

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Перлов Віктор Євгенійович

УДК 621.7.014.2

**ТЕХНОЛОГІЧНА СПАДКОВІСТЬ В ПРОЦЕСАХ
ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ ПРИ СТВОРЕННІ
БЕЗПЕЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ**

Спеціальність 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Огородніков Віталій Антонович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри опору матеріалів та прикладної
механіки.

Офіційні опоненти доктор технічних наук, професор
Тітов Вячеслав Андрійович,
Національний технічний університет України „Київський
політехнічний інститут”,
м. Київ, завідувач кафедри механіки пластичності
матеріалів та ресурсозберігаючих процесів

доктор технічних наук, доцент
Кисельов Володимир Борисович,
Київський науково-дослідний інститут судових експертиз,
м. Київ, директор.

Захист відбудеться "03" грудня 2010 р. о 13-30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 05.052.03 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ауд. 210, ГУК.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Вінницького національного технічного університету (21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ГУК)

Автореферат розісланий "02" листопада 2010 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

О. В. Дерібо

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Теорія обробки металів тиском направлена головним чином на визначення енергосилових параметрів процесів і здатність металу деформуватися без руйнування. І те і інше забезпечує технологічну спадковість. Встановлення параметрів технологічного процесу впливає на експлуатаційні характеристики виробів.

Перша головна задача теорії обробки металів тиском – встановлення раціональних енергосилових параметрів процесу з метою визначення зусиль деформації і енергетичних витрат на технологічні операції.

Тому одним з поставлених завдань є уміння визначати енергосилові параметри в різних процесах обробки металів тиском. І хоча ці задачі достатньо докладно вирішені в роботах С. П. Унксова, Є. Н. Попова та ін., проте, в багатьох практично важливих випадках визначення енергосилових параметрів процесу, зокрема роботи деформації, буває достатньо громіздким і оснований на різних наближеннях. Так, в інженерній теорії пластичності, де застосовуються різні гіпотези, які зводять точне вирішення задач з об'ємного напруженого стану до плоского, осесиметричні задачі розв'язуються з припущенням гіпотези Хаара-Кармана про рівність колового напруження одному з головних напружень в меридіональній площині і так далі.

Тому задача визначення енергосилових параметрів процесу і зокрема роботи деформації все ще залишається актуальною.

Більше того, експлуатація виробів, отриманих обробкою металів тиском часто пов'язана з поглинанням ними енергії. І питання про те, яка енергія витрачена на виготовлення тієї або іншої заготовки, а в подальшому виробу і як веде вона себе в експлуатації є актуальним і важливим.

Інший важливий напрям, який останніми роками інтенсивно розвивається в обробці тиском: деформуємість, гранична формозміна, залишковий запас пластичності, ресурс пластичності – все це вирішується на основі феноменологічної теорії деформуємісті. Цей напрям в теорії обробки металів тиском теж залишається актуальним, оскільки керуючи параметрами технологічного процесу знаючи накопичення пошкоджень, залишковий ресурс пластичності, залишкове напруження і технологічну спадковість можна прогнозувати експлуатаційні властивості виробу.

Наукові основи вищевказаних теорій представлено в роботах І. С. Алієва, Я. Є. Бейгельзімера, С. І. Губкіна, Г. Д. Деля, А. А. Іллюшина, В. Б. Кисельова, В. Л. Колмогорова, М. М. Малініна, В. М. Михалевича, В. А. Огороднікова, Є. Н. Попова, І. О. Сивака, Г. О. Смирнова-Аляєва, В. А. Тітова, Є. П. Унксова та інш.

Зміна характеристик процесу електрогідроімпульсного листового штампування дає можливість керувати параметрами технологічної спадковості отримуваних деталей без зміни їх конструкції та матеріалу.

Удосконалення процесів електрогідроімпульсного штампування з метою підвищення безпеки конструкції шляхом забезпечення бажаних характеристик технологічної спадковості її елементів є актуальним і має важливе значення для машинобудівної промисловості України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки, які визначені в Законі України №2623 від 11.07.2001 р. – III "Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки"; науковому напрямку "Феноменологічні критерії руйнування суцільних, пористих та композиційних матеріалів в межах великих пластичних деформацій та застосування їх до вирішення технологічних задач механіки" провідної наукової школи Вінницького національного технічного університету.

Автор брав участь у виконанні держбюджетних тем "Розробка методик визначення енергії при пластичному та ударному навантаженнях транспортних засобів" (№ державної реєстрації 0105U002418) "Розробка теоретичних основ визначення механічних властивостей матеріалу та їх діагностики" (№ державної реєстрації 0108U000650).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення безпеки конструкцій шляхом керування параметрами технологічної спадковості в процесах листового штампування їх елементів.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані такі завдання:

- розробити експериментально-розрахунковий метод визначення енергії пластичного деформування листових матеріалів в процесах холодного штампування, а також енергопоглинання елементами конструкцій в результаті дії динамічних навантажень при експлуатації;
- розробити експериментально-розрахунковий метод визначення енергосилових параметрів процесу прогину круглих тонколистових пластин, защемлених по контуру;
- дослідити напружено-деформований стан в технологічному процесі електрогідроімпульсного штампування елементів конструкції транспортних засобів та проаналізувати їх параметри технологічної спадковості;
- дослідити вплив технологічної спадковості крила автомобіля ВАЗ 2101 на його експлуатаційні характеристики;
- розробити експериментально-розрахунковий метод визначення напрямку головної деформуючої сили, при формозмінненні деталей з листового матеріалу;
- удосконалити метод побудови діаграм пластичності для листових матеріалів і розробити конструкцію зразка для випробування на розтяг;
- розробити рекомендації щодо удосконалення технологічних процесів, які розглядаються в даній роботі.

Об'єкт дослідження – процеси листового штампування.

Предмет дослідження – закономірності зміни технологічної спадковості у процесах листового штампування та її вплив на безпечність конструкції.

Методи дослідження. Розв'язання поставлених задач здійснювалось методами математичної і прикладної теорії пластичності, а також феноменологічної теорії деформуємості. Використано також метод твердості, експериментально-розрахунковий метод сіток та наближений інженерний метод для розрахунків напружено-деформованого стану. Результати досліджень оброблені методами математичної статистики.

Експериментальні дослідження виконано методами фізичного моделювання. Фізико-механічні характеристики матеріалів визначались на стандартному обладнанні. Досліди проводились в лабораторних і виробничих умовах.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Отримав подальший розвиток метод побудови тарувальних графіків для листових матеріалів, який дозволяє використовувати значення твердості, виміряні методом відскоку (методом Ліба).

2. Удосконалено метод побудови діаграм пластичності для листових матеріалів і розроблено конструкцію зразка для випробування на розтяг.

3. Розроблено експериментально-розрахунковий метод визначення енергосилових параметрів процесу прогину круглих тонколистових пластин, защемлених по контуру.

