

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Аксьом Петро Андрійович



УДК 621.9

**ПОЛПШЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ
ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ**

Спеціальність: 05.22.20 – «Експлуатація та ремонт засобів транспорту»

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному транспортному університеті (НТУ)
Міністерства освіти і науки України, м. Київ.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Посвятенко Едуард Карпович,
Національний транспортний університет, м. Київ, професор
кафедри виробництва, ремонту та
матеріалознавства.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Лузан Сергій Олексійович,
Харківський національний технічний університет
сільського господарства імені Петра Василенка,
м. Харків, професор кафедри технологічних систем
ремонтного виробництва;

кандидат технічних наук, доцент
Сушко Ольга Вікторівна,
Таврійський державний агротехнологічний
університет імені Дмитра Моторного, м. Мелітополь,
Запорізької обл., доцент кафедри технології конструкційних
матеріалів.

Захист відбудеться 4 грудня 2020 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої
вченої ради Д 26.059.03 в Національному транспортному університеті за адресою:
01010, Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, аудиторія 209.

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

Автореферат розісланий 3 листопада 2020 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



С.В. Ковбасенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Аустенітні сталі мають ряд специфічних унікальних властивостей. Серед яких: корозійно–, жаро– та зносостійкість, немагнітність, висока пластичність. Ці сталі застосовуються при виготовленні таких деталей, як: зубці ковшів екскаваторів, щоки каменедробарок, стрілкові рейкові хрестовини, лопатки газових і парових турбін, ротори парових і газових турбін, броньовані плити, деталі транспортних засобів: випускні колектори, глушники, карбюраторні голки, клапанні пластини компресорів, декоративні елементи кузова та салону автомобіля. У той же час аустенітні сталі мають вкрай низьку оброблюваність різанням.

На поліпшення оброблюваності використанням попереднього холодного пластичного деформування (ХПД) указували Я.Г. Усачов, В.М. Подураєв, О.М. Розенберг, Ю.Г. Проскураков, Е.Н. Trent, Н.Е. Енагого та інші. У той же час дослідження цих фахівців не мали системного характеру, стосувались лише напрямку поліпшення оброблюваності пластичних маловуглецевих і низьколегованих сталей. Не відзначалась також роль мастильно–охолоджувальних речовин (МОР) у поєднанні з холодною пластичною деформацією.

У науковій літературі немає інформації щодо застосування аустенітних сталей після холодної деформації для відновлення деталей засобів транспорту.

Тому перспективними методами поліпшення оброблюваності аустенітних сталей є: ХПД та екологічно чисті МОР рослинного походження. Саме такі дослідження були проведені у дисертаційному дослідженні.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Виконання дисертаційної роботи пов'язано з науковою тематикою кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства НТУ в рамках НДР: «Забезпечення роботоздатності триботехнічних систем автотранспортних засобів в умовах експлуатації» та «Поліпшення триботехнічних властивостей пар тертя вузлів і механізмів транспортних засобів», у яких здобувач був виконавцем окремих етапів, а також з прикладною держбюджетною роботою М1208 «Плутон» №0116u000020m (2016–2017 рр) за тематичним планом Національного технічного університету «Харківський політехнічний університет».

Мета роботи – поліпшення властивостей відновлювальних деталей засобів транспорту, виготовлених із аустенітних сталей, сумісною дією холодного пластичного деформування і екологічно чистих мастильно–охолоджувальних рідин рослинного походження при механічній обробці.

Для досягнення зазначеної мети поставлені наступні **завдання**:

- розробка математичної моделі дії характеристик ХПД, режимів механічної обробки та властивостей мастильно–охолоджувальних рідин на процес різання деталей засобів транспорту та створення захисних покриттів із аустенітних сталей;
- визначення ролі дислокаційного механізму та фазових структурних перетворень, ініційованих ХПД, на оброблюваність аустенітних сталей;

– створення ранжувального ряду екологічно чистих МОР рослинного походження та вивчення їх впливу на оброблюваність різанням;

– встановлення взаємодії ХПД і екологічно чистих МОР при механічній обробці аустенітних сталей;

– розроблення методу деформаційного зміцнення пластичних металевих матеріалів холодною пластичною деформацією;

– побудова основи типових технологічних процесів для виробництва і відновлення деталей засобів транспорту із аустенітних сталей.

Об'єктом дослідження є механічна обробка аустенітних сталей після ХПД та з використанням МОР рослинного походження.

Предметом дослідження є зміна характеристик оброблюваного матеріалу та вплив МОР на поліпшення властивостей деталей засобів транспорту із аустенітних сталей.

Методи дослідження. Робота виконана з використанням положень теорії обробки матеріалів різанням. Для впливу на основні параметри процесу різання застосовувалося поєднання холодної пластичної деформації і використання мастильно–охолоджуючих рідин рослинного походження. Результати розрахунків за розробленими моделями виконували із застосуванням теорії планування багатофакторного експерименту. Експериментальні дослідження проводилися із використанням методик на вертикально–фрезерному верстаті 6Н13П і гідравлічному пресі ПММ–200. У роботі застосовувалися положення статистики і програмне забезпечення AutoCAD, Visio, Microsoft Office та його додаток Microsoft Office Excel.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше розроблена математична модель дії холодного пластичного деформування, режимів механічної обробки і екологічно чистих мастильно–охолоджувальних речовин рослинного походження на показники оброблюваності аустенітних сталей.

2. Визначена роль збільшення густини дислокацій і фазових структурних перетворень, ініційованих попереднім холодним пластичним деформуванням аустенітних сталей, на оброблюваність таких сталей.

3. Встановлено, що поєднання попереднього пластичного деформування аустенітних сталей із застосуванням екологічно чистих МОР рослинного походження дозволяє отримати позитивний ефект поліпшення оброблюваності таких сталей.

