

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Інженерний навчально-науковий інститут
(назва факультету)
Кафедра обробки металів тиском
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

рівень вищої освіти другий магістерський рівень
(другий (магістерський) рівень)

на тему "Вплив напружено-деформованого стану при осадці злиткових та механічні властивості сталі"

Виконав: студент II курсу, групи 8.1369-ОМТ-3
Яшовенко О.І.
(ПІБ) (підпис)

спеціальності 136 металургія
(шифр і назва)

спеціалізація
(шифр і назва)

освітньо-професійна програма Обробка металів тиском
(шифр і назва)

Керівник Белоконь Ю.О. (підпис)
(прізвище та ініціали)

Запоріжжя - 2020 року

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інженерний навчально-науковий інститут

Кафедра Обробки металів тиском

Рівень вищої освіти другий магістерський рівень
(другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 136 металургія
(шифр і назва)

Спеціалізація _____
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма Обробка металів тиском
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

“ ” _____ 20 _____ року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Яшовенко Олександр Леонідовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи Вплив напружено-деформованого стану при осадці заготовок на механічні властивості сталі.

керівник магістерської роботи Белокозь Нурій Олександрович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “25” 05 2020 року № 5

2. Строк подання студентом магістерської роботи 01 грудня 2020 року

3. Вихідні дані магістерської роботи Параметр оптимізації (Y) - максимум на інтенсивність напружень у центральній частині заготовки
Фактори дослідження: Коефіцієнт укову, швидкість деформації, фактор форми.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібні розробити) Вступ; Аналіз наукової інформації та стан проблеми; Дослідницько-розрахункова частина; Обробка і обговорення результатів досліджень; Оцінка праці та техногенна безпека; Економічні аспекти проблеми; Висновки; Перелік посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

презентація з 14-и слайдів: 1) Мета та методика роботи
 2) Схема процесу осадки 3) Зони деформації при осадці
 4) Моделювання темп металу при осадці 5) Результати моде
 ля НДС при осадці 6) Траєкторія зміни деформації

6. Консультанти розділів магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв	
1	Белокоць Ю.О. к.т.н, доцент		
2	Белокоць Ю.О. к.т.н, доцент		
3	Белокоць Ю.О. к.т.н, доцент		
4	Белокоць Ю.О. к.т.н, доцент		
5	Белокоць Ю.О. к.т.н, доцент		

7. Дата видачі завдання 01 вересня 2020

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітка
1	Вступ	11.09.2020	Виконав
2	Аналіз наукової інформації та стан проблеми	25.09.2020	Виконав
3	Дослідницько-розрахункова частина	02.10.2020	Виконав
4	Обробка й обговорення результатів дослідження	16.10.2020	Виконав
5	Охорона праці та технічна безпека	30.10.2020	Виконав
6	Економічні аспекти проблеми	13.11.2020	Виконав
7	Висновки	27.11.2020	Виконав
8	Перелік посилань	27.11.2020	Виконав

Студент

(підпис)

Яковенко
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота бсягом _____ сторінок, містить _____ рисунків, _____ таблиць, _____ літературних джерел.

Представлені результати експериментального дослідження впливу технологічних параметрів осадки на механічні властивості і структуру поковок із сталі. Аналіз отриманих даних свідчить, що збільшення величини геометричного фактору форми і укову приводить до підвищення межі плинності матеріалу і зниження тимчасового опору матеріалу. Геометричний фактор на відміну від укову має більший вплив на межу плинності матеріалу. Вплив укову і геометричного фактору на показники тимчасового опору матеріалу приблизно однаково. У зв'язку з нерівномірністю розподілення накопиченої деформації в об'ємі продеформованного металу спостерігаються три характерні зони, розміри яких залежать від фактору форми і від величини діючої напруги. Деформація на поверхні контакту з деформувальним інструментом ускладнена дією сил тертя. Як наслідок, структура в цій зоні є менш однорідною.

У двох інших зонах при оптимальному режимі деформації спостерігаються приблизно однакові структура і механічні характеристики.

Ключові слова: кування, осадка, уков, геометричний фактор, сталь, властивості, структура.

ABSTRACT

The master's degree working in volume of ____ pages, contains ____ pictures, ____ tables, _____ references.

Contains results of experimental research of influence of technological parameters of draught on the mechanical properties and structure of steel.

Purpose. Finding correlation between draught deformations mode and forgings properties and structure.

Design/methodology/approach. As a result of the experiment obtained regression equation defining the degree and character of influence of factor of forging reduction and geometric factor on the mechanical properties of metal (yield strength and tensile strength). Also at work was performed general qualitative analysis of influence of parameters of sediments on the uniformity of microstructure, formed by the cross-sections of the experimental samples.

Findings. Geometric factor has more significant influence on the tensile strength than forging reduction level, and the equal influence on the yield strength. Increasing of value of the geometric factor and forgings reduction leads to increasing yield strength of material and reduce the tensile strength of the material. Geometrical factor as opposed to forging reduction has a greater influence on the yield strength of material. Influence of forging reduction and geometric factors on parameters of tensile strength of the material about the same.

Originality/value. Variation of technological parameters of draught allows getting forgings with better properties and equable structure.

Key-words: forging, draught, forging reduction, geometric factor, steel, properties, structure.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	
1 АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА СТАН ПРОБЛЕМИ.....	
1.1 Неоднорідність деформації при осадці	
1.2 Аналіз напружено-деформованого стану при куванні	
2 ДОСЛІДНИЦЬКО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	
2.1 Етапи математичного моделювання	
2.2 Регресійне математичне моделювання	
3 ОБРОБКА І ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	
3.1 Отримання математичної моделі інтенсивності напружень від параметрів осадки	
3.2 Отримання математичної моделі механічних властивостей сталі від параметрів осадки	
3.3 Вибір нагрівального пристрою для кування	
3.4 Дослідження температурного інтервалу кування	
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	
4.1 Аналіз потенційних небезпек і шкідливих чинників виробничого середовища.....	
4.2 Технічні рішення по виробничій санітарії.....	
4.3 Заходи щодо техніки безпеки.....	
4.4 Пожежна та техногенна безпека	
4.5 Заходи щодо захисту навколишнього середовища.....	
5 ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ПРОБЛЕМИ.....	
ВИСНОВКИ.....	
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	

ВСТУП

Найбільш універсальним способом виробництва деталей із злитків є кування. Вільне кування - це процес, що забезпечує підвищення якості литого металу і отримання виробів необхідної форми. Багато металообробних підприємств мають в своєму складі цех або ділянку вільного кування. Вільне кування дозволяє одержувати заготовки і деталі масою від декількох кілограмів до сотень тонн розмірами від декількох сантиметрів до десятків метрів.

Основними напрямками розвитку сучасної технології кування є: підвищення точності і якості поковок, що випускаються, зниження витрати металу і трудомісткості їх виготовлення, збільшення продуктивності праці, вдосконалення організації ковальського виробництва. Гостро стоїть завдання комплексної механізації і автоматизації процесів вільного кування, повного виключення важкої ручної праці на всіх етапах виготовлення поковок.

Кування на гідравлічних пресах є одним з основних способів виготовлення поковок, особливо в умовах індивідуального і дрібносерійного виробництва. На гідравлічних кувальних пресах виготовляється близько 17% (по масі) всіх поковок. Кування є поки єдиною можливим способом отримання великогабаритних заготовок відповідального призначення: валів турбоагрегатів, колон гідравлічних пресів, ексцентрикових і колінчастих валів ковальсько-пресових машин, валків прокатних станів, дисків турбін, компресорів і інших. В деяких випадках кування використовують для виготовлення заготовок під подальше гаряче штампування, а також для отримання поковок, що не вимагають механічної обробки.

Розробка раціонального технологічного процесу кування вимагає обліку стану і якості початкового металу, підбору необхідної величини деформації, температурного поля зони деформації і відповідного інструменту, що забезпечує належне опрацювання металу.

1 АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА СТАН ПРОБЛЕМИ

1.1 Неоднорідність деформації при осадці

Осадкою називають ковальську операцію, за допомогою якої зменшують висоту вихідної заготовки з одночасним збільшенням площі її поперечного перерізу. За схемою деформації осадка завжди є стисненням - деформація в напрямку активної сили негативна, а дві інші деформації позитивні. В окремих випадках можлива рівність останніх між собою (просте стиснення) або рівність однієї з них нулю (плоска деформація). В ідеальному випадку, при відсутності сил тертя на контакті, схема напруженого стану є лінійним стисненням. У всіх інших випадках - нерівномірне всебічне стиснення.

За допомогою осадки одержують різні диски, плити, штампові кубики і т.п. У цьому випадку осадка є основною і заключною операцією. Але частіше осадку застосовують як проміжну операцію з метою пророблення литої структури металу.

Деформований стан при осадці відрізняється великою неоднорідністю і залежить від цілого ряду факторів. До найбільш значущих факторів варто віднести: фактор форми (у даному випадку, відношення висоти заготовки до її діаметра або ширини), рівень сил тертя на контакті, нерівномірність структури металу і температурного поля.

У випадку циліндричної заготовки поперечні перерізи при відсутності анізотропії тертя зберігають кругову форму, а меридіональні одержують бочкоподібну. Ступінь і характер бочкоподібності залежать від величини сил тертя. Чим вище тертя, тим сильніше гальмування точок, розташованих на торцях, і тим більше за рівних інших умов різниця між діаметрами торців осадженої заготовки і діаметрами інших її перерізів. При цьому у низьких заготовках ($h_0/d_0 < 1$) переріз посередині твірної одержує максимальний

діаметр, тобто заготовка відразу набуває бочкоподібної форми, причому ступінь бочкоподібності зменшується при зменшенні фактора форми.

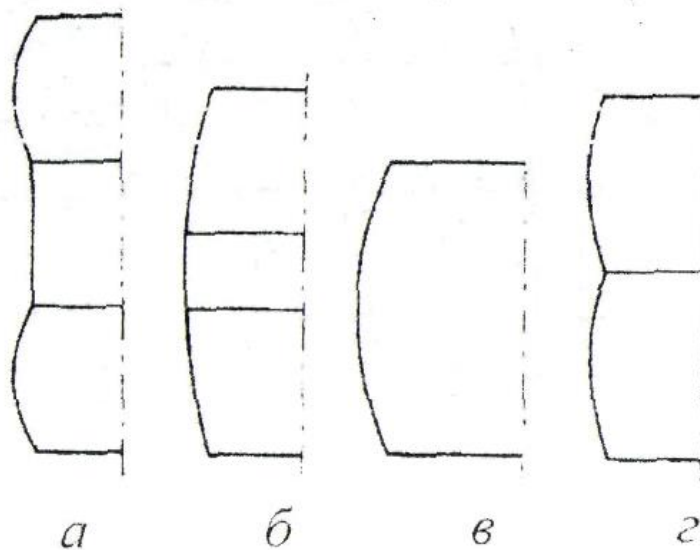


Рисунок 1.1 - Явище бочкоподібності при осадці

При осадці високих заготовок ($h_0/d_0 < 2$) це явище значно ускладнюється.

Як показав Ф. Рідель, зразок із $h_0/d_0 = 2,86$ при малому ступені деформації набуває форми нібито двох бочок із торцями, з'єднаними циліндричною частиною (рис. 1.1, а). При подальшій осадці діаметр циліндричної частини росте, і заготовка одержує форму циліндра, до якого приликають кінці у вигляді усічених конусів (рис. 1.1, б). І при ще більшій деформації, порядку 40-50%, діаметр середнього перерізу росте більш інтенсивно, і заготовка приймає бочкоподібну форму (рис. 1.1, в). При відношеннях ($h_0/d_0 < 2$) можна одержати так звану "подвійну бочку" (рис. 1.1, г), яка при подальшій осадці за рахунок більш інтенсивного збільшення середнього діаметра переходить в одинарну.

Глибокі дослідження Я.М. Охріменка показують, що зі збільшенням ступеня деформації бочкоподібність спочатку збільшується, досягаючи максимуму, а потім зменшується. При цьому чим менше початковий фактор

форми - тим меншою буде бочкоподібність і при меншому ступені деформації досягається її максимум. Так, наприклад, для зразків з вихідним відношенням h_0/d_0 максимум бочкоподібності спостерігався при ступені деформації $\varepsilon = 0,55$, для низьких зразків з $h_0/d_0 = 0,25$ при $\varepsilon = 0,25$. Відносна величина максимальної бочкоподібності в низьких зразках більш ніж у 3 рази менше, ніж у високих. Підвищення рівня сил контактної тертя у всіх випадках збільшує бочкоподібність і змінює ступінь деформації, при якій спостерігається максимальна бочкоподібність.

Сказане вище ілюструється діаграмою (рис. 1.2), де по осі абсцис відкладене відношення h_0/d_0 а по осі ординат - відносний об'єм бочкоутворення $\theta = V_6/V_0 \cdot 100\%$.

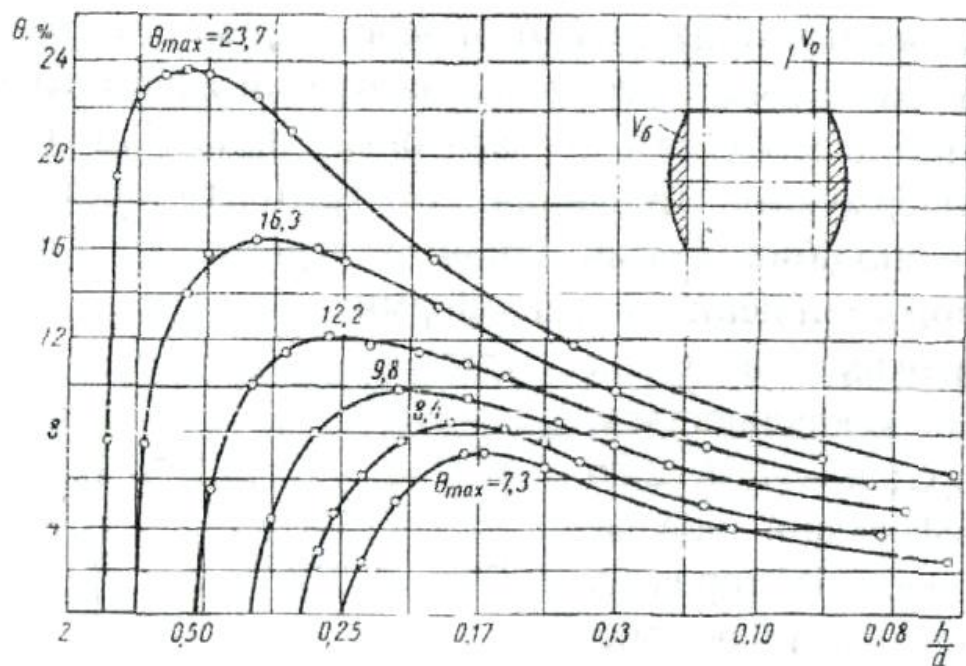


Рисунок 1.2 - Залежність ступеня бочкоподібності і від фактора форми

Перекручуванню зовнішнього контуру відповідає неоднорідність деформацій внутрішніх зон і елементів заготовки, що осаджується. При ньому в загальному випадку (рис. 1.1, в) розрізняють три зони.

Зони I (рис. 1.3), які прилягають ю торців заготовки, деформуються дуже незначно, що визначається впливом сил тертя на контактних поверхнях,

які створюють у цих зонах досить різко виражене всебічне стиснення. Ці зони є зонами "затриманої" чи "утрудненої" деформації. Металу них немовби менш податливий, і вони немовби розклинають зону *II* (що знаходиться між ними), деформація елементів якої найбільш інтенсивна як у осьовому, так і в радіальному напрямку. В областях розділу першої і другої зон метал останньої немовби обтікає першу зону, рухаючись у напрямку горнів. Це пояснює наявність переходу елементів бічної поверхні на контактну, особливо помітну при $h_0/d_0 > 1$.

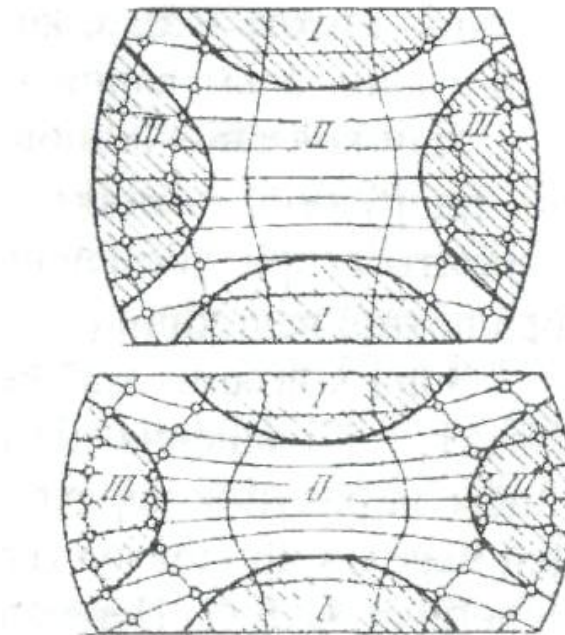


Рисунок 1.3 - Характерні зони деформації при осадці

Інтенсивність деформації зони *III* займає проміжне положення між двома першими. Мір) збільшення ступеня деформації при осадці зразків з меншим значенням фактора форми - зона *III* різко зменшується, а зони *I* і *II* практично зливаються, і деформація охоплює об'єм цих обох зон при різко вираженому об'ємному напруженому стані в зв'язку зі зближенням контактних поверхонь. Рівномірність деформації при цьому підвищується, а бочкоподібність знижується.

Наявність наведених вище зон підтверджується експериментальними дослідженнями, пропеченими різними методами: осадкою багат шарових зразків (Е, Зібель та ін). осадкою зразків з координатною сіткою (Ф. Кік і ін.), мікроструктурним методом (І.О. Смірнов-Аляєв) та ін.

Вимір деформацій безпосередньо па торцях заготовки, що осаджується. наприклад за допомогою попередньо нанесеної координатної сітки, підтверджує існування зон ковзання і гальмування на горцях заготовки при $h_0/d_0 < 0,25$.

На периферійній кільцевій зоні частки металу на горцях циліндричних зразків інтенсивно переміщуються щодо бойків у радіальному напрямку, і відстані між концентричними рисками, нанесеними на торці зразка, збільшуються. У наступній зоні ковзання є загальмованим, і діаметри концентричних рисок змінюються мало. Нарешті, безпосередньо поблизу центра торців на ділянці з радіусом, приблизно рівним поточній висоті зразка, ковзання практично відсутнє. Цю ділянку усередині зона гальмування називають зоною прилипання (застою).

Зоні ковзання відповідає зона пропорційності контактних дотичних напружені, контактному тиску ($\tau_{тр} = -f\sigma_z$), а зона гальмування утвориться при досягненні дотичними напруженнями максимальної абсолютної величини ($\tau_{тр} = -k$).

Зона ковзання майже не спостерігається при осадці заготовок з $h_0/d_0 > 1$, і збільшення діаметра торця в цьому випадку йде головним чином за рахунок переходу металу з бічних поверхонь на контактну. Цей перехід продовжується, але в значно меншому ступені, і при відношеннях $h_0/d_0 < 1$. Переходу бічної поверхні на контакту сприяє бочкоподібності. заготовки у процесі осадки.

Неоднорідність деформації при осадці викликає накопичення додаткових напружень, то викривляють основну схему напруженого стану аж до того, що в деяких областях тіла можуть з'явитися *розтягаючі напруження*. Появі останніх сприяє також розвиток бочкоподібності.

Схематично можна представити, що при наявності бочкоподібності у тілі, що осаджується, з'являються немовби дві зони (рис. 1.4): центральна 1, що має форму циліндра, і зовнішня 2 - кільцеподібна.

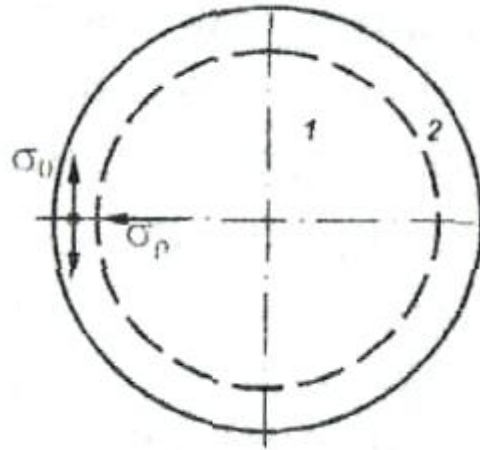


Рисунок 1.4- Розтягаючі напруження при осадці

Внутрішня циліндрична зона при плинні металу у процесі осадки, прагнучи прийняти бочкоподібну форму, впливає на зовнішню зону і викликає в ній розтягаючі напруження σ_{θ} . Зовнішня зона є немовби трубкою, що знаходиться під внутрішнім тиском σ_r .

Розтягаючі напруження при осадці в деяких випадках можуть досягти значної величини і викликані на поверхні тіла, що осаджується, повздовжні тріщини. При осадці заготовок із прямокутним поперечним перерізом окрім бочкоподібності будуть викривлятися і поперечні перерізи згідно із принципом найменшого опору. При цьому ширина заготовки буде збільшуватися більше, ніж довжина і при високих ступенях деформації її периметр у плані буде прагнути до округлості.

Далі розглянемо питання визначення контактних напружень при осадці. Як і у попередніх випадках, буде використаний метод розв'язання спрощених рівнянь рівноваги разом зі спрощеною умовою пластичності, так званий інженерний метод.

Оскільки довжина заготовки передбачається необмеженою, то деформацію можна вважати плоскою, тобто такою, що дорівнює нулю в напрямку довжини заготовки. Перекручуванням форми перерізу зневажаємо. Процес деформації розглядаємо в кожен даний момент часу. Межу плинності приймаємо сталою на протязі усього осередку деформації і незмінною у часі. Приймаємо також, що вертикальне нормальне напруження σ рівномірно розподілене по осі z . Осі координат розташуємо, як показано на рис. 1.5.

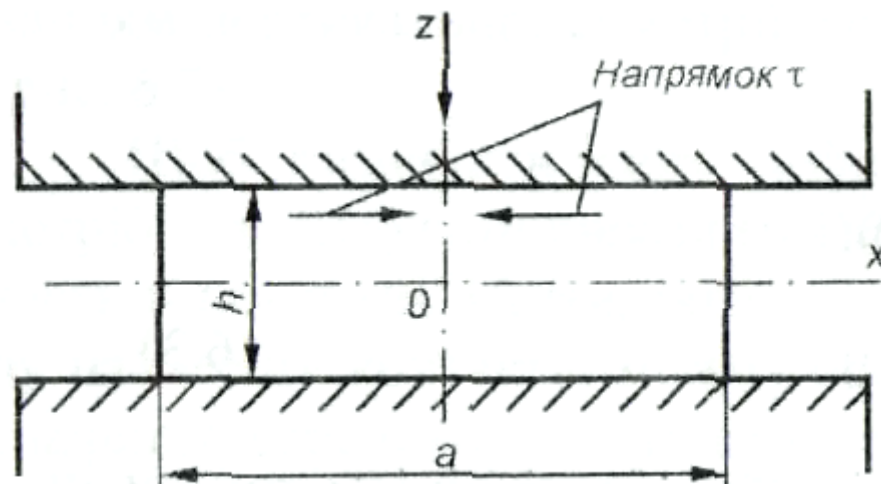


Рисунок 1.5 - Осадка довгої штаби

Нагадаємо, що якби тертя на контактній поверхні було відсутнім, то напружений стан був би лінійним. Тертя ж змінює схему напруженого стану па схему нерівномірного всебічного стиснення.

Напрямок елементарних сил тертя на контактній поверхні, а отже, і контактних дотичних напружень показано на рис. 1.5. Відповідно до правила знаків дотичні напруження на половині фігури праворуч від осі негативні, а ліворуч - позитивні. У силу симетрії перерізу щодо координатних осей досить розглядати лише перший квадрант.

Шукаємо розподіл нормальних напружень тільки на контактній поверхні. Згідно із прийнятими допущеннями, на цій поверхні напруження не залежать від координати z , тому що ця координата тут стала і дорівнює $0,5/h$. Отже, для контактної поверхні маємо:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} = \frac{d\sigma_x}{dx} \quad \text{і} \quad \frac{\partial \sigma_z}{\partial x} = \frac{d\sigma_z}{dx}.$$

Дотичне напруження на контактній поверхні позначимо через τ_k тобто $\tau_{xz} = \tau_k$ при $z = 0,5h$. Напруження τ_{xz} по мірі віддалення від кожної з контактних поверхонь буде за абсолютною величиною зменшуватися і па вісі x при $z = 0$ перетвориться на нуль, оскільки вісь x є горизонтальною віссю симетрії перерізу штаби.

