

У спеціалізовану вчену раду Д12.105.01
Донбаської державної машинобудівної
Академії м. Краматорськ, Україна

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу **Абхарі Пеймана**

«Розвиток наукових основ і удосконалення процесів точного об'ємного штампування на основі регулювання кінематики пластичного формозмінення», представленої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.03.05 - процеси та машини обробки тиском

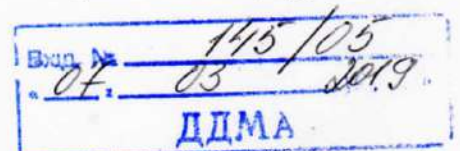
1. Оцінка структури та змісту дисертації

Дисертація складається з анотацій на українській та англійській мовах, вступу, семи розділів, списку використаних джерел з 312 найменувань та 7 додатків, у яких наведені список публікацій автора та перелік наукових конференцій, на яких була апробована робота. Загальний обсяг дисертації становить 648 сторінки, в тому числі 274 сторінки основного тексту, 317 рисунків та 42 таблиці.

Структура дисертаційної роботи по складу та послідовності розділів логічна та в цілому відповідає необхідним вимогам.

У **вступі** наведена актуальність теми, показаний зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами та темами, приведені мета і задачі дослідження, об'єкт та предмет досліджень, викладені використані методи для виконання досліджень. Приведені наукова новизна та практична цінність отриманих результатів. Відображено особистий внесок здобувача. Викладені дані по апробації результатів роботи та відомості по публікаціях автора по темі дисертації. Наведена структура і складові об'єму дисертації

Перший розділ дисертації присвячений аналізу сучасного стану теорії та технології процесів точного об'ємного штампування (ТОШ). Розглянуті технологічні аспекти таких процесів, в яких приведені технологічні можливості таких процесів, класифікація деталей, виготовлених в штампах з роз'ємними матрицями процесами ТОШ, класифікація схем точного об'ємного штампування з використанням різної кількості пуансонів і типових представників поковок та класифікація схем ТОШ з різним рухом пуансону. Відображені проблемні питання існуючих технологій, зокрема в наявності дефектоутворення та наведені напрямки інтенсифікації ТОШ, до яких віднесено застосування способів видавлювання з різноманітними прийомами керування



кінематикою пластичного формозмінення заготовок. Показано, що керування пластичною течією металу, є одним із перспективних напрямків розвитку технологій ТОШ. На основі аналізу теоретичних досліджень з використанням аналітичних і чисельних методів обґрунтовано необхідність подальшого уточнення аналітичних залежностей для інженерних розрахунків параметрів формоутворення і математичних моделей з використанням методу скінченних елементів для розвитку процесів точного штампування у роз'ємних і закритих матрицях в напрямку забезпечення отримання якісних бездефектних деталей. Також приведений аналіз особливостей конструювання штампів з роз'ємними і рухомими матрицями та відображені напрямки підвищення надійності і довговічності штампового оснащення.

На основі аналізу літературних джерел зроблені висновки і поставлені задачі досліджень. Зроблені висновки по розділу.

У другому розділі обґрунтовано та виконано вибір напрямків і методів дослідження процесів ТОШ в роз'ємних матрицях для отримання вісесиметричних виробів та виробів довільної форми.

Для теоретичного аналізу з отриманням аналітичних залежностей для інженерних розрахунків зусиль і питомих зусиль деформування обґрунтовано використання методу балансу потужностей та методу верхньої оцінки. Викладені аналітичні залежності вказаних методів та показано врахування кінематичних і статичних граничних умов. Наведено можливість врахування зміцнення здеформованого металу при отриманні аналітичних залежностей.

Для дослідження закономірностей течії металу та визначення напружено-деформованого стану заготовки, виявлення точного розподілу питомих зусиль на деформуючому інструменті та сил розкриття інструмента при ТОШ обґрунтовано створення математичних моделей з використанням чисельного методу скінченних елементів з визначенням кінцевих форм і розмірів виробів. При цьому для скорочення кількості розрахунків по аналітичних залежностях і чисельних експериментів запропоновано застосування методу планування експерименту.

Для оцінки можливості руйнування металу при холодному формоутворенні та виявлення дефектоутворення обґрунтовано використання існуючих залежностей по визначенню ступеню використання ресурсу пластичності здеформованого металу.

