

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Машкобудівний ін-т, Маш. фрак.  
(повне найменування інституту, назва факультету)

Обробка металів тиском  
(повна назва кафедри)

## Пояснювальна записка

до магістерської роботи

(рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему Дослідження впливу технологічних параметрів  
на розподіл неоднорідності напружено-деформованого  
стану металу при осаджуванні

Виконав: студент 6 курсу, групи Мз-813М  
спеціальності (напряму підготовки)

131 Прикладна механіка  
(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Гавриленко Е.С.  
(прізвище та ініціали)

Керівник Матюхін А.Ю.  
(прізвище та ініціали)

Рецензент Савченко В.О.  
(прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя  
2018 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
**Запорізький національний технічний університет**  
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Машинобудівний ін-т, Маш. фак.  
 Кафедра Обробка металів тиском  
 Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) Магістр  
 Спеціальність 131 Прикладна механіка  
 (код і назва)  
 Напрямок підготовки Обл. та техн. пласт. форм. констр. маш. буд.  
 (код і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри [підпис]

"17" грудня 2018 року

**ЗАВДАННЯ**  
 НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Габриленко Євген Сергійович  
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження впливу технологічних параметрів на розподіл неоднорідності напружено-деформованого стану металу при осаджуванні  
 керівник роботи Матюхін Антон Юрійович  
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від " " 20 року №

2. Строк подання студентом роботи 17.12.2018г.


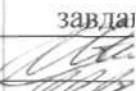



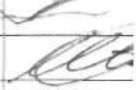

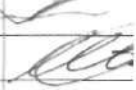

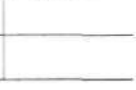
3. Вихідні дані до роботи Звіт з магістерського стажування

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Технологія виготовлення віссиметричних порожнистих деталей із застосуванням пластичного деформування;  
2. Методи рішення віссиметричних задач теорії пластичності. Чи є такі методи рішення задач ОМТ;  
3. Експериментальні дослідження.  
4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

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

Презентаційний матеріал

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Приймач виконання завдань
1	Матюхін А. Ю		
2	Матюхін А. Ю		
3	Матюхін. А. Ю		
4	Иестеров О. В.		
Норм. контр	Матюхін А. Ю.		

7. Дата видачі завдання 01.10.2018г.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Пр
1.	Технологія виготовлення бісесиметричних промислових деталей із застосуванням пластичного деформування	15.10.2018	
2.	Методи рішення бісесиметричних задач теорії пластичності Чисельні методи рішення задач ОМТ	30.10.2018	
3	Експериментальні дослідження	15.11.2018	
4	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	30.11.2018	

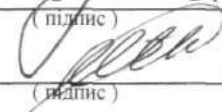
Студент

(підпис)

 Е.С. Гавриленко  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

 А.Ю. Матюхін  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

ПЗ: 90 с., 46 зоб., 3 табл., 26 джерела.

Актуальність теми. Реальні процеси обробки металів завжди супроводжуються нерівномірністю пластичної формозміни, що впливає на силові і кінематичні параметри, якість готової продукції. Основними технологічними чинниками, що впливають на появу неоднорідності і характер її розподілу є фактор форми (геометричні параметри вихідної заготовки) та коефіцієнт контактного тертя.

Вивчення технологічних параметрів, що впливають на розподіл нерівномірності пластичної формозміни дозволить створити практичні рекомендації щодо зниження впливу вище згаданих параметрів для забезпечення більш рівномірного пластичного деформування.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є вивчення технологічних параметрів, що впливають на поширення неоднорідності пластичного деформування при осаджуванні кільцевих деталей.

Для досягнення поставленої мети необхідно сформулювати і вирішити такі завдання:

- провести огляд наукової літератури по технологіям виготовлення порожнистих циліндричних деталей за допомогою пластичної деформації;
- підготувати і провести лабораторний експеримент по осаджуванні кільцевої заготовки для виявлення закономірностей впливу технологічних параметрів на розподіл неоднорідності пластичного деформування;
- проаналізувати отримані експериментальні дані, зробити висновки про їх достовірності на підставі порівняння з математичною моделлю процесу осаджування кільця на базі методу скінченних елементів в програмному продукті Ansys.

Методи дослідження. Експериментальний аналіз напружено-деформованого стану металу базувався на геометричному методі координатної сітки.

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН, ПИТОМЕ ЗУСИЛЛЯ ПРЕСУВАННЯ, КІЛЬЦЕВА ЗАГОТІВКА, ГОЛОВНІ ДЕФОРМАЦІЇ, НЕОДНОРІДНІСТЬ ДЕФОРМАЦІЇ.

## РЕФЕРАТ

ПЗ: 90 с., 46 рис., 3 табл., 26 источников.

Актуальность темы. Реальные процессы обработки металлов всегда сопровождаются неравномерностью пластического формоизменения, что оказывает влияние на силовые и кинематические параметры, качество готовой продукции. Основными технологическими факторами влияющими на появление неоднородности и характер ее распределения являются фактор формы (геометрические параметры исходной заготовки) и коэффициент контактного трения.

Изучение технологических параметров влияющих на распределение неравномерности пластического формоизменения позволит создать практические рекомендации по снижению влияния выше упомянутых параметров для обеспечения более равномерного пластического деформирования.

Цель и задачи исследования. Целью работы является изучение технологических параметров влияющих на распространение неоднородности пластического деформирования при осадки кольцевых деталей.

Для достижения поставленной цели необходимо сформулировать и решить следующие задачи:

- провести обзор научной литературы по технологиям изготовления полых цилиндрических деталей при помощи пластического деформирования;

- подготовить и провести лабораторный эксперимент по осадке кольцевых заготовок для выявления закономерностей влияния технологических параметров на распределение неоднородности пластического деформирования;

- проанализировать полученные экспериментальные данные, сделать выводы об их достоверности на основании сравнения с математической моделью процесса осадки кольца на базе метода конечных элементов в программном продукте Ansys.

Методы исследования. Экспериментальный анализ напряженно-деформированного состояния металла базировался на геометрическом методе координатной сетки.

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ, УДЕЛЬНОЕ УСИЛИЕ ПРЕССОВАНИЯ, КОЛЬЦЕВАЯ ЗАГОТОВКА, ГЛАВНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ, НЕОДНОРОДНОСТЬ ДЕФОРМАЦИИ.

## ABSTRACT

expl message: 125 p., 46 pic., 3 tabl., 26 sources.

Actuality of theme. Real metal processing processes are always accompanied by uneven plastic deformation, which affects the force and kinematic parameters, the quality of the finished product. The main technological factors affecting the appearance of heterogeneity and the nature of its distribution are the shape factor (the geometric parameters of the original billet) and the coefficient of contact friction.

The study of technological parameters affecting the distribution of non-uniformity of plastic shaping will allow you to create practical recommendations to reduce the influence of the above-mentioned parameters to ensure a more uniform plastic deformation.

Purpose and research tasks. The aim of the work is to study the technological parameters affecting the distribution of the heterogeneity of plastic deformation during precipitation of ring parts.

To achieve this goal it is necessary to formulate and solve the following tasks:

- to review the scientific literature on the technology of manufacturing hollow cylindrical parts using plastic deformation;

- to prepare and conduct a laboratory experiment on the settlement of ring blanks to identify patterns of influence of technological parameters on the distribution of plastic deformation heterogeneity;

- analyze the obtained experimental data, draw conclusions about their reliability based on a comparison with a mathematical model of the ring sludge process based on the finite element method in the Ansys software.

Research methods. The experimental analysis of the stress-strain state of the metal was based on the geometric grid method.

TENSE-DEFORMED STATE, SPECIFIC EFFORT of PRESSING, CIRCULAR PURVEYANCE, MAIN DEFORMATIONS, HETEROGENEITY of DEFORMATION.

## Зміст

1. Технологія виготовлення вісесиметричних порожнистих деталей із застосуванням пластичного деформування.....	3
2. Методи рішення вісесиметричних задач теорії пластичності. Чисельні методи рішення задач ОМТ.....	18
2.1. Проекційні і сіткові методи.....	18
2.2 Застосування методу скінченних елементів до вирішення тривимірних задач ОМТ.....	21
2.3 Рішення задач обробки металів тиском за допомогою методу граничних елементів.....	26
2.4 Методи зворотного вирішення.....	27
2.5 Методи прямого вирішення.....	28
3. Експериментальні дослідження.....	40
3.1 Геометричні методи визначення деформованого стану при пластичній формозміні. Координатна сітка.....	40
3.2 Лабораторне дослідження впливу технологічних параметрів на неоднорідність деформації металу при деформації.....	51
3.2.1 Постановка задачі дослідження.....	51
3.2.2 Методика проведення експерименту.....	53
3.2.3. Дослідження течії металу при осаджуванні.....	55
3.2.4 Аналіз отриманих даних .....	55
3.3 Дослідження впливу технологічних параметрів на неоднорідність деформації металу при деформації за допомогою методу кінцевих елементів.....	59
3.3.1 Опис методу кінцевих елементів.....	59
3.3.2 Порівняльний аналіз отриманих практичних результатів з МКЕ...	61
4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	71

4.1. Аналіз потенційних небезпек.....	71
4.2 Заходи з забезпечення безпеки.....	72
4.3 Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці.....	82
4.4 Заходи з пожежної безпеки.....	83
4.5 Заходи з забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	85
Перелік використаної літератури.....	87

# 1. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ПОРОЖНИСТИХ ДЕТАЛЕЙ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ

В роботі [1] наводиться технологічний процес виготовлення деталей гідроагрегатів з трубних заготовок методами холодного об'ємного штампування. Зокрема, наведені технологічні схеми штампування деталей типу гладких і ступінчатих втулок з фланцями і буртами з малою відносною висотою місцевих потовщень (рис. 1.1). Технологічний процес виготовлення деталі ґрунтується на послідовному виконанні операцій прямого і поперечного видавлювання. Для його реалізації використаний спосіб видавлювання на оправках, що забезпечує більшу ступінь обтиску (53%) при прямому видавлюванні тонкостінної порожнистої заготовки. Показано доцільність застосування даної схеми штампування в умовах серійного виробництва.

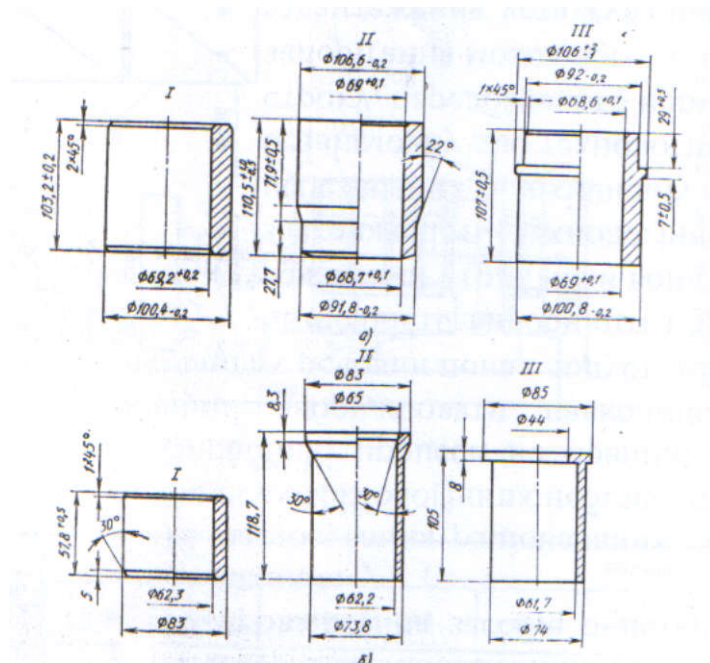


Рисунок 1.1 – Переходи штампування заготовок кришки (а) та стакану (б)

В роботі [2] наводиться теоретичне і експериментальне визначення величини зусиль закритого штампування кільцевих заготовок на пресі подвійної дії, а саме, штампування кільцевих заготовок під подальше розкочування при виробництві кілець залізничних підшипників і бандажів.

Для теоретичного дослідження були використані енергетичний і інженерний методи розрахунку зусилля деформації. Показано вплив ряду технологічних факторів (висота заготовки, коефіцієнт тертя) на зміну величини зусилля деформування, а також, зіставлені результати теоретичного та експериментального визначення зусилля.

В роботі [3] наводиться новий спосіб видавлювання довгомірних деталей з наскрізною порожниною з використанням плаваючих оправок. Зокрема обґрунтовується доцільність виготовлення деталей типу гільз, що мають зовнішні фланці, з трубних заготовок методами холодного об'ємного штампування за технологічними схемами, що поєднує операції прямого видавлювання або редукування з обтиском, роздачею і висадкою. Схема експериментального штампунка наведена на рисунку 1.2, технологічні переходи – рисунок 1.3.

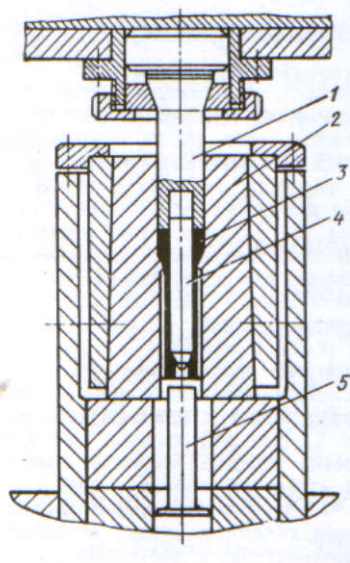


Рисунок 1.2 – Схема експериментального штампунка

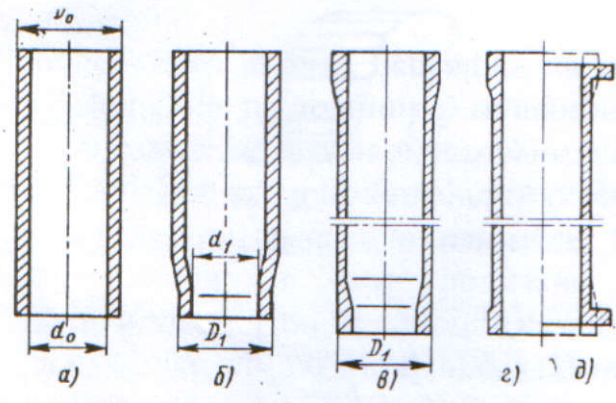


Рисунок 1.3 – Технологічні переходи

В роботі [4] представлені результати промислового дослідження гарячого пресування товстостінних труб по засобом високотемпературної термомеханічної обробки. Вказано, що зменшення витримки у воді після деформації при  $980^{\circ}\text{C}$  від 40 до 10 с (завершене або перерване гартування відповідно), призвело до деякого зниження твердості і міцності сталі 30ХГСН2А, але пластичність і ударна в'язкість підвищилися. Також, при збільшенні швидкості пресування з 55 до 100 мм/с зусилля пресування знизилося на 15 - 20%, а стійкість голок зростала в середньому на 35%. Таким чином, застосування високотемпературної термомеханічної обробки при виготовленні товстостінних труб скасовують додаткову зміцнюючу термообробку.

В роботі [5] розглядаються деякі особливості моделювання напружено-деформованого стану в процесах обробки металів тиском. Так, при розрахунку напруженого стану деформованого металу заміна його властивостей на властивості рідини, на думку автора, є досить грубим наближенням. Нехтування пружними деформаціями і перехід до моделі жорсткопластичного тіла унеможливають точний розрахунок напруженого і деформованого стану тіла. В наслідок чого, виникає необхідність застосування верхньої і нижньої оцінки сили деформування.

Таким чином, для більш точного моделювання напружено-деформованого стану необхідно використовувати рівняння що визначають співвідношення пружнопластичного середовища з малими (але кінцевими) пружними і великими пластичними деформаціями. При підвищених температурах слід застосовувати модель пружнов'язкопластичного середовища.

В роботі [6] наведено теоретичні та експериментальні викладки щодо впливу тертя на деформований стан при роздачі трубчастих заготовок. Показано, що зміна коефіцієнт тертя впливає на розподіл граничного радіуса - радіуса границі зон, в яких товщина стінки заготовки зменшується або збільшується. Так, при збільшенні коефіцієнта тертя зростає зона потовщення в

осередку деформації. Була встановлена розрахункова залежність, яка дозволяє оцінити вплив тертя і інших чинників на стан граничного радіусу.

В роботі [7] наводяться експериментальні дані про технологічні можливості роздачі труб з алюмінієвих і титанових сплавів в умовах надпластичності. Найбільш важливими чинниками, що впливають на процес роздачі труб є значення граничного коефіцієнта роздачі, форма інструменту і швидкість деформування. При аналізі результатів розрахунків автор показує, що роздача труб з постійною швидкістю деформування супроводжується значним змінам швидкості деформації крайової ділянки заготовки. Швидкість деформації кромки пропорційна швидкості деформування і зменшується зі збільшенням діаметра заготовки і кута конусності інструменту (рис. 1.4).

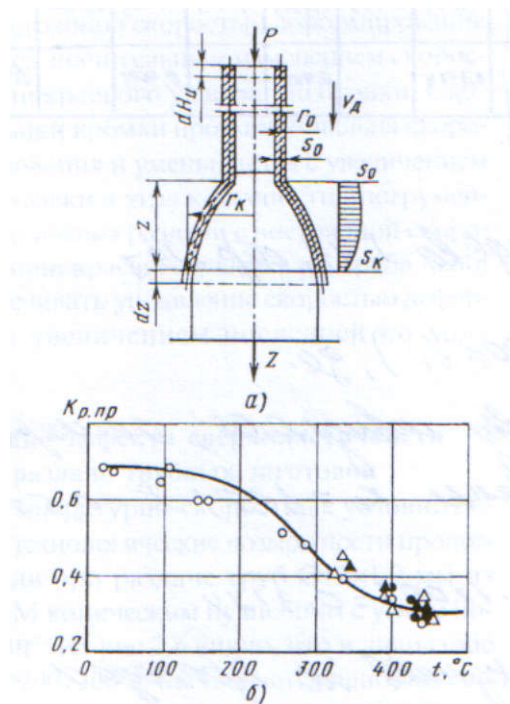


Рисунок 1.4 – Схема для розрахунку швидкісних умов деформацій при роздачі трубних заготовок (а) та залежність граничного коефіцієнту від температурно-швидкісних умов деформації

При досягненні умови надпластичності при роздачі труби була досягнута максимальна окружна деформація 350 - 455%, що в 1.5 - 2 рази перевищує максимальне подовження сплаву АМгб при випробуваннях на лінійне розтягнення.

У ряді робіт [8,9,10] автор описує методику визначення полів напружень і деформацій в осередку деформації, товщини заготовки на кромці, технологічної сили і роботи деформування, а також уточнення розмірів довжини заготовки з урахуванням впливу зміцнення, нормальної анізотропії, тертя, кута конусності інструменту і зміни товщини заготовки в процесі формозміни трубної заготовки при роздачі і обтиску. Схема обтиску трубної заготовки конічною матрицею наведено на рисунку 1.5. Так само, в роботі були наведені формули для визначення розмірів заготовки і товщини кромки заготовки.

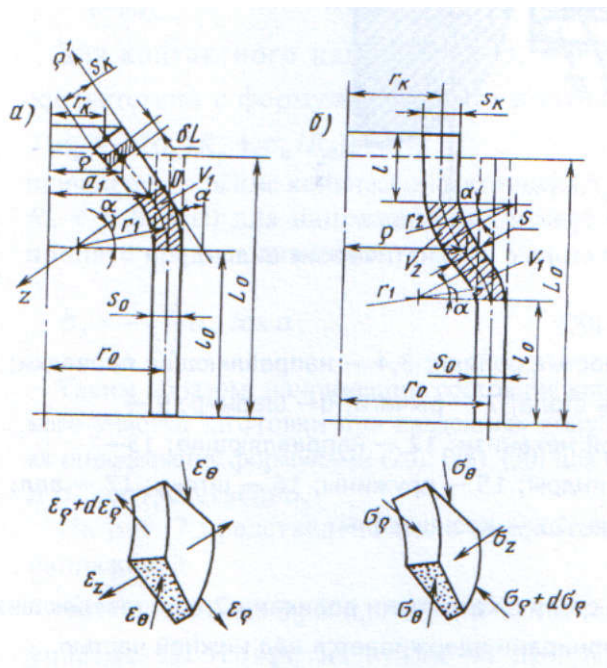


Рисунок 1.5 - Схема обтиску трубної заготовки конічною матрицею

В роботі [11] описується конструкція і принцип роботи установки для дослідження пластичної деформації циліндричних оболонок під дією рідини

високого тиску. Дана установка дозволяє здійснювати радіальну деформацію середній частині циліндричної оболонки, торці якої замкнуті спеціальним інструментом (рис. 1.6). Практичне застосування даного методу деформації ефективно при виготовленні порожнистих виробів складної форми із змінним по довжині поперечним перерізом.

