

## Відгук

офіційного опонента доктора технічних наук, доцента Сивака Романа Івановича на дисертаційну роботу **Гуцалюка Олександра Володимировича** «Вдосконалення процесу холодного редукування коротких циліндричних заготовок на основі методів технологічної механіки», яка представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском.

### **1. Оцінка структури та змісту дисертації**

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та чотирьох додатків. Список використаних джерел містить 102 найменування. Обсяг основної частини дисертації становить 110 сторінок, з них 63 рисунка і 9 таблиць.

Структура роботи по складу та послідовності розділів логічна та в цілому відповідає необхідним вимогам. Дисертація була виконана на кафедрі опору матеріалів та прикладної механіки Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею.

**У вступі** кваліфікаційної наукової роботи наведена загальна характеристика роботи, обґрунтовано актуальність теми, а також показаний зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами та темами, наведена мета і задачі дослідження, дана характеристика об'єкта, предмета та методів дослідження. Крім того, відзначено особистий внесок здобувача, сформульована наукова новизна та практична цінність отриманих результатів, наведені дані по апробації роботи.

**В першому розділі** наведені результати аналізу існуючих способів

холодної обробки тиском вісесиметричних заготовок із забезпеченням безвідмовного формоутворення. Для процесів холодного пластичного деформування вісесиметричних заготовок розглянуто сучасний рівень досліджень напружено-деформованого стану та низка деформаційних критеріїв, які дозволяють розрахунковим шляхом прогнозувати руйнування. Встановлено, що для забезпечення потрібних властивостей заготовок, а саме: пластичність, міцність, енергопоглинання та ін. слід розглянути ряд невирішених задач. Серед процесів холодного пластичного деформування, які описуються в літературних джерелах для отримання потрібних фізико-механічних властивостей циліндричних заготовок із порошкових сплавів, автором показана необхідність використання саме процесу охоплюючого деформування - редукування. В розділі вказано на потребу врахування величин кута нахилу робочого інструменту та величини відносного обтиску для забезпечення необхідної технологічної спадковості. Накопичення пошкоджень (заліковування дефектів) залежить від знаку похідних від функцій показника (показників) напруженого стану, тому необхідно оцінити ефективність деформаційних критеріїв руйнування для характерних зон процесу редукування. При подальшому розрахунку використаного ресурсу пластичності за деформаційними критеріями, також, виникла необхідність формування карти матеріалу сплаву W-Ni-Fe, яка містила би стандартні механічні характеристики та характерні для даного сплаву функціональні залежності.

Встановлено проблеми процесу редукування та сформульовані завдання дослідження.

У **другому розділі** автор визначився з подальшими напрямками роботи, використанням методик для подальших досліджень та сформував карту матеріалу.

Формування карти матеріалу не обмежилось встановленням величин стандартних механічних характеристик (модуль Юнга, показник та ступінь зміцнення, границі текучості та зміцнення). Обґрунтована

необхідність в отриманні кривої течії, діаграми пластичності, градувального графіку твердість (HV) – інтенсивність напружень – інтенсивність деформацій, які і були досліджені в даному розділі.

Крива течії була апроксимована функцією П. Людвіга з коефіцієнтами апроксимації  $A = 1731,6 \text{ МПа}$  та  $n = 0,259$ ; отримано модуль Юнга  $E = 1,4 \cdot 10^{10} \text{ Па}$ , границю міцності  $\sigma_e = 920 \text{ МПа}$  та границю текучості ( $\sigma_m = 650 \text{ МПа}$ ). При побудові діаграми пластичності областях  $\eta$  менше 0 та  $\eta$  більше 0 визначено коефіцієнт чутливості пластичності до схеми напруженого стану  $\lambda_1 = 1,75$  та  $\lambda_2 = 0,3$ , які відображають значну чутливістю пластичності до схеми напруженого стану при малих пластичних деформаціях в умовах розтягу. Оцінка технологічної спадковості після холодного пластичного редукування проводиться шляхом перевірки твердості та співставлення отриманих результатів з тарувальним графіком.

Отримані функціональні характеристики дозволяють прогнозувати появу бракувальних ознак та технологічну спадковість матеріалу заготовки.

