

**ВІДГУК**  
**офіційного опонента**  
на дисертацію **Бубновської Ірини Анатоліївни**  
«Удосконалення процесів вальцовування на основі моделювання  
формозмінення заготовок», представлена на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.05 – «Процеси та  
машини обробки тиском»

**1. Оцінка структури та змісту дисертації**

Дисертація складається зі вступу, 5 розділів основної частини, висновків, списку використаних джерел, 5 додатків. Повний обсяг дисертації становить 242 сторінки, з них 160 основної частини, 93 рисунка і 22 таблиці. Список використаних джерел містить 102 найменування.

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

В **першому розділі** наведені результати аналізу проблеми розвитку технології вальцовування, переваги та недоліки холодного і гарячого процесу, проведено аналіз результатів дослідження НДС матеріалу заготовок в процесі вальцовування. Розглянуті методи дослідження пластичності, критерії деформовності металів та області їх застосування. Визначено, що відсутня методика побудови «єдиної» діаграми пластичності, а використання існуючих технологічних способів випробування металів призводить до розбіжностей в значеннях пластичності, відсутні ефективні методики оцінки деформовності металів при холодному вальцовуванні. Для розвитку процесів вальцовування необхідне проведення подальших досліджень, спрямованих на

вивчення характеру течії металу залежно від параметрів процесу, характеру розподілу в матеріалі заготовки НДС і величини використаного ресурсу пластичності, поліпшення характеристик якості вальцованих заготовок.

**У другому розділі** проведено дослідження механічних характеристик алюмінієвих сплавів, що використовуються при вальцовуванні, оскільки існує тенденція заміни сталі легкими сплавами в машинобудуванні, транспорті, приладобудуванні. Розглянуто ефект зміщення та пластичність алюмінієвих сплавів при холодному деформуванні, методи побудови кривих зміщення. Розроблено спосіб вальцовування циліндричного зразка на клин валками, радіуси яких зростають в процесі вальцовування. Спосіб забезпечує можливість випробування циліндричних зразків при сталому напруженому стані та дозволяє отримувати значення пластичності в умовах одновісного розтягу. З використанням цього способу побудовано діаграми пластичності низки алюмінієвих сплавів.

**Третій розділ** присвячений дослідженням теплових процесів і термічних деформацій при вальцовуванні заготовок з алюмінієвих сплавів. В межах розробленої методики з дослідження процесів теплообміну, теплового стану, термічних деформацій і переміщень в зоні деформування визначено вплив оксидної плівки, якою вкрита поверхня нагрітої заготовки, на розподіл температур в поперечному перерізі заготовки; визначено внесок величини термічної складової в коефіцієнти нерівномірності деформацій матеріалу заготовок з алюмінієвого сплаву АК6 при високотемпературному вальцовуванні; встановлено температурний інтервал нагріву валків для рівномірного розподілу температурного поля по вертикальному напрямі осередку деформування.

**У четвертому розділі** проведено дослідження НДС циліндричних заготовок при вальцовуванні методом імітаційного моделювання та встановлено його суттєву неоднорідність в зоні деформування. Отримано залежність між відносним стисненням заготовки при вальцовуванні та інтенсивністю деформацій на її бічній поверхні, яку апроксимовано рівнянням. Досліджено НДС і характер розподілу температур в зоні

деформування при гарячому вальцовуванні. Розроблено процес виготовлення вальцованим криволінійних заготовок на основі керування їх деформованим станом шляхом використання валків із заданою конусністю.

**У п'ятому розділі** наведено оцінку деформовності матеріалу заготовок при вальцовуванні та розроблені рекомендації щодо побудови раціональних технологічних процесів вальцовування. Розроблено спосіб виготовлення криволінійних заготовок двохетапним вальцовуванням, за яким на першому етапі вальцовування здійснюється на гладку бочку з керуванням деформованим станом заготовки конічними валками, на другому – заготовка повертається на 90 градусів і вальзується в калібрах циліндричних валків.

При одноетапному вальцовуванні, або вальцовуванні без кантування заготовки, використаний ресурс пластичності та граничні деформації для точок найбільш небезпечних зон бічних поверхонь заготовки визначали з використанням критерію деформовності В. А. Огороднікова. Для оцінки деформовності заготовок при вальцовуванні з їх кантуванням використано критерій В. М. Михалевича. Обґрунтовано застосування вальцовування, як підготовчої операції до штампування, яка дозволяє підвищувати коефіцієнт використання матеріалу і продуктивність виробництва шляхом скорочення кількості операцій штампування, забезпечує підвищення міцності і пластичності заготовок, поліпшення якості поверхні і структури металу заготовок під штампування.

У загальних **висновках** викладено отримані в процесі дисертаційного дослідження найбільш важливі наукові та практичні результати, які сприяли розв'язанню науково-прикладної проблеми.