Допустимо, що напруження τ_{xz} є лінійною функцією z :

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = \frac{2\tau_k}{h}. \quad (1.1)$$

Підставляючи наведені дані у перше рівняння системи диференціальних рівнянь рівноваги для плоско-деформованого стану

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial z} = 0, \text{ одержимо:}$$

$$\frac{d\sigma_x}{dx} + \frac{2\tau_k}{h} = 0 \quad (1.2)$$

Рівняння (1.2) є спрощеним рівнянням рівноваги для точок контакту. Диференціюючи умову пластичності ($\sigma_x - \sigma_z = \beta\sigma_T$) по x для тих же самих точок, одержимо:

$$\frac{d\sigma_x}{dx} = \frac{d\sigma_z}{dx}.$$

Підставимо в останній вираз в (1.2):

$$\frac{d\sigma_z}{dx} + \frac{2\tau_k}{h} = 0 \quad (1.3)$$

Для розв'язання цього рівняння необхідно прийняти той чи інший розподіл дотичних напружень на контактній поверхні і підставити його замість τ_k .

Спочатку задамо умову тертя за Г. Амонтоном ($\tau_{тр} = f\sigma_z$):

$$\frac{d\sigma_z}{dx} = \frac{-2f\sigma_z}{h}.$$

Після розділення змінних і інтегрування одержуємо:

$$\ln \sigma_z = \frac{-2f}{h}x + C,$$

де C - довільна стала.

Щоб виключити з рівняння логарифми, уведемо нову сталу інтегрування $\ln C_1 = C$. Тоді $\sigma_z = C_1 e^{\frac{-2fx}{h}}$.

Сталу інтегрування C_1 знайдемо з граничних умов. На краю контактної поверхні, тобто при $x=a/2$, горизонтальне напруження $\sigma_x = 0$.

Отже, виходячи з умови пластичності, $\sigma_z = \beta\sigma_T$. Звідси одержуємо

$$C_1 = \beta\sigma_T e^{\frac{fa}{h}}.$$

Таким чином, одержуємо часткове розв'язання рівняння рівноваги (формула Є.П. Унксова):

$$\sigma_z = -\beta\sigma_T e^{\frac{f(a-2x)}{h}}. \quad (1.4)$$

Відповідно, розподіл напружень тертя описується наступною формулою:

$$\tau_{TP} = -f\beta\sigma_T e^{\frac{f(a-2x)}{h}}. \quad (1.5)$$

У даному випадку епюра контактного тиску і напружень тертя описується експонентною залежністю з урахуванням вертикальної симетрії заготовки (рис. 1.6).

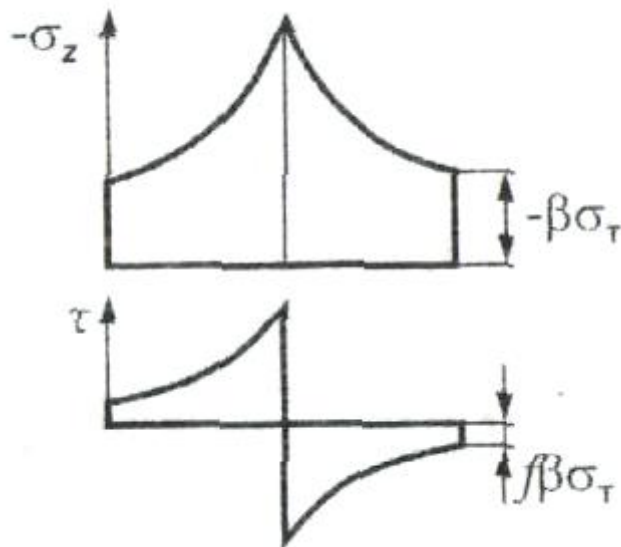


Рисунок 1.6 - Епюри контактних напружень, що відповідають умові Г. Амонтона

Щоб визначити силу деформації, потрібно інтегрувати вирази (1.4) по контактній поверхні. Потім, розділивши силу на площу контакту, можна одержати значення середнього контактного тиску (виведення цього та іншого виразів можна знайти в підручниках з теорії обробки металів тиском):

$$p_{cp} = \beta\sigma_T \frac{2h}{fa} \left(e^{\frac{-fa}{h}} - 1 \right). \quad (1.5)$$

Далі розглянемо граничні умови за Е. Зібелєм ($\tau_{\text{тр}} = -f_{\sigma}\beta\sigma_T$):

$$\frac{d\sigma_z}{dx} = \frac{2f_{\sigma}\beta\sigma_T}{h}.$$

Після розділення змінних та інтегрування одержуємо:

$$\sigma_z = \frac{2f_{\sigma}\beta\sigma_T}{h}x + C.$$

Сталу інтегрування C знайдемо з граничних умов (див. вище).

Звідси одержуємо:

$$C = -\left(\beta\sigma_T + \frac{f_{\sigma}\beta\sigma_T}{h}a\right).$$

Таким чином, одержуємо часткове розв'язання рівняння рівноваги:

$$\sigma_z = -\beta\sigma_T\left(\frac{f_{\sigma}}{h}(a-2x)+1\right). \quad (1.6)$$

Епюра контактного тиску і напружень тертя для даного випадку описується прямими лініями (рис. 1.7).

Середній контактний тиск визначається в такий спосіб:

$$p_{cp} = \beta\sigma_T\left(1 + \frac{f_{\sigma}a}{4h}\right). \quad (1.8)$$

І, нарешті, розглянемо лінійний розподіл напружень тертя на контакті. У цьому випадку напруження тертя збільшуються від нуля у центрі заготовки до певної максимальної величини на її краю. Розглянемо як максимальне

значення напруження, що відповідає умові Е. Зібеля $\left(\tau_{TP} = -f_{\sigma}\beta\sigma_T \frac{2x}{a}\right)$. Тоді

$$\frac{d\sigma_z}{dx} = \frac{4f_{\sigma}\beta\sigma_T x}{ha}.$$

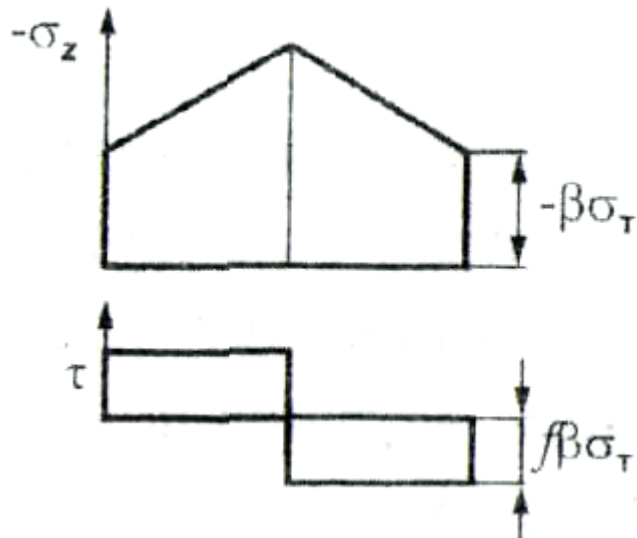


Рисунок 1.7 - Епюри контактних напружень відповідно до умови Е. Зібеля

Розділяючи змінні та інтегруючи, одержуємо:

$$\sigma_z = \frac{2f_{\sigma}\beta\sigma_T}{ha} x^2 + C.$$

Сталу інтегрування C знайдемо з граничних умов (див. вище).

$$\text{Одержуємо } C = -\left(\beta\sigma_T + \frac{f_{\sigma}\beta\sigma_T}{2h} a\right).$$

Таким чином, одержуємо часткове розв'язання рівняння рівноваги:

$$\sigma_z = -\beta\sigma_T \left(\frac{f_{\sigma}}{4ha} (a^2 - 4x^2) + 1 \right). \quad (1.9)$$

Епюра контактного тиску і напружень тертя для даного випадку описується параболою і прямою лінією, відповідно (рис. 1.8).

За аналогією визначається середній контактний тиск:

$$p_{cp} = \beta \sigma_T \left(1 + \frac{f_{\sigma} a}{6h} \right). \quad (1.10)$$

Проведемо аналіз отриманих розв'язань. Ряд проведених експериментальних досліджень показав, що при коефіцієнті тертя, меншому за 0,2, розподіл напружень тертя при осадці низьких зразків приблизно відповідає умові Г. Амонтона; зона ковзання поширюється практично на всю контактну поверхню. Отже, для зазначених умов доцільно використовувати формули С.П. Унксова (1.4) і (1.6).

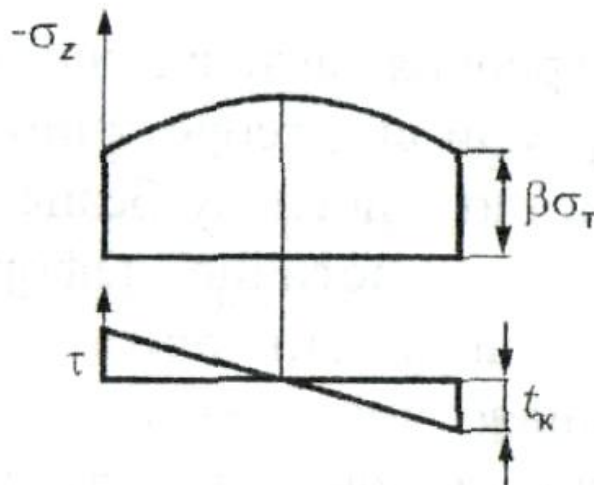


Рисунок 1.8 - Епюри контактних напружень для лінійного розподілу напружень тертя на контакті

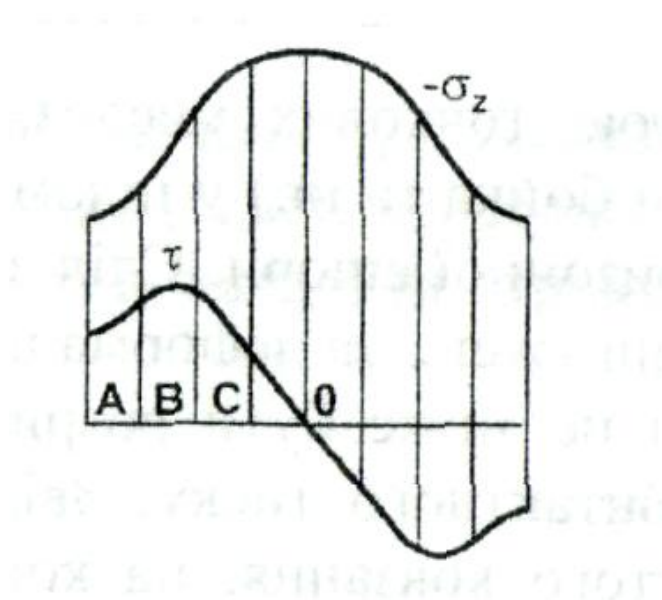


Рисунок 1.9 - Тризонні епюри контактного тиску і напружень тертя при осадці

Якщо ж на контакті має місце, головним чином, зона прилипання, що відповідає осадці високих зразків при високому терті, маємо куполоподібну епюру контактного тиску, і для розрахунків варто використовувати формули (1.9) і (1.10). У випадку осадки середніх за висотою зразків при середньому рівні сил контактного тертя (тобто якщо коефіцієнт тертя знаходиться в інтервалі від 0,2 до 0,4), на контакті переважає зона гальмування, і варто використовувати розв'язання С.І. Губкіна, тобто формули (1.7) і (1.8).

Найчастіше в реальних процесах ОМТ на контакті присутні одночасно дві, або навіть три характерні зони. На рис. 1.9 показані тризонні епюри контактного тиску і напружень тертя.

Зона *A* є зоною ковзання дія сил тертя з наближенням до вільної границі слабшає, і часткам металу на контакті енергетично легше скочити до вільної границі. Зону *B* звичайно називають зоною гальмування, оскільки тут напруження тертя досягають своїх максимальних (для даних умов деформації) значень, і ковзання по контакті утруднено. І, нарешті, зона *C* - зона присипання; тут ковзання по контакті практично відсутнє.

Одержати точне аналітичне розв'язання для двох- чи тризонного контакту важко, тому що необхідно заздалегідь знати довжину характерних зон. Тому була отримана низка наближених розв'язань, заснованих на допущенні про відому довжину зон прилипання, гальмування і ковзання. Дані розв'язання не одержали широкого практичного застосування, унаслідок своєї складності. Зацікавлений читач може знайти їх у підручниках з теорії ОМТ.

На завершення розгляду цього питання обговоримо вірогідність отриманих епюр. Експериментальні дослідження (прямий вимір за допомогою точкових месдоз, форма гребеня металу, що впливає з щілини бойка та ін.) у цілому підтвердили вид теоретично розрахованої тризонної епюри. Слід зазначити, що з погляду безперервності полів напружень та деформацій в осередку пластичної деформації, на контакті не може бути розривів епюр напружень тертя і перегинів епюр контактного тиску. Звідси випливає, що навіть за наявності розвинутого ковзання, на контакті завжди повинна бути присутня, нехай і дуже невелика, зона прилипання.

Формули для розрахунку середнього контактного тиску при осадці циліндра (1.11) і штаби кінцевої довжини (1.12), отримані при допущеннях інженерного методу, наводимо без виведення:

$$p_{cp} = \sigma_T \left(1 + \frac{f_\sigma d}{3h} \right). \quad (1.11)$$

$$p_{cp} = \beta \sigma_T \left(1 + \frac{f_\sigma a}{3h} \right). \quad (1.12)$$

Робота деформування при осадці

Розглянемо якийсь момент часу процесу осадки при деформуючій силі P . Висота заготовки зменшується на нескінченно малу величину dh . Тоді елементарна робота деформування дорівнює: $dA = Pdh$.

У свою чергу, повна робота деформування буде визначатися інтегруванням останнього виразу:

$$A = \int_{h_0}^{h_1} P dh. \quad (1.13)$$

Далі введемо кілька допущень і трансформуємо вираз (1.13). Спочатку виразимо силу деформування через контактний тиск p , помножений на площу контактної поверхні F :

$$A = \int_{h_0}^{h_1} p F dh.$$

Зазначимо, що p і F змінюються за час деформування.

Допустимо, що бочкоподібність відсутня, тоді, згідно із законом сталості об'єму, $F = V/h$, де V - об'єм заготовки. З урахуванням цього останній вираз буде мати такий вигляд:

$$A = V \int_{h_0}^{h_1} p \frac{dh}{h}.$$

Потім винесемо за знак інтегралу значення, усереднене по площі контакту за увесь час деформування ("двічі усереднене"). Помінявши місцями границі інтегрування та інтегруючи отриманий вираз, одержуємо формулу С. Фінка:

$$A = p_{cp} V \ln \frac{h_0}{h_1}. \quad (1.14)$$

Щоб використовувати останній вираз для розрахунку роботи деформування при осадці, необхідно якимсь чином визначити середній контактний тиск. Для цього можна використовувати формули, наведені в цьому параграфі. Відзначимо лише, що середні контактні тиски необхідно усереднити, наприклад, розрахувати їх при середньому за весь процес ступені деформації.

Якщо вирази для розрахунку середніх контактних тисків використовуються при виборі пресового технологічного устаткування, то вираз (1.14) можна використовувати при виборі маси падаючих частин кувального молота.

1.2 Аналіз напружено-деформованого стану при куванні

Першою операцією технологічного процесу є осадка злитка для вирівнювання розмірів його поперечного перетину по довжині, а також для найбільшого руйнування литої дендритної структури і зменшення нерівномірності властивостей в поперечному і подовжньому напрямках.

Осадка характеризується ступенем деформації і величиною деформації.

Ступінь деформації при осадці визначається виразом

$$\varepsilon = \frac{H - H_1}{H} \cdot 100\% \quad (1.15)$$

де H - висота злитка до осідання, мм;

H_1 - висота злитка після осідання, мм.

Величина деформації при осадці також визначають відношенням висот до і після осадки

$$q = \frac{H}{H_1} \quad (1.16)$$

Наступною і основною операцією технологічного процесу є протяжка. Протяжкою називається ковальська операція, при якій збільшується довжина початкової заготовки при одночасному зменшенні площі її поперечного перетину. Протяжка займає 60-70% всього робочого часу роботи при вільному куванні. Вона здійснюється по частинах, деформуються одночасно тільки окремі ділянки заготовки в певній послідовності, причому бойки не перекривають заготовку цілком. При протяжці заготовок з легованої сталі і сплавів із зниженою пластичністю застосовують наступний спосіб протяжки, який полягає в обтисканні ділянок на кожній стороні заготовки з кантівкою на 90° після кожного натиснення. Після обтискання всіх чотирьох сторін дається подача і обжимається наступна ділянка заготовки.

При протяжці на плоских бойках заготовок з високолегованих сталей і сплавів із зниженою пластичністю необхідно дотримувати наступні умови:

- кування проводити тільки упоперек бойків;
- подачу приймати в межах 0,5-0,7 від ширини бойок;
- не допускати при куванні спотворення квадратної форми перетину заготовки, оскільки при подальшій протяжці ромбичність сприяє утворенню тріщин по напрямку великої діагоналі;
- при освіті на поковку тріщин їх необхідно вирубувати, а потім продовжувати кування.

Для отримання одноріднішої дрібнозернистої структури необхідно, щоб ступінь деформації був більше або менше критичної. Оскільки температурний інтервал кування сталі Х12МФ є достатньо вузьким (310°C) те обтискання ведуться із ступенем деформації вище за критичну. Критичний ступінь деформації сталі Х12МФ складає 1-8% [9]

Протяжка характеризується відносним обтисканням, відносним розширенням і відносним подовженням.

Ступінь деформації по висоті заготовки називають відносним обтисканням

$$\varepsilon_h = \frac{H_{n-1} - H_n}{H_{n-1}} \cdot 100\% \quad (1.17)$$

де H_{n-1} - висота заготовки перед обтисканням, мм;

H_n - висота заготовки після обтискання, мм;

Відносним подовженням називають ступінь деформації по довжині заготовки:

$$\varepsilon_l = \frac{L_n - L_{n-1}}{L_{n-1}} \cdot 100\% \quad (1.18)$$

де L_{n-1} - довжина заготовки перед обтисканням, мм;

L_n - довжина заготовки після обтискання, мм.

Ступінь протяжки за перехід характеризує уков за перехід. На кожному переході уков визначається як відношення площ поперечного перетину до і після протяжки

$$Y_n = \frac{F_0}{F_1} \quad (1.19)$$

де F_0 - площа поперечного перетину до протяжки, мм²;

F_1 - площа поперечного перетину після протяжки, мм².

Загальний уков складає твір приватних уковів або відношення площі поперечного перетину початкової заготовки до площі поперечного перетину поковки

$$Y_n = \frac{F_0}{F_k} = Y_1 \cdot Y_2 \cdot Y_3 \cdot \dots \cdot Y_n \quad (1.20)$$

де F_0 - площа поперечного перетину заготовки, мм²;

F_k - площа поперечного перетину поковки, мм²;

У1 – Уп - приватні укови.

Завершує обробку металу на пресі операція рубки. Вона використовується для паління прибуткової частини злитка. Інструментом для рубки є сокири.

Для круглих заготовок на пресах застосовують рубку з трьох сторін. Щоб уникнути того, що зім'яло заготівки нижнім жвавому застосовують нижній вирізний бойок, який забезпечує збільшену поверхню контакту бойок з круглою заготівкою.

Після впровадження сокири приблизно на 0,4 діаметру заготівки заготівку кантують на 120° і повторюють операцію, потім заготівку кантують знову на 120° і розрубують остаточно.

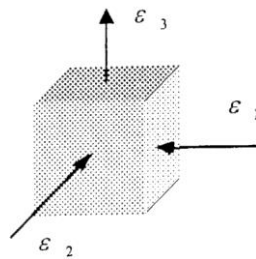


Рисунок 1.10 - Схема деформації при протяжці плоскими бойками і осадці.

Допустимі схеми деформації обмежуються умовою постійності об'єму, з якого виходить, що головні деформації $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ не можуть мати однакових знаків. Означає, для тривимірного руху суцільного середовища можливі тільки дві схеми деформації.

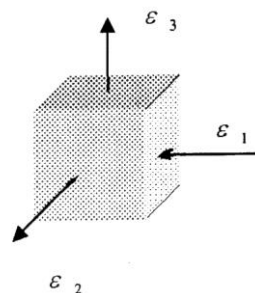


Рисунок 1.11 - Схема деформації при протяжці у вирізних бойках

Схема напруженого стану металу при протяжці плоскими бойками і при осаді представлена на рисунку 1.12.

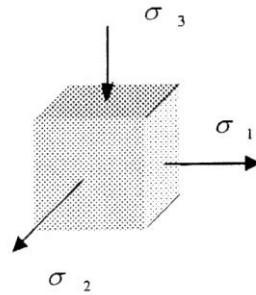


Рисунок 1.12 - Схема напруженого стану металу при протяжці плоскими бойками і при осаді.

Схема напруженого стану при протяжці у вирізних бойках представлена на рисунку 1.13.

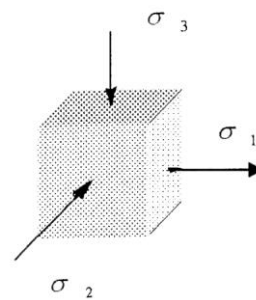


Рисунок 1.13 - Схема напруженого стану при протяжці у вирізних бойках

2 ДОСЛІДНИЦЬКО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Етапи математичного моделювання

У програмному комплексі DEFORM – 2D існують 3 основні етапи моделювання :

- 1) Препроцесор;
- 2) Вирішувач;
- 3) Постпроцесор.

Препроцесор служить для створення моделі об'єкту дослідження (геометрична і розрахункова), завдання параметрів моделі - сітка, температура, пластичність та ін., характеристики контакту - коефіцієнт тертя, коефіцієнт теплопередачі, визначаються точки контакту інструменту із заготівлею, робиться налаштування вирішувача, здійснюється генерація баз даних.

У вирішувачі відбувається розрахунок поставленого завдання.

Постпроцесор служить для обробки результатів моделювання. У нім можливе графічне представлення результату обчислення по кроках (загальне, у вказаній точці, між двома точками), визначення напрямку течії матеріалу, виведення інформації в якості текстових, графічних і відео файлів.

Розглянемо кожен пункт детально, стосовно процесу прокатки. В главі пов'язаної з розрахунками в Deform застосовуватиметься така ж послідовність дій, з особливостями для кожного випадку, які вказуватимуться.

Запускаємо Deform, і перед нами з'являється головне вікно (рис. 2.1). У нім відображаються все раніше створені бази даних (1), вікно балки (2), меню препроцесор (3), процесор (вирішувач) (4), постпроцесор (5).

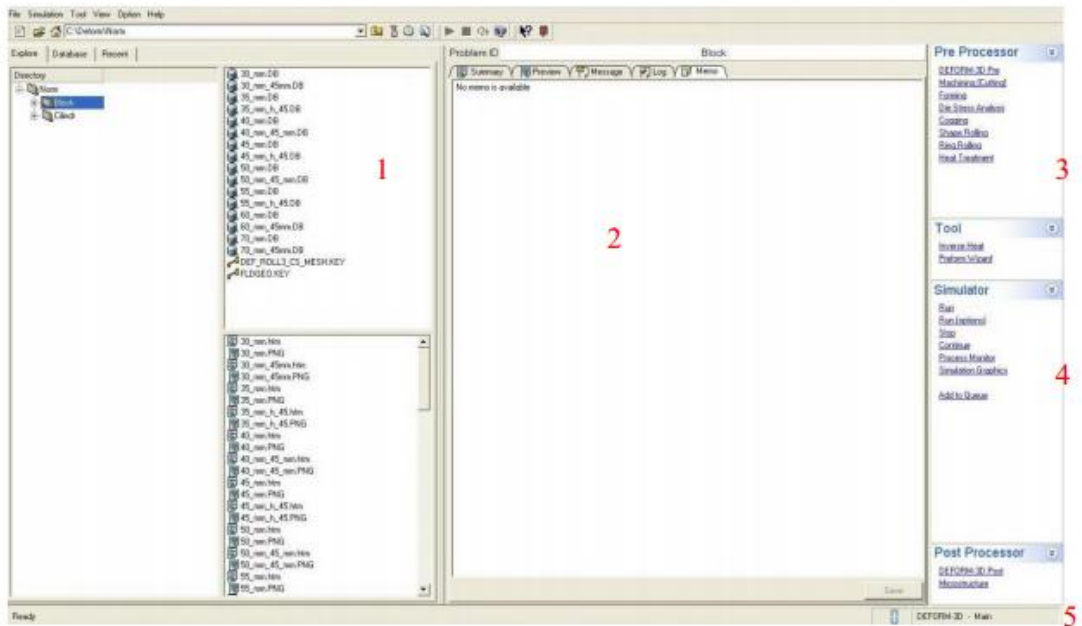


Рисунок 2.1 - Головне вікно Deform

У меню 3 вибираємо завдання, яке збираємося вирішувати, в нашому випадку це Blanking and piercing. Завданню необхідно присвоїти ім'я, в нашому випадку - OSADKA (рис. 2.2).

