'ютерні приміщення слід здійснювати від окремого незалежного джерела живлення.

Згідно з вимогами ПУЕ корпуси розподільчих (вступних) щитів в будівлях, спорудах, квартирах повинні бути занулені і заземлені; на вводі в будинок повинна виконуватися система зрівнювання потенціалів.

Правила поведінки на робочому місці:

Робітник повинен знати:

- особливо пожежонебезпечні ділянки, а також спеціальні місця для паління. Курити на території строго ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ;

- місця розташування пожежної сигналізації та правила користування нею (телефон, ел. оповіщувачі, сигналізація тощо);

- місце, де знаходяться первинні засоби пожежегасіння (внутрішні крани, шухляди з піском і лопатами, вогнегасники, азбестова полотнона тощо);

- правила користування засобами пожежегасіння й інвентарем у кожному конкретному випадку (загоряння олії, гасу, дерева, папера, електропроводки тощо).

Особи, які відповідають за пожежну безпеку, повинні:

- здійснювати постійне спостереження за виконанням протипожежного режиму в цеху чи на території об'єкту;

- знати властивості матеріалів і сировини, що застосовується, ступінь небезпеки і вибухонебезпечності ділянок виробництва;

- знати засоби пожежегасіння та місцезнаходження вогнегасних засобів.

При прийманні чи здаванні зміни перевіряти наявність і справність первинних засобів пожежегасіння, а у випадку виявлення несправності чи їх відсутності, сповіщати про це відповідальній особі за пожежну безпеку.

Забезпечувати виконання попереджувальних протипожежних заходів, вчасно повідомляти про пожежу й організовувати до прибуття пожежної команди гасіння пожежі силами особового складу добровільних пожежних дружин і інших робітників.

4.4 Пожежна безпека

Приміщення механічної ділянки відносять до категорії Д – негорючі речовини у холодному стані. Будівля характеризується III ступенем вогнестійкості згідно [20]. До III ступеню вогнестійкості відносяться будівлі з штучними та захисними конструкціями з природних та штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриття допускається застосування дерев'яних інструкцій, захищених штукатуркою або важкогорючими листовими, а також нитковими матеріалами. При цьому елементи укриття з деревини піддаються вогнезахисній обробці. Межі вогнестійкості занесені у таблицю 8. У чисельнику вказуються межі вогнестійкості будівельних конструкцій; у знаменнику - межі розповсюдження полум'я по них.

Біля входу на станцію необхідно встановити 1 порошковий вогнегасник ВП-5. На території підприємства розташовано 3 пожежних щита, до комплексу засобів пожежегасіння, які розміщені на ньому, включені: вогнегасники ВП-5 – 3 шт., ящик з піском – 1 шт., покривало з негорючого теплоізоляційного матеріалу або повсті розміром 2м x 2м – 1 шт., гаки – 3 шт., лопати – 2 шт., ломи – 2 шт., сокири – 2 шт. Ящик для піску має місткість 1,0 м³ та бути укомплектований совковою лопатою. Конструкція ящика повинна забезпечувати зручність діставання піску та виключати попадання опадів.

Таблиця 4.8 - Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій і максимальні межі розповсюдження полум'я по них згідно [21].

Ступінь вогнестійкості будівлі	Стіни				Колони	Сходові площадки, балки, косоури, марші сходових кліток	Плити, настили (з утеплювачем), несучі конструкції перекрить	Елементи перекрить	
	Несучі	Самонесучі	Зовнішні несучі	Внутрішні несучі (перегородки)				Плити, настили, прогони	Балки, ферми, арки, рами
III	1/0	0,5/0	0,2/40	0,2/40	0,25/0	1/0	0,25/0	0,25/25	0,25/0

ВИСНОВКИ

В інструментальній промисловості при реалізації термомеханічної обробки інтенсивно використовується процес осадки з крученням плоских циліндричних заготовок з метою отримання субдрібнозернистої структури, що забезпечує високий ступінь підвищення стійкості дискових фрез. Для підвищення ефективності зазначеного процесу поряд зі штамповим оснащенням необхідно мати відповідне пресове обладнання. Однак існуючі в єдиному екземплярі конструкції преса для комбінованої обробки засновані на використанні кривошипних механізмів, які не дозволяють розвивати великі деформуючі навантаження, а також не забезпечують простоту конструкції пресу. У зв'язку з цим виникає нагальна потреба в розробці нових конструкцій преса для осадки з крученням, позбавлених зазначених недоліків.

Запропоновано конструкцію штампу з цанговим механізмом для пластичної осадки довгомірних циліндричних заготовок, що дозволяє осаджувати останні на 40-50% за одну установку, що необхідно для підвищення ефективності пластичної обробки вказаних заготовок.

На основі моделі ізотропного зміцнення в умовах монотонного навантаження досліджено напружено-деформований стан при осадці з крученням циліндричних заготовок з урахуванням зміцнювання матеріалу.

Розглянуто два випадки дії поперечного навантаження: розподілене навантаження постійної інтенсивності q ; зосереджена сила Q , прикладені до заготовки довжиною l_0 . Встановлено, що сили Q та інтенсивність q монотонно зростають з збільшенням відносної деформації осадки ε і залежать від механічних характеристики матеріалу. Зі зростанням деформації зсуву зазначені силові характеристики зменшуються і у зв'язку з цим підвищується стійкість процесу осадки заготовки.