В розділі також викладена методика проведення експериментальних досліджень точного об'ємного штампування. Деформований стан запропоновано визначати з використанням методу координатних сіток з подальшим визначенням напруженого стану в циліндричній системі координат.

Обробку експериментальних даних і оцінку достовірності результатів теоретичних досліджень автором проведено на основі методів математичної статистики.

Згідно методики експериментальні дослідження проводилися в лабораторних умовах на випробувальному обладнанні.

Наведені висновки по розділу.

У третьому розділі викладені результати по дослідженню процесу підготовчої операції закритого осаджування вихідних заготовок для виконання подальших операцій точного об'ємного штампування.

Наведені особливості традиційного закритого осаджування. Відомо, що вихідні заготовки в серійному і масовому виробництві отримують шляхом безвідхідного розділення сортового прокату зсувом в штампах на пресах. При цьому має місце деформація зовнішньої поверхні заготовок і викривлення торців. Тому необхідна операція калібрування заготовок. Показано, що калібрування вихідних заготовок закритим осаджуванням для подальшого виконання процесів видавлювання є важливою підготовчою операцією, яка необхідна для забезпечення паралельності торців між собою та перпендикулярності їх вісі заготовки, а також отримання необхідного зовнішнього діаметра заготовки.

Приведені результати моделювання з використанням скінченно-елементної програми QForm 2D/3D процесу традиційного закритого осаджування заготовок із алюмінієвого сплаву АМцМ різних розмірів з дослідженням впливу тертя. Виявлені закономірності течії металу, силові режими та напружено-деформований стан. При цьому отримується паралельність торців, але має місце незаповнення металом кутових зон матриці навіть при значному зусиллі. Чисельним експериментом показано, що використання компенсаторів можна виключити дефектоутворення у вигляді незаповнення.

Другим шляхом усунення вказаного дефекту автором запропонована схема осаджування заготовки, на якій на торцях виконані впадини різної висоти. Це забезпечило паралельність торців і однаковий зовнішній діаметр по висоті заготовки.

Третім шляхом виключення цих дефектів автором запропоновано при закритому осаджуванні використання плит з конусною порожниною. Чисельними експериментами в середовищі DEFORM закритого осаджування вищевказаних заготовок з одностороннім кутом конусу 5° також забезпечує постійний діаметр заготовки по висоті.

Четвертим шляхом підвищення якості вихідних заготовок, який запропонований автором, є використання радіальної течії металу для отримання зовнішнього діаметра, що підтверджено відповідними чисельними

експериментами. Очевидно такий процес можна застосувати тільки для високопластичних металів, тому що в іншому випадку необхідний проміжний відпал заготовок.

Також в цьому розділі для перевірки адекватності математичних моделей з використанням методу скінченних елементів викладені результати експериментальних досліджень по закритому осаджуванню заготовок із свинцю. Порівняння результатів по силових режимах і формі та розмірах zdeформованих заготовок показали достатню збіжність даних.

Наведені висновки по розділу.

У четвертому розділі наведені результати теоретичних досліджень з використанням методу скінченних елементів, методу балансу потужностей методом верхньої оцінки та експериментальних досліджень процесів закритого радіального видавлювання вісесиметричних суцільних та порожнистих виробів з фланцем. При цьому розглянута багатоваріантність технологічних схем формоутворення з можливістю управління подачею металу в осередок деформації за рахунок регулювання кінематики течії металу і пластичного формозмінення заготовки.

З використанням середовища QForm 2D/3D автором проведено моделювання процесів закритого радіального видавлювання як циліндричних фланців різної товщини, так і конічних фланців та циліндричних фланців з компенсаторами. Встановлений напружено-деформований стан металу, зусилля деформування та зусилля розкриття напівматриць з урахуванням односторонньої так і двосторонньої подачі металу в осередок деформації. Для схеми видавлювання із компенсатором з двохсторонньою подачею металу в осередок деформації методом балансу потужностей отримані аналітичні залежності для визначення деформованого стану та зусилля видавлювання.

Автором для зменшення зусилля розкриття при радіальному видавлюванні проведено скінченно-елементне моделювання процесу радіального видавлювання з редукуванням та установлені раціональні параметри процесу.

З використанням МСЕ досліджена кінематика формозмінення заготовки при радіальному видавлюванні фланців на боковій поверхні стержнів при односторонній і двохсторонній подачі металу в осередок деформації. Також встановлений напружено-деформований стан, зусилля деформування та зусилля розкриття напівматриць. Результати моделювання підтверджені експериментальними дослідженнями на сталі 10, міді М1 та алюмінію АМцМ.

