

Найменування розробки Створення теоретичних основ ресурсозберігаючої технології ізотермічного формоутворення в широкому діапазоні температур та швидкостей деформацій тонкостінних елементів виробів машинобудування

Создание теоретических основ ресурсосберегающей технологии изотермического формообразования в широком диапазоне температур и скоростей деформаций тонкостенных элементов изделий машиностроения

Creation of theoretical bases of resource saving technologies of isothermal forming of thin-walled elements of mechanical engineering in wide temperature range and velocity deformation

1. Номер державної реєстрації 0113U001912, номер реєстрації в університеті № 2612-ф

2. Науковий керівник (вчений ступінь, звання).

Науковий керівник д.т.н професор Тітов В.А.

Научный руководитель - д.т.н профессор Титов В.А.

Scientific supervisor – Titov V.A., professor, doctor of technical sciences

3. Суть розробки, основні результати

На основі узагальнених теоретичних результатів в'язко-пластичної течії металу в різних агрегатних (твердому та рідинно-твердому) станах в умовах широкого інтервалу температур та швидкостей деформування отримано взаємозв'язок параметрів ізотермічного навантаження та структурою і фізико-механічними властивостями матеріалу штампованих заготовок з тонкостінними елементами, що мають високий ступінь наближення їх форми до форми деталі (точність). Запропоновано загальна теорія та узагальнений підхід до розрахунку процесів формоутворення структурно неоднорідних тіл. Експериментально та теоретично підтверджено механіка деформування та руйнування структурно неоднорідних тіл Виконано чисельне моделювання формоутворення тонкостінних елементів для підтвердження теоретичних моделей. Експериментально обґрунтовано математичні моделі процесів деформування пресуванням, витягуванням та екструзії в умовах великих деформацій зсуву. Використання екстремальний енергетичних принципів дозволило забезпечити точність розрахунків. Узагальнення теоретичних та експериментальних результатів забезпечило розробку технологічних рекомендацій та запропонувати нові технічні рішення по реалізації ізотермічного формоутворення в широкому діапазоні температур та швидкостей деформацій тонкостінних елементів виробів машинобудування. Основні результати теоретичних та технологічних розробок пройшли апробацію на підприємствах авіаційної галузі, перспективність їх впровадження підтверджена відповідними актами.

Суть разработки, основные результаты

На основе обобщенных теоретических результатов вязко-пластического течения металла в разных агрегатных (твердом и жидкостно-твердом) состояниях в условиях широкого интервала температур и скоростей деформирования получено взаимосвязь параметров изотермического нагружения и структурой и физико-механическими свойствами материала штампованных заготовок с тонкостенными элементами, которые имеют высокую степень приближения их формы в форму детали (точность). Предложено общая теория и обобщенный подход к расчету процессов формообразования структурно неоднородных тел. Экспериментально и теоретически подтверждено механика деформирования и разрушения структурно неоднородных тел Выполнено численное моделирование формообразования тонкостенных элементов для подтверждения теоретических моделей. Экспериментально обоснованы математические модели процессов деформирования пресованием, вытягиванием и экструзией в условиях больших деформаций сдвига. Использование экстремальных энергетических принципов позволило обеспечить точность расчетов. Обобщение теоретических и экспериментальных результатов обеспечило разработку

технологических рекомендаций и предложить новые технические решения по реализации изотермического формообразования в широком диапазоне температур и скоростей деформаций тонкостенных элементов изделий машиностроения. Основные результаты теоретических и технологических разработок прошли апробацию на предприятиях авиационной отрасли, перспективность их внедрения подтверждена соответствующими актами.

Main results

Based on generalized theoretical results of visco-plastic flow of metal in different aggregate (solid and liquid-solid) states under a wide range of temperatures and strain rates the relationship of the isothermal load parameters, structure and physic-mechanical properties of the material extruded from thin-walled workpieces elements that have a high degree of approximation of their shape to the shape of the details (accuracy) was obtained. A general theory and generalized approach for the calculation process of forming structurally heterogeneous bodies was created. Deformation and fracture mechanics of structurally heterogeneous bodies was experimentally and theoretically confirmed. Numerical simulation of forming of thin elements were carried out to confirm the theoretical models. Mathematical models of processes of deformation by pressing, drawing and extrusion in large shear strains was experimental confirmed. The accuracy of calculation was ensured by using of extreme energy principles. Generalization of theoretical and experimental results provided the technological development of recommendations and propositions as for new technical solutions for the implementation of isothermal forming at a wide temperature range and velocity of deformation of thin-walled elements of mechanical engineering. The main results of theoretical and technological developments were tested at the enterprises of aviation branch of. The implementation of results confirmed by relevant acts.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності

На об'єкти права інтелектуальної власності отримано 8 патентів України.