Список використаних джерел

1. Andriy Milenin, Tsuyoshi Furushima, Peihua Du, Valeriy Pidvysots'kyi. Improving the workability of materials during the dieless drawing processes by multi-pass incremental deformation. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, (2020), 20 (3). <https://doi.org/10.1007/s43452-020-00092-4>.
2. Sarath Chandran, Patricia Verleysen. Non-monotonic plasticity and fracture in DP1000: Stress-state, strain-rate and temperature influence. *International Journal of Mechanical Sciences*, Volume 267, 2024, 109011. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2024.109011>.
3. Aliev I. S., Sivak R. I., Markov O. E., Levchenko V. N. The evaluation of workpiece deformability for the process of two-stage extrusion of hollow hull / *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2023. 129(3-4). PP. 1345–1353. DOI:[10.1007/s00170-023-12353-6](https://doi.org/10.1007/s00170-023-12353-6).
4. Beygelzimer, Y., Filippov, A., Estrin, Y. 'Turbulent' shear flow of solids under high-pressure torsion. *Philosophical Magazine*, 2023, 103(11), pp. 1017–1028. DOI:[10.1080/14786435.2023.2180681](https://doi.org/10.1080/14786435.2023.2180681).
5. Mykhalevych, V., Dobraniuk, Y., Matviichuk, V., Smailova, S., Kozbakova, A. A comparative study of various models of equivalent plastic strain to fracture. *Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Srodowiska*, 2023, 13(1), pp. 64–70. <https://doi.org/10.35784/iapgos.3496>.
6. Kukhar, V., Hrushko, O., Markov, O., Anishchenko, O., Prysiashnyi, A. Bypass Bends Deformability of CuZn5 Brass, X10CrNiTi18-9 and C22 Steel at Forming by Euler-Mode Buckling. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2023, 510, pp. 1533–1542. DOI:[10.1007/978-3-031-11051-1_158](https://doi.org/10.1007/978-3-031-11051-1_158).
7. Brünig M, Koirala S, Gerke S. A stress-state-dependent damage criterion for metals with plastic anisotropy. *International Journal of Damage Mechanics*. 2023; 32(6): 811-832. doi:[10.1177/10567895231160810](https://doi.org/10.1177/10567895231160810).

8. Runpei Yu, Xue Li, Zengshen Yue, Anxiang Li, Zhenyu Zhao, Xin Wang, Hongyuan Zhou, Tian Jian Lu. Stress state sensitivity for plastic flow and ductile fracture of L907A low-alloy marine steel: From tension to shear. *Materials Science and Engineering: A*, Volume 835, 2022, 142689, <https://doi.org/10.1016/j.msea.2022.142689>.
9. Jialei Dai, Jun Yuan, Zixuan Yang, Chaoqun Zhang, Hao Zhang, Shuqin Yu. Deformation and fracture behavior in TRIP steels under static and dynamic tensile conditions, *Journal of Materials Research and Technology*. Volume 18, 2022, Pages 3798-3807. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.04.050>.
10. Knut Andreas Meyer, Andreas Menzel. A distortional hardening model for finite plasticity. *International Journal of Solids and Structures*, Volume 232, 2021, 111055. <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2021.111055>.
11. M. S. Wi, S. Y. Lee, J. H. Kim, J. M. Kim, F. Barlat. Experimental and theoretical plasticity analyses of steel materials deformed under a nonlinear strain path. *International Journal of Mechanical Sciences*, Volume 182, 2020, 105770. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2020.105770>.
12. Natalia Hrudkina, Oleg E. Markov, Aleksandr Shapoval, V. A. Titov, Igramotdin Aliiev, Payman Abhari, Khrystyna Malii. Mathematical and Computer Simulation for the Appearance of Dimple Defect by Cold Combined Extrusion. *FME Transactions*, 2022, 50(1), pp. 90–98. DOI:[10.5937/fme2201090H](https://doi.org/10.5937/fme2201090H).
13. Allieva, L., Hrudkina, N., Aliiev, I., Zhbankov, I., Markov, O. Effect of the tool geometry on the force mode of the combined radial-direct extrusion with compression. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2020, 2(1-104), pp. 15–22. DOI:[10.15587/1729-4061.2020.198433](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.198433).
14. Longfei Lin, Wenfei Peng, Viacheslav Titov, Moliar Oleksandr, Xiaocheng Wu, He Li. Interface phenomena and bonding mechanism in the new method of cross wedge rolling bimetallic shaft. *Journal of Materials Research and Technology*, Volume 24, 2023, Pages 1132-1149. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.03.049>.

15. Wang Dou, Zejian Xu, Yang Han, Fenglei Huang. A ductile fracture model incorporating stress state effect. *International Journal of Mechanical Sciences*, Volume 241, 2023, 107965. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2022.107965>.

16. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/>

17. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

18. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumuultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4>

19. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

20. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759

21. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ГМ

д. т. н., професор Леонід ПОЛІЩУК,



(підпис)

«29» 05 2024

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на розробку конструкції штампу для реалізації процесу осадки довгомірної
циліндричної заготовки

Розробив студент

Спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

Дмитро ГЕРЕЦЬ

«29» 05 2024

Керівник: д. т. н., доцент

Роман СИВАК



1 Найменування і область застосування

Найменування – циліндрична деталь з покращеними експлуатаційними характеристиками шляхом створення сприятливої схеми напруженого стану при осадці довгомірної заготовки.

2 Підстава для виконання роботи

Підставою для розробки даної дипломної роботи є індивідуальне завдання на бакалаврську кваліфікаційну роботу та наказ ректора по ВНТУ про закріплення тем.

3 Мета і призначення дослідження

Мета: розробка конструкції штампової оснастки для реалізації нетрадиційних процесів пластичної обробки циліндричних заготовок для покращення експлуатаційних властивостей елементів конструкцій.