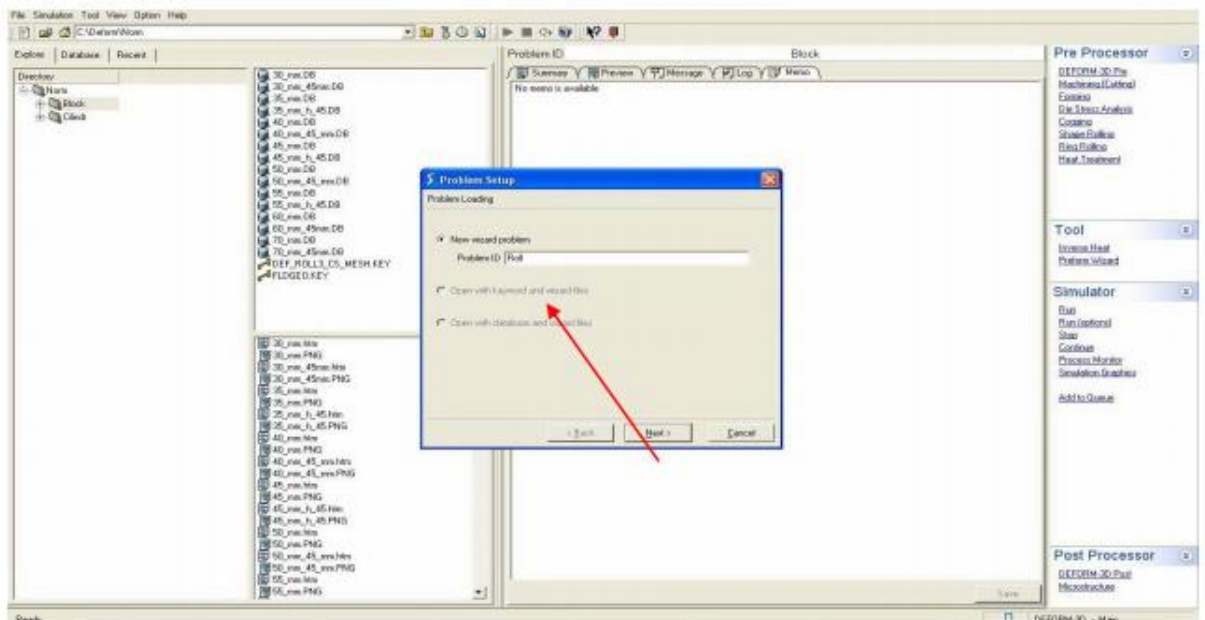


Рисунок 2.2 - Створення і привласнення імені новому завданню

Присвоївши ім'я, натискаємо кнопку Next, відкриється меню препроецора для нашого завдання (рис. 2.3).

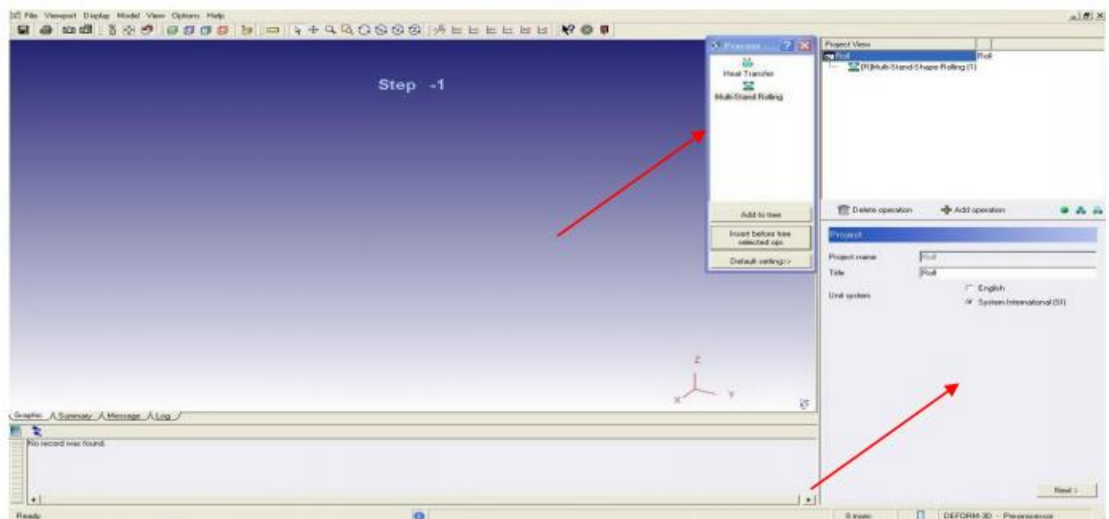


Рисунок 2.3 - Меню препроецора

У меню, що з'явилося, вибираємо Blanking and piercing. Пам'ятаємо про одиниці виміру (нам потрібна система СІ). Натискаємо Next. Далі з'явиться меню розрахунку температури (рис. 2.4).

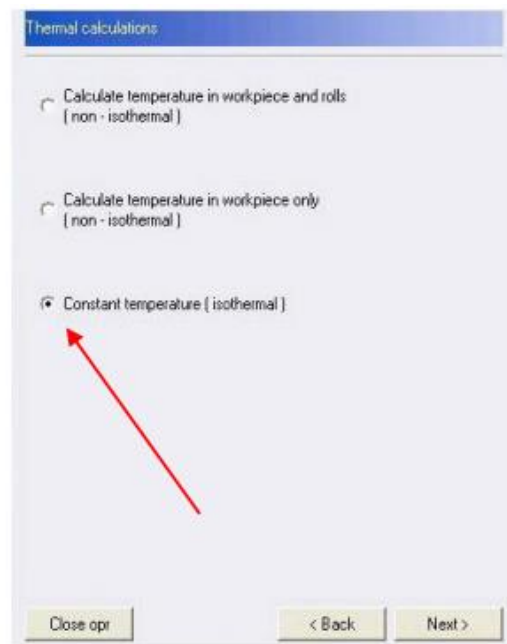


Рисунок 2.4 - Меню розрахунку температури

У нашому завданні температура буде постійною. Натискаємо Next і переходимо в меню вибору моделі заготівлі.

Для прискорення розрахунків вибираємо чверть (рис. 2.5).

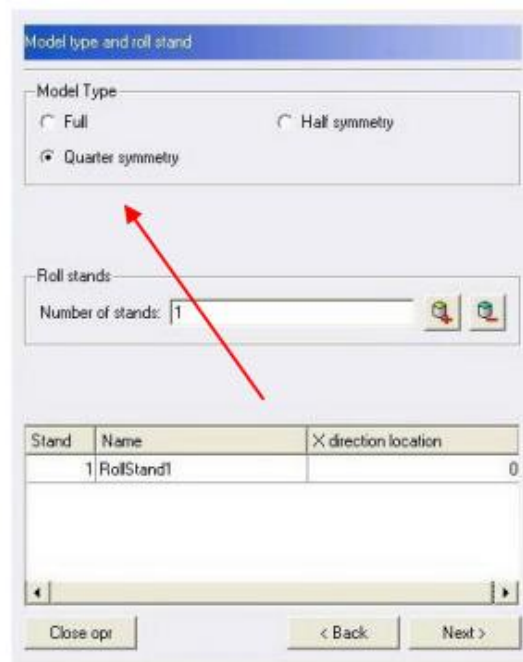


Рисунок 2.5 - Вибір моделі заготівлі

Наступний пункт - визначення геометрії для заготовки: радіус, скруглення, ширина і проміжок (рис. 2.6).

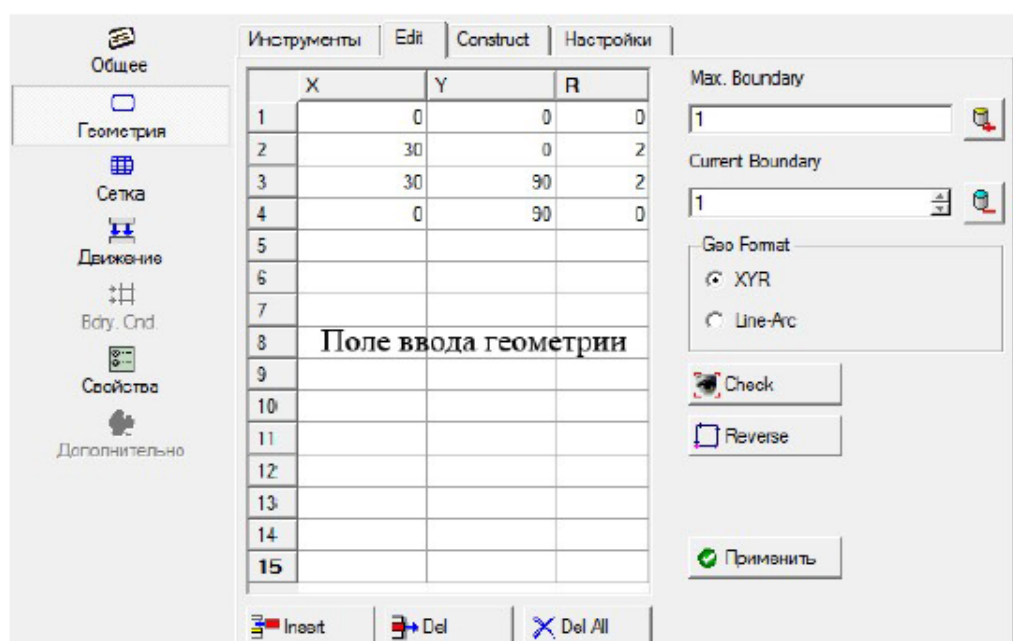


Рисунок 2.6 - Визначення геометрії заготовки

Заготовку вибираємо циліндричної форми і натискаємо Next. З'являється контур заготовки (рис. 2.7), який шляхом обертання навколо своєї дасть нам 2d модель (рис. 2.8).

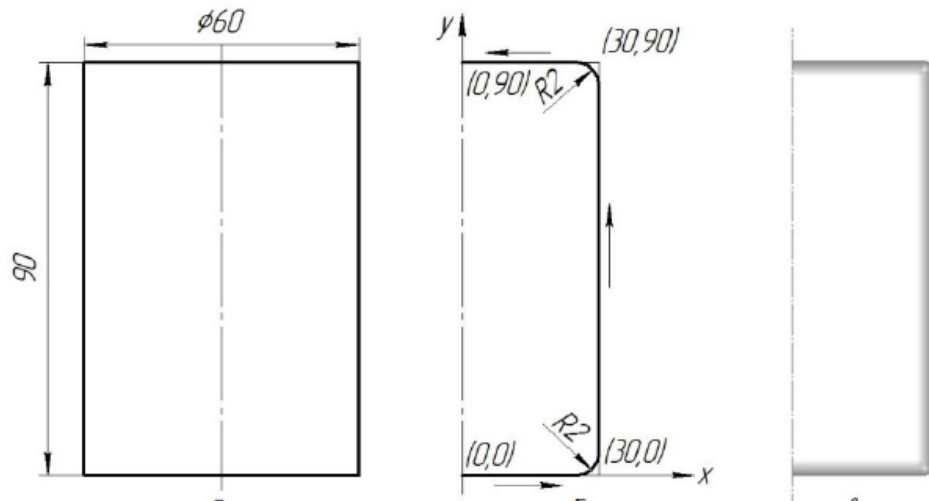


Рисунок 2.7 - Контур заготовки

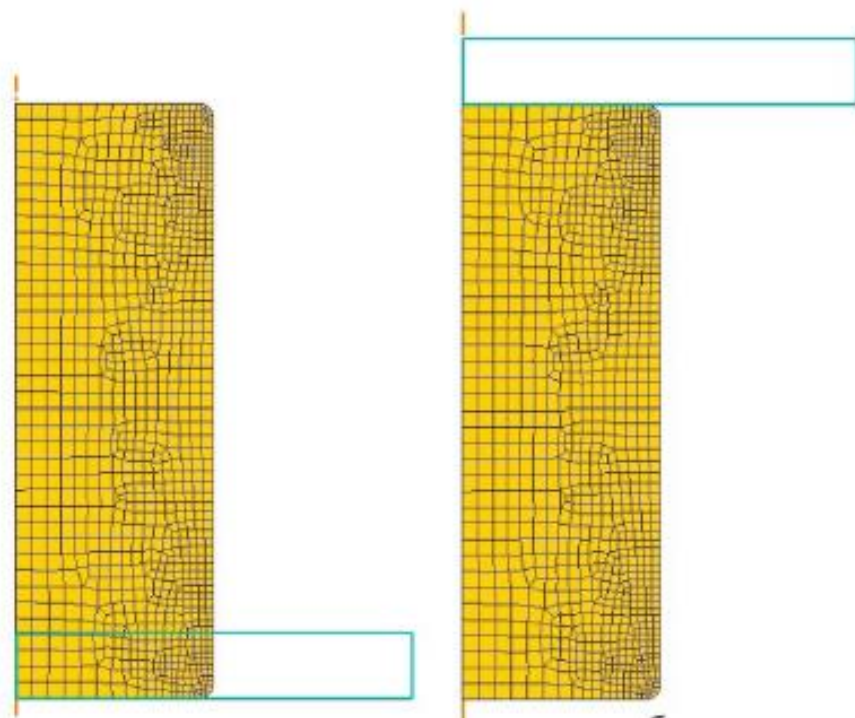


Рисунок 2.8 - 2d модель заготовки і бойків

Далі задаємо рух верхнього бойка 1 м/с (рис. 2.9).

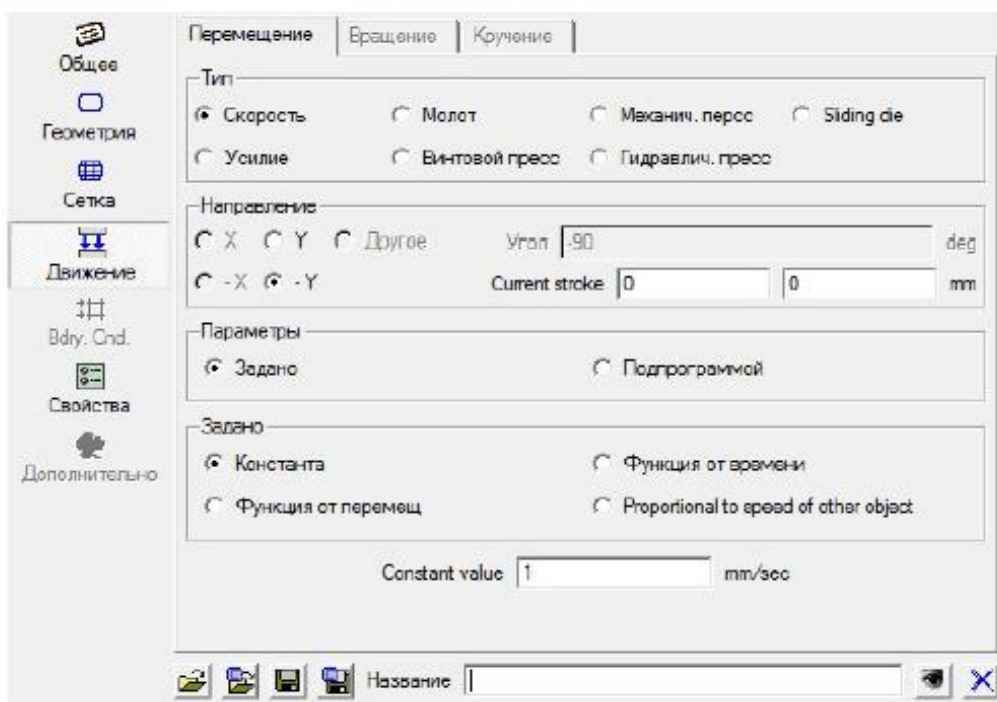


Рисунок 2.9 - Завдання руху верхнього бойка

У наступному меню задається довжина і температура заготовлі (рис. 2.10).

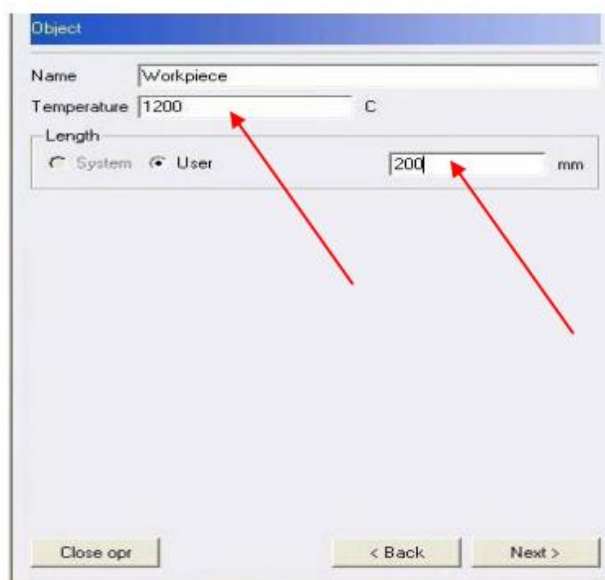


Рисунок 2.10 - Задається довжина і температура заготовлі

Далі потрібно визначити геометрію заготовлі, за умовчанням є 2 типи паралелепіпед (рис. 2.11) і циліндр (рис. 2.12). Введення розмірів просте і

зрозуміле.

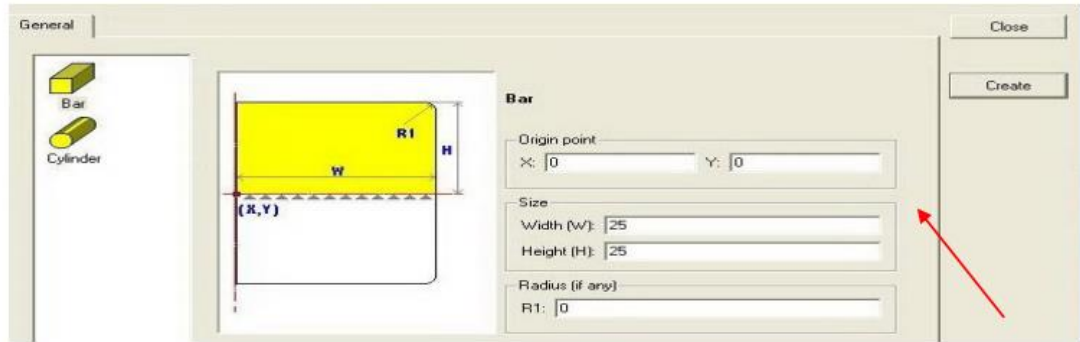


Рисунок 2.11 - Завдання розмірів для паралелепіпеда

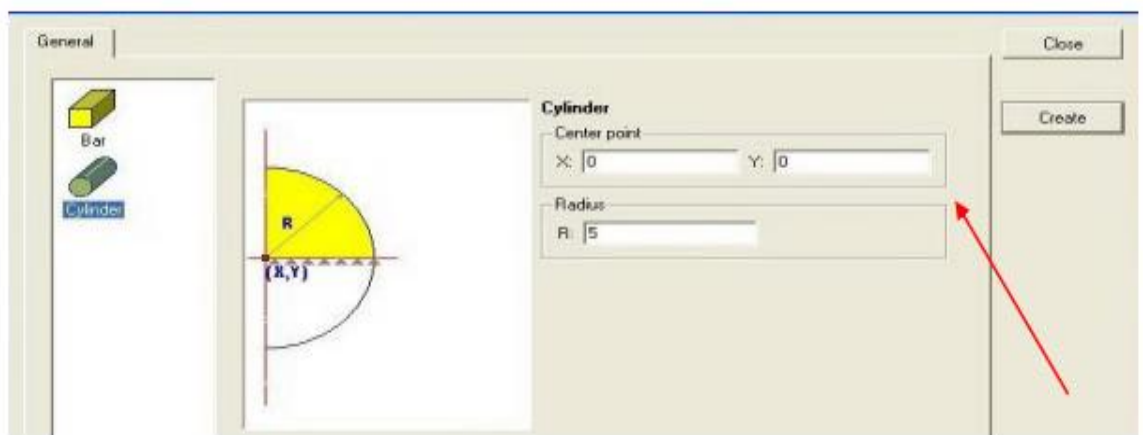


Рисунок 2.12 - Завдання розмірів для циліндра

За допомогою програми SolidWorks можна створювати будь-яку геометрію і імпортувати їх. Після визначення геометрії з'явиться контур заготівлі (рис.2.13).

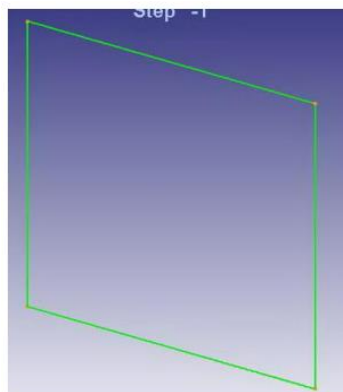


Рисунок 2.13 - Контур заготівлі

По заданому контуру буде побудована 2d модель і згенерована сітка (рис. 2.14).

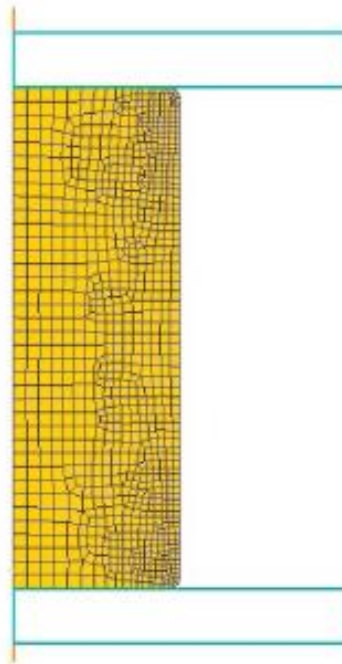


Рисунок 2.14 - 2d модель заготівля з побудованою сіткою

Далі визначуваний матеріал заготівлі (рис. 2.15).

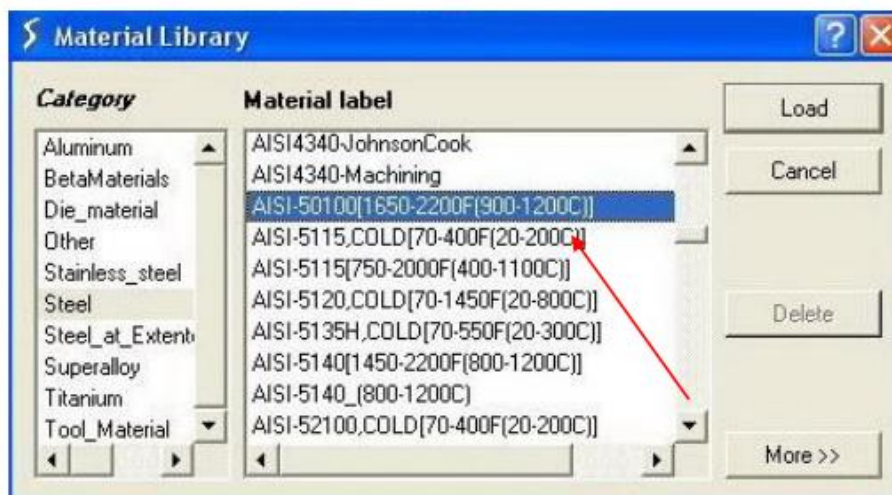


Рисунок 2.15 - Визначення матеріалу заготівлі

Останній етап - це вибір кількості кроків (рис. 2.16).

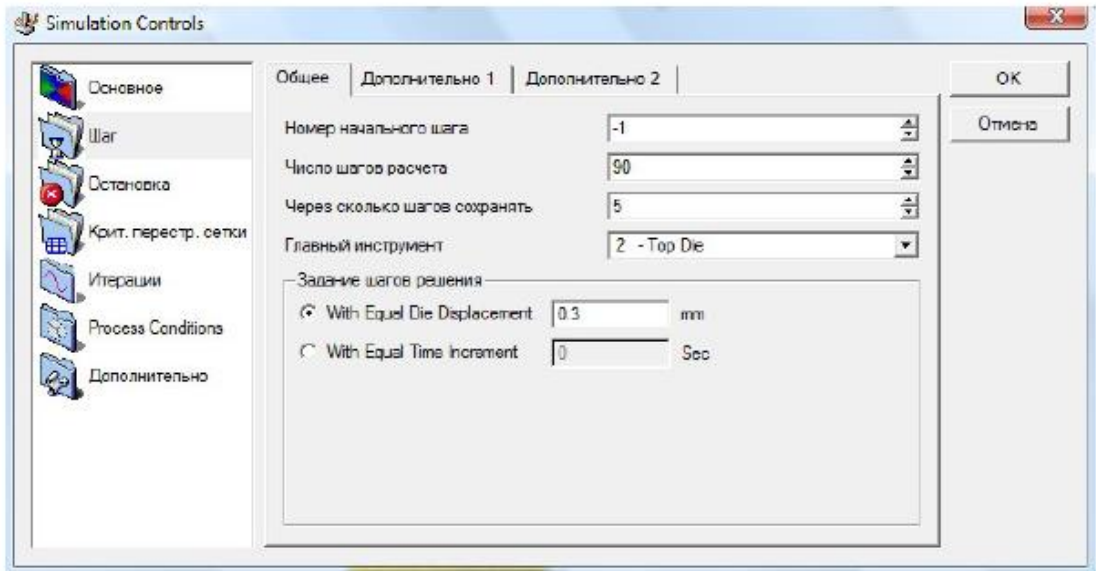


Рисунок 2.16 - Меню введения кількості кроків

Проект готовий, залишилося тільки натиснути кнопку Generate DataBase (рис. 2.17).