**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.**

У номенклатурі штампованих заготовок значний обсяг займають деталі складних видів профілів. Як підготовчу операцію перед об'ємним штампуванням таких деталей з метою рівномірного перерозподілу металу початкової заготовки, усунення надмірної нерівномірності деформації, досягнення високих ступенів деформації, виготовлення якісних виробів без дефектів з високим коефіцієнтом використання металу, застосовують вальцовування. Для процесу вальцовування характерним є локальне нестационарне деформування, що дозволяє отримувати складно профільні заготовки при значних ступенях деформації. Для низки пластичних металів цей процес доцільно здійснювати в умовах холодного деформування.

В машинобудуванні, особливо в авіаційному, виробляється значна кількість складно профільних деталей із алюмінієвих сплавів. Разом з тим, широке застосування вальцовування алюмінієвих сплавів, особливо при виробництві криволінійних деталей, обмежується недостатнім розвитком розрахункового апарату оцінки деформовності матеріалу заготовок, величини використаного ресурсу пластичності для запобігання їх руйнуванню, а також недосконалістю існуючих способів виготовлення заготовок значної кривизни. Тому розроблення нових схем і режимів вальцовування на основі аналізу формозмінення заготовок є актуальним завданням.

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

Тема дисертаційної роботи відповідає «Стратегії розвитку вітчизняної авіаційної промисловості на період до 2020 року», схваленої розпорядженням Кабінету міністрів України від 27. 12. 2008 р., за № 1656-р. Робота виконана в рамках науково-дослідних робіт 2010-2018 р. р. на інженерно-технологічному факультеті Вінницького національного аграрного університету (№ 0112U006703, №0117U006830).

## **3. Наукова новизна отриманих результатів**

Найбільш суттєві наукові результати дисертації включають в себе:

- вперше встановлені закономірності впливу активних сил тертя,

викликаних зміною діаметра валка в осьовому напрямі та його поворотом, на кінематику формозмінення, напружене-деформований стан і деформованість заготовок в процесі холодного вальцовування, що дозволило керувати течією матеріалу і отримувати криволінійні заготовки під штампування;

- вперше на основі розробленої моделі контактної взаємодії інструменту з заготовкою побудована залежність між відносним стисненням заготовки та накопиченою деформацією на її вільній бічній поверхні, що дало можливість контролювати граничну до руйнування товщину заготовки;
- отримав подальшого розвитку метод визначення пластичності металів, який, на відміну від існуючих, забезпечує можливість випробування циліндричних зразків при сталому напруженому стані та отримання двох значень показника пластичності на різних бічних поверхнях заготовки за одне випробування шляхом вальцовування заготовок на клин;
- отримала подальший розвиток модель накопичення пошкоджень матеріалу заготовки, яка, на відміну від існуючої, надає можливість визначати величину використаного ресурсу пластичності за однопрохідного холодного та немонотонного двохетапного вальцовування зі складним деформуванням на другому етапі;
- розвинуто теорію теплових процесів за рахунок використання математичної моделі процесів теплообміну, тепломасоперенесення і термічних деформацій при вальцовуванні заготовок з алюмінієвих сплавів, за допомогою якої оцінено внесок температурної складової в коефіцієнти розширення та випередження, вплив оксидної плівки на тепловий стан в осередку деформації та встановлено рекомендований температурний інтервал нагріву валків.

#### **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. Для отримання імітаційних моделей та теоретичних результатів, було використано універсальну програмну систему скінчено-елементного аналізу, яка

використовується для розв'язання лінійних та нелінійних, стаціонарних та нестаціонарних просторових задач механіки деформованого твердого тіла.

Експериментальні дослідження проводились на лабораторному та промисловому обладнанні, практичні результати роботи підтвердженні актами впровадження.

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

До практичної цінності результатів роботи можна віднести:

1. Розроблено спосіб вальцовування циліндричної заготовки на клин за допомогою валків із зростаючим радіусом, що забезпечує можливість випробовування циліндричних зразків при сталому напруженому стані та дозволяє отримувати значення пластичності алюмінієвих сплавів в умовах одновісного розтягу.

2. Отримана залежність між відносним стисненням та накопиченою деформацією на вільній бічній поверхні циліндричної заготовки, що дозволяє наперед визначати граничну до руйнування товщину заготовки і скоротити терміни підготовки виробництва та забезпечити належну якість виробів через обмеження величини використаного ресурсу пластичності.

3. Розроблено спосіб виготовлення криволінійних заготовок двохетапним вальцовуванням, який полягає у вальцовуванні конічними валками з наступним кантуванням на 90 градусів, що дозволяє отримувати заготовки значної кривизни. Новизну технічних рішень захищено патентами України.

4. Результати роботи впроваджено на підприємстві ДП «45 експериментальний механічний завод» (м. Вінниця) та в навчальний процес Вінницького національного аграрного університету.

