

**ВІДГУК**  
**офіційного опонента**

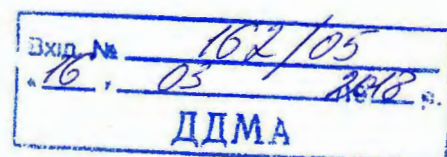
на дисертацію **Алієвої Лейли Іграмотдіновни**

«Розвиток наукових основ і розробка ресурсозберігаючих технологічних процесів формоутворення на основі способів комбінованого деформування», представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.03.05 – «Процеси та машини обробки тиском»

Детальний аналіз дисертації Алієвої Л. І. «Розвиток наукових основ і розробка ресурсозберігаючих технологічних процесів формоутворення на основі способів комбінованого деформування» дозволяє сформулювати наступні узагальнені висновки щодо актуальності, ступеня обґрунтованості основних наукових положень, висновків і рекомендацій, достовірності, наукової новизни, практичного значення, завершеності, а також загальної оцінки роботи.

***Актуальність теми дисертаційної роботи***

Пріоритетними напрямками розвитку процесів обробки металів тиском (ОМТ) в металургії і машинобудуванні є освоєння принципово нових технологічних способів формоутворення деталей, що володіють високою конкурентоспроможністю завдяки регламентованій якості виробів, суттєвому підвищенню продуктивності, а також заощадження енергетичних і матеріальних ресурсів. Одним з таких наукоємних технологічних методів отримання високоточних заготовок є технологія об'ємного деформування, зокрема, технологія холодного видавлювання, що відрізняється високим рівнем технологічних навантажень і вимагає підвищеної пластичності від вихідного матеріалу заготовки. У зв'язку з цим перед дослідниками процесів ОМТ з'являються технологічні завдання більш високого рівня, пов'язані з розрахунком полів швидкостей, напружень і деформацій, прогнозуванням кінцевого і граничного формозмінень, оптимізацією технологічних режимів, формування макроструктури і експлуатаційних властивостей виробів і т.д.



Можливості класичних аналітичних і сучасних чисельних методів теоретичного аналізу проблем, що виникають при розробці технологій ОМТ, в даний час реалізовані для спрощених схем однонаправленої течії. Що стосується завдань пластичної течії з декількома ступенями свободи витікання металу (комбіновані і поєднані схеми видавлювання), то в цій області технологічні розрахунки представляють все ще значні труднощі і впровадження технологій ведеться методом проб і помилок.

Зважаючи на викладене, тема дисертації Алієвої Л.І., метою якої є підвищення ефективності процесів об'ємного формоутворення деталей на основі застосування нових способів комбінованого деформування, методів розрахунку і проектних рекомендацій, є актуальною і перспективною.

### ***Зв'язок роботи з науковими програмами, планами***

Тема дисертаційної роботи відповідає науковому напрямку, тематиці і планам наукової роботи Донбаської державної машинобудівної академії (ДДМА). Робота виконана в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт (НДР), передбачених планами Міністерства освіти і науки України та виконаних на кафедрі ОМТ ДДМА (дослідні роботи 0100U001549, 0102U004052, 0103U003514), а також в рамках спільних науково-дослідних робіт, проведених кафедрою ОМТ ДДМА з деякими промисловими підприємствами.

### ***Ступінь обґрунтованості і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій***

Найбільш важливі наукові положення і результати роботи викладені в загальних висновках дисертації.

Основні результати теоретичної частини роботи засновані на застосуванні енергетичного методу верхньої оцінки і методу скінченних елементів, що є найбільш затребуваними методами, за допомогою яких розробляють сучасні комп'ютерні імітаційні моделі процесів ОМТ. При постановці задач аналізу силового і деформаційних режимів автор використовувала ряд експериментальних даних (відомості про границі і форми осередку деформації, величини напружень тертя, кінематичні схеми подачі металу в порожнину), що створило можливість для

врахування реальних граничних умов при моделюванні процесів. В результаті виконаних досліджень отримані уточнені моделі відомих технологічних схем деформування, створені нові моделі для нових схем комбінованого деформування. Виявлено можливості теоретичного опису закономірностей відхилення форми деталей, що видавлюються, а також для прогнозування формозміни заготовок і граничної деформівності металу. На цій підставі знайдені шляхи удосконалення процесів об'ємного деформування та розроблено практичні рекомендації, технології та штампи для виготовлення точним штампуванням деталей, які не потребують доопрацювань.