Моделюванням з використанням МСЕ автором виявлені раціональні параметри при радіальному видавлюванні фланців з підсадженням останнього.

При видавлюванні в роз'ємних матрицях заготовок із АМцМ проведене визначення ресурсу пластичності zdeформованого металу з використанням критерію руйнування Сівака І.О.

З використанням методу планування експерименту отримані залежності для визначення зусилля видавлювання і зусилля розкриття напівматриць.

Значна увага приділена автором скінченно-елементному аналізу формоутворення фланців на трубчастих заготовках, виявленню причин появи дефектів у вигляді утягнень та встановленню засобів для їх усунення шляхом застосування додаткового руху інструмента. При цьому для інженерних розрахунків для плоских задач методом верхньої оцінки отримана залежність для визначення питомого зусилля. Для вісесиметричних заготовок така залежність отримана з використанням методу балансу потужностей.

Проведені експериментальні дослідження формоутворення фланців на суцільних і трубчастих заготовках із свинцю і АМцМ підтвердили розрахункові дані по зусиллях деформування, розкриття напівматриць та формі і розмірах zdeформованих заготовок.

В кінці розділу приведені висновки.

П'ятий розділ присвячений дослідженню процесів бокового видавлювання деталей з відростками різної конфігурації. Автором проведений аналіз основних кінематичних схем формоутворення симетричних та несиметричних горизонтальних відростків та відростків під кутом на круглих заготовках.

Методом верхньої оцінки проведений аналіз силового режиму бокового видавлювання по кінематичному варіанту з односторонньою подачею металу. Отримані аналітичні залежності для визначення швидкостей частинок металу, деформацій зсуву, та накопичених деформацій.

Досліджені силові характеристики процесу бокового видавлювання деталей з відростками, розташованими на різній висоті з використанням методу балансу потужностей. Отримана аналітична залежність для визначення приведенного тиску.

З використанням методу верхньої оцінки проведені теоретичні дослідження силового режиму видавлювання деталей з відростками плоскої форми. Виявлений вплив тертя та відносної товщини відростка на приведенний тиск формоутворення.

З використанням методу скінченних елементів і програми DEFORM 2D/3D автором виконане моделювання процесу бокового видавлювання в роз'ємних матрицях відростків прямокутного і круглого перерізу на круглих заготовках із АМцМ при односторонній та двохсторонній подачах металу в

осередок деформації, а також формоутворення плоских відростків на торцях круглих заготовок, бокового видавлювання з двохсторонньою подачою порожнистих відростків круглого і квадратного перерізу та ступінчатих відростків та відростків зі зміщеними вісями на круглих заготовках із АД31. В середовищі DEFORM 3D автором проведене моделювання формоутворення шістьох, чотирьох, трьох і двох відростків у вигляді «пера», які розташовані під кутом до вісі заготовки. Приведені результати по напружено-деформованому стану та встановлені залежності зусилля видавлювання від переміщення деформуючого інструменту і виявленні залежності зусиль розкриття напівматриць.

Для перевірки адекватності теоретичних досліджень автором проведені експериментальні роботи по боковому видавлюванню відростків на круглих заготовках із синцю та алюмінію АД1. Порівняння експериментальних результатів по зусиллю деформування з даними моделювання методом скінчених елементів показало достатню збіжність.

Шостий розділ присвячений аналізу процесів комбінованого та суміщеного деформування трубчастих заготовок з отриманням фланців на внутрішній і зовнішній поверхнях.

Автором методом верхньої оцінки проведений аналіз силового режиму суміщеного видавлювання деталі типу втулка з фланцями. Отримані аналітичні залежності для визначення приведенного тиску деформування та побудовані графіки залежності приведенного тиску від положення осередку деформації, відносної висоти фланця і відносного внутрішнього радіусу труби при різних значеннях коефіцієнта тертя. Методом балансу потужностей також проведене дослідження силових характеристик суміщеного видавлювання деталі типу втулка з фланцями з отриманням загального рівняння для визначення приведенного тиску. Встановлений вплив тертя, висоти фланця, радіуса труби та товщини стінки на зусилля формоутворення.