**Третій розділ** присвячений дослідженням і вивченню механіки процесу редукування. Автором прийнято умову, що кінематика не залежить від властивостей реологічно подібних матеріалів. Виявлено наявність трьох характерних ділянок редукованої заготовки, що розташовані вздовж неї. Виконання попередньо поставлених завдань можливе за умови зменшення розмірів неусталених ділянок. Дослідження автора спрямовані на аналіз впливу зміни величини кута нахилу робочої поверхні інструменту та величини відносного обтиску дозволили визначити критичні значення деформацій в небезпечній області. Забезпечення величини цих технологічних параметрів у межах  $0,02 \leq \delta \leq 0,1$  та  $\gamma = 3..7^\circ$  дозволяє автору рівномірно зміцнити матеріал заготовки по перерізу та уникнути втрати стійкості. Бракувальні ознаки з'являються на осі симетрії заготовки зі сторони прикладення зовнішніх зусиль, причиною яких є наявність розтягувальних напружень в даній

точці заготовки. Аналіз отриманих полів напружень дозволить покращити контактні умови.

У **четвертому розділі** проведено дослідження деформовності заготовки в процесі холодного редукування. Для характерних ділянок редукованої заготовки побудовано шляхи деформування, виявлено, що шляхи деформування описуються лініями різної кривини. Автор дослідив точність розрахунку деформаційних критеріїв руйнування при різних кривинах шляхів деформування та привів рекомендації щодо їх подальшого використання: для простого навантаження розрахунок використаного ресурсу пластичності здійснюється, використовуючи критерій Смірнова-Аляєва Г. А., для складного деформування з малою кривиною шляху деформування - критерій В. Л. Колмогорова, для складного деформування з суттєвою кривиною шляху деформування – модифікований критерій Огороднікова В. А. Визначено використаний ресурс пластичності для характерних точок заготовок. Здійснений аналіз дозволив вивести інженерну залежність для визначення діаметру прохідного отвору інструменту. Отримані автором рекомендації, а саме  $0,1 \geq \delta \geq 0,06$  та  $7^\circ \geq \gamma \geq 3^\circ$ , дозволили розробити оснащення для обробки редукуванням на основі спеченого сплаву W-Ni-Fe (W- 89%, Ni – 7,5%, Fe – 3,5%). Використано заготовки, які мають діаметр 13 мм та довжину 60 мм. Показники технологічної спадковості визначені замовником виражаються величиною твердості після деформування (HV=3400..4050 МПа), нерівномірністю розподілу деформацій ( $m \geq 0,75$ ) та залишковою пластичністю, яка повинна бути менше 10%. Тому, надані автором рекомендації, є достатньо науково обґрунтованими та дозволяють досягти зменшення затрат пов'язаних з виникненням браку, скоротити час підготовки технологічного процесу редукування та покращити ефективність процесу за рахунок використанням раціональних технологічних параметрів.

**Список використаних джерел** є інформативним, достатньо повно охоплює зазначену галузь знань та відображає великий обсяг

оброблених джерел.

Структура та зміст роботи і автореферату співпадають між собою. Матеріали дисертації викладені достатньо логічно та послідовно і відповідають вимогам до оформлення кандидатських робіт.

## **2. Актуальність теми дисертаційного дослідження.**

Сучасний розвиток економіки в Україні та за кордоном потребує удосконалення існуючих, розробки та впровадження нових технологій, які забезпечують збереження матеріальних, трудових, енергетичних та екологічних ресурсів. В металообробній промисловості ресурсозбереження забезпечується впровадженням методів холодного об'ємного штампування, які дозволяють підвищувати механічні властивості деформованого металу, отримувати вироби з високою точністю та необхідною технологічною спадковістю. Досягнення цієї мети для процесів холодного пластичного деформування можливе шляхом поглибленого аналізу результатів моделювання конкретних процесів. В результаті зменшується кількість бракувальних ознак, збільшується довговічність інструменту, покращуються якісні характеристики готового виробу. На сучасному рівні розвитку машинобудування виникає необхідність у формуванні карт матеріалів, яка обумовлюється вимогами більш глибокого вивчення різноманітних процесів обробки. Для відносно коротких вісесиметричних заготовок можливе використання різноманітних методів холодного пластичного деформування (волочіння, пресування, кування, тощо). Недослідженим на даний час є розмір ділянок неусталеності процесу, що є особливо актуальним для заготовок з обмеженою довжиною. Необхідність вивчення та аналізу даних ділянок зумовлена тим, що порошкові матеріали почали активно використовувати в елементах конструкцій. Водночас виготовлення деталей на основі порошкових сплавів, таких як W-Ni-Fe, супроводжується необхідністю забезпечення певних механічних характеристик. Заготовки ж з вищевказаного сплаву мають відносно

