

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

Механіко-машинобудівний інститут

(повна назва інституту/факультету)

Механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК 621.7.04

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Тітов В.А.  
(ініціали, прізвище)

“ ” 20\_\_ р.

## **Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності Обладнання та технології пластичного формоутворення  
конструкцій машинобудування 8.05050203

(код і назва)

на тему: «Експериментально-аналітичне обґрунтування процесу обробки  
металу пресуванням з перемішуванням»

Виконав (-ла): студент (-ка) VI курсу, групи МД-41м

(шифр групи)

Івахов Андрій Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник д.т.н., професор, Тітов В.А.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Київ – 2016 року

## Реферат

Атестаційна магістерська робота на тему «Експериментально-аналітичне обґрунтування процесу обробки металу пресуванням з перемішуванням», представлена в обсязі 150 сторінок і вміщує 11 таблиць, 87 малюнкв. У роботі використано 151 джерело.

В роботі вирішена актуальна науково-технічна задача експериментально-аналітичного обґрунтування процесу обробки металу пресуванням з перемішуванням.

На основі аналізу літератури розглянуто вплив ультрадрібнозернистої структури на властивості металів, визначені вимоги до одержуваної мькроструктури, розглянуті вже використовувані способи отримання матеріалів з нанокристалічною структурою, враховані їхні переваги і недоліки, визначені основні проблеми, які можуть виникнути при даному способі зміни структури.

Розроблено структуру технологічного процесу і методику проведення процесу зміни структури за допомогою пресування з перемішуванням.

Розроблено та реалізовано в системі CAD / CAE Deform кінцево-елементарна модель для розрахунку напружено-деформованого стану та кінематики течії металу в процесі пресування з перемішуванням, що дозволило дати оцінку НДС в осередку деформації.

Здійснено аналітичну оцінку кінематики течії металу в процесі обробки, визначена методика аналітичного розрахунку напружено-деформованого стану.

Спроектовано і виготовлено оснащення для проведення експериментальних досліджень процесу пресування з перемішуванням.

Проведено експериментальні дослідження на основі яких були оброблені і проаналізовані технологічні особливості протікання процесу, також виконані метеоалографічні дослідження структури металу отриманої після пресування з перемішуванням.

За результатами роботи опубліковані матеріали доповіді VII міжнародної науково-технічної конференції «Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості профільної освіти».

Надані рекомендації щодо реалізації способу пресування з перемішуванням які можуть бути використані для розробки технологічних процесів і проектування оснащення для їх реалізації.

## Реферат

Аттестационная магистерская работа на тему «Экспериментально-аналитическое обоснование процесса обработки металла прессованием с перемешиванием», представленная в объеме 150 страниц и вмещает 11 таблиц, 87 рисунков. В работе использовано 151 источник.

В работе решена актуальная научно-техническая задача экспериментально-аналитического обоснования процесса обработки металла прессованием с перемешиванием.

На основе анализа литературы рассмотрено влияние ультра-мелозернистой структуры на свойства металлов, определены требования к получаемой микроструктуре, рассмотрены уже используемые способы получения материалов с нанокристаллической структурой, учтены их преимущества и недостатки, определены основные проблемы, которые могут возникнуть при данном способе изменения структуры.

Разработана структура технологического процесса и методика проведения процесса изменения структуры с помощью прессования с перемешиванием.

Разработана и реализована в системе CAD/CAE Deform конечно-элементарная модель для расчета напряженно-деформируемого состояния и кинематики течения металла в процессе прессования с перемешиванием, что позволило дать оценку НДС в очаге деформации.

Осуществлена аналитическая оценка кинематики течения металла в процессе обработки, определена методика аналитического расчета напряженно-деформированного состояния.

Спроектирована и изготовлена оснастка для проведения экспериментальных исследований процесса прессования с перемешиванием.

Проведены экспериментальные исследования на основе которых были обработаны и проанализированы технологические особенности протекания

процесса, также выполнены металлографические исследования структуры металла полученной после прессования с перемешиванием.

По результатам работы опубликованы материалы доклада VII международной научно-технической конференции «Теоретические и практические проблемы в обработке материалов давлением и качества профильного образования».

Даны рекомендации по реализации способа прессования с перемешиванием которые могут быть использованы для разработки технологических процессов и проектирования оснастки для их реализации.

## **Abstract**

Attestation master thesis on "Experimental and analytical study of metal processing compression with mixing", presented in the amount of 150 pages and contains 11 tables, 87 drawing. The paper used 151 literature.

In this work solved the actual scientific and technical problem of experimental and analytical study of metal processing compression with mixing.

Based on the analysis of the literature considered the influence of ultra-fine grain structure on the properties of metals, defined the requirements for the resulting microstructure, considered already used methods for producing materials with nanocrystalline structure, considered their advantages and disadvantages, the basic problems that could occur when this process changes the structure. The structure of the process and technique of changing the structure of the process by means of pressing with mixing.

Developed and implemented in the CAD / CAE Deform system of finite-elemental model for the calculation of the stress-strain state and the kinematics of the metal flow during pressing with mixing, allowing to the SSS assessment in the deformation zone.

Implemented analytical evaluation of the kinematics of the flow of metal during processing, picked technique of analytical calculation of stress-strain state.