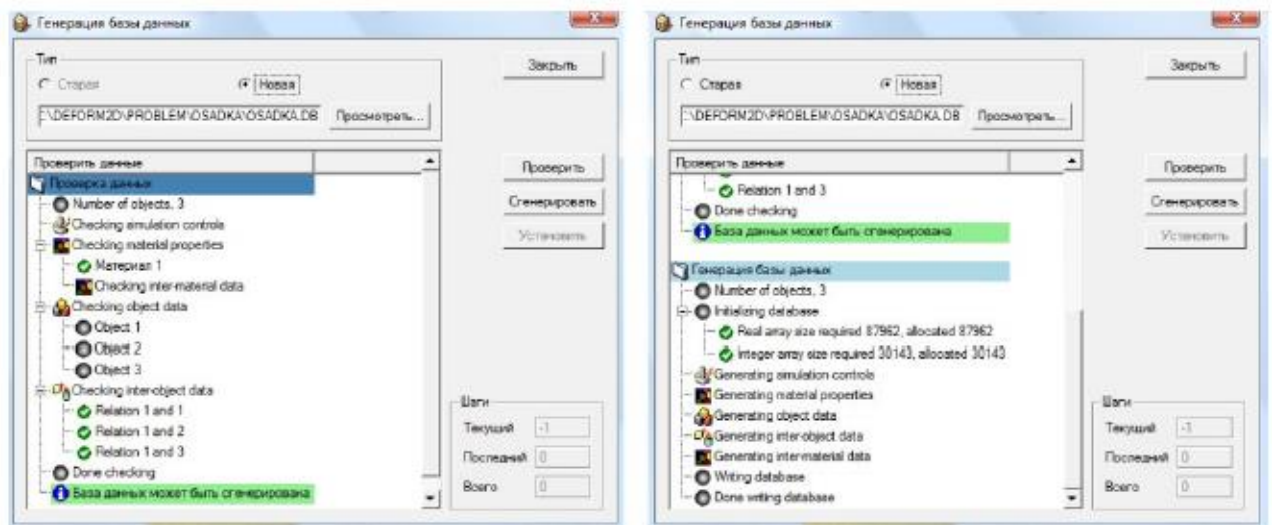


Рисунок 2.17 - Готовий проект і створення бази даних

Після цього база даних з'явиться в списку в головному вікні програми Deform. Але нам потрібне тонше налаштування властивостей, тому ми ще раз відкриємо препроцесор і введемо не вистачає дані.

По-перше, задамо властивості течії металу. Для завдання властивостей вибираємо потрібне нам рівняння течії металу і вводимо константи (рис. 2.18).

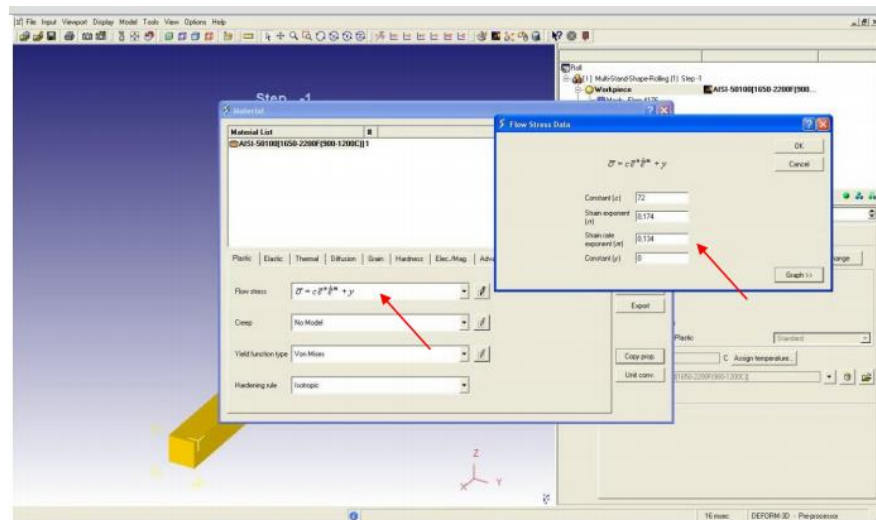


Рисунок 2.18 - Завдання властивостей течії металу

По-друге, задамо тертя між заготівлею і валком (рис. 2.19).

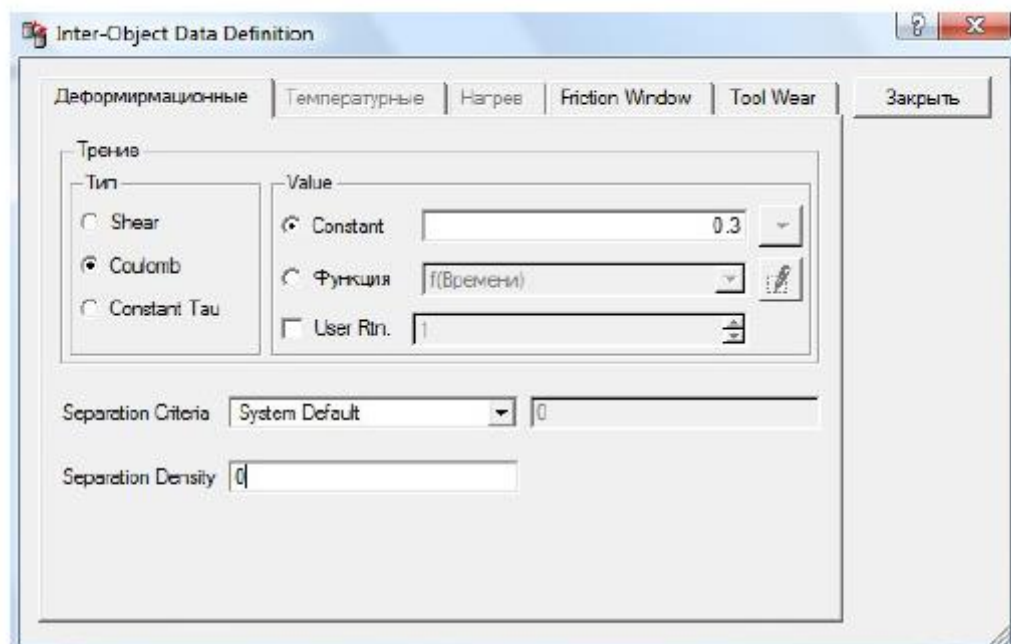


Рисунок 2.19 - Завдання тертя між валком і заготівлею

Ще раз зберігаємо базу даних. На цьому етап препроцесор закінчений, переходимо до процесора (вирішувача). На етапі рішення комп'ютер

здійснює необхідні розрахунки, результат яких можна побачити в постпроцесорі. Для переходу в постпроцесор необхідно в головному меню виділити вже порашовану базу даних і натиснути Deform 2d Post. З'явиться вікно постпроцесора.

У постпроцесорі можна проглянути покроково як проходило прокатування, крутити модель, збільшувати (зменшувати) модель, переглядати різні поля, будувати перерізи, здійснювати стеження за точками і так далі

2.2 Регресійне математичне моделювання

Складання плану експерименту

При складанні плану повного факторного експерименту треба стежити, щоб не було повторів.

Таблиця 2.1 - Матриця повного факторного експерименту 2^3

План	Номер досліду	x_0	x_1	x_2	x_3
2^2	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	-1
	3	1	1	-1	1
	4	1	1	-1	-1
2^3	5	1	-1	1	1
	6	1	-1	1	-1
	7	1	-1	-1	1
	8	1	-1	-1	-1

Фактор, що по значеній « x_0 » - так називаємо фіктивну зміну – уводимо для розрахунку вільного члена шуканої моделі – коефіцієнта – « b_0 ». Після складання таблиці перевіряємо правильність її заповнення. Умова симетричності репліки вимагає, щоб у кожному стовпці знаходилося рівне число мінусів та плюсів. Умова виконується.

Реалізація плану експерименту. Для визначення помилки експерименту досліди слід дублювати. Частіше дублюють не всі досліди, а тільки досліди на основному рівні. В цьому випадку розрахунок дисперсії досліду S_y проводимо по формулі:

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_{0i} - Y_0)^2}{f_1},$$

де n – кількість дублів на основному рівні;

i – номер дубля

Y_{0i} – значення параметра оптимізації в i -ом дублі;

Y_0 – середнє арифметичне результатів всіх дублів;

f_1 – число мір свободи ($f_1 = n-1$)

Для визначення дисперсії досліду було організовано досліди 9 -11 на основному рівні.

Побудова математичної моделі. Після реалізації всіх дослідів матриці планування по їх результатах будують математичну модель процесу, що вивчається. Для цього при використанні повного факторного експерименту розраховуємо коефіцієнти регресії рівняння по формулі:

$$b_j = \sum_{j=1}^n \frac{x_{jn} \cdot Y_n}{N},$$

де b_j – значення j -го коефіцієнта регресії;

x_{jn} – значення j -го чинника в n -ом досліді в кодованому вигляді;

Y_n – значення параметра оптимізації в n -ом досліді;

N – число дослідів в матриці планування.

В результаті одержують модель, яка має наступний вигляд:

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3$$

Статистичний аналіз моделі. Метою аналізу є перевірка придатності моделі для її використання при описі досліджування пористості інтерметалідів.

Аналіз складається з двох етапів. На першому етапі перевіряємо статистичну значущість коефіцієнтів регресії. У статистиці прийнято здійснювати перевірку значущості коефіцієнтів регресії за допомогою критерію Стюдента. Для цього розрахуємо довірчий інтервал коефіцієнтів:

$$\Delta b_i = t_{\alpha, f_1} \cdot S_{b_i}$$

де S_{b_i} – середньоквадратична помилка у визначенні коефіцієнтів регресії;

$$S_{b_i} = \sqrt{\frac{S_y^2}{N}};$$

t_{α, f_1} – значення критерію Стюдента, яке вибирається залежно від рівня значущості α і числа мір свободи при визначенні дисперсії дослідів f_1 .

Значення коефіцієнтів регресії порівнюємо з довірчим інтервалом, і ті що виявляються по абсолютній величині менше довірчого інтервалу, виключаємо з рівняння.

3 ОБРОБКА І ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Отримання математичної моделі інтенсивності напружень від параметрів осадки

Завдання математичного планування експерименту полягає в дослідженні впливу наступних параметрів (фактору форми, швидкості деформації та коефіцієнту укову) на величину інтенсивності напружень в центральній зоні заготовки з метою оптимізації режиму ОМТ (кування) сталей.

Фактори - це змінні, що вар'їруються в завданні, які впливають на зміну параметра оптимізації - властивості. При рішенні завдань оптимізації чудові результати дає метод Бокса-Уілсона.

Метод Бокса-Уілсона включає два етапи:

1) У локальній області зміни факторів навколо центра (основного рівня) начального експерименту за допомогою методу дробових реплік будують лінійну математичну модель процесу.

2) У випадку успіху першого етапу по градієнті отриманої моделі здійснюють круте сходження до області оптимуму.

Загальна схема рішення завдання методом Бокса-Уілсона включає наступні етапи:

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ. Починати треба із формулювання мети дослідження. Формулювання мети припускає насамперед вибір параметра оптимізації. Якщо доводиться оптимізувати одночасно кілька характеристик, то або зводять кілька параметрів оптимізації до одного, або вирішують компромісне завдання. Потім вибирають фактори. Якщо факторів багато (8-10 і більше), то частину їх відсівають експериментальним шляхом. У даному випадку математичного планування факторів, що впливають буде три. Далі вибирають основний (нульовий) рівень і інтервали варіювання факторів.

Інтервал варіювання повинен бути більше подвоєної середньоквадратичної помилки у визначенні фактора.

Параметр оптимізації (Y) – максимальна інтенсивність напружень у центральній частині заготовки.

Завдання оптимізації вирішується у два етапи: на першому здійснюється пошук області оптимуму, для чого застосовується лінійна модель поверхні відгуку; на другому - описи оптимальної області.

Досліджувані фактори, характер їхніх змін і схеми кодування наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Досліджувані фактори

Характеристика	Фактори		
	Коефіцієнт укову	Швидкість деформації, c^{-1}	Фактор форми
Код	X_1	X_2	X_3
Основний рівень	2	5	1,5
Інтервал варіювання	0,5	5	0,5
Нижній рівень (кодоване значення -1, -)	1,5	1	1
Верхній рівень (кодоване значення +1, +)	2,5	10	2

Для побудови плану дробового факторного експерименту в роботі [1] з таблиці 4.3 вибираємо дробову репліку 2^3 наступного виду: abc, c, a, b. Записуємо дробову репліку в розгорнутому виді (табл.3.1.2). Це необхідно, щоб уникнути повторів дослідів.

Дробова репліка має 8 дослідів, що більше кількості факторів на 5, умова виконується.

Фактор, позначений « X_0 » – так називаємо фіктивну змінну – уводимо для розрахунку вільного члена шуканої моделі – коефіцієнт « b_0 ».

Після складання таблиці перевіряємо правильність її заповнення. Умова симетричності репліки вимагає, щоб у кожному стовпці втримувалося рівне число мінусів і плюсів. Умова виконується.

Таблиця 3.2 - Умови проведення дослідів (план експерименту)

Номер дослідів	Значення факторів у кодованому виді			
	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃
1	+	+	+	+
2	+	-	+	+
3	+	+	-	+
4	+	-	-	+
5	+	+	+	-
6	+	-	+	-
7	+	+	-	-
8	+	-	-	-

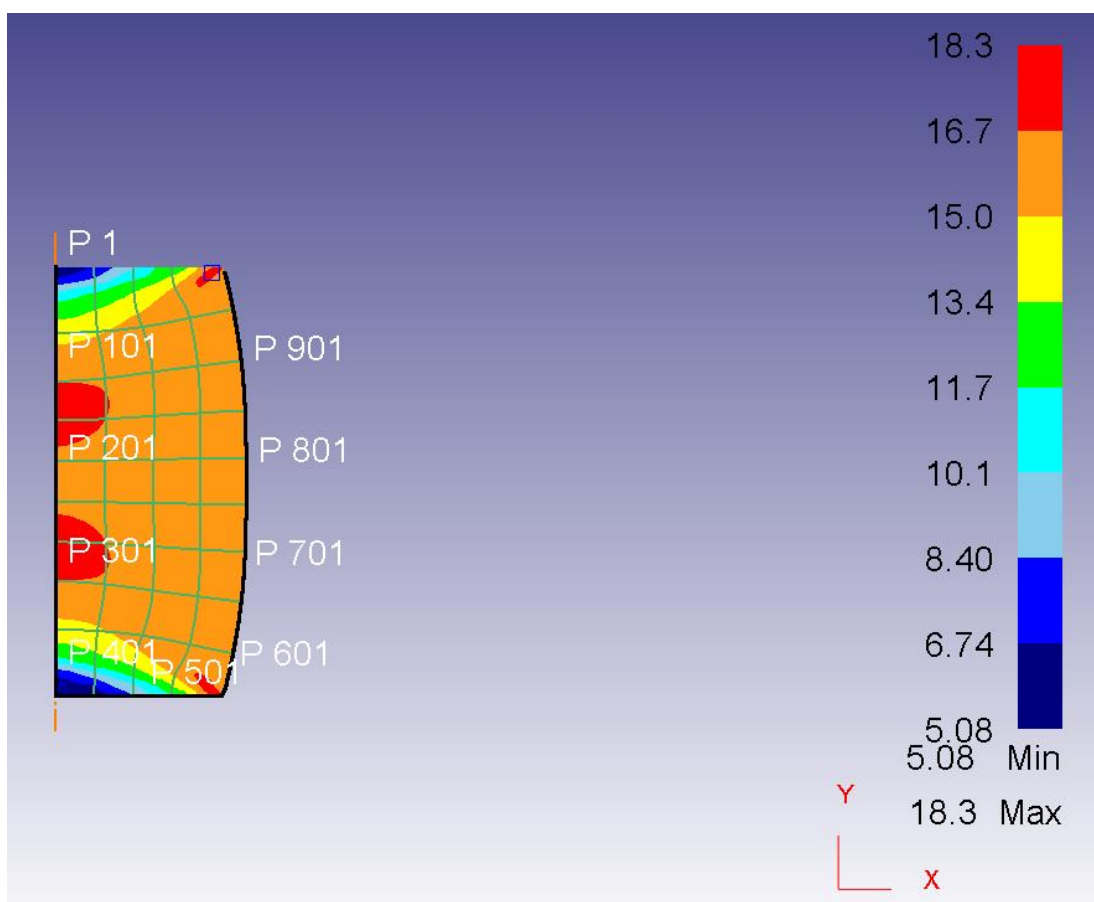


Рисунок 3.1 – Результати моделювання процесу осадки при зміні факторів дослідження за дослідом №1

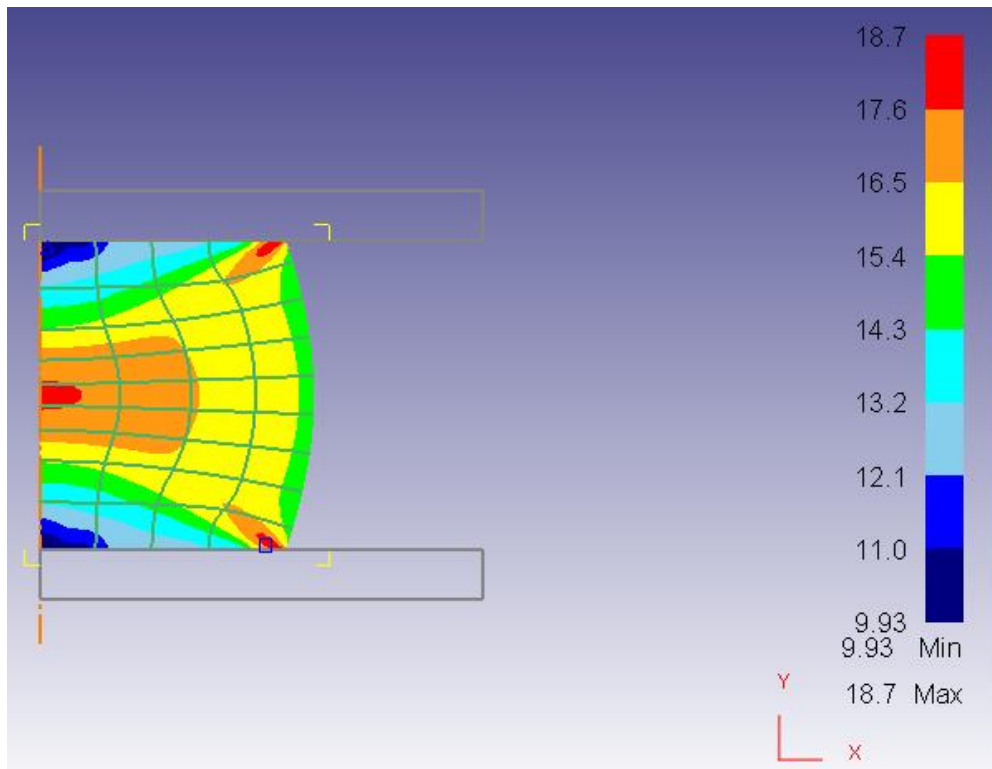


Рисунок 3.2 – Результати моделювання процесу осадки при зміні факторів дослідження за дослідом №2

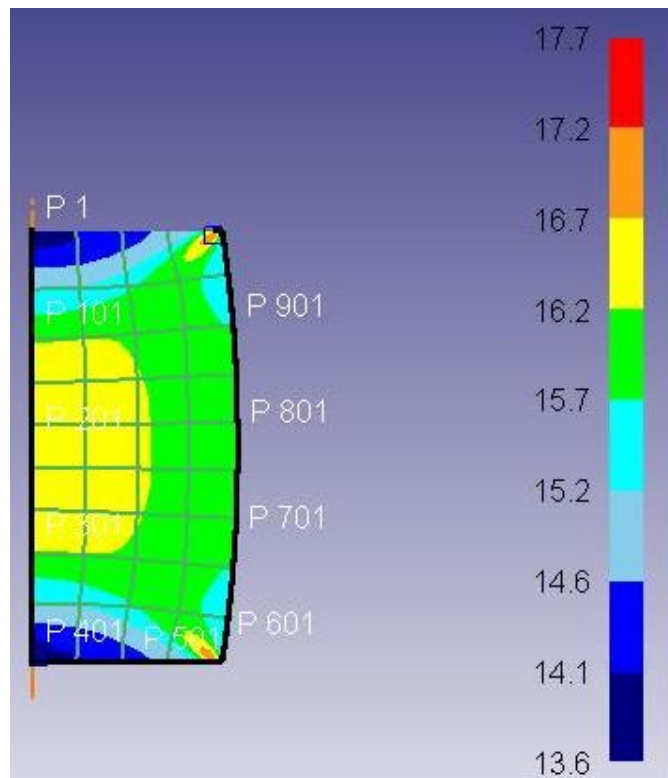


Рисунок 3.3 – Результати моделювання процесу осадки при зміні факторів дослідження за дослідом №6

Реалізація плану експерименту. Для визначення помилки експерименту досвіди варто дублювати. Частіше дублюють не всі досліди, а тільки досліди на основному рівні. У цьому випадку розрахунок дисперсії досвіду S_y проводимо по формулі (3.1):

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_{oi} - Y_o)^2}{f_1} \quad (3.1)$$

де n – кількість дублів на основному рівні;

i – номер дубля;

Y_{oi} – значення параметра оптимізації в i -ом дублі;

Y_o – середнє арифметичне результатів всіх дублів;

f_1 – число ступенів волі ($f_1 = n - 1$).

Під кількістю ступенів волі (варіантністю) системи визначають кількість зовнішніх та внутрішніх факторів, що впливають на стан системи (температуру, тиск, концентрацію), яке можна змінити без зміни кількості фаз в системі.

Для визначення дисперсії досвіду були організовано досліди 9-11 на основному рівні. При цьому отримані наступні значення параметра оптимізації: дослід 9 – 0,67; дослід 10 – 0,68; дослід 11 – 0,70.

Визначаємо S_y^2 . Становимо розрахункову таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 - Розрахункова таблиця дисперсії досвіду

Дослід	y_e	$ y_{oe} - y_o $	Δy_e^2
9	16,7	0,013	0,000169
10	16,8	0,003	0,000009
11	17,0	0,017	0,000289
	$y_o = 16,83$		$\sum \Delta y^2 = 0,000487$

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_{oi} - Y_o)^2}{f_1} = \frac{0,000487}{3 - 1} = 0,000246 ;$$

$$f_1 = n - 1$$

Побудова математичної моделі. Після реалізації всіх досвідів матриці планування по їхніх результатах будують математичну модель досліджуваного процесу. Для цього при використанні ДФЕ розраховуємо коефіцієнти регресії рівняння по формулі:

$$b_j = \sum_{j=1}^n \frac{X_{jn} \cdot Y_n}{N} \quad (3.2)$$

де b_j – значення j -го коефіцієнта регресії;

X_{jn} – значення j -го фактора в n -ом досвіді в кодованому виді;

Y_n – значення параметра оптимізації в n -ом досвіді;

N – число досвідів у матриці планування.

У результаті одержують модель, що має такий вигляд:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_jX_j \quad (3.3)$$

У реалізованій матриці планування отримані наступні результати (табл.3.4).

Таблиця 3.4 - Результати дослідів

Дослід	1	2	3	4	5	6	7	8
Результат	18,3	18,7	19,2	18,2	17,7	16,7	17,6	15,2

По формулі розраховуємо коефіцієнти регресії шуканих моделей.

$$b_0 = 1/8 \cdot [18,3 + 18,7 + 19,2 + 18,2 + 17,7 + 16,7 + 17,6 + 15,2] = 17,7 ;$$

$$b_1 = 1/8 \cdot [18,3 - 18,7 + 19,2 - 18,2 + 17,7 - 16,7 + 17,6 - 15,2] = 0,5 ;$$

$$b_2 = 1/8 \cdot [18,3 + 18,7 - 19,2 - 18,2 + 17,7 + 16,7 - 17,6 - 15,2] = 0,15 ;$$

$$b_3 = 1/8 \cdot [18,3 + 18,7 + 19,2 + 18,2 - 17,7 - 16,7 - 17,6 - 15,2] = 0,9 ;$$

Таким чином, отримана лінійна модель має попередньо наступний вид:

$$y = 17,7 + 0,5 \cdot X_1 + 0,15 \cdot X_2 + 0,9 \cdot X_3$$

Статистичний аналіз моделі. Метою аналізу є перевірка придатності моделі для її використання при описі досліджуваного об'єкта.