Призначення розробки – застосування нетрадиційної технології отримання заготовок шляхом деформування для покращення експлуатаційних характеристик деталей машин та елементів конструкцій.

4 Джерела розробки

Список використаних джерел розробки:

4.1 Aliiev, I. S., Sivak, R. I., Markov, O. E., Levchenko, V. N. The evaluation of workpiece deformability for the process of two-stage extrusion of hollow hull / *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2023, 129(3-4), pp. 1345–1353.

4.2 Hrudkina, N. S., Markov, O. E., Shapoval, A. A., Abhari, P., Malii, K. V. Mathematical and Computer Simulation for the Appearance of Dimple Defect by Cold Combined Extrusion / *FME Transactions*, 2022, 50(1), pp. 90–98.

4.3 Aliieva, L. I., Markov, O. E., Aliiev, I. S., Levchenko, V. N., Malii, K. V. Analysis of Power Parameters of Combined Three-Direction Deformation of Parts with Flange / *FME Transactions*, 2021, 49(2), pp. 344–355.

4.4 Hrudkina, N., Aliiev, I., Markov, O., Sukhovirska, L., Tahan, L. Designing a kinematic module with rounding to model the processes of combined radial-longitudinal extrusion involving a tool whose configuration is complex / *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2021, 2(1-110), pp. 81–89.

4.5 Markov, O. E., Aliiev, I. S., Aliieva, L. I., Hrudkina, N. S. Computerized and physical modeling of upsetting operation by combined dies / *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 2020, 55(3), pp. 640–648.

5 Вихідні дані для розробки:

1	Внутрішній радіус конічної частини цанги, мм	25
2	Зовнішній радіус конічної частини цанги, мм	35
3	Довжина ділянки конічної частини цанги, мм	25
4	Матеріал	Сталь 40Х
5	Модуль Юнга, МПа	$2 \cdot 10^5$
6	Осьові моменти інерції цанги, мм ⁴	$2 \cdot 10^6$
7	Жорсткість цанги, Н/мм	$1,9 \cdot 10^3$

5.1 Технічні вимоги

- гідравлічний прес зусиллям - 2000 кН
- температура відпалу сплаву АД31 – 350-430⁰С
- витримка відпалу сплаву АД31 – 1 год
- твердість інструменту – 56-60HRC
- шорсткість робочої поверхні інструменту – Ra=0.4

5.2 Вимоги до надійності:

довговічність – не менше 10 тис. год; безвідмовність – напрацювання на відмову – 1 тис. год; збереженість – повинна забезпечуватися працездатність деталі в режимі очікування, роботи, консервації; ремонтпридатність – деталь повинна відповідати вимогам експлуатації.

5.3 Вимоги до технологічності розробки, виробництва і експлуатації – повинна гарантувати надійну і безпечну роботу обладнання, витримувати

інтенсивні динамічні навантаження.

5.4 Вимоги до рівня уніфікації і стандартизації, вимоги до використання стандартних, уніфікованих і запозичених складальних одиниць і деталей при розробці, показники рівня уніфікації – по можливості під час розробки конструкції штампу для реалізації процесу осадки довгомірної циліндричної заготовки використовувати уніфіковані деталі, стандартні вироби та загальнодоступні матеріали і речовини.

5.5 Вимоги безпеки життєдіяльності – забезпечується безпека під час монтажу і ремонту. Допустимі рівні вібраційних і шумових навантажень, допустимі випаровування робочої рідини у відповідності з санітарними нормами. Повинні бути розроблені заходи, що забезпечують технічну безпеку під час монтажу, експлуатації і ремонту пристрою.

5.6 Конструкція повинна відповідати естетичним і ергономічним вимогам, повинна бути зручною в обслуговуванні та управлінні.

5.7 Матеріали, що використовуються для деталей слід вибирати відповідно до рекомендацій.

5.8 Умови експлуатації, вимоги до технічного обслуговування і ремонту:

- умови експлуатації, при яких повинно забезпечуватися використання продукції з заданими технічними показниками – продукція призначена для використання у середньоширотних кліматичних умовах;

- час підготовки продукції до використання після транспортування і зберігання – 10 год;

- вид обслуговування - періодичний;

- періодичність і орієнтовна трудомісткість технічного обслуговування і ремонту – 2 дні (один раз в три місяці);

5.9 Вимоги по транспортуванню і збереженню

- можливість транспортування на будь-якому виді транспортних засобів

- захист від ударів під час завантаження і розвантаження

- зберігання на складі готової продукції

- зберігання у законсервованому вигляді
- складування на стелажах.

6 Економічні показники:

- орієнтований термін окупності витрат на розробку – 1,3 роки,
- освоєння виробництва продукції – 1 місяць,
- економічна перевага розробленої продукції у порівнянні з кращими зразками – прогнозований прибуток 2 480 500 грн. за три роки.

7 Виконавці НДР: студент спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» Дмитро ГЕРЕЦЬ

8 Етапи НДР і терміни їх виконання:

- теоретичне дослідження проблематики теми БКР;
- патентно-інформаційний огляд по темі БКР
- розробка штампів для радіального видавлювання з односторонньою подачею;
- охорона праці;
- висновки.
- оформлення текстових документацій та ілюстративних матеріалів для захисту БКР.