4. Досліджено механіку обробки поліпшених аустенітних сталей на низьких і середніх швидкостях різання: сили, температуру, контактні явища, наростоутворення, додаткове зміцнення, стружкоутворення, залишкові напруження.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Розроблено оригінальний метод отримання достатньої кількості зміцненого матеріалу – метод поперечного стиску ХПД.

2. Проведено ранжування екологічно чистих рослинних МОР і порівняння їх ефективності з МОР на мінеральній основі при обробці аустенітних сталей, в результаті чого встановлено, що оптимальною МОР при низьких і середніх швидкостях різання швидкорізальним інструментом є ріпакова олія.

3. Розроблено типовий процес обробки деталей із аустенітних сталей, яка полягає у попередньому зміцненні матеріалу ХПД, операціях різання із застосуванням МОР на ріпаковій основі і повернення початкових властивостей деталей середнім відпусканням.

4. Рекомендовано застосувати результати дослідження при виготовленні і відновленні наступних деталей засобів транспорту: випускні клапани двигунів, випускні колектори, системи виведення відпрацьованих газів, голок карбюраторів, декоративних та оздоблювальних елементів.

5. Результати дисертаційного дослідження перевірені на ТДВ «Мукачівський машинобудівний завод» (м. Мукачево) і ДП «Завод ім. В.О. Малишева» (м. Харків), а також використані в освітньому процесі Національного транспортного університету при викладанні навчальних дисциплінах «Технологія конструкційних матеріалів» та «Основи інженерії поверхні деталей машин та конструкцій».

Особистий внесок здобувача. Основні результати, які викладені в дисертації і подані до захисту, отримано здобувачем самостійно. Роботи [15, 17, 19] виконані одноосібно. В роботах, які викладені у співавторстві, автору належить: розробка методики та дослідження оброблюваності аустенітних сталей після холодного пластичного деформування і мастильно–охолоджувальних рідин на рослинній основі [1–7, 10, 11]; розробка способу обробки аустенітних сталей [9]; розробка та перевірка на адекватність математичної моделі процесу оброблюваності деталей і покриттів із аустенітних сталей [16]; теоретичне та експериментальне вивчення дислокаційного механізму та структурних перетворень (аустеніт – мартенсит) [8, 14, 18, 21, 23, 24]; дослідження впливу мастильно–охолоджувальних рідин рослинного походження на контактні процеси системи «стружка – інструмент» [19]; розробка методу поперечного стиску експериментальних зразків [12, 17]; визначення основних напрямків застосування аустенітних сталей [13, 20, 22]; запропоновано використання прецизійної фінішної термообробки у технологічних процесах обробки деталей і покриттів засобів транспорту із аустенітних сталей [15].

Апробація результатів дисертації. Основні положення й результати дисертації доповідались і обговорювались на: LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV та LXXV наукових конференціях професорсько–викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету (м. Київ, 2014 – 2019 рр.); 14–ом и 17–ом Международном научно–техническом семинаре «Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте» (м. Свалява, 2014 р. та 2017 р.); 12–му, 13–му та 14–му Міжнародному симпозиумі українських інженерів–механіків у Львові (м. Львів, 2015 р., 2017 р. та

2019 р.); Міжнародній науково–технічній конференції «Покращення конструктивних та експлуатаційних показників автомобілів і машин (м. Київ, 2015 р.); III–й Міжнародній інтернет–конференції «Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій, м. Вінниця (2015 р.); 16–й Международной научно–практической конференции «Качество, стандартизация, контроль: теория и практика» (м. Одеса, 2016 р.); Міжнародній науково–технічній конференції «Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатація машинобудівних конструкцій» (м. Львів, 2016р.); 17–й Международной научно–практической конференции «Инженерия поверхности и реновация изделий» (м. Одеса, 2017 р.).

Публікації. Основний зміст дисертації відображено у 24 наукових публікаціях, з них: одна стаття у науково–метричній базі «SCOPUS», 6 статей у наукових фахових виданнях України, одна стаття у закордонному виданні, 1 патент України на корисну модель, 15 – у матеріалах конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 166 сторінок, з яких 97 сторінок основного тексту, 6 таблиць та 45 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність дисертації, сформульовано мету і завдання, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наукову новизну та практичну значущість роботи.

Перший розділ присвячено проблемному аналізу науково–технічної інформації щодо існуючих шляхів обробки аустенітних сталей та пошуку ключових факторів, що впливають на процес різання. Виявлена суттєва роль таких умов, як твердість та пластичність матеріалу, геометричні параметри різального інструменту та змащувальна дія МОР.

Дані аналізу дозволили встановити невирішені питання в даній предметній області й указали на існування можливостей значного підвищення оброблюваності деталей засобів транспорту із аустенітних сталей шляхом поєднання ХПД та екологічно чистих МОР рослинного походження.

У **другому розділі** викладені загальні методичні підходи до виконання досліджень.

Для побудови математичної моделі процесу різання аустенітних сталей, інтенсифікованого ХПД та дією мастил на рослинній основі, було обрано метод крутого сходження.

Числові характеристики у параметрів оптимізації, – це усадка стружки ζ та повна довжина контакту стружки s з передньою поверхнею інструменту, що служать мірилом оброблюваності. Головними факторами обрано ХПД (HV ; H_{μ} ; МПа), МОР (олії рослинного походження) та швидкість різання v (м/с).

Виходячи з матриці повного факторного експерименту типу 2^3 з нелінійною залежністю між факторами, рівняння математичної моделі набуде наступного вигляду:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3,$$

де b_0, \dots, b_{123} – коефіцієнти рівняння.

У процесі проведення досліджень було використано ряд зразків устаткування, приладів та інструментів, серед яких стаціонарна установка для проведення спектрального аналізу SPECTROMAXx та гідравлічний прес ПММ–200.

Серед нових методів дослідження слід відзначити: метод поперечного стискання зразків (рис. 1) та метод вільного прямокутного різання (рис. 2).

