

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Молоштан Дмитро Васильович



УДК 629.083:621.9

**УДОСКОНАЛЕННЯ ВИРОБНИЦТВА ТА РЕМОНТУ ЛИСТОВИХ
ДЕТАЛЕЙ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертація є рукописом.

Робота виконана у Кременчуцькому національному університеті імені Михайла Остроградського Міністерства освіти і науки України, м. Кременчук.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Драгобецький Володимир Вячеславович,
Кременчуцький національний університет
імені Михайла Остроградського
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри технології машинобудування
(м. Кременчук).

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Посвятенко Едуард Карпович,
Національний транспортний університет
Міністерства освіти і науки України,
професор кафедри виробництва, ремонту та
матеріалознавства (м. Київ);

кандидат технічних наук, доцент
Бакалець Дмитро Віталійович
Вінницький національний технічний
університет
Міністерства освіти і науки України,
доцент кафедри галузевого машинобудування
(м. Вінниця).

Захист відбудеться «28» вересня 2021 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.03 при Національному транспортному університеті за адресою: 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, аудиторія 209.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного транспортного університету за адресою: 01103, м. Київ, вул. Бойчука, 42.

Автореферат розіслано «26» серпня 2021 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.059.03



С. В. Ковбасенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Кузовні деталі належать до основних та найбільш складних і трудомістких у виготовленні елементів конструкції транспортного засобу (наземного, повітряного, морського). Окрім того, кузовні деталі є основою конструкції транспортного засобу, яка об'єднує у силовому аспекті в єдине ціле всі його частини. Ресурс кузова в цілому значною мірою визначає експлуатаційну довговічність наземного транспорту загалом. На ресурс кузовних деталей, які зазвичай виготовленні з листа штампуванням, впливають корозія, експлуатаційні та дорожньо-транспортні пошкодження. Резервом підвищення довговічності кузовних, у тому числі й листових деталей (ресори, ободи коліс та ін.), є комплекс технологічних засобів і раціональний вибір технологічних параметрів процесу їх виготовлення листовим штампуванням.

Забезпечення експлуатаційної довговічності та надійності транспортних засобів здійснюється у процесі конструктивно-технологічного формування транспортного засобу у цілому, незалежно від його експлуатації та ремонту. Розв'язання цього завдання стосовно облицювальних, кузовних і корпусних деталей транспортних засобів забезпечується завдяки використанню прогресивних конструкторських заходів. Це конструкції оптимальних форм і розмірів із швидкозмінними, легкоушкоджуваними елементами необхідної жорсткості та податливості, зменшення діючих у транспортних засобах динамічних навантажень з використанням сучасних засобів захисту в процесі виробництва і ремонту забезпечення умов рівномірності деталей та елементів конструкції; забезпечення ремонтної технологічності конструкцій; зниження трудомісткості всіх видів ремонту; консерваційна стійкість транспортних засобів з урахуванням дії навколишнього середовища в процесі експлуатації та зберігання; своєчасне усунення експлуатаційних пошкоджень кузовних деталей.

У цілому для випуску транспортних засобів з технічно-передовими, високоякісними економічними показниками необхідно від початку їх створення для ремонту використовувати та розвивати метод конструктивно-технологічного формування.

Важливим завданням на сьогодні є упровадження інноваційних технологій та засобів щодо підвищення ресурсу експлуатаційних характеристик і зниження трудомісткості всіх видів ремонту.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота проводилася згідно з напрямками наукових шкіл Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського в рамках виконання таких науково-технічних програм: Закон України про пріоритетні напрями науки й техніки в Україні, ст. 7 п. 6 «Новітні технології в енергетиці, промисловості, агропромисловому комплексі»; госпдоговірні роботи: «Розробка технології формозмінювання та проектування штампа для холодного деформування листа верхньої проміжної балки», № 127/108 – Тмаш–Укрспецвагон», «Удосконалення технології виготовлення листових деталей вигинанням» № 202/10 – Тмаш–Кредмаш, «Удосконалення технології та обладнання для гнуття профільних та листових деталей пасажирських вагонів», № 242/12 – Тмаш–КрВЗ; договір № 359/16-«ТМаш–КрАЗ» на виконання науково-дослідних робіт між

Кременчуцьким національним університетом імені Михайла Остроградського та ПАТ «АвтоКрАЗ» «Розрахунок процесу стійкості спеціалізованих броньованих автомобілів КрАЗ «Shrek» та КрАЗ «Fiona» при динамічному вибуховому навантаженні» (Термін виконання: 15.10 – 30.11.2016 р.).

Автор брав участь у цих роботах як виконавець.

Мета та завдання дослідження. Мета роботи – підвищення довговічності листових деталей транспортних засобів з удосконаленням технологій їх виробництва, ремонту і відновлення методами самочинного та послідовного листового штампування й вакуумного рихтування на підставі комплексного моделювання життєвого циклу деталей та їх формоутворення.

Для досягнення поставленої мети визначені та розв’язані такі *завдання*:

- аналіз на всіх етапах виробництва, експлуатації та ремонту листових деталей чинники, що впливають на оптимальну довговічність і надійність транспортних засобів для визначених умов експлуатації, що дозволить визначити актуальний напрям подальшого удосконалення технології листового штампування та метод конструктивно-технологічного формування;

- розробка та обґрунтування методів та заходів підвищення довговічності та експлуатаційної надійності листових деталей транспортних засобів на підстав моніторингу їх життєвого циклу та формалізації залежності параметрів експлуатаційних характеристик від показників деформованого стану та схеми штампування;

- розробка класифікації листових деталей транспортних засобів для формування моделі начального стану деталей та їх функціонального призначення;

- розробка методу прогнозування експлуатаційної довговічності листових деталей транспортних засобів завдяки синтезу математичних моделей начального стану заготовки, технологічних процесів формування, еволюції службових параметрів, зношування деталей, накопичення пошкоджень, відновлюваного ремонту;

- розробка та проєктування менш трудомістких методів ремонту та відновлення листових деталей транспортних засобів;

- розробка та експериментальна перевірка методу розрахунку деформованого стану деталей під час їх штампування, прийнятих припущень та отриманих аналітичних залежностей;

- розробка експериментально аналітичного методу розрахунку експлуатаційної довговічності листових деталей в умовах експлуатаційних навантажень;

- апробація технічних рішень та практичних рекомендацій, що спрямовані на підвищення експлуатаційної надійності листових деталей транспортних засобів та їх ресурсу.

Об’єкт дослідження – вплив технологічних процесів виготовлення та ремонту листових деталей транспортних засобів на забезпечення їх ресурсних характеристик.

Предмет дослідження – створення наукових засад і методів розрахунку параметрів та управління ресурсом й технічним станом листових деталей транспортних засобів транспортної техніки на стадії виробництва та ремонту.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження впливу консультативно-технологічних процесів на зносо- та корозійну стійкість листових деталей транспортних засобів; системний аналіз процесів формування запланованого ресурсу та надійності транспортних засобів на стадіях використання «фонду» накопичених знань визначення стратегії проєктування транспортного засобу і технологічних засобів, що реалізують запланований ресурс; морфологічний аналіз і класифікація технології відновлення та ремонту листових деталей транспортних засобів; експериментально-аналітичне визначення ресурсу деталі на втомну міцність і зносостійкість; чисельне моделювання у процесі виготовлення ремонтних листових деталей та експериментальна перевірка отриманих результатів; комплексне моделювання життєвого циклу листових деталей транспортних засобів.