4. Розроблено метод аналізу напружено-деформованого стану в технологічному процесі штампування кузовних деталей та параметрів, які впливають та технологічну спадковість, що закладаються при їх штампуванні

5. Удосконалено експериментально-розрахунковий метод визначення енергії пластичного деформування листових матеріалів в процесах холодного штампування і енергопоглинання елементами конструкцій в результаті дії динамічних навантажень при експлуатації.

6. Розроблено експериментально-розрахункового метод визначення напрямку головної деформуючої сили, при формозміні деталей з листового матеріалу.

Практичне значення одержаних результатів. Практичну цінність дисертаційної роботи складають:

1. Алгоритм визначення енергії пластичного деформування, який може бути використаний для оцінювання енергетичних витрат на формозміну листового матеріалу як в процесах обробки металів тиском, так і в процесах деформування елементів конструкцій транспортних засобів при ДТП.

2. Розроблено рекомендації, щодо врахування швидкісного ефекту при розрахунку енергопоглинання конструкцій транспортних засобів під дією динамічних навантажень.

3. Удосконалений процес електрогідроімпульсного листового штампування деталей типу "дах", який забезпечує необхідний розподіл параметрів технологічної спадковості і підвищує безпеку конструкції кузова автомобіля.

4. Рекомендації з удосконалення процесів електрогідроімпульсного листового штампування щодо вибору необхідної кількості робочих електродів, які забезпечують раціональний вибір кількості робочих елементів в залежності від механічних характеристик матеріалу вихідної заготовки.

Результати досліджень стосовно розрахунку енергосилових параметрів процесів та параметрів технологічної спадковості деталей, виготовлених електрогідроімпульсним штампуванням, впроваджено та використано в товаристві з обмеженою відповідальністю "Науково-технічний центр "Автополіпром" (м. Львів).

Результати роботи також використано у Вінницькому відділенні Київського науково-дослідного інституту судових експертиз Міністерства юстиції України при визначенні енергії пластичного деформування елементів конструкцій транспортних засобів, здеформованих в результаті дорожньо-транспортних пригод.

Окремі результати роботи використовуються в навчальному процесі Вінницького національного технічного університету в розділах курсів "Опір матеріалів", "Експериментально-розрахункові методи визначення напружено-деформованого стану" та "Математичні методи оптимізації процесів".

Особистий внесок здобувача. В дисертації не використовувались ідеї співавторів публікацій. Всі принципи теоретичні і експериментальні результати роботи отримано автором самостійно.

При виконанні досліджень, результати яких опубліковано в співавторстві автором, отримано такі результати:

[1] – розроблено метод визначення енергії пластичного деформування здеформованого листового металу за формулою апроксимації тарувального графіку у координатах "коефіцієнт твердості – питома потенційна енергія деформування". Уточнено методiku побудови діаграм пластичності листових матеріалів при розтягу і зсуві; [2] – розроблено алгоритм визначення енергії пластичного деформування методом твердості; [3] – розроблений підхід до ідентифікації механічних характеристик матеріалу за показниками твердості, вимірюваними переносним динамічним твердоміром "ТЕМП-3"; [4] – розроблено метод врахування швидкісного ефекту при побудові кривих течії та тарувальних графіків у координатах "коефіцієнт твердості – питома потенційна енергія деформування" для сталей; [5] – розроблені рекомендації по врахуванню впливу швидкісного ефекту при розрахунку енергопоглинання конструкцій транспортних засобів з різними ступенями деформування; [6] – розроблено метод визначення напрямку головної деформуючої сили при деформуванні елементів конструкцій, виготовлених з листових матеріалів; [7] – уточнено рекомендації по визначенню енергії пластичного деформування елементів конструкцій транспортних засобів, здеформованих при ударах о перешкоди.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на наукових конференціях та семінарах, серед них: ІХ міжнародна науково-практична конференція "Прогресивна техніка і технологія" (Київ, 2008 р.); ІХ міжнародна науково-технічна конференція (НТК) "Вібрації в техніці і технологіях" (Вінниця, 2009 р.); ХІХ міжнародна конференція "Сучасні технології в машинобудуванні" (Харків-Рибаче 2009 р.); ІV міжнародна науково-практична конференція "Актуальні питання і організаційно-правові засади співробітництва України і КНР в сфері високих технологій"

(Київ, 2009 р.); XXXV-XXXVIII НТК професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області (2006-2009 р.); науково-практична конференція присвячена пам'яті В. Ф. Потапкіна "Розвиток методів розрахунку, удосконалення технологій та обладнання процесів обробки металів тиском" (м. Краматорськ, 25-28 квітня 2007); засідання наукових семінарів кафедри опору матеріалів і прикладної механіки Вінницького національного технічного університету (2006 - 2009 рр.).

Публікації: Матеріали дисертаційної роботи викладено в 8 друкованих працях, із них 6 в наукових фахових виданнях, що входять до переліку ВАК України, 2 статті в збірниках, виданих за матеріалами науково-технічних конференцій.

Обсяг і структура роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, основних висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертаційної роботи складає 131 сторінку, з них 104 основної частини, 65 рисунків, 15 таблиць, список використаних джерел становить 92 найменування.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність та необхідність проведення досліджень. Сформульовано мету роботи та шляхи її досягнення, визначено об'єкт і предмет дослідження, викладено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, а також їх впровадження. Наведено відомості про апробацію результатів роботи.

У першому розділі проведено огляд літературних джерел, присвячених визначенню параметрів технологічної спадковості деталей, що отримані листовим штампуванням. Встановлено, що саме параметри технологічної спадковості процесів штампування в значній мірі впливають на подальші експлуатаційні характеристики кінцевого виробу. Отримана в результаті технологічного процесу штампування анізотропія механічних властивостей матеріалу по поверхні виробу визначає, яким чином відбуватиметься руйнування елемента конструкції при експлуатаційній відмові (наприклад, дорожньо-транспортній пригоді).

Проаналізовано основні принципи підвищення безпечності конструкцій транспортних засобів та основні вимоги до параметрів енергопоглинання їх конструкцій, які забезпечують необхідний рівень безпеки водія та пасажирів. Встановлено, що "життєвий простір" водія та пасажирів за будь-яких умов не має значно деформуватись. Це досягається керованою міцністю та жорсткістю елементів клітини салону. Інші ж кузовні елементи, мають поглинути якомога більше енергії удару, щоб зменшити частку енергії, поглинену тілами водія та пасажирів.

Відомі підходи до підвищення безпечності конструкцій транспортних засобів полягають виключно у заміні геометричних форм того чи іншого елемента або матеріалу, з якого він виготовляється. Однак викликає інтерес саме зміна фізико-механічних характеристик елемента конструкції без зміни його геометрії та матеріалу, виключно за рахунок зміни параметрів технологічного процесу. Таку можливість найкращим чином надає процес електрогідроімпульсного листового штампування, в якому за допомогою зміни послідовності увімкнення та робочої напруги виконавчих елементів можна керувати полями напружень і деформацій у деталі.

Приділено увагу методам визначення енергії пластичного деформування у процесах обробки металів тиском та енергопоглинання елементів конструкції при експлуатації.