З використанням МСЕ і середовища QForm 2D на основі планування експерименту проведене моделювання процесів суміщеного радіального видавлювання деталі типу втулка з фланцями із трубчастих заготовок з алюмінієвого сплаву АД31. Визначений напружено-деформований стан заготовок, зусилля видавлювання і зусилля розкриття напівматриць та формозміна при видавлюванні з різним коефіцієнтом тертя. При цьому приділена увага визначенню ступеня використання ресурсу пластичності zdeформованого металу. При моделюванні формоутворення фланців на трубчастих заготовках із АМцМ та порожнистих виробів з фланцем встановлені причини утворення дефектів у вигляді утягнення та запропоновані засоби для їх

усунення.

Також в розділі викладені результати моделювання за допомогою МСЕ процесів радіального прямого видавлювання складнопрофільних виробів зі стінкою постійної товщини та змінною товщиною стінки із круглих суцільних і порожнистих заготовок з АМцМ і АДЗ1. Встановлені силові режими деформування, напружено-деформований стан заготовок, виявлені дефекти при формоутворенні та запропоновані способи їх усунення. При цьому для отримання виробів зі змінною товщиною стінки методом верхньої оцінки отримана аналітична залежність для визначення приведенного тиску, за допомогою якої визначений вплив тертя та геометричних параметрів на тиск. Експериментальні дослідження для підтвердження теоретичних даних по формозміні проведені автором для видавлювання окремих виробів із свинцю С1 та АДЗ3.

Наведені висновки по розділу.

У **сьомому розділі** розглянуті удосконалення, розробка та впровадження технологічних процесів точного об'ємного штампування. Наведена послідовність проектування технологічного процесу точного об'ємного штампування.

Автором розроблені і описані типові конструкції штампового оснащення з регулюванням кінематики формозмінення. В деяких штампах передбачені засоби механізації і автоматизації.

Приведені шляхи удосконалення процесів об'ємного штампування та розширення їх технологічних можливостей на основі управління кінематикою формозмінення деталей. На окремі способи видавлювання отримані патенти на корисні моделі.

Технологічні розробки і конструкції штампового оснащення використані на виробництві з відповідною економічною ефективністю, що підтверджена документально.

Наведені висновки по розділу.

2. Актуальність теми дисертаційного дослідження

Розвиток промисловості на Україні пов'язаний із впровадженням нових наукоємних технологій в стратегічних секторах виробництва. До таких секторів належить машинобудування, основною складовою яких в теперішній час є виготовлення високоточних виробів з підвищеною надійністю та довговічністю, що забезпечується точним об'ємним штампуванням (ТОШ). Сучасний стан вітчизняного заготівельного виробництва заготовок під подальше штампування так і саме штампування не завжди забезпечує

належного рівня якості та собівартості продукції, через що знижується її конкурентоспроможність.

Удосконалення технологічних процесів точного об'ємного штампування напівфабрикатів та деталей із заданими експлуатаційними характеристиками необхідне в напрямку ускладнення конфігурації виробів та розширення марок сталей і кольорових металів, які використовуються при штампуванні. При цьому необхідно вирішувати проблеми, пов'язані з встановленням причин дефектоутворення та способів їх усунення, зниження питомих зусиль при холодному формоутворенні та підвищення стійкості деформуючого інструмента, що в підсумку приводить до суттєвого зменшення собівартості виробів.

Вирішення вказаних проблем можна забезпечити застосуванням сучасних чисельних методів для моделювання процесів точного об'ємного штампування, які дозволяють врахувати велику кількість конструктивних і технологічних факторів і отримати кінцеві форми та розміри виробів і необхідні параметри штампування да дані для проектування штампового оснащення без доопрацювання їх експериментальними роботами. З іншої сторони необхідне використання аналітичних методів для отримання відповідних залежностей, які забезпечать інженерні розрахунки параметрів штампування.

Тому тема дисертаційної роботи, яка направлена вирішення вищевказаних проблем є **актуальною**.

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

Тема дисертації відповідає пріоритетному напрямку розвитку науки і техніки «Новітні технології і ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості і агропромисловому комплексі». Робота виконана на кафедрі «Обробка металів тиском» (ОМТ) Донбаської державної машинобудівної академії (ДДМА) у рамках держбюджетних науково-дослідних робіт відповідно до координаційних планів Міністерства освіти і науки України (№ державної реєстрації 0111U000174, 0115U004736, в яких здобувач був виконавцем, та 0117U001164, де здобувач був відповідальним виконавцем), а також у рамках госпдоговірних науково-дослідних робіт з підприємствами.