У більшості випадків отримані рішення успішно пройшли дослідну перевірку, для чого автор виконувала власні експериментальні дослідження. Це дозволяє вважати достовірними розроблені розрахункові моделі. Достовірність основних положень і методик підтверджена і прикладами промислового використання та апробації технологічних методик і результатів технічних розробок.

Обґрунтованість і достовірність результатів підтверджується значним обсягом експериментальних досліджень, використанням сучасних методів, застосуванням статистико-математичної обробки даних.

Для оцінки граничних можливостей формозміни використані феноменологічні критерії руйнування, в яких за міру граничної формозміни прийнята ступінь пластичної деформації. Для досліджень використано комплексний метод, який включає проведення попередніх експериментів і моделювання на їх основі процесів об'ємного деформування з експериментальною перевіркою запропонованих рішень.

### ***Наукова новизна одержаних результатів***

Оцінюючи найважливіші здобутки дисертаційного дослідження, варто вказати на наступні основні результати, що мають вагому наукову новизну:

1. Розвитий метод математичного моделювання на основі енергетичного балансу потужностей, який відрізняється розробкою кінематичних модулів нових конфігурацій, встановленням та використанням їх властивостей, що дає можливість проведення оперативного аналізу силового режиму деформування і постадійного

формування деталей в процесах комбінованого деформування з декількома ступенями свободи витікання металу.

2. Вперше на основі аналізу експериментальних даних, проведених в камері високого тиску встановлено, що основний вплив на накопичення пошкоджень і їх заліковування надає рівень накопиченої деформації і швидкість зміни показників напруженого стану і на пластичність суттєво впливає швидкість зміни показників напруженого стану або кривизна шляху деформування. Це дає можливість встановити межі застосування феноменологічних критеріїв деформівності без руйнування в залежності від характеру напруженого стану.

3. Вперше на основі енергетичного методу верхньої оцінки розроблено комплекс математичних моделей процесів суміщеного і послідовного комбінованого видавлювання порожнистих і стрижневих деталей, використання яких дозволяє встановити енергосилові режими осесиметричних процесів радіально-зворотного, радіально-прямого та радіально-зворотно-прямого видавлювання в залежності від технологічних параметрів і проаналізувати постадійну формозміну заготовки.

4. Отримав розвиток метод розрахунку граничної технологічної деформівності заготовки в процесах деформування, який враховує ефект відновлення пластичності металу від проміжних відпалів і в технологічних паузах, що дозволяє розробити раціональні режими пластичного деформування, які забезпечують підвищену сумарну ступінь формозміни заготовки.

5. Встановлено можливість підвищення гідростатичного тиску в зоні поділу в комбінованому процесі радіального видавлювання фланця і пробивання – відділення деталі типу кільця від багатоштучної заготовки за рахунок введення додаткового силового впливу на фланець.

### ***Значимість роботи для науки і практики***

Науковою та практичною цінністю володіють в тій чи іншій мірі всі основні положення і висновки роботи.

Головне значення наукових результатів, отриманих здобувачем, полягає в розробці методик, які в сукупності дозволяють з високим ступенем вірогідності прогнозувати рівень енергосилових і деформаційних параметрів у процесах

деформування, що характеризуються підвищеним ступенем свободи течії і підвищеними значеннями ступеня пластичного деформування металу. Ці роботи, крім безпосередніх результатів з розробки технологічних процесів на основі комп'ютерного аналізу течії металу, можуть дозволити інтенсифікувати дослідження в області розробки імітаційних моделей процесів ОМТ, що описують послідовну формозміну металу, в тому числі, при течії з декількома ступенями свободи. Вони важливі і для оцінки якості формоутворення, запобігання дефектоутворення. Цінними для науки є дослідження граничної формозміни заготовки, виконані із залученням феноменологічних критеріїв руйнування, що враховують вплив параметрів і виду напружено-деформованого стану. Результати цих досліджень важливі для аналізу можливості руйнування в процесі деформування зміцнюючих анізотропних тіл і прогнозування експлуатаційних властивостей виробів відповідального призначення.

Практичне значення мають нові технічні рішення в області технологій і штампового оснащення точного об'ємного штампування прецизійних деталей і кування крупних поковок, що забезпечують підвищення точності і якості виробів, а також нові способи комбінованого об'ємного деформування, засновані на використанні встановлених закономірностей формоутворення, нових видів інструменту, кінематичних і силових впливів, що дозволяють підвищити ступінь керованості течією металу, рівень опрацювання заготовки, складність форми деталей, а також знизити нерівномірність деформованого стану і відхилення форми деталей. Новизна запропонованих способів і пристроїв підтверджена патентами України.