9 Порядок контролю і прийомки

- попередній захист проекту
- захист проекту перед БКР

ДОДАТОК Б
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ШТАМПУ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ
ОСАДКИ ДОВГОМІРНОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ЗАГОТОВКИ

ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ ВАЛІВ

Формула для оцінки умовної границі текучості на зсув при крученні розтягнутих (стиснутих) заготовок

$$\tau_{0,3} = \frac{\sigma_0(e)}{\sqrt{3}} \left\{ 1 - \frac{[1 - \beta(e)]\sqrt{\beta(e)}}{1 + \beta(e)} \right\} \quad (1)$$

Формул для розрахунку границі текучості при закручуванні заготовок суцільного перерізу

$$\tau_{0,3} = \frac{1 + \beta(e)}{2\sqrt{3}} \sigma_0(e) \quad (2)$$

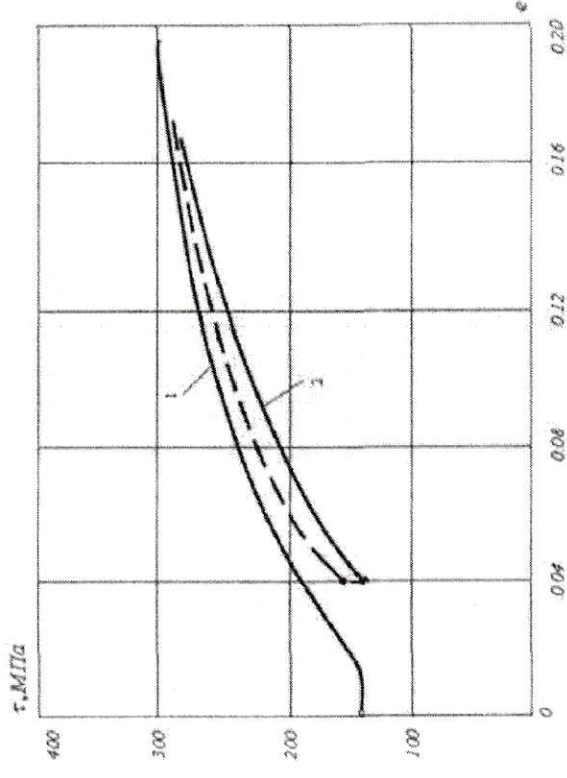