3. Наукова новизна отриманих результатів

Наукову новизну дисертаційної роботи складають наступні її основні положення:

1. На основі методів скінченних елементів та балансу потужностей отримали подальший розвиток математичні моделі процесів точного об'ємного штампування із круглих заготовок в закритих і роз'ємних матрицях деталей

різної конфігурації в напрямку врахування комплексного впливу конструктивних, технологічних і фізико-механічних факторів на закономірності формоутворення, силові режими та напружено-деформований стан металу та в напрямку виявлення технологічних параметрів і даних для проектування штапового оснащення, які не потребують доопрацювання трудомісткими з великою вартістю експериментальними роботами.

2. Вперше з використанням методу скінченних елементів виявлені причини появи дефектів типу утягнення, прострелів, затискання, які виникають при формоутворенні точним об'ємним штампуванням в роз'ємних та закритих матрицях. Запропоновані засоби їх усунення та побудовані граничні криві для зон бездефектного деформування з урахуванням схеми закритого штампування та параметрів процесу. Розроблений спосіб двоперехідного комбінованого штампування з усуненням дефектів форми деталей.

3. Отримали подальший розвиток моделі на основі методу скінченних елементів для вивчення закономірностей формоутворення деталей з фланцем в процесах об'ємного штампування видавлюванням. На відміну від існуючих, моделі враховують вплив кінематики подачі металу в осередок деформації, що приводить до зниження нерівномірності деформацій і забезпечення регулювання силового режиму штампування. В підсумку зменшується кількість переходів штампування, підвищується стійкість інструменту та покращується якість виробів .

4. Уточнені особливості формозмінення трубчастих заготовок в процесах точного об'ємного штампування деталей типу втулок з масивним фланцем, які, на відміну від існуючих, засновані на керуванні течією металу за рахунок узгодження швидкостей переміщення пуансонів і рухомих матриць, що дозволило розширити номенклатуру отримуваних деталей в напрямку ускладнення геометричної форми та підвищити їх якість.

5. Отримали подальший розвиток закономірності зміни напружено-деформованого стану стержневих деталей, що штампуються, способом радіального видавлювання. Сутність новизни полягає в тому, що враховується включення в процес формоутворення схем висаджування на різних етапах видавлювання, що дозволило обґрунтувати та розширити технологічні можливості процесів штампування і визначити шляхи спрощення конструкцій штапового оснащення з роз'ємними матрицями.

6. Вперше теоретичним та фізичним моделюванням виявлені умови та механізм утворення дефектів типу утягнень в донній частині порожнистих деталей з глухим отвором і встановлено фактори, які здійснюють найбільший вплив на кінематику течії металу та процес появи відхилень форми, що дозволило обґрунтувати і запропонувати новий спосіб бездефектного холодного видавлювання

з формуванням тимчасових технологічних бургтів в придонній зоні деталі.

Найбільш суттєві наукові результати дисертації включають в себе:

З використання методів скінченних елементів, балансу потужностей і верхньої оцінки розроблено комплекс математичних моделей для аналізу процесів точного об'ємного штампування виробів із суцільних круглих і трубчастих заготовок в закритих і роз'ємних матрицях. Визначені залежності силових режимів, напружено-деформований стан металу з урахуванням сил розкриття роз'ємних матриць. Використання моделей дозволяє визначити технологічні параметри штампування кінцеві форми і розміри виробів з урахуванням конструктивних та технологічних факторів процесів, при цьому немає необхідності в експериментальному допрацюванні параметрів.

Для інженерних розрахунків силових параметрів точного об'ємного штампування в роботі отримані відповідні аналітичні залежності.

З використанням комп'ютерного моделювання методом скінчених елементів показана можливість удосконалення процесів точного об'ємного штампування в закритих і роз'ємних матрицях в напрямках зниження силових режимів холодного формоутворення, скорочення кількості переходів штампування та зменшення нерівномірності деформацій, що підвищує кість виробів.

На основі теоретичного аналізу методу скінченних елементів виявлені причини появи дефектів форми і розмірів виробів різноманітної конфігурації при формоутворенні їх із круглих суцільних і трубчастих заготовок. Показані шляхи усунення дефектоутворення завдяки управлінням кінематикою подачі металу в осередок деформації та кінематикою руху деформуючого інструмента.

В підсумку отримані наукові результати розширяють номенклатуру марок сталей і кольорових металів для штампування виробів в закритих і роз'ємних матрицях, дають можливість ускладнити геометричну форму виробів та підвищити якість виробів з одночасним зниженням собівартості.