Виконаний аналіз механіки формоутворення заготовок в технологічних процесах електрогідроімпульсного штампування дозволив сформулювати мету та поставити завдання дослідження.

У другому розділі представлено методи визначення напружено-деформованого стану.

Для визначення напружено-деформованого стану при електрогідроімпульсному штампуванні заготовок типу "дах" та при прогині круглих тонколистових пластин, защемлених по контуру нами використано метод твердості.

У цьому розділі розглянуто методики визначення механічних характеристик матеріалів, що досліджуються. В сучасній феноменологічній теорії деформуємі властивості матеріалів розглядається у вигляді різних функцій, таких як крива течії матеріалу, діаграма пластичності, тарувальний графік в координатах твердість – інтенсивність напружень – інтенсивність деформацій. Ці функції формують "технологічний паспорт" матеріалу.

При побудові кривих текучості листових матеріалів використовуються зразки товщиною від 0,8 мм, що значно ускладнює вимірювання їх твердості за допомогою стандартного обладнання, оскільки не завжди є можливість виготовити підкладку необхідної товщини із матеріалу що досліджується. У зв'язку з цим становить інтерес метод вимірювання твердості по Лібу (метод відскоку).

Розмір проникнення в матеріал при вимірюванні твердості приладів, оснований на методі Ліба, пов'язаний з його твердістю і в цьому випадку здійснюються непрямі вимірювання через втрати енергії так званого ударного тіла.

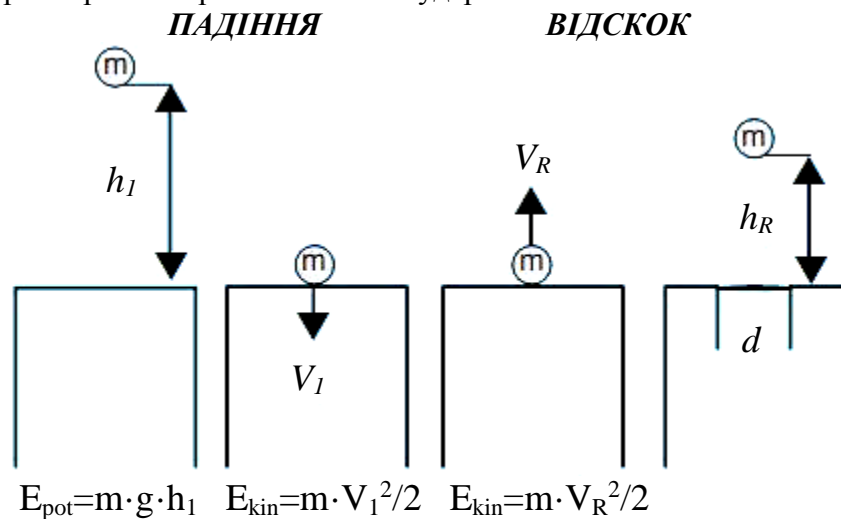


Рис. 1. Ілюстрація фізичного принципу вимірювання твердості за методом відскоку

Ударне тіло, на кінці якого закріплена кулька з твердого матеріалу, під дією пружини падає на досліджувану поверхню. Після свого падіння унаслідок сумарної пластичної деформації падаюче тіло втрачає частину своєї енергії (як зменшення швидкості). Ця величина тим більше, чим менше твердість досліджуваного матеріалу.

Безконтактним методом вимірюються початкова швидкість і швидкість при відскоку. Для цього служить невеликий постійний магніт, з'єднаний з ударним тілом. Цей магніт, проходячи через котушку, наводить в ній ЕРС індукції. Величина її пропорційна швидкості руху магніту (ударного тіла). За співвідношенням швидкостей падіння і відскоку оцінюється величина твердості.

При вимірюванні твердості по Лібу переносним динамічним твердоміром "ТЕМП-3" вимірюють швидкість відскоку $v_{відскок}$ сферичного ударника діаметром 3 мм, масою 5,5 г з початковою швидкістю $v_0 = 2$ м/с (енергія удару 11 Н·мм). Твердість по Лібу визначається згідно залежності

$$HL = \frac{v_{відскок}}{v_0} \quad (1)$$

З метою вивчення розподілу інтенсивності накопичених деформацій по глибині і його залежності від товщини вимірюваного металу і умов закріплення заготовки вирішували поставлену задачу з використанням кінцевоелементного моделювання явним методом в середовищі LS-DYNA.

З приведених в розділі матеріалів випливає, що при вимірюванні твердості тонколистових матеріалів методом Ліба, починаючи з товщини 0,8 мм, глибина впровадження пластичної хвилі складає не більше половини товщини листа незалежно від товщини листа і параметрів його закріплення, а отже пластична деформація не виходить на поверхню листа протилежну поверхні вимірювання. Це свідчить, що вимірювання твердості методом Ліба дає уявлення про фізико-механічні властивості листового матеріалу незалежно від його товщини і умов закріплення без необхідності проведення вимірювань твердості методами, регламентованими різними стандартами.

Для виявлення впливу умов закріплення зразка на показники вимірюваної твердості було додатково проведено випробування зразків в умовах закріплення у губках випробувальної машини та на нерухомій масивній плиті. Встановлено, що при зміні параметрів закріплення показники приладу, що вимірює твердість змінюються в межах 8,7-10,8%, однак коефіцієнт приросту твердості – відношення твердості, вимірюваної на даному етапі деформування до початкової твердості, змінюється в незначній мірі – в межах 4,5-6,1%.

При побудові діаграм пластичності листових матеріалів залишається недостатньо дослідженим спосіб їх побудови при розтягу зразків, що утворюють шийку.

Нами запропонована конструкція зразка з викружками (рис. 2), при випробуванні якого схема деформування зводиться до лінійної та усувається вплив спотворення від утворення шийки на результати випробування.

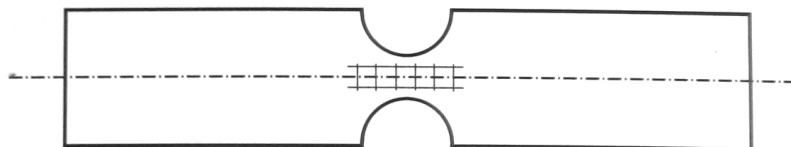


Рис. 2. Зразок з викружками для випробування на розтяг

Проведення випробувань на розтяг зразка запропонованої конструкції дає змогу визначити величину граничної деформації ϵ_p при розтягу ($\eta=1$).

Під час розробки експериментально-розрахункового методу визначення напружено-деформованого стану в плоских зразках здеформованих до різних ступенів деформації, було використано роботи Г.Д. Деля та В.А. Огороднікова.

За допомогою запропонованих підходів побудовано криві течії та тарувальні графіки досліджуваного матеріалу – сталі 08кп. Було випробувано декілька партій зразків, що були виготовлені із матеріалу деталі типу "дах", із матеріалу крила автомобіля ВАЗ 2101 та із матеріалу пластин, що випробовувались на прогин.