1. Пат. 73368 Україна, МПК (2006.01) B24B 39/04. Головка для зміцнення та вигладжування зовнішніх поверхонь обертання / Тітов А.В. (UA); заявник НТУУ «КПІ». – № u2012 01820; заявл. 17.02.2012; опубл. 25.09.2012 р., Бюл. № 18.

2. Пат. 73403 Україна, МПК (2012.01) A44C 21/00. Монета / Бобир М.І., Тривайло М.С. (UA), Тітов А.В.; заявник НТУУ «КПІ». – № u2012 02109; заявл. 23.02.2012; опубл. 25.09.2012 р., Бюл. № 18.

3. Пат. 87075 України, МПК B21C23/08 Спосіб пресування виробів / В.А. Тітов, М.С. Тривайло, Н.К. Злочевська. - № u201307485; заявл. 12.06.2013; опубл. 27.01.2014р., Бюл.2.

4. Патент №80361. Ультразвукова коливальна система для створення поздовжньо-крутильних коливань. Тітов В.А., Луговський О.Ф., Лавріненков А.Д. Дата публ. 27.05.2013., Бюл. №10.

5. Пат. 93122 України, МПК B21C37/00 Пристрій для кутового пресування / В.А. Тітов, М.С. Тривайло, Н.К. Злочевська, Г.А. Баглюк. - № u201400815; заявл. 29.01.2014; опубл. 25.09.2014р., Бюл.18.

6. Пат. на корисну модель № 93140 Спосіб виготовлення біметалевих виробів / Тітов В.А., Тривайло М.С.; Борис Р.С., Лельков С.С. (Україна) НТУУ. – Патент опубліковано: 25.09.2014 бюл. № 18/2014.

7. Пат. на корисну модель № 94873 Спосіб виготовлення біметалевих виробів / Тітов В.А., Тривайло М.С.; Борис Р.С., Лельков С.С. (Україна) НТУУ. – Патент опубліковано: 10.12.2014 бюл. № 23/2014.

8. Пат. на корисну модель № 94870 Пристрій для кутового пресування / Тітов В.А., Тривайло М.С.; Борис Р.С., Лельков С.С. (Україна) НТУУ. – Патент опубліковано: 10.12.2014 бюл. № 23/2014.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Розробка виконана на рівні світових аналогів. Реалізовано ізотермічне формоутворення тонкостінних елементів конструкцій машинобудування, як наприклад пера лопатки та моноколеса, в режимі надпластичності матеріалу, що деформується. На відміну від аналогів було проведено штампування тонкостінних елементів конструкцій із алюмінієвих сплавів в твердо-рідинному стані. При цьому були забезпечені необхідні механічні властивості отриманих конструкцій, а в деяких випадках покращені, за рахунок відсутності зон утрудненої деформації та великих сил тертя. Реалізація розроблених процесів дозволила підвищити міцність на 15-35% та границю тривалої міцності на 10...15%, підвищення ресурсу лопаток в 1,3...1,4 рази. На відміну від закордонних досліджень по ізотермічному прямому та ортогональному видавлюванню трубопроводів із високоміцних матеріалів в режимі коротко-часової повзучості, в роботі розроблена теоретична феноменологічна модель в'язко-пластичного середовища, що деформується. Показано достатність керування коефіцієнтом жорсткості (в'язкості) деформуємого середовища, що забезпечило єдиний теоретичний підхід для аналізу процесів та вирішення технологічних задач пластичного формоутворення структурно-неоднорідних та в'язкопластичних матеріалів. Використання такого підходу забезпечує розрахунок деформаційних параметрів структурно-неоднорідних матеріалів в процесах формоутворення тонкостінних елементів конструкцій, що не присутнє в закордонних роботах. На відміну від закордонних досліджень, щодо отримання дисків ГТД та інших деталей ГТД (в тому числі і лопаток ГТД) із нікелієвих та титанових сплавів було теоретично та експериментально обґрунтовано ефективність двостадійного пресування структурно-неоднорідних (двохфазних та евтектично-зміцнених) сплавів. Експериментально показана ефективність двостадійного формоутворення тонкостінних елементів конструкцій в одному циклі на прикладі пера лопатки з алюмінієвих сплавів.

