

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Онопченка Антона Віталійовича «Удосконалення технології штампування-витягування авіаційних деталей складної форми з урахуванням кінематики течії металу на ребрах матриць», що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.07.02 – проектування, виробництво та випробування літальних апаратів

Актуальність теми дисертаційної роботи.

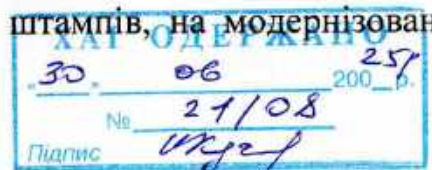
Характерною особливістю сучасного виробництва деталей авіаційної техніки складної форми листовим штампуванням є серійний і дрібносерійний тип виробництва, навіть за наявності широкої галузевої спеціалізації підприємства та нормалізації деталей. Застосування високоміцних і малопластичних сплавів, підвищення вимог до якості деталей, що виготовляються, чистота поверхні, різну товщину стінок, фізико-механічні властивості та ін. пов'язані зі значними економічними витратами на створення складного, а іноді й унікального устаткування та інструменту. Тому одним із прогресивних напрямків удосконалення технологічних можливостей формоутворення деталей складної форми, у тому числі із високоміцних сплавів, є вдосконалення технологічної підготовки з метою скорочення часу на проектування та виготовлення штампового оснащення, а відповідно і термінів підготовки дрібносерійного виробництва.

Як відомо, радіус округлення матриці штампу має значний вплив на такі важливі параметри процесу штампування-витягування, як напруження в матеріалі, зусилля витягування, утворення гофрів, стоншення матеріалу стінки, граничний коефіцієнт витягування та довговічність. Це зумовлює необхідність проведення подальших досліджень пластичної течії металу на перетяжних ребрах матриць та визначення аналітичних залежностей, які дають змогу прогнозувати напружено-деформований стан матеріалу, а також зусилля витягування на етапі проектування.

У зв'язку з вищезазначеним, удосконалення технології штампування-витягування авіаційних деталей складної форми завдяки уточненню впливу технологічних факторів на силові параметри процесу деформування та якісні показники штампованих деталей є актуальною задачею.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації базується на аналізі значного обсягу наукових праць щодо наукових напрямків дослідження сучасного стану процесів штампування листових деталей; забезпечується коректною постановкою мети і задач дослідження, використанням відомих рівнянь механіки суцільних середовищ і фундаментальних основ теорії пластичної течії металів.

Достовірність отриманих результатів підтверджена експериментальними дослідженнями і корелюється з результатами інших дослідників. Експериментальні дослідження виконувались у лабораторних умовах з використанням сучасних методів дослідження і вимірювальної апаратури. Штампування-витягування виконувалось на чотирьох типах інструментальних штампів, на модернізованому



пресі моделі П-125 з фіксацією поточного зусилля за допомогою каліброваного манометра. Цифрове моделювання процесу холодного штампування-витягування проводилося за допомогою ліцензійного пакета скінченних елементів LS-DYNA версії R11.2.2.

Наукові положення, висновки та рекомендації, наведені у дисертації базуються на аналізі фізичних явищ та процесів. Отримані автором результати підтверджені положеннями дисертаційної роботи, які побудовано на основі аналізу узгоджених теоретичних та експериментальних фактів.

Наукова новизна отриманих результатів.

В процесі вирішення завдань дисертаційного дослідження отримано наступні наукові результати:

- уперше з урахуванням вимоги соленоїдальності отримано систему рівнянь, що описує просторове поле швидкостей переміщень металу на ребрах матриць інструментальних штампів та дає змогу визначати раціональні параметри технологічного процесу штампування-витягування авіаційних деталей складної форми;

- уточнено математичні моделі процесу деформування металу на ребрах матриць при штампуванні-витягуванні, які дають змогу досліджувати картину течії металу у просторі, визначати його напружено-деформований стан та прогнозувати виникнення руйнувань у процесі формоутворення деталей складної форми;

- запропоновано алгоритм технологічної підготовки штампування-витягування деталей складної геометрії в якому вперше врахована просторова картина течії металу на ребрах матриць, що дає додаткову можливість виявляти недоліки пропонованого технологічного процесу та скоротити час на проектування та виготовлення штампового оснащення, а відповідно і терміни підготовки дрібносерійного виробництва деталей складної форми з листа.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що:

- встановлено граничний ступінь витягування та зусиллям для досліджуваних матеріалів, зокрема: для сплавів АМг та Д16Т граничний ступінь витягування в межах 1,6...1,64; для АМц 1,6...1,7, а ОТ4 вище за 2,1;