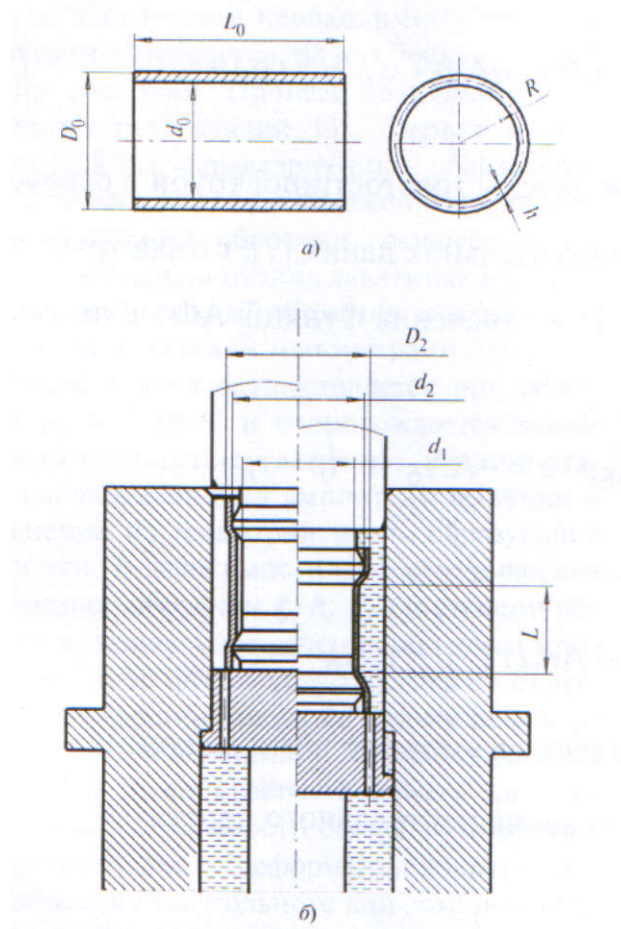


Рисунок 1.6 – Конструкція установки для дослідження пластичної деформації циліндричних оболонок рідиною високого тиску

В роботі [12] дано опис процесу штампування плоских фланців з трубних заготовок (сталь 12Х18Н10Т). Вихідні заготовки відрізали з суцільнотягнутих труб і виготовляли зварюванням вигнутих зі смуги обічайок (рис.1.7). В результаті визначені можливості здійснення технологічного процесу

штампування з товстостінних заготовок, умови його стабільного протікання, можливість використання зварних трубних заготовок замість безшовних. Вказано, що виникаючі зусилля радіального підпору створюють напружений стан двостороннього стиснення по всій ширині заготовки, тим самим різко поліпшуючи умови штампування зварного з'єднання.

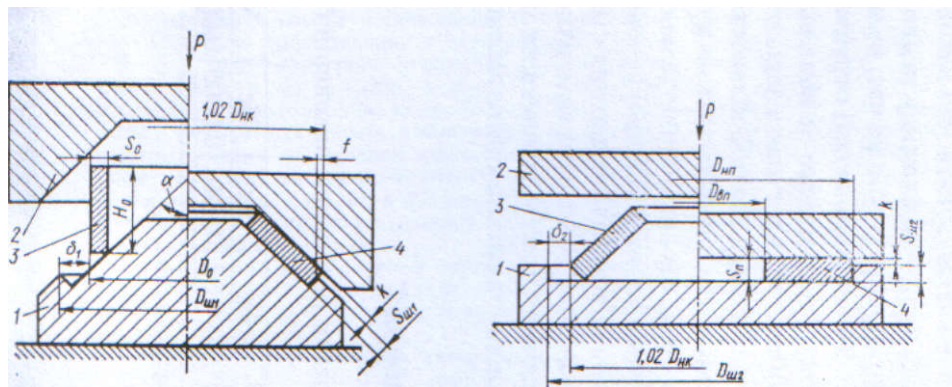


Рисунок 1.7 – Схема деформації кільцевих заготовок

В роботі [13] проводилося модельне дослідження ізотермічного штампування кільцевих заготовок. Широке поширення технології ізотермічного штампування складних за формою і відповідальних за призначенням деталей, а також великогабаритних і в тому числі кільцевих деталей вимагають створення методик розрахунку силових параметрів штампування і досить точного математичного опису формоутворення деталей. Так були зіставлені експериментальні та розрахункові технологічні зусилля при осаджуванні кільцевої заготовки, які показали достовірність розрахункових величин, виконаних за допомогою програмного пакету SPLEN.

В роботі [14] описується новий спосіб штампування кільцевих виробів та інструмент для його реалізації. Економічно і технологічно було обгрунтовано виготовлення поковок типу кілець в одному штампі, що і забезпечує комбінований спосіб штампування, який дозволяє при нормальних розмірах

штампового кубика реалізувати двопереходне штампування великогабаритних кільцевих поковок (рис. 1.8). Попереднє фасонування заготовки виробляють на прошивні-бойку, що встановлюється в штамповому рівчаку. Остаточну штамнують підготовлену заготовку в штампі після видалення з ємного прошивня.

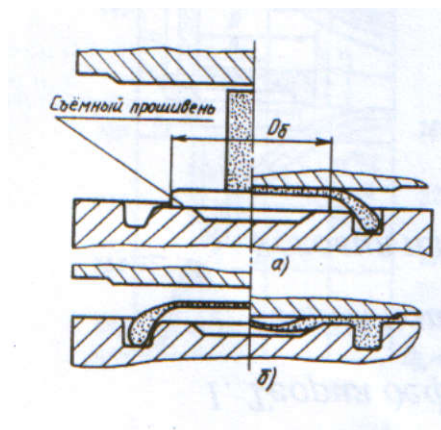


Рисунок 1.8 – Схема способу штампування із застосуванням з'ємного прошивня

Конструкція прошивня дозволяє отримати змінний в різних меридіональних перетинах профіль напівфабрикату. На ділянках деформації в області профільних канавок має місце локальний ефект: випереджальні радіальне витікання металу обумовлює збільшення розміру напівфабрикату; велика висота кільцевого зазору визначає формування потовщеного профільованого ділянки. Таким чином, на периферійних ділянках напівфабрикату, оформлених в області канавок, розміщується об'єм металу, необхідний для подальшого оформлення на поковках ділянок з радіальними відростками.

В роботі [15] представлений новий технологічний процес виготовлення вісесиметричних виробів зі складною ступінчастою бічною поверхнею (з отворами або без них), що полягає в поєднанні операції осаджування (висадки)

або прошивки з обкаткою деталі роликками по зовнішньому діаметру - валкове штампування (рис. 1.9) . Даний спосіб відрізняється від традиційних процесів холодного об'ємного штампування тим, що послідовно деформуються локальні ділянки заготовки, а не весь об'єм одночасно, при цьому вогнище деформації переміщується по периметру окружності заготовки. Таким чином, локальний характер прикладання навантаження призводить до зниження загального зусилля деформування, а також контактних напружень, що діють на інструмент.

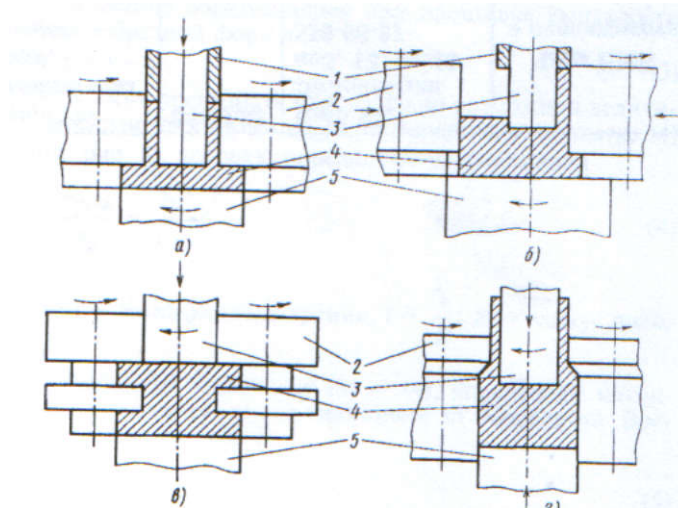


Рисунок 1.9 – Типові схеми валкового штампування

З вище сказаного випливає, що розроблений технологічний процес валкової штамповки вісесиметричних виробів підвищує продуктивність праці в порівнянні з базовими технологіями, дозволяє отримувати вироби зі складною бічною поверхнею при високому коефіцієнті використання металу (0,9 і вище) і дозволяє здійснювати значну формозміну за один перехід без втрати стійкості заготовки, крім того, процес можна застосовувати на автоматичних лініях.

В роботі [16] зіставляються енергетичні витрати при осаджуванні і зворотному видавлюванні з крученням і без кручення пуансона. Відомо, що

процеси осаджування і штампування з осьовим кручінням інструменту в порівнянні зі звичайним осаджуванням або штампуванням вісесиметричних деталей дозволяють знизити силу деформування в 2 - 5 разів. Однак, з точки зору енергетичних витрат позитивний вплив кручення відзначається лише для не великого інтервалу ступенів обтиснень при осаджуванні високих зразків.

В результаті експериментального дослідження було встановлено, що робота сил тертя і спільна робота при осаджуванні з крученням більше, ніж при осаджуванні без кручення. При осаджуванні як низьких, так і високих зразків, кручення не призводить до позитивного енергетичного ефекту, хоча додаткові витрати на кручення, особливо для низьких зразків, незначні.

Робота [17] присвячена визначенню точності холодної осадження циліндричних заготовок і факторів, що впливають на неї. Автор виділяє три групи факторів, що впливають на зазначену точність. До першої групи належать випадкові похибки, що вносяться вихідною заготовкою. Це дійсні відхилення розмірів її висоти і діаметра, а також можливі коливання напруження течії матеріалу заготовки. До другої групи належать фактори, що відображають силовий режим процесу деформування поковки. Це відношення її діаметра до висоти і ступінь деформації вихідної заготовки по висоті. До третьої групи належать фактори, які впливають на похибку вертикальних розмірів поковок, це коефіцієнт жорсткості системи кривошипний прес - штамп і швидкість деформування, що впливає на величину напруження течії матеріалу.

Було доведено, що зменшення інтенсивності зміцнення матеріалу при великих ступенях деформації зменшує жорсткість поковки, а також величину відносної зміни напруження течії, що в підсумку знижує похибку висоти поковки в порівнянні з осадкою при малих ступенях деформації.

З аналізу зазначених рівнянь слід, що найбільший вплив на погрішність висоти осаджуваних поковок дає відношення діаметра до висоти, з його збільшенням похибка зростає. Вплив цього фактора майже в 2 рази більше

впливу ступеня деформації, збільшення якої призводить до зменшення похибки висоти поковки. При цьому вплив збільшення ступеня деформації зростає зі зменшенням відносини діаметра до висоти заготовки.

Так само, було вказано, що застосування мастильного матеріалу з метою підвищення точності поковок при осаді може бути доцільним лише в тому випадку, якщо при цьому забезпечується стабільність умов тертя. Це може бути досягнуто за рахунок вибору ефективного мастильного матеріалу, способу його нанесення і підготовки поверхні поковки для утримання шару мастила постійної товщини.

В роботі [18] автор описує суміщені процеси штампування деталей з трубних заготовок та варіанти суміщення формозмінюючих операцій листового штампування (рис. 1.10). До деталей такого типу можна віднести крутовигнуті патрубкі, деталі з двома стінками, циліндричні деталі великої висоти з дном, одержувані зазвичай з листа багатоперехідною витяжкою, деталі типу куль-балонів.

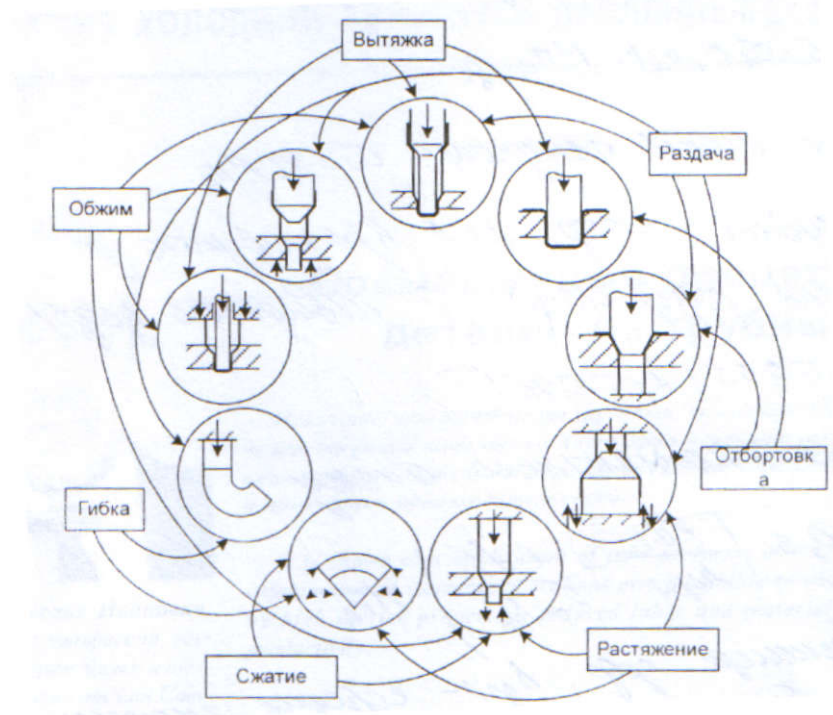


Рисунок 1.10 - Варіанти суміщення формозмінюючих операцій листового штампування

Автор розділяє суміщені процеси штампування на два класи:

1. Процеси, в яких вогнище деформації може бути розбите на окремі зони для кожної з яких заготовка піддається формозміні, характерній для однієї операції. Прикладом є поєднання обтиску і роздачі.

2. Процеси, в яких матеріальні частинки деформуються в умовах, характерних для кількох різних операцій. Прикладом операцій другого класу є роздача або обтискання з підпором в кромку, осаджування з одночасним крученням.

Робота [19] присвячена дослідженню операцій обтиску товстостінних труб в жорстких матрицях. Виготовлення заготовок подовженої форми типу порожніх цапф, валів, осей тощо з товстостінних труб базується на використанні чотирьох основних операцій: обтиску, роздачі, висадки та формування (рис. 1.11).

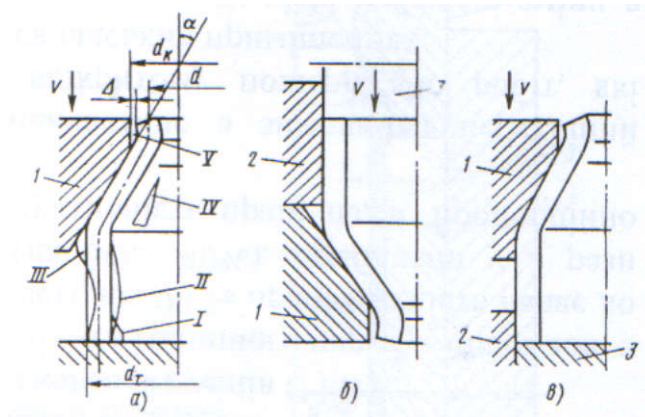


Рисунок 1.11 – Схеми різноманітних способів деформування заготовок при обтискуванні та типи характерних дефектів

На думку автора, для товстостінних труб практично відсутні дані по оцінці змін товщини стінок в процесі деформації і по вибору профілю матриці. Було експериментально досліджена формозміна товстостінних труб із зовнішнім діаметром 54 і 35 мм, з товщиною стінки дорівнює 6 і 5 мм.

Проведені експерименти дозволили встановити особливості формозміни товстостінних труб, а також вплив на показник граничної деформації форми матриці, характерних технологічних факторів і температури.

В роботі [20] мова йде про розвиток маловідходного штампування поволок з товстостінних трубних заготовок по засобом застосування технології гвинтової прокатки труб. Дана технологія дає можливість в умовах функціонують ковальських цехів і підприємств отримувати товстостінні труби, а також штучні трубні заготовки для виготовлення вісесиметричних поволок з наскрізними отворами і порожнинами, які складають до 50% номенклатури продукції, що випускається.

Було вказано, що застосування вихідної заготовки у вигляді товстостінної труби замість сортового прокату, при реалізації технології гарячого об'ємного штампування, дозволяє значно скоротити кількість технологічних переходів (рис. 1.12).

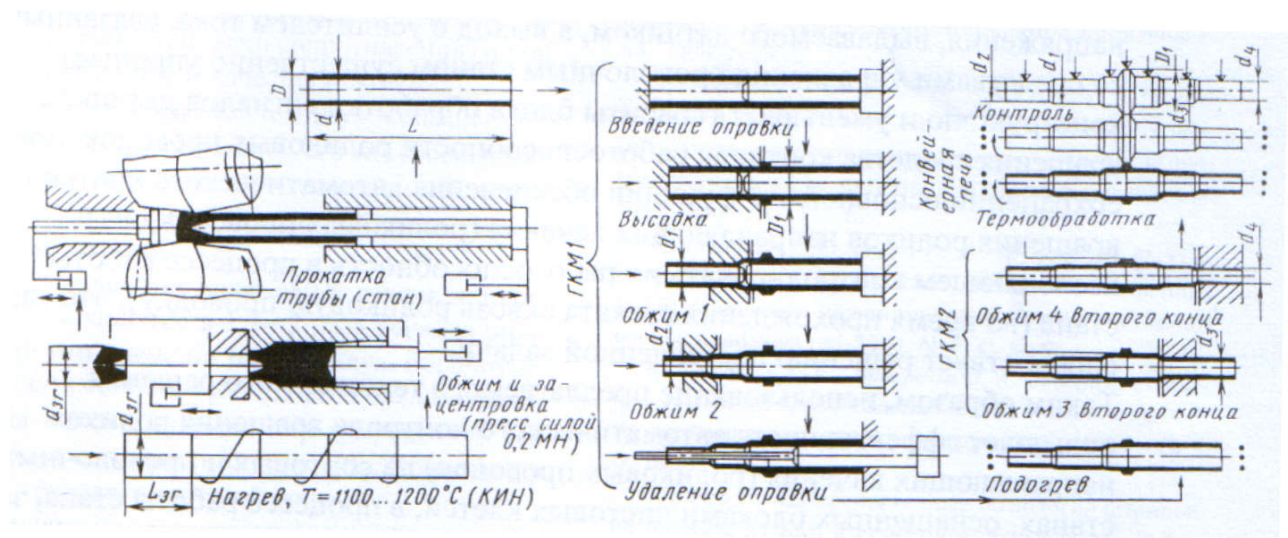


Рисунок 1.12 – Технологічний маршрут виготовлення полого валу

Сили деформування і максимальні значення нормальних напружень зменшуються в 5-6 разів, що дозволяє виконати штампування в режимі

напівгарячої обробки з використанням того ж технологічного обладнання, що і для гарячого штампування поковок з сортового прокату.

Робота [21] присвячена визначенню силових і кінематичних параметрів процесу осаджування з тертям циліндричного зразка. Були отримані вирази для визначення повної потужності і питомої сили деформування. В розгляд введений новий параметр процесу осадження циліндричних зразків - відносний радіус зони прилипання. Грунтуючись на отриманих виразах можна зробити висновок, що зростання питомої сили нелінійно залежить від ставлення радіуса заготовки до її висоти, причому нелінійність тим більше, чим більше коефіцієнт пластичного тертя  $\mu$ , відповідно, чим більше радіус зони прилипання. Радіус зони прилипання не може перевищувати радіус заготовки, тому найбільше значення коефіцієнта пластичного тертя обмежена і залежить від геометричних параметрів заготовки.