6. Економічна привабливість для просування на ринок (вартість реалізації проекту, терміни впровадження та окупності, показники)

Аналіз існуючих способів виготовлення моноколес показав, що на сьогодні деталі типу моноколеса виготовляються механічною обробкою з монолітної заготовки, яка має високу трудомісткість для алюмінієвих моноколес до 200-250 годин, а для титанових 250-300 годин на станках з ЧПК. Використання розробленого способу для отримання даних деталей дозволяє знизити трудомісткість в 2-5 рази в залежності від матеріалу деталі. Реалізовано ізотермічне формоутворення тонкостінних елементів конструкцій машинобудування, як наприклад пера лопатки та моноколеса, в режимі надпластичності матеріалу, що деформується. На відміну від світових аналогів, коли відповідні деталі отримуються при гарячому штампуванні з використанням унікального пресового обладнання, керування температурно-швидкісними параметрами процесу деформування знизило зусилля деформування 30-40%, що дозволяє використати універсальне гідропресове обладнання.

7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації)

Потенційними користувачами є наукоємні галузі промисловості (авіадвигунобудування, аерокосмічна) та підприємства ДП ЗМКБ «Прогрес» ім. О.Г. Івченко (м. Запоріжжя), ВАТ «Мотор Січ» (м. Запоріжжя).

8. Стан готовності розробки (лабораторний або промисловий зразок, технічна документація, бізнес-план, готова до впровадження)

На підприємствах ДП ЗМКБ «Прогрес» ім. О.Г. Івченко та ПАТ «Мотор Січ» (м. Запоріжжя) проведено промислове випробування результатів НДР. На основі теоретичних результатів розроблені технологічні рекомендації та реалізовані технологічні процеси отримання тонкостінних елементів виробів двигунобудування.

9. Існуючі результати впровадження.

Результати роботи теретично-експериментальних досліджень впроваджено в навчальний процес у вигляді нового лекційного курсу «Математичні основи пластичної деформації», модуль – теорія в'язко-пластичної течії металів. Видано навчальний посібник «Механіка», та підручник «Технологічні процеси утилізації відходів машинобудівного виробництва». Використано при виконанні магістерських дипломних робіт за спеціальністю 8.05050203 «Обладнання та технології пластичного формування конструкцій машинобудування» та в дисертаційних роботах за спеціальністю 05.03.05 «Процеси та машини обробки тиском».

10. Форма участі інвестора (яка краща форма участі в реалізації результатів проекту інвестора: частка в проекті %, частка від прибутку %, інше)

11. Обсяг інвестицій (необхідна для результатів проекту сума інвестицій у доларах США).

12. Мета інвестицій (розширення бізнесу, створення нового підприємства, інше).

13. Назва підрозділу (організації), телефон, e-mail.

Кафедра Механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів, ММІ, тел. 204 83 99 E-mail: v.a. titov@list.ru

14. Фото розробки



Оснастка, для деформування структурно-неоднорідних матеріалів, що встановлена на гвинтовому фрикційному прес-молоті



Роз'ємні напівматриці для пресування заготовок робочих лопаток



Напівматриці з радіальним розміщенням тонкостінних елементів

15. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

Підручники з грифом МОН України:

1. Закревський В.О. Механіка: навчальний посібник / В. О. Закревський, М. Б. Штерн. – К.: НАУ, 2014. – 320 с.
2. Рудь, В. Д.; Баглюк, Г. А.; Гальчук, Т. Н.; Повстяной, О. Ю. Технологічні процеси утилізації відходів машинобудівного виробництва [Текст] : навч. посіб. / [В. Рудь та ін.] ; Луц. нац. техн. ун-т. - Луцьк : РВВ Луц. НТУ, 2015. - 294 с.

Монографії:

1. Титов В. А. Богуслаев В.А., Качан А.Я., Луговской А.Ф., Мозговой В.Ф., Балушок К.Б., Титов А.В., Мовчанюк А.В. Формирование поверхностного слоя деталей выглаживанием с ультразвуковым нагружением. Монография. - Запорожье, изд. АО "Мотор Сич", 2012 г. – 236 с.
2. Тітов В. А. Витягування з потоншенням біметалевих трубчастих елементів з різнорідних металів і сплавів[текст] :монографія/ В. А. Тітов, Р. С. Борис. – Київ: Центр учбової літератури, 2014. – 180 с.
3. Титов В. А. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Валы ГТД. Часть IV. Монография / В. А. Богуслаев, А. Я. Качан, В. А. Титов [и др.]. – Запорожье, АО «Мотор Сич», 2014. – 291 с.
4. Лавриненков А. Д., Якимов И. Д., Левадный Е. В. и др. Электронное методическое пособие «SIMULIA Abaqus. Решение прикладных задач». – Москва: ТЕСИС, 2015. – 121 с.