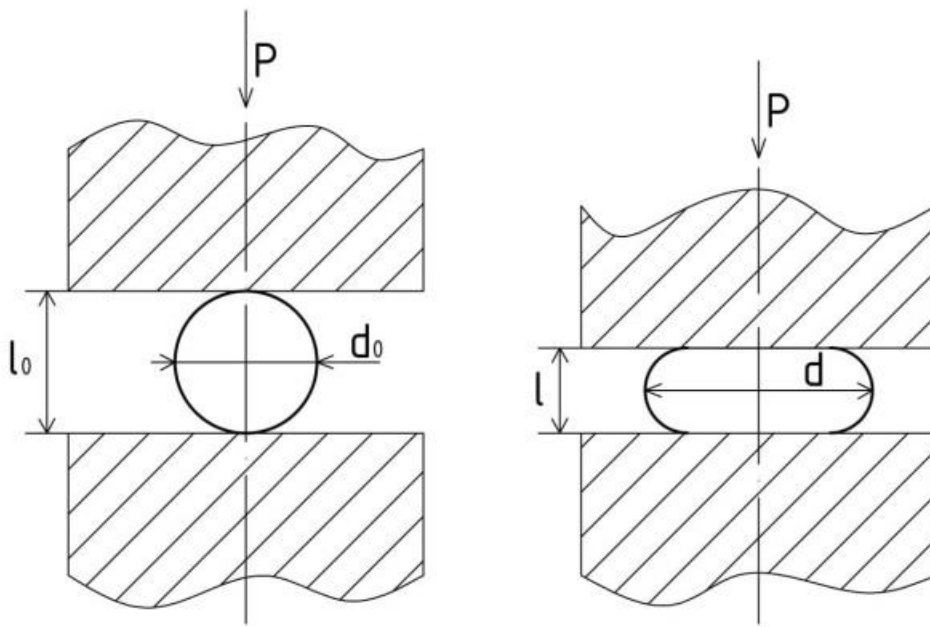


Рисунок 1 – Схема поперечного стискання зразків



Рисунок 2 – Процес вільного прямокутного різання

Для підтвердження структурних змін досліджуваного матеріалу було проведено дослідження густини дислокацій на РЕМ–106И (рис. 3) та зміну фазового складу на рентгенівському дифрактометрі Rigaku Ultima IV.

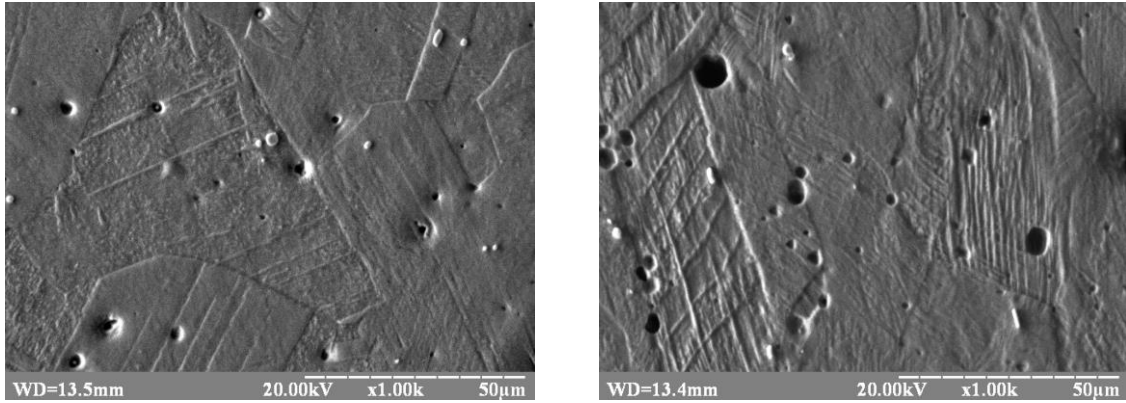


Рисунок 3 – Дослідження густини дислокацій на РЕМ–106И

У **третьому розділі** наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень.

Для перевірки математичної моделі процесу різання аустенітних сталей на адекватність використовувалися наступні рівні факторів: $x_1 = 220 \text{ HV}$; $x_2 = \text{сухе тертя}$; $x_3 = 5 \text{ м/хв}$.

Значення параметрів оптимізації, отриманих експериментальним шляхом:

$$y_1 = 4,18; y_2 = 4,41; y_3 = 4,27; y_4 = 4,22; y_5 = 4,47; y_6 = 4,28; y_7 = 4,33; y_8 = 4,35.$$

Після визначення коефіцієнтів рівняння математичної моделі набуває вигляду:

$$y = 4,31 + 0,00125x_1 - 0,02125x_2 - 0,06125x_3 - 0,00875x_1x_2 - 0,00375x_1x_3 + 0,04375x_2x_3 - 0,04375x_1x_2x_3.$$