- розроблено рекомендації, використання яких дає змогу розширити технологічні можливості штампування-витягування таких сплавів як АМг, АМц, Д16Т та ОТ4 завдяки раціональним режимам штампування, які забезпечують відсутність розривів, а також такі показники якості: мінімальні значення товщини в зоні сполучення дно-стінка залежно від марки матеріалу в межах 0,8...0,91 мм – для ступеня витягування 1,57; кривину та овальність в межах 16,04 % та 2 % відповідно, що лежать в межах допуску 0,080 мм (відповідає 10...12-му квалітетам точності розміру відносної геометричної точності А);

- з використанням запропонованого алгоритму технологічної підготовки штампування-витягування деталей складної геометрії удосконалено маршрутну технологію виготовлення дефлектора двигуна Д-136 та виконано розрахунок економічної ефективності, який показав, що новий технологічний процес має значні переваги порівняно з базовим, а саме зменшення тривалості критичного шляху на

27,3 % та річний економічний ефект при обсязі випуску двохсот деталей 70957,9 грн.;

– результати роботи підтверджено дослідно-промисловими випробуваннями на АТ «Мотор-Січ» (м. Запоріжжя), ДП «Завод ім. В. О. Малишева» (м. Харків), АТ «Світло Шахтаря» (м. Харків) та прийнято до впровадження.

Апробація результатів дисертації.

Участь у конференціях з доповідями і обговореннями результатів свідчать про достатній рівень роботи та її опробування в науковому середовищі. Основні результати роботи доповідалися на шести провідних міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференціях.

Особистий внесок здобувача.

У дисертації викладено результати досліджень щодо вирішення актуального завдання удосконалення технології штампування-витягування завдяки уточненню впливу технологічних факторів на силові параметри процесу деформування та якісні показники штампованих деталей. Автор особисто виконав більшість використаних у дисертаційній роботі експериментальних досліджень та обробив результати експериментів, сформулював мету досліджень і запропонував теоретичні й експериментальні методи дослідження.

Особистий внесок здобувача в роботах, опублікованих в співавторстві є таким:

- отримано залежності, які дають змогу виконувати розрахунок та аналіз напружено-деформованого стану металу у просторі;
- виконано моделювання та аналіз отриманих систем рівнянь;
- розроблено структурну схему досліджень у галузі листового штампування;
- проведено опис алгоритмів проектування технологічних процесів листового штампування;
- виконано аналіз можливостей проектування технологічних процесів листового штампування за допомогою існуючих CAD/CAM/CAE-систем;
- проведено проектування технологічного процесу виготовлення дефлектора за допомогою імпульсних технологій;
- отримано систему рівнянь, що описують поле швидкостей переміщень металу на ребрі матриці інструментального штампа у просторі;
- проведено аналіз та проектування групового технологічного процесу виготовлення листових деталей;
- проведено аналіз технологічних можливостей технологічного устаткування для листового штампування-витягування.

Оцінка дисертації її завершеність в цілому.

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і трьох додатків. Повний обсяг дисертації становить 195 сторінок, у тому числі основний текст на 110 сторінках, 62

рисунка, 20 таблиць, 135 найменувань літературних джерел на 17 сторінках, 3 додатки на 22 сторінках.

Автореферат та опубліковані статті відображають основний зміст і результати дисертаційної роботи, апробація роботи є достатньою. Результати роботи використано на АТ «Мотор-Січ» (м. Запоріжжя), ДП «Завод ім. В. О. Малишева» (м. Харків), АТ «Світло Шахтаря» (м. Харків).

У вступі обґрунтовано актуальність теми та необхідність вибраного напрямку досліджень, сформульовано їх мету і задачі, викладено наукову новизну й практичне значення отриманих результатів, наведено відомості про структуру дисертаційної роботи.

У першому розділі проведено огляд літературних джерел, в яких розглянуто шляхи інтенсифікації та методи підвищення ефективності процесу штампування-витягування авіаційних деталей складної форми. Сформульовано задачу покращення методики розрахунку кінематичних та енергосилових характеристик процесу деформування листових заготовок.

У другому розділі уточнено структуру комплексних досліджень енергосилових характеристик процесу штампування-витягування. Подано опис устаткування та досліджуваних матеріалів. Процес штампування-витягування проводився в регульованому інструментальному штампі. Розривне навантаження визначали за допомогою каліброваного манометра. Заготовки для експериментальних досліджень виконано для трьох алюмінієвих сплавів АМг (Al-Mg), АМц (Al-Mn) і Д16Т (Al-Cu-Mg), а також титанового сплаву ОТ4 (Ti-Al-Mn).