Наукова новизна отриманих результатів:

- удосконалено метод конструктивно-технологічного формування із залученням до методу складових, що пов'язані з аналізом фонду накопичених знань та умов експлуатації, що надає можливість від початку створення транспортних засобів забезпечити задані експлуатаційні властивості якісні та економічні показники;

- удосконалено метод прогнозування ресурсу листових деталей транспортних засобів завдяки синтезу математичних моделей: начального стану заготовки, технологічних процесів виробництва листових деталей, з визначенням оптимального деформованого стану деталей для їх експлуатації в умовах корозійного впливу абразивного зношування та знакозмінних навантажень, та еволюції властивостей матеріалів під час їх обробки й експлуатації, відновлення та ремонту, що забезпечує зменшення витрат, оцінювання еволюції властивостей матеріалів під час виробництва та після ремонту та подальшої експлуатації;

- уперше розроблено експериментальний метод визначення ресурсу листових деталей, які працюють на втомну міцність (ободи коліс, ресори), що дозволяє коректувати технології їх виготовлення і зміцнювання пластичним деформуванням;

- уперше поставлено та розв'язано завдання розрахунку напруженодеформованого стану вм'ятин унаслідок їх рихтування вакуумом, що дозволяє визначити потрібні силові параметри процесу вакуумного рихтування.

Практичне значення одержаних результатів: визначено ефективні ремонтні технології виготовлення листових деталей пасажирських і вантажних вагонів «Лист верхній шкворневої балки» та «Кришка люка»; визначено розширення технологічних можливостей ремонтного обладнання; надано і апробовано новий спосіб отримання листових деталей з елементами жорсткості («Лист верхній шкворневої балки») за послідовного виконання вільного вигинання. Новизну запропонованих заходів підтверджено патентами України; удосконалено конструкції штампів для формозміни листових деталей з елементами жорсткості завдяки самочинному та послідовному формуванню-

втягуванню». На стадії проектування визначені параметри технологічних процесів листового штампування з мінімальною інтенсивністю деформацій, що сприяє підвищенню їх корозійної стійкості розроблено експериментально-аналітичний метод прогнозування ресурсу листових деталей, що працюють на втомні навантаження (ободи коліс автомобілів і ресори); запропоновано рекомендації щодо вибору технологічних операцій зовнішнього вакуумного рихтування облицювальних і кузовних деталей автомобілів залізничного транспорту; передано для промислового освоєння рекомендації щодо впровадження технологічних процесів технологічного оснащення для штампування листових деталей з елементами жорсткості на ПрАТ «АвтоКрАЗ» і ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» м. Кременчук та інші.

Особистий внесок здобувача. Здобувачем розроблено алгоритм математичного моделювання процесу ударно-абразивного зношування деталей гірничого обладнання [4, 14, 7]; удосконалено математичну модель прогнозування й формування механічних властивостей у технологічних циклах металообробки [2, 3, 10, 13]; визначено залежності для оцінювання деформованого стану заготовки при подвійному згинанні [2, 12]; розроблено алгоритм й методи управління інтенсифікуючи ми факторами при пластичному деформуванні [8, 9, 15]; визначено комплекс варіантів рішення аспектів проблеми при формуванні морфологічної моделі та визначення резервів економії матеріалів при листовому штампуванні [5, 8, 17]; взяв участь у постановці завдання та аналізі процесів транспортного забезпечення [1, 11, 16]; брав безпосередню участь в організації та проведенні експериментів і впровадження розробок у виробництво [15, 17].

Апробація результатів дисертації. Основні концептуальні положення роботи доповідалися автором, обговорювалися та були схвалені на міжнародних науково-технічних конференціях: матеріали XVII Міжнародної науково-технічної конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів». Кременчук: КрНУ, 2017; Міжнародна науково-технічна конференція «Технології та інфраструктура на транспорті», 14–16 травня 2018 р. Харків, 2018; International scientific and practical conference «Prospects for the development of technical sciences in eu countries and ukraine» Wloclawek, Republic of Poland, December 21-22, 2018. Wloclawek: Izdevnieciba «Baltija Publishing»; Міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту – 2019»: Збірник тез. Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс і К», 2019; 2020 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES). Kremenchuk Mykhailo Ostrogradskyi National University, Ukraine, September, 2020.

Публікації. Основні положення дисертації опубліковано у 17 наукових працях, з яких: 1 стаття у зарубіжному науковому періодичному виданні включеному до наукометричної бази Scopus, 1 стаття у фаховому виданні України, віднесеному до категорії «А», Q2 SCImago Journal and Country Rank і включеному до наукометричної бази Scopus, 5 статей у фахових виданнях України, віднесених до категорії «В»; 6 тез доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях, з яких 2 включені до наукометричної бази Scopus.

Структура дисертації. Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи – 186

сторінок, у тому числі обсяг основного тексту – 150 сторінок, 42 рисунки, 19 таблиць, список використаних джерел із 126 найменувань, 2 додатки на 6 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність наукового завдання, наведено загальну характеристику роботи, сформульовано мету роботи і завдання дослідження, показано зв'язок з науковими програмами, планами, темами, подано характеристику наукової новизни та практичної цінності отриманих результатів, наведено дані про апробацію і впровадження отриманих результатів, визначено особистий внесок здобувача.

У **першому розділі** надано аналітичний огляд особливостей виробництва листових деталей (кузовних, облицювальних, ободів коліс, ресор та ін.) в умовах вагонобудівних, автомобілебудівних і ремонтних підприємств. Наведено аналітичний огляд літературних джерел, у якому надані методи теоретичних і експериментальних досліджень та рекомендацій вітчизняних і закордонних авторів щодо розрахунку напруженодеформованого стану та геометрії заготовки під час формування елементів жорсткості для плоских листових деталей.

Суттєвий внесок у розвиток теорії та практики науковообґрунтованих технологічних і експлуатаційних засобів підвищення ресурсу деталей транспортних засобів зробили такі вітчизняні та зарубіжні вчені: Бакалець Д. В., Бутко Т. В., Єлізаветін М. А., Гаврилов Е. В., Гнатов А. В., Гребеніков А. Г., Доля І. К., Дмитриченко М. Ф., Лановий О. Т., Линник І. Е., Поліщук І. П., Посвятенко Е. К., Решетніков Д. Н., Сатель Е. А., Савуляк В. І., Солтус А. П., Enahoro H., Trent N.

Розглянуто також технологію відновлення кузовів транспортних засобів рихтуванням. Систематизовано технологічні процеси листового штампування та найбільш сприятливі засоби для підвищення ресурсних характеристик. Проведено аналіз методів формування листових деталей транспортних засобів. Перевагу надано технологіям і технологічному оснащенню, які спрямовані на створення умов для самочинного деформування заготовок (рис. 1–2) під дією реактивних складових.

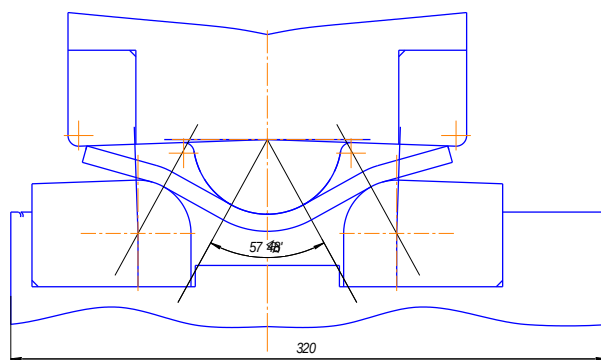


Рисунок 1 – Вигинання деталі «Накладка» ступеневим пуансоном



P_1, P_2 – деформувальні зусилля; M_1 – реактивний момент; 1-4 – заготовка та її елементи; 5 – підпружинений пуансон

Рисунок 2 – Схема самочинної формозміни рифта

Необхідність досліджень також пов'язано з незадовільним станом залізничного та автомобільного транспорту (рис. 3).