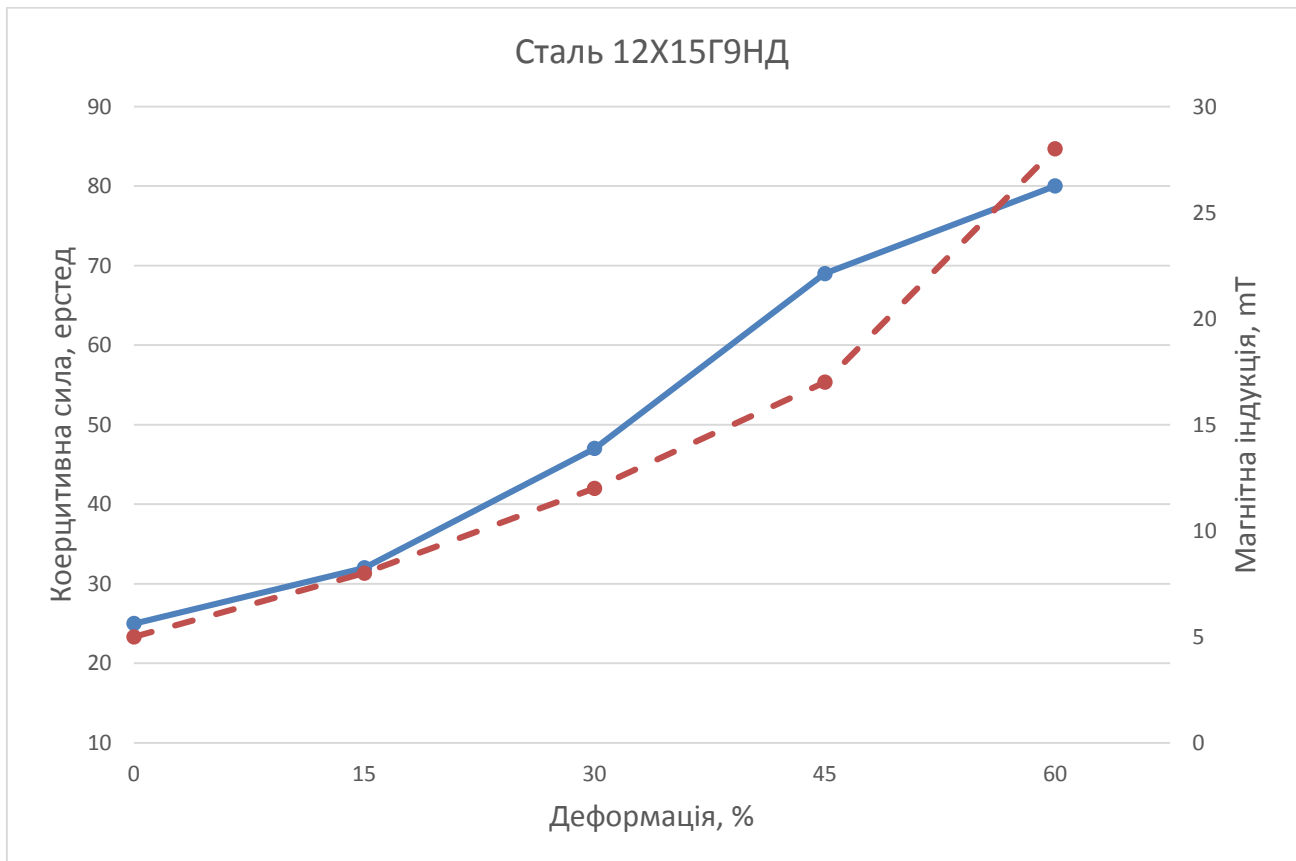


Рисунок 4 – Графік залежності зміни напруженості магнітного поля (суцільна лінія) та магнітної індукції (штрихова лінія) від ступеню деформації сталі 12Х15Г9НД

Досліджено вплив ХПД на зміну парамагнітних властивостей аустенітних сталей. Установлено, що структурні перетворення парамагнітного стану у частково феромагнітний стан під дією ХПД сприяє підвищенню оброблюваності аустенітних сталей. Досліджувались коерцитивна сила та магнітна індукція сталі 12Х15Г9НД, за допомогою коерцитиметра ИКС8–3 та мілітеслометра ТПУ. Результати дослідів наведено на рис. 4.

Для покращення процесу обробки аустенітних сталей, у поєднанні з попереднім ХПД, використовувалися МОР рослинного походження. Було проведено експерименти з різними екологічно чистими МОР, серед яких: ріпакова олія, олія льону та соняшникова олія. Фізико–механічні характеристики досліджуваних МОР наведені у табл. 1. В порівнянні з класичними МОР – сульфозфрезолом та мінеральним маслом И–20, отримано зменшення сил різання на 10%, усадки стружки та довжини контакту на 15–20%. Це свідчить про кращі мастильно–охолоджуючі властивості даних МОР рослинного походження.

Здійснивши моніторинг цін різних МОР, було визначено, що найбільш економічно доцільною є ріпакова олія.

Таблиця 1 – Фізико–механічні характеристики МОР

Характеристики	Назва			
	Ріпакова олія	Олія льону	Соняшникова олія	Мінеральне масло МР–7
ДСТУ	53457–2009	ГОСТ 5791–81	52465–2005	01445–88
Кислотне число, мг КОН/г	6,0	5,0	6,0	1,2
Масова частка нежирових домішок, %	0,20	0,05	0,20	0,04
Масова частка фосфору, %	2,0	0,90	0,80	–
Масова частка вологи та летких речовин, %	0,30	0,20	0,30	–
Перекисне число, ммоль/кг	10	–	10	–
Температура спалаху, °С	225	240	225	228
Густина, кг/м ³	915	935	925	850
Температура застигання, °С	0 – -10	-8 – -27	-16 – -19	-30 – -40
Кінематична в'язкість, м ² /сек	87,2 x 10 ⁻⁶	15,5 x 10 ⁻⁶	60,6 x 10 ⁻⁶	32,3 x 10 ⁻⁶

У процесі експериментального дослідження вивчалась дія попереднього ХПД, екологічно чистої МОР і швидкості різання на явища при різанні аустенітних сталей. Всі експерименти було проведено при обробці незміцнених, попередньо зміцнених до деформацій $\varepsilon = 40\%$ і 67% аустенітних сталей 3-х марок 12Х15Г9НД (АІSІ 201), 08Х18Н10 (АІSІ 304) та 110Г13Л (А128) при швидкостях різання 5–50 м/хв в умовах МОР на основі ріпакової олії. Процес різання був вільним ортогональним, передній кут γ і товщина зрізу s_z були постійними, відповідно $\gamma = 15^\circ$, $s_z = 0,03$ мм, а інструментом служив різець із швидкорізальної сталі Р6М5.

Середня температура різання, яку було виміряно методом природної термопари, була нижчою при різанні сталей, попередньо зміцнених холодною деформацією, на 30–50 °С.