4. Значення для наукової галузі обробки тиском отриманих результатів

Створені теорія і практика розробки ресурсозберігаючих процесів точного об'ємного штампування деталей на основі деформування заготовок з чорних і кольорових металів в закритих і роз'ємних матрицях, які включають метод комп'ютерного моделювання для визначення напружено-деформованого стану металу та формозмінення в умовах регулювання кінематики течії металу і руху деформуючого інструмента, а також прогнозування утворення дефектів форми деталей в процесах точного об'ємного штампування, що забезпечують проектування технологій в найкоротші терміни і в підсумку вирішує актуальну

науково-технічну проблему.

Для виготовлення вихідних заготовок під подальше точне об'ємне штампування досліджені шляхи підвищення точності форми і розмірів завдяки осаджуванню в закритих матрицях. Запропоновані засоби забезпечення паралельності торців між собою на заготовках, перпендикулярність їх вісі заготовки та отримання зовнішнього діаметра заготовки постійного по висоті.

Для процесів радіального видавлювання деталей із суцільних і трубчастих круглих заготовок з отриманням фланців різної фасонної форми на різних частинах бокової поверхні встановлені особливості формоутворення та причини утворення дефектів у вигляді утягнення та відхилення форми фланців. Формоутворення з двосторонньою подачею при радіальному видавлюванні дозволяє отримувати достатньо великі фланці з рівномірним розподілом інтенсивності деформацій за перерізом. Для підвищення точності форми і розмірів фланців встановлені умови деформування заготовки з застосуванням операції висаджування. Зниження зусилля розкриття напівматриць при радіальному видавлюванні можливе за рахунок використання операції редукування заготовки.

Завдяки регулюванню кінематики руху деформуючого інструменту і металу показані шляхи удосконалення способів бокового видавлювання виробів з відростками на боковій поверхні, які розташовані симетрично та несиметрично відносно один одного, що дозволяє розширити номенклатуру отриманих виробів в напрямку ускладнення геометричної форми.

5. 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 застосовано основні положення механіки твердого тіла, що деформується, теорії обробки металів тиском та останні досягнення теорії деформуємі. Дослідження силових режимів і напружено-деформованого стану заготовок в процесах точного об'ємного штампування обґрунтовано проводити з використанням методів скінченних елементів, балансу потужностей і верхньої оцінки. Для скорочення чисельних і натурних експериментів застосований метод планування експериментів. Чисельний аналіз шляхом комп'ютерного моделювання проведене в середовищах Q-From 2D/3D та DEFORM 3D. Експериментальні дослідження проводились на лабораторному та обладнанні з використанням розроблених і виготовлених пристроїв. Для оцінки точності отриманих результатів експериментальних

досліджень використовувалися методи математичної статистики.

6. Практична значимість отриманих результатів

Практичну цінність дисертаційної роботи представляють наступні її основні результати:

- встановлені параметри та запропоновані шляхи підвищення точності форми і розмірів вихідних заготовок під подальше точне об'ємне штампування з використанням операції осаджування. При цьому забезпечуються паралельність торців між собою та перпендикулярність їх вісі заготовки та отримується постійний по висоті зовнішній діаметр;

- встановлені силові, конструктивні та технологічні параметри точного об'ємного штампування із круглих суцільних та трубчастих заготовок високоточних, бездефектних виробів з фланцями різноманітної конфігурації, які розташовані в різних місцях по висоті здеформованої заготовки;

- встановлені силові, конструктивні та параметри точного об'ємного штампування із круглих суцільних та трубчастих заготовок високоточних, бездефектних виробів з відростками на боковій поверхні різноманітної конфігурації, які розташовані симетрично і несиметрично та в різних місцях по висоті здеформованої заготовки, а також з відростками, що розташовані під кутом до вісі заготовки;

- аналітичні залежності для інженерних розрахунків силових режимів деформування та розкриття матриць в процесах точного об'ємного штампування;

- науково-обґрунтовані рекомендації і методики проектування технологічних процесів виготовлення вісесесиметричних і несиметричних виробів та розроблені конструкції штампів для виготовлення конкретних виробів.