Рисунок 3 – Технічний стан кузовних деталей транспортних засобів

Проведений огляд літературних джерел і визначення потреб промисловості дозволили сформулювати мету та завдання дослідження. Питання, спрямовані на підвищення ресурсу листових деталей транспортних засобів на етапі їх виробництва, майже не розглядалися в літературних джерелах, зокрема розділових операцій листового штампування.

Другий розділ присвячений вибору та обґрунтуванню напрямів і методів теоретичних та експериментальних досліджень, визначенню ефективних методів забезпечення експлуатаційних і ресурсних характеристик листових деталей транспортних засобів й технологічного моніторингу на етапі їх виробництва і ремонту з визначенням найбільш технологічних методів ремонту відпрацьованих деталей та усунення пошкоджень.

Під час вибору та обґрунтування способів формозмінювання листових деталей дослідження спрямовані на зменшення деформувальних зусиль, розширення технологічних можливостей обладнання та технологічного оснащення в умовах ремонтних підприємств і підприємств, обладнання яких не використовують на повну потужність. Розглянуто два типи деталей – «Лист верхній шкворневої балки» та «Кришка люка» (рис. 4) у ремонтному виконанні.

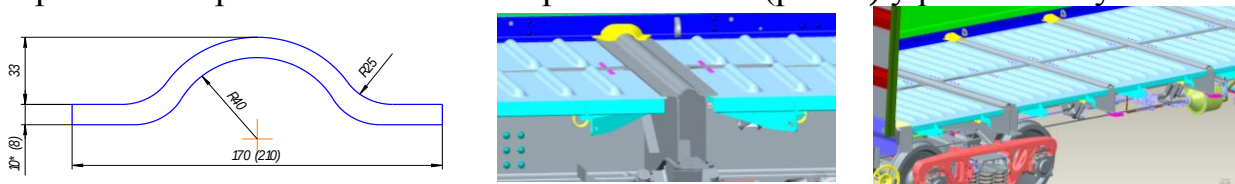
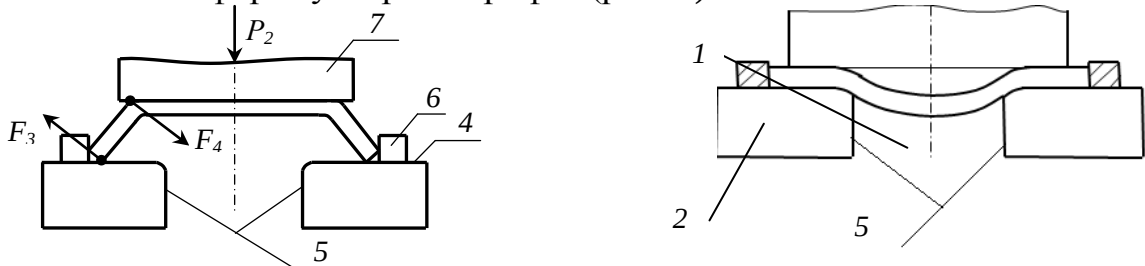


Рисунок 4 – Деталі «Лист верхній шкворневої балки», «Кришка люка» та «Накладка»

Стосовно деталей «Лист верхній шкворневої балки», «Накладка» наявна технологія суттєвого зниження зусиль формоутворення досягається в процесах гнуття ступеневим пуансоном унаслідок його обтискування, та за новою схемою самочинного формоутворення рифта (рис. 5).



1 – заготовка; 2 – полка; 3 – оправка (див. рис. 2); 4, 5 – елементи матриці;
6 – фіксувальні планки; 7 – пуансон

Рисунок 5 – Нова схема самочинного формоутворення рифта

За новою технологічною схемою потрібне зусилля формоутворення рифта зменшується у 2–5 разів. Основні напрями вибору заходів щодо забезпечення життєвого циклу листових деталей транспортних засобів пов'язані з технологічною реалізацією ефекту Баушингера під час складного втягування корпусних і облицювальних деталей автомобілів, зменшення та усунення впливу фретинг-корозії, формування стінок отворів у деталях і бар'єрного обтискання листових деталей у зоні отворів, поєднання пластичної деформації з використанням інгібіторів корозії, забезпечення більш рівномірного розподілу деформацій під час штампування.

У третьому розділі розглянуто теоретичні дослідження технології ремонту та підвищення ресурсу листових деталей транспортних засобів експлуатації. Залежно від конкретних умов роботи, що впливають на ресурс роботи листових деталей транспортних засобів, їх поділяють на такі групи:

- основний чинник, що визначає ресурс деталей цієї групи – це абразивне зношування: до складу цієї групи входять кузовні деталі, «Скати», «Склізи», «Кришка люків» та ін.;
- домінуючий чинник, що лімітує ресурс – це корозійно-механічне або молекулярно-механічне зношування. Ця група більш чисельна, до неї належать облицювальні деталі, «Балка», «Рама», «Лонжерони» та ін.;
- чинник, що визначає ресурс деталей за втомною міцністю;
- ресурс деталі залежить одночасно від комбінації чинників: зношування, корозія, утомна міцність.

Традиційно для прогнозування життєвого циклу деталей, одержуваних методами листового штампування, використовують експериментальні методи і статистичні дані. Однак більш ефективно і менш затратне у цьому випадку застосування методів математичного моделювання. Це надає найбільш точну і достовірну оцінку надійності деталей та безпеки їхньої експлуатації. До того ж, застосування методів розрахунку дозволяє розробити комплекс заходів щодо підвищення термінів експлуатації транспортних засобів. Отже, проектування, виробництво, експлуатація та ремонт транспортних засобів необхідно проводити з урахуванням необхідної і прогнозованої довговічності.

Для формування розглянутого методу розрахунку необхідно використовувати математичне моделювання: технологічних процесів виготовлення деталей, початкового стану заготовки, еволюції службових параметрів, структурних перетворень, накопичення ушкоджень, відновлення і ремонту деталей, зношування деталей.

Моделювання процесів листового штампування не викликає ускладнень. Наявні моделі процесів формоутворення ефективні та достовірні. Удосконалення моделей пов'язано з прогнозуванням механічних характеристик матеріалу, що впливають на ресурс деталі. Елемент методу розрахунку включає у себе вихідні характеристики деталі, з якими вона надходить в експлуатацію. Для деталей, одержуваних методами листового штампування початковий стан визначається такими параметрами: модуль пружності; коефіцієнт Пуассона; залишкові напруження та деформації; об'ємна концентрація фаз, які впливають на корозію; параметри зміцнення; початкові розміри деталей; ступінь складності деталі за формою; еволюція службових параметрів; структурні перетворення та накопичення пошкоджень; параметри зношування деталей.

Елемент, що включає у себе модель еволюції службових параметрів, передбачає такі аспекти: геометричний, міцнісний, функціональний, естетичний. Функціональний аспект пов'язаний з ознаками втрачання функціонального призначення транспортного засобу (перевезення вантажів і пасажирів). Естетичний аспект – це наявність пошкоджень лакофарбового покриття, вм'ятин, тріщин тощо.

Модель пошкоджуваності відображає дефекти в матеріалі, а саме: мікропори, мікротріщини, мікровпровадження абразивних та інших частинок, мікроподряпини, викришування матеріалу й т. д.