Дослідження складових P_z і P_y сили різання було проведено за допомогою стандартного тензометричного динамометра УДМ–600 (рис. 5).

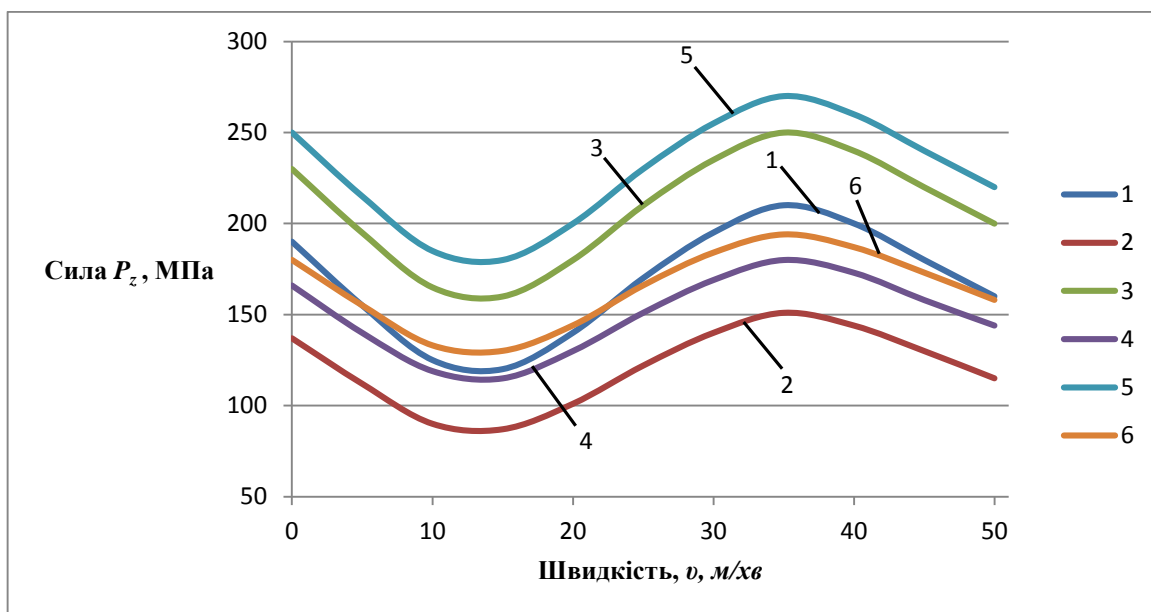


Рисунок 5 – Залежності складової P_z сили різання від швидкості при вільному ортогональному різанні сталей 12Х15Г9НД (АІSІ 201), 08Х18Н10 (АІSІ 304), 110Г13Л (А128) у незміцненому (твердість відповідно 1 – $HV=385$; 3 – $HV=220$; 5 – $HV=210$) та після попередньої обробки ХПД з деформацією $\varepsilon = 50\%$ (твердість відповідно 2 – $HV=520$; 4 – $HV=320$; 6 – $HV=510$)

Встановлено, що попередня обробка ХПД викликає зниження складових P_z і P_y сил різання у середньому на 25–30%, повної довжини контакту на 15–20% і коефіцієнта усадки стружки на 25–35%.

На рис. 6 наведено залежності коефіцієнта тертя при різанні аустенітних сталей 3-х марок у незміцненому та після попередньої обробки ХПД з деформацією 50%.

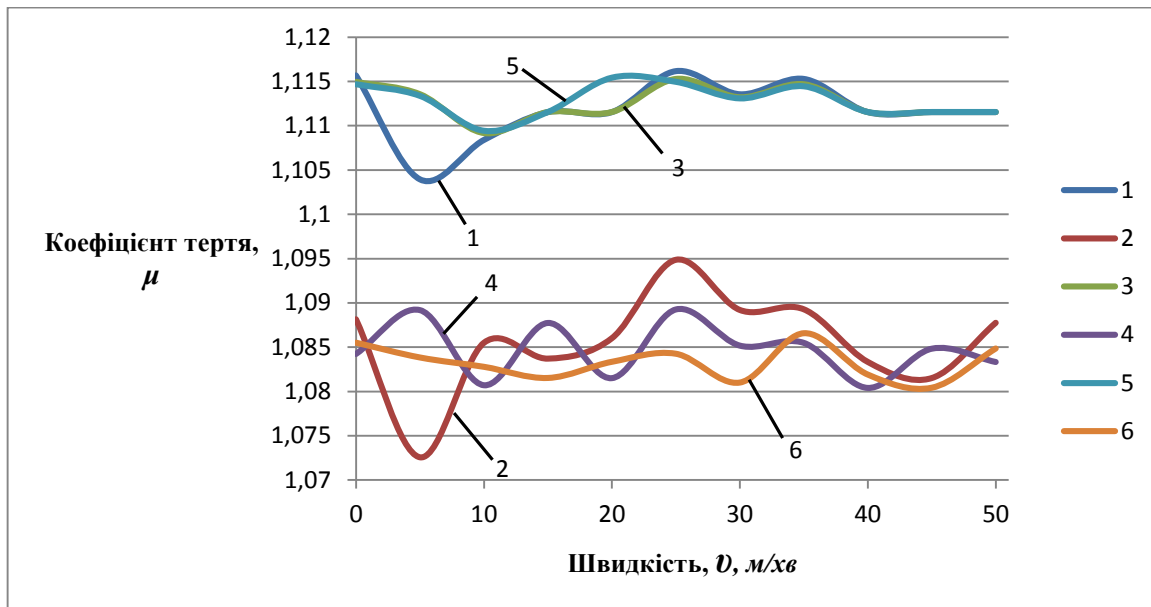


Рисунок 6 – Залежності коефіцієнта тертя μ при вільному ортогональному різанні сталей 12X15Г9НД (AISI 201), 08X18Н10 (AISI 304), 110Г13Л (A128) у незміцненому (твердість відповідно 1 – $HV=385$; 3 – $HV=220$; 5 – $HV=210$) та після попередньої обробки ХПД з деформацією $\varepsilon = 50\%$ (твердість відповідно 2 – $HV=520$; 4 – $HV=320$; 6 – $HV=510$)