В роботі [22] описується технологія виробництва плоских шайб зі збільшеною висотою методом холодного об'ємного штампування (рис. 1.13). Традиційно технологією виробництва плоских шайб зі збільшеною висотою є обробка різанням автоматної або високовуглецевої сталі. Така технологія не ефективна для масового виробництва через високу трудомісткість, низького коефіцієнта використання матеріалу і необхідності ряду доводочних операцій. Запропонована технологія включає в себе ряд наступних операцій: штампування на холодноштампувальному автоматі, термообробка і шліфування для забезпечення необхідної площинності і паралельності торців деталі.

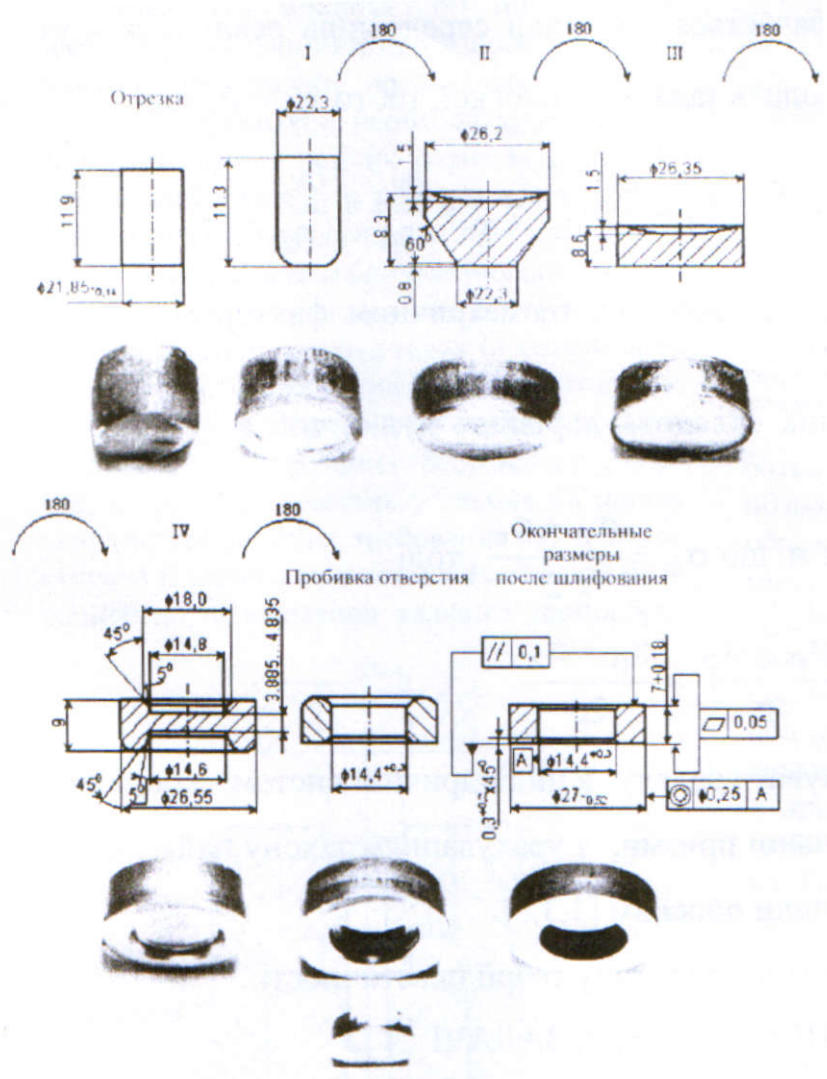


Рисунок 1.13 – Технологічні переходи холодного об’ємного штампування шайби

В роботі [23] автор описує способи виготовлення заготовок типу кілець, втулок невеликої висоти і шайб. На його думку їх можна класифікувати на 5 груп:

1. Штампування з прошивкою.
2. Штампування з прошивкою і подальше розкочування на розкочувальних машинах або експандуванні (роздача) на розтискних секційних оправках.
3. Вирубка з пробиванням.

4. Роздача кільцевих заготовок на двох конічних оправках з пазами і виступами при їх русі на зустріч один до одного.

5. Зварювання пруткового матеріалу з подальшою підчеканкою в штампі.

Однак, в даній роботі запропонований і досліджений процес роздачі кільцевих заготовок рідким наповнювачем (за рахунок гідростатичного тиску) при їх осаджуванні. Схема роздачі з осаджуванням кільцевої заготовки наведена на рисунку 1.14.

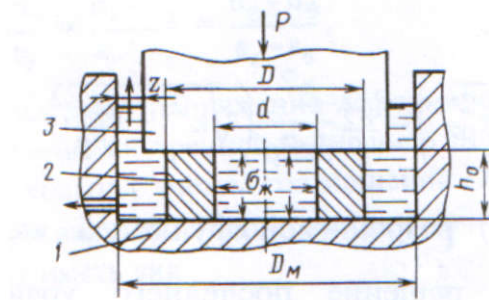


Рисунок 1.14 - Схема роздачі з осаджуванням кільцевої заготовки

На відміну від методів штампування еластичним середовищем і рідиною, що застосовуються в основному при виготовленні виробів з листа, запропонований процес відноситься до холодного об'ємного штампування; деформація відбувається під дією як рідини, так і активного жорсткого інструменту.

## 2. МЕТОДИ РІШЕННЯ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ЗАДАЧ ТЕОРІЇ ПЛАСТИЧНОСТІ. ЧИСЕЛЬНІ МЕТОДИ РІШЕННЯ ЗАДАЧ ОМТ

### 2.1. Проекційні і сіткові методи

Всі чисельні методи, що застосовуються для задач математичної фізики, можна розділити на три групи: сіткові, проекційні і проекційно-сіткові.

Метод сіток (метод кінцевих різниць) призначений для чисельного рішення диференціальних рівнянь в частинних похідних з початковими і граничними умовами [24].

Необхідно вирішити рівняння Пуассона:

$$\lambda \left( \frac{\partial^2 t^\circ}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 t^\circ}{\partial y^2} \right) = -Q(x, y)$$

Рішення даного рівняння представлено виразом:

$$\lambda \left( \frac{\partial^2 t^\circ_{i-1,j} - 2t^\circ_{i,j} + t^\circ_{i+1,j}}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 t^\circ_{i,j-1} - t^\circ_{i,j} + t^\circ_{i,j+1}}{\partial y^2} \right) = -Q_{i,j}$$

де,  $\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності,  $t^\circ$  - абсолютна температура,  $Q$  - внутрішні джерела тепла.

Рівняння Пуассона описує стаціонарне температурне поле в області, що має прямокутну форму. Записавши такі ж рішення рівнянь у всіх внутрішніх точках сітки, отримуємо систему лінійних алгебраїчних рівнянь. Після цього перетворюємо вихідну систему з урахуванням граничних умов, тобто виключаємо з неї відомі значення температури в граничних точках. Таким

чином, отримаємо систему лінійних алгебраїчних рівнянь щодо  $t_{i,j}^{\circ}$ , вирішивши яку отримаємо вузлові значення температури.

Кінцево різницевий метод дає інформацію про функції в вузлах сітки, але не дає ніякої інформації в значеннях функції між цими точками. Диференціальне рівняння апроксимується тільки в дискретному числі точок, а не на всьому інтервалі.

Метод кінцевих різниць надзвичайно зручний при вирішенні еліптичних і параболічних задач в областях простої форми і з граничними умовами. У цих випадках метод сіток є найкращим з усіх існуючих методів.

Метод сіток зручний при вирішенні задач методом функцій струму. Його можна застосовувати при вирішенні диференціальних рівнянь руху в напружених, а також в змішаній постановці (коли невідомими є проекції вектора швидкості і гідростатичний тиск). Однак в цьому випадку виявляються його негативні властивості. У цьому сенсі найбільш доцільно спільне застосування методу скінченних різниць та варіаційно- енергетичного. При вирішенні завдання в так званій варіаційно- різностному формулюванні незручність при апроксимації граничних умов по Нейману відпадає. Що ж стосується обліку криволінійних меж, то доводиться застосовувати різні варіанти відображення досліджуваної області на іншу, правильної форми. У цьому випадку так само зростає складність побудови рішення.

Під проекційними розуміють велику групу методів чисельного рішення, в загальному випадку, операторних рівнянь. Причому в результаті їх застосування завдання рішення диференціального або інтегрального рівняння зводиться до вирішення системи алгебраїчних рівнянь.

Метод кінцевих різниць має відмінну обчислювальну ефективність. Зі свого боку, проекційні методи добре враховують граничні умови по Нейману. І сіткові і проекційні методи дозволяють вирішувати фізично нелінійні задачі, завдання з анізотропією середовища, нестационарні в часі.

Але при всіх своїх перевагах, їм притаманні і «фундаментальні» недоліки. Так, для підвищення точності рішення методом кінцевих різниць необхідно різко згущувати сітки в цікавлять областях, або застосовувати більш точні (складні) різницеві схеми. У першому випадку різко зростає час рахунку на ЕОМ; у другому - до того ж зростає час складання і налагодження програми. Вибір координатних і вагових функцій у разі застосування проєкційних методів також є іноді не простим завданням. Крім того, часто «зручні» у фізичному сенсі вагові та координатні функції стають «незручними» при чисельному рішенні дозволяють систем рівнянь.

До проєкційно- сіткових методів можна віднести три найбільш відомих: варіаційно- різницевий, метод скінченних елементів (МКЕ), метод граничних інтегральних рівнянь і заснований на ньому метод граничних елементів (ГІР - МГЕ).

Варіаційно- різницевий метод являє собою застосування кінцево різностної дискретизації функціоналу потужності (або енергії) в задачі механіки суцільних середовищ і в деяких інших областях.

Варіаційно- різницевих підхід широко поширений при вирішенні крайових задач механіки суцільних середовищ. Застосування кінцево різностної дискретизації функціоналу потужності істотно підвищує можливості варіаційно- енергетичного методу.

Подальший розвиток цієї групи методів стосовно крайовим задачам теорії пластичності має найбільші перспективи в суміщенні з сучасними сітковими методами - перш за все МКЕ і МГЕ.

## 2.2 Застосування методу скінченних елементів до вирішення тривимірних задач ОМТ

Теоретичні основи використання методу скінченних елементів для розв'язування задач ОМТ були закладені в роботах, присвячених застосуванню варіаційних методів до задач теорії ОМТ. Основними факторами, що стримують застосування цих методів до більшості реальних процесів ОМТ, були наступні.

Для отримання рішення за допомогою варіаційного методу необхідно вибрати координатні функції визначення на всій області металу і задовольняють заданим граничним умовам. З цієї причини варіаційні методи застосовувалися в задачах з формою осередку деформації канонічної форми, наприклад, для моделювання осаджування прямокутного паралелепіпеда. Інші недоліки: вибір системи координатних функцій в варіаційному методі неоднозначний, і від певних функцій може істотно залежати рішення. Вельми складно врахувати нерівномірність механічних властивостей деформованого металу. Принципові труднощі виникали при спробі врахувати нелінійність граничних умов.

Перші роботи з моделювання процесів ОМТ за допомогою методу скінченних елементів з'явилися в 70-х роках. Основний напрямок розвитку методів комп'ютерного моделювання процесів ОМТ пов'язано з отриманням надійних тривимірних рішень.

Існує ряд тривимірних рішень, в яких просторова задача зводиться до послідовності двовимірних. У таких роботах пропонується вельми ефективні процедури вирішення конкретної тривимірної задачі, що використовують ряд припущень, властивих саме цьому завданню. Число завдань, до яких можливо застосувати методи декомпозиції, досить обмежена, і в це число не входять завдання з вираженим тривимірним полином металу.

При вирішенні завдань ОМТ за допомогою МКЕ найбільшого поширення набули два алгоритми, що розрізняються за способом задоволення умови нестискуванності металу. В одному випадку рішення визначається з умови мінімуму функціонала Лагранжа в поєднанні з методом штрафних функцій для задоволення умови нестискуванності, в іншому - з умови стаціонарності функціоналу Маркова на полях швидкостей течії і середнього гідростатичного напруження.

Відповідно до підходом, заснованому на методі штрафних функцій, рішення визначається з умови мінімуму на полях швидкостей течії наступного функціоналу:

$$J = \frac{1}{2} \int_V \mu H^2 dV + K_p \int_V \varepsilon_0^2 dV - \int_F \sigma_\tau \vartheta_\tau dF,$$

де  $\mu$  - умовна в'язкість металу, який визначається шляхом послідовних ітерацій відповідно до методу гідродинамічних наближень за формулою:

$$\mu = \frac{T(H, \Lambda, t)}{H}$$

де,  $T(H, \Lambda, t)$  - залежність інтенсивності зсувних напружень  $T$  від інтенсивності швидкості зсувних деформацій  $H$ , зсувних деформацій  $\Lambda$  та температури  $t$ , розрахованих на попередній ітерації;  $K_p$  - штрафний коефіцієнт на невиконання умови несжимаемости,  $\vartheta_\tau$  - швидкість ковзання металу по інструменту;  $\sigma_\tau$  - напруження тертя.

Середнє напруження  $\sigma_0$  розраховується по асимптотической формулою:

$$\sigma_0 = \lim_{K_p \rightarrow \infty} K_p \varepsilon_0$$

Зв'язок напружень м швидкостей деформації здійснена на основі теорії пластичної течії нестискуваних нелінійно- в'язких середовищ. Такий підхід дозволяє розглядати завдання упруго пластичі і жорстко пластичні з точки зору єдиних алгоритмів розв'язання крайової задачі.

Для врахування реальних реологічних властивостей металу використовувався метод гідродинамічних наближень. При чисельному інтегруванні властивості матеріалу розраховуються в кожній точці інтегрування.

Розглянемо дискретну форму функціоналу  $J$ :

$$J = \sum_{e=1}^{n_e} J_e$$

де  $n_e$  – загальне число елементів;  $e$  – номер елемента;  $J_e$  - значення функціоналу, обчислене на елементі  $e$ .

Альтернативним методом отримання рішення є використання змішаної варіаційної формулювання:

$$J = \frac{1}{2} \int_V \mu H^2 dV + \int_V \sigma_0 \varepsilon_0 dV - \int_F \sigma_\tau \vartheta_\tau dF$$

Цей варіаційний принцип був запропонований А.А. Маруовим і пізніше застосований Герман для вирішення ряду завдань теорії пружності нестискуваних матеріалів. Формулювання, в основу якої покладений даний функціонал отримала також назву змішаної.

На відміну від варіаційного принципу Лагранжа, варіаційний принцип Маркова є не екстремальним, а стаціонарним. При цьому невідомими є як швидкості в вузлах, так і значення середньої напруги.

Підхід на основі змішаної варіаційної формулювання призводить до більшої кількості невідомих, ніж в методі штрафних функцій - змінними є

швидкості течії в вузлах сітки, що використовуються для апроксимації швидкості, і середня напруга в вузлах, використовуваних для апроксимації середньої напруги.

Формули для розрахунку коефіцієнтів матриці жорсткості виходять шляхом диференціювання дискретної форми функціоналу Маркова по вузловим значенням швидкостей течії і середньої напруги.

Рішення тестових завдань:

- завдання течії лінійно-в'язкої нестисливої рідини в напівобмеженого каналі з паралельними стінками (задача Пуазейля). Це завдання є визнаним тестом чисельних рішень заду даного класу.

- задача тривимірної опади довгого зразка. При цьому за допомогою тривимірної моделі фактично вирішується двомірна задача.

- завдання тривимірної опади і прокатки.

- пресування простого профілю.

Нестисливі металу при використанні для вирішення МКЕ призводить до появи суттєвих проблем. Причому, мова йде не про втрату обсягу заготівлі при розрахунку. Велика частина втрати обсягу заготівлі при вирішенні задачі за допомогою МКЕ відбувається за рахунок абсолютно інших чинників - похибки в обліку геометричних умов. Проблема в тому, що при стандартній формулюванні МКЕ, запозиченої з теорії пружності, виникає погіршення рішення, відоме як явище блокади обсягу. Це явище проявляється у надмірній жорсткості деяких кінцевих елементів, що призводить до істотного відхилення розрахункового течії металу від спостережуваного експериментального. Величина цього відхилення значно перевищує помилки, пов'язані з похибкою визначення властивостей металу, температури, коефіцієнта тертя і ін. Відомо, що це явище проявляється у всіх кінцевих елементах при використанні методу штрафних функцій для задоволення умови нестискуванності.

Основною причиною появи блокади обсягу вважається неможливість задоволення умов сталості обсягу у всіх точках об'єму елемента на основі використання функцій форми кінцевого елемента.

Прояв блокади обсягу залежить від граничних умов, вірніше від ступеня обмеження течії металу інструментом. Граничний випадок блокади обсягу, що виникає від граничних умов, відповідає, наприклад, процесу стиснення металу в замкнутому контейнері. В цьому випадку при русі інструмента умова сталості обсягу виконано бути не може. У цьому сенсі найбільш «проблемними» процесами ОМТ слід вважати пресування і штампування в закритих штампах.

Таким чином, проблема блокади обсягу має виникати при будь-якому типі кінцево-елементної апроксимації, питання полягає в тому, в якій мірі це може отримати рішення конкретного завдання з необхідною точністю.

З вищевикладеного, зокрема, слід безперспективність пошуку функцій форми, що дозволяють «ідеально» задовольнити умову нестискуванності на рівні апроксимації поля швидкостей в обсязі кінцевого елемента.

Найбільш відомим способом подолання блокади обсягу є використання змішаної варіаційної формулювання, при якій використовується незалежна інтерполяція для поля швидкостей течії і поля середньої напруги. Наприклад, в разі білінійної апроксимації швидкості і кусочно-постійної апроксимації середньої напруги рішення помітно поліпшується.

### 2.3 Рішення задач обробки металів тиском за допомогою методу граничних елементів

Розглянемо особливості МГЕ в порівнянні з МКЕ

- при розрахунку напруженого стану МСЕ на базі теорії пластичної течії нестисливої середовища виникає значна похибка при визначенні напружень. В

МГЕ напруги розраховуються, як і швидкості течії, на порядок точніше, ніж МКЕ;

- при вирішенні задач МКЕ виникають труднощі при виконанні умови несжимаемости металу. МГЕ дозволяє вирішити цю проблему принципово за рахунок використання фундаментального рішення, точно задовольняє умові несжимаемости;

- рішення за допомогою МКЕ може істотно залежить від якості сітки, типу використовуваних елементів і порядку апроксимації полів швидкостей течії і напруг, при чому для полів швидкостей і напруг зазвичай вибираються різні типи апроксимації. Ці складності є і в МГЕ, але стосуються вони тільки сітки на поверхні області;

-МГЕ фактично знижує розмірність завдання на одиницю за рахунок дискретизації тільки поверхні області.

Основні причини розглянутих проблем, що виникають при використанні МКЕ наступні:

- рішення шукається на функціях форми елементів, які задаються в залежності від типу застосовуваних елементів. При цьому клас функції на якому шукається рішення, може не в повній мірі відповідати реальному розподілу швидкостей і напруг у відповідній області металу, особливо при наявності концентраторів напружень. Від сюди слід можлива залежність рішення від типу елементів і порядку апроксимації при порівняно малій кількості елементів;

- операції чисельного диференціювання отриманих полів швидкостей течії при розрахунку компонент тензора швидкості деформації збільшує похибки подальшого розрахунку напруг;

- значно зменшує точність розрахунку сингулярність, яка виникає в співвідношеннях теорії пластичної течії при переході до нестисливої середовищі. Цей недолік МКЕ при вирішенні задач деформації нестисливого середовища обговорюється фахівцями з МГЕ як однієї з його переваг перед

МКЕ. Дійсно, на відміну від МКЕ, МГЕ в повній мірі використовує фундаментальні аналітичні рішення диференціальних рівнянь рівноваги, які не мають сингулярності при переході до нестисливої середовищі, і з цієї причини дозволяє обійти багато з перерахованих труднощів.

## 2.4 Методи зворотного вирішення

Традиційно під завданнями теорії обробки металів тиском прийнято розуміти завдання визначення характеру перебігу металу і особливості напруженого стану при заданій формі інструменту і відомому законі його впливу на заготовку. Такі завдання будемо називати прямими завданнями ОМД. Рішення прямих задач мають принципове значення для розуміння сутності процесів пластичного формоутворення і прогнозування результатів обробки тиском.