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

За матеріалами та основними положеннями дисертаційної роботи опубліковано 13 наукових праць, у тому числі: 9 статей у спеціалізованих фахових виданнях України; 2 статті в іноземних виданнях, 2 в збірниках, виданих за матеріалами науково-технічної конференції, 3 тези доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях, отримано 3 патенти України

на корисну модель.

Публікації відповідають встановленим вимогам та достатньо повно відображають зміст роботи.

### **7. Зауваження по змісту і оформленню дисертації.**

1. В першому розділі дисертації проведено аналіз основних наукових публікацій за темою досліджень по процесам вальцовування заготовок деталей з алюмінієвих сплавів. При цьому автором наведено більш ніж 20% посилань на свої власні публікації, 50 % застарілі джерела – 25 і більше років видання, відсутні посилання на англомовні публікації закордонних авторів. В авторефераті не відображені вчені, які внесли значний вклад в розробку процесів вальцовування: Скрябін С.О., Колпашніков А.І., Алексєєв Ю.М., Омельченко В.І. та інших.

2. Позначення, що використовують, наприклад, в таблиці 2.1., 2.2 та інших відрізняються від загальноприйнятих: в дисертації границя міцності  $\sigma_m$  загальноприйнята границя міцності тимчасовий опір максимального напруження, що витримує матеріал при випробуваннях Св. Враховуючи, що діаграми випробування на розтяг для всіх алюмінієвих сплавів не мають площинки текучості для них зазвичай використовують показник умовної межі текучості  $\sigma_{0,2}$ .

3. В формулі 2.16 на мій погляд може бути помилка.

4. Виконане автором дослідження термомеханічної взаємодії інструменту та заготівки представляє окремий інтерес якщо б автор зробив конкретну і більш точку постановку задачі врахувавши швидкість взаємодії поверхонь інструменту і заготівки, функції пластичності матеріалу від температури, а також довів до методики інженерного використання, то таке дослідження могло б претендувати на окрему дисертацію по глибині пропрацювання, актуальності та оригінальності. У всякому разі у розглядаємій дисертації, це питання займає важливе місце і має не тільки наукову новизну, а також високу наукову значимість.

5. В п.5.2 отримані розрахунки для сталі ЭП 866, не зрозуміло як результати розрахунку накопичення пошкоджень можуть бути використані в

подальшому для проектування процесів формоутворення заготовок деталей з алюмінієвих сплавів.

6. В п. 5.3. не зрозуміло для чого наведені результати обробки заготовок на кувальному молоті (рис. 5.8 та 5.9) та на ГКМ (рис. 5.10).

7. На рис. 5.13(а) дано фото після обробки на штампувальному молоті, хоча підпис вальцювана заготовка.

8. На рис. 5.16, 5.17, 5.18 наведені фото макроструктури матеріалів після штампування з попередньо вальцюваних заготовок. Макроструктура характеризується рівномірним розподілом зерна без мікротріщин. В практиці ОМТ - це наслідок перерозподілу об'ємів металу, що відбувається в наслідок вальцювання, який забезпечує рівномірну деформацію на етапі гарячого штампування, після гарячого штампування на другому етапі внаслідок динамічної рекристалізації механічні властивості штампованої заготівки деталі будуть відрізнятись від властивостей деталі вальцюваної заготівки, які наведені в таблиці 5.3 (с. 192).

9. Мікроструктура на рис. 5.19 не підтверджує якість процесу формоутворення, а на мій погляд вносить суперечливі думки: не зрозуміло походження рівномірно розподілених "плям". Що це ліквиції, інородні включення чи дефекти шліфа?

10. На мій погляд аналізуючи дослідження в дисертації доцільно було б підтвердити результатами формоутворення точних заготовок деталей отриманих вальцюванням, де вальцювання є фінішною операцією, наприклад, заготовок лопаток компресора газотурбінних двигунів.

## **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 **Бубновської Ірини Анатоліївни** «Удосконалення процесів вальцовування на основі моделювання формозмінення заготовок», є завершеною науковою працею, що виконана автором особисто належному рівні, яка має наукову новизну і практичну цінність. Робота вирішує важливу науково-технічну проблему – розроблення нових схем і режимів вальцовування.

Дисертаційна робота «Удосконалення процесів вальцовування на основі моделювання формозмінення заготовок» відповідає вимогам пп. 9, 11, 12 „Порядку присудження наукових ступенів”. Зміст дисертації відповідає напрямкам досліджень паспорта спеціальності. Вважаю, що її автор **Бубновська Ірина Анатоліївна** заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском.

Офіційний опонент,

доцент кафедри прикладної гідроаеромеханіки і  
механотроніки Національного технічного  
університету України “Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського”,  
кандидат технічних наук, доцент,  
лауреат премії Президента України  
для молодих вчених



11.03.2021

Андрій Тітов

Підпис засвідчує,

Вчений секретар

Національного технічного університету  
України “Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського”



Валерія Холявко