Аналіз складається із двох етапів. На першому етапі перевіряємо статистичну значимість коефіцієнтів регресії. У статистику прийнято здійснювати перевірку значимості коефіцієнтів регресії за допомогою критерію Ст'юдента. Для цього розраховуємо довірчий інтервал коефіцієнтів:

$$\Delta b_i = t_{\alpha, f_1} \cdot S_{b_i} \quad (3.4)$$

де S_{b_i} – середньоквадратична помилка у визначенні коефіцієнтів регресії;

$$S_{b_i} = \sqrt{\frac{S_y^2}{N}} \quad (3.5)$$

t_{α, f_1} – значення критерію Ст'юдента, що вибирається залежно від рівня значимості α і числа ступенів волі при визначенні дисперсії досвіду f_1 .

Значення коефіцієнтів регресії порівнюємо з Δb_i і ті, які виявляються від абсолютній величині менше довірчого інтервалу, виключають із рівняння.

На другому етапі остаточно отримане рівняння перевіряємо на адекватність, тобто його придатність для опису об'єкта дослідження.

Розрахуємо довірчий інтервал коефіцієнтів регресії Δb_i . Для цього спочатку визначимо S_{b_i} .

$$S_{b_i} = \sqrt{\frac{0.000246}{8}} = \pm 0.0499$$

Вибираємо для $\alpha = 0,05$ й $f_1 = 2$ значення критерію Ст'юдента, рівне 4,3 [1]. Визначаємо для кожного сплаву довірчий інтервал:

$$\Delta b_i = \pm 4,3 \cdot 0,0499 = \pm 0,21;$$

У такий спосіб у всіх випадках, в отриманих рівняннях коефіцієнт « b_2 » виявився статично не значимим, і рівняння здобувають остаточно наступний вид:

$$y = 17,7 + 0,5 \cdot X_1 + 0,15 \cdot X_2 + 0,9 \cdot X_3$$

Тепер перевіряємо адекватність отриманих моделей у цілому. Для цього підставляємо в отримане рівняння послідовно для всіх досвідів значення « X_i » у кодованому виді, які беремо з таблиці 3.2. Для визначення дисперсності неадекватності становимо розрахункову таблицю 3.5. Таблиця 3.5 становимо виходячи з алгоритму перевірки отриманого рівняння на адекватність, тобто його придатності для опису об'єкта дослідження. Послідовність перевірки така:

1. По отриманій моделі визначають по черзі для всіх досвідів матриці планування розрахункові значення параметра оптимізації ($y_{розр}$). Для цього в рівняння підставляємо значення факторів у кодованому виді;
2. По формулі одержуємо оцінку дисперсії неадекватності:

$$S_{неад}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (y_n^{експер} - y_n^{розр})^2}{f_2} \quad (3.6)$$

де $f_2 = N - K'$, K' – число коефіцієнтів моделі, включаючи b_0 .

3. Визначають розрахункове значення критерію Фішера порівнюють із табличним, котре вибирають із таблиці в роботі [1] залежно від рівня значимості α і числа ступенів волі f_1, f_2 .

$$F_{f_1, f_2}^{\delta i \zeta \delta} = \frac{S_{i \delta \delta \delta}^2}{S_y^2} \quad (3.7)$$

Таблиця 3.5 - Розрахунок дисперсії неадекватності

Дослід	Значення у		Δy	Δy^2
	Експеримент	Розрахунок		
1	18,3	19,25	0,95	0,9025
2	18,7	18,25	0,45	0,2025
3	19,2	18,95	0,25	0,0625
4	18,2	17,95	0,25	0,0625
5	17,7	17,45	0,25	0,0625
6	16,7	16,45	0,25	0,0625
7	17,6	17,45	0,15	0,0225
8	15,2	16,15	0,95	0,9025
				$\Sigma = 2,28$

$$S_{неад}^2 = \frac{2,28}{8-3} = 0.456; F_{f_1, f_2}^{розр} = \frac{0.456}{0.027} = 16.9;$$

З таблиці [1] для $\alpha = 0,05$; $f_1 = 2$ і $f_2 = 1$ знаходимо табличне значення критерію Фішера, рівне 19,3. Таким чином, умова адекватності моделі $F^{\delta i \zeta \delta} < F^{\delta \delta \delta \delta}$ виконується й нею можна користуватися для розрахунку значень середнього розміру зерна алюмінієвих сплавів залежно від умов термообробки. При цьому варто пам'ятати, що отримана модель описує процес термообробки сплавів тільки у вивчених межах варіювання факторів.

Інтерпретація результатів. Отримана адекватна модель дозволяє розрахувати значення параметра оптимізації для будь-якої крапки вивченого факторного простору.

Крім того, отриману залежність можна представити графічно у вигляді впливу окремих факторів на параметр оптимізації. При цьому звичайно будують залежність $y = f(x_i)$ за умови, що всі інші фактори фіксують на постійному рівні. Тоді підставляємо в дане рівняння значення фактора X_2 і X_3 у кодованому виді (зі знаком «-»). Потім у перетворене (спрощене) рівняння підставляємо послідовно значення фактора X_1 на нижньому, основному й верхньому рівнях, тобто $-1; 0; +1$ і одержуємо шуканий графік.

Представимо графічну залежність зневуглецювання від температури нагріву в печі (фактор X_1) для випадку, коли інші $X_j = 0$. Тоді рівняння прийме вид:

$$y = 17,7 + 0,5 \cdot X_1$$

Визначимо y для випадків, коли $X_1 = -1; 0; +1$. Підставимо ці значення в рівняння. Одержимо відповідно значення y , рівні: 17,2; 17,7; 18,2.

Аналогічно представимо графічну залежність зневуглецювання від величини температури кінця кування (фактор X_3) для випадку, коли інші $X_j = 0$. Тоді рівняння прийме вид:

$$y = 17,7 + 0,9 \cdot X_3$$

Визначимо y для випадків, коли $X_3 = -1; 0; +1$. Підставимо ці значення в рівняння. Одержимо відповідно значення y , рівні: 16,8; 17,7; 18,6.

Будуємо графічні залежності величини інтенсивності напружень окремо від кожного фактора: від фактору форми, швидкості деформації та коефіцієнта укову у лінійному виді (рис. 3.4-3.6).

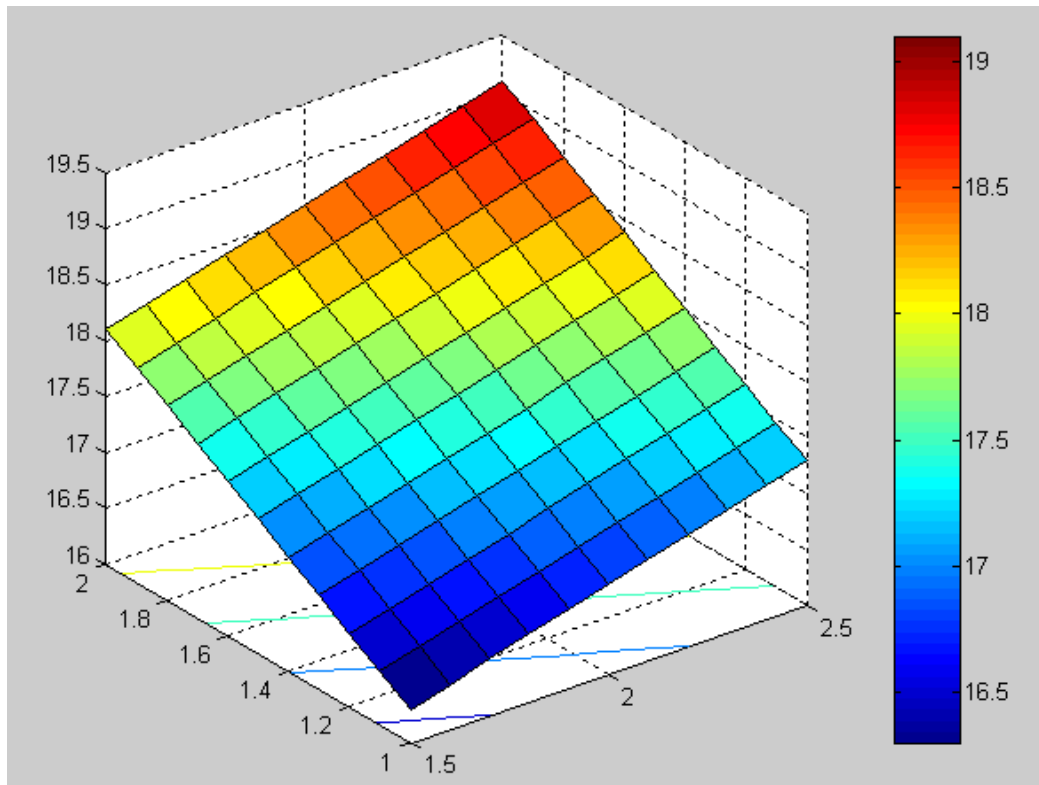


Рисунок 3.4 - Графічна залежність величини інтенсивності напружень від фактору форми і коефіцієнта укова

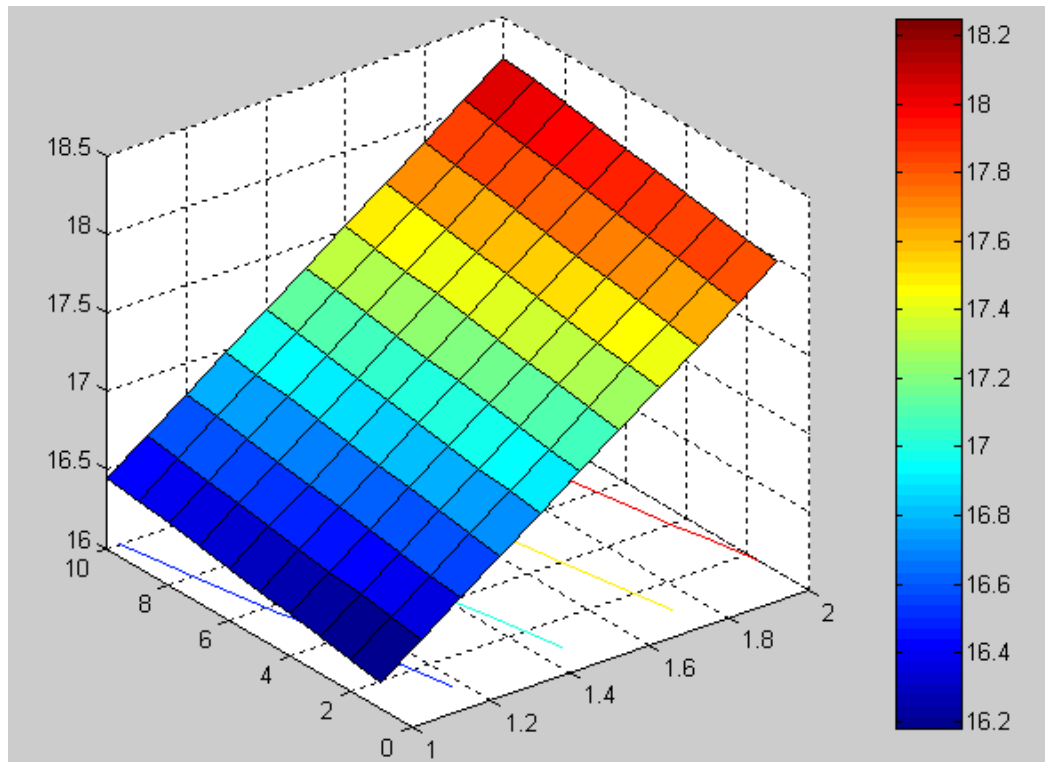


Рисунок 3.5 - Графічна залежність інтенсивності напружень від швидкості деформації та фактору форми

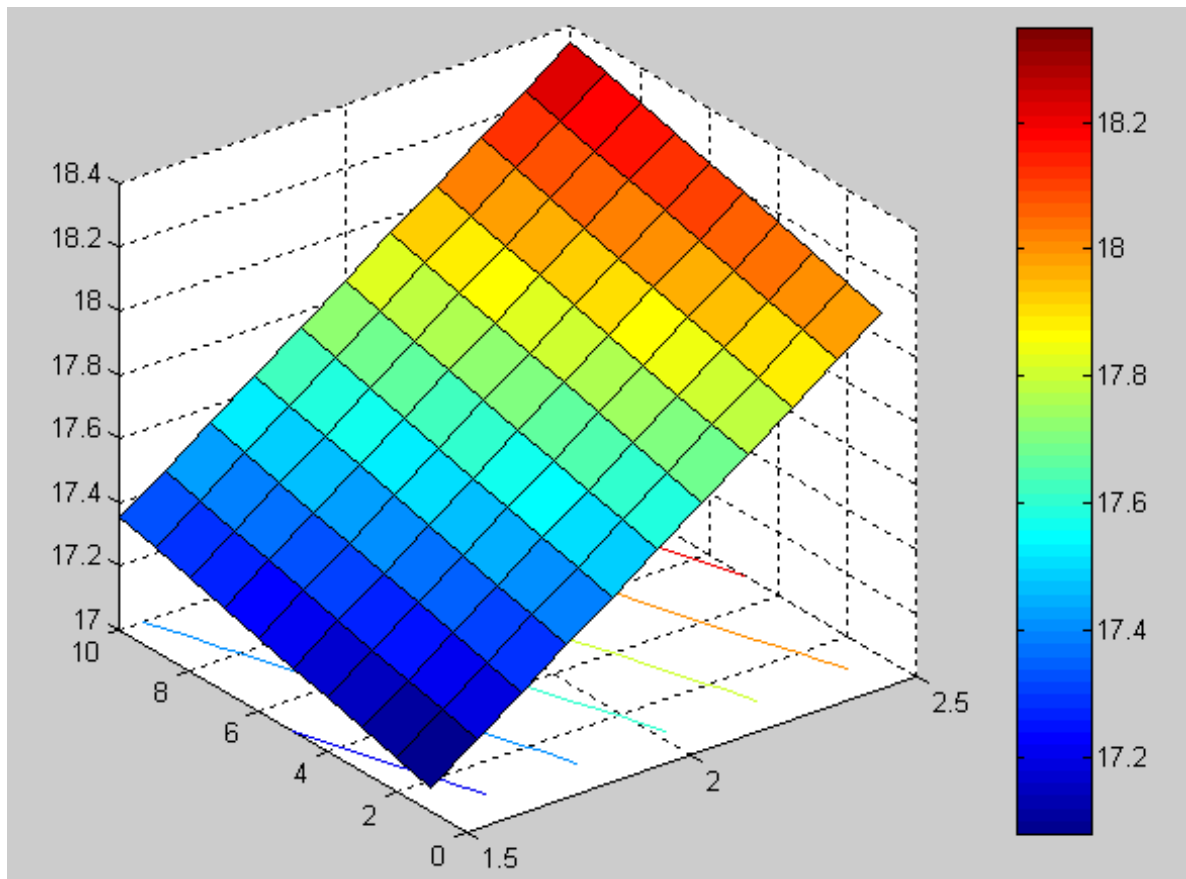


Рисунок 3.6 - Графічна залежність величини інтенсивності деформації від швидкості деформації та коефіцієнту укову

3.2 Отримання математичної моделі механічних властивостей сталі від параметрів осадки

Традиційно сукупність потрібних механічних властивостей сталевих поковок досягається за допомогою комплексного впливу деформації та подальшої термічної обробки, що в свою чергу потребує великих затрат матеріалів та енергії. Однією з причин проведення термічної обробки, зазвичай, є необхідність підвищення рівномірності властивостей і структури по об'єму поковки.

Вільне кування, як один з видів обробки металів тиском (ОМТ), робить можливим отримання складних поковок великих габаритних розмірів з відповідним до висунутих вимог рівнем механічних властивостей. Операція

осадки є одною з основних операцій кування. Основними технологічними параметрами осадки є уков та геометричний фактор (фактор форми) [1]. У рамках оптимізації технологічного процесу кування стає питання можливості отримання необхідних механічних властивостей за рахунок вибору найбільш оптимальних показників деформаційного режиму таким чином, щоб зробити подальше проведення термічної обробки або необхідним за менш складним і витратним режимом, або ж не потрібним в загалі. Для цього потрібно встановити які фактори найбільш впливають на технологічний процес кування та яким чином за допомогою регулювання технологічних параметрів формозміни отримати необхідні властивості поковок.

Дослідження впливу цих параметрів на формування властивостей та структури досі є актуальним. Так за останні роки були проведені дослідження з розподілу нормальних напружень на контактній поверхні при осадці плоскими плитами [2], за допомогою математичного та комп'ютерного моделювання розглянуто процес осадки заготовок плитами різної конфігурації [3] та моделювання осадки циліндричної заготовки з метою виявлення можливих засобів впливу на процес осадки [4]. Однак, взаємозв'язок між технологічними параметрами кування та властивостями та структурою сталевих поковок все ще потребує подальшого дослідження.

Мета дослідження – експериментальне встановлення зв'язку між технологічними параметрами операції осадки та властивостями і мікроструктурою поковок із сталі 20. У якості зразків були обрані циліндри діаметром 32 мм, і висотою 32 та 64 мм. Хімічний склад зразків, що досліджувалися, містить: 0,21% С, 0,23% Si, 0,57% Mn, 0,10% Cr, 0,06% Ni, 0,07% Cu, 0,02% Al, 0,024% S та 0,017% P.

Матеріали і методика дослідження: перед проведенням експерименту було необхідним визначити та розглянути, які параметри технологічного процесу осадки оказують найбільш значний вплив на формування мікроструктури та механічні властивості поковок. Серед всіх параметрів були обрані уков та фактор форми.

Уков, або уковка, характеризує величину та розподіл деформації у об'ємі металу, тобто являє собою еквівалент ступені пропрацювання металу. Чим чистіший і більше однорідний метал, тим при меншому значенні укову досягаються оптимальні структура і механічні характеристики металу в процесі деформації. Для операції осадки уков знаходиться за формулою:

$$y = \frac{H_0}{H_1} \quad (3.8)$$

де F_1 та F_0 – кінцева та початкова площа перетину зразку, мм²;

H_1 та H_0 – кінцева та початкова висота зразку, мм.

Геометричний фактор циліндричної заготовки являє собою відношення висоти заготовки H до діаметру D . Зазвичай для таких заготовок геометричний фактор приймають рівним $H/D \leq 3$ з метою запобігання перекосу їх осьової лінії. Від величини геометричного фактору залежить розподіл напружень у об'ємі заготовки [5].

При проведенні експерименту було досліджено вплив обох факторів з варіюванням на двох рівнях +0,5 та -0,5. В якості незалежних змінних були обрані геометричний фактор (X_1) та уков (X_2). У якості залежних змінних виступили механічні властивості – межа плинності σ_T (Y_1) та тимчасовий опір матеріалу σ_B (Y_2) [6]. Значення технологічних параметрів (незалежних змінних) в натуральному масштабі на усіх рівнях та порядок реалізації експерименту (№ зразку) приведені у таблицях 3.6 і 3.7.

Таблиця 3.6 - Рівні досліджуваних факторів

Фактори	Геометричний фактор, (X_1)	Уков, (X_2)
Основний рівень	1,5	2
Інтервал варіювання	0,5	0,5
Нижній рівень	1	1,5
Верхній рівень	2	2,5

Таблиця 3.7 - Порядок реалізації експерименту

Номер досліду	Значення досліджуваного фактору	
	Геометричний фактор, (X_1)	Уков, (X_2)
1	2	1,5
2	1	1,5
3	2	2,5
4	1	2,5

Нагрівання зразків проводилось у електричній печі опору до температури 1300°C. Процес кування виконувався на пневматичному молоті з масою падаючих частин 50 кг. Необхідний рівень обтиску отримувався за допомогою набору обмежувачів укову. Кожен дослід дублювався тричі і кожній спробі давався свій, індивідуальний номер. Досліди виконувались за один винос без подальшої термічної обробки зразків. Кінцева температура кування склала 850-950°C. Отримані під час експерименту зразки представлено на рисунку 3.7.

Після проведення експерименту для отриманих зразків були проведені випробування на міцність осадкою та отримані дані про механічні характеристики (межа плинності та тимчасовий опір) [7, 8]. Зразки для випробувань були отримані різанням (місце вирізу показано на рисунку 3.7 штриховкою).



Рисунок 3.7 – Зразки після осадки: а) зображення зразків; б) схема проведення аналізу мікроструктури: I – у центрі зразку, II – на боковій поверхні, III – на поверхні контакту з деформуючим інструментом.

У роботі був виконаний загальний якісний аналіз впливу параметрів осадки на рівномірність мікроструктури, що формується по перетину експериментальних зразків. Мікроструктурні дослідження виконані при збільшенні 50-500 крат на шліфах експериментальних зразків після їх механічного полірування та травління у 3%-му спиртовому розчині азотної кислоти. Для виключення впливу можливого знеуглецювання сталі (після нагрівання під деформацію) на її мікроструктуру аналіз поверхневих ділянок зразків виконаний на відстані $\sim 0,5$ мм від їх країв.

Результати досліджень та їх обговорення. Дані випробувань міцності представлені у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 - Залежність показників міцності зразків від параметрів осадки

Номер досліджуваного зразка	Значення досліджуваного фактору		Межа плинності $\sigma_T(Y_1)$, МПа	Тимчасовий опір матеріалу $\sigma_B(Y_2)$, МПа
	Геометричний фактор, (X_1)	Уков, (X_2)		
1	2	1,5	329	624
2	1	1,5	206	670
3	2	2,5	407	600
4	1	2,5	286	614

За даними з випробувань міцності були отримані наступні рівняння регресії:

$$\sigma_T = 307 + 61 \times X_1 + 40 \times X_2; \quad (3.9)$$

$$\sigma_B = 627 - 15 \times X_1 - 20 \times X_2. \quad (3.10)$$

$$\sigma_T = 122X_1 + 80X_2 - 36; \quad (3.11)$$

$$\sigma_B = 752 - 30X_1 - 40X_2. \quad (3.12)$$

Аналіз рівнянь (3.11) і (3.12) свідчить, що фактор форми (X_1) має більший вплив на межу плинності $\sigma_T (Y_1)$ – 60% проти 40% впливу значення укову (X_2), але як геометричний фактор, так і уков разом збільшують величину межі плинності σ_T . На величину тимчасового опору матеріалу $\sigma_B (Y_2)$ вплив укову та геометричного фактору приблизно однаковий, проте зв'язок цих параметрів з величиною σ_B є зворотно пропорційним, отже збільшення укову та геометричного фактору призводить до зменшення тимчасового опору матеріалу.