Дані експериментів послужили для визначення контактних характеристик процесу: нормальних напружень (тиску) q_N , дотичних напружень q_F і середнього коефіцієнту тертя μ за залежностями:

$$q_N = \frac{P_z \cos \gamma - P_y \sin \gamma}{cb},$$

$$\mu = \operatorname{tg}(\gamma + \operatorname{arctg} P_y/P_z),$$

$$q_F = \mu q_N.$$

При обробці аустенітних сталей, нарід виконує дві функції: позитивну і негативну. Позитивна функція полягає у захисті різальної кромки інструменту і розміщення лунки його зношування на передній грані на деякій відстані від цієї кромки. На рис. 7 наведено вигляд передньої поверхні різця при роботі у зоні швидкостей 70–75 м/хв. після точіння протягом однієї години.



Рисунок 7 – Передня поверхня різця із сталі Р6М5 після точіння деталі із сталі 08X18Н10 з подачею $S=0,09$ мм/об. $\times 100$, МОР – ріпакова олія

Негативна функція наросту полягає у значному погіршенні оброблюваної поверхні деталі через періодичне видалення його твердих часток з боку задньої поверхні.

Таким чином, попередня ХПД аустенітних сталей усіх класів та марок разом з наступною дією екологічно чистих МОР рослинного походження дозволяє у кілька разів знизити характеристики наросту. Тим самим НДС систем «ОМ – ІМ – стружка» максимально наближається до заданої. Зона пластичного контакту стружки з передньою поверхнею зменшується, параметри різального клину набувають значень, близьких до початкових (створюваних заточуванням), а шорсткість обробленої поверхні поліпшується за параметром Rz у 5–20 разів.

В процесі підвищення оброблюваності деталей засобів транспорту із аустенітних сталей, змінювалися три основні параметри процесу різання: твердість, швидкість та мастильно–охолоджуюча рідина (рис 8).

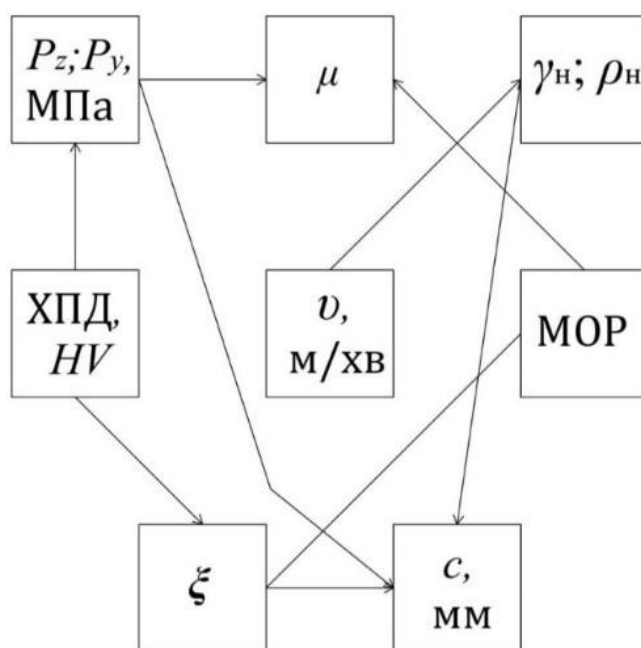


Рисунок 8 – Взаємозв'язок явищ при різанні аустенітних сталей

Вплив ХПД на зміну твердості аустенітних сталей, полягає у наступному. Зміна твердості оброблюваних матеріалів безпосередньо діє на складові сил різання P_z і P_y та на коефіцієнт усадки стружки ξ . Виконуючи частину роботи різання, а саме, її пластичну складову, попереднє ХПД знижує величину сил різання P_z та P_y , що, у свою чергу, знижує величину нормальних q_N та дотичних q_F напружень, а отже, знижує коефіцієнт тертя μ в зоні різання. Попереднє ХПД також призводить до зниження величини переднього кута наросту γ_n та радіусу заокруглення наросту ρ_n , якими виконується різання в умовах наросту.

Обробка після попереднього ХПД матеріалу призводить до зниження коефіцієнта усадки стружки ξ . Сили різання P_y і P_z впливають на повну довжину контакту стружки c з передньою поверхнею різального інструменту. Використання

екологічно чистих МОР рослинного походження, а саме, ріпакової олії, дає зниження коефіцієнта тертя μ та коефіцієнта усадки стружки ξ на 30% та 80% відповідно.

У четвертому розділі наведено результати практичного дослідження процесу оброблюваності аустенітних сталей та рекомендації для виробництва і відновлення деталей засобів транспорту.

На рис. 9 представленні фрагменти процесу стружкоутворення при вільному ортогональному різанні сталі 12X15Г9НД, зміцненою поперечним стиском у середовищі ріпакової олії (а) та сульфофрезолу Р (б). Поліпшення оброблюваності цієї сталі також характеризується меншим радіусом завитка останньої на 28%.



а)



б)

Рисунок 9 – Фрагменти стружкоутворення при вільному ортогональному різанні сталі 12X15Г9НД (AISI 201), зміцненої по схемі поперечного стиску з деформацією 46%, у середовищі ріпакової олії (а) та сульфофрезолу Р (б)

У таблиці 2 подані значення коефіцієнта заповнення канавок K різального інструменту для незміцнених та зміцнених сталей.

Попереднє ХПД дозволяє отримати сприятливі для наступного процесу різання стискуючі напруження. Величина цих напружень перевищує межу текучості зміцнених аустенітних сталей у 1,5–3 рази. У процесі наступного різання при МОР на основі ріпакової олії значення цих напружень зменшуються. Стискуючі залишкові напруження особливо важливі також і для формування поверхневих захисних шарів (покриттів) при виготовленні та ремонті деталей із аустенітних сталей.