Результати дисертаційної роботи у вигляді програмних продуктів, технічних рішень і практичних рекомендацій використані на ПрАТ «Новокраматорський машинобудівний завод» (м. Краматорськ), ПАТ «Дружківський завод металевих виробів» (м. Дружківка), ТОВ «Укртехконтакт» (м. Бахмут). Окремі положення дисертації використані в начальному процесі на кафедрі обробки металів тиском Донбаської державної машинобудівної академії.

7. Повнота викладання в опублікованих працях основних наукових та прикладних результатів дисертації

Матеріали дисертаційної роботи опубліковані в 70 роботах, в тому числі:

у 4-х колективних монографіях, у 12 статтях в фахових виданнях України, у 12 статтях в зарубіжних виданнях (при цьому 11 статей опубліковано в наукових журналах, внесених до міжнародних наукометричних баз даних). Автором опубліковано 9 статей без співавторів та 29 робіт в матеріалах конференцій. На нові технічні рішення отримано 3 патенти України на корисні моделі.

Апробацію результатів роботи проведено більш ніж на 40-ка конференціях та семінарах.

Публікації відповідають встановленим вимогам та достатньо повно відображають зміст роботи.

Структура та зміст дисертаційної роботи і автореферату співпадають між собою.

8. Зауваження по змісту і оформленню дисертації.

1. В таблиці 1.1 наведені дані по економічних партіях та стійкості штампів. Але не зрозуміло, по чому оцінювалися дані по економічних партіях та особливо стійкість штампів. В штампах є пуансони, матриці виштовхувачі та інші деталі, які витримують великі навантаження.
2. Не зрозуміло, чиї дані наведені в таблицях 1.6 і 1.7.
3. При аналізі теоретичних методів в підрозділі 1.3 вказано, що метод спільного вирішення рівнянь з умовою пластичності не враховує зміцнення. Це не зовсім так. Багато є рішень Є.О. Попова з урахуванням зміцнення навіть по ступеневій апроксимації діаграми істинних напружень.
4. При аналізі рішень з використанням методу скінченних елементів (МСЕ) (підрозділ 1.4) не обґрунтовано автором, яка модель металу, зокрема «пластична» чи «пружно-пластична» найбільш ефективна при моделюванні процесів точного об'ємного штампування.
5. В розділі 2 при обґрунтуванні вибору методу балансу потужностей автором введене поняття потужності сил «зрізу», хоча це потужність на подолання сил зсуву між жорсткими об'ємами.
6. У підрозділі 2.2.2 автором роботи рекомендовано використовувати МСЕ та програми Q-From 2D/3D і DEFORM 3D для визначення силових режимів, напружено-деформованого стану та кінцевих форми і розмірів виробів. Але знову ж не обґрунтовано модель металу. Та також не обґрунтовано врахування тертя при формоутворенні (по Зібелю чи Кулону). На мій погляд слід було використовувати пружно-пластичну модель металу, що дозволило б встановлювати кінцеві форми і розміри виробів в розглянутих процесах формоутворення з урахуванням пружної деформації.
7. Автор в дисертації посилається на роботи О.Г. Овчіннікова по холодному

видавлюванню, в яких приведені дані, що температура здеформованого металу досягає до 350°C. Тому бажано було б визначити тепловий ефект при точному об'ємному штампуванні – середовища Q-From 2D/3D та DEFORM 3D дозволяють це виявляти.

8. В таблиці 3.2 (стор. 185) не наведені кінцеву форму і розміри здеформованої заготовки після осаджування з кутами плити $\alpha=5^\circ$ і $\alpha=7^\circ$.

9. На жаль у 3 розділі і в подальших розділах не наведені дані по розподілу питомих зусиль на деформуючому інструменті, що необхідно для проектування штампового оснащення та прогнозування стійкості інструмента.

10. У висновку 7 по 3 розділу не наведені величини допустимих відхилень по силовому режиму.

11. У 4 розділі не вказано, яка швидкість інструменту використана та не вивчено вплив швидкості деформування на силові режими формоутворення фланців на круглих заготовках. Відомо, що збільшення швидкості деформування приводить до зменшення зусилля деформування, а в розглянутих процесах і до зниження зусилля розкриття напівматриць.

12. У 4 розділі має місце повторення однакових формул – вирази 4.2-4.5 та 4.29-4.32 однакові. При цьому не зрозуміло, як враховується зміцнення металу в отриманих аналітичних залежностях методом балансу потужностей.

13. У підрозділі 5.2 виконаний аналіз бокового видавлювання методом верхньої оцінки з метою отримання залежностей для визначення силових режимів. На жаль не наведена формула для визначення приведенного тиску. При цьому невідомо – на яких підставах отримана формула 5.20 (стор.333).