Процес постійної зміни розмірів, а в деяких випадках і форми деталі, описуємо моделлю зношування. Залежно від виду вантажу, що перевозиться, вірогідні такі види зношування: абразивний, гідро абразивний, ударно-абразивний. Найбільш прийнятно для моделювання процесу зношування використовувати залежність, що враховує комплекс механічних й експлуатаційних характеристик зношеного матеріалу:

$$U = f \frac{H_o}{H_m} \cdot \frac{L \cdot b \cdot \sigma_n}{\sigma_g} \cdot \frac{(1 + \delta)}{\delta}, \quad (1)$$

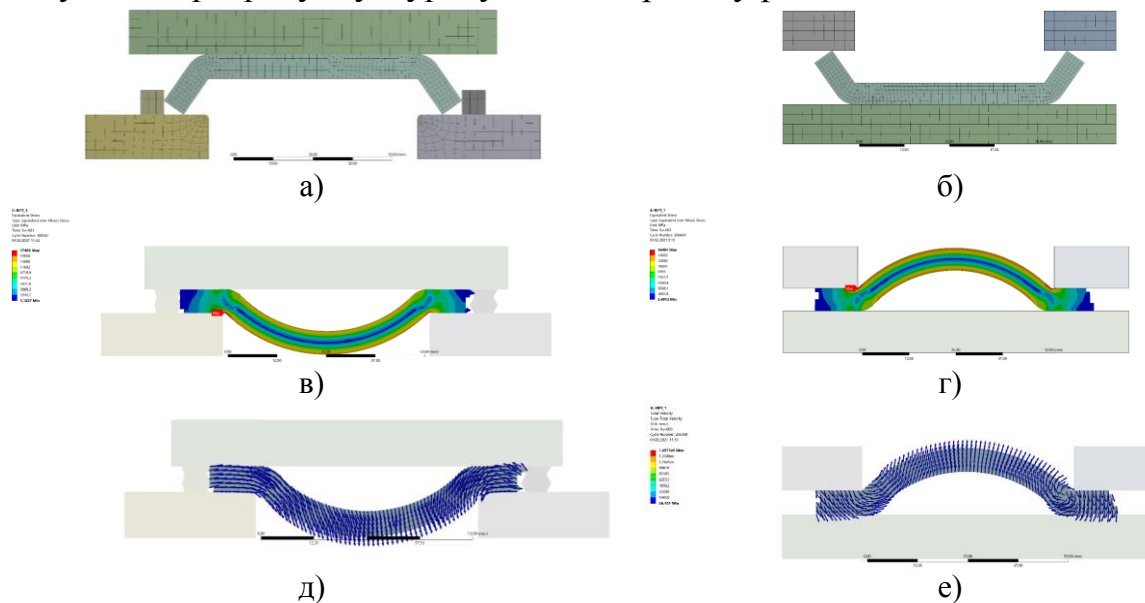
де U – зношування за масою; f – коефіцієнт тертя; H_a – твердість абразиву; H_m – твердість матеріалу деталі; σ_g – тимчасовий опір руйнуванню; L, b – довжина та ширина поверхні контакту; σ_n – нормальний тиск; δ – відносне подовження матеріалу деталі; β – емпіричний коефіцієнт; γ – щільність матеріалу деталі.

Визначенні критерії оптимізації експлуатаційних параметрів транспортних засобів і мінімально можливої інтенсивності та роботи деформацій під час осесемитричного деформування.

Розроблено метод розрахунку життєвого циклу облицювальних деталей транспортних засобів, що передбачає генезис математичних моделей процесів: формоутворення з формуванням початкових властивостей вихідної заготовки; структурних перетворень матеріалу в процесі обробки та експлуатації, еволюції

службових параметрів і накопичення пошкоджень у процесі зношування та корозії.

Проблематичним є виготовлення деталей «Лист верхній шкворневої балки» та «Кришка люка» в умовах ремонтних підприємств. Проблеми пов'язані з відсутністю обладнання для забезпечення необхідного зусилля деформування та штампувальної постелі відповідних розмірів. Для реалізації технології виготовлення цих деталей було вдосконалено процес самочинного формоутворення деталі «Лист верхній шкворневої балки» та послідовного деформування «Кришка люка». Моделювання процесу самочинного формоутворення деталі «Лист верхній проміжної балки» за наявною та новою схемами виконано методом кінцевих елементів у системі AnSYS/AutoDYN. Результати розрахунку з урахуванням процесу розвантаження подані на рис. 6.



а) нова технологічна схема; б) наявна; в), г) еквівалентні напруження за фон Мізесом; д), е) напрямок і швидкість течії матеріалу під час деформування
Рисунок 6 – Розрахункові схеми процесів вільного вигинання

Проведено моделювання процесу формоутворення ребер у стандартному програмному пакеті методом кінцевих елементів (МКЕ). Результати, отримані на першому етапі навантаження, наведено на рис. 7–13.

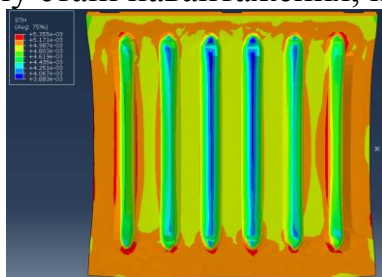


Рисунок 7 – Епюра товщин деталі

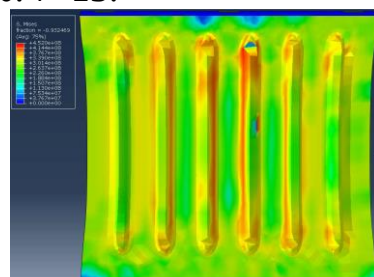


Рисунок 8 – Еквівалентні напруження за Мізесом

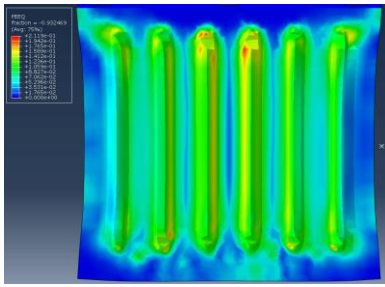


Рисунок 9 – Еквівалентні пластичні деформації

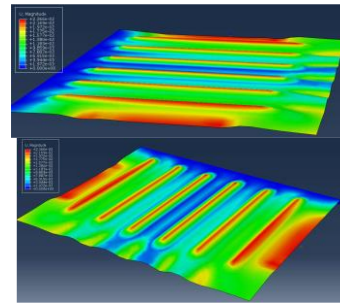
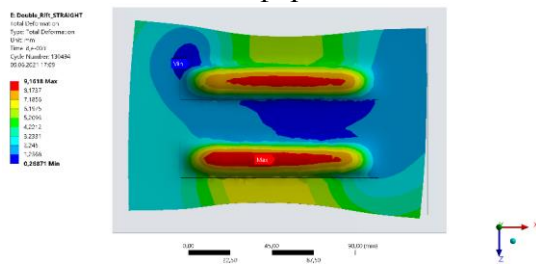
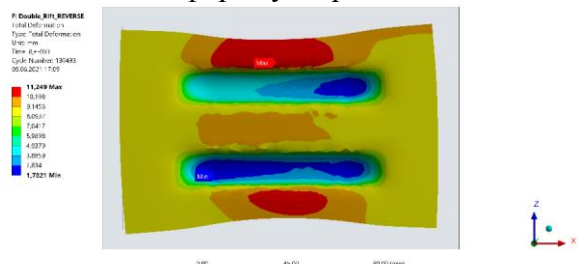


Рисунок 10 – Утворення гофрів у процесі формоутворення



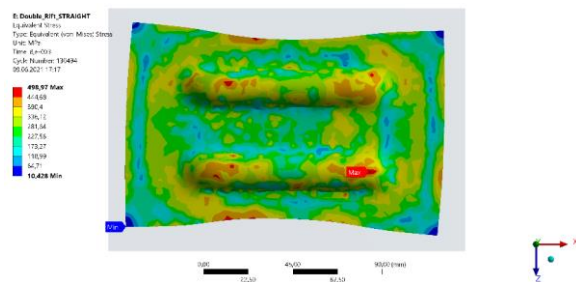
а)