Практична цінність роботи показана на прикладах розробки ряду технологій холодного видавлювання порожнистих і суцільних деталей з фланцем. Наведені результати доводять можливість застосування розроблених автором методів, які реалізовані у вигляді програмного забезпечення, для вирішення дуже складних технологічних завдань, що виникають на виробництві. Результати роботи прийняті до практичного використання і апробовані на ряді підприємств в Україні, що підтверджено актами впровадження. Методи аналізу, технологічні методики і апаратура дослідження використовуються і в навчальному процесі ДДМА.

## ***Оцінка змісту та завершеності дисертації***

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається зі вступу, восьми розділів основної частини, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 632 сторінок машинописного тексту, з них 310 сторінок основного тексту, 298 рисунків і 28 таблиць на 191 сторінках, список використаних джерел з 473 найменувань на 54 сторінках, анотації і 11 додатків, що включають і список опублікованих праць за темою дисертації і перелік науково-технічних конференцій. Дисертація доповнена також анотацією на двох мовах.

У **вступі** обґрунтовано актуальність проблеми, науково коректно сформульовано мету, яка корелює з темою, та конкретизується у завданнях, окреслено об'єкт, предмет роботи та систему використаних в роботі дослідницьких методів, відображено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

В **першому розділі** проведено аналіз стану питання в процесах об'ємного деформування та теоретичних методів їх дослідження. На основі літературного аналізу розкриті основні проблеми сучасного проектування технологічних процесів і виділені основні напрямки розвитку технологій об'ємного формоутворення. Встановлено, що для інтенсифікації освоєння технологічних процесів об'ємного пластичного формоутворення деталей необхідне створення математичних моделей, що дозволяють визначити силовий режим деформування з урахуванням впливу кінематики формозміни, а також прогнозувати кінцеву і граничну формозміну на послідовних стадіях процесів обробки за новими технологічними схемами комбінованого деформування.

В **другому розділі** проведена розробка класифікацій схем комбінованого деформування. Класифікація зроблена на основі використання методу морфологічних карт, комбінаторного методу, і аналізу кінематичних структур процесів деформування у роз'ємних матрицях.

Встановлені основні напрями досліджень та вибрані методи розрахунків процесів деформування. В розділі розроблені методики теоретичних та експериментальних досліджень. Для експериментальних робіт розроблена і виготовлена універсально-переналагоджувана установка, яка дозволяє здійснювати

видавлювання в рухомих і роз'ємних матрицях.

**Третій розділ** присвячений розробці та розвитку методів розрахунку процесів пластичного деформування. Розвинений метод кінематичних модулів і дана оцінка їх властивостей, що сприяло розширенню їх застосування для вирішення задач аналізу процесів об'ємного формоутворення. Співставлені різні кінематичні модулі – кінематично можливі поля швидкостей переміщення і встановлено перевагу трапецеїдальних і трикутних модулів з криволінійними сторонами.

**Четвертий розділ присвячений оцінюванню** можливостей феноменологічних критеріїв руйнування, в основу яких покладена гіпотеза про вплив першого і третього інваріантів тензора напружень, при розрахунку величини витрат ресурсу пластичності при пластичній деформації металу.

Розглянуто простір – «накопичена інтенсивність деформацій – безрозмірні показники напруженого стану», що дозволило при оцінці деформівності заготовок моделювати процеси обробки тиском на матеріалах різного зміцнення. Уточнено методики побудови діаграм і поверхонь пластичності із залученням нових координат, в тому числі параметра Лоде-Надаї  $\mu_\sigma$  і параметра  $\chi$ , що враховує вплив третього інваріанта тензора напружень:

**У п'ятому розділі** проведено дослідження процесів суміщеного комбінованого радіально-зворотного, радіально-прямого і трьохстороннього радіально-зворотно-прямого видавлювання порожнистих і суцільних деталей з фланцем. Для першої групи порожнистих деталей розроблені розрахункові схеми процесу, що містять вдосконалені кінематичні модулі трапецеїдальної форми, похила границя яких може бути прямолінійною або криволінійною. Встановлені модулі, використання яких дозволяє отримати прийнятну картину формозміни заготовки при комбінованій течії металу.

**У шостому розділі** представлені результати теоретичного дослідження енергетичним методом процесів радіально-прямого видавлювання двох різновидів: з роздачею деталей типу стаканів (гільз) і з обтисненням деталей типу втулок зі змінною товщиною стінки.