У третьому розділі вперше отримано залежності, які дають змогу розраховувати та аналізувати напружено-деформований стан металу на перетяжному ребрі матриці у тривимірному просторі. Досліджено кінематику течії металу при штампуванні-витягуванні металу на перетяжному ребрі. Отримано системи рівнянь, що описують поля швидкостей руху металу, швидкості деформації та деформацій у матеріалі деталі на перетяжному ребрі під час штампування-витягування. Установлено кореляційний зв'язок між деформаційною роботою та параметрами режиму обробки на ребрі матриці.

У четвертому розділі подано результати цифрового моделювання процесу штампування-витягування в LS-DYNA. При моделюванні розглянуто один тип інструментального штампу в якому витягувались деталі з чотирьох матеріалів з різними діаметрами заготовки. У натурному експерименті проведено дослідження впливу параметрів режимів штампування-витягування на якість отриманих деталей для трьох алюмінієвих та одного титанового сплавів. Порівняння результатів натурного експерименту, моделювання течії металу на перетяжному ребрі та теоретичних розрахунків показує, що запропонована теоретична модель дає задовільні результати та може бути ефективно використана для інженерних розрахунків.

У п'ятому розділі дисертаційної роботи розроблено рекомендації щодо розширення технологічних можливостей процесу штампування-витягування алюмінієвих і титанових сплавів.

Спроектовано технологічний процес виготовлення деталей авіадвигуна: штампування-витягування листової деталі (дефлектор) з плоскої заготовки з ура-

хуванням течії металу на ребрах матриць. Відповідно до розробленого технологічного процесу виготовлення дефлектора виконано розрахунок економічної ефективності.

Зауваження до дисертаційної роботи.

1. В роботі з урахуванням вимоги соленоїдальності отримано систему рівнянь, що описують поле швидкостей переміщень металу на ребрі матриці інструментального штампу у просторі. Цю систему отримано автором на основі системи параметричних рівнянь тороїдної поверхні в декартових координатах (система рівнянь (3.18), стор. 79), але автором в авторефераті та в роботі не надано рекомендацій щодо вибору знаку аплікати при знаходженні відповідних швидкостей. Цілком було б достатньо залишити один знак або дати більш розгорнутий опис та рекомендації щодо використання вихідної системи рівнянь.

2. У розділі 4.3.1 дисертації при описі контактів деталей із жорстким пуансоном, порожниною для витягування та тримачем заготовки потрібно було б більш розгорнуто пояснити вибір коефіцієнтів тертя з детальним описом досліджень проведених іншими авторами, на які посилається здобувач, бо коефіцієнти тертя залежать не лише від контактуючих матеріалів та виду змащення, але й від швидкості деформування та зусилля притиску тримача заготовки, та в решті чинить суттєвий вплив на зусилля витягування та якість отриманих деталей.

3. В експериментальній частині при оцінці якості одержуваних деталей бажано було б навести металографічні дослідження з аналізом текстури деформації. Таке дослідження дозволило б докладніше дослідити вплив параметрів режиму витягування на пластичну течію металу в різних частинах деталі, зокрема на радіусах перетяжних ребер.

4. У п'ятому розділі дисертаційної роботи відсутнє зображення дефлектора (фото, креслення або схема) з маркуванням особливо чутливих до навантаження місць (ребер, рифтів, тощо). Наявність такого зображення суттєво спростила б сприйняття матеріалу та додатково підкреслило ознаки дефлектора як авіаційної деталі складної форми.

Слід зазначити, що наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Загальний висновок по дисертації.

Дисертаційна робота Онопченка Антона Віталійовича є завершеною науково-технічною працею.

За актуальністю, ступенем новизни, науковою та практичною цінністю, достовірністю та апробацією отриманих результатів дисертаційна робота Онопченка Антона Віталійовича «Удосконалення технології штампування-витягування авіаційних деталей складної форми з урахуванням кінематики течії металу на ребрах матриць» відповідає вимогам, що висуваються до кандидатських дисертацій згідно з п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. №567 (зі змінами), до дисерта-

цій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, а автор роботи, Онопченко Антон Віталійович, цілком заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.07.02 – проектування, виробництво та випробування літальних апаратів.

Офіційний опонент,
завідувач відділу вібраційних і
термоміцнісних досліджень
Інституту енергетичних машин і систем
ім. А. М. Підгорного НАН України,
доктор технічних наук, професор

Наталя СМЕТАНКІНА

19.06.2025р

Підпис д-ра техн. наук, проф.
Наталі Сметанкіної засвідчую

Учений секретар
Інституту енергетичних машин і систем
ім. А.М. Підгорного НАН України,
доктор технічних наук



Сергій УГРИМОВ