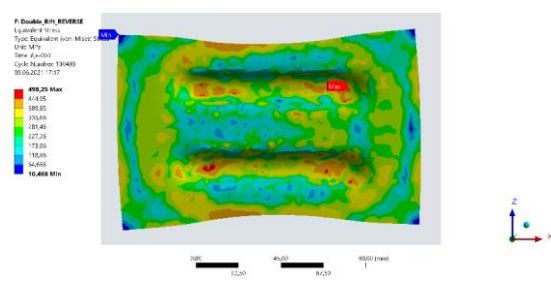
б)

а – пряма схема; б – зворотна схема

Рисунок 11 – Епюра загальних деформацій (показано початковий контур)



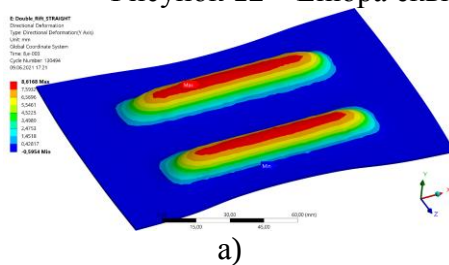
а)



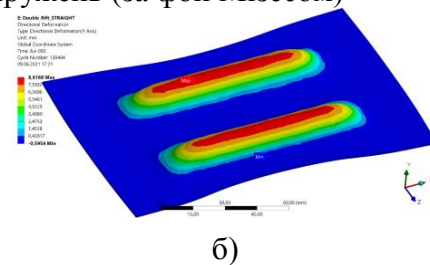
б)

а – пряма схема; б – зворотна схема

Рисунок 12 – Епюра еквівалентних напружень (за фон Мізесом)



а)



б)

а – пряма схема; б – зворотна схема

Рисунок 13 – Епюри деформацій уздовж вертикальної осі

Аналіз результатів розрахунків надав можливість визначити проблемні зони під час штампування цих деталей щодо втрати стійкості, порушення суцільності матеріалу заготовок, концентрацій деформацій та напружень, що є чинниками корозії. Для усунення цих недоліків були розроблені заходи для корегування параметрів штампування деталі «Лист верхній шкворневої балки». Ефективним засобом, що забезпечує не тільки формування фланця заготовки під час складного витягування облицювання деталей автомобілів, але й подачу матеріалу в найбільш деформовані ділянки, є реалізація ефекту Баушінгера. Окрім того, слід

максимально збільшувати радіуси сполучення, гнуття та ін. Серед схем отримання листових деталей методом гнуття найбільш доцільною є схема згинання–розтягування–гнуття–стискання. Стосовно методів рихтування вм'ятин кузовних панелей методом зовнішнього рихтування окрім магнітно-імпульсного, в багатьох випадках доцільне використання вакуумного формування та нової схеми самочинного гнуття. Удосконалення цього процесу можливе завдяки вприскуванню пари в осередок деформації.

Упорядковано процес прийняття технологічних рішень щодо рихтування вм'ятин облицювальних і кузовних деталей транспортних засобів (автомобілі, залізничний транспорт). Досліджено технологічні можливості процесів, за яких як деформувальне середовище використано вакуум або магнітне поле. Привабливими також є процеси послідовного штампування, процеси групового штампування у секційних матрицях. Розрахунок енергії деформування здійснюється за методиками, що ґрунтуються на розв'язанні завдань теорії пластичності або на феноменологічній теорії реформованості, що ґрунтується на використанні методу твердості з використанням методу динамічного вимірювання твердості, наприклад прибором «NOVOTEST». Тиск магнітного поля для усунення вм'ятин розраховують за залежностями, наведеними у роботах Гнатова А. В. та його учнів. Також визначені його максимальні можливості. Для рихтування вм'ятин з використанням вакууму необхідне розв'язання завдання деформації оболонки під дією хвилі розрядження, інтегруючи рівняння руху елемента оболонки:

$$\rho s \frac{d^2 r}{dt^2} + \frac{\beta \sigma_s s}{r} = p_0 \left(1 - \frac{\gamma - 1}{2} \frac{u}{c_0} \right)^{\frac{2\gamma}{\gamma - 1}}, \quad (2)$$

де ρ – щільність матеріалу обшивки автомобіля; r – поточний радіус; s – товщина елемента обшивки; β – коефіцієнт Лоде; σ_s – межа текучості матеріалу; u – швидкість руху елемента оболонки; p_0 – тиск повітря за оболонкою; $\gamma = c_p / c_v$ – відношення теплоємностей; c_0 – швидкість звуку повітря.

З рівняння для швидкості руху елемента вм'ятин можливо визначити її пружно-деформований стан.

У четвертому розділі подано результати експериментальних досліджень формозмінювання листових деталей унаслідок вільного вигинання.

Експериментальні дослідження виконані на гідравлічному пресі «Hydraulic shop press» зусиллям 40 т (рис. 14, а).

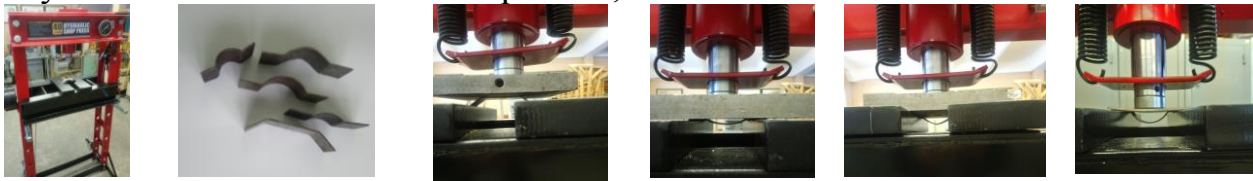
Тиск вимірювався манометром, який встановлений на пресі. Вимірювання переміщень пластини проводилося на спеціально сконструйованому оснащенні для вільного згинання з використанням стандартної вимірювальної та реєстраційної апаратури. Стрілу прогину в центрі зразка виміряли контактним прогиноміром, індикатором годинникового типу встановленого на нерухомій опорі з упором рухомого вимірювального стрижня досліджувану в конструкцію.

Запис кривої «зусилля–деформація» виконано на універсальній машині типу УМЕ-10тм, що обладнана електронним силовимірювачем і діаграмним апаратом. Реєстрація деформацій виконувалася змінним тензометром.

Уточнені емпіричні залежності для розрахунку стріли прогину та радіуса кривизни зразка для розробленого методу деформування.

Ураховуючи, що деформована поверхня має кривизну, яка переважно залежить від другої похідної. Вона може бути апроксимована багаточленом, ступінь якого на два порядки вищий за порядок апроксимації кривизни. У задачі, що розглядається, рівняння деформованої поверхні деталі апроксимоване багаточленом четвертого порядку.

Не менш достатню точність має апроксимація деформованої поверхні поверхнею, що утворена обертанням цепної лінії (катеноїд) та задовольняє рівняння Лапласа. Процес поетапного деформування пластини з попередньо вигнутими полками показано на рис. 14, б–є.