Отримано залежності, що дозволяють визначити силовий режим деформування з урахуванням впливу геометрії інструменту, схеми і форми

осередку деформації, умов контактного тертя, а також прогнозувати поетапне формоутворення виробів. Порівняння теоретичних розрахункових формул і експериментальних значень тисків деформування і показників деформованого стану між собою, а також з результатами, отриманими методом скінченних елементів і експериментальними даними, показало прийнятність отриманих залежностей для технологічних розрахунків силових параметрів і оцінки формоутворення деталей.

**У сьомому розділі** розглянуті технологічні завдання різного призначення і комбінованого деформування.

Виконано узагальнення дефектів деталей, характерних для процесів комбінованого видавлювання і точного штампування. Наведено результати аналізу причин виникнення відхилень форми деталей і нерівномірності деформованого стану. Розглянуто умови виникнення утягнень при радіальному та комбінованому радіально-зворотному видавлюванні порожнистих деталей з фланцем і певні способи зниження таких дефектів, зокрема, спосіб видавлювання фланців в штампі з рухомою напівматрицею, спосіб запобігання дефектів типу утягнень створенням технологічних (тимчасових) буртів і спосіб регулювання кінематики подачі металу в порожнину матриці.

Досліджено комбінований спосіб отримання кілець радіальним видавлюванням з подальшим відділенням пробивкою багатощтучної заготовки від отриманої деталі. Для підвищення якості поверхні зрізу при відділенні деталі від заготовки оцінювали напружений стан при радіальному видавлюванні з додатковим силовим впливом шляхом висадки фланця.

Аналіз силового режиму дозволив розробити новий спосіб експлуатації важконавантажених пуансонів для видавлювання глухих порожнин. Запропоновано знімати деталі з пуансонів після їх спільного видалення з матриці, що в кілька разів знижує найбільш небезпечні розтягуючі навантаження на пуансон.

**У восьмому розділі** виконано узагальнення результатів теоретичних і експериментальних досліджень для їх підготовки до практичного використання. Розглянуто основні етапи проектування технологічних процесів способами об'ємного формоутворення та запропоновано технологічні рекомендації з



проектування процесів комбінованого видавлювання і деформування.

Наведена методика проектування технологічних процесів об'ємного деформування, яка базується на використанні наданих рекомендацій та запропонованих нових методів.

Розроблено технологічні процеси штампування та кування поковок різних типів. Наведені технологічні рекомендації та проведений огляд процесів та штамсів, рекомендованих до впровадження у виробництво.

Підвищення ефективності нових технологій досягнуто за рахунок зниження матеріаломісткості і трудомісткості виробництва, розширення номенклатури деталей, підвищення якості деталей і надійності технологічного оснащення.

Результати досліджень та розроблені на їх основі методи розрахунків, лабораторні установки та програми використовуються також в наукових дослідженнях і навчальному процесі ДДМА.

Наприкінці роботи наведено **висновки**, в яких відмічені основні результати досліджень з обґрунтуванням рекомендацій з практичного використання результатів.

**Список використаних джерел** з 473 джерел є інформативним та достатньо повно охоплює предметну галузь, відображає опрацювання здобувачем значної кількості сучасних іноземних джерел.

Виходячи з аналізу основної частини дисертації, можна зробити висновок, що мета дисертаційної роботи у ході виконання досліджень була досягнута, а дисертація є завершеною науковою працею.

#### ***Повнота викладення результатів в опублікованих працях***

Матеріали дисертаційної роботи опубліковані в 95 роботах, з яких 52 статті опубліковані в журналах і збірниках наукових праць, з них 5 статей в міжнародних наукових журналах, які входять до бази даних Scopus, 25 статей у наукових фахових виданнях України. Матеріали досліджень і розробок опубліковані також в 1 монографії та 4-х колективних монографіях і в 1 підручнику для ВНЗ. На нові технічні рішення отримані 22 патенти України.

#### ***Апробація роботи***

Результати роботи пройшли досить хорошу апробацію, вони докладені і

обговорені на всеукраїнських і міжнародних конференціях за профілем дисертації, а також на наукових семінарах ДДМА.

### ***Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації***

Ознайомлення з текстом автореферату дисертації дає підстави стверджувати, що за структурою та змістом він відповідає вимогам, що ставляться МОН України. У тексті автореферату відображено основні положення, зміст, результати і висновки здійсненого Алієвою Л. І. дисертаційного дослідження. Зміст автореферату і основних положень дисертації є ідентичними.