Сформовані моделі матеріалу лягли в основу розрахунку напружено-деформованого стану при електрогідроімпульсному штампуванні досліджуваних деталей, а також розрахунку енергосилових параметрів процесів деформування як у процесах обробки тиском, так і при ДТП.

Третій розділ присвячено вдосконаленню методів розрахунку енергопоглинання при деформуванні листового металу як в процесах обробки металів тиском, так і при ДТП.

Визначення енергії пластичного деформування в процесах обробки металів тиском дає змогу обраховувати енергетичні витрати на той чи інший процес формозміни.

Запропоновано алгоритм визначення енергії пластичного деформування, який полягає у наступному:

1) на здеформованій частині елементів конструкції маркером наноситься ділильна сітка кроком 10-50 мм;

2) у вузлах ділильної сітки вимірюють твердість переносним динамічним твердоміром "ТЕМП-3";

3) по результатам вимірювання твердості на нездеформованій частині досліджуваних елементів визначається початкова твердість H_0 до деформування;

4) для кожного вузла сітки визначають коефіцієнт твердості $k_H = \frac{H_T}{H_0}$ як відношення

твердості zdeформованого матеріалу до початкової твердості того ж матеріалу;

5) за допомогою тарувальних графіків $k_H=f(\varepsilon_u)$ – визначають інтенсивність деформацій ε_u в кожному вузлі координатної сітки;

6) питому потенційну енергію W_{num} визначають для кожного вузла координатної сітки з допомогою інтеграла:

$$W_{num} = A \int_0^{\varepsilon} \varepsilon_u^n d\varepsilon_u = A \frac{\varepsilon_u^{n+1}}{n+1}, \quad (2)$$

де A і n – коефіцієнти апроксимації кривої течії матеріалу, що залежать від механічних характеристик матеріалу;

7) визначене значення питомої потенційної енергії деформування множать на об'єм zdeформованого металу в елементі об'єму вузла ділильної сітки і отримують значення повної енергії для даної точки.

8) сумарна енергія пластичного деформування елемента визначається як сума енергії деформування всіх точок елемента.

В разі різного роду руйнувань елементів конструкції вимірювання твердості по поверхні зруйнованого металу стає неможливим, тому ступінь інтенсивності деформацій у формулі (2) запропоновано визначати за діаграмами пластичності та стійкості, в залежності від схеми напруженого стану, що мала місце перед руйнуванням.

Запропонований і інший варіант розрахунку питомої потенційної енергії zdeформованого металу за формулою

$$W_{num} = W_0 \exp \frac{\ln k_H / D}{C}, \quad (3)$$

де D і C – коефіцієнти апроксимації тарувального графіку у координатах коефіцієнт твердості k_H - питома потенційна енергія деформування W_{num} .

Співставлення результатів розрахунку енергії пластичного деформування запропонованими методами з її дійсними значеннями було проведено з допомогою прямого експерименту – деформування крила автомобіля ВАЗ 2101 в гідравлічному пресі ПММ-250 (рис. 3).



Рис. 3. Крило автомобіля ВАЗ 2101 на робочому столі пресу ПММ-250

Попередньо закріплене на рамі крило було пластично здеформовано на максимально можливу величину. Зусилля деформування фіксувалось за шкалою преси, а переміщення – за допомогою штангенциркуля. Добуток величини прогину на значення зусилля деформування дав результат фактичної роботи, що була виконана при деформуванні крила. Розрахунок енергії пластичного деформування по запропонованому алгоритму і співставлення отриманих значень показали розбіжність між результатами біля 7,3%.

При електрогідроімпульсному штампуванні метал деформується зі значною швидкістю. В роботах В. А. Огороднікова та В. Б. Кисельова встановлено, що коефіцієнти апроксимації кривої течії $\sigma_u = A\varepsilon_u^n$ змінюються і набувають нових значень:

$$A_v = A \left[1,045 + \frac{\ln(0,0027 + \dot{\varepsilon}_u)}{135} \right], \quad (4)$$

$$n_v = n \exp[-0,1273 \ln(1 + \dot{\varepsilon}_u)], \quad (5)$$

де $\dot{\varepsilon}_u$ - швидкість інтенсивності деформацій.

Відповідно крива течії набуває іншого вигляду, що впливає на енергопоглинання матеріалу, що зазнає деформування (рис. 4).