невеликі відношення висота-діаметр, що і зумовило дослідження в даному напрямку.

У зв'язку з викладеним, завдання подальшого розвитку і вдосконалення технологічних процесів редукування на основі формування карт матеріалів, розробки розрахункових моделей і практичних рекомендацій щодо вибору технологічних режимів з метою підвищення ефективності процесів редукування коротких циліндричних заготовок є **актуальною** задачею.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами.**

Дисертаційну роботу виконано відповідно до Закону України "Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки" (Відомості Верховної Ради України, 2011 р., № 4, ст. 23; 2014 р., № 2-3, ст. 41) та постанови Кабінету Міністрів України від 7 вересня 2011 р. № 942 "Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2020 року" (зі змінами від 23 серпня 2016 р. № 556) за напрямком «Створення та застосування технологій отримання, зварювання, з'єднання, діагностики та оброблення конструкційних, функціональних і композиційних матеріалів». Тема дисертаційної роботи відповідає науковому напрямку кафедри опору матеріалів та прикладної механіки ВНТУ і наукової школи "Розвиток феноменологічної теорії руйнування матеріалів при великих пластичних деформаціях та розробка на цій основі нових та удосконалення існуючих технологій обробки металів тиском". Автор був виконавцем держбюджетних науково-дослідних робіт ВНТУ, передбачених планами Міністерства освіти і науки України та виконаних на кафедрі опору матеріалів та прикладної механіки (ОМПМ) ВНТУ: № держреєстрації 0112U001366; № держреєстрації 0114U003458; № держреєстрації 0116U004711; госпоговірної теми № держреєстрації 0117U005540; а також теми III-2-15

### 3. Наукова новизна отриманих результатів

Найбільш суттєві наукові результати дисертації включають в себе:

- 1) Вперше побудовано шляхи деформування металу в характерних точках коротких заготовок в залежності від основних технологічних параметрів процесу прямого видавлювання (редукування) та обґрунтовано розташування небезпечних зон за ознакою вичерпання ресурсу пластичності металу;
- 2) Вперше сформовано карту матеріалу для сплаву системи W-Ni-Fe, яка складається з кривої течії, діаграми пластичності та графіка залежностей «твердість-напруження-деформації». Встановлені закономірності механіки процесу редукування коротких циліндричних заготовок, зокрема визначено напружено-деформований стан в процесі, величини контактних напружень та енергосилових характеристик в т. ч. для матеріалів з подібною реологією до дослідженого сплаву;
- 3) Отримав подальший розвиток метод оцінки деформовності металу заготовок в процесі холодного редукування, який відмінно від існуючих встановлює межі використання критеріїв деформовності в залежності від кривини шляху деформування, величини гідростатичного тиску і показника, що враховує вплив третього інваріанту тензора напружень;
- 4) Набув подальшого розвитку метод оцінювання технологічної спадковості для виробів, отриманих способами холодного формоутворення, який відмінно від існуючих полягає у визначенні величини таких параметрів: твердості виробу, нерівномірності розподілу деформацій та залишкової пластичності, що дозволяє визначити раціональні технологічні параметри холодного редукування коротких заготовок зі сплаву системи W-Ni-Fe.

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації, та їх достовірність.

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи в повній мірі обґрунтовані з наукової і технічної точки зору. В теоретичних дослідженнях використано методи ліній ковзання та скінченних елементів. Експериментальні дослідження проводились на лабораторному та промисловому обладнанні з використанням розроблених і виготовлених інструментів. Чисельний аналіз і моделювання нових технологій виконувались на комп'ютерних моделях, побудованих в сучасних системах автоматизованого проектування – LS-DYNA.