Рисунок 1 - Діаграма зсуву. Сталь 20; $\varepsilon_0 = 0.040$

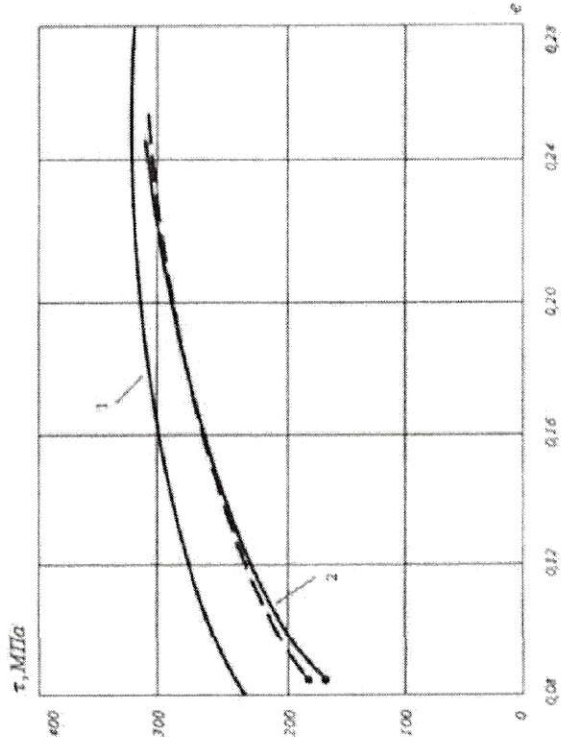


Рисунок 2 - Діаграма зсуву. Сталь 20; $\varepsilon_0 = 0.084$

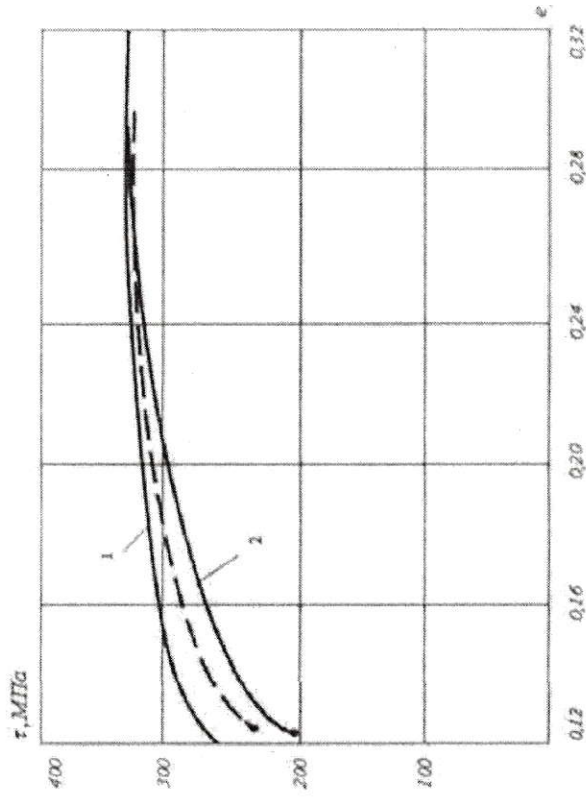


Рисунок 3 - Діаграма зсуву. Сталь 20; $\epsilon_0 = 0.126$

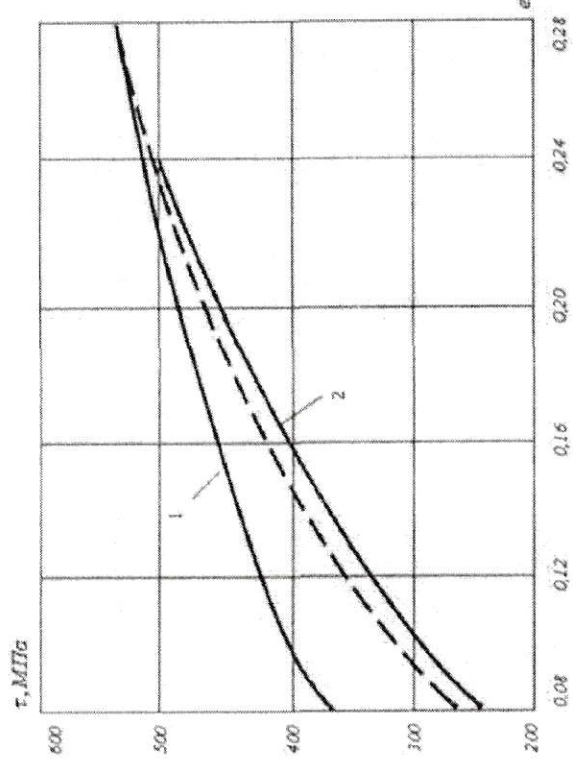


Рисунок 5 - Діаграма зсуву. Сталь 1X18N9T; $\epsilon_0 = 0.084$

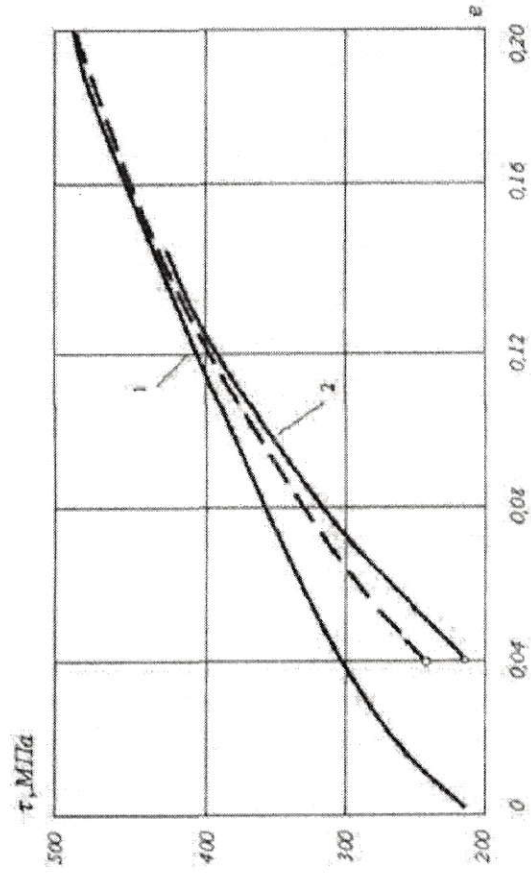


Рисунок 4 - Діаграма зсуву. Сталь 1X18N9T; $\epsilon_0 = 0.040$

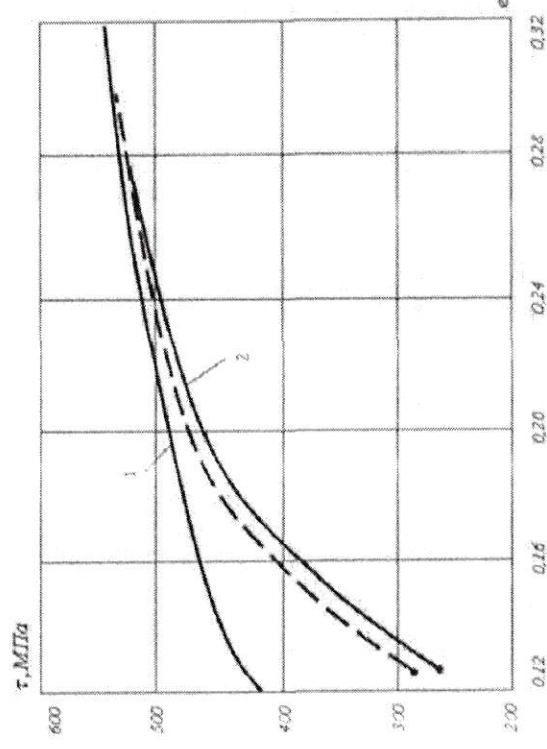


Рисунок 6 - Діаграма зсуву. Сталь 1X18N9T; $\epsilon_0 = 0.126$

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПРИ ОСАДЦІ (РОЗТЯГУ) З КРУЧЕННЯМ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗАГОТОВОК

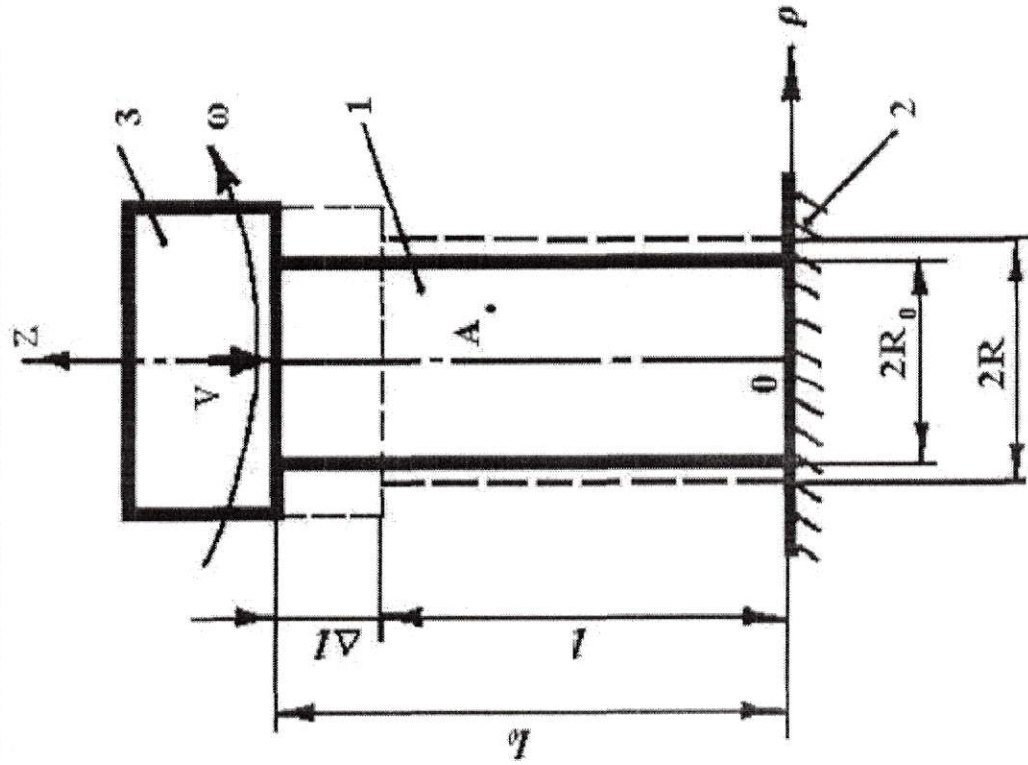


Рисунок 7 – Схема навантаження заготовки

Функція для оцінки впливу деформації зсуву на величину зусилля осадки

$$\alpha = \frac{P}{P'} = \frac{2}{\sigma_0(\bar{e})R^2} \int_0^R \sigma_0(e) \rho \cdot \Delta^{-1} d\rho \quad (3)$$