Однак цілі розробки нових технологій обробки тиском, виробництво виробів із заданими властивостями вимагають розвитку досліджень принципово іншого напрямку. Такі дослідження повинні дати відповіді на такі важливі питання: якою має бути форма інструменту, як впливати на заготовку, щоб домогтися течії металу і певного процесу зміни напруженого стану, щоб, в кінцевому рахунку, отримати вироби необхідної форми і з необхідними фізико-механічними властивостями. Виникаючі завдання будемо називати зворотними завданнями ОМД.

Прямі задачі зазвичай формуються у вигляді крайових задач теорії пластичності. Хоча пряме завдання є складної нелінійної завданням математичної фізики, тим не менш її формулювання в повніше однозначна. Прямі завдання допускають узагальнені формулювання (наприклад, варіаційні),

які зазвичай служать принциповою основою для розробки методів чисельного дослідження.

Істотно інша ситуація складається з постановкою завдань зворотних. Коло таких завдань широкий; зворотні завдання різноманітні за своїм змістом. Тому єдина формулювання класу обернених задач неможлива. У більшості випадків взагалі немає ясності з приводу можливої форми математичної постановки обернених задач. Навіть якщо таке завдання сформульована, її математична коректність не є очевидною. На кінець, обернені задачі вимагають нетрадиційного підходу до методології рішення. З цього дослідження обернених задач не дивлячись на їх практичну значимість, знаходяться тільки на початковому етапі.

Класи обернених задач:

- технологічні завдання формування заданого напруженого стану;
- створення шаруватих композиційних матеріалів;
- визначення контактних напружень за результатами змін поза контактної поверхні;
- завдання досягнення заданого формозміни (завдання калібрування інструменту).

## 2.5 Методи прямого вирішення

Як було показано вище, рішення крайових задач ОМТ в змістовному плані являє собою рішення задач математичної фізики з істотною нелінійністю фізико-механічних властивостей деформованого металу. Облік фізичної нелінійності деформируемой середовища являє собою одну з фундаментальних проблем.

Відзначимо лише, в даний час найбільш широко застосовуються такі методи лінеаризації нелінійних задач:

- метод пружних рішень;
- метод гідродинамічних наближень;
- метод додаткових напружень;
- метод додаткових об'ємних сил.

Перші два методи по своєму математичному змісту практично ідентичні і являють собою заміну рішення задачі для нелінійного середовища послідовністю рішень пружних (лінійно-в'язких) завдань для лінійних, але не однорідних середовищ - на кожній ітерації виробляється підстроювання або модуля пружності, або умовної в'язкості  $G$ . Відзначимо лише, що методи пружних рішень і гідродинамічних наближень мають істотно більш високою швидкістю збіжності, ніж методи додаткових напружень і додаткових об'ємних сил. Як правило, для досягнення необхідної точності потрібно всього кілька ітерацій.

Однак при вирішенні тривимірних задач пластичного деформування застосуванням сучасних чисельних методів, коли кількість невідомих може досягати декількох десятків тисяч, потрібні досить значні обчислювальні ресурси. Час вирішення складних тривимірних задач навіть на сучасних потужних ЕОМ становить від декількох годин до декількох діб. У цьому сенсі проведення навіть однієї додаткової ітерації по методам гідродинамічних наближень або пружних рішень істотно збільшує повне час розрахунку.

Ще одна фундаментальна проблема, що виникає при вирішенні крайових задач ОМТ, полягає в нелінійності граничних умов. На контакті металу з деформуючим інструментом напруга тертя і відносна швидкість ковзання залежать один від одного, тобто для вирішення цієї проблеми так само потрібно деякі ітераційні алгоритми.

Можна зробити висновок, що при всій своїй потужності і глибиною аналізу сучасні чисельні методи не придатні для вирішення завдань

оперативного управління процесами ОМТ - прокатки, кування і т.д. Тому в системах управління реальними процесами ОМТ як правило застосовуються алгоритми, засновані на обробці даних лабораторних та промислових експериментів. Такі алгоритми ефективно працюють у вузькому діапазоні параметрів технологічних процесів - при їх зміні потрібне проведення нових експериментів і обробка результатів. Крім того, при проведенні експериментів неможливо врахувати вплив багатьох важливих чинників технологічних процесів: температурне поле в осередку деформації, напружено-деформований стан, зміна мікроструктури і т.д.

### 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 3.1 Геометричні методи визначення деформованого стану при пластичній формозміні. Координатна сітка

Один з відомих геометричних методів експериментального аналізу деформації є метод ділительних, або координатних сіток, застосування якого для дослідження пластичного формозміни було описано більше ста років тому. Метод полягає в тому, що на досліджувану поверхню наносять систему точок, ліній або будь-яких інших позначок, зміна взаємного розташування і конфігурації яких дозволяє визначити переміщення, деформації, швидкості і т.д. Найбільше поширення набули сітки, що складаються з взаємно перпендикулярних систем паралельних ліній з рівним кроком. Це пов'язано з достатньою простотою їх отримання і обробкою первинних експериментальних даних. Метод ділительних сіток дає дискретну інформацію, база його задається відстанню між сусідніми лініями - кроком сітки.

В результаті вимірювань можна визначити деякий середнє значення переміщень і деформацій, тому для збільшення чутливості методу необхідно зменшувати крок сітки. Це в свою чергу призводить до збільшення числа вимірювань і трудомісткості, а також вимагає застосування високоточних вимірювальних приладів і більш якісного нанесення початкової сітки.

Термін координатна, або ділительна сітка буде фігурувати в широкому сенсі. Він буде позначати не тільки систему рисок або інших міток, нанесених на площині, а й просторові системи гвинтів, штифтів, рейок, решіток і т. п. Незважаючи на різноманіття варіантів виконання сіток, за способом трактування експериментальної інформації їх можна розділити на дві основні групи: до першої групи належать методи, які використовують співвідношення деформаційної теорії пластичності; методи другої групи ґрунтуються на теорії пластичної течії. У всіх випадках вводиться гіпотеза про ізотропності матеріалу

і однорідності деформації в межах осередку сітки, а отримані компоненти деформованого стану є середніми і умовно відносяться до центру осередки.

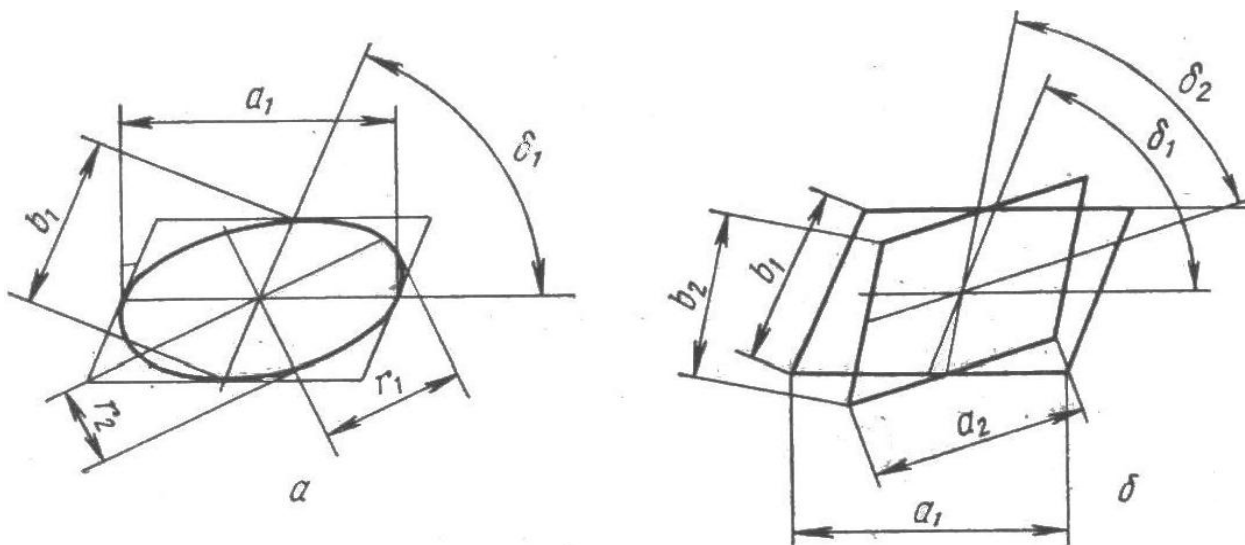
На початковому етапі розвитку метод координатних сіток використовували тільки для якісного аналізу ПДВ. Удосконалення методики проведення експерименту і способів обробки дослідних даних, а також розвиток обчислювальної техніки дали можливість реалізувати кількісний аналіз. Втім, обробка експериментальної інформації методу координатної сітки і в даний час залишається досить трудомістким процесом, що зумовлено великою кількістю вимірювальних операцій і підготовкою даних до введення в ЕОМ. Тому перспективи подальшого розвитку методу пов'язані з вирішенням проблеми автоматизації експериментальних досліджень.

Кінцеві деформації. Розглянемо випадок нанесення координатної сітки на площину дії головних деформацій. Найпростіше можна визначити компоненти головних деформацій в тому випадку, коли їх напряму відомі і не змінюються в процесі деформування. У цьому випадку коло, вписаний в квадратну осередок сітки, перетворюється в еліпс, а сама осередок - в прямокутник. Головні деформації еліпса визначаються за формулою:

$$\bar{\varepsilon}_1 = \ln \frac{r_1}{r_0}, \bar{\varepsilon}_2 = \ln \frac{r_2}{r_0}, \quad (3.1)$$

Якщо деформація осередку супроводжується зрушенням, то початковий квадрат перетворюється в паралелограм (рис. 3.1, а) і головні піввісь еліпса можна визначити так:

$$r_{1,2} = \sqrt{\frac{a_1^2 + b_1^2}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{a_1^2 + b_1^2}{2}\right)^2 - a_1^2 b_1^2 \sin^2 \delta_1}}, \quad (3.2)$$



а - прямокутний-паралелограм; б - паралелограм-паралелограм

Рисунок 3.1 - Схема перетворення осередку делительной сітки

Напрямок найбільших головних деформацій обчислюється за формулою:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{r_1^2 - r_2^2}{2r_1^2} \operatorname{tg} \delta_1 - \sqrt{\left(\frac{r_1^2 - r_2^2}{2r_1^2} \operatorname{tg} \delta_1\right)^2 - \frac{r_2^2}{r_1^2}}. \quad (3.3)$$

Головні компоненти деформацій визначаються по (3.1), а інтенсивність логарифмічних деформацій з урахуванням умови нестискуваності буде:

$$\bar{\varepsilon}_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\bar{\varepsilon}_1^2 + \bar{\varepsilon}_2^2 + \bar{\varepsilon}_3^2}. \quad (3.4)$$

Таким чином, тільки для одного осередку потрібно провести три виміри: два лінійних і одне кутовий.

У загальному випадку, коли вихідна осередок має форму паралелограма (рис. 3.1, б), головні деформації визначаються наступним чином:

$$\bar{\varepsilon}_1 = \frac{1}{2} \ln \frac{b_2^2 + n_1^2 a_2^2 + 2n_1 a_2 b_2 \cos \delta_2}{b_1^2 + n_1^2 a_1^2 + 2n_1 a_1 b_1 \cos \delta_1}$$

$$\bar{\varepsilon}_2 = \frac{1}{2} \ln \frac{b_2^2 + n_2^2 a_2^2 + 2n_2 a_2 b_2 \cos \delta_2}{b_1^2 + n_2^2 a_1^2 + 2n_2 a_1 b_1 \cos \delta_1}$$

$$a_{n_{1,2}} = \frac{[(a_1^2 b_2^2 - a_2^2 b_1^2) \pm \sqrt{(a_2^2 b_1^2 + 4(a_1 b_1 a_2^2 \cos \delta_1 - a_2 b_2 a_1^2 \cos \delta_2)) \cdot (a_1 b_1 b_2^2 \cos \delta_1 - a_2 b_2 b_1^2 \cos \delta_2)}]}{2(a_1 \cdot a_2^2 \cos \delta_1 - a_2 b_2 a_1^2 \cos \delta_2)}$$

Напрямок головних осей в вихідному деформованому стані буде:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{b_1 \sin \beta_1 + n_{1,2} a_1 \cos \alpha_1}{b_1 \cos \beta_1 + n_{1,2} a_1 \sin \alpha_1};$$

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{b_2 \sin \beta_2 + n_{1,2} a_2 \cos \alpha_2}{b_2 \cos \beta_2 + n_{1,2} a_2 \sin \alpha_2}.$$

Застосування цих формул виявляється доцільним при поетапному дослідженні процесів ОМД, коли осередки наступних етапів не є прямокутними.

При дослідженні НДС для осесиметричних задач пластичного формозміни зручно використовувати делительную сітку, що складається з системи кіл радіуса  $r_0$ . Головні деформації в цьому випадку обчислюються за простими співвідношенням:

$$\bar{\varepsilon}_\theta = \ln \frac{R}{R_0}, \bar{\varepsilon}_1 = \ln \frac{r_1}{r_0}, \bar{\varepsilon}_2 = \ln \frac{r_2}{r_0}, \quad (3.5)$$

де  $\bar{\varepsilon}_\theta$  – окружна і головні деформації в меридіональному перерізі;  $r_1$  та  $r_2$  – піввісь еліпса, в який перетворилася первісна окружність.

Напрямок головної деформації  $\bar{\varepsilon}_1$  визначається експериментально як кут  $\varphi$  між напрямком більшої півосі еліпса  $r_1$  і віссю зразка. Осьову і радіальну логарифмічну деформації можна знайти за формулами:

$$\bar{\varepsilon}_z = \frac{1}{2} \left( \bar{\varepsilon}_\theta + \ln \frac{r_1}{r_2} \cos 2\varphi \right); \quad \bar{\varepsilon}_r = \frac{1}{2} \left( \bar{\varepsilon}_\theta - \ln \frac{r_1}{r_2} \cos 2\varphi \right). \quad (3.6)$$

Компоненти діватора напружень можна визначити, використовуючи рівняння теорії опору матеріалів пластичного деформації. Величини нормальних напружень дізнаються при інтегруванні відповідних диференціальних рівнянь рівноваги.

Загальним недоліком цих способів, обробки первинних експериментальних даних є порівняно невисока точність вимірювання кутових

величин. Позначимо, що досить точні результати можна отримати, вимірюючи тільки лінійні координати вузлів сітки.

**Візіопластичність.** Даний метод заснований на експериментальному визначення швидкостей течії по спотворень координатної сітки в припущенні, що напрямок малих збільшень пластичної деформації збігається з напрямком швидкостей деформації. Метод візіопластичності використовують в основному для дослідження кінематики сталих процесів пластичного формозмінення. Для знаходження поля швидкостей на площину зразка наносять систему прямих ліній, паралельних напрямку руху матеріалу. В процесі деформації ці лінії, як правило, збігаються з лініями струму. Щоб вийшло достатню кількість експериментальних даних, число ліній струму повинна становити не менше 15-20, а для спрощення подальших обчислень крок ліній раціонально приймати постійним. У разі стаціонарного процесу зразок деформується до отримання сталої картини перебігу; якщо процес несталий, то зразок деформується малими ступенями.

Проаналізуємо процес плоскої деформації (рис. 3.2).

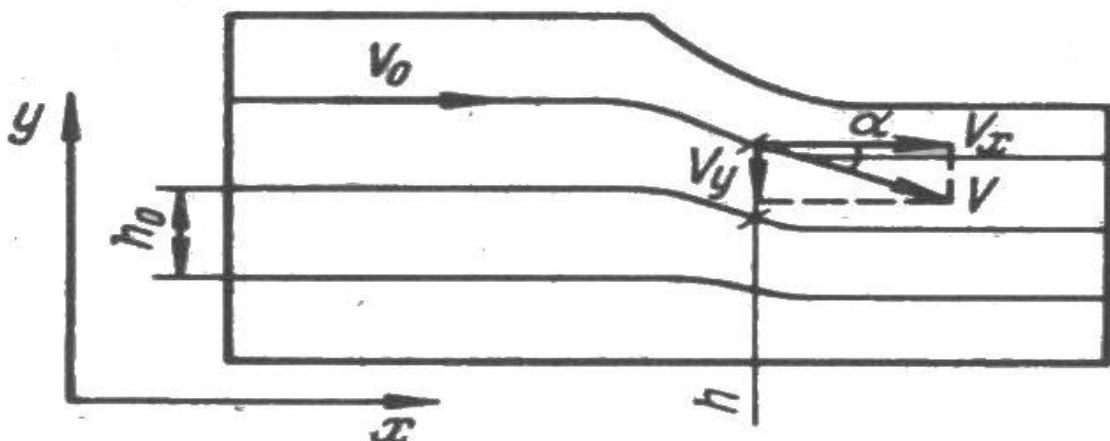


Рис. 3.2 - Лінії течії при плоскому деформуванні

Очевидно, що дотична в будь-якій точці лінії струму подібна напрямку вектора швидкості матеріальної точки. Тому, визначаючи уздовж експериментально отриманої лінії струму кут нахилу дотичній, можна побудувати векторне поле швидкостей течії металу. Для визначення модуля швидкості розіб'ємо фактичний вогнище деформації системою вертикальних прямих з рівним кроком на ряд ділянок. Тоді з умови сталості секундного обсягу слід:

$$V_x = V_0 \frac{h_0}{h},$$

де  $V_x$  - горизонтальна складова вектора повній швидкості в даній точці;  
 $V_0$  - швидкість недеформованого кінця;  $h_0$  та  $h$  – відстань між лініями струму в недеформованою зоні і в даній точці відповідно.

Величини вертикальної складової і повного вектора швидкості обчислюють за формулами:

$$V_y = V_x \operatorname{tg} \alpha; V = \frac{V_x}{\cos \alpha}. \quad (3.7)$$

При цьому рекомендується попередньо інтерполювати компоненти швидкості течії в вузли прямокутної сітки. Тут для всіх точок підраховують інтенсивність швидкостей деформацій:

$$\xi_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\xi_x^2 + \eta_{xy}^2} \quad (3.8)$$

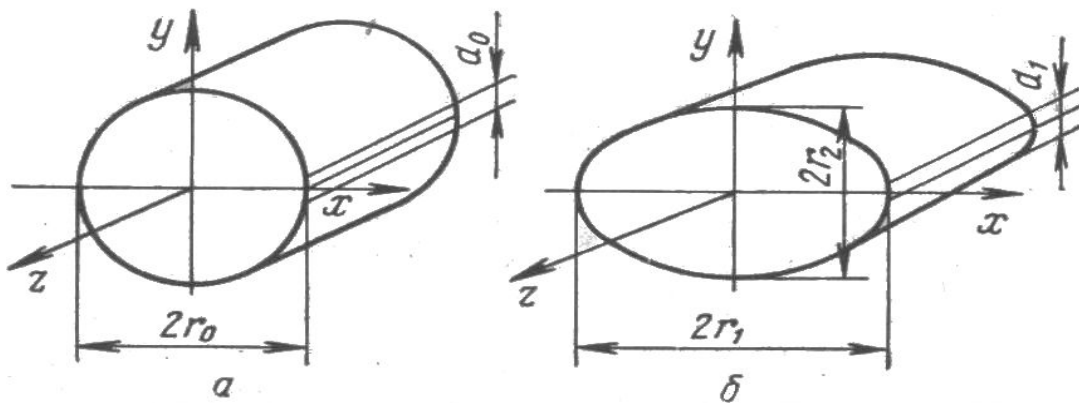
Для визначення компонент напруженого стану використовують рівняння теорії пластичної течії, згідно з якою компоненти девіатора напруг пропорційні швидкостям деформацій:

$$\xi_x = \lambda(\sigma_x - \sigma_{cp}); \xi_y = \lambda(\sigma_y - \sigma_{cp}); \eta_{xy} = \lambda\tau_{xy}, \quad (3.9)$$

де коефіцієнт пропорційності  $\lambda = 3\xi_i/2\sigma_i$  є функцією координат. У загальному випадку він залежить не тільки від інтенсивності швидкостей, але і від ступеня деформації і температури.

Основним недоліком використання ліній струму для визначення компонент ПДВ є наявність додаткової операції диференціювання, що може привести до великих погрешностей кінцевих результатів. Тому необхідна велика акуратність при проведенні експерименту і підвищена точність вимірювань.