При нанесенні покриттів на зношені деталі засобів транспорту методами інженерії поверхні, які дозволяють отримувати поверхневі шари товщиною понад 0,5 – 1 мм, актуальним стає питання залишкових напружень у поверхневих шарах.

Таблиця 2 – Коефіцієнти заповнення канавки для стружки

Оброблювальна сталь		Канавка для стружки	Коефіцієнт заповнення K при товщині зрізу a_z , мм		
Марка	Твердість HV , МПа	Глибина, мм	0,01	0,03	0,05
12Х15Г9НД	3850–3900	3,6	0,34	0,31	0,28
	5050–5200		0,57	0,55	0,52
08Х18Н10	2200–2300		0,37	0,33	0,30
	3180–3250		0,63	0,59	0,55
110Г13Л	2150–2220		0,27	0,24	0,21
	5100–5180		0,48	0,43	0,39

Для повернення початкових експлуатаційних властивостей аустенітних сталей слід рекомендувати середньотемпературне відпускання (температура нагрівання 350–500 °С). Особливістю структури є пластичність аустеніту і зерниста форма карбідних фаз (рис. 10).

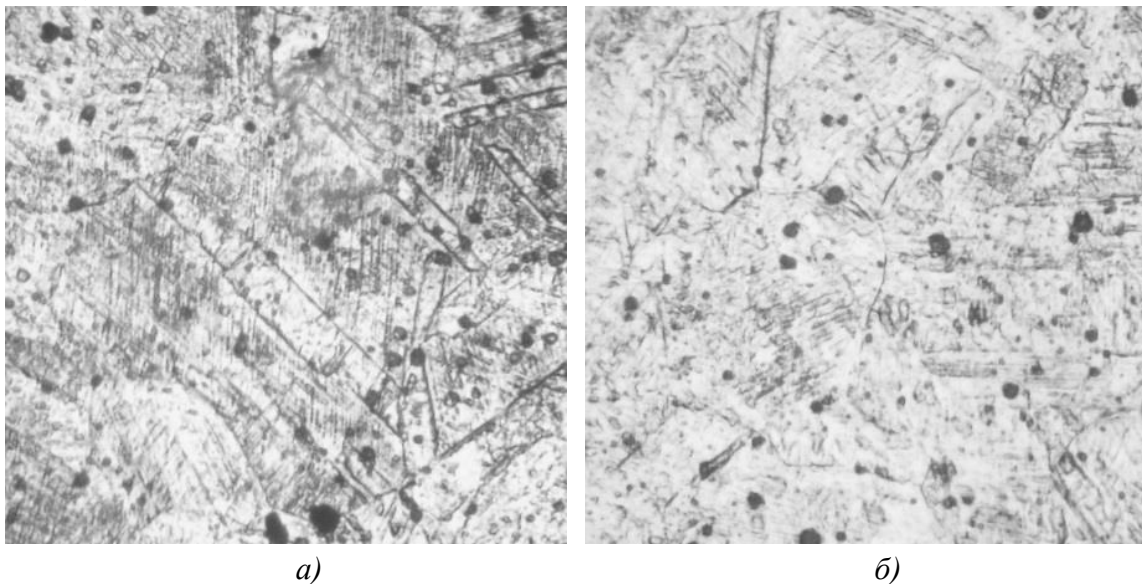


Рисунок 10 – Мікроструктура сталі 08Х18Н10 до середнього відпускання, *a*, і після середнього відпускання ($\theta = 450$ °С, витримка 100 хв, середовище – ріпакова олія)

На рис. 11 наводяться зміни основних механічних властивостей сталі 08Х18Н10 після середнього відпускання. Перед відпусканням сталь було піддано холодній деформації ($\varepsilon = 67\%$) та низькошвидкісній обробці різанням ($v = 26,5$ м/хв).

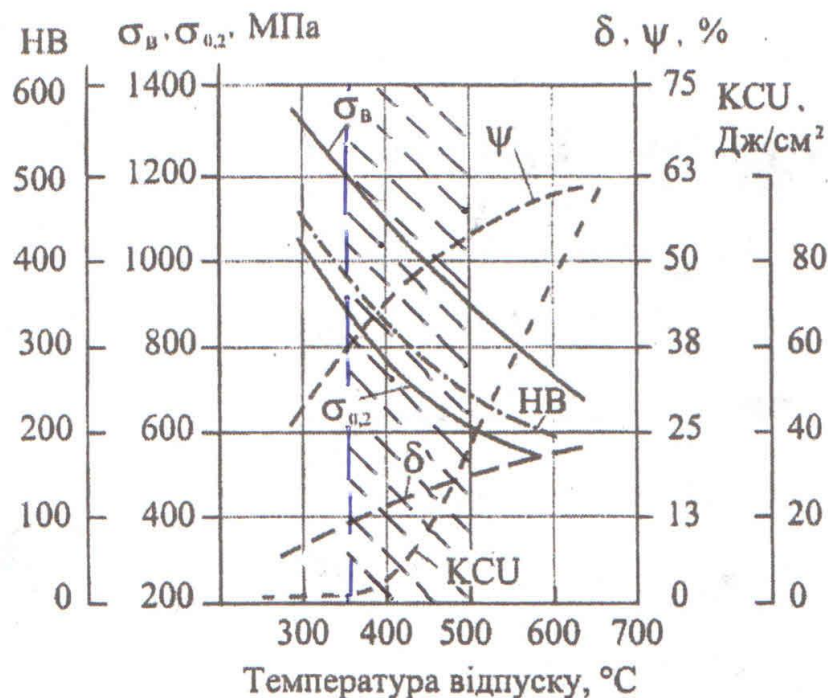


Рисунок 11 – Зміна механічних характеристик аустенітної сталі 08X18H10 від температури відпускання. Штриховими лініями обмежена рекомендована область температур середнього відпускання

Заключною фінішною операцією деталей із аустенітних сталей рекомендується алмазно-абразивна обробка еластичним інструментом.