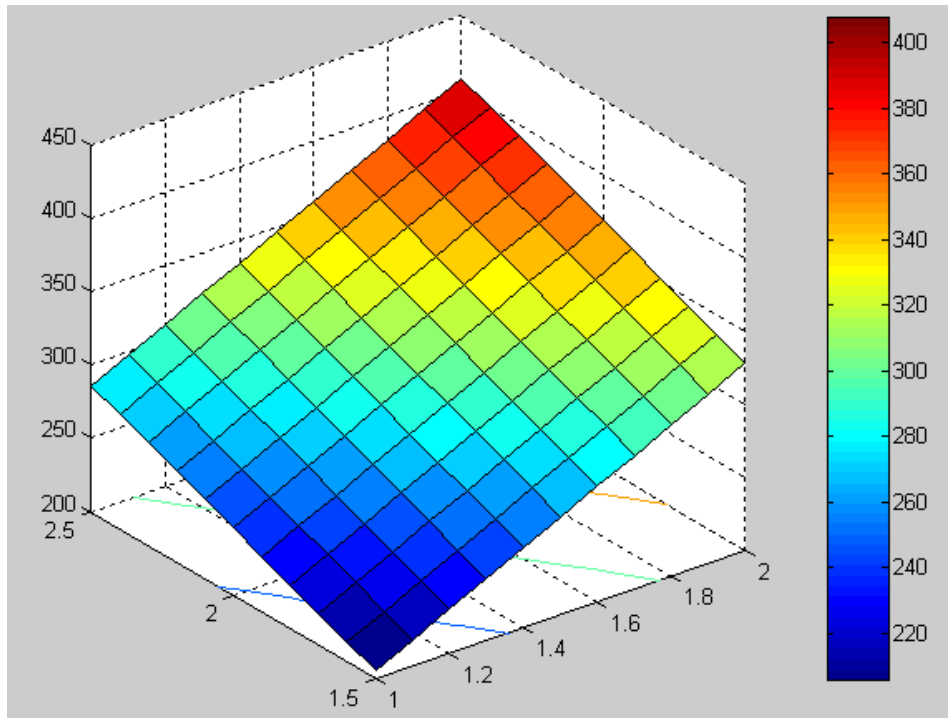


Рисунок 3.8 - Графічна залежність величини границі текучості від фактору форми і коефіцієнту укову

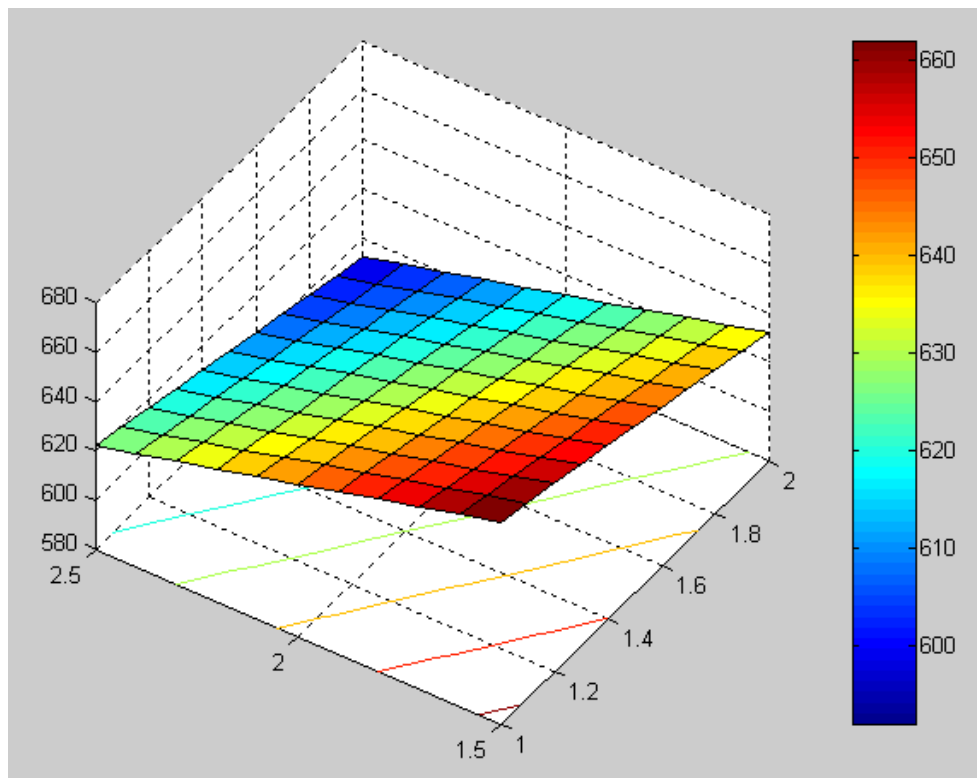


Рисунок 3.9 - Графічна залежність величини границі міцності від фактору форми і коефіцієнту укову

Керуючись тим, що деформаційно-напружений стан при процесі осадки є симетричним відносно центру зразків для аналізу структури зразки були розрізані навпіл та з них було зроблено шліфи. На поверхні отриманих шліфів було обрано характерні зони: у центрі зразку, на боковій поверхні та на площині контакту з інструментом у місці знаходження осьових ліній зразку (рис. 3.7). Отримані при структурному аналізі зображення структур представлено на рисунку 3.10.

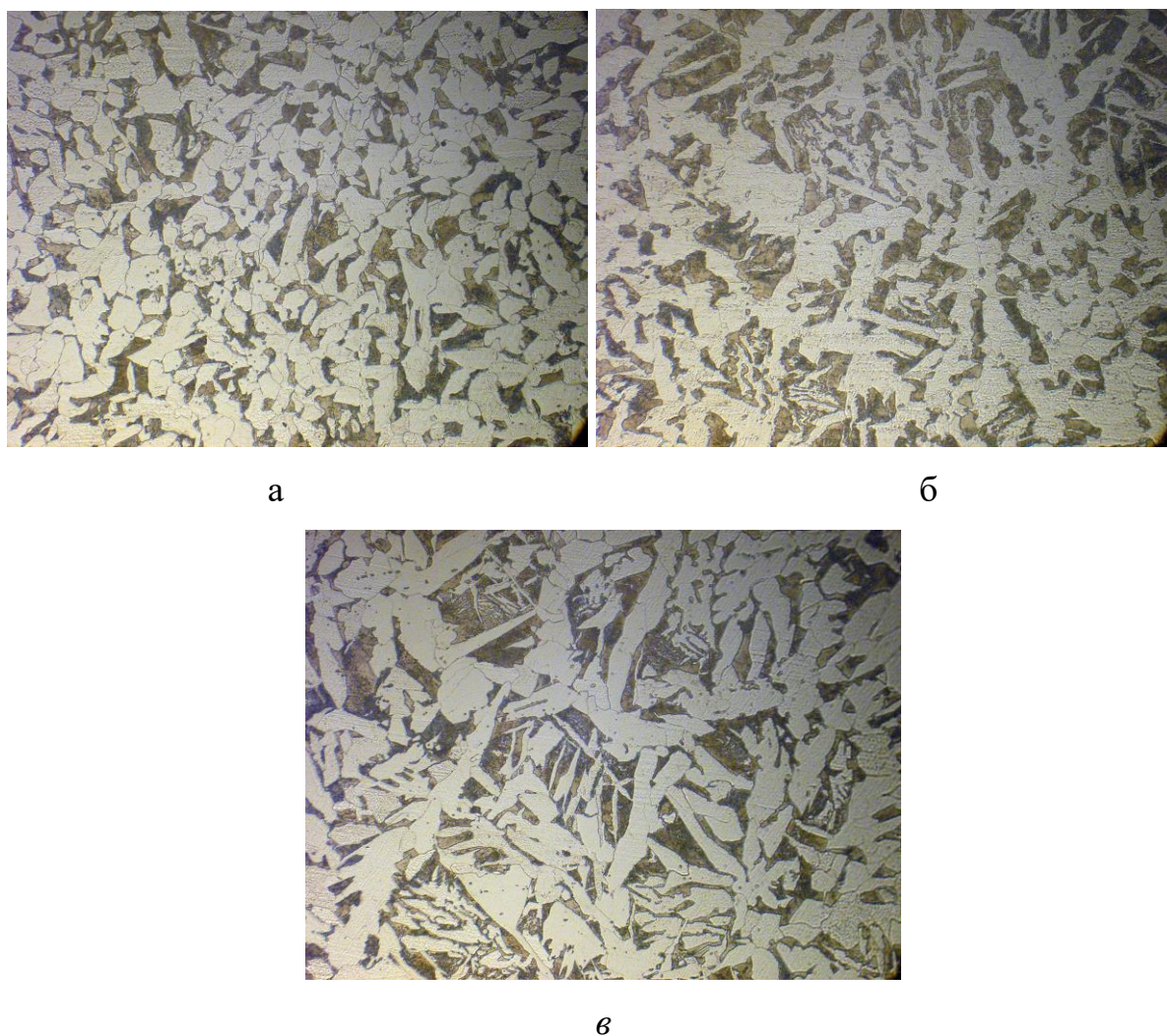


Рисунок 3.10 – Мікроструктура зразків зі сталі 20 після різних режимів осадки (зразок № 1), $\times 250$: *a* - в центральних зонах; *б* - на бічних ділянках; *в* - на поверхнях контакту.

Мікроструктура всіх досліджуваних зразків є ферито-перлітною з більшим розміром перлітних ділянок в поверхневих зонах контакту зразків з деформуючим інструментом у процесі осадки. Структура поверхневих зон має відманштеттову морфологію. Така грубозерниста структура характерна для сталі 20 після високотемпературного нагрівання й уповільненого охолодження без деформації аустеніту або з її мінімальною величиною.

Найбільш дисперсна ферито-перлітна структура утворюється у центральних зонах зразків (рис. 3.10, *a*), що свідчить про найбільш сприятливий вплив деформації аустеніту на подрібнення продуктів його розпаду. Бічні ділянки (рис. 3.10, *б*) мають проміжну мікробудову (розмір зерен фериту, перліту і їх співвідношення) між поверхневими і центральними зонами відповідних зразків.

У зразку № 3 з максимальним впливом геометричного фактора і укову на значення σ_T і мінімальний вплив на σ_B спостерігається найбільший розмір феритних і перлітних ділянок в центральній зоні у порівнянні з іншими зразками. Найбільш дрібнозерниста структура сталі формується в центральній зоні зразка № 2, що має максимальне значення σ_B і мінімальне значення σ_T . У цьому ж зразку, за попередньою оцінкою, мікроструктура центральної і бічної зони приблизно однакова, а мікроструктура поверхні дисперсної щодо інших зразків. Це свідчить про більш рівномірний і ефективний вплив деформації на формування кінцевої структури по перерізу.

З теоретичних основ ОМТ та металознавства відомо, що під час пластичної гарячої деформації металу спостерігається подрібнення зерен. Аналіз отриманих даних показує, що за деякого поєднання показників геометричного фактору і укову, всупроти теоретичним даним, спостерігається зростання зерен. Про це свідчать і ранні дослідження впливу технологічних параметрів операцій кування на мікроструктуру поковок із сталі 3пс [9].

Отже, збільшення величини геометричного фактору та укову призводить до підвищення межі плинності матеріалу та зниження

тимчасового опору матеріалу. Геометричний фактор на відміну від укову має більший вплив на межу плинності матеріалу. Вплив укову і геометричного фактору на показники тимчасового опору матеріалу приблизно однаковий.

Варіювання технологічних параметрів ОМТ опосередковано впливає на процес утворення мікроструктури сталі, тим самим впливає на кінцеві властивості поковок. У об'ємі зразків можна виділити три характерні зони: центральна зона, зона контакту з деформуючим інструментом та бічна зона. Наявність цих зон обумовлена нерівномірністю розподілу накопиченої деформації. Розміри зон залежать від вихідних та кінцевих розмірів зразків, тобто фактору форми, а також від величини напружень діючих у обсязі металу під час деформації. У зоні контакту з інструментом деформація металу ускладнюється дією сил тертя. Структура у цій зоні має менш однорідна та менш дисперсна. У центральній зоні спостерігається всебічне стиснення і структура є більш однорідною, оскільки такий деформаційно-напружений стан є найбільш вигідним для формування однорідної та високодисперсної структури. Бічна зона є проміжною між центральною зоною та зоною контакту з деформуючим інструментом за своєю структурою. Однак за оптимального режиму деформації мікроструктура центральної і бічної зони приблизно однакова, а отже приблизно однакові і механічні властивості.

3.3 Вибір нагрівального пристрою для кування

Нагрів злитків і поковок перед куванням на пресі виконується на ділянці за допомогою печей двох видів:

- нагрівальна камерна піч із стаціонарним черенем площею 13,5 м²;
- термічна піч з черенем, викочування, площею 18,6 м².

Піч з черенем, викочування, призначена для нагріву злитків і поковок перед куванням.

Піч опалюється природним газом з теплотворною здатністю 8589 ккал/м³. Склад сухого газу: 0,285% CO₂, 97,063% CH₄, 1,676% C₂H₄, 0,976% N₂. Для спалювання газу піч обладнана двопровідними пальниками ГНП-4, встановленими в обох бічних стінах в два ряди по висоті. У кожному ряду встановлено 8 пальників, об'єднаних в регульовані групи - верхню і нижню. Верхні пальники розташовані під кутом 20° до горизонту на висоті 1270 мм від череня. Нижні пальники розташовані на рівні череня.

Для оберігання металу від прямої дії факела топки нижніх пальників екрановані від робочого простору вогнетривкою стінкою завтовшки 116 мм з отворами для виходу газу. Відбір димових газів проводиться з рівня череня через димові канали, об'єднані під піччю збірними свинями, сполученими із загальною свинею. Для енергозбереження в загальній свині встановлений металевий трубчастий петлевий рекуператор. Тяга забезпечується димарем, загальним для групи печей. Подача повітря на горіння здійснюється установкою, що складається з трьох вентиляторів, типу ВМ-50/1000- 1Б.

Продуктивність печі складає 3,6 т/час.

Початковими даними для розрахунку є:

- максимальні розміри заготовок, використовувані для отримання поковок в технологічному процесі, що розглядається в дипломній роботі: 650x650x2055 мм;
- температура нагріву заготовок перед куванням - 1160 °С;
- матеріал заготовок - сталь Х12МФ ГОСТ5950-73;
- продуктивність печі 3,6 т/час;
- склад палива: 0,285% CO₂, 97,063% CH₄, 1,676% C₂H₄, 0,976% N₂;
- коефіцієнт витрати повітря - 1,1;
- теплота згорання палива $Q_{PH} = 35906$ кДж/м³;
- температура підігріву повітря $t_b = 250$ С.

Розрахунок горіння палива

Теоретична витрата повітря на 1 м³ спалюваного палива:

$$LT = 0,0476 \cdot (2\text{CH}_4 + 3\text{C}_2\text{H}_4) \quad (3.13)$$

де $\text{CH}_4=97,063\%$ - вміст метану в паливі;

$\text{C}_2\text{H}_4=1,676\%$ - вміст неграничних вуглеводнів в паливі.

$$LT = 0,0476 \cdot (2 \cdot 97,063 + 3 \cdot 1,676) = 9,48 \text{ м}^3$$

Об'єм продуктів горіння при спалюванні палива з теоретичною витратою повітря:

$$V_{\text{CO}_2} = 0,01 \cdot (\text{CH}_4 + 2\text{C}_2\text{H}_4 + \text{CO}_2) \quad (3.14)$$

де V_{CO_2} - об'єм діоксиду вуглецю, м^3 ;

$\text{CO}_2=0,285\%$ - вміст діоксиду вуглецю в паливі, м^3 .

$$V_{\text{CO}_2} = 0,01 \cdot (97,063 + 2 \cdot 1,676 + 0,285) = 1,01 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,01 \cdot (2\text{CH}_4 + 2\text{C}_2\text{H}_4) \quad (3.15)$$

де $V_{\text{H}_2\text{O}}$ - об'єм пари води, м^3 .

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,01 \cdot (2 \cdot 97,063 + 2 \cdot 1,676) = 1,97 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{N}_2} = 0,01 \cdot (\text{N}_2 + 79 - LT) \quad (3.16)$$

де - об'єм азоту м^3 ;

$\text{N}_2=0,976\%$ - вміст азоту в паливі.

$$V_{\text{N}_2} = 0,01 \cdot (0,976 + 79 \cdot 9,48) = 7,5 \text{ м}^3$$

$$V_T = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} \quad (3.17)$$

$$V_T = 1,01 + 1,97 + 7,5 = 10,48 \text{ м}^3.$$

Дійсний вихід продуктів горіння:

$$V_{\partial} = V_T + (\alpha_y - 1) \cdot LT \quad (3.18)$$

де $\alpha = 1,1$ - коефіцієнт витрати повітря.

$$V_{\partial} = 10,48 + (1,1 - 1) \cdot 9,48 = 11,43 \text{ м}^3$$

Склад продуктів горіння:

$$CO_2 = \frac{V_{CO_2}}{V_{\partial}} \cdot 100\% \quad (3.19)$$

$$CO_2 = \frac{1,01}{11,43} \cdot 100\% = 8,84\%$$

$$H_2O = \frac{V_{H_2O}}{V_{\partial}} \cdot 100\% \quad (3.20)$$

$$H_2O = \frac{V_{H_2O}}{V_{\partial}} \cdot 100\%$$

$$H_2O = \frac{1,97}{11,43} \cdot 100\% = 17,24\%$$

$$N_2 = \frac{V_{N_2}}{V_{\partial}} \cdot 100\% \quad (3.21)$$

$$N_2 = \frac{7,5}{11,43} \cdot 100\% = 65,62\%$$

$$O_2 = 100\% - CO_2 - H_2O - N_2 \quad (3.22)$$

$$O_2 = 100\% - 8,84\% - 17,24\% - 65,62\% = 8,3\%$$

Щільність продуктів горіння:

$$\rho_0 = \frac{0,01 \cdot (44 \cdot CO_2 + 18 \cdot H_2O + 32 \cdot O_2 + 28 \cdot N_2)}{22,4} \quad (3.23)$$

$$\rho_0 = \frac{0,01 \cdot (44 \cdot 8,84 + 18 \cdot 17,24 + 32 \cdot 8,3 + 28 \cdot 65,62)}{22,4} = 1,25 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Калометрична температура горіння палива:

$$t_{\kappa} = \frac{Q_n^p}{V_T \cdot C} \quad (3.24)$$

де $Q_n^p = 35906 \text{ кДж/м}^3$ - теплота горіння палива;

$C = 1,66 \text{ кДж/м}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$ - питома теплоємність продуктів згорання.

$$t_{\kappa} = \frac{35906}{10,48 \cdot 1,66} = 2064 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Дійсна температура горіння палива:

$$t_{\text{д}} = \eta \cdot t_{\kappa} \quad (3.25)$$

де $\eta = 0,65 \cdot 0,8$ - пірометричний коефіцієнт, залежний від конструкції і теплового режиму печі, приймаю $\eta = 0,65$.

$$t_{\text{д}} = 0,65 \cdot 2064 = 1342 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Визначення розмірів камери печі

Піч з черенем, викочування, є піччю періодичної дії. Конструктивні розміри робочої камери визначаються розташуванням і габаритними розмірами садіння, що складається з декількох заготовок

Ширина камери печі визначається по формулі.

$$B = n \cdot d + (n - 1) \cdot a + 2 \cdot b \quad (3.26)$$

де n - число заготівель у ряді, $n=3$ шт ;

$d = 0,65$ м - ширина заготівлі,

$a = 0,5d$ - зазор між заготівлями, м;

$b = 0,2$ м - відстань між заготівлею й стінкою.

$$B = 2 \cdot 0,65 + (3-1) \cdot 0,325 + 2 \cdot 0,2 = 3 \text{ м}$$

Довжина поду приймається на $0,1 \dots 0,2$ м більше довжини заготівель. Тому що заготівлі лежать у три ряди, і максимальна довжина злитка, використовуюваного як заготівля для кувань, технологічний процес одержання яких розробляється в дипломній роботі, становить $2,055$ м, те довжина поду становить:

$$L = 3 \cdot 2,055 + 0,1 = 6,265 \text{ м}$$

Площа поду печі визначається по формулі:

$$F_n = B \cdot L \quad (3.27)$$

$$F_n = 3 \cdot 6,265 = 18,8 \text{ м}$$

Висота печі визначається по формулі:

$$H = (A + 0,5 \cdot B) \cdot t_{\Gamma} \cdot 10^{-3} \quad (3.28)$$

де $A = 0,6$ - коефіцієнт для печей з температурою газів $900 \dots 1500 \text{ }^{\circ}\text{C}$,
 $t_{\Gamma} = 1342 \text{ }^{\circ}\text{C}$ - температура газів у печі.

$$H = (0,6 + 0,5 \cdot 3) \cdot 1342 \cdot 10^{-3} = 2,44 \text{ м}$$

Обсяг робочого простору, заповнений газом

$$V = F n H \quad (3.29)$$

$$V = 18,8 \cdot 2,44 = 45,87 \text{ м}^3$$

Креслення загального виду нагрівальної печі з черенем, викочування, представлено в графічній частині дипломного проекту.

Розрахунок теплового балансу

Прибуткові статті:

1. Хімічна теплота палива.

$$Q_x = B \cdot Q_n^p = 35906 \text{ В кВТ}$$

2. Фізична теплота повітря:

$$Q_v = L \delta \cdot C_v \cdot t_v \cdot B \quad (3.30)$$

де $L \delta = \alpha_y \cdot L T$ - дійсна витрата повітря на одиницю палива, м^3

$\alpha_y = 1,05 \dots 1,15$ - коефіцієнт витрати повітря, приймаю $\epsilon = 1,1$;

$C_v = 1290 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \text{ }^{\circ}\text{C})$ - теплоємність повітря;

$t_v = 250 \text{ }^{\circ}\text{C}$ - температура підігріву повітря.

$$L\delta = 1,1 \cdot 9,48 = 10,42 \text{ м}^3$$

$$Q_v = 10,42 \cdot 1290 \cdot 250 \text{ В} = 3360,45 \text{ В кВт}$$

3. Теплота екзотермічних реакцій окислення сталі:

$$Q_{\text{экз}} = 56,5 \cdot G \cdot a \quad (3.31)$$

де $G = 3,6 \text{ т/ч} = 1 \text{ кг/с}$ - продуктивність печі;

$a = 3\%$ - величина чаду сталі.

$$Q_{\text{экз}} = 56,5 \cdot 1 \cdot 0,03 = 1,695 \text{ кВт}$$

Витратні статті:

1. Витрата теплоти на нагрів металу:

$$Q_M = G \cdot C \cdot (t_2 - t_1) \quad (3.32)$$

де $C = 0,66 \text{ кДж/(кг}^\circ\text{С)}$ середня теплоємність високовуглецевої сталі Х12МФ

$t_2 = 1160 \text{ }^\circ\text{С}$ - кінцева температура металу

$t_1 = 600 \text{ }^\circ\text{С}$ - початкова температура металу, під час вступу його гарячим всадом.

$$Q_M = 1 \cdot 0,66 \cdot (1160 - 600) = 369,6 \text{ кВт}$$

2. Втрати теплоти з продуктами згорання, що йдуть:

$$Q_{\text{yx}} = B \cdot V \cdot C_d \cdot t \quad (3.33)$$

де $C_d = 1,57 \text{ кДж/(кг}^\circ\text{С)}$ - середня теплоємність продуктів згорання;

$t_{\Gamma} = 1250 \text{ }^{\circ}\text{C}$ - температура газів, що видаляються з печі.

$$Q_{yx} = V \cdot 11,43 \cdot 1,57 \cdot 1250 = 22431,4 \text{ В кВТ}$$

3. Втрати теплоти унаслідок хімічної неповноти згорання:

$$Q_{xn} = V \cdot q_x \cdot Q_n^p \quad (3.34)$$

де $q_x = 1,01 \dots 1,03$ - частка нижчої робочої теплоти згорання палива при спалюванні газів, приймаю $q_x = 0,02$.

$$Q_{xn} = V \cdot 0,02 \cdot 35906 = 718,12 \text{ В кВТ}$$

4. Втрати теплоти через кладку печі. Вони є сумою втрат через зведення, під і стінки печі:

$$Q_{кл} = \frac{(t_g - t_v) \cdot F}{\frac{1}{\alpha_g} + \sum_1^n \frac{S_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_n}} \quad (3.35)$$

де t_g і t_v - відповідно температура пічних газів і повітря навколишнього середовища $^{\circ}\text{C}$;

F - площа поверхні кладки, м^2 ;

S_i - товщина шару, м ;

λ_i - теплопровідність шару, $\text{Вт}/(\text{м } ^{\circ}\text{C})$;

α_n - коефіцієнт тепловіддачі: для зведення $\alpha_n = 35 \text{ Вт}/(\text{м } ^{\circ}\text{C})$, для стінок $\alpha_n = 25 \text{ Вт}/(\text{м } ^{\circ}\text{C})$, для череня $\alpha_n = 15 \text{ Вт}/(\text{м } ^{\circ}\text{C})$.

Піч має тришарову кладку. Температура проміжного шару:

$$t_2 = 0,5 \cdot (t_g + t_v) \quad (3.36)$$

де $t_{\Gamma} = 1342 \text{ }^{\circ}\text{C}$ - температура пічних газів;

$t_{\text{в}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ - температура повітря навколо печі.

$$t_2 = 0,5 \cdot (1342 + 20) = 681 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Температура внутрішнього шару:

$$t_1 = 0,5 \cdot (t_{\Gamma} + t_2) \quad (3.37)$$

$$t_1 = 0,5 \cdot (1342 + 681) = 1011,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Температура зовнішнього шару:

$$t_3 = 0,5 (t_2 + t_{\text{в}}) \quad (3.38)$$

$$t_3 = 0,5 \cdot (681 + 20) = 350,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Значення теплопроводностей шарів для тришарової кладки визначаємо виходячи з того, що матеріалом внутрішнього шару є магнезит, проміжного - шамот, а зовнішнього – діатоміт.

Теплопровідність внутрішнього шару:

$$\lambda_1 = 7,2 - 4,2 \cdot 10^{-4} \cdot t_1 \quad (3.39)$$

$$\lambda_1 = 7,2 - 4,2 \cdot 10^{-4} \cdot 1011,5 = 2,95$$

Теплопровідність проміжного шару:

$$\lambda_2 = 1,04 + 1,51 \cdot 10^{-4} \cdot t_2 \quad (3.40)$$

$$\lambda_2 = 1,04 + 1,51 \cdot 10^{-4} \cdot 681 = 1,14$$

Теплопровідність зовнішнього шару

$$\lambda_3 = 0,16 + 3,1510^{-4} \cdot t_3 \quad (3.41)$$

$$\lambda_3 = 0,16 + 3,15 \cdot 10^{-4} \cdot 350,5 = 0,27$$

Товщина шарів кладки череня рівна: $S_1 = 0,21$ м $S_2 = 0,21$ м $S_3 = 0,116$ м, зведення $S_1 = 0,3$ м $S_3 = 0,181$ м, стін $S_1 = 0,232$ м $S_2 = 0,116$ м $S_3 = 0,116$ м.

Площа череня $F_{\text{ч}} = 18,8$ м², площа зведення $F_{\text{зв}} = 18,8$ м², площа поверхні бічних стін $F_{\text{бс}} = 30,6$ м², площа поверхні торцевих стін $F_{\text{тс}} = 14,6$ м².