Designed and manufactured equipment for experimental studies of the pressing process with mixing.

Experimental studies on the basis of which the technological features of the process have been processed and analyzed, also made metallographic studies of metal structure obtained after pressing with mixing.

According to the results of the report published materials of the VII International scientific conference "Theoretical and practical problems in handling the pressure of materials and the quality of professional education."

Recommendations for implementing the method of pressing with mixing which can be used to develop manufacturing processes and tooling design to implement them.

## ЗМІСТ

### 1. Аналітичний огляд публікацій

#### 1.1. Загальні відомості

#### 1.2. Методи інтенсивної пластичної деформації і формування наноструктур

##### 1.2.1. Деформування крученням під високим тиском.

##### 1.2.2. Деформація РКК - пресуванням.

##### 1.2.3. Всебічне кування.

#### 1.3. Види наноструктур в матеріалах пророблених інтенсивними деформаціями

#### 1.4. Деформаційна поведінка і механічні властивості наноструктурних матеріалів

##### 1.4.1 Механічна поведінка та деформаційне зміцнення

##### 1.4.2. Механічні властивості при підвищених температурах: надпластичність

##### 1.4.3. Циклічна деформація і втома

#### 1.5. Висновки по розділу

#### 1.6. Мета та задачі дослідження

### 2. Методика дослідження

#### 2.1. Методика аналітичного аналізу

#### 2.2. Методика досліджень чисельними методами

##### 2.2.1. Методика оцінки впливу технологічних параметрів для забезпечення ефективності процесу

##### 2.2.2. Методика визначення напружено-деформованого стану та кінематики процесу

#### 2.3. Методика експериментальних досліджень



- 2.2.1. Завдання експериментальних досліджень
- 2.2.2. Використане обладнання
- 2.2.3. Технологічне оснащення та інструмент
- 2.2.4. Підготовчі операції
- 2.4. Висновки по розділу
- 3. Теоретичні дослідження
  - 3.1. Порядок проведення теоретичного аналізу
  - 3.2. Обтікання суцільним середовищем циліндричного інструменту в робочому каналі матриці.
  - 3.3. Рух суцільного середовища внаслідок обертання циліндричного інструменту
  - 3.3. Задача обтікання середовищем обертового циліндричного інструменту
  - 3.4. Висновки по розділу
- 4. Моделювання процесу пресування з перемішуванням чисельними методами
  - 4.1. Оцінка впливу технологічних параметрів для забезпечення ефективності процесу
  - 4.2. Визначення напружено-деформованого стану та кінематики процесу
    - 4.2.1. Аналіз кінематики течії металу
    - 4.2.2. Аналіз напружено-деформованого стану
- 5. Розробка експериментальної оснастки для дослідження процесу пресування з перемішуванням
  - 5. 1. Вибір схеми пресування з перемішуванням

5.2. Розрахунок матриці для редукування

5.3. Розрахунок валу

6. Експериментальні дослідження

7. Рекомендації по реалізації методу пресування з перемішуванням

7.1. Технологічні рекомендації

7.2. Конструкційні рекомендації

8. Загальні висновки

## **Загальні висновки**

1. Вирішена актуальна науково-технічна задача по експериментально-аналітичному обґрунтуванню процесу обробки металу пресуванням з перемішуванням.

2. На основі аналізу науково-технічних публікацій було проаналізовано вплив наноструктури на властивості матеріалів, визначені вимоги до її характеру, проаналізовані існуючі методи досягнення необхідної структури, визначені їх недоліки. Визначений напрямок і основна мета та задачі дослідження.

3. Розроблена і реалізована модель розрахунку процесу в CAD/CAE Deform, яка дозволила проаналізувати кінематичні параметри і НДС металу в процесі пресування з перемішуванням.

З використанням кінцево-елементної моделі процесу пресування з перемішуванням виконаний розрахунок НДС і зусилля для заданих умов процесу пресування. В процесі аналізу напружень та деформацій були визначені зони з максимальними пропрацюванням металу. Також було виявлено, що найбільш небезпечна ділянка, схильна до руйнування, знаходиться під валом біля його поверхні.

4. Була проведена оцінка теоретичного аналізу кінематики течії металу в процесі пресування з перемішуванням, порівнені та проаналізовані результати аналітичного і чисельного розрахунків, визначена методика для теоретичного розрахунку напружено-деформованого стану.

5. Були проведені експериментальні дослідження, які дали змогу визначити стадії перебігу процесу, особливості течії металу, технологічні особливості перебігу процесу.

6. В ході експерименту було проведено ряд дослідів, які показали, що процес пресування з перемішуванням є можливий при правильно розрахованих і підібраних технологічних параметрах (частоти обертання валу, швидкості подачі, протитиску) у відповідності до оброблюваного матеріалу.

7. За допомогою металографічних досліджень був досліджений вплив процесу пресування з перемішуванням на зміну структури металу. Металографічні дослідження показали, що в процесі обробки відбувається значне подрібнення структури, визначені зони інтенсивного припрацювання металу. Аналіз експериментальних результатів підтвердив теоретичні викладки та дає основу для удосконалення процесу в подальших дослідженнях в цій галузі.

8. На основі результатів кінцево-елементного розрахунку і експериментальних досліджень були сформульовані технологічні рекомендації щодо реалізації методу пресування з перемішуванням.