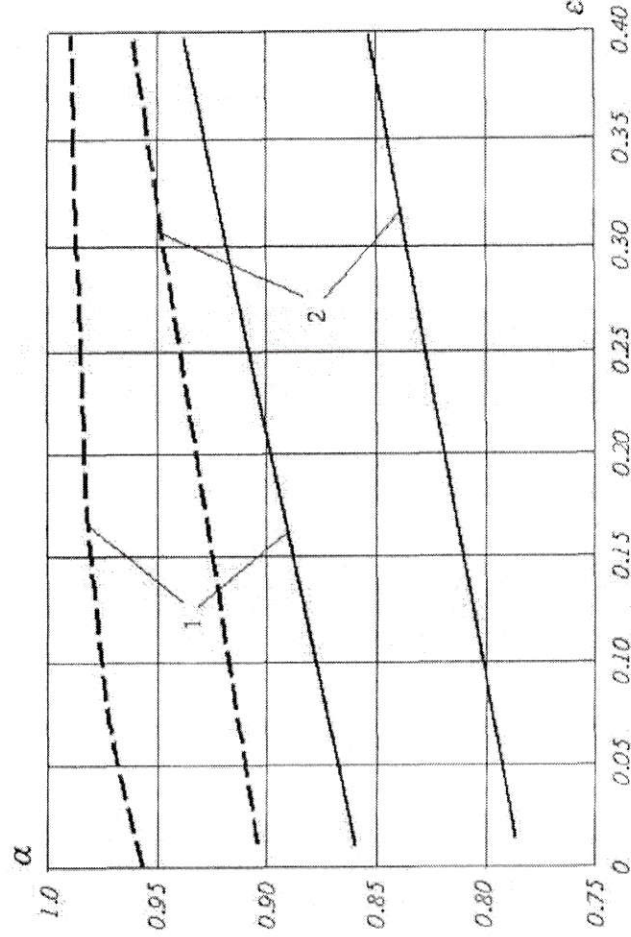


Рисунок 8 – Зміна функції α

СТІЙКІСТЬ ДОВГОМІРНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗАГОТОВК ПРИ ОСАДЦІ З КРУЧЕННЯМ

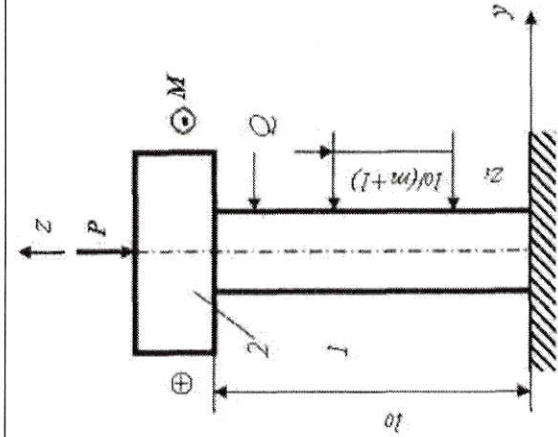


Рисунок 9 – Схема до визначення Q

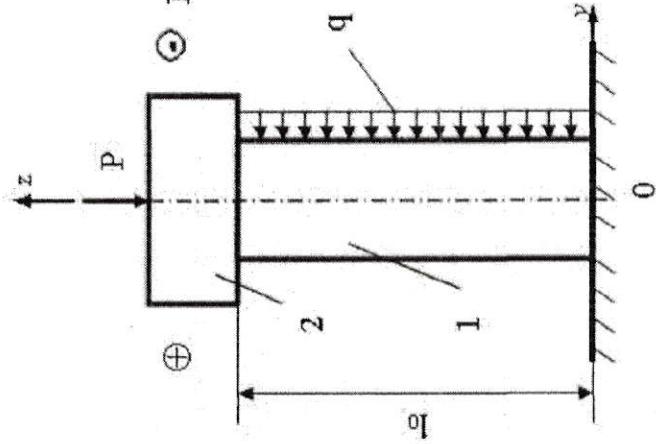


Рисунок 10 – Схема до визначення q

Поперечна зосереджена сила

$$\overline{Q} = \frac{\pi R_0^2 l_0 A^2 (e_0 + e)^n}{6 k_m E} \int_0^{\varepsilon'} (e_0 + e)^n \left[6 + c^2 (2 - 5\varepsilon) \right] \frac{d\varepsilon}{\tilde{\Delta}_1 (1 - \varepsilon)^3} \tag{4}$$

Поперечне розподілене навантаження

$$\overline{q} = \frac{\pi R_0^2 A^2 (e_0 + \tilde{e})^n}{3 E} \int_0^{\varepsilon'} (e_0 + \tilde{e})^n \left[6 + c^2 (2 - 5\varepsilon) \right] \frac{d\varepsilon}{\tilde{\Delta}_1 (1 - \varepsilon)^2} \tag{5}$$

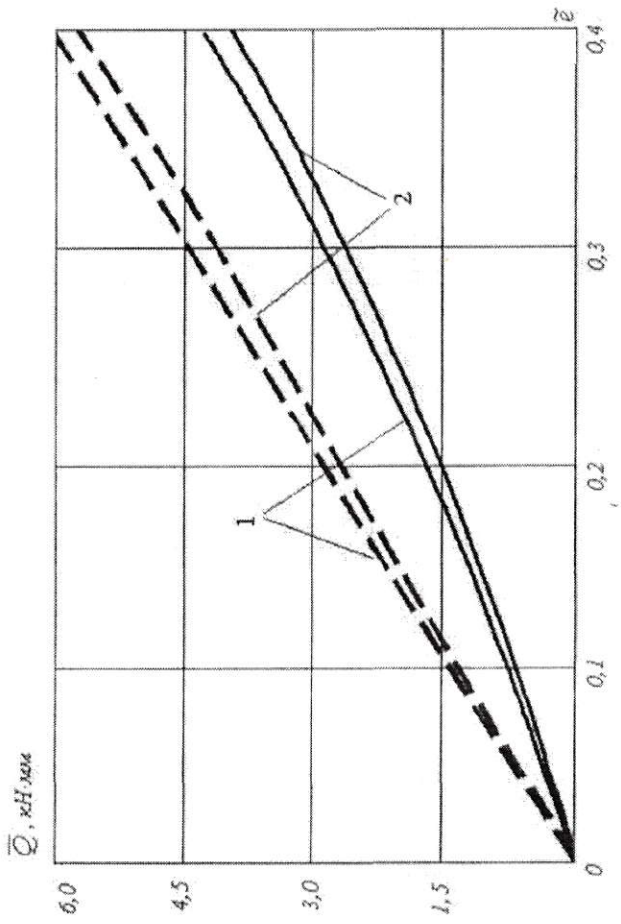
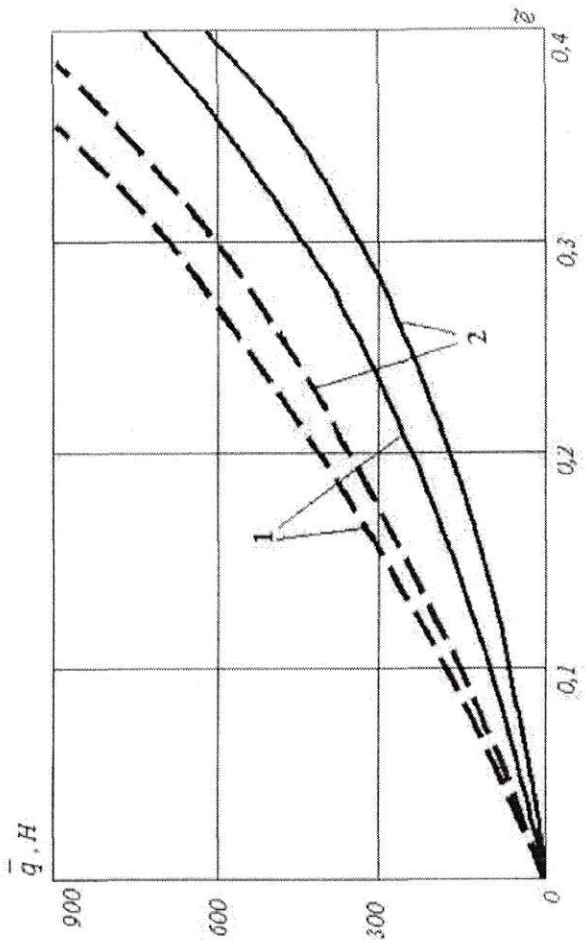


Рисунок 11 – Графік зміни $\bar{Q}$



1 – $c=0$; 2 – $c=4$

Рисунок 12 – Графік зміни $\bar{q}$

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ТА ПРЕСОВОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЛАСТИЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВОК

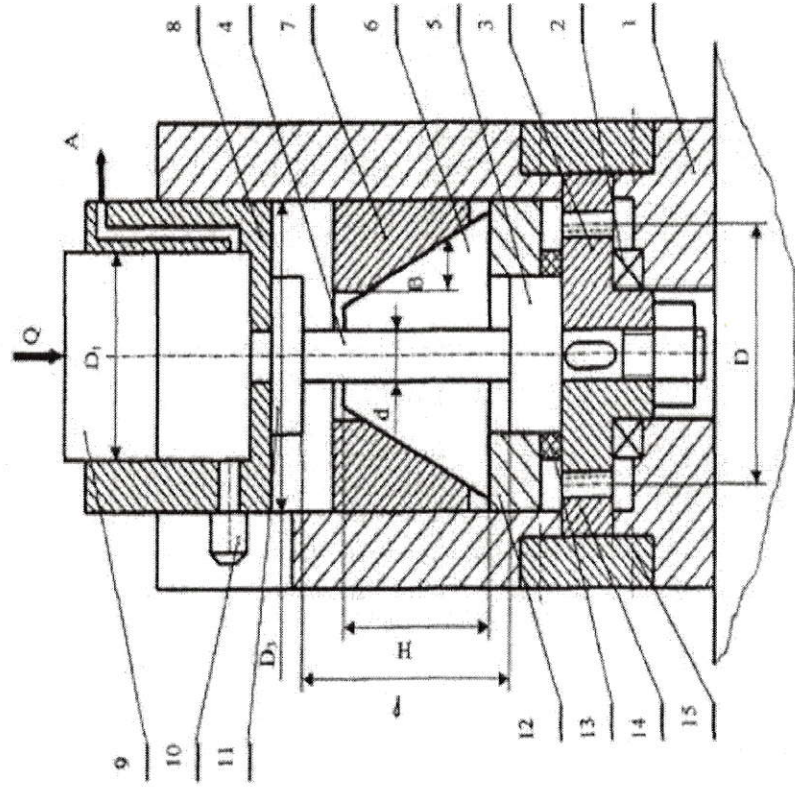


Рисунок 13 – Штамп для осадки з крученням довгомірних
циліндричних заготовок на основі гідроприводу

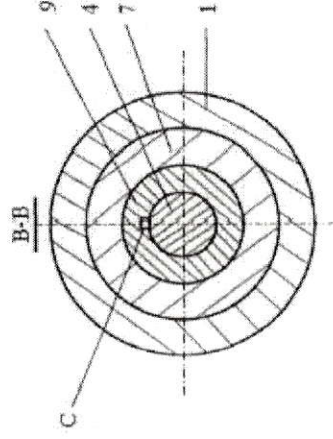
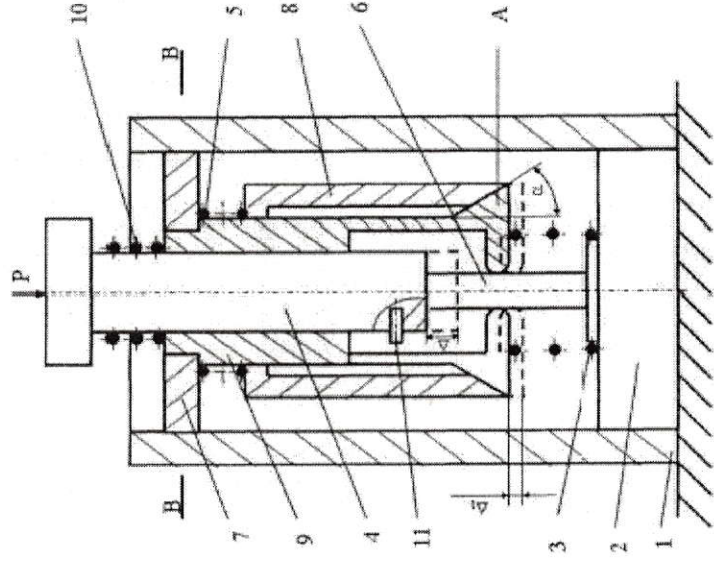


Рисунок 14 – Штамп для осадки довгомірної циліндричної
заготовки з використанням цанги

Висновки

1. Виконана теоретична оцінка збільшення міцності деталей немонотонним пластичним деформуванням для валів розтягом чи стиском заготовок.
2. Визначено напружено-деформований стан заготовок при осадці з крученням. При цьому встановлено, що зі збільшенням деформації зсуву сила осадки заготовки зменшується, а зі збільшенням зміцнюваності матеріалу відбувається підвищення сили стискування.
3. Досліджено стійкість довгомірних заготовок при їх стисканні з крученням з урахуванням впливу поперечних навантажень, що перешкоджають їх викривленню.
4. У розроблених конструкціях штампів з використанням цангових механізмів та гідроприводу застосовні співвідношення для розрахунку основних геометричних параметрів штампів, що залежать від ступеня деформації та властивостей матеріалу заготовки.

ДОДАТОК В
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА
НАЯВНІСТЬ ТЕХСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ШТАМПУ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ
ОСАДКИ ДОВГОМІРНОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ЗАГОТОВКИ

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Розробка конструкції штампу для реалізації процесу осадки довгомірної циліндричної заготовки»

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ: Кафедра «Галузевого машинобудування», ФМТ.
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 99,6% Схожість 0,4%

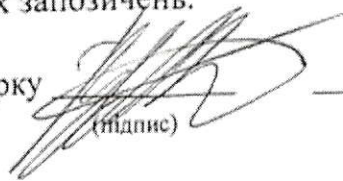
Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

✓ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

3. Виявлені у роботі запозичення с недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку

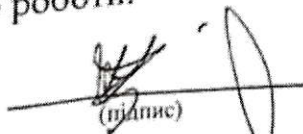


Шенфельд В. Й.

(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи



Герець Д. В.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи



Сивак Р. І.

(прізвище, ініціали)