14. На сторінці 334 п'ятого розділу мова іде про розподіл ступеню деформації та якості виробів з відростками, які розташовані з різним кутом. Однак не наведені результати для підтвердження даних по ступеню деформації, силі деформування та якості виробів. Також відсутні дані по зусиллю розкриття напівматриць.

15. У 6 розділі багато уваги приділено дослідженню впливу тертя, геометричних факторів на бездефектне формоутворення фланців на трубчастих заготовках та отримання виробів радіально-прямим видавлюванням. Але не вивчено вплив швидкості деформування на силові режими та закономірності формозміни. На мій погляд швидкість деформування суттєво впливає силові режими деформування та дефектоутворення у вказаних процесах.

16. У 7 розділі бажано б було навести фотографії штампового оснащення та реальних виробів, які в них отримані

В цілому дисертація оформлена відповідно до вимог, але є певні недоліки:

- автор використовує вирази «осадка», «висадка». Доцільніше було б застосувати «осаджування», «висаджування». Також зустрічаються вирази «поковка» і «штамповка», які використовують при гарячому об'ємному штампуванні;

- у формулі 4.5 (стор. 224) має місце неточність в позначення зсувної швидкості деформації;

- на стор. 385 і 387 використані однакові позначення для різних величин.

Зауваження по змісту і оформленню автореферату:

1. В підрозділі актуальність теми (1 стор.) використаний невдалий термін «поліпшення собівартості» виробів замість «зниження собівартості»
2. У 5 пункті новизни потрібно було б вказати «що враховується включення»;
3. У підрозділі «Особистий внесок здобувача» мова йде зокрема про «... розроблення алгоритмів і програмних засобів..», хоча в самому авторефераті алгоритми та програмні засоби не відображені;
4. В підрозділі «У вступі ..» пропущені слово «досліджень» після «...дані характеристики предмету та об'єкту ..» та слово «дисертації» після слова «..структура»;
5. В авторефераті не відображені криві зміцнення для металів АД1, АДЗ1, АМцМ, М1 та сталі 10, про побудову яких викладено на стор. 5;
6. В авторефераті не приведені аналітичні залежності, які отримані автором в дисертації для визначення зусилля формоутворення та розкриття напівматриць методом верхньої оцінки та методом балансу потужностей;
7. Схема, яка наведена на рис. 9а, зовсім незрозуміла, тому що немає позицій та опису позначень;
8. На стор. 12 використано терміни «видавлювання з двохсторонньою подачою металу» та «двохстороннє видавлювання» для опису одного процесу, а на стор. 13 – «дефект у вигляді утягнення» та «утворення утяжки» для опису одного дефекту;
9. Не зрозуміло, що мається на увазі під терміном «якість формоутворення елемента» (стор. 18) та «набір математичних моделей» (стор.19);

9. Загальні висновки по дисертації

В цілому наведені зауваження не впливають на якість виконаних досліджень, наукову новизну та практичну значимість дисертації, тому більшість їх можна розглядати як побажання в подальшій роботі автора при

дослідженні процесів точного об'ємного штампування.

Дисертаційна робота **Абхарі Пеймана** «Розвиток наукових основ і удосконалення процесів точного об'ємного штампування на основі регулювання кінематики пластичного формозмінення», є завершеною науковою працею, що виконана автором особисто на належному рівні та має наукову новизну і практичну цінність. Робота вирішує важливу науково-технічну проблему – підвищення ефективності процесів точного об'ємного штампування на основі розвитку наукових основ та удосконалення цих процесів в напрямках розширення номенклатури марок металів для отримання виробів, ускладнення геометричної форми виробів, зменшення кількості переходів штампування та підвищення точності форми і розмірів виробів з одночасним збільшенням їх надійності та довговічності.

Дисертаційна робота **Абхарі П.** відповідає вимогам п. 9 та п. 10 "Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567. Зміст дисертації відповідає формулі та напрямкам досліджень паспорта спеціальності.

Вважаю, що автор дисертаційної роботи **Абхарі Пейман** заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском.

Офіційний опонент, професор кафедри «Механіки пластичності матеріалів і ресурсозберігаючих процесів» Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» доктор технічних наук, професор



В.Л. Калюжний

Підпис проф. Калюжного В.Л. *засвідчую:*

Учений секретар Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»




А.А. Мельниченко