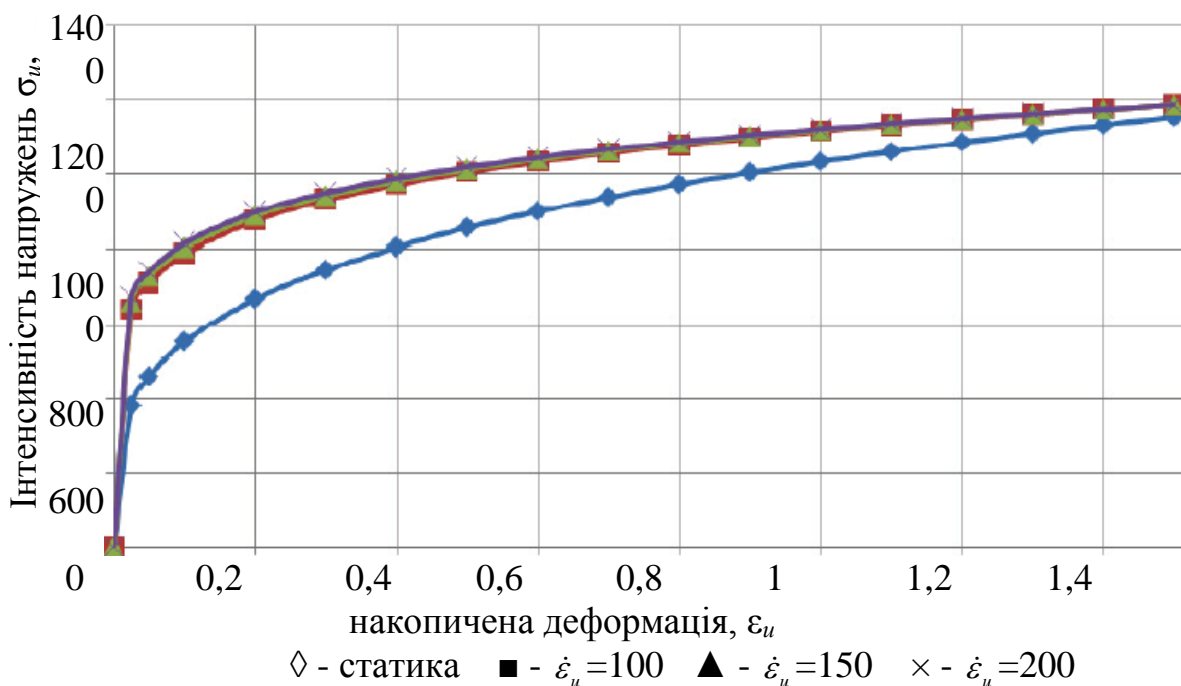


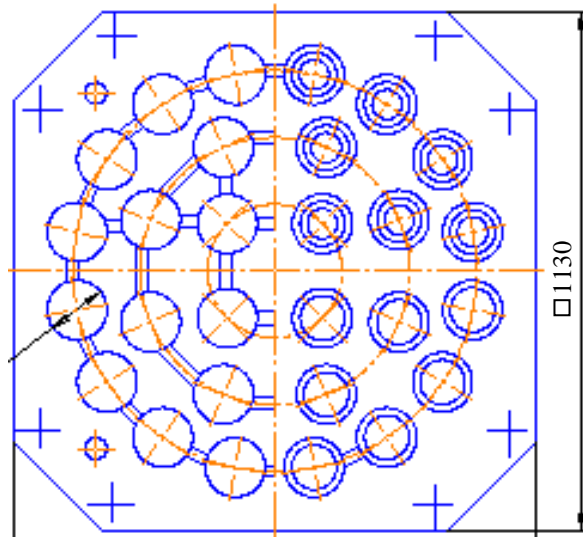
Рис. 4. Зміна кривої течії з врахуванням швидкісного ефекту

Наведено приклад розрахунку енергопоглинання конструкцією транспортного засобу в результаті удару о перешкоду з врахуванням швидкісного ефекту.

Встановлено, що врахування швидкісного ефекту дає приріст енергії пластичного деформування до 31%, що може бути вкрай важливим при розрахунку енергосилових параметрів процесів деформування із значними швидкостями деформацій.

Четвертий розділ присвячено дослідженню технологічній спадковості при електрогідроімпульсному штампуванні елементів конструкцій транспортних засобів.

Штампування здійснювалося на електрогідрравлічному пресі "ПЭГ-ХАИ-500" (рис. 5).



а)
 б)
 Рис. 5. Електрогідрравлічний прес "ПЭГ-ХАИ-500": а) загальний вигляд, б) робочий варіант розміщення порожнин багатоелектродного розрядного блоку

На розрядні елементи, що розміщені в порожнинах багатоелектродного розрядного блоку у певній послідовності подається напруга певної величини, в результаті чого вивільнюється енергія, що за допомогою робочої рідини – води передається до заготовки, що штампується.

Для дослідження напружено-деформованого стану отриманого в результаті технологічного процесу електрогідроімпульсного штампування даху мікроавтобуса (рис. 6) застосовано метод твердості.

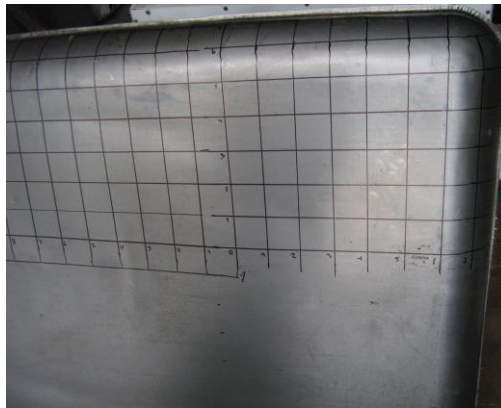


Рис. 6. Дах мікроавтобуса

В результаті проведених досліджень встановлено, що розподіл величин твердості, інтенсивності напружень та інтенсивності деформацій, по вузлах координатної сітки, що складають основні параметри технологічної спадковості, залежить від послідовності прикладання електророзрядів, їх координат у багатоелектродному розрядному блоці та напруги, що подається.

При штампуванні даху мікроавтобуса необхідно технологічно забезпечити мінімальне переміщення ділянок 1-8 при його подальшій експлуатації – можливій аварії. При цьому максимальний прогин вказаних ділянок, показаних на рис. 7, не повинен перевищувати 15 см. Це забезпечить необхідний рівень безпеки водієві і пасажирам у разі аварійної ситуації.

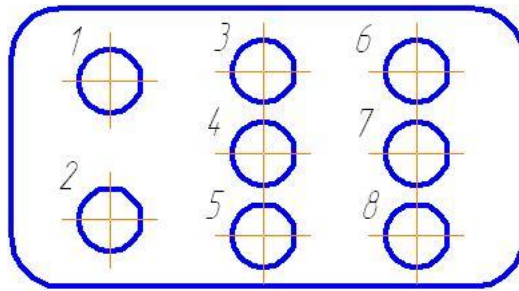


Рис. 7. Схема даху мікроавтобуса з розташуванням місць сидіння водія і пасажирів

Оскільки процес прогину елементів даху над головами водія та пасажирів за схемою деформування нагадує прогин круглих пластин, зацмєлєних по контуру, розроблені розрахункові залежності для визначення критичного зусилля, а також розподіленого навантаження деформування в залежності від величини прогину, товщини досліджуваного матеріалу, та його механічних характеристик.

$$P_{кр} = \frac{\beta \sigma_u t^2 \pi}{4}, \quad (6)$$

$$q_{кр} = \frac{\beta \sigma_u t^2}{4R^2}, \quad (7)$$

де R – радіус заготовки (рис. 8), що деформується, σ_u – інтенсивність напружень, яка є функцією інтенсивності деформацій e_u , β – коефіцієнт пропорційності, що змінюється в залежності від товщини пластин і визначається експериментально

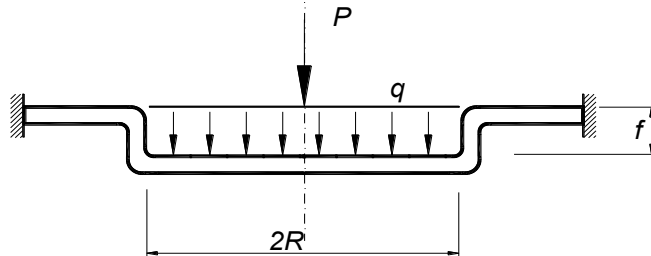
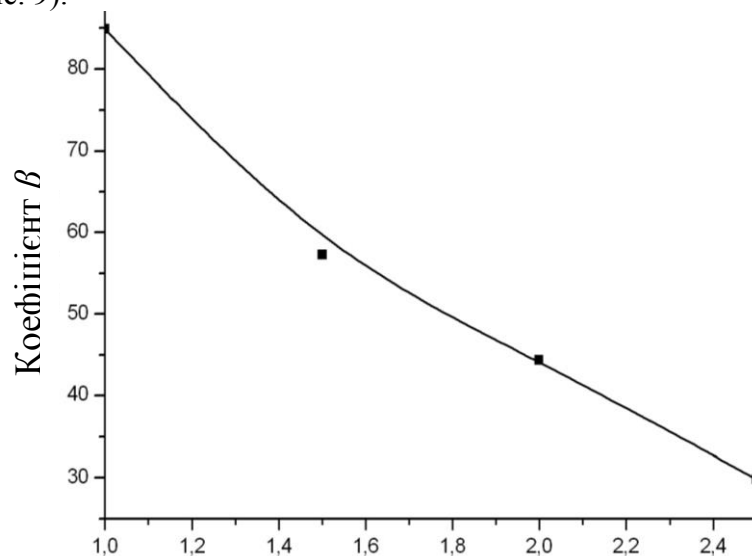


Рис. 8. Схема деформації листової заготовки циліндричним пуансоном

Експериментально встановлено залежність коефіцієнта β у формулах (6) та (7) від товщини листа t_0 (рис. 9).