Опубліковані науково-технічні публікації в журналах , що входять до науково-метричних баз даних Web of Science та Scopus

9. Титов В.А. Некоторые закономерности формирования структуры и механических свойств многофазных сплавов в условиях интенсивных пластических деформаций / В.А. Титов, Н.К. Злочевская, В.П. Ламашевский // Fizică și tehnică: procese, modele, experimente. – 2013. - №1. ISSN 1857-0437. - С. 15-22.
10. Титов В.А. Особенности комплексного процесса изготовления заготовок лопаток из эвтектически упрочненных титановых сплавов / В.А. Титов, Н.К. Злочевская, А.Я. Качан, И.Г. Савчинский, П.С. Вишневский // Металлург. – 2014. - № 2. - С. 87-92.
11. Savchenko D. Method of cutting of thinwalled pipes on the details and semi-finished details / Savchenko D. Holyavik O.,Steblyuk V., Boris R., Orlyuk M. // INNOVATIONS IN ENGINEERING. Sofia, BULGARIA. – 2015.– P. 82-85.

Опубліковані науково-технічні публікації в журналах , що входять до науково-метричних баз даних EBSCO, РІНЦ, WorldCat

1. Титов В.А. Некоторые особенности механики поведения дисперсного включения в металлической матрице при больших пластических деформациях / В.А. Титов, А.Д. Лавриненков, Н.К. Злочевская // Обработка материалов давлением. – 2012. - № 2(31). - С. 45-52.
2. Тітов В.А. Розрахунок напружено-деформованого стану витягування з потоншенням ідеальнопластичного двохшарового металу / Тітов В.А., Борис Р.С. // Обробка матеріалів тиском. – 2012. – №1 (30). – С. 45-52.
3. Борис Р.С. Особенности врахування сил тертя при витягуванні з потоншенням двохшарових заготовок / Борис Р.С., Титов В.А., Вишневский П.С. // Обработка материалов давлением. – 2012. – № 2 (31). - С. 22-29.
4. Гожій С.П. Впровадження технологічних процесів штампування обкочуванням в сучасному ресурсозберігаючому виробництві / С.П. Гожій, А.В. Кліско, А.І. Носенко, А.Д. Лавріненков // Обработка материалов давлением. – 2012. - №3(32). – С. 65-71.

5. Титов В.А. Обобщенная математическая модель взаимодействия инструмента и поверхностного слоя материала детали при выглаживании с учетом влияния трения / В.А. Титов, А.Д. Лавриненков, А.В. Титов // Обработка материалов давлением. – 2013. – №3(32). – С. 68-73.
6. Огородников В. А. Прогнозирование технологической наследственности в процессе штамповки заготовок из порошкового бериллия / Огородников В. А., Архипова Т. Ф., Титов А.В. // Обработка материалов давлением. – 2013. – № 4 (37) – С. 104-111.
7. Титов В.А. Обобщенная математическая модель взаимодействия инструмента и поверхностного слоя материала детали при выглаживании с учетом влияния трения / В.А. Титов, А. Д. Лавриненков, А.В. Титов // Обработка материалов давлением. – 2013. - №3(32). – С. 68-73.
8. Тітов В.А. Вплив форми каналу матриці на параметри процесу деформування заготовок при гвинтовому уширяючому пресуванні / В.А. Тітов, Н.К. Злочевська, О.В. Герасимова // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», серія «Машинобудування» – 2014. - № 72. С. 124-129.
9. Шамарин Ю.Е. Рабочие камеры электрогидравлических установок / Шамарин Ю.Е., Холявик О.В., Борис Р.С. // Обработка материалов давлением. – 2014. – №2 (39). – С. 229-233.
10. Шамарин Ю.Е. Импульсные методы обработки металлов давлением / Шамарин Ю.Е., Холявик О.В., Борис Р.С. // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», серія «Машинобудування», Київ, 2014, № 3 (72). – С. 118-123.
11. Титов В. А. Особенности влияния металлосодержащей смазки на контактное взаимодействие инструмента с поверхностью детали при ультразвуковом выглаживании титановых сплавов / В. А. Титов, А. Д. Лавриненков, О. В. Герасимова // Проблеми тертя та зношування. - №3(64). – 2014. – С. 40-51.
12. Повышение предела выносливости широкохордных лопаток вентилятора газотурбинных двигателей в поле ультразвука / А.А. Мыленко, Э.Л. Рожковская, Т.Р. Гараненко // Вестник двигателестроения. 2014. №1. С. 67-70
13. Математическое моделирование широкохордных полых лопаток вентилятора / Гараненко Т.Р. // Вестник двигателестроения. - №3. - 2015. № С. 42-50.
14. Изготовление полых лопаток вентилятора ГТД с ультрамелкозернистой структурой титанового сплава / Гараненко Т.Р. // Вестник двигателестроения. - №4. - 2015. № С. 25-36.