а) гідравлічний прес; б) заготовки після вигинання та самочинного деформування;
г), д), є) етапи деформування

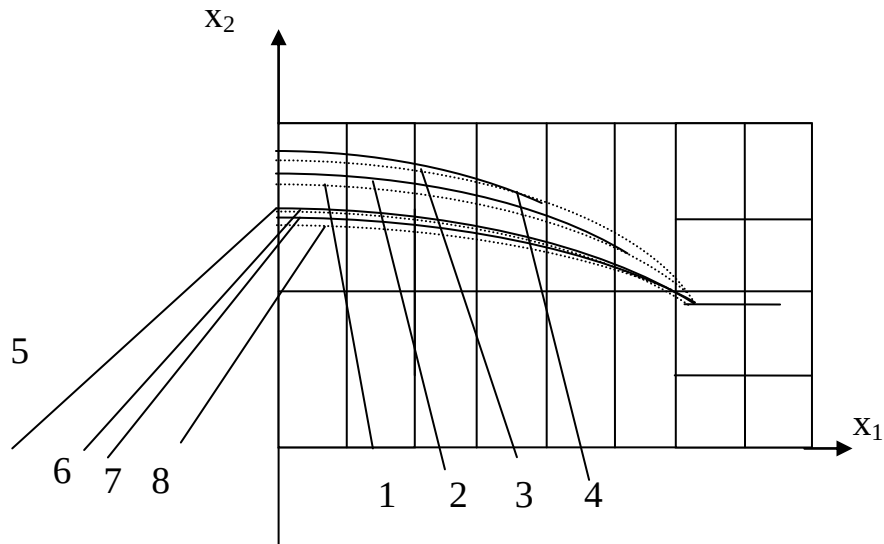
Рисунок 14 – Процес деформування пластин

У результаті експериментальних досліджень встановлено, що стріла прогину зразка переважно залежить від попереднього кута відгинання полку, товщини пластини та відношення геометричних розмірів пластини a/b .

Деформувальний стан під час вигинання досліджували методом поділених сіток.

Виконано порівняння зусиль деформування під час розгинання полку прямокутної заготовки та формування рифта (рис. 15). Зусилля згинання в 1,5 – 2,5 рази менше, ніж зусилля формування.

Розроблено експериментально-аналітичний метод визначення ресурсу ободів коліс транспортних засобів. Найбільшу втомну міцність мають деформовані або зміцнені пластичним деформуванням матеріали до деформацій, що дорівнюють гранично рівномірним. Виконавши випробування зразків з матеріалу ободу колеса на втомну міцність під час деформацій рівнем граничним рівномірним e_i^p , $0,8e_i^p$, $0,6e_i^p \dots 0,2e_i^p$, будемо графік залежності числа циклів навантаження N від інтенсивної деформації $N = f(e_i)$. Після розрахунку інтенсивності деформації у найбільш деформованій ділянці ободу колеса за залежністю $N = f(e_i)$ визначаємо ресурс ободу колеса. Вибір найбільш ефективної схеми напруженого стану для отримання деталей з високою експлуатаційною надійністю здійснюється напівемпіричним підходом, що заснований на екстраполяції деформації за послідовного навантаження заготовки. Аналогічним чином визначаємо ресурс листових деталей в умовах зношування та корозійного впливу.



1 – апроксимація багаточленом четвертого порядку, $a/b = 2,5$, $s = 1,5$ мм; 2 – експеримент, $a/b = 2,5$, $s = 1,5$ мм; 3 – апроксимація багаточленом четвертого порядку, $a/b = 4,5$, $s = 1,5$ мм; 4 – експеримент, $a/b = 4,5$, $s = 1,5$ мм; 5 – апроксимація багаточленом четвертого порядку, $a/b = 2,5$, $s = 1$ мм; 6 – експеримент, $a/b = 2,5$, $s = 1$ мм; 7 – апроксимація багаточленом четвертого порядку, $a/b = 4,5$, $s = 1$ мм; 8 – експеримент, $a/b = 4,5$, $s = 1$ мм

Рисунок 15 – Порівняння остаточних профілів деталей

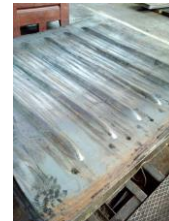
У **п'ятому розділі** на підставі теоретичних та експериментальних досліджень розроблено методику проектування технологічного процесу послідовного вигинання та випрямлення полук.

Подано результати апробації результатів досліджень і впровадження до виробництва. Наведено загальні рекомендації формозміни товстолистових заготовок із прямолінійними рифтами з циліндричною поверхнею. Обґрунтовано вибір пресового обладнання та можливість використання пневмомеханічних пресів РКЗЗ 1250/4000 зусиллям 1250 т для холодного штампування. Розроблено унікальну конструкцію штампа для послідовного формування–витягування рифтів. Продуктивність процесу розробленої технології перевищує базову технологію гарячого та холодного штампування на унікальному гідропресі зусиллям 5000 т на 10÷12 %.

Спосіб дозволяє виключити утворення гофрів на плоскій поверхні заготовки і утворення тріщин у зоні з'єднання закінцівки рифту з його циліндричною поверхнею (рис. 16).



а)



б)

Рисунок 16 – Відштамповані деталі: а) «Накладка»; б) «Кришка люка»

Результати дисертаційної роботи у вигляді штампового оснащення та промислової технології, заснованої на запропонованому методі формування–витягування укороченим пуансоном, а також методи розрахунку напруженодеформованого стану й остаточного формування, деталі використані та впроваджені до виробництва на підприємствах ПРАТ «АвтоКрАЗ» (м. Кременчук), ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» (м. Кременчук).

Проведено розробку технології вигинання товстолистових деталей і спроектовано оснащення (штамп гнуття) на підприємстві «Укрспецвагон» (м. Панютино). Розробка технології та технологічного оснащення надає можливість зменшити зусилля штампування з 6 до 2,3 МН, виконати формозміну «Листа верхньої шкворневої балки» на кромкозгинальному обладнанні зусиллям 2,5 МН. у холодному стані. Економічний ефект від проведеного комплексу заходів склав майже 400 тис. гривень.

ВИСНОВКИ

1. Аналітичний огляд наявних і описаних у сучасній науковій літературі традиційних методів виготовлення, ремонту, експлуатації, покращення експлуатаційної надійності листових деталей транспортних засобів, показав, що сучасне виробництво вимагає подальшого визначення та реалізації конструктивно-технологічних засобів підвищення ресурсу листових деталей автомобільного і залізничного транспорту на стадії проектування, виробництва та експлуатації. Показано, що сучасне ремонтне виробництво деталей транспортних засобів потребує розвитку технологій з широкими технологічними можливостями, суттєво меншими зусиллями деформування, розвитку та наукового обґрунтування методів визначення ресурсу деталей, вакуумного рихтування кузовів автомобілів.

2. Розроблено та удосконалено конструктивно-технологічні методи підвищення ресурсу листових деталей транспортних засобів на підставі моніторингу життєвого циклу та формації залежності параметрів експлуатаційних характеристик від показників схеми деформованого стану унаслідок листового штампування, при експлуатації в умовах корозійного впливу показник деформованого стану максимально наближений до ідеального процесу пластичного деформування, при зношуванні питомі показники міцності та пластичності необхідно дорівнювати.

3. Виконано доробок класифікації листових деталей транспортних засобів за їх функціональним призначенням для формування моделі начального стану деталі та еволюції службових характеристик матеріалу під час експлуатації. Дослідження виконані для основних деталей корозійного впливу – «Лист верхній шкворневої балки», на абразивне зношення – «Кришка люку», на втомну міцність – «Обід колеса».

4. Розроблено метод розрахунку напружено-деформованого стану і еволюції властивостей матеріалу в процесі формоутворення та подальшої експлуатації завдяки синтезу моделей технологічного процесу, еволюції службових параметрів, зношування деталей, накопичення ушкоджень, відновлюваного ремонту з визначенням необхідності його першого застосування. Розроблено

математичну модель розрахунку силових параметрів рихтування кузовних деталей транспортних засобів вакуумом.