**Розрахунок фіктивної сітки.** Даний спосіб був розроблений для дослідження нерівномірності деформації при куванні круглої заготовки. Він дозволяє розрахувати орієнтовні параметри координатної сітки, розташованої у вертикальній і горизонтальній площинах симетрії суцільний заготовки.



а – зразок до та б – після деформування

Рис. 3.3 - Схема розрахунку фіктивної делительної сітки

Для цього на бічній поверхні зразка наносять дві лінії, паралельні його утворює (рис. 3.3); вимірюючи в фіксованих точках відстань між цими ризиками до  $a_0$  та після  $a_1$  деформації, можна визначити висотну деформацію:

$$\bar{\epsilon}_y \Big|_{\substack{x=r_0 \\ y=0}} = \ln \frac{a_1}{a_0}, \quad (3.10)$$

де  $r_0$ - радіус заготовки.

Припустимо, що відбувається гіпотеза плоских перетинів, тоді середня деформація уздовж осі z буде постійна і дорівнює:

$$\epsilon_z = \ln \frac{F_0}{F_1}, \quad (3.11)$$

де  $F_0$  и  $F_1$ - початкова і кінцева площа поперечного перерізу.

У багатьох випадках без великої погрішності можна вважати, що при деформації спочатку круглий поперечний переріз перетворюється в еліпс, площа якого можна обчислити за формулою:

$$F_1 \approx \frac{\pi}{4} r_1 r_2. \quad (3.12)$$

Так як дослідження проводиться в головних площинах, то деформації  $\bar{\varepsilon}_x$  та  $\bar{\varepsilon}_y$  є головними і визначаються за формулами:

$$\bar{\varepsilon}_x = \ln(1 + \varepsilon_x) = \ln\left(1 + \frac{\partial u}{\partial X}\right) = \ln\left(\frac{\partial x}{\partial X}\right); \quad (3.13)$$

$$\bar{\varepsilon}_y = \ln(1 + \varepsilon_y) = \ln\left(1 + \frac{\partial v}{\partial Y}\right) = \ln\left(\frac{\partial y}{\partial Y}\right),$$

де  $X$  та  $Y$  – координати матеріальної точки в недеформованому стані;  $x$  та  $y$  – координати тієї ж точки після деформації.

Так як в силу симетрії функції переміщень  $u$  та  $v$  непарні, то можна записати:

$$\frac{\partial x}{\partial X}\Big|_{y=0} = C_0 - C_1 \left(\frac{X}{r_0}\right)^2; \quad \frac{\partial y}{\partial Y}\Big|_{x=0} = C_2 - C_3 \left(\frac{Y}{r_0}\right)^2. \quad (3.14)$$

Сталі  $C_0, C_1, C_2$  можна виразити безпосередньо через результати вимірювань відстаней між ризиками і площі поперечного перерізу:

$$C_0 = \frac{3}{2} \left( \frac{r_1}{r_0} - \frac{F_1 a_0}{F_0 a_1} \right); C_1 = C_0 - \frac{F_1 a_0}{F_0 a_1};$$

$$C_2 = \frac{r_1 r_2}{r_0^2 C_0}; C_3 = 3 \left( C_2 - \frac{r_2}{r_0} \right).$$
(3.15)

Значення координат для побудови ліній сітки, яку ми мали б на площині фізичного різку, обчислюють за формулами:

$$x|_{Y=0} = \int_0^x \frac{\partial x}{\partial X} dX = C_0 X - \frac{C_1}{3} \left( \frac{X}{r_0} \right)^2 X;$$

$$y|_{X=0} = \int_0^y \frac{\partial y}{\partial Y} dY = C_2 Y - \frac{C_3}{3} \left( \frac{Y}{r_0} \right)^2 Y.$$
(3.16)

Експериментальна перевірка автора [22] показала, що похибка обчислення площі поперечного перерізу за формулою еліпса не перевищує 5%; умова сталості поздовжньої деформації виконується з точністю 5-10%, а відхилення фактичної координатної сітки від розрахункової становить 10-15%. Ці дані дозволяють зробити висновок про те, що спосіб фіктивної (розрахункової) ділильної сітки можна успішно використовувати для якісного

експрес-аналізу деформованого стану ряду процесів пластичного формозмінення металів в холодному і гарячому станах.

3.2 Лабораторне дослідження впливу технологічних параметрів на неоднорідність деформації металу при деформації

### 3.2.1 Постановка задачі дослідження

При вивченні процесів гарячого штампування ми зустрічаємося з рядом вельми актуальних практичних завдань:

1. Визначення потрібної механічної роботи деформування при реальному або запроєктованому технологічному процесі.
2. Визначення максимального зусилля машини-знаряддя.
3. Визначення характеру деформації.
4. Перевірка міцності робочого інструмента і ін.

Для цього потрібно, перш за все, аналіз напруженого і деформованого стану оброблюваного металу в його окремих зонах або в повному обсязі в цілому.

При вивченні деформованого стану дослідниками використовувався метод нанесення розмірної сітки, представлений на рис.3.4, в результаті на сегменті утворювалася сітка з стороною квадрата 1 мм. Пластина для нанесення сітки виготовлялася в заводських умовах на високоточному обладнанні з похибкою 0.01мм. Плита для нанесення сітки представлена на рис.3.5. Сітка наносилася на заздалегідь відокремлений і оброблений абразивним і шліфувальним інструментом сегмент кільця, після чого сегмент повертався у вихідне положення і скріплюється сплавом Вуда. Готова до осаджування заготовка представлена на рис.3.6.



Рис. 3.4 Сегмент з нанесеною сіткою



Рис. 3.5 Плита для нанесення розмірної сітки



Рис. 3.6 - Зразок кільцевої заготовки після приєднання сегмента з нанесеною сіткою

Дане дослідження засноване на визначенні характеру деформації заготовки кільця компресора авіаційного двигуна, що штампувалась, шляхом аналізу зміщення ліній розмірної сітки і зміни розмірів осередку.

Метою експерименту є пояснення процесу течії в умовах вільного осаджування і за умови обмеження течії металу, тобто наявності підпору.

### 3.2.2 Методика проведення експерименту

Виготовлення заготовок. Розміри виготовляються заготовок визначалися конструктивно: зовнішній і внутрішній діаметри кільця обрані відповідно 200мм і 100мм, висота кільця 25 мм.

Виготовлення заготовок вироблялося зі свинцю. Свинець розплавлявся в камерній печі, що знаходилась в машинному залі кафедри ОМТ ЗНТУ. Після розплавлення свинець виливався в матрицю для обмеження зовнішнього діаметра, для забезпечення необхідного розміру внутрішнього діаметра використовувався пуансон. Збірна конструкція для відливання заготовок наведена на рис.3.7



Рис. 3.7 - Збірна матриця і пуансон для відливання заготовок

Розміри заготовки контролювалися математично за рахунок закону сталості об'єму : був розрахований об'єм бажаної заготовки, розрахована її маса і відповідно до отриманих даних на переплав використовувалося певна маса свинцю, в даному випадку 1700 г.

### 3.2.3. Дослідження течії металу при осаджуванні

Штампуння заготовок здійснювалася у виробничих умовах машинного залу кафедри ОМТ ЗНТУ на гідравлічному пресі зусиллям 100тс, який використовується в лабораторних цілях кафедри.

Осаджування здійснювалося з малими швидкостями при кімнатній температурі.

При проведенні дослідів вплив тертя матеріалу по інструменту і однорідність властивостей деформованого матеріалу на протікання процесу не досліджувався. Вплив контактного тертя і фактора форми розраховувалося теоретично з побудовою графіків.

Для якісної оцінки перебігу металу заготовки просідали з різним ступенем деформації та з різним значенням нейтрального радіусу.

### 3.2.4 Аналіз отриманих даних

Результати експерименту показали вплив бокового підпору заготовки та ступеня деформації на характер розподілу деформації. Були зроблені висновки про те, що при зміщенні нейтрального радіуса, тобто застосуванні бічного підпору можна контролювати і управляти течією металу, а саме, що при обмеженні течії зовні – нейтральний радіус зміщується на зовнішню поверхню і метал тече тільки в одному напрямку – усередину. Відповідно відбувається при обмеженні течії металу зсередини – метал тече тільки назовні. При вільної осаді метал априорі тече по шляху найменшого опору, нейтральний радіус залишається посередині, протягом спостерігається в дві сторони в рівній мірі.

На рис. 3.10 ... 3.12 показані 2 випадки: вільна осаду і обмеження течії металу зовні. Характеристики процесу і результати опади наведені в табл. 3.1 ... 3.3



Рис. 3.10 Розподіл течії металу при вільному осаджуванні. Ступінь деформації 50%. Зусилля = 34.5тн.

Табл. 3.1 Результати вільного осаджування

	$D_n$ , мм	$D_{вн}$ , мм	$h$ , мм
До осаджування	100	50	25
Після осаджування	126	21	12,5



Рис. 3.11 – Розподіл течії металу при осаджуванні з зовнішнім підпором.  
Ступінь деформації 50%. Зусилля = 33тн.

Табл. 3.2 Результати осаджування з зовнішнім підпором

	$D_n$ , мм	$D_{вн}$ , мм	$h$ , мм
До осаджування	100	50	25
Після осаджування	100	38	12,5

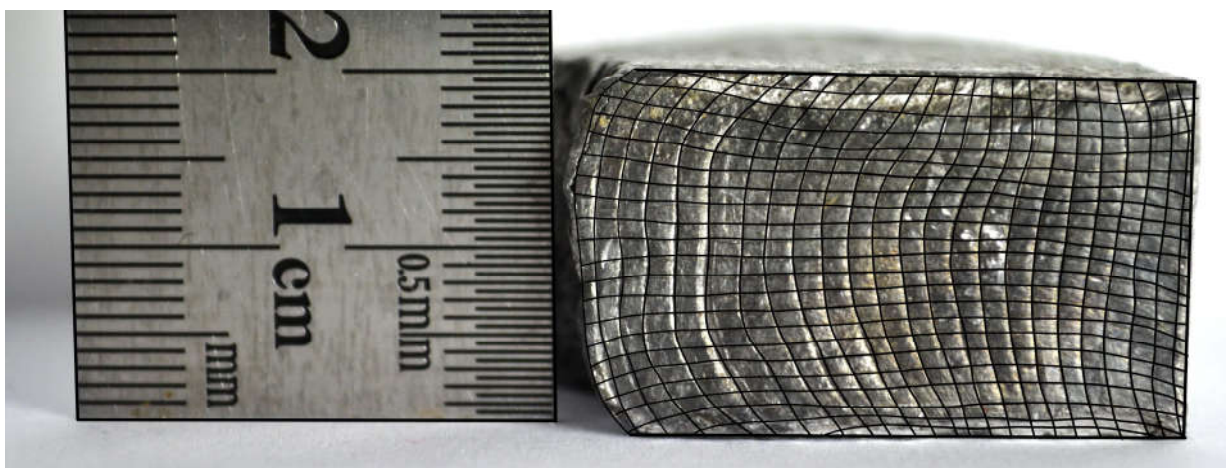


Рис. 3.12 – Розподіл течії металу при осаджуванні з зовнішнім підпором.  
Ступінь деформації 20%. Зусилля = 18тн.

Табл. 3.3 Результати осаджування з зовнішнім підпором

	$D_n$ , мм	$D_{en}$ , мм	$h$ , мм
До осаджування	100	50	25
Після осаджування	100	42	20

З фотографій видно, що при вільному осаджуванні, рис. 3.10, спостерігається два вогнища деформації і метал тече в дві сторони, нейтральний радіус розташовується посередині і в цьому місці створюються такі сили, які змушують текти метал в різні боки.

Особливий інтерес викликає варіант, коли в заготовці є тільки один осередок деформації і метал тече лише в одну сторону. На рис. 3.11 і 3.12 можна побачити, що зі зміщенням нейтрального радіусу на зовнішню бічну поверхню, шляхом використання зовнішнього підпору у вигляді матриці, в металі присутня тільки одне вогнище деформації і метал тече тільки в одну сторону. З того, що на рис. 3.11, 3.12 видно, що метал тече в одну сторону можна зробити висновок, що нейтральний радіус зміщується в те місце, де метал стикається з матрицею, що доводить можливість одновогнищної деформації.

### 3.3 Дослідження впливу технологічних параметрів на неоднорідність деформації металу при деформації за допомогою методу кінцевих елементів

#### 3.3.1 Опис методу кінцевих елементів

Метод кінцевих елементів набув широкого поширення при вирішенні прикладних задач теорії пластичності і пружності. Ідея МКЕ полягає в тому, що

будь-яку безперервну величину можна апроксимувати кусочно-безперервною функцією, яка будується на значеннях досліджуваної величини в кінцевому числі точок розглянутих елементів.

При побудові дискретної моделі безперервної величини надходять у такий спосіб:

область визначення досліджуваної величини розбивається на кінцеве число елементів, що мають спільні вузлові точки і в сукупності апроксимують форму області;

- в даній області фіксуються вузли;

- використовуючи значення досліджуваної безперервної величини в вузлових точках і апроксимуючі функцію, визначаються значення величини всередині області.

Апроксимуючі функції найчастіше вибираються у вигляді лінійних, квадратичних або кубічних поліномів. Поліном, пов'язаний з даним елементом, називається функцією елемента.

Таким чином, при використанні МКЕ рішення крайової задачі для заданої області шукається у вигляді набору функцій, визначених на кінцевих елементах [25].

Найкраща в своїй області програма, заснована на методі кінцевих елементів, це програма ANSYS/LS-DYNA. Програма призначена для розрахунків швидкоплинних і динамічних процесів в задачах фізики та процесів, що мають значну нелінійність, і ідеально підходить для вирішення завдань теорії пластичності, оскільки плин пластичної деформації має велику нелінійністю і швидкоплинні.

ANSYS/LS-DYNA дозволяє моделювати практично всі процеси пластичного формозміни. При цьому на відміну від теоретичних розрахунків, де є істотні обмеження за розмірами і формою заготовки, тут практично немає обмежень за розмірами та формами заготовок. Пов'язано це з тим, що при побудові кінцево-елементної моделі відбувається розбиття

заготовки будь-якої складності на елементарні осередки (трикутники, чотирикутники, піраміди і ін.). Таким чином, значно розширюючи області застосуванні цієї програми

Моделювання процесів пластичної формозміни в програмі ANSYS/LS-DYNA дозволяє визначити всі необхідні параметри: напружено-деформований стан заготовки та інструменту в будь-якій точці і в будь-який момент часу, а також енергетичні параметри процесу, величини зусиль і моментів, нормальних і дотичних сил, контактні параметри процесу і багато іншого, що необхідно при розробці оптимального технологічного процесу і для глибокого аналізу та розуміння процесів, що відбуваються в заготовці при пластичному плинні матеріалу [26].

Пакет ANSYS/LS-DYNA об'єднує в собі розрахунковий модуль LS-DYNA із засобами підготовки вихідних даних та обробки результатів в пакеті ANSYS. Відповідно, не виходячи з сесії ANSYS, можна створювати кінцево-елементну модель в препроцесорів ANSYS, отримувати рішення за явною схемою інтегрування, використовуючи LS-DYNA, і переглядати результати за допомогою стандартних постпроцесорів ANSYS.

### 3.3.2 Порівняльний аналіз отриманих практичних результатів з МКЕ

Отримані практичні результати з неоднорідного розподілу деформації в об'ємі осаджуваного кільцевого зразка порівнювалися з даними отриманими методом кінцевих елементів у програмі ANSYS.

Інструментом для вирішення поставлених завдань прийнятий розрахунковий комплекс ANSYS, що працює на одному з чисельних методів - метод кінцевих елементів. Використовуючи передові рішення ANSYS, можна

моделювати будь-який тип геометрії, або завдань. Забезпечуються продуктивність, глибоке дослідження проблеми в найкоротші терміни.

Якісне створення математичної моделі об'єкта дослідження (точність виконання геометрії, реальні властивості використовуваного матеріалу, закріплення моделі, додаток всіляких навантажень) гарантує більшу точність отриманих результатів.

Розрахунковий комплекс ANSYS зарекомендував себе як надійний, економічно вигідний інструмент у всіх галузях машинобудування і металургії. ANSYS може замінювати аналітичні рішення і практичні випробування реалізацією на математичних моделях фізичних процесів.

Створена кінцево-елементна модель досліджуваного зразка. Матеріал конструкції - сталь,  $E=200$  ГПа,  $\mu=0,3$ ,  $\rho=7800$  кг/м<sup>3</sup>. Результати моделювання пластичного формозміни товстостінного порожнистого циліндра в осьовому напрямку при різних факторах форми представлені на малюнках 3.13 – 3.32.