Опубліковані науково-технічні публікації в закордонних журналах, що входять до науково-метричних баз даних

1. Титов В.А. Особенности конструкций вытяжных матриц и их влияние на процесс вытяжки биметаллических трубчатых изделий / Титов В.А., Борис Р.С., Богодист Е.И. // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. Россия, Москва – 2012. – №9.
2. Титов В.А., Лавриненков А.Д. Использование субмикродисперсной металлосодержащей смазки при выглаживании для обеспечения несущей способности деталей из титановых сплавов. Сборник трудов МНТК «Научные принципы и подходы...и высокоэнергетического». – Москва. -2013. - с.81-86.
3. Титов В.А. Оценка параметров качества поверхности деталей из титановых сплавов после ультразвукового (УЗ) выглаживания с применением металлосодержащей смазки / В. А. Титов, И. Г. Лавренко, А. Д. Лавриненков, А. Д. Коваль // Научный журнал «Известия КГТУ». - №34. – 2014. – С. 197-205.

4. Титов В. А. Особенности выглаживания титановых сплавов с использованием металлосодержащих смазок / В. А. Титов, И. Г. Лавренко, А. Д. Лавриненков, И. Г. Савчинский // Известия ТулГУ. Технические науки. - №5. – 2014. –С. 65-76.

5. Лавриненков А. Д. Расчет амплитудно-расчетных характеристик ультразвуковых преобразователей продольных и продольно—крутильных колебаний с помощью пакета Abaqus. Труды Международного форума «Инженерные системы». – 2014. – С. 112-116.

6. Лавриненков А.Д. Расчет амплитудно-частотных характеристик ультразвуковых преобразователей продольных и продольно-крутильных колебаний с помощью пакета Abaqus // Компьютерные исследования и моделирование. – Москва. - Том 6. -2014. - №6. – С. 957-968.

7. Титов В. А. Влияние металлосодержащей смазки на параметры качества поверхностного слоя детали из титанового сплава VT22 при выглаживании / В. А. Титов, А. Д. Коваль, А. Д. Лавриненков, И. Г. Лавренко, И. Г. Савчинский. // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – №8 – 2014. – С. -38-46.

Опубліковані науково-технічні публікації в журналах , що входять до переліку фахових видань України

1. Злочевська Н.К. Закономірності формування структурних та механічних властивостей сплава системи Zr-Nb в умовах інтенсивних пластичних деформацій // Вісник НТУ «ХП». – 2013. – № 43. – С. 114-120.

2. Борис Р.С. Розрахунок технологічних параметрів процесу витягування двошарової заготовки з потоншенням / Борис Р.С., Тітов В.А. // Вісник національного технічного університету «ХП», Харків, 2013, №42. – С. 26-31.

3. Лавриненков А. Д. Выглаживание деталей из титановых сплавов с использованием металлосодержащей смазки / А. Д. Лавриненков // Вісник НТУ «ХП». – Харків, 2013. - №43 (1016). – С. 148-153.

За матеріалами досліджень за період виконання НДР було захищено 3 кандидатські дисертації:

1) Борис Р.С. «Витягування з потоншенням біметалевих трубчастих елементів з різнорідних металів і сплавів». – Київ, 2013. - 189 с.;

2) Злочевська Н.К., «Забезпечення механічних властивостей гомогенних та структурно-неоднорідних матеріалів при пластичному формоутворенню деталей» – Київ, 2015 р. - 235 с.;

3) Лавріненков А.Д., «Інтенсифікація процесів вигладжування титанових сплавів для підвищення ресурсу деталей». – Київ, 2015 р. - 289 с.

Підготовлено до розгляду 1 кандидатська дисертація - Гараненко Т. Р., «Розробка процесу деформування широко хордової лопатки ГТД з титанових сплавів».