## **5. Практична значимість отриманих результатів**

До практичної цінності результатів роботи можна віднести:

- 1) результати досліджень фізико-механічних властивостей матеріалу сплаву системи W-Ni-Fe (W – 89%, Ni – 7,5%, Fe – 3,5%), серед яких крива зміцнення, діаграма пластичності, тарувальні графіки твердість HV – інтенсивність напружень  $\sigma_i$  – інтенсивність деформацій  $\epsilon_i$ ;
- 2) методичні рекомендації щодо вибору феноменологічних критеріїв деформування при розрахунках використаного ресурсу пластичності для характерних зон заготовки в процесі її редукування;
- 3) методика визначення технологічних параметрів процесу редукування, яка дозволяє отримати заготовки з прогнозованими властивостями без технологічних відмов при вивченні поведінки реологічно подібних матеріалів; врахування впливу історії деформування; градієнта деформацій.

## **6. Повнота викладання в опублікованих працях основних наукових та прикладних результатів дисертації**

Матеріали та основні положення дисертаційної роботи опубліковані в 20 наукових роботах, з них 5 статей у спеціалізованих фахових виданнях згідно переліку МОН України, 1 публікація у закордонному виданні (входить до наукометричної бази «Scopus»), 12 тез у збірниках



доповідей міжнародних наукових конференцій. За результатами досліджень отримано патент України.

Публікації відповідають встановленим вимогам та достатньо повно відображають зміст роботи.

## 7. Зауваження по змісту і оформленню дисертації.

1. В огляді не проаналізовані фізичні моделі, за допомогою яких на даний час прогнозують не тільки механічні характеристики деформованих матеріалів, технологічну спадковість виробів, а також і напружено-деформований стан.

2. В п. 1.2.4 представлена принципова схема процесу рівноканального пресування, але в тексті цей процес не проаналізовано. Бажано було б також вказати, яких властивостей набуває сплав W-Ni-Fe після такого типу пластичної обробки.

3. На рис. 2.8 «Діаграма пластичності сплаву W-Ni-Fe» експериментально отримані значення граничної деформації при  $\eta = -0,5$  і  $\eta = 0,5$ . Як ці точки було отримано?

4. На рис. 3.3 представлено різний характер руйнування заготовки в процесі редукування при одному і тому ж куті нахилу робочого конуса  $7^\circ$ . Чим обумовлена така різниця?

5. Згідно залежності коефіцієнта нерівномірності деформацій  $m$  від кута нахилу матриці (рис. 4.2), його значення більше одиниці. Як це

можна пояснити, якщо 
$$m = \frac{e_{i_{min}}}{e_{i_{max}}}$$
 ?

## 8. Ідентичність автореферату та змісту дисертації

Автореферат в достатній мірі відповідає змісту дисертації.

## 9. Загальні висновки по дисертації

В цілому наведені зауваження не впливають на якість, наукову новизну та практичну значимість дисертації, тому їх можна розглянути як

побажання. Вони можуть бути використані в подальшій роботі для розвитку процесів поверхневої пластичної деформації.

Дисертаційна робота **Гуцалюка О. В.** «Вдосконалення процесу холодного редукування коротких циліндричних заготовок на основі методів технологічної механіки», є завершеною науковою працею, що виконана автором особисто на належному рівні, яка має наукову новизну і практичну цінність. Робота вирішує важливу науково-технічну проблему – визначення закономірностей процесу редукування коротких циліндричних заготовок, механіки процесу, деформовності та технологічної спадковості виробів.

Дисертаційна робота «Вдосконалення процесу холодного редукування коротких циліндричних заготовок на основі методів технологічної механіки» відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 „Порядку присудження наукових ступенів“. Зміст дисертації відповідає напрямкам досліджень паспорта спеціальності. Вважаю, що її автор **Гуцалюк Олександр Володимирович** заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском.

**Офіційний опонент,**

доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін  
та охорони праці Вінницького національного  
аграрного університету, доктор технічних наук,  
доцент

Р. І. Сивак

Особистий підпис  
засвідчую

Начальник відділу  
кадрів ВНАУ



*Handwritten signature*