Втрати теплоти зведенням визначаються по формулі (3.13):

$$Q_{\text{зв}} = \frac{(1342 - 20) \cdot 18,8}{0,005 + \frac{0,3}{2,95} + \frac{0,181}{0,27} + \frac{1}{35}} = 30912 \text{ Вт}$$

Втрати теплоти черенем визначаються по формулі (3.13)

$$Q_{\text{ч}} = \frac{(1342 - 20) \cdot 18,8}{0,005 + \frac{0,21}{2,95} + \frac{0,21}{1,14} + \frac{0,116}{0,27} + \frac{1}{15}} = 32616 \text{ Вт}$$

Втрати теплоти бічними стінками печі визначаються по формулі (3.13)

$$Q_{\text{бс}} = \frac{(1342 - 20) \cdot 30,6}{0,005 + \frac{0,232}{2,95} + \frac{0,116}{1,14} + \frac{0,116}{0,27} + \frac{1}{25}} = 61761 \text{ Вт}$$

Втрати теплоти торцевими стінками печі визначаються по формулі (3.13)

$$Q_{mc} = \frac{(1342 - 20) \cdot 14,6}{0,005 + \frac{0,232}{2,95} + \frac{0,116}{1,14} + \frac{0,116}{0,27} + \frac{1}{25}} = 29467 \text{ Вт}$$

Сумарні втрати теплоти кладкою в навколишнє середовище складуть:

$$Q_{кл} = Q_{св} + Q_{нод} + Q_{бс} + Q_{mc} \quad (3.42)$$

$$Q_{кл} = 30912 + 32616 + 61761 + 29467 = 154756 \text{ Вт}$$

5. Невраховані втрати теплоти. Їх приймають рівними 10% від втрат теплоти через кладку печі:

$$Q_{нп} = 0,1 \cdot Q_{кл} = 15,48 \text{ кВт}$$

Рівняння теплового балансу матиме наступний вигляд:

$$Q_x + Q_v + Q_{экз} = Q_m + Q_{ух} + Q_{хн} + Q_{кл} + Q_{нп} \quad (3.43)$$

Підставивши в рівняння (3.43) значення прибуткових і витратних статей теплового балансу знаходимо витрату палива V , $\text{м}^3/\text{с}$:

$$35906V + 3360,45V + 1,695 = 369,6 + 22431,4V + 718,12V + 154,756 + 15,48$$

$$V = 0,033 \text{ м}^3/\text{с}$$

Значення статей балансу, пов'язаних з витратою палива V :

$$Q_x = 35906 \cdot 0,033 = 1184,9 \text{ кВт}$$

$$Q_v = 3360,45 \cdot 0,033 = 110,9 \text{ кВт}$$

$$Q_{ух} = 22431,4 \cdot 0,033 = 740,2 \text{ кВт}$$

$$Q_{xn} = 718,12 \cdot 0,033 = 23,7 \text{ кВт}$$

Розрахунок теплового балансу печі представлений в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Тепловий баланс печі

Найменування статей балансу	Умовне позначення	Величини статей балансу	
		кВт	%
Прибуткові статті			
Хімічна теплота палива	Q_x	1184,9	91,32
Теплота підігрітого повітря	Q_v	110,9	8,55
Теплота екзотермічних реакцій	$Q_{екз}$	1,695	0,13
Разом	$Q_{пр}$	1297,5	100
Витратні статті			
Витрата теплоти і нагрів металу	Q_m	369,6	28,35
Втрати теплоти з продуктами згорання, що йдуть	$Q_{ух}$	740,2	56,77
Втрати теплоти унаслідок хімічної неповноти згорання	Q_{xn}	23,7	1,82
Втрати теплоти через кладку	$Q_{кл}$	154,8	11,87
Невраховані втрати теплоти	$Q_{нп}$	15,5	1,19
Разом	$Q_{расх}$	1303,8	100

Невідповідність підсумкових величин прибуткових і витратних статей теплового балансу викликана досить приблизним визначенням неврахованих втрат теплоти. Проте погрішність розрахунків в цьому випадку складає не більше 1%, що цілком допустимо при інженерних розрахунках

Термічний ККД печі визначається як відношення теплоти, одержаної металом, до теплоти спалювання палива:

$$\eta = \frac{Q_x}{Q_m} \cdot 100\% \quad (3.44)$$

$$\eta = \frac{369,6}{1184,9} \cdot 100\% = 31,2\%$$

3.4 Дослідження температурного інтервалу кування

Температурний інтервал кування - це різниця між максимальною температурою нагріву металу в печі і температурою закінчення кування.

Для сталі температура металу перед видачею на кування складає 1160 °С, а температура кінця кування - 850 °С [7]

Злитки із сталі поступають на ділянку в гарячому і холодному стані.

Для нагріву злитків до кувальної температури існують певні режими нагріву. Для злитків із сталі гарячого посаду [26]:

- максимальна температура печі при посадці - 1000 °С;
- витримка при температурі посадки - 1 годину 30 хв;
- нагрів до заданої температури - 2 години 50 хв;
- витримка при заданій температурі - 2 години 40 хв;
- загальна тривалість нагріву - 7 годин.

Для злитків холодного посаду:

- максимальна температура печі при посадці - 700 °С;
- витримка при температурі посадки - 2 години 10 хв;
- нагрів до заданої температури - 10 годин 30 хв;
- витримка при заданій температурі - 2 години 20 хв;
- загальна тривалість нагріву - 15 годин.

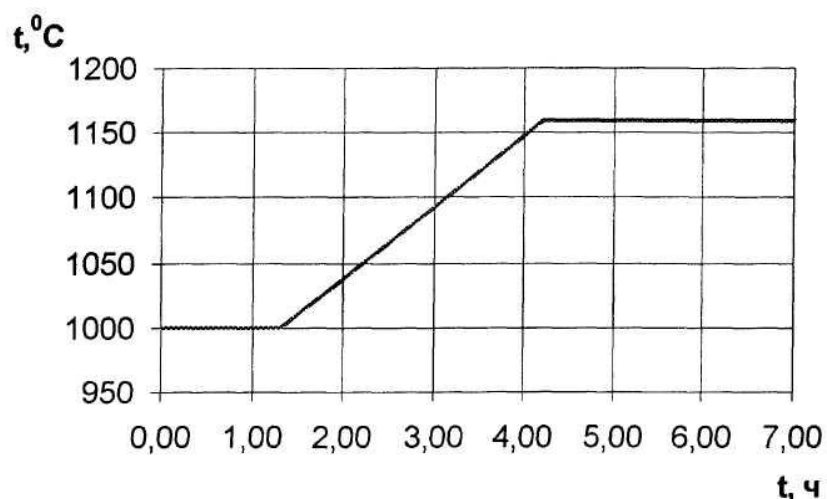


Рисунок 3.11 - Графік нагріву злитків сталі гарячого посаду.

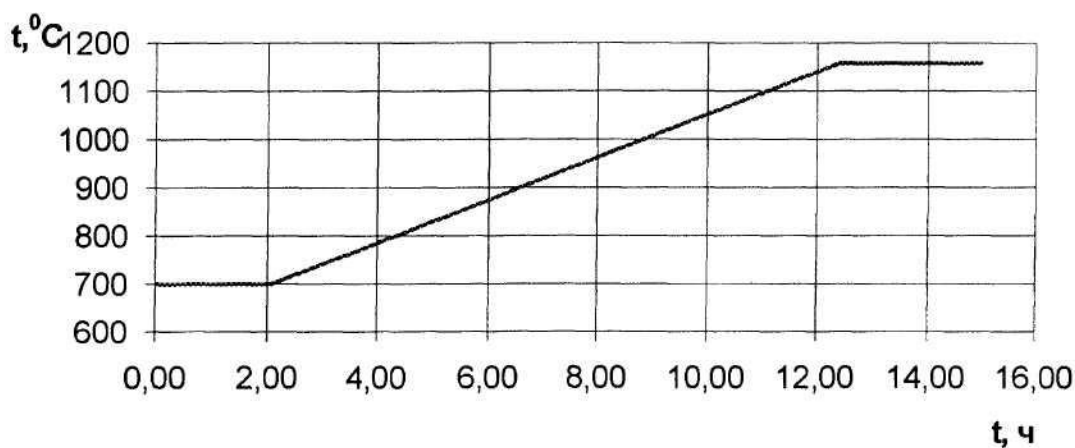


Рисунок 3.12 - Графік нагріву злитків сталі холодного посаду

Тривалість підігріву при температурі садженого металу від 700 до 900°C:

- мінімальна - 2 години 30 хв;
- максимальна - 5 годин.

Після кування виконується охолодження і термообробка поковок. При швидкому охолодженні в результаті різниці температур по перетину можуть виникати температурні напруги, що приводять до появи мікро- і макротріщин, також в сталі X12MФ виникає небезпека поверхневого гарту. Тому існують режими охолодження. Для сталі X12MФ [26]:

- спосіб охолодження - в термостатах;

- температура металу перед охолодженням - не нижче 650 °С;
- температура в кінці охолодження - нижче 150 °С;
- швидкість охолодження - до 400 °С без регулювання, від 400 °С до 150 °С охолоджувати з швидкістю не більше 30 °С/годин (у термостатах шляхом підведення кришки). Досягши температури 150 °С і нижче знімається кришка термостата і проводиться витримка залежно від перетину поковки (для круга 300 мм - 3 години, для смуги 140x600 мм - 4 години).

Після охолодження метал піддається термообробці. Метою термообробки є поліпшення оброблюваності металу, отримання однорідної дрібнозернистої структури, зняття наклепання, зниження рівня внутрішніх напруг, поліпшення комплексу механічних властивостей.

Режими термообробки для сталі [26]:

- температура печі при посадці - 600-700 °С;
- максимальна температура нагріву - 880 °С з швидкістю не більше 70 °С/годин;
- тривалість витримки - не менше 0,8 годин/т садіння;
- охолодження з швидкістю не більше 40 °С/час до 800 °С, далі - 50 °С/годин до 500 °С;
- повне охолодження металу разом з піччю.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційних небезпек і шкідливих чинників виробничого середовища

У боротьбі за створення здорових і безпечних умов праці велике значення має забезпечення такої організації технологічного процесу і такого стану устаткування, при якому виключається можливість появи шкідливих викидів в робочому приміщенні (газу, пилу, продуктів згорання, зайвого тепла) і небезпек травмування робочих.

При виконанні робіт на пресовій ділянці, робочі піддаються наступним небезпечним і шкідливим виробничим чинникам:

- наявність двох суміщеної залізничної і автомобільної безвиході;
- надходження в цех металу „гарячим всадом" і його розвантаження;
- наявність трьох рейкових передавальних візків;
- наявність десяти вантажопідйомних кранів і транспортування гарячого металу по ділянці;
- наявність двох кувальних маніпуляторів і двох шаржир-машин, які мають шість мір свободи руху;
- два гідравлічних преса з тиском робочої рідини до 30 МПа і виконанням на них двох особливо небезпечних операцій - це рубка гарячого металу і кування цапфи з прибуткової частини злитків ОДВ. Можливий гідравлічний удар в системі і зрив трубопроводів, також можливий перекіс траверси і перевантаження колон. Робочою рідиною на пресі служить водна емульсія, яка може привести до утворення водної пари і туманів. Прес є додатковим джерелом підвищеного рівня шуму і вібрацій;
- вибивання клинів при знятті бойків на гідравлічних пресах;

- наявність на пресовій ділянці 25 печей, які працюють на природному газі; 13 печей з 25 мають викочування подину, що є додатковою небезпекою;

- термообробка поковок у ванні для гарту;
- ремонт виконавчих механізмів підняття-опускання заслінок на камерних печах при видачі металу на кування шаржир-машинами;

- наявність двох машин підлогових садчиків, які обслуговують термічні печі;

- головною небезпекою на пресовій ділянці є природний газ, продукт неповного згорання природного газу 3, підвищена температура в робочій зоні, яка іноді перевищує 40 °С.

До шкідливих виробничих чинників відноситься інфрачервоне випромінювання, яке перевищує ГДК в 10 разів, запилена.

4.2 Технічні рішення по виробничій санітарії

4.2.1 Об'ємно-планувальні рішення завдань і споруд цеху

Норми виробничої санітарії повинні забезпечити: раціональне розміщення підприємств, будівель і споруд; розміри виробничих приміщень; вибір складу і компоновки допоміжних приміщень; оптимальні параметри метеорологічних умов; раціональне освітлення; рівень шуму і вібрації на робочому місці нижчий за допустимі значення.

Виробництва, до складу яких входять ковальсько-пресові цехи, відносяться до IV класу з шириною захисної зони 100 м (СН 245-71 «Санітарні норми проектування промислових підприємств»). У проектах промислового підприємства передбачені технологічні процеси, що виключають виділення шкідливих речовин в атмосферу, і достатньо ефективні заходи щодо недопущення шкідливого впливу виробничих чинників на населення: пиловловлювання, збільшення висоти труб, герметизація комунікацій, рекуперація.

Будівля цеху, в якому розташована пресова ділянка, відповідає діючі санітарні норми проектування промислових підприємств і протипожежні норми будівельного проектування промислових підприємств.

Виробниче приміщення цеху є одноповерховим. Висота прольоту цеху, оснащеного виробничим устаткуванням і мостовими кранами, вільно допускає збірку і розбирання найбільш високого устаткування. Висота виробничого приміщення від підлоги до стелі більше 3,2 м. Висота від підлоги майданчика, спорудженого у виробничому приміщенні, до низу виступаючих конструктивних елементів, що відносяться до вищерозташованим конструкцій або ліній комунікацій більше 2,0 м. Драбини, призначені для доступу на дах, мають поручні і кут нахилу не більше 60 °. Будівля цеху обладнана ліхтарями типа, що не задувається. Світлові отвори верхніх ліхтарів закриті армованим склом для захисту людей від випадних стекол. Пол виробничого приміщення настеляється з чавунних рифлених плит і має рівну неслизьку поверхню. Рівень підлоги мається в своєму розпорядженні вищим за рівень поверхні двору. В'їзд у виробниче приміщення не має порогів і уступів. В'їзний ухил не більше 0,05 °. Тунелі комунікацій перекриваються чавунними плитами необхідної міцності, що зручно знімаються. Над місцями розташування вентилів встановлені відкидні кришки. Межі проїздів, проходів, робочих місць позначені добре видимими лініями, нанесеними білою незмивною фарбою. Білення виробничого приміщення проводиться не рідше за один раз на рік.

Найважливішими елементами, що забезпечують безпеку роботи і високу продуктивність праці, є освітленість, метеорологічні умови і чистота повітря в робочому приміщенні.

4.2.2 Опалювання і вентиляція

Метеорологічні умови створюються шляхом природної аерації повітря з додатковою штучною вентиляцією. У холодний і перехідний періоди року в приміщенні встановлені оптимальні допустимі метеорологічні умови:

- для постійних робочих місць оптимальні: температура повітря 17-19 °С, вологість повітря 30-60%, швидкість руху повітря не більше 0,3 м/с; допустимі: температура повітря 15-20 °С, вологість - не більше 75%, швидкість руху повітря - не більше 0,5 м/с;

- для непостійних робочих місць допустима температура 13-20 °С.

Інтенсивність теплового опромінювання тих, що працюють від нагрітих поверхонь технологічного устаткування, освітлювальних приладів не перевищує 100 Вт/м² при опромінюванні не більше 25% поверхні тіла. Інтенсивність опромінювання робочих від відкритих джерел (нагрітий метал, відкрите полум'я і ін.) не перевищує 140 Вт/м², при цьому опромінюванню піддається не більше 25% поверхні тіла. Обов'язковим є використання засобів індивідуального захисту, зокрема особи і очей.

Нагрівальні печі, розжарений метал є джерелами забруднення повітря. Для боротьби з газами на ділянці є витяжні пристрої, які служать для відведення продуктів згорання безпосередньо від печей через систему свиней і димар в атмосферу. Зменшення теплових втрат через кладку печі досягається ізоляцією стінок печі шляхом обмазки зовнішніх поверхонь шаром теплоізолюючого матеріалу. Для боротьби з тепловим потоком застосовують також щити і екрани, які встановлюються між джерелами випромінювання і робочими місцями.

Зміст шкідливих речовин в повітрі не перевищує гранично допустимі концентрації, використовувані при проектуванні будівлі, технологічних процесів, устаткування, вентиляції, для контролю за якістю виробничого середовища і профілактики несприятливої дії на здоров'ї робочих.

Розрахунок вентиляції.

На ділянці встановлено дев'ять нагрівальних печей. Необхідно створити мікроклімат з температурою 20 °С і відносною вологістю не більше 75%. Розрахунок повітрообміну ведеться по формулі:

$$L = \frac{Q}{c \cdot (t_{yx} - t_{np}) \cdot \rho} \quad (4.1)$$

де Q - тепловиділення, Дж/час;

$z = 0,29$ Дж/кг $^{\circ}$ С - теплоємність повітря;

$t_{yx} = 45^{\circ}$ С - температура повітря, що йде;

$t_{np} = 18^{\circ}$ С - температура повітря, що приходить;

$\rho = 1,41$ кг/м 3 - щільність повітря.

Тепловий потік, що випромінюється кладкою визначається по формулі:

$$Q = \varepsilon_{\text{э}} \cdot C_0 \cdot \left[\left(\frac{T_{\kappa}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_0}{100} \right)^4 \right] \cdot F_{\kappa\lambda} \quad (4.2)$$

де $\varepsilon_{\text{э}} = 0,9$ - ступінь чорноти тіла;

$C_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/м 2 -К 4 - коефіцієнт випромінювання;

$T_{\kappa} = 1473$ К - температура усередині печі;

$T_0 = 318$ К - температура навколишнього середовища;

$F_{\kappa\lambda} = 133$ м 2 - площа поверхні кладки печі.

$$Q = 0,9 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot \left[\left(\frac{1473}{100} \right)^4 - \left(\frac{318}{100} \right)^4 \right] \cdot 133 = 0,319 \text{ Вт} = 1148,4 \text{ Дж/годин}$$

$$L = \frac{1148,4}{0,29 \cdot (45 - 18) \cdot 1,41} = 104,87 \text{ м}^3/\text{ГОДИН}$$

Потужність двигуна вентилятора розраховується по формулі: 1

$$N = \frac{L \cdot H}{3600 \cdot 1,2 \cdot K_1 \cdot K_2} \quad (4.3)$$

де $K_2 = 1$ ККД передачі, на валу електродвигуна;

$K_1 = 0,8$ - ККД вентилятора;

$H = 40$.

$$N = \frac{1148,4 \cdot 40}{3600 \cdot 1,2 \cdot 0,8 \cdot 1} = 13,3 \text{ кВт}$$

4.3.3 Освітлення

Освітленість визначається відношенням світлового потоку, падаючого на поверхню, до площі освітлюваної поверхні. Для штучного освітлення на ділянці застосовується освітлювальна установка з газорозрядними (люмінесцентними) лампами, яка забезпечує рівень освітленості 200 лк, встановлену СНіП II-4-79 «Природне і штучне освітлення. Норми проектування». Лампи забезпечені освітлювальною арматурою, яка захищає очі від сліпучої дії ламп. Штучне освітлення ділиться на робоче і аварійне. Робоче освітлення призначене для забезпечення нормальної роботи ділянки в темний час доби, а аварійне включається, коли воно необхідне для продовження роботи при раптовому відключенні робочого освітлення. Світильники аварійного освітлення приєднані до окремої електричної мережі.

4.2.4 Санітарно-побутові приміщення

Санітарно-побутові приміщення для робочих, інженерно-технічних працівників і обслуговуючого персоналу в ковальсько-пресовому цеху спроектовані відповідно до вимог СНіП 2.09.04-84 «санітарно-побутові приміщення». До них відносяться вбиральні, душові, убиральні, курилки, пристрої питного водопостачання, приміщення для зберігання спецодягу. До адміністративних приміщень відносяться приміщення охорони здоров'я, громадського харчування, конструкторські бюро, приміщення для учбових занять і громадських організацій.

4.2.5 Виробничий шум, виробнича вібрація

При розробці технологічних процесів, проектуванні, виготовленні і експлуатації машин, виробничих будівель і споруд, а також при організації робочого місця слід брати до уваги всі необхідні заходи по зниженню шуму, що впливає на людину на робочих місцях, що до значень не перевищують допустимі. Для ковальсько-пресових цехів існують такі норми тиску і рівня звуку (Таблиця 4.1).

Зниження шуму проводиться:

- розробкою шумобезопасной техніки;
- застосуванням засобів і методів колективного захисту по ГОСТ 12.1.029-80;
- застосуванням засобів індивідуального захисту по ГОСТ 12.4.051-78.

Зони з рівнем звуку або еквівалентним рівнем звуку вище 85 дБ/А позначають знаками безпеки по ГОСТ 12.4.026-76. На підприємстві забезпечений контроль рівнів шуму на робочому місці не рідше за один раз на рік.

Таблиця 4.1 - Норми тиску і рівня звуку ГОСТ 12.1.003-761

Робоче місце	Рівень звукового тиску дБ, в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								Рівень звуку і еквівалентні і рівні звуку, дБ/А
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Кабіни управліннь і дистанційного керування: без мовного зв'язку по телефону	94	87	82	78	75	73	71	70	80
з мовним зв'язком по телефону	83	74	68	63	60	57	55	54	65
Постійні робочі зони у виробничих приміщеннях	99	92	86	83	80	78	76	74	85

Засоби і методи колективного захисту від шуму залежно від способу реалізації підрозділяються на акустичні, архітектурно-планувальні, організаційно-технічні. Використовувані на підприємстві архітектурно-планувальні методи включають:

- раціональні акустичні рішення планувань будівель;
- раціональне розміщення технологічного устаткування, машин і механізмів;
- раціональне розміщення робочих місць;
- раціональне планування зон і режиму руху транспортних засобів і транспортних потоків;

Організаційно-технічні методи захисту від шуму:

- застосування малошумних технологічних процесів;
- оснащення галасливих машин засобами дистанційного керування і автоматичного контролю;
- застосування малошумних машин; зміна конструктивних елементів машин, їх складальних одиниць;
- вдосконалення технології ремонту і обслуговування машин;
- використання раціональних режимів праці і відпочинку працівників.

Для захисту від дії небезпечних і шкідливих виробничих чинників працюють в ковальсько-пресових цехах повинні забезпечуватися спецодягом, спецвзуттею і запобіжними пристосуваннями. Нагрівальщикам при оцінці якості і характеру полум'я, визначенні рівномірного прогрівання металу, при завантаженні і вивантаженні металу з печі, необхідно користуватися спеціальними окулярами з синіми стеклами або щитками, що захищають очі від яскравого світла, інфрачервоних променів і попадання окалини.

4.3 Заходи щодо техніки безпеки

Ковальсько-пресове устаткування встановлене на окремій ділянці від лінії механічної обробки. Ширина цехових проходів і проїздів, відстані між

устаткуванням і елементами будівель відповідають нормам технологічного проектування. Між пресом і насосно-акумуляторною станцією існує телефонний зв'язок і сигналізація. На ділянці існують схеми трубопроводів, на робочих місцях є інструкції з вказівками основних заходів безпеки при роботі.

Як засоби безпеки в насосно-акумуляторній станції використовуються регулятор рівня рідини, циркуляційний клапан, що переводить насоси на неодружений режим у разі виникнення аварійної ситуації, автоматичний клапан, роз'єднуючий при неполадках насосно-акумуляторну станцію і прес.

Для попередження перевантаження колон на них встановлені прилади контролю напруг, сигналізуючи про виникнення небезпеки, а при аварійному перевантаженні що відключають прес від трубопроводу рідини високого тиску. Щоб оберегти робочі від падаючих гайок, що відгвинтилися, шпильок, що розірвалися, і частин сальника, на траверсі під фланцями встановлені уловлюючі металеві кожухи. Щоб усунути вихід плунжерів з циліндрів, на пресі встановлений обмежувач нижнього положення рухомої траверси. Прес забезпечений пристроєм, що запобігає мимовільному опусканню траверси під дією власної ваги, при падінні тиску в мережі, при розриві трубопроводу високого тиску і інших неполадках. Також на пресі є пристрій для утримання траверси у верхньому положенні при виконанні ремонтних робіт. Забороняється працювати на пресі без відповідних справних захисних пристроїв, звукової і світлової сигналізації.

Ремонтні роботи усередині робочої камери печі дозволяється проводити тільки за наявності наряду-допуску після охолодження, провітрювання і відключення печі від газопроводу листовою заглушкою і продування відключеної ділянки газопроводу. Напруга переносного освітлення повинна бути не більше 12 В. На час ремонту механізмів підйому заслінки і викочування подини, прямики печей повинні бути захищені. На період ремонту механізму підйому заслінки на камерній печі на вимогу бригадира чергових слюсарів або бригадира чергових електриків по команді

майстра кування припиняється рух кувальної шаржир-машини або машини, підлогового садчика. Рух машин поновлюється по команді майстра кування після закінчення ремонту з обов'язковим записом в агрегатний журнал.