5. Експериментальні дослідження підтвердили можливість одержання якісних плоских деталей із прямолінійним рифтом методами гнуття. Адекватність математичної моделі для визначення стріли прогину та напруженодеформованого стану експериментальним даним підтверджується критерієм Фішера за довірчої вірогідності 0,95, межа похибок розрахована за дисперсією адекватності, складає $\pm 9\%$, рівень значущості – 0,05. Результати даних дослідів за замірами зусиль гнуття, стріли прогину, розподілу деформацій та напружень заготовки підтверджують достовірність отриманих теоретичних залежностей. Установлено, що потрібне зусилля під час вільного вигинання зменшуються у 2–3 рази, порівняно з гнуттям в інструментальних штампах.

6. Виконано математичне моделювання процесу штампування закінцівки рифту під час вільної формозміни закінцівки рифту без контакту з жорстким інструментом і циліндричної ділянки рифту в умовах контакту з інструментом. Під час формування без утягання плоского елемента заготовки відбувається її руйнування в зоні з'єднання із закінцівкою рифту, під час витягання понад (8–10) % і формування–витягування з жорсткого пуансона руйнування не відбувається, але утворюються гофри в зоні з'єднання закінцівки рифту з плоским елементом, під час формування–витягування закінцівки рифту за формою рівною формі деформування, розривання заготовки та утворення гофрів не відбувається.

7. Розроблено експериментально-аналітичний метод оцінювання ресурсу листових деталей транспортних засобів (ободів коліс), що працюють на втомну міцність, завдяки порівнянню оптимального деформованого стану, з огляду забезпечення максимального ресурсу деталей, з реалізованим унаслідок формоутворення.

8. Результати дисертаційної роботи у вигляді методів розрахунку, залежності для розрахунку параметрів процесу, а також рекомендацій щодо удосконалення технологічних процесів передані для промислового освоєння під час розробки технологічного процесу й інструментального оснащення для штампування листових деталей з елементами жорсткості деталей типу «Накладка» на ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» (м. Кременчук), «Кришка люка» на ПрАТ «АвтоКрАЗ» (м. Кременчук), зварних листових деталей контейнерів на ПАТ «Кременчуцький завод металевих виробів» (м. Кременчук), рекомендацій з усунення залишкових напружень на ПП «Євротранс-сервіс» і ТОВ «АТП-15307» (м. Кременчук). Результати досліджень упроваджені в навчальний процес у Кременчуцькому національному університеті імені Михайла Остроградського для викладання навчальних дисциплін.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікація у наукових періодичних виданнях іноземних держав (у іноземному фаховому науковому виданні, що індексується у науково-метричній базі Scopus).

1. Trunina I., Zahorianskyi V., Zahorianska O., Moloshtan D. Ensuring

competitiveness of logistics service by selecting the type of storing single-piece cargoes. *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*. 2018. Vol. 7, is. 4.3. P. 537–544. (Scopus / Q4 SCImago Journal and Country Rank).

Публікації у наукових фахових виданнях України (у науковому виданні, що індексується у науково-метричній базі Scopus).

2. Zagirnyak M., Zagirnyak V., Moloshtan D., Drahobetskyi V., Shapoval A. A search for technologies implementing a high fighting efficiency of the multilayered elements of military equipment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 6/1, no. 102. P. 33–40. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.183269 (Scopus / фахове видання України, категорія «А» / Q2 SCImago Journal and Country Rank).

3. Драгобецкий В. В., Коцюба В. Ю., Молоштан Д. В., Шлык С. В., Наумова Е. А. Технологический мониторинг рабочих поверхностей матриц для импульсной штамповки. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*: зб. наук. праць. Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. Харків: НТУ «ХПІ», 2018. № 23 (1299). С. 23–27. (фахове видання України, категорія «В»).

4. Драгобецький В. В., Шлик С. В., Наумова О. О., Кузев І. О., Молоштан Д. В. Математична модель вибуховоударного навантаження зміцнюваних елементів гірничого устаткування. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*: зб. наук. праць. Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. Харків: НТУ «ХПІ», 2019. № 12 (1337). С. 20–26. (фахове видання України, категорія «В»).

5. Драгобецький В. В., Щетинін В. Т., Кузев І. О., Молоштан Д. В., Наумова О. О. Евристичні прийоми пошуку технічних рішень відновлення деталей з наноструктурних матеріалів. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. Вип. 2/2020 (121). С 116–121. DOI: 10.30929/1995-0519.2020.2.116-121. (фахове видання України, категорія «В»).

6. Moloshtan D., Kuzev I., Shlyk S., Shchetynin V. Material saving reserves in sheet stamping production. *Norwegian Journal of development of the International Science*. №56/2021. VOL.1 p. 47-52.

Наукова праця, яка додатково відображає наукові результати дисертації:

7. Молоштан Д. В., Труніна І. М., Черниш Р. О. Аналіз транспортного забезпечення туристичної інфраструктури України. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. – Сєвєродонецьк, 2018. № 1 (242). С. 134–138. (фахове видання України, категорія «В»).

Публікації апробаційного характеру.

8. Dragobetskii V., Naumova E., Shapoval A., Shlyk S., Moloshtan D. Improving the Operational Reliability of Stamped Parts of Electrical Engineering. *Machines and Electrical Products. Proceedings of the International Conference on Modern Electrical and Energy Systems, MEES 2019*, P. 506–509. DOI: 10.1109/MEES.2019.8896532 (Scopus).

9. Dragobetskii V., Nevliudova V., Moloshtan D., Mospan D., Mospan V.,

Kotsyuba V. Possibilities of the Electric Drive in the Implementation of the Intensifying Factors in the Plastic Deformation of Metals. *Proceedings of the 25th IEEE International Conference on Problems of Automated Electric Drive. Theory and Practice*, PAEP 2020, № 9240873. DOI: 10.1109/PAEP49887.2020.9240873

10. Молоштан Д. В., Мосьпан Д. В., Шлик С. В., Драгобецький В. В. Технологический мониторинг сварных соединений тонколистовых деталей при формировании, пластическом деформировании и эксплуатации. *Матеріали XVII міжнародної наукової технічної конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів»*: матеріали конференції. Кременчук: КрНУ, 2018. – С. 194–196.

11. Молоштан Д. В., Труніна І. М., Загорянський В. Г., Загорянська О. Л. Забезпечення конкурентноспроможності логістичних послуг шляхом визначення виду зберігання штучних вантажів. *Міжнародна науково-технічна конференція «Технології та інфраструктура на транспорті»*, 14 – 16 травня 2018 р.: Тези доповідей. Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 208–209.

12. Драгобецький В. В., Загорянський В. Г., Шлык С. В., Молоштан Д. В., Шаповал А. А. Напряженное состояние заготовки при двойном перегибе импульсной нагрузкой. *Перспективи розвитку машинобудування та транспорту – 2019*: зб. тез Міжнар. наук.-техн. конференції. Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс і К», 2019. С. 84–86.

13. Молоштан Д. В., Наумова Е. А., Кузев І. О., Драгобецький В. В., Богданов С. А. Жизненный цикл облицовочных деталей транспортных средств при производстве и эксплуатации. *Всеукраїнська науково-технічна конференція «Сучасні тенденції розвитку машинобудування та транспорту»*. Матеріали конференції – Кременчук: КрНУ, 2020. С. 19–21.

14. Shchetynin V., Arhat R., Drahobetskyi V., Puzyr V., Moloshtan D. Optimization of the combined explosion hardening processes. *E3S Web of Conferences* 280, 07018 (2021) – Kryvyi Rih, Ukraine, 2021.