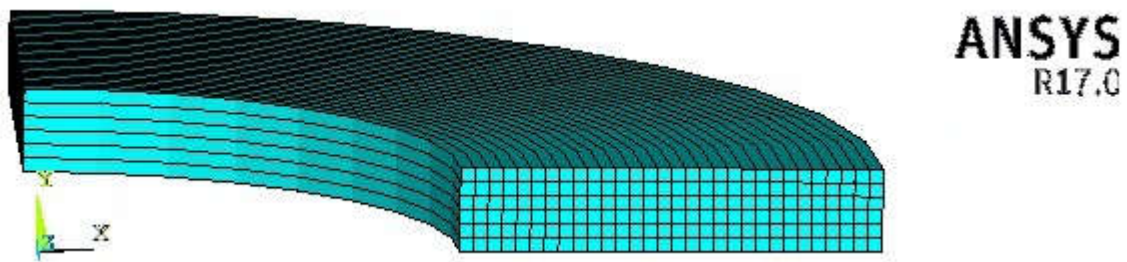


Рисунок 3.13 - Кінцево-елементна модель для  $l/h=5$

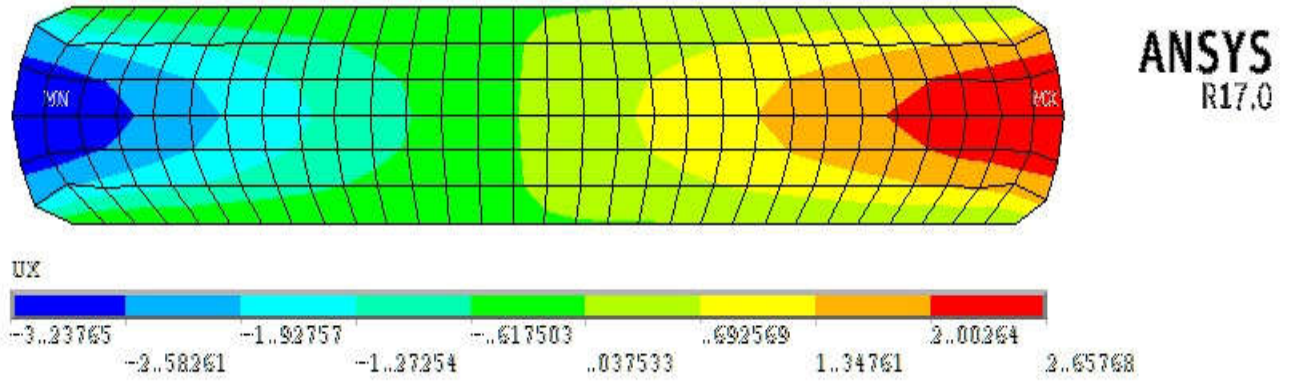


Рисунок 3.14 – Розподіл деформації в перерізі для  $l/h=5$

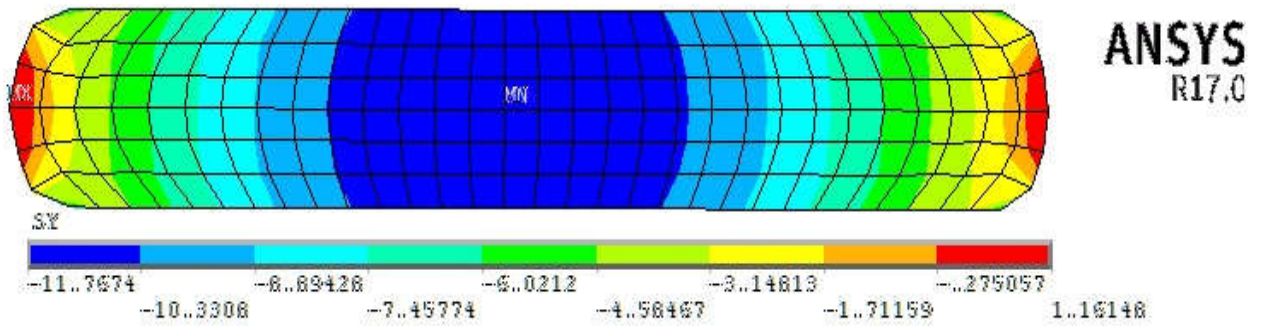


Рисунок 3.15 – Розподіл напружень в перерізі для  $l/h=5$

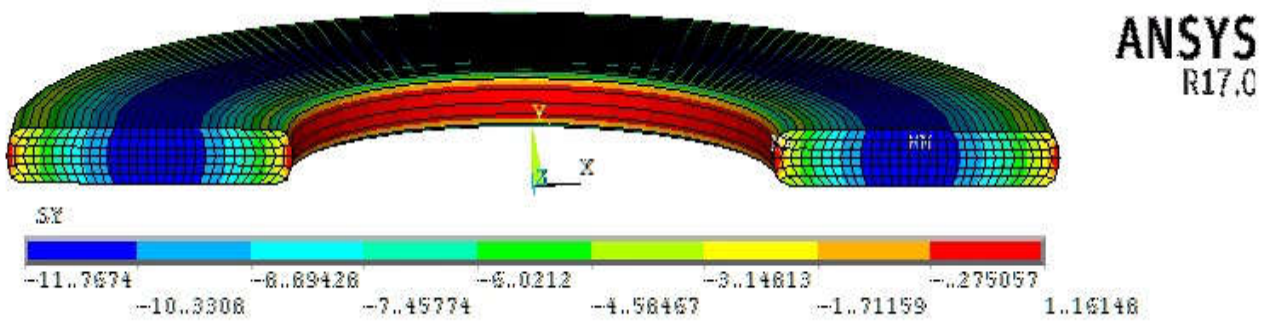


Рисунок 3.16 – Розподіл напружень у всьому об'ємі кільця для  $l/h=5$

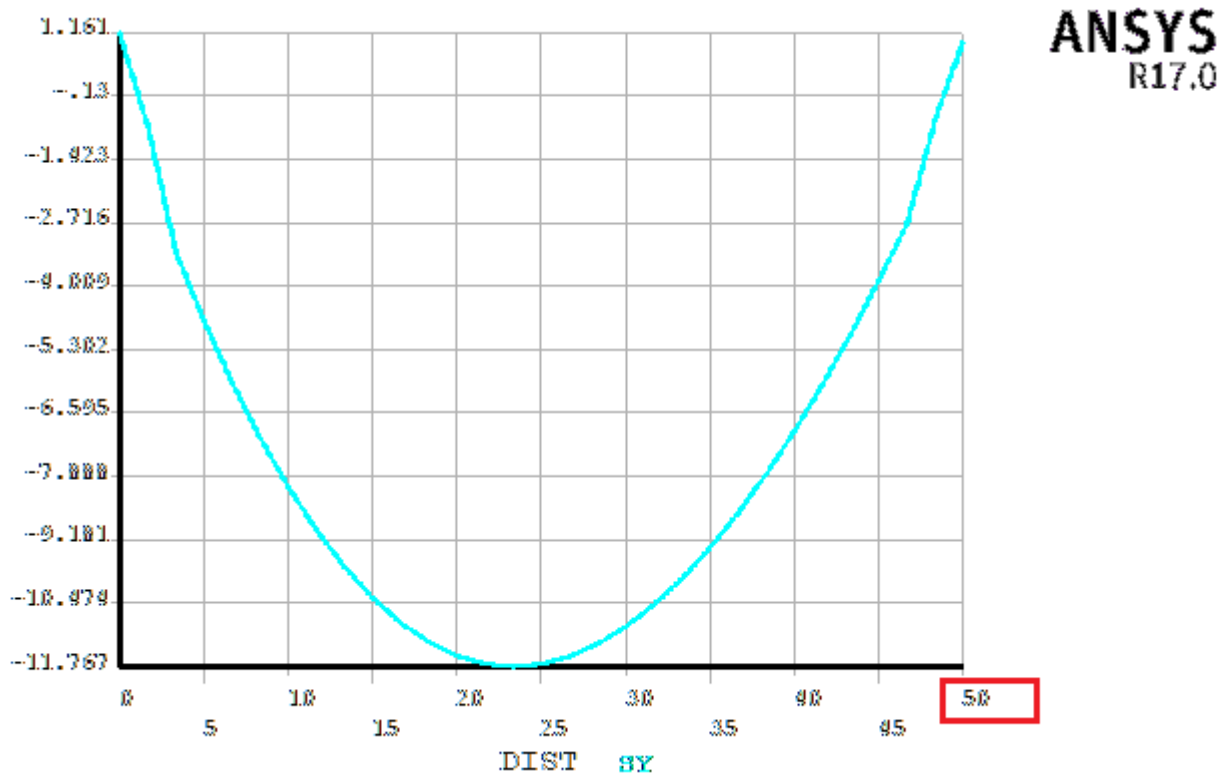


Рисунок 3.17 – Графік розподілу напружень для  $l/h=5$

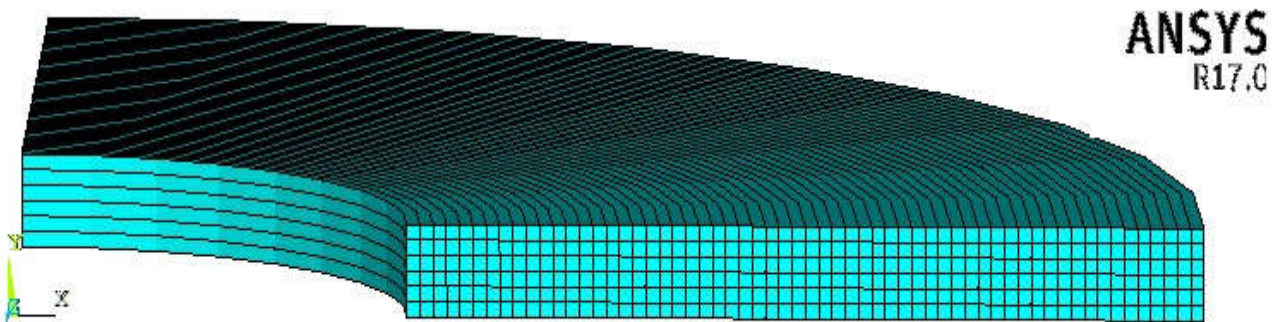


Рисунок 3.18 - Кінцево-елементна модель для  $l/h=10$

ANSYS  
R17.0

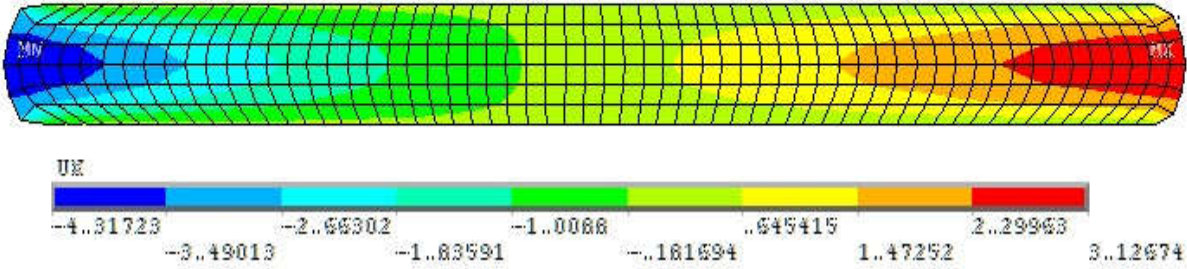


Рисунок 3.19 – Розподіл деформації в перерізі для  $l/h=10$

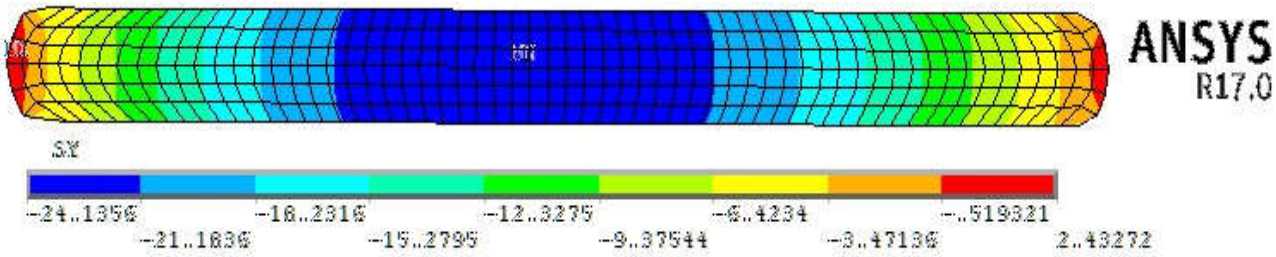


Рисунок 3.20 – Розподіл напружень в перерізі для  $l/h=10$

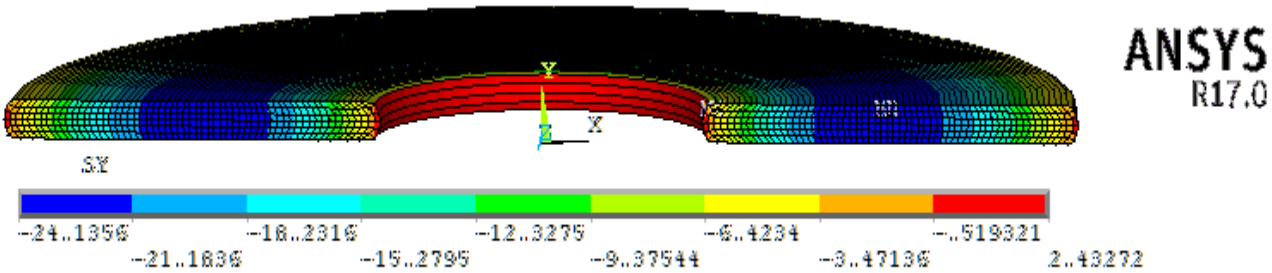


Рисунок 3.21 – Розподіл напружень у всьому об'ємі кільця для  $l/h=10$

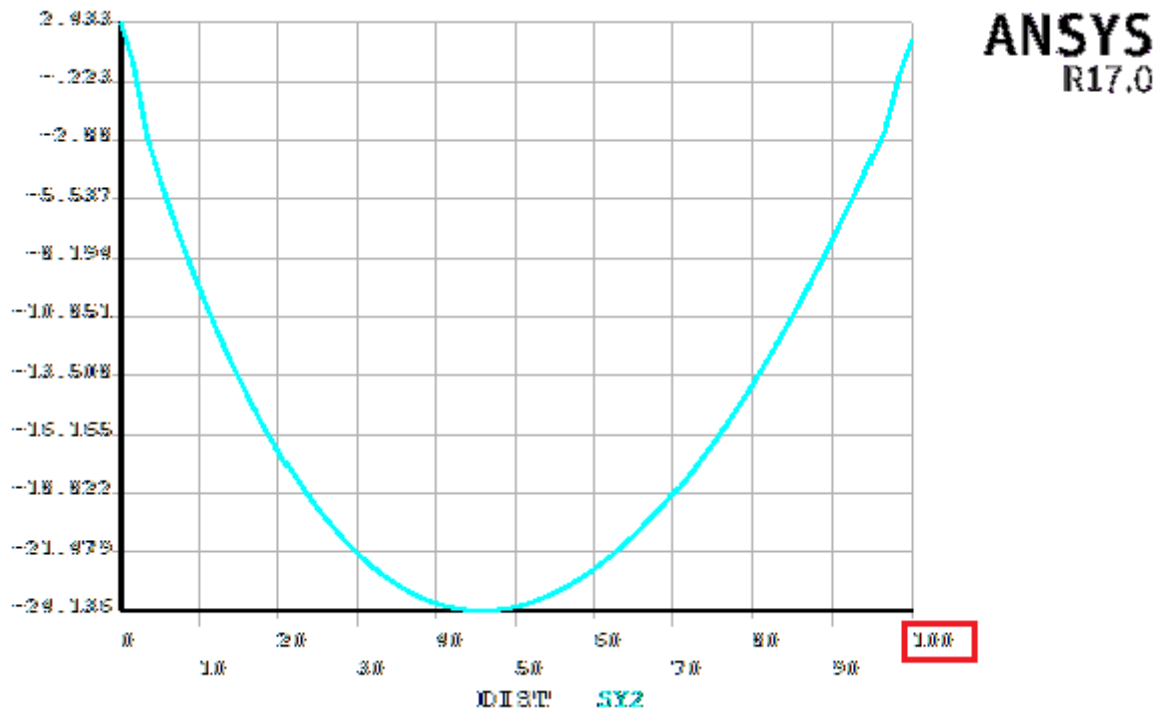


Рисунок 3.22 – Графік розподілу напружень для  $l/h=10$

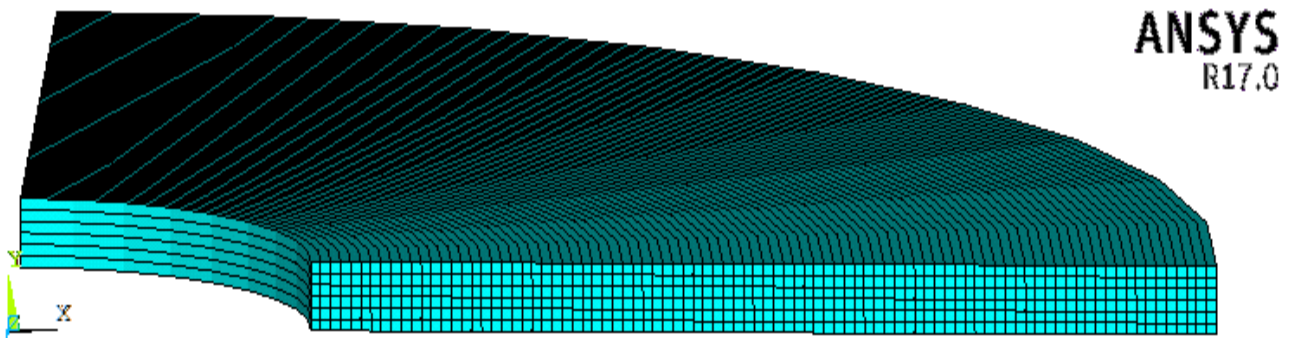


Рисунок 3.23 - Кінцево-елементна модель для  $l/h=15$

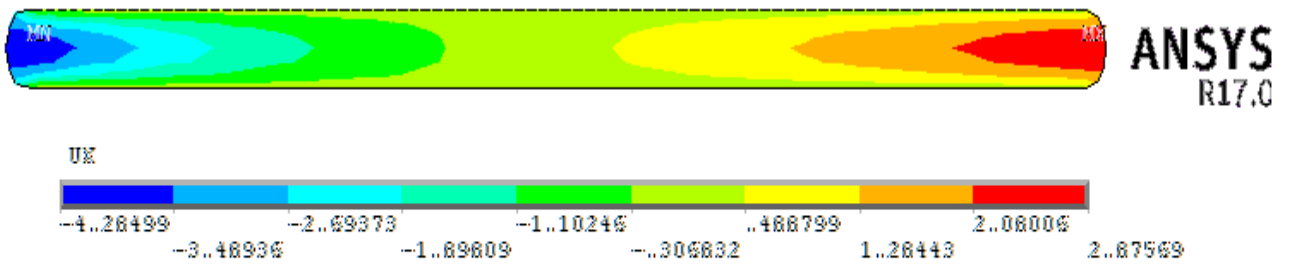


Рисунок 3.24 – Розподіл деформації в перерізі для  $l/h=15$

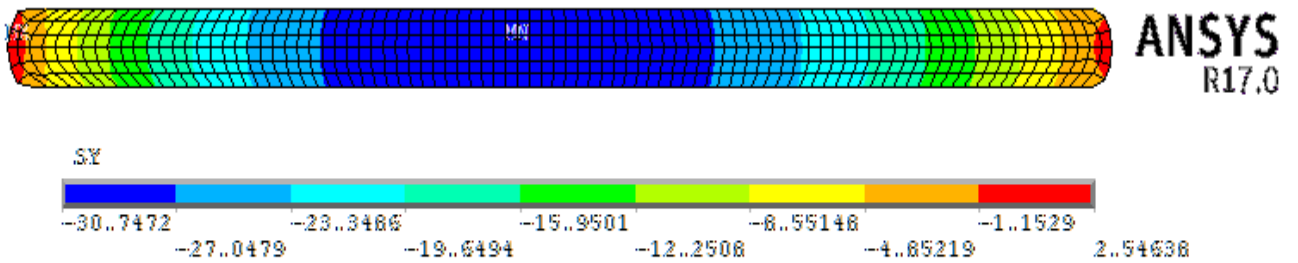


Рисунок 3.25 – Розподіл напружень в перерізі для  $l/h=15$

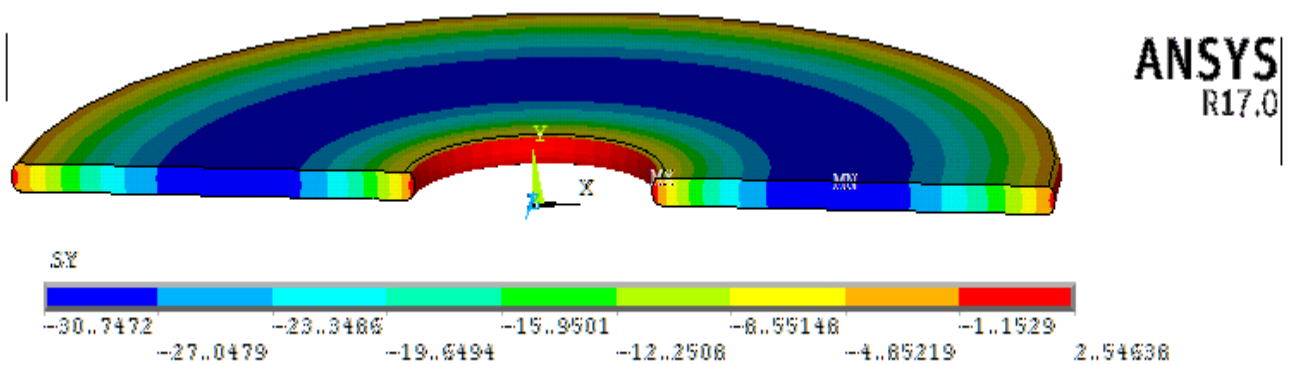


Рисунок 3.26 – Розподіл напружень у всьому об'ємі кільця для  $l/h=15$

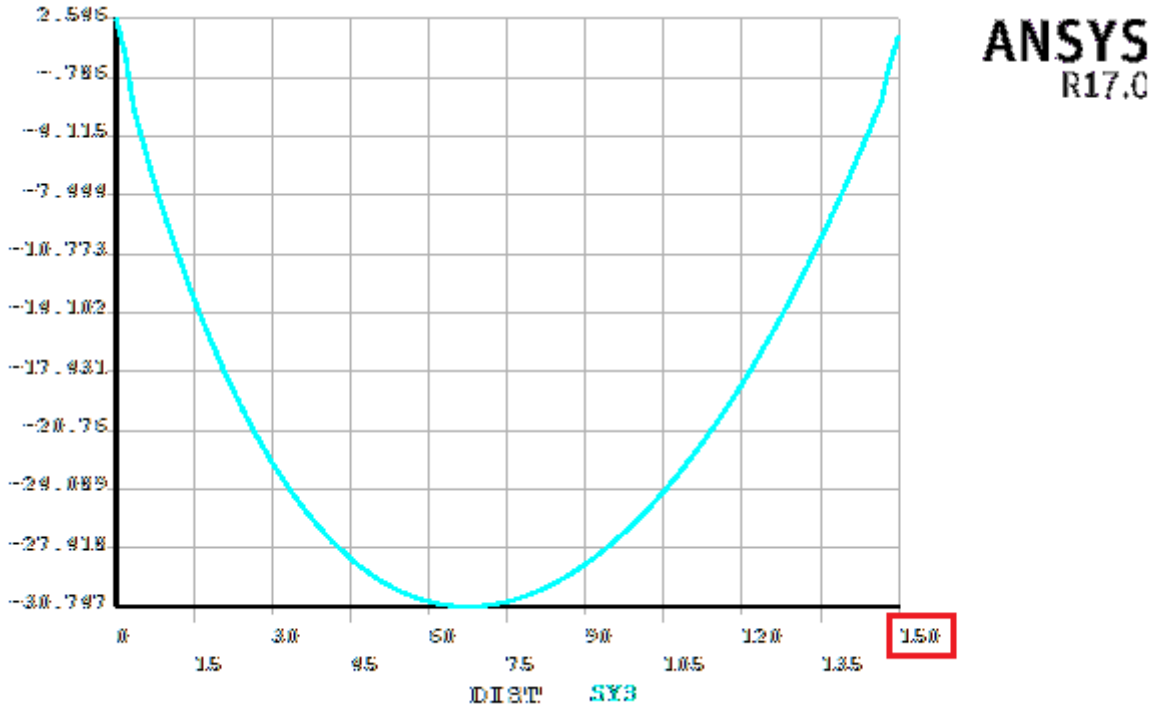


Рисунок 3.27 – Графік розподілу напружень для  $l/h=15$

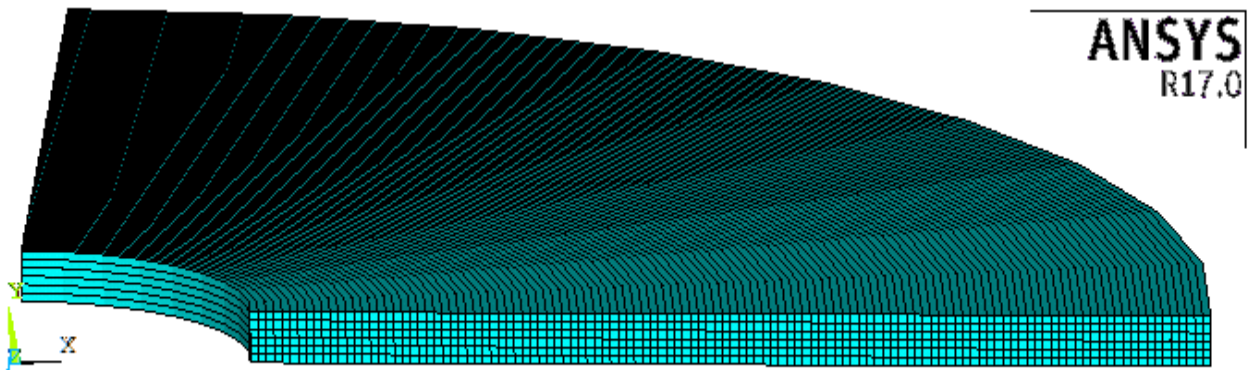


Рисунок 3.28 - Кінцево-елементна модель для  $l/h=20$

ANSYS  
R17.0

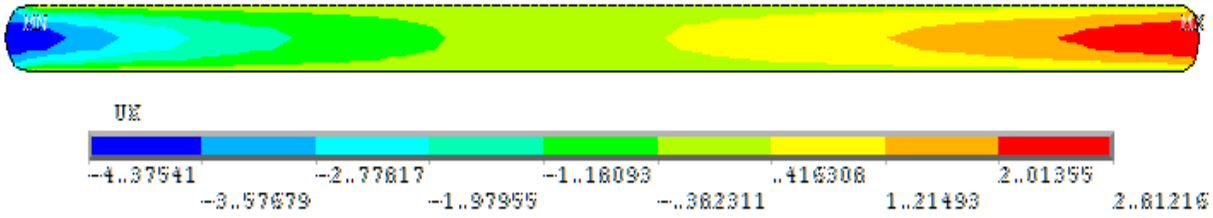


Рисунок 3.29 – Розподіл деформації в перерізі для  $l/h=20$

ANSYS  
R17.0

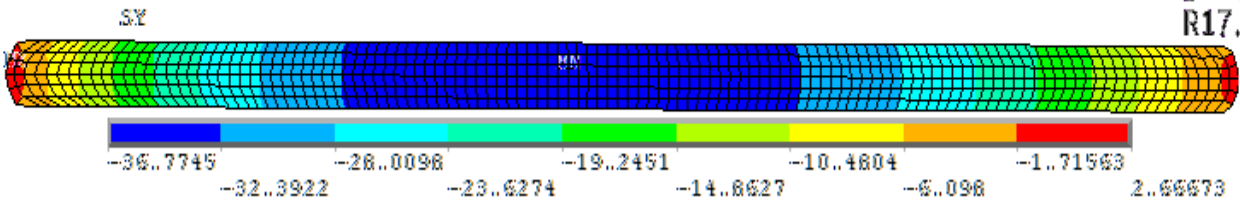


Рисунок 3.30 – Розподіл напружень в перерізі для  $l/h=20$

ANSYS  
R17.0

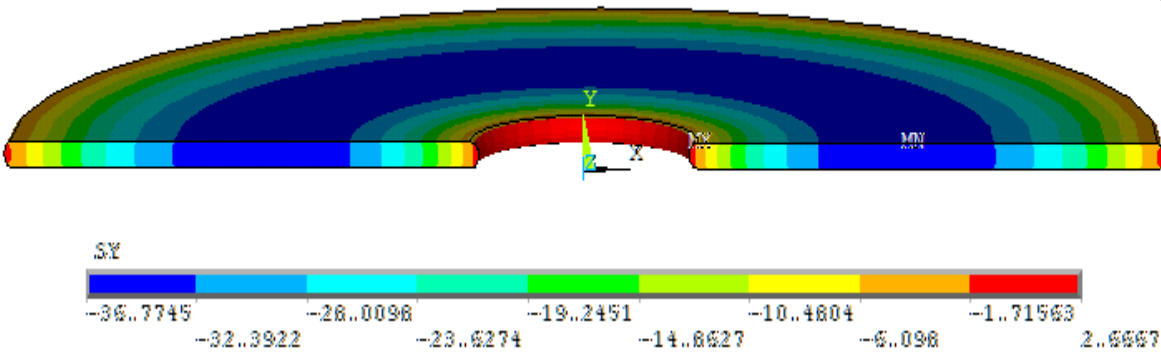


Рисунок 3.31 – Розподіл напружень у всьому об'ємі кільця для  $l/h=20$

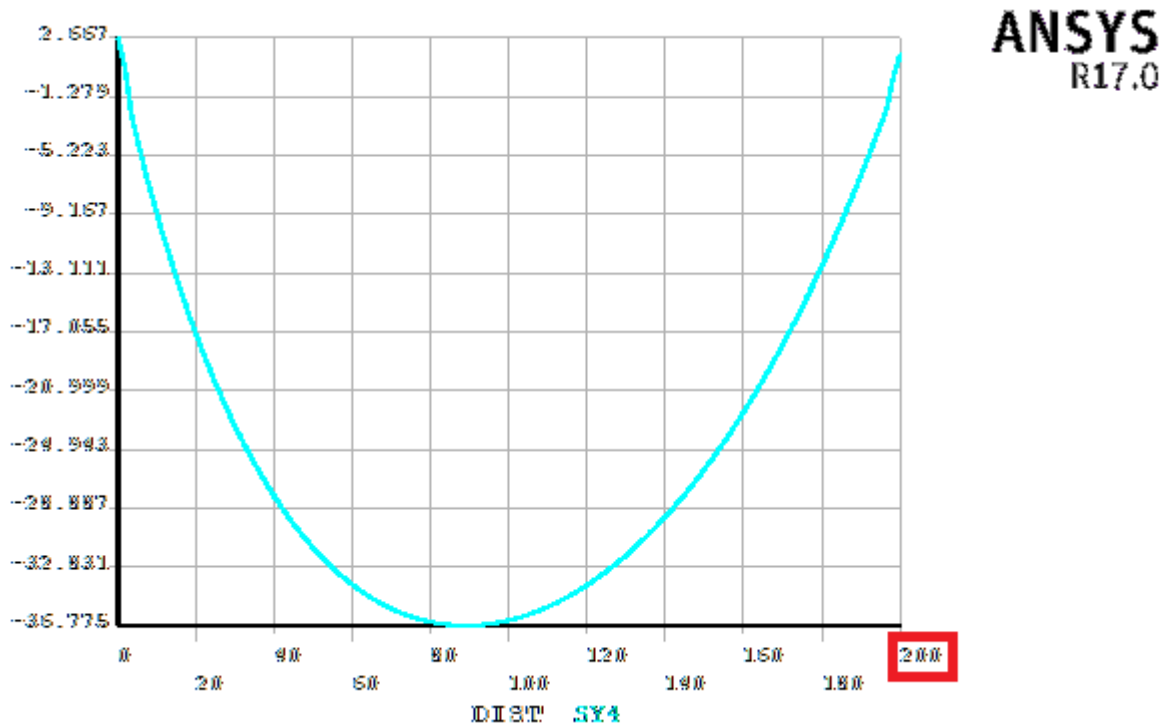


Рисунок 3.32 – Графік розподілу напружень для  $l/h=20$

Аналізуючи наведені результати моделювання процесу осаджування товстостінної порожнистої циліндричної деталі при різних співвідношеннях довжини та висоти осередку деформації можна зробити висновки, що збільшення геометричного показника  $l/h$  призводить до збільшення показників напруженого стану металу.

## 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи з охорони праці при дослідженні криптографічних схем Деффі-Хелманна, стосовно розділу напружень при деформуванні.

### 4.1. Аналіз потенційних небезпек

а. Порушення вимог ергономіки стосовно, організації робочих місць дослідів в приміщенні дослідницької лабораторії;

б. Ураження електричним струмом у результаті порушення правил електробезпеки, несправності електрообладнання, відсутності захисного заземлення;

в. Вплив електромагнітних полів від монітору комп'ютера, що призводить до підвищеного стомлення, зниження працездатності;

в1. Негативний вплив статичної електрики внаслідок наявності ЕМП, що може призвести до розвитку алергічних реакцій;

г. Розумове та емоційне перевантаження внаслідок недотримання змін режимів праці та відпочинку, що визиває зниження працездатності та стомлення, головною причиною якого є шум дискомфортих частот;

г. Недостатнє освітлення робочої зони при недотриманні ДБН В.2.5-28-2006, визиває погіршення зору, підвищує кількість помилок;

д. Невідповідність значень параметрів мікроклімату зазначених у ДСН 3.3.6.042-99 „ Державні санітарні норми параметрів мікроклімату”, що знижує працездатність, погіршує самопочуття, може призвести до профзахворювань;

е. Можливість загоряння внаслідок порушень правил пожежної безпеки, короткого замикання електропроводки, тощо;

є. Непоінформованість персоналу у відповідній послідовності дій в умовах надзвичайної ситуації, що призводить до травмування та до інших непередбачених негативних наслідків.

Ці проблеми можуть вирішуватися комплексно як з позицій ергономічних вимог до умов праці (покращення робочих місць, засобів управління тощо), так і з позицій суворого підтримання регламенту режимів праці і відпочинку, цілеспрямованою профорієнтацією, тощо.

#### 4.2 Заходи з забезпечення безпеки

а. Виробниче середовище в приміщеннях ОЦ сполучають в собі раціональні архітектурно-планувальні рішення, найбільш оптимальні санітарно-гігієнічні умови, науково обґрунтоване кольорове фарбування.

Відповідно до ДСанПіН 3.3.2.007-98 здійснено наступні вимоги до приміщення ОЦ:

площа, відведена на одне робоче місце не менше  $6 \text{ м}^2$ ;

Згідно ГОСТ 12.2.032-78"СС. Робоче місце при виконанні робіт сидячи. Загальні ергономічні вимоги ” конструкція робочого місця повинна забезпечувати оптимальне положення співробітника ,що досягається за рахунок регулювання висоти сидіння та підставки для ніг. Підставка для ніг повинна регулюватися по висоті . Ширина повинна бути не менше 300 мм, довжина – не менш 400мм. Поверхня підставки повинна бути рифленою. По передньому краю слід передбачити борти висотою 10мм.Важливим фактором є простір під столом ,його має бути досить , щоб можна було зручно згинати та розгинати коліна. Стіл повинен мати криволінійну форму. Крісло повинно забезпечити фізіологічно раціональну робочу позу , при якій порушується циркуляція крові і не було іншого шкідливого впливу . Для цього необхідно , щоб у крісла була

пружна спинка анатомічної форми, яка зменшить навантаження на хребет. Також крісло обов'язково повинно бути з підколінниками і мати можливість повороту, зміни висоти і кута нахилу сидіння і спинки. Монітор повинен розташовуватись на робочому столі прямо, і віддаленням від очей мінімум на 50-60 см . Верхня границя екрану повинна бути на рівні очей або не нижче 15 см від рівня очей . Клавіатура повинна розташовуватися в 10-15 см (в залежності від довжини ліктя) від краю стола. Глибина стола повинна дозволяти повністю положити лікті на стіл , відсунути клавіатуру до монітора.

б. При роботі у ОЦ головним небезпечним чинником є вплив на персонал електричного струму.

За ступенем небезпеки ураження електричним струмом, відповідно до ПУЕ «Правила улаштування електроустановок», приміщення ОЦ відноситься до категорії приміщень без підвищеної небезпеки.

Заходи по забезпеченню електробезпеки розроблено у відповідності до ГОСТ 12.1.019-90 ССТБ (Электробезопасность. Общие требования) і ГОСТ 12.1.030-91 ССТБ (Электробезопасность. Защитное заземление, зануление). За способом захисту людини від ураження електричним струмом – відео термінали , ЕОМ, периферійні пристрої ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ відповідають першому класу захисту згідно з ДСТУ 12.2.007- 75 та ГОСТ 25861-83 «Машины вычислительные и системы обработки данных. Требования электрической и механической безопасности и метода испытаний» та заземлені відповідно до ДНАОП 0.00-1.21-98.