Товщина листа t_0 , мм

Рис. 9. Залежність коефіцієнта β від товщини листа t_0

Для цього проводились експериментальні дослідження на листових зразках у вигляді круглих пластин із сталі 08кп, діаметром $\varnothing 100$ мм різної товщини. Зразки виготовлялися з одного листа товщиною 2,5 мм, після чого шліфувалися до різних товщин: $t_0 = 1$ мм; 1,5 мм; 2 мм. Конструкція пристосування дозволяє затискати пластини по контуру, при цьому можна вимірювати твердість в умовах консольного провисання пластин, або за наявності жорсткої опори. На пластинах вимірювали твердість, при цьому середнє значення 10 вимірювань приймали за початкове число твердості. Потім кожна пластина, затиснена по контуру, деформувалася жорстким циліндричним пуансоном до різних ступенів деформацій.



Рис. 10. Пристосування для прогину круглих пластин, защемлених по контуру

На кожному ступені деформування фіксувалося зусилля деформування та вимірювався прогин пластини за допомогою індикатора годинникового типу. Також вимірювалася твердість у вузлах заздалегідь нанесеної ділильної сітки.

Було отримано експериментальну залежність прогину від зусилля деформування для пластин різної товщини.

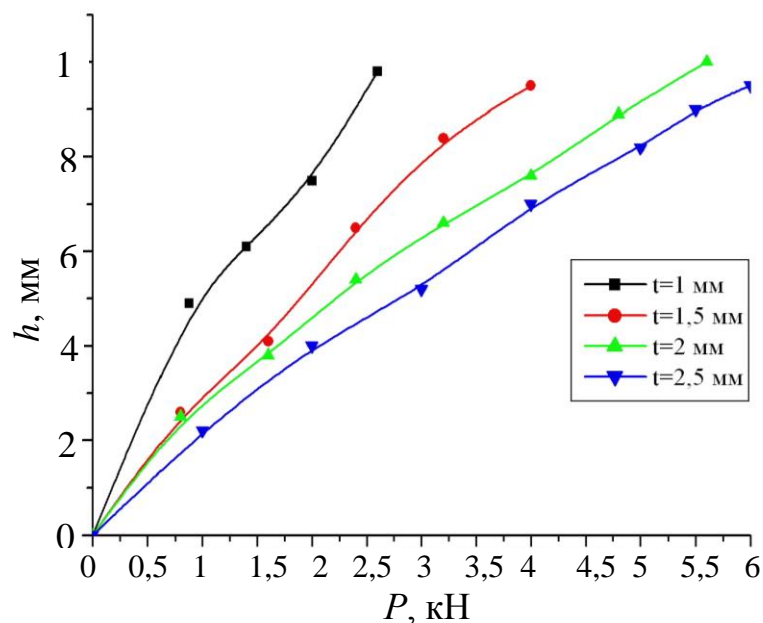


Рис. 11. Залежність глибини прогину h від зусилля деформування P

Запропоновані розрахункові залежності і експериментально визначені поправкові коефіцієнти до них дають можливість проводити інженерні розрахунки зусилля деформування при прогині круглих пластин, проводити розрахунок енергосилових параметрів на певних етапах технологічних операцій витяжки й формовки, оскільки вони мають подібну схему деформування.

Розроблено метод визначення напрямку головної деформуючої сили, що оснований на роботах В. А. Огороднікова та Г. Д. Деля.

По поверхні zdeформованого елемента (рис. 12) будуються ізолінії твердості (рис. 13).

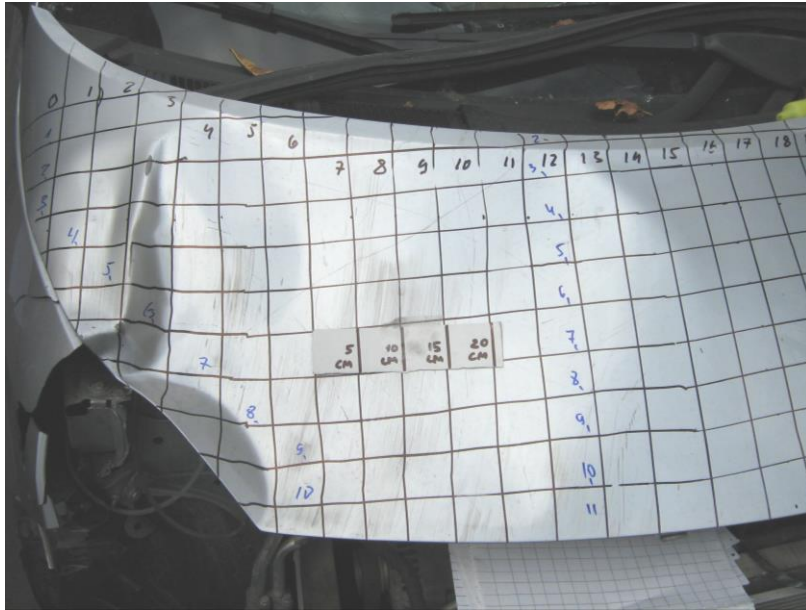


Рис. 12. Здеформований капот автомобіля

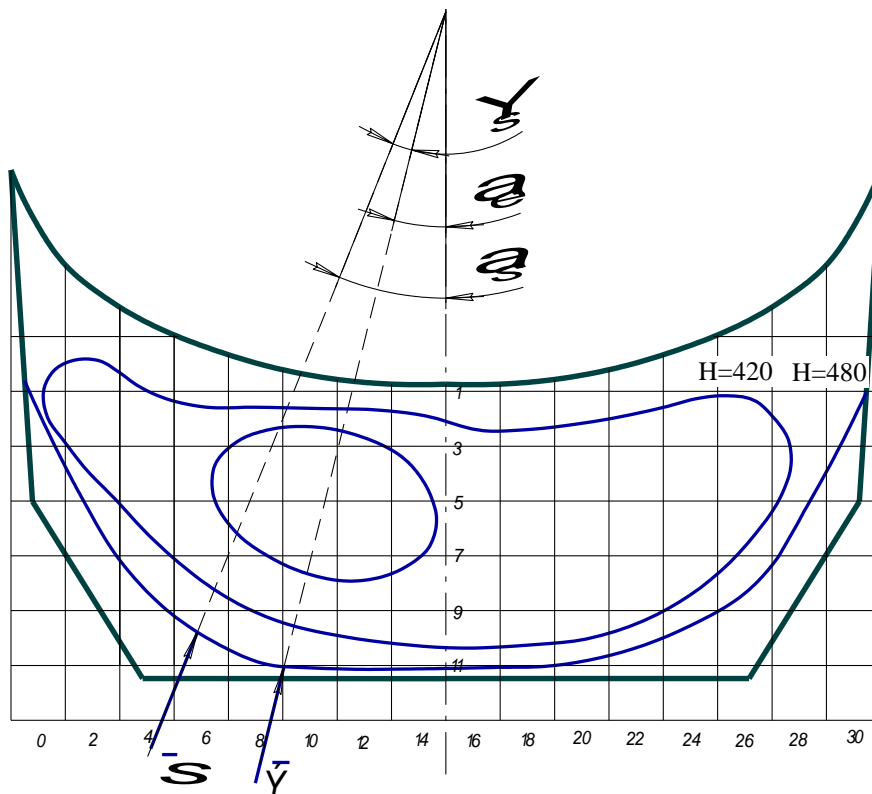


Рис. 13. Ізолінії твердості на zdeформованому капоті автомобіля

Напрямок вектору головних деформацій α_ε визначається напрямком перпендикуляру до дотичної, проведеної до ізолінії твердості.