Типовий технологічний процес обробки деталей засобів транспорту із аустенітних сталей або захисних покриттів із цих сталей складається із поєднання ХПД, різання у середовищі екологічно чистих МОР рослинного походження, наприклад, на основі ріпакової олії, і повернення початкових експлуатаційних властивостей деталей прецизійним середнім відпусканням.

Ця схема технологічного процесу оброблення аустенітних сталей за результатами дисертаційного дослідження лягла в основу патенту [9].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті виконаних досліджень в межах дисертаційної роботи вирішено науково-технічне завдання розширення використання аустенітних сталей, для виготовлення та відновлення деталей засобів транспорту, зокрема гусеничної ходової частини, газорозподільного механізму, наддуву дизелів, вузлів вихлопу тощо. Це стало можливим завдяки наступному.

1. Розроблено математичну модель процесу обробки аустенітних сталей різанням, що визначає вплив значимих факторів: величини попередньої холодної пластичної деформації, виду екологічно чистої мастильно-охолоджувальної рідини рослинного походження та швидкості різання у межах 5–50 м/хв.

2. Уперше встановлена роль збільшення густини дислокацій на один–два порядки та фазових структурних перетворень «аустеніт–мартенсит», ініційованих холодною пластичною деформацією, на поліпшення оброблюваності аустенітних сталей за рахунок поліпшення контактних процесів на передній поверхні інструменту, зокрема зменшення повної довжини контакту на 50–60% і середнього коефіцієнта тертя з 2–2,5 до 0,9–1,5.

3. Встановлено, що використання мастильно–охолоджувальних рідин на основі рослинних масел у порівнянні із застосуванням рідин на основі мінеральних масел призводить до поліпшення оброблюваності аустенітних сталей, причому оптимальними у розробленому ранжувальному ряді є екологічно чисті рідини на основі ріпакової олії.

4. Досліджено параметри різання аустенітних сталей, зміцнених холодною пластичною деформацією при застосуванні ріпакової олії, причому при передньому куті інструменту із сталі Р6М5, $\gamma = 15\text{--}20^\circ$, швидкостях різання 5–50 м/хв, забезпечується зниження середньої температури різання до 10%; складових сил різання P_z та P_y на 10–30%; коефіцієнта усадки стружки до 1,8; повної довжини контакту по передній поверхні до 1,9 раз; і зниження інтенсивності наростоутворення до 20 раз.

5. Розроблено метод об'ємного холодного пластичного деформування металевих матеріалів, який полягає у поперечному стисканні циліндричних заготовок перпендикулярно осі. При силах стиснення до 63 МН забезпечується величина деформації до 90%.

6. Установлено, що попереднє холодне пластичне деформування аустенітних сталей та інтенсифікація різання цих сталей мастильно–охолоджувальною рідиною на основі ріпакової олії дозволяє підвищити допустимий коефіцієнт заповнення стружкових канавок до 0,55–0,65.

7. Розроблено і запропоновано для виробництва технологію виготовлення та відновлення деталей засобів транспорту за наступною послідовністю основних операцій: холодне пластичне деформування – обробка різанням – повернення початкових властивостей деталей середнім відпусканням у захисному середовищі на основі аргону. Технологія рекомендується для деталей газорозподільчого механізму, ходової частини, зокрема гусеничної, систем вихлопу відпрацьованих газів тощо. Результати дисертаційного дослідження використовуються у навчальних дисциплінах Національного транспортного університету, спеціальність “Прикладна механіка”: «Технологія конструкційних матеріалів» та «Основи інженерії поверхні деталей машин та конструкцій».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у видання, які входять до наукометричних баз

1. Influence a material and the technological factors on improvement of operation properties of machine parts by reliefs and film coatings / E. Posviatenko, N. Posviatenko, R. Budyak, L. Shvets, Ju. Paladiichuk, P. Aksom, I. Rybak, B. Sabadash, V. Hryhoryshen. Eastern–European journal of enterprise technologies. 2018. № 5/12 (95). P. 48–56 (Scopus).

Публікації у наукових фахових виданнях України

2. Посвятенко Е. К. Особливості обробки деталей засобів транспорту із аустенітних сталей / Е. К. Посвятенко, П. А. Аксьом // Вісник Національного транспортного університету. Серія: “Технічні науки”. Наук.–техн. зб. – К.: НТУ, 2015. – Вип. 1 (31). – С. 443 – 449.

3. Посвятенко Е. К. Відновлення деталей засобів транспорту із аустенітних сталей / Е. К. Посвятенко, П. А. Аксьом // Вісник Національного транспортного університету. Серія: “Технічні науки”. Наук.–техн. зб. – К.: НТУ, 2015. – Вип. 2 (32). – С. 210 – 218.

4. Посвятенко Е. К. Основні напрямки поліпшення оброблюваності деталей із аустенітних сталей / Е. К. Посвятенко, П. А. Аксьом, Р. В. Будяк // Вісник Національного транспортного університету. Серія: “Технічні науки”. Наук.–техн. зб. – К.: НТУ, 2016. – Вип. 1 (34). – С. 370 – 377.

5. Посвятенко Е. К. Розробка наукових основ поліпшення оброблюваності деталей транспортних засобів із аустенітних сталей / Е. К. Посвятенко, П. А. Аксьом // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Частина 1: Серія: “Технічні науки”. Науковий журнал. – К.: НТУ, 2016. – Випуск 18. – С. 94 – 100.

6. Посвятенко Е. К. Вплив попередньої холодної деформації і рослинних мастильно–охолоджуючих рідин на фізико–механічні та технологічні властивості аустенітних сталей / Е. К. Посвятенко, П. А. Аксьом, Н. І. Посвятенко // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.