Для забезпечення електробезпеки у ОЦ використано наступні технічні заходи та засоби електробезпеки:

- ізоляція струмопровідних частин згідно ДСТУ 12.2.007-75 «Система стандартів безпеки праці. Вироби електротехнічні. Загальні вимоги безпеки»;
- недоступність струмопровідних частин;

- захисне відключення за ДСТУ 12.2.007- 75;
- ізоляція струмопровідних частин за НАОП 40.1-1.01-97 " Правила безпечної експлуатації електроустановок ";
- захисне заземлення за ГОСТ 12.1.0030-81 ССБТ «Захисне заземлення , занулення», НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок»;
- блокування, занулення за ПУЕ-2011;
- захисне розділення електричних мереж ДСТУ ІЕС 61140:2005 «Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання (ІЕС 61140:2001, ІДТ)»;
- компенсація ємнісних струмів замикання на землю;
- вирівнювання потенціалів тощо.

Сіть електромережі у приміщенні ОЦ, у відповідності до ГОСТ 12.2.007.0-75 «Изделия электротехнические. Общие правила безопасности», вмикаються/вимикаються за допомогою пускової апаратури.

У ОЦ передбачено використання тільки трьохполюсних розеток, один з полюсів яких підключено до шини захисного заземлення. З цим полюсом електрично-з'єднані металеві частини обчислювальних машин, які можуть опинитися під напругою.

Кожний блок живлення комп'ютера або периферійного пристрою має сітьовий фільтр. Конденсатори цього фільтру призначені для шунтування високочастотних перешкод живильної мережі на землю через дріт «земля» трьохполюсної вилки та розетки. Цей дріт може бути з'єднаний з заземлюючим контуром і з «нулем» силової мережі. При відсутності гальванічного зв'язку заземлюючого дроту з шиною захисного заземлення, на корпусі електронного пристрою може з'явитися напруга порядку 110 В, внаслідок поділу напруги мережі 220 В конденсаторами сітьового фільтру, що працює у даному випадку як ємнісний роздільник напруги.

При з'єднанні двох електронних засобів (наприклад, комп'ютера та принтера) інтерфейсним кабелем, загальний дріт інтерфейсів послідовних та паралельних портів зв'язаний зі «схемною землею» і корпусом електронного засобу. Тому, для усунення проблеми різності потенціалів, електронні засоби надійно заземлені через окремий дріт на загальний контур.

При підключенні електронних засобів до мережі живлення, виключено застосування сітьових дротів з двохполюсною вилкою для підключення до трьохполюсної розетки. В іншому випадку може виникнути різність потенціалів, що призведе до виходу електронної апаратури зі строю.

Відповідно до ПУЕ опір захисного заземлення у приміщенні ОЦ не перевищує 4 Ом.

Електрична ізоляція забезпечується конструкціями пристроїв і способами їхнього підключення. Відповідно до ПУЕ в електроустановках до 1000 В мінімальне значення опору ізоляції силових і освітлювальних електропроводок на ділянці між суміжними запобіжниками або за останніми запобіжниками між будь-яким проведенням і землею становить не менш 0,5МОм.

в. Рівні електромагнітного випромінювання та магнітних полів відповідають вимогам ГОСТ 12.1.006 «ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля», СН 3206-85 «Гранично допустимі рівні магнітних полів частотою 50 Гц» та ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

Джерелами електромагнітних випромінювань (ЕМВ) є:

- блоки живлення від мережі (частота - 50 Гц);
- система кадрової розгортки (5 Гц - 2 кГц);
- система рядкової розгортки (2-400 кГц);

- блок модуляції променя ЕПТ (5-10 МГц).

Для зниження негативного впливу електромагнітного випромінювання згідно ДСНіП № 239-96 «Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань» та ГОСТ 12.1.006-84. «Допустимые поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля» здійснено:

- використання на робочому місці відеотерміналів, що відповідають сучасним вимогам захисту від випромінювань;
  - встановлення на відеотерміналах старої конструкції (випуск до 1995 року) заземленого при екранного фільтру;
  - не переобтяжувати приміщення значною кількістю робочих місць з відеотерміналами;
  - зменшення інтенсивності опромінення безпосередньо від самого джерела за рахунок регулювання, настройки та випробування передавачів РЛС і генераторів НВЧ, а також за допомогою поглинаючих покриттів (як правило фольгою);
  - повне або часткове екранування генераторів НВЧ - енергії відносно повністю або частково замкнутими екранами;
  - захист працюючих віддаленням робочого місця від джерела опромінення;
- застосування засобів індивідуального захисту тощо.

в1. Накопичена статична електрика, зокрема, на екрані монітора притягує пил, бруд та інші частини присутні в повітрі. Причому електризується не тільки екран, а і повітря на робочому місці, а також одяг користувача, особливо якщо він з синтетичного та шерстяного матеріалу.

В якості заходів захисту запропоновано:

- кілька разів на протязі робочого дня мити руки і обличчя водою, а після закінчення роботи вимити руки й лице з милом;

- щоденно протирати екран монітора, клавіатуру, пристрій «миша» та, якщо є, приєкранний фільтр антистатичною серветкою;
- щоденно в приміщенні з ПК проводити вологе прибирання;
- установити нейтралізатори статичної електрики;
- підтримувати у приміщенні вологість повітря зазначену в нормативних документах;
- користувачу ПК бажано носити одяг з природних (льняних) волокон, в т.ч. і шкарпетки.

г. Для захисту від впливу шуму використано організаційні та технічні заходи за ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. "Шум. Общие требования безопасности".

Джерелами шуму при роботі з ПК є:

- жорсткий диск;
- вентилятор блока живлення мережі;
- вентилятор, розташований на процесорі;
- швидкісні CD-ROM;
- механічні сканери;
- пересувні механічні частини принтера.

До організаційних заходів належать:

- раціональне розташування устаткування та робочих місць;
- постійний контроль режиму праці і відпочинку працівників;
- обмеження застосування обладнання та використання робочих місць, що не відповідають санітарно-гігієнічним вимогам.

Технічні заходи дають змогу значно зменшити вплив шуму на працівників і поділяються на заходи, що використовуються:

- в джерелі виникнення (конструктивні та технологічні);
- на шляху розповсюдження (звукоізоляція, звукопоглинання, глушники шуму, звукоізоляційні укриття);

- використання засобів колективного та індивідуального захисту ДСанПіН 3.3.2.007-98 "Державних санітарних правил і норм роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин".