Кут розузгодження між векторами головних напружень і головних деформацій визначається за формулою

$$\operatorname{tg} \psi_\sigma = \frac{\sqrt{3} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{4}{3} \operatorname{tg}^2 \varphi_\sigma} - 1 \right)}{1 + 3 \cdot \sqrt{1 + \frac{4}{3} \operatorname{tg}^2 \varphi_\sigma}}, \quad (8)$$

де φ_σ - кут між головною віссю і вектором $\bar{\sigma}$, який в свою чергу визначається із залежності

$$\operatorname{tg} \varphi_\sigma = \frac{\tau_u}{\sigma_u}, \quad (9)$$

де τ_u - інтенсивність дотичних напружень при ступені деформації $e_u = \text{const}$, прийнятій як основної ізолінії накопичених деформацій матеріалу капота, $\bar{\sigma}_u$ - інтенсивність напружень (еквівалентне напруження для матеріалу з анізотропним зміцненням).

Напрямок головної деформуючої сили визначається кутом

$$\alpha_\sigma = \alpha_\varepsilon + \psi_\sigma. \quad (10)$$

Розроблені рекомендації щодо вдосконалення процесу листового електрогідроімпульсного штампування даху мікроавтобуса, що забезпечується вмиканням робочих елементів багатоелектродного розрядного блоку саме у місцях даху, що співпадають місцям сидіння водія та пасажирів мікроавтобуса.

Кількість робочих елементів розрядного блоку визначається співвідношенням сумарної енергії пластичного деформування елемента до енергії, що вивільнюється при подачі напруги на один електрод.

Діагностуючи механічні характеристики листових заготовок за твердістю можна уточнювати значення енергії пластичного деформування процесу та коригувати кількість задіяних робочих електродів. Такий підхід дає змогу значно зменшити кількість бракованих деталей і отримувати деталі необхідної форми.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена дослідженню процесів листового електрогідроімпульсного штампування елементів конструкцій транспортних засобів. Роботу спрямовано на вирішення актуальних завдань машинобудівного виробництва – забезпечення необхідних параметрів технологічної спадковості при електрогідроімпульсному листовому штампуванні елементів конструкцій для підвищення їх безпечності. В результаті проведення досліджень досягнута поставлена мета - підвищено безпечність конструкцій шляхом керування параметрами технологічної спадковості у процесах електрогідроімпульсного штампування їх елементів.

1. Отримав подальший розвиток метод побудови тарувальних графіків для листових матеріалів, який дозволяє використовувати значення твердості, виміряні методом Ліба. Встановлено, що вимірювання твердості по Лібу дає достовірні результати для тонколистових матеріалів, товщиною від 0,8 мм і практично не залежить від умов закріплення зразків.

2. Удосконалено метод побудови діаграм пластичності для листових матеріалів і розроблено конструкцію зразка для випробування на розтяг, що дає змогу виключити вплив додаткових деформацій при зазначених випробуваннях.

3. Розроблено експериментально-розрахунковий метод визначення енергосилових параметрів процесу прогину круглих тонколистових пластин, защемлених по контуру. Отримано розрахункові залежності та поправкові коефіцієнти для них.
4. Розроблено методика аналізу напружено-деформованого стану в технологічних процесах штампування кузовних деталей та параметрів технологічної спадковості, що закладаються при їх штампуванні та досліджено їх вплив на експлуатаційні характеристики отримуваних виробів.
5. Удосконалено експериментально-розрахунковий метод визначення енергії пластичного деформування листових матеріалів в процесах холодного штампування і енергопоглинання елементами конструкцій в результаті дії динамічних навантажень при ДТП. Використання запропонованих підходів дає можливість проводити розрахунок енергії пластичного деформування як у процесах обробки металів тиском, так і при експлуатаційному деформуванні конструкцій.
6. Розроблені рекомендації, щодо врахування швидкісного ефекту при розрахунку енергопоглинання конструкцій транспортних засобів під дією динамічних навантажень. Встановлено, що врахування швидкісного ефекту дає приріст енергопоглинання конструкції до 31%.
7. Розроблено експериментально-розрахункового метод визначення напрямку головної деформуючої сили по залишковому формозміненню деталей з листового матеріалу.
8. Дослідження впливу технологічної спадковості на експлуатаційні характеристики крила автомобіля ВАЗ 2101 (енергопоглинання в результаті удару) дало змогу сформувати алгоритм визначення енергії пластичного деформування, який в подальшому може бути використаний при оцінці енергетичних витрат на формозміну листового матеріалу як в процесах обробки металів тиском, так і в процесах деформування при експлуатації елементів конструкцій транспортних засобів.
9. Удосконалено процес електрогідроімпульсного листового штампування кузовних деталей шляхом вибору параметрів розміщення робочих електродів розрядного блоку відносно заготовки. Це забезпечує необхідні параметри технологічної спадковості, що підвищують безпечність конструкції.
10. Рекомендації з удосконалення процесів електрогідроімпульсного листового штампування дають змогу раціонально обирати кількість робочих елементів пресу в залежності від механічних характеристик вихідних заготовок.
11. Результати досліджень по розрахунку енергосилових параметрів процесів та параметрів технологічної спадковості деталей, виготовлених електрогідроімпульсним штампуванням, впроваджено та використано в товаристві з обмеженою відповідальністю "Науково-технічний центр "Автополіпром" (м. Львів).
12. Результати роботи використано в Вінницькому відділенні Київського науково-дослідного інституту судових експертиз Міністерства юстиції України (м. Вінниця) при визначенні енергії пластичного деформування елементів конструкцій транспортних засобів, здеформованих в результаті дорожньо-транспортних пригод.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Огородников В. А. Приложение теории деформируемости к задачам автотехнических экспертиз / Огородников В. А., Перлов В. Е., Побережный М. И. // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – 2007. - №1(7). – С. 105-110.
2. Огородников В. А. Алгоритм определения энергии деформации элементов конструкций из листовых материалов / Огородников В. А., Перлов В. Е., Побережный М. И. // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні (Зб. наук. праць ДДМА). – Краматорськ, 2008. – С. 135-140.
3. Огородников В. А. Диагностика материалов в задачах технологической механики и автотехнических экспертизах / Огородников В. А., Перлов В. Е., Кирица И. Ю. // Вісник

Національного технічного університету України "КПІ". Серія: "Машиностроение" – 2008 - №52. – С. 21-26.