Для полегшення умов праці на ділянці встановлені: кувальний маніпулятор, шаржир-машина, машина, підлогового садчика, використовуються електромостові крани і передавальні візки.

Транспортування металу проводиться ланцюгами або спеціальними кліщами. Дротяними кільцями дозволяється користуватися тільки справними і у виняткових випадках для підйому і укладання пакету в бугель, для перезацепки його ланцюгами і перевезення металу на відстань не більше 10 м. Над устаткуванням і механізмами транспортувати метал в дротяних кільцях забороняється. Спеціальні кліщі повинні відповідати розміру і формі заготовок, не мати тріщин, зносу насічки площин, ослаблень в заклепках і сполучних болтах. Забороняється піднімати і транспортувати коробки з вантажем, що звішується. При підйомі штучних заготовок або пакетів, як виняток дозволяється утримувати знімні пристосування (стропи, ланцюги, комбіновані ланцюги) руками до повного натягнення, при цьому руки повинні знаходитися на гілках ланцюгів або стропов між крюком крана і вантажем в безпечному від затискання місці. Після натягнення відійти від вантажу на безпечну відстань і дати команду кранівнику на підйом.

Передавальні візки обладнані так, щоб виключити падіння предметів при русі, вантаженні і розвантаженні. Згідно правилам передавальні візки забарвлені в жовтий колір, з чорними смугами, похилих, шириною не менше 100 мм під кутом 60°. На візку маркірується порядковий номер і вантажопідйомність. На колії руху передавального візка є безвихідь заввишки не менше 1/4 висоти колеса. Щоб уникнути випадкового пуску в хід візка, вона забезпечена блокуючим пристроєм і ключем-биркою. Ключ-бирка знаходиться у робочого, що має право на управління, передача її іншим особам заборонена. Пуск візка в рух повинен здійснюватися з місця, розташованого в зоні якнайкращого огляду всієї транспортної лінії.

Згідно ПУЕ-86 „Правила пристрої електроустановок” будівля, в якій розташована ділянка, відноситься до особливо небезпечних, оскільки характеризується високою температурою, наявністю металевієї струмопровідної половини, виділенням металевих струмопровідних пилю і можливістю одночасного торкання до сполучених із землею металоконструкцій і металевих корпусів електроустаткування.

Щоб забезпечити електробезпеку електроапаратури преса (за винятком кінцевих вимикачів, електромагнітів і інших пристроїв, монтаж яких на машині диктується умовами роботи) встановлена в окремій шафі, що замикається. На внутрішній стороні кришки шафи розміщена монтажна і принципова схема електроустаткування машини з маркіровкою дротів і апаратури. Дверці шафи забезпечені замком під ключ, що виймається, відключає живлення машини при відкритті дверець і що запобігає включенню ввідного апарату при відкритих дверцях. Блокування допускає можливість доступу кваліфікованого обслуговуючого персоналу до електроустаткування, що знаходиться під напругою, для огляду, наладки за умови автоматичного відновлення блокування після закриття дверець. Електропроводка має кольорову ізоляцію, що дозволяє розрізнити призначення проводки і напруга.

Зовнішня електропроводка поміщена в газові труби. Внутрішня електропроводка, прокладена в місцях можливих пошкоджень або попадання вологи і масла, поміщена в герметичні металорукава. Токоведучі частини електродвигуна, електроприладів і проводка захищені і недоступні для випадкового дотику.

Станина преса, корпуси електродвигунів, кожухи електроапаратури і інші металеві частини ковальсько-пресового устаткування, які можуть опинитися під напругою вище 42 В, заземлені і занулені відповідно до діючих правил пристрою електроустановок. Електроустаткування оснащено мінімальним захистом, що виключає незалежно від положення органів

управління мимовільне включення ковальсько-пресового устаткування при відновленні раптово зниклої напруги.

Під час роботи на машині, підлогового садчика, шаржир-машині і маніпуляторі у машиніста на підлозі кабіни повинен бути діелектричний килимок, який перевіряється машиністом на початку кожної зміни візуально на механічну міцність із записом в агрегатному журналі. Всі переносні механізми дозволяється переміщати з одного місця на інше тільки по вказівці майстра або начальника зміни після відключення черговим електриком електроживлення. Після місцеположення переносних механізмів інше перевіряється справність заземлення. Перед початком роботи змінний машиніст, одержавши від машиніста попередньої зміни ключ-бирку, зобов'язаний оглянути і перевірити стан і справність всіх механізмів і електроапаратури. Перед оглядом і перевіркою стану і дії механізмів електроапаратури слід переконатися в тому, що рубильник на розподільній панелі відключений, вийнятий ключ-бирка і пускова апаратура поставлена в нульове положення. При огляді електроапаратури машиністам забороняється відкривати електрошафи. При раптовому припиненні подачі електроенергії або при значному пониженні напруги в мережі всі контролери повинні бути негайно переведені в нульове положення.

Забороняється проводити посадку в нагрівальні печі вологого або покритого снігом (льодом) металу щоб уникнути вибуху. Не допускається охолодження печей водою. Забороняється користуватися вогнем для визначення місця витоку газу, оскільки природний газ з повітрям утворює вибухонебезпечні суміші. Межа небезпеки природного газу в повітрі складає від 4 до 15%. При внесенні в такі суміші джерела вогню або високонагрітого тіла відбудеться вибух. Якщо при розпалюванні печі газ при подачі через перший пальник не зажевріє або, зажевривши, потухне, необхідно припинити подачу газу, перевірити топку і димарі і після усунення неполадок приступити до повторного запалення. Газ і повітря при запаленні і регулюванні пальників треба подавати поступово і лише при встановленому

тиску. При регулюванні газових пальників для збільшення навантаження спочатку збільшують подачу газу, а потім повітря; при зменшенні навантаження слід спочатку зменшити подачу повітря, а потім подачу газу. Така послідовність оберігає відрив полум'я від пальника. Регулювання подачі газу і повітря повинне забезпечити повне згорання газу. Робота газових установок з недопалюванням газу не допускається. При виключенні газових пальників треба поступово і по черзі збавляти подачу повітря і газу. Забороняється заливати гарячу окалину і подину печі водою, а також перекидати коробки з гарячою окалиною на сирому підлогу або снігу щоб уникнути вибуху.

4.4 Пожежна та техногенна безпека

Згідно СНіП 2.09.02-85 «Виробничі будівлі промислових підприємств. Норми проектування» ковальсько-пресовий цех відноситься до категорії Г виробництв по пожежонебезпеці, і характеризується тим, що речовини, що не згорають, і матеріали знаходяться в гарячому, розжареному або розплавленому стані; процес їх обробки супроводжується виділенням променистого тепла, іскр і полум'я. Ступінь вогнестійкості одноповерхової будівлі - V. Площа поверху між протипожежними стінами складає 1500 м². Відстань від найбільш видаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу складає 120 м.

Пожежна безпека на ділянці забезпечується:

- системою запобігання пожежі;
- системою протипожежного захисту;
- організаційно-технічними заходами.

До первинних способів пожежогасінні відносяться вогнегасники, пожежний інвентар (покривала з теплоізоляційного матеріалу, що не згорає, ящики з піском, бочки з водою) і пожежні інструменти (крюки, ломи, сокири, совкові лопати). Покривала мають розміри не менше 1х1 м (для невеликих

пожеж). Бочки з водою застосовуються з розрахунку одна бочка на 250-300 м² площі. Місткість бочки не менше 0,2 м².

Пожежні щити встановлюються на території ділянки з розрахунку один щит на площу 5000 м². У комплект щита входять: вогнегасники - 3 штуки, ящик з піском, покривало розміром 2х2 м, крюки - 3 штуки, ломи - 2 штуки, сокири - 2 штуки. Ящики з піском мають місткість 0,5 м², 1,0 м² або 3,0 м² і укомплектовані совковою лопатою.

Щоб уникнути самозагорання використаного обтирального матеріалу, зберігання його здійснюється далеко від нагрітих предметів, опалювальних пристроїв, електроустаткування і електроустановок в металевих контейнерах, що щільно закриваються. Використаний обтиральний матеріал віддається з ящика не рідше за один раз в зміну.

Перед початком роботи на нагрівальному устаткуванні необхідно перевірити чи немає витoku газу в місцях з'єднань вентилів, пробкових кранів і газопроводів. Піч повинна бути вимкнена:

- при появі витoku газу;
- при падінні тиску газу нижче 50 мм вод. ст.;
- при припиненні подачі повітря або газу;
- при виникненні загрози пожежі;
- при раптовому припиненні або недостатній тязі в печі.

У разі займання газу, що виділяється унаслідок нещільності газопроводу, необхідно вжити термінові заходи до його гасіння. Гасіння проводиться накиданням на вогнище горіння мокрому брезенту, листового азбесту, збиттям полум'я струменем пари або інертного газу. Можливо застосування підручних матеріалів. Заздалегідь слід знизити тиск в газопроводі до 50-100 мм вод. ст., прикриваючи найближчу до місця горіння газову засувку на відведенні. Повне відключення газу в цьому випадку неприпустимо, оскільки можливо проникнення повітря в газопровід з подальшим вибухом. При займанні газу необхідно стежити, щоб не відбувся спалах прилеглих споруд. Електроустаткування, що горить, гасити

вуглекислотним вогнегасником, який повинен бути на машині, підлогового садчика.

4.5 Заходи щодо захисту навколишнього середовища

Стічні води, що утворюються в ковальському виробництві складають від 30 до 50 % загальної їх кількості. Стічні води утворюються при охолодженні поковок, змиві і транспортуванні окалини, а також при охолодженні пил, ножиці і інших допоміжних механізмів. Стічні води містять окалину, масло, емульсію, кислоти, токсичні речовини. Вода забруднюється окалиною при гідросбиві і гідрозмиві.

При хімічній і електрохімічній обробці металів (труїть, нанесенні покриттів і т.д.) утворюються стічні води, що містять хімічні забруднення. Об'єм стічних вод при тому, що труїть металу залежить від виду виробів і в середньому складає 300 - 400 м³/годин і більш. У стічних водах міститься з'єднання амонія, кислоти, метали, сірководень, кремній сульфати хлор, хлориди, сульфіді і ін.

Окаліновмістовні стічні води в основному освітлюються. Цей процес йде в два етапи: спочатку стічні води проходять відстійники грубого освітлення, у вторинних відстійниках відбувається тонше очищення. Крім відстійників, для очищення окалини стічних вод, що містять, використовують гідроциклони.

У ковальському виробництві використовується система зворотного водопостачання. В даний час на сучасних підприємствах передбачається триступінчата система очищення оборотної води.

Перший ступінь включає яму для окалини, радіальні відстійники з камерами фокуляції і сітчасті фільтри.

Як другий ступінь очищення в системі передбачаються відстійники з вбудованими камерами утворення пластівців гідроциклоного типу.

На третьому ступені очищення (тонке очищення окалини і маслосодержащих стічних вод) застосовуються спеціальні фільтри: антрацито - кварцеві або з плаваючим пенополистирольной завантаженням.

При тому, що труїть металів різними кислотами утворюється велика кількість високомінералізованих відпрацьованих травильних розчинів і промивних вод. Для отримання товарної продукції і використання очищених вод (після їх доочистки) в системі оборотного водопостачання застосовується реагентна обробка таких стоків.

Як реагент для нейтралізації стічних вод, що містять кислоти, використовуються будь-які луги і їх солі (вапняк, доломіт, мармур крейда, їдкий натр, вапно, магнезит, сода і ін.). Найбільш дешевим реагентом є гідроксид кальцію.

Надійніший захист водоймищ від забрудненні забезпечується при використанні технології нейтралізації за допомогою аміаку аміачної води, оскільки в цьому випадку можлива нейтралізація не тільки травильних розчинів тих, що містять солі заліза, нікелю, кобальту, хрому, молібдену, але і інших металів.

Для знешкодження стічних вод, що утворюються при хіміко-термічній обробці металів (хромуванні, ціануванні, силіціюванні і ін.), застосовуються електрохімічні методи. Для знешкодження ціановмісних стічних вод використовуються також вапняне молоко, рідкий хлор, гіпохлорит натрію, гіпохлорит кальцію хлорне вапно, перекис водню.

У ковальському виробництві питання охорони навколишнього середовища нерозривно пов'язані з виробничими процесами, устаткуванням, організацією виробництва і найефективніше розв'язуються розробкою прогресивної технології.

Визначальними чинниками є:

- точне ведення технологічного процесу;
- систематичний контроль за основними параметрами нагрівальних печей і ковальського устаткування;

- пристрій систем оперативної сигналізації про екстремальні умови технологічних устаткування процесів і стані агрегатів і устаткування.

У зв'язку з цим велика роль в рішенні питань точного ведення технологічних процесів і запобігання аварійним ситуаціям викидів шкідливих речовин належить робочим основних професій ковальських цехів: нагрівальники металу, вальцівникам - операторам, різьбярем металу, термістам, робочим, обслуговуючим травильне відділення.

Технічний прогрес в чорній металургії і рішення задач з докільля охорони здійснюється по двох основних напрямках.

Перше - створення таких процесів виробництва і обробки металу, які б різко понизили його витрату. Цей напрям активно розвивається, вирішуючи екологічні і економічні задачі.

Другий напрям пов'язаний із створенням безвідходних і екологічно безпечних процесів отримання чорних металів. В цьому випадку потрібна радикальна зміна технології, створення принципово нового устаткування і процесів.

5 ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ПРОБЛЕМИ

Річний економічний ефект від застосування засобів механізації й автоматизації виробництва, що забезпечують економію виробничих ресурсів при випуску однієї й тієї ж продукції, визначається по формулі:

$$\Delta = [(C_1 + E_n \cdot K_1) - (C_2 + E_n \cdot K_2)] \cdot N_2 \quad (5.1)$$

де C_1 и C_2 - відповідно собівартість одиниці продукції до й після нововведення;

E_n - нормативний коефіцієнт капітальних вкладень, приймається $E_n = 0,15$;

K_1 и K_2 - питомі капітальні вкладення у виробничі фонди;

N_2 - річний обсяг випуску продукції.

У даній дипломній роботі пропонується установка автоматизованої системи контролю і управління технологічним режимом кування і тепловим режимом нагрівальних печей. Автоматизована система контролю і управління призначена для оперативного контролю основних параметрів і оперативного управління роботою пресу і печей з метою дотримання технологічного процесу нагріву і термообробки поковок, збору, обробки і зберігання значень технологічних параметрів. Вона дозволяє скоротити витрату природного газу на 5% за рахунок автоматичного контролю і регулювання процентного співвідношення суміші «газ-повітря». Орієнтовна вартість системи складає 200000 грн. Впровадження автоматизованої системи контролю і управління змінює наступні статті собівартості: зменшує витрати на паливо, енергію і допоміжні матеріали і збільшує витрати на зміст і експлуатацію устаткування.

Вартість устаткування після нововведення складе:
 $14667559,12 + 200000 = 14867559,12$ грн.

Нова сума амортизації устаткування - 3568214 грн.

Таблиця 5. 1 - Показники для розрахунку економічного ефекту

Показники	Позначення	Ед. измерения	Базовий варіант	Новий варіант
Витрати на паливо, енергію і допоміжні матеріали на одиницю продукції	-	грн	237,98	226
Витрати на зміст і експлуатацію устаткування на одиницю продукції	-	грн	383,48	397
Собівартість одиниці продукції	C1, C2	грн	3344,52	3326,96
Питомі капіталовкладення	K1, K2	грн	-	200000

Економічний ефект по формулі (5.1):

$$\mathcal{E} = \left[3344,52 - \left(3326,96 + \frac{0,15 \cdot 200000}{20000} \right) \right] \cdot 20000 = 321200 \text{ грн.}$$

Другим нововведенням є установка підйомно-поворотного столу. Застосування підйомно-поворотного столу дозволяє виконувати першу операцію протяжки за одне винесення замість двох, що забезпечує економію енергоносіїв і скорочення втрат металу унаслідок чаду. Орієнтовна вартість підйомно-поворотного столу складає 350000 грн.

Час одного підігріву - 2,5 години. Витрата газу на одну піч в годину складає:

$$V = \frac{13086000}{9 \cdot 8664} = 167,8 \text{ м}^3 / \text{год}$$

У печі одночасно гріється в середньому 15 поковок. Кількість підігрівів партій заготовок по 15 штук складає $6728/15=448$. Економія газу на одній печі складає:

$$V_{\text{э}} = 2,5 \cdot 167,8 \cdot 448 = 187936 \text{ м}^3/\text{год}$$

У вартісному вимірюванні це складе:

$$C_{\text{г}} = 187,936 \cdot 363,72 = 68356 \text{ грн}$$

Втрати металу на чад за один підігрів складають 1%. Унаслідок скорочення одного підігріву економія матеріалу складає $246000,01=246$ т, вартістю $2462157,74 = 530804$ грн.

Нова вартість устаткування складе:

$$14667559,12 + 350000 = 15017559,12 \text{ грн.}$$

Амортизація устаткування - 3604214 грн.

Таблиця 5.2 – Показники для розрахунку економічного ефекту

Показники	Позначення	Од. виміру	Базовий варіант	Новий варіант
Основні матеріали за вирахуванням відходів	-	грн	62316022	51785218
Основні матеріали за вирахуванням відходів	-	грн/т	2615,8	2589,3
Витрати на паливо, енергію і допоміжні матеріали на одиницю продукції	-	грн	237,98	234,56
Витрати на зміст і експлуатацію устаткування	-	грн	7669559,85	7983959,88
Витрати на зміст і експлуатацію устаткування на одиницю продукції	-	грн	383,48	399,2
Собівартість одиниці продукції	C1, C2	грн	3344,52	3330,32
Питомі капіталовкладення	K1, K2	грн	-	350000

Економічний ефект по формулі (5.1):

$$\mathcal{E} = \left[3344,52 - \left(3330,32 + \frac{0,15 \cdot 350000}{20000} \right) \right] \cdot 20000 = 231500 \text{ грн.}$$

Сумарний економічний ефект:

$$\sum \mathcal{E} = 321200 + 231500 = 552700 \text{ грн}$$

Таблиця 5.3 – Основні показники роботи цеху

Назва показника	Од. вим.	Величина показника	
		Базовий вар.	Новий вар.
Річний об'єм продукції: - у натурних величинах; - у вартісних одиницях.	т (м ³ , шт) тис. грн.	15000 63762300	20000 86309600
Собівартість одиниці продукції	Грн.	3344,52	3330,32
Ціна одиниці продукції	Грн.	4250,82	4315,48
Річний прибуток (чиста)	Грн.	10195875,00	14777400
Рентабельність продукції	%	15%	22%
Величина капітальних вкладень (КВ)	тис. грн	17225130,57	17775130,57
Річний економічний ефект	тис. грн	290900	321200
Економічна ефективність КВ	1 грн/1грн КВ	0,59	0,83
Термін окупності КВ	років	1,7	1,2

Висновок: Після розрахунку економічної частини видно, що впровадження автоматизованої системи контролю і управління змінює наступні статті собівартості: зменшує витрати на паливо, енергію і допоміжні матеріали і збільшує витрати на зміст і експлуатацію устаткування.

ВИСНОВКИ

Збільшення величини геометричного фактору та укову призводить до підвищення границі плинності матеріалу та зниження тимчасового опору матеріалу. Геометричний фактор на відміну від укову має більший вплив на границю плинності матеріалу. Вплив укову і геометричного фактору на показники тимчасового опору матеріалу приблизно однаковий.

Варіювання технологічних параметрів ОМТ опосередковано впливає на процес утворення мікроструктури сталі, тим самим впливає на кінцеві властивості поковок. У об'ємі зразків можна виділити три характерні зони: центральна зона, зона контакту з деформуючим інструментом та бічна зона. Наявність цих зон обумовлена нерівномірністю розподілу накопиченої деформації. Розміри зон залежать від вихідних та кінцевих розмірів зразків, тобто фактору форми, а також від величини напружень діючих у обсязі металу під час деформації. У зоні контакту з інструментом деформація металу ускладнюється дією сил тертя. Структура у цій зоні має менш однорідна та менш дисперсна. У центральній зоні спостерігається всебічне стиснення і структура є більш однорідною, оскільки такий деформаційно-напружений стан є найбільш вигідним для формування однорідної та високодисперсної структури. Бічна зона є проміжною між центральною зоною та зоною контакту з деформуючим інструментом за своєю структурою. Однак за оптимального режиму деформації мікроструктура центральної і бічної зони приблизно однакова, а отже приблизно однакові і механічні властивості.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Охрименко Я. М., Тюрин В. А. Теория процессовковки. Москва : Высшая школа, 1977. 295 с.
2. Кухарь В.В. Новые подходы к исследованию бочкообразования при осадке / [Кухарь В.В., Лаврентик О.А., Павлова и др.] // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у машинобудуванні та металургії: Зб. наук. пр. Краматорськ, 2005. С. 241-246.
3. Соломонов К. Н., Абашкин В.П. Возможности компьютерного анализа осадки заготовки // Технология лёгких сплавов. 2008. №2. С. 96-100.
4. Тюрин В.А. /Инновационные технологииковки с применением макросдвигов // Кузнечно-штамповочное производство. 2007. №11 С. 11-20.
5. Сторожев М. В., Попов Е. А. Теория обработки металлов давлением. Москва : Машиностроение, 1977. 423 с.
6. Новик Ф. С., Арсов Я. Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов : учебник для вузов. Москва : Машиностроение, 1980. 304 с.
7. Авдеев Б. А. Техника определения механических свойств материалов : учебник для вузов. Москва : Машиностроение, 1965. 484 с.
8. Жуковец И. И. /Механические испытания металлов: Учебник для сред. ПТУ.- 2-ое изд, перераб. и доп. Москва : Высш. шк., 1986. 199 с.
9. Чухліб В. Л., Борисенко А. Ю. Дослідження впливу технологічних параметрів протяжки на молоті на мікроструктуру поковок із сталі 3пс. // Вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут». 2009. №57. С.47-49.
10. Лахтин Ю. М. Металловедение и термическая обработка металлов. Москва : Металлургия, 1993. 447с.

11. Желябіна Н. К., Беліченко А. Г., Бойко О. В. Організація та планування виробництва : учбово-методичний посібник. Запоріжжя : Видавництво ЗДІА, 2006. 174с.
12. Злобинский Б.М. Охрана труда в металлургии. Москва : Металлургия, 1975. 536с.
13. Методические указания к выполнению раздела “Охрана труда” в дипломных проектах для студентов всех специальностей/ Составители: С.П. Панасейко, В.К. Тарасов, Ю.П. Павленко, В.Г. Рыжков, И.Г. Резниченко, Е.П. Павлова. Запорожье : Изд-во ЗГИА, 2002. 56 с.
14. Аханченко А.Г. Пожарная безопасность предприятий черной металлургии. Москва : Металлургия, 1970. 240 с.
15. Белов А. Ф., Розанов Б. В., Линц В. П. Общая штамповка на гидравлических прессах. Москва : Машиностроение, 1986. 240 с.
16. Булак В. Н., Добровольский И. Г., Овчинников П. С. Проектирование кузнечно-штамповочных цехов и заводов. Москва : Высшая школа, 1978. 285 с.
17. ГОСТ 5950-73 Прутки и полосы из инструментальной легированной стали. Технические условия.
18. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т./Ред. Совет: Семенов [и др.] – М.: машиностроение, 1985.-Т2. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка / Под ред. Е.И. Семенова. 1986. 568с.
19. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т./ Ред. Совет: Семенов [и др.] – М.: машиностроение, 1985.-Т2. Горячая штамповка/ Под ред. Е.И. Семенова. 1986. 592с.
20. Юдович С. З. Ковка на молотах заготовок из легированных сталей. Москва : Машиностроение, 1984. 127с.
21. Ковка слитков на прессах / Л.Н. Соколов, Н.М. Золотухин, В.Н. Ефимов [и др.]; Под ред. Л.Н. Соколова. Киев : Техника, 1984. 127 с.
22. Михеев В.А. Гидравлические прессовые установки. Москва : Машгиз, 1948. 362 с.

23. Проектирование кузнечных и холодноштампованных цехов и заводов : учеб. пособие для ВУЗов. Москва : Высшая школа, 1977. 423 с.
24. Охрименко Я. М. Технология кузнечно-штамповочного производства. Москва : Машиностроение, 1976. 245 с.
25. Ковка на молотах и гидравлических прессах. Л.Н. Петров. В.Ф. Касатонов, И.З. Энтин; Под общ. ред. П.В. Камнева и А.П. Атрошенко. Ленинград : Машиностроение, 1980. 128 с.
26. Рябичева Л. А. Расчет и конструирование нагревательных печей кузнечного производства : учеб. пособие. Киев : УМК ВО, 1989. 103 с.
27. Семенов Е.И. Ковка и объемная штамповка : учебник для ВУЗов. Москва : Высшая школа, 1972. 352с.
28. Техническое нормирование работ по свободной ковке под парогидравлическими прессами. Общемашиностроительные нормативы времени. Москва : Машгиз, 1962. 110с.