Зниження рівня шуму в приміщенні можна здійснити за ДСН 3.3.6-037-99 "Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвук" наступним чином:

- використанням блоків живлення ПК з вентиляторами на гумових підвісках;

- використанням ПК, в яких термодавачі (термодатчики) вмонтовані в блоці живлення та в критичних точках материнської плати (процесор, мікросхеми чіпсету), які дозволяють програмним шляхом регулювати як моменти ввімкнення вентиляторів, так і їх швидкість обертання;

- переведення жорсткого диска в режим сплячки (Standby), якщо комп'ютер не працює протягом визначеного часу;

- використанням ПК, в яких вентилятор на процесорі встановлено виробником (BOX-процесор);

- застосуванням приводів з одночасним зчитуванням декількох доріжок CD чи програми, що дозволяє зменшити швидкість;

- заміною матричних голчатих принтерів струменевими і лазерними принтерами, які забезпечують при роботі значно менший рівень звукового тиску;

- застосуванням принтерів колективного користування, розташованих на значній відстані від більшості робочих місць користувачів ПК;

- зменшенням шуму на шляху його поширення через розміщення звукоізолюючого відгородження у вигляді стін, перетинок, кабін;

- акустичною обробкою приміщень - зменшення енергії відбитих звукових хвиль шляхом збільшення площі звукопоглинання (розміщення на поверхнях приміщення облицювань, що поглинають звук, розташування в приміщеннях штучних поглиначів звуку).

Рівні вібрації під час виконання робіт з ЕОМ у виробничих приміщеннях не перевищують допустимих значень, визначених у СН 3044-84 «Санітарні норми вібрації робочих місць», ДСанПіН 3.3.2.007-98 "Державних санітарних правил і норм роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин" та ДСН 3.3.6-039-99 "Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації".

Нормування технологічної вібрації (загальної і локальної) відбувається:

- в залежності від її спрямування у кожній октавній смузі (1,6-1000 Гц);
- з середньоквадратичними віброшвидкостями  $(1,4-0,28) \cdot 10^{-2}$  м/с;
- логарифмічними рівнями віброшвидкості (115-109 дБ);
- віброприскоренням  $(85-0,1)$  м/с<sup>2</sup>.

г. Всі норми по освітленості визначені згідно ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення».

Природне освітлення здійснюється через віконні прорізи, при цьому коефіцієнт природної освітленості КПО не нижче 1,5% за нормами ДБН В.2.5-28-2006. Робочі місця у приміщенні розташовані подалі від вікон таким чином, щоб сонячне світло не потрапляло на екран монітору. Вікна оснащені сонцезахисною плівкою з металізованим покриттям.

У тих випадках, коли одного природного освітлення недостатньо, використовується штучне освітлення, Штучне освітлення в приміщеннях здійснюється системою загального рівномірного освітлення. При цьому штучне освітлення застосовують не тільки в темний, але й у світлий час доби.

Найбільш прийнятними для приміщень ОЦ є люмінесцентні лампи ЛБ (білого світла) потужністю 20, 40 або 80 Вт, які встановлюються в світильники типу ЛПО.

При застосуванні люмінесцентних ламп дотримуються наступних умов:

- температура навколишнього повітря не повинна бути нижче за 5 °С;

- напруга на освітлювальних приладах повинна бути не менше ніж 90% від номінальної.

Допускається застосування ламп розжарення у світильниках місцевого освітлення. Загальне освітлення варто виконувати у виді суцільних чи переривчастих ліній світильників, розташованих збоку від робочих місць.

д. У приміщенні ОЦ на робочих місцях з комп'ютерною технікою КТ нормалізація параметрів повітряного середовища забезпечується згідно до вимог ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» і ГОСТ 12.1.005-88\* «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны», що наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 Норми мікроклімату для приміщень з КТ

Пора року	Категорія робіт	Температура повітря, °С, не більше	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодна	легка -1а	22-24	40-60	0,1
	легка -1б	21-23	40-60	0.1
Тепла	легка -1а	23-25	40-60	0.1
	легка -1б	22-24	40-60	0.2

Рівні позитивних і негативних іонів у повітрі приміщення ОЦ відповідають санітарно-гігієнічним нормам ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень», що наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 Рівні іонізації повітря приміщень з КТ

Рівні іонізації повітря	Кількість іонів в 1 см <sup>3</sup> повітря	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально допустимі	50000	50000

Оптимальний рівень легких позитивних і негативних аероіонів у повітрі на робочих місцях підтримується за допомогою біполярних коронних аероіонізаторів.

У приміщенні забезпечений приплив свіжого повітря, кількість якого визначається техніко-економічним розрахунком і вибором схеми системи вентиляції. Мінімальна витрата повітря визначається з розрахунку 50...60 м<sup>3</sup>/год на одну людину, але не менш дворазового повітрообміну за годину.

Для забезпечення постійних параметрів мікроклімату встановлені побутові кондиціонери типу MITSUBISHI ELECTRONIC MSZ-GE35VA з холодопродуктивністю 4300 ккал/год. При невеликому забрудненні зовнішнього повітря кондиціонування приміщень здійснюється із перемінними витратами зовнішнього повітря й рециркуляційного.

е. До первинних засобів тушіння пожеж, призначених для ліквідації невеликих загорянь використовуються пожежні стволи, внутрішні пожежні водопроводи, вогнегасники. Згідно НАПБ Б.03.001-2004 «Типові норми належності вогнегасників» при захисті від пожежі приміщення з ПЕОМ використовуються вуглекислотні вогнегасники ВВК-1,4, ВВК-2 або аерозольні водопінні вогнегасники ВВПА-400.

Згідно з НАПБ Б.03.001-2004 приміщення з ПЕОМ необхідно оснащувати переносними вуглекислотними вогнегасниками з розрахунку один вогнегасник ВВК-1,4 або ВВК-2 або ВВПА-400 на три ПЕОМ, але не менше ніж один вогнегасник, перелічених типів на приміщення.

У випадку пожежі передбачено шляхи евакуації робітників проходи, проїзди, евакуаційні виходи у відповідності до ДБН В.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва». Евакуаційні виходи розташовано розосереджено у кількості не менше двох на споруду.

Коридори та проходи, що призначені для евакуації, мають як можна меншу довжину та мінімальну кількість поворотів. На усій протяжності проходу відсутні пороги або проміжні ступені, відповідно з СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания».

Важливу роль у забезпеченні безпечного виходу людей грає протидимовий захист евакуаційних ходів. У будинках висотою до 9 поверхів незадимлюваність сходових кліток на час евакуації досягається їхньою ізоляцією від підвалів, горищ і поверхів. Для цього влаштовані відособлені входи в підвали, вхід на сходову клітку з поверхів здійснюють через тамбур - шлюз із підпором повітря, відокремлюють горища від сходових кліток перекриттями з негорючих матеріалів.

#### 4.3 Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці

Виходячи з специфіки роботи у обчислювальних центрах ОЦ можна відмітити, що усі види робіт в них не пов'язані з великими енергозатратами робітників, а також виділенням шкідливих речовин у процесі роботи, а основним видом відходів є папір, що повністю утилізується і не забруднює

навколишнє середовище. Таким чином можна вважати, що за ступенем тяжкості роботи у ОЦ відносяться до категорії «легка робота».

Так як робота з обчислювальною технікою є малорухомою і створює велике навантаження на очі та кисті рук, операторам для підтримки працездатності необхідно керуватися ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин». При роботі за дисплеєм у режимі праці і відпочинку передбачаються через кожні 40-45 хвилин 3-5 хвилинні перерви на відпочинок та гімнастичні вправи.

#### 4.4 Заходи з пожежної безпеки

В приміщенні ОЦ джерелом загоряння можуть бути електронні схеми ЕОМ, прилади для технічного обслуговування, електроустаткування, кондиціонери повітря, де за рахунок різних порушень відбувається перегрів тих чи інших елементів, електричні іскри, дуга, що можуть визвати загоряння горючих матеріалів, дерев'яні та пластикові стільці та столи, папір, перевантаження мережі живлення, людські чинники тощо.

Заходи щодо протипожежного захисту розділяються на організаційні, експлуатаційні, технічні й режимні (спеціальні).

Організаційні заходи: навчання робітників та службовців правилам пожежної безпеки, організація пожежної охорони, проведення бесід, лекцій, видання необхідних інструкцій, плакатів і т.п.

Технічні заходи передбачають дотримання протипожежних правил і норм при устрої систем опалення, вентиляції, кондиціонуванні повітря, блисковкозахисті при спорудженні будинків, установці технологічного устаткування й ін.

Експлуатаційні заходи передбачають правильну експлуатацію систем опалення, вентиляції й кондиціонування повітря, блисковкозахисту технологічних машин і устаткування, правильне утримання будинків і територій і т.п.

Режимні заходи передбачають заборону або обмеження застосування відкритого вогню в вогненебезпечних місцях, паління в невстановлених місцях, обов'язкове дотримання норм і правил при роботі з вогненебезпечними й вибухонебезпечними речовинами.

Клас пожежі для приміщень ОЦ встановлюється згідно ДБН В.1.1.7-2002 «Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва» – пожежі твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, пластмаси, папір) – і визначається як клас А.

Категорія приміщення ОЦ за вибухопожежною небезпекою визначається згідно НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорії приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» – і визначається як пожежонебезпечність адмінприміщень.

Приміщення ОЦ обладнано автоматичними пожежними сповіщувачами, що реагують на підвищення температури, дим, полум'я, наприклад, сповіщувачі моделей ДТЛ, ІТМ.

Для відводу надлишкового тепла від ЕОМ задіяні кондиціонування повітря і система вентиляції, що обладнана пристроєм, який забезпечує автоматичне відключення вентиляції, в разі виникнення пожежі.

Напруга до електроустановок подається по кабельним мережам, що прокладені під технологічною з'ємною підлогою з рівнем вогнестійкості не менше 0,5 год.

#### 4.5 Заходи з забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях

Порядок дій сил цивільного захисту у вогнищі хімічного ураження.

Вогнища хімічного ураження (ВХУ) виникають у результаті застосування супротивником ОР, а також при руйнуванні хімічно небезпечних об'єктів, які виготовляють чи використовують у технології СДОР (такі вогнища прийнято називати вторинними). При надходженні перших даних про виникнення ВХУ начальники і штаби ЦО оповіщають населення в зоні зараження і у районах, яким загрожує небезпека від хмари зараженого повітря, яка поширюється, ставлять завдання хімічній і медичній розвідкам, віддають розпорядження про проведення заходів щодо захисту населення, приймають рішення й організують проведення РІНР у вогнищах. До РІНР залучаються окремі батальйони спеціального захисту, підрозділи хімічного захисту військових частин ЦО, зведені загони (команди) протирадіаційного і протихімічного захисту, медичні формування, команди знезаражування й інші спеціально підготовлені й оснащені підрозділи і формування. Особовий склад сил ЦО, що вводиться у ВХУ, забезпечується ЗІЗ органів дихання і шкіри, антидотами, індивідуальними протихімічними пакетами.

Першими у ВХУ для надання допомоги ураженим вводяться медичні підрозділи військових частин і формування медичної служби ЦО, а також підрозділи хімічного захисту та формування протирадіаційного і протихімічного захисту. Основні завдання цих сил – надання негайної медичної допомоги ураженим, їх евакуація на незаражену місцевість і проведення дегазації території, споруд і техніки. У першу чергу евакуюють людей, які не мають засобів захисту органів дихання, потім тих, хто має протигази і вже одержали першу медичну допомогу; в останню чергу евакуюють людей, укритих в обладнаних фільтровентиляційними установками сховищах.

При проведенні рятувальних робіт у вторинному вогнищі ураження основні зусилля спрямовуються на локалізацію джерел отруйної речовини і запобігання її подальшого надходження на місцевість і в повітря.

Підрозділи хімічного захисту і формування протирадіаційного та протихімічного захисту в період проведення рятувальних робіт у ВХУ дегазують ділянки місцевості і доріг, будинки і споруди, проводять санітарну обробку особового складу військових частин, формувань і населення, знезаражують їх засоби захисту й одяг. Черговість проведення цих робіт визначається начальником ЦО, виходячи з конкретної обстановки. Для санітарної обробки населення, яке евакуюється з ВХУ, і дегазації транспортних засобів поблизу маршрутів евакуації на незараженій місцевості підрозділами хімічного захисту частин ЦО розгортаються пункти спеціальної обробки.

РІНР у ВХУ виконуються в протигазах і засобах захисту шкіри. Тривалість роботи змін у ВХУ залежить, головним чином, від припустимого часу безупинного перебування в ЗІЗ. Щоб уникнути перегріву і виходу його з ладу через теплові удари застосовують спеціальні комбінезони, що екранують, і поливання захисних костюмів водою.

Роботи проводяться з максимальною інтенсивністю до повного їх завершення в найкоротший термін, із залученням необхідної кількості сил і засобів та з дотриманням заходів безпеки. Заміна формувань здійснюється за рахунок резервів і залучення додаткових спеціальних формувань. У залежності від хімічної обстановки у вогнищах РІНР можуть проводитися послідовно (спочатку в окремих, найбільш важливих місцях) або одночасне на всій території ВХУ. Вогнища вважаються ліквідованими, коли перебування людей без засобів захисту в них стає безпечним. На період проведення робіт вогнище ураження оточується, встановлюється комендантська служба й організовується охорона громадського порядку.

## ВИСНОВКИ

В ході виконання магістерської роботи на тему: «Дослідження впливу технологічних параметрів на розподіл неоднорідності напружено-деформованого стану металу при осаджуванні» можна зробити наступні висновки:

1. Проведений огляд літературних джерел з технологій виготовлення вісесиметричних порожнистих деталей із застосуванням пластичного деформування та методів рішення вісесиметричних задач теорії пластичності.

2. Були проведені лабораторні дослідження впливу технологічних параметрів на неоднорідність деформації металу при деформації. Досліджувався вплив геометричних параметрів осередку деформації, а також наявності або відсутності зовнішнього опору течії металу.

3. Також були проведені дослідження впливу технологічних параметрів на неоднорідність деформації металу при деформації за допомогою методу кінцевих елементів. Аналізуючи наведені результати моделювання процесу осаджування товстостінної порожнистої циліндричної деталі при різних співвідношеннях довжини та висоти осередку деформації можна зробити висновки, що збільшення геометричного показнику  $l/h$  призводить до збільшення показників напруженого стану металу.

## Перелік використаної літератури

1. Азимов М. Холодная объемная штамповка деталей гидроагрегатов из трубных заготовок / М. Азимов, В. Г. Горючев, М. Ф. Цидулько // КШП ОМД. - 1987. - № 11. - С. 31-33.
2. Васильковский В. П. Оценка величины усилий закрытой штамповки кольцевых заготовок на прессе двойного действия / В. П. Васильковский, А. Н. Леванов // КШП ОМД. - 1987. - № 5. - С. 12-14.
3. Артес А. Э. Совершенствование технологических процессов холодной объемной штамповки деталей из трубных заготовок / А. Э. Артес, Д. Г. Кобзианидзе // КШП ОМД. - 1989. - № 10. - С. 7-8.
4. Бащенко А. П. Высокотемпературная термомеханическая обработка толстостенных труб в условиях горячего прессования / А. П. Бащенко, Я. Б. Гуревич, А. Г. Суслов, С. А. Калинин // КШП ОМД. - 1994. - № 11. - С. 9-10.
5. Коновалов А. В. Некоторые особенности моделирования напряженно-деформированного состояния в процессах ОМД / А. В. Коновалов // КШП ОМД. - 1998. - № 12. - С. 3-7.
6. Марченков И.А. Влияние трения на деформированное состояние в очаге деформации при раздаче трубчатых заготовок / И. А. Марченков, И. Н. Шубин // КШП ОМД. - 1999. - № 2. - С. 10-11.
7. Титов В. М. Раздача полых цилиндрических заготовок в условиях сверхпластичности / В. М. Титов // КШП ОМД. - 2000. - № 6. - С. 11-14.
8. Аверкиев А. Ю. Формаизменение трубной заготовки при раздаче и обжиме / А. Ю. Аверкиев // КШП ОМД. - 2000. - № 1. - С. 6-9.
9. Аверкиев А. Ю. Формаизменение трубной заготовки при раздаче и обжиме (продолжение) / А. Ю. Аверкиев // КШП ОМД. - 2000. - № 2. - С. 7-9.
10. Аверкиев А. Ю. Формаизменение трубной заготовки при раздаче и обжиме (часть 2) / А. Ю. Аверкиев // КШП ОМД. - 2000. - № 3. - С. 7-11.

11. Каменицкий Б. И. Установка для исследования пластической деформации цилиндрических оболочек под действием жидкости высокого давления / Б. И. Каменицкий, В. В. Киселев // КШП ОМД. – 2005. - № 12. – С. 3-8.
12. Ильинич Д. А. Штамповка поковок типа плоских колец и фланцев / Д. А. Ильинич, В. Г. Кондратенко, А. Н. Щеглов, А. Т. Фомченков, С. А. Евсюков // КШП ОМД. - 1985. - № 4. – С. 6-7.
13. Чумаченко Е. Н. Модельное исследование изотермической штамповки кольцевых заготовок / Е. Н. Чумаченко, В. И. Скрылев, И. В. Логашина // КШП ОМД. – 1991. - № 10. – С. 7-10.
14. Григорьев Г. Д. Способ штамповки кольцевых изделий и инструмент для его реализации / Г. Д. Григорьев, Б. Г. Каплунов, А. А. Фельде, С. П. Зуев // КШП ОМД. – 1991. - № 2. – С. 30-32.
15. Голенков В. А. Изготовление осесимметричных изделий валковой штамповки / В. А. Голенков, С. Ю. Радченко, О. В. Дорофеев // КШП ОМД. – 1995. - № 11. – С. 13-15.
16. Шнейберг А. М. Приближенный расчет и экспериментальная проверка энергетических затрат при осадке и обратном выдавливании с кручением и без кручения пуансона / А. М. Шнейберг, Ф. П. Михаленко, О. С. Кошелев, Т. А. Лазарева // КШП ОМД. – 1999. - № 9. – С. 3-11.
17. Антонюк Ф. И. Точность холодной осадки цилиндрических заготовок / Ф. И. Антонюк, А. Г. Вяткин // КШП ОМД. - 2000. - № 10. – С. 16-20.
18. Ершов В. И. Совмещенные процессы штамповки деталей из трубных заготовок / В. И. Ершов // КШП ОМД. - 2000. - № 6. – С. 21-22.
19. Акаро И. Л. Исследование операций обжима толстостенных труб в жестких матрицах / И. Л. Акаро, В. П. Троицкий // КШП ОМД. – 2000. - № 11. – С. 8-11.

20. Акаро И. Л. Развитие малоотходной штамповки поковок из толстостенных трубных заготовок / И. Л. Акаро // КШП ОМД. – 2001. - № 3. – С. 16-21.

21. Арчаков А. Т. Определение силовых и кинематических параметров процесса осадки с трением цилиндрического образца / А. Т. Арчаков // КШП ОМД. – 2003. - № 4. – С. 8-11.

22. Напалков А. В. Технология производства плоских шайб с увеличенной высотой методом холодной объемной штамповки / А. В. Напалков // КШП ОМД. – 2006. - № 10. – С. 27-29.

23. Шнейберг А. М. Раздача с осадкой кольцевых заготовок с использованием жидкого наполнителя / А. М. Шнейберг, Ф. П. Михаленко, А. С. Пудов, О. С. Кошелев // КШП ОМД. – 2006. - № 3. – С. 12-19.

24. Данченко В.Н. Компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением. Численные методы / В.Н. Данченко, А.А. Миленин, В.И. Кузьменко, В.А. Гринкевич // «Системные технологии».- Днепропетровск.- 2005.- 488с.

25. Павленко І. В. Метод скінчених елементів в задачах опору матеріалів і лінійної пружності / І. В. Павленко. – Суми : СумДУ, 2006. - 147 с.

26. Илюшкин М. В. Моделирование процессов обработки металлов давлением в программе ANSYS/LS-DYNA (осадка цилиндрической заготовки) / М. В. Илюшкин. – Ульяновск : УлГУ. - 2012. - 91 с.