4. Огородніков В. А. Чутливість арматурної сталі до швидкості деформування / Огородніков В. А., Перлов В. Є., Бікс Ю. С. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. - №4. – С. 73-76.

5. Огородніков В. А. Учет скоростного эффекта при расчете энергии пластической деформации конструкций транспортных средств / Огородніков В. А., Перлов В. Е. // Вісті академії інженерних наук України. – 2009. - №1(38). – С. 121-125.

6. Огородніков В. А. Визначення енергії пластичної деформації елементів конструкцій транспортних засобів і параметрів розкриття подушок безпеки при ДТП / Огородніков В. А., Перлов В. Є. // Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету. Серія: технічні науки – Вінниця, 2009 - №3 – С. 5-9.

7. Огородніков В. А. Энергия пластической деформации элементов конструкций транспортных средств при ДТП / Огородніков В. А., Перлов В. Е. // Актуальні питання і організаційно-правові засади співробітництва України і КНР в сфері високих технологій : IV міжнародна науково-практична конф. 2 червня, 2009 р. – Київ, 2009 – С. 92-97.

8. Перлов В. Є. Енергія деформації при випробуванні матеріалів // XXXV наук.-техн. конф. проф.-викл. складу, співробітників та студентів університету з участю працівників наук.-дослід. орг. та інженерно-тех. працівників підприємств м. Вінниці та області. Вінниця, 21-24 березня 2006 р. – Вінниця, 2006. – С. 144.

АНОТАЦІЯ

Перлов В. Є. Технологічна спадковість в процесах листового штампування при створенні безпечних конструкцій. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2010.

Дисертація присвячена удосконаленню процесів електрогідроімпульсного листового штампування при створенні безпечних конструкцій транспортних засобів.

Робота направлена на розв'язання актуальних задач машинобудівного виробництва – забезпечення параметрів технологічної спадковості отримуваних виробів для підвищення безпечності конструкцій.

У роботі досліджений технологічний процес електрогідроімпульсного штампування на електрогідрравлічному пресі "ПЭГ-ХАИ-500" виробів типу "дах".

Для удосконалення розглянутого технологічного процесу досліджено його механіку. Проаналізовано інформацію, про напружено-деформований стан, що дозволило, дати оцінку параметрів технологічної спадковості отримуваних виробів. Дослідження напружено-деформованого стану виробу засновані на використанні методу твердості. Аналіз впливу параметрів процесу на експлуатаційні характеристики отримуваного виробу дали змогу сформулювати рекомендації щодо вибору параметрів технологічного процесу, які б забезпечували бажану технологічну спадковість отримуваного виробу.

Ключові слова: напруження, деформації, електрогідроімпульсне штампування, технологічна спадковість, енергопоглинання, безпечність конструкцій.

АННОТАЦИЯ

Перлов В. Е. Технологическая наследственность в процессах листового штампования при создании безопасных конструкций. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.05 – процессы и машины обработки давлением. – Винницкий национальный технический университет, Винница, 2010.

Диссертация посвящена усовершенствованию процессов электрогидроимпульсной листовой штамповки при создании безопасных конструкций транспортных средств.

Работа направлена на решение актуальных задач машиностроительного производства – обеспечение параметров технологической наследственности получаемых изделий для повышения безопасности конструкций.

В работе исследован технологический процесс электрогидроимпульсной листовой штамповки на электрогидравлическом прессе "ПЭГ-ХАИ-500" элементов конструкций транспортных средств. Управление основными параметрами технологического наследия рассмотрено на примере штампуемой детали "крыша" микроавтобуса.

Для усовершенствования рассмотренного технологического процесса исследована его механика. Проанализирована информация о напряженно-деформированном состоянии, что позволило, дать оценку параметров технологической наследственности получаемых изделий. Исследования напряженно- деформированного состояния изделия основаны на использовании метода твердости с использованием переносного динамического твердомера "ТЕМП-3". Анализ влияния параметров процесса на эксплуатационные характеристики получаемого изделия дали возможность сформулировать рекомендации относительно выбора параметров технологического процесса, которые бы обеспечивали желаемое характеристики прочности и жесткости получаемого изделия при ДТП. В работе даны рекомендации по рациональному выбору количества рабочих электродов в зависимости от механических характеристик исходных заготовок.

Обосновано использование измерений твердости листового металла методом отскока и установлено, что изменение параметров закрепления образцов незначительно влияет на результаты измерений.

Усовершенствован метод определения энергии пластического деформирования при формоизменении элементов из листового материала. Предложены рекомендации по учету скоростного эффекта на энергопоглощение элементов конструкций и конструкций транспортных средств в целом при ДТП.

Разработан метод определения направления главной деформирующей силы при деформировании элементов конструкций из листовых материалов.

Разработан экспериментально-расчетный метод расчета энергосиловых параметров процесса прогиба круглых пластин, заземленных по контуру. Экспериментально получены поправочные коэффициенты, позволяющие рассчитывать энергосиловые параметры на начальных этапах процессов вытяжки и формовки, с учетом механических характеристик и геометрических размеров образцов.

Ключевые слова: напряжение, деформации, электрогидроимпульсная штамповка, технологическая наследственность, энергопоглощение, безопасность конструкций.

ANNOTATION

Perlov V. Y. Technological heredity in the process of sheet pressing at a fail-safe designs creation. – A manuscript.

Dissertation for obtaining the Scientific Degree of Candidate of Sciences (Ph. D. in Technacal Sciences) in the speciality 05.03.05 – Processes and Machines for Plastic Working. – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2010.

The thesis deals with the improvement of the electro-hydro-impulse sheet pressing processes while vehicles fail-safe designs creation.

The work aimed at the current problems of the mechanical-engineering production – providing the technological heredity parameters of the derived products for the fail-safe designs enhancing.

In the thesis it has been investigated the technological process of the electro-hydro-impulse pressing of the products such as "roof" on the electro-hydraulic press "PEG-HAI-500".

To improve the investigated technological process it has been studied its mechanism. It has been analyzed the information on the stress-strain state, which allowed to evaluate the parameters of

the derived products technological heredity. The product stress-strain state investigation is based on the hardness method use. The analysis of the process parameters impact on the derived products performance features gave the possibility to formulate the recommendations on the technological process parameters selection that ensure the desired technological heredity of the derived products.

Key words: stress, strain, electro-hydro-impulse pressing, technological heredity, energy absorbing, fail-safe designs.

Підписано до друку 26.10.2010 р. Формат 29.7×42¼
Наклад 100 прим. Зам. № 2010 - 179
Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету
м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 59-81-59