15. Щетинин В. Т., Аргат Р. Г., Молоштан Д. В., Драгобецький В. В., Савенкова Ю.В. Математическая модель восстановительного фрикционного упрочнения деталей горного оборудования. *Всеукраїнська науково-технічна конференція «Сучасні тенденції розвитку машинобудування та транспорту»*. Матеріали конференції. Кременчук: КрНУ, 2020. С. 21–23.

Свідоцтва на інтелектуальну власність.

16. Ударостійкий бронезахисний шаруватий елемент: пат. 147309 Україна: МПК F41H 5/02 (2006.01). № у 2020 07607; заявл. 30.11.20; опубл. 28.04.21; бюл. № 17.

17. Спосіб гнуття листових деталей: пат. 148165 Україна: МПК B21D 5/02 (2006.01). № у 2021 00439; заявл. 05.02.21; опубл. 14.07.21; бюл. № 28.

АНОТАЦІЯ

Молоштан Д. В. Удосконалення виробництва та ремонту листових деталей засобів транспорту з метою підвищення ресурсу. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. – Національний транспортний університет Міністерства освіти і науки України, Київ, 2021.

Дисертація присвячена розв'язанню науково-практичного завдання підвищення ресурсу та експлуатаційної надійності листових деталей транспортних засобів завдяки удосконаленню та розвитку конструктивно-технологічного формування для прогнозування життєвого циклу виробу. Резервом підвищення ресурсу листових деталей транспортних засобів є використання системного підходу до створення структурно-функціональної моделі конструкції транспортного засобу та цеху листоштампувального виробництва (виробничого або ремонтного) на підставі поняття життєвого циклу виробу. Розроблено експериментально-аналітичний метод визначення заданих ресурсних характеристик листових деталей транспортних засобів. Проведені дослідження можуть бути використані для визначення параметрів процесів зміцнення пластичним деформуванням і отримання листових деталей транспортних засобів, що працюють в умовах експлуатаційних навантажень. Розроблена структурна схема методу розрахунку напружено-деформованого і мікроструктурного стану листових деталей після процесу листового штампування (модель технологічного процесу), термообробці (модель технологічних процесів і послідуєної експлуатації).

Ключові слова: ремонт, експлуатація, транспортні засоби, деформування, зношування, корозія, границя витривалості, листові деталі, холодне штампування.

АННОТАЦИЯ

Молоштан Д. В. Совершенствование производства и ремонта листовых деталей транспортных средств с целью повышения их ресурса. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта. - Национальный транспортный университет, Министерство образования и науки Украины, Киев, 2021.

Диссертация посвящена решению научно-практической задачи повышения ресурса и эксплуатационной надежности листовых деталей транспортных средств и прогнозирования их ресурсных характеристик. Усовершенствован метод конструктивно-технологического формирования путем учета иерархичности процесса проектирования, выбора эффективной стратегии и общего плана производства. Разработана модель начального состояния детали, определяющая необходимые механические характеристики и свойства детали, с которыми она входит в эксплуатацию. Разработан экспериментально-аналитический метод определения ресурса листовых деталей транспортных средств. Проведенные

исследования могут быть использованы для определения параметров процессов пластического деформирования при получении листовых деталей транспортных средств, авиадвигателей, агрегатов и т. д. Разработана структурная схема метода расчета напряженно-деформированного и микроструктурного состояния листовых деталей после процесса листовой штамповки (модель технологического процесса), термообработке (модель технологических процессов и последующей эксплуатации).

Ключевые слова: ремонт, эксплуатация, транспортные средства, деформирование, износ, коррозия, предел выносливости, листовые детали, холодная штамповка.

ANNOTATION

Moloshtan D.V. The improvement of production and repairs sheet parts of vehicles with the purpose of increasing the resource. – Manuscript.

The thesis for candidate of technical sciences degree, specialty 05.22.20 – operation and repair of vehicles. – National Transport University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2021.

The presented work is devoted to solving the scientific and practical problem of increasing the resource and operational reliability of sheet parts of vehicles by improving and developing constructive and technological formation when predicting the method of the product life cycle.

The choice of the research directions has been made to ensure the necessary or optimal durability and operational reliability of vehicles, which is ensured at all the stages of production and operation. At the present stage, the most effective method in the design of a vehicle is the method of the constructive and technological formation. But, this method does not take into account the hierarchy of the design process, the need to choose the effective strategy and general production plan. In addition, the creation of a vehicle requires a large “fund” of the accumulated knowledge, the “fund” of promising research and development directions. Therefore, it is advisable to call the method of the constructive-technological formation as the method of research-constructive-technological formation. This will contribute to the development of the scientifically based methods and techniques for the design and manufacture of vehicles. The reserve for increasing the resource of sheet parts of vehicles is attracting a systematic approach to creating a structural and functional model of a vehicle structure and sheet-stamping production based on the concept of a product life cycle from the moment of choosing an effective strategy until the end of the service life.

To determine the most rational method of deformation during straightening, manufacturing, modernization of the body and facing parts of vehicles, a morphological analysis of modern technologies of the sheet stamping has been carried out using the laws of development of the technical systems. The most effective is the use of the stampless stamping methods, universal technological equipment, the use of the block batch dies and external straightening methods (magnetic-pulse and vacuum) to restore parts without disassembling and loading paint coatings. If the straightening of cars is needed to restore their appearance, then the straightening of the body parts of trucks and railway cars is necessary to restore their corrosion and wear resistance.

A block diagram of the method for calculating the stress-strained and microstructural state of sheet parts after the sheet stamping process (a model of the technological process), heat treatment (a model of the technological processes and subsequent operation) has been developed. The analytical, variational, engineering and numerical methods of calculation, including the finite element method AnSYS / Auto DYN are involved in the models. The processes of the plastic deformation of sheet parts of the passenger cars (carriage wall profile (repair version)), freight cars for the transportation of bulk materials - (Manhole cover (repair version)), arcs of passenger cars with the maximum service life, car wheel rims have been calculated.

An experimental-analytical method for determining the resource of the wheels of vehicles has been developed. The stamped sheet parts have the highest fatigue strength, possibly with the subsequent hardening by the plastic deformation of the material with the deformation equal to the extremely uniform.

Having performed tests of the samples from the material of the wheel rim for the fatigue strength under the deformations equal to the limiting uniform (ε_p) and $0,8 \cdot \varepsilon_p$; $0,6 \cdot \varepsilon_p$; $0,2 \cdot \varepsilon_p$, we plot the dependence of the number of loading cycles N on the strain rates. Further, after calculating the intensity of the deformation in the most deformed area of the wheel rim, using the obtained dependence, we determine the resource of the wheel rim. The choice of the most effective stress state scheme for obtaining parts with a high operational reliability is carried out by the semi-empirical approach based on the extrapolation of the deformation during the sequential loading of the workpiece.

The carried out studies can be used to determine the parameters of the hardening processes by the plastic deformation and to obtain the body and facing parts of vehicles, engines, accessories, etc., to monitor the life cycle of machine parts and units operating under the wear conditions, alternating loads, aggressive environmental influences at the design stages of the production and operation. A block diagram of the method for calculating the stress-strain and microstructural state of sheet parts after the sheet stamping process (model of the technological process), heat treatment (model of technological processes and subsequent operation) has been developed.

Key words: repair, operation, vehicles, deformation, wear, corrosion, fatigue strength, sheet metal parts, cold stamping.

Підписано до друку 17.08.2021 р.
Формат 60x84/16. Папір офсетний. Обл. вид. арк. 0.85 Ум. друк. арк. 0.90
Гарнітура Times New Roman.
Наклад 100 прим. Замовлення № 20511.

Редакційно-видавничий відділ
Кременчуцького національного університету
імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, Полтавська обл., 39600