### ***Зауваження по дисертації***

1. Автор описує за допомогою досить складних полів швидкостей (розділ 3) реальну картину деформування з урахуванням експериментально спостережуваних форм осередку деформації і кінематичних модулів відповідної конфігурації особливості схем комбінованого деформування. Але в наступних розділах шуканої величиною  $\epsilon$ , як правило, тиск деформування, хоча при цих схемах деформування важливе значення має і тиски, що викликають розкриття роз'ємної матриці.

2. З роботи не ясно, які саме кінематичні модулі (табл. 3.1, табл. 3.2) слід використовувати для аналізу тих чи інших процесів об'ємного деформування, так як їх поведінка і підсумкове вплив на силові параметри (а можливо і на закономірності течії деформованого металу ) перевірено тільки на схемах видавлювання.

3. З роботи не ясно, якою мірою обумовлений той підхід, коли автор задає величину напруження течії в осередку деформації при видавлюванні за усередненою ступеню деформації. Чому не дано зіставлення локальної оцінки ступеня деформації і опору пластичної деформації в межах окремих кінематичних модулів (тобто пластичних зон) з усередненими показниками по осередку деформації.

4. Відсутня обґрунтування прийняття розрахункової схеми (рис.3.1) суміщеного радіально-зворотно-прямого (3-х стороннього) видавлювання у вигляді розташованої у верхній зоні деталі порожнистої ділянки (тобто стакану, а не стрижня). Можливо, це поширений тип деталей, але тоді виникає питання, а як побудувати поле швидкостей для інших випадків поєднання і взаємного положення

фланців і відростків?

5. При використанні такого потужного методу, як метод скінчених елементів, що дозволив розраховувати напружено-деформований стан металу в складних схемах видавлювання, автор не провела оцінку деформовності заготовок в таких нових схемах, як радіально-пряме видавлювання з роздачею (п. 6.4, рис. 6.55), для якої характерна різнойменна схема напруженого стану. тобто розрахувати на основі отриманих даних ступінь витрати ресурсу пластичності і тим самим прогнозувати ймовірність руйнування металу.

6. Для процесів холодного видавлювання важливе значення має вивчення напруженого стану всередині тіла, що деформується, а не тільки в окремих, нехай і найбільш небезпечних пластичних зонах (п. 6.3). Методом твердості можна було встановити розподілу інтенсивності напружень по всьому осередку деформації, а також в слабо деформованих зонах деталі.

#### ***Висновки і твердження, які викликають сумнів***

7. При зіставленні методу врахування деформаційного зміцнення заготовок з використанням енергетичного методу робиться висновок (с. 368) про те, що він дає рівноцінні результати, як і МСЕ. Однак, як впливає з підрозділу 6.2 дисертації, цей висновок є спірним, тому що для розрахунку накопиченого ступеня деформації по лініях течії потрібні досить громіздкі обчислення. Крім того, використання такого підходу до врахування зміцнення важко для моделювання процесів послідовного деформування з досить довгими шляхами деформування матеріалу.

#### ***Недоліки з оформлення роботи***

8. Методику побудови діаграм пластичності (див. п. 4.1.4) побудована з урахуванням третього інваріанта тензора напружень (в тому числі, і описаного в монографії автора і наукового консультанта) слід було б описати в другому розділі дисертації.

9. Бажано було б навести більш докладний опис нових способів об'ємного деформування (рис.8.6-8.10) і розробленої технологічної оснастки (рис. 8.12-8.13).

#### ***Висновок***

Зауваження, які зроблені при аналізі матеріалів дисертації, незначно знижують її загальну високу оцінку.

Дисертація є завершеною науковою працею. Отримані в ній науково обґрунтовані розробки вносять помітний внесок у розвиток методів розрахунку нових технологічних процесів і оснащення для холодного об'ємного деформування складнопрофільованих виробів. Цим забезпечено вирішення важливого завдання розвитку наукової галузі «процеси і машини обробки тиском» в напрямку підвищення ефективності розробки і освоєння конкурентоспроможних промислових технологій.

Це дозволяє оцінити роботу, як таку, що відповідає вимогам п. 9 і п. 10 "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 № 567, що пред'являються до дисертацій доктора наук.

Автор дисертації, докторант Алієва Лейла Ібрагимівна **заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.03.05 - процеси і машини обробки тиском.**

Офіційний опонент,

Завідувач кафедри «Технологій виробництва авіаційних двигунів» Національного аерокосмічного університету ім. М.Є Жуковського «ХАІ», д.т.н., проф.,  
Заслужений діяч науки і техніки України

А.І. Долматов

Підпис проф. Долматова А.І. засвідчую:

*Лейла Ібрагимівна Алієва*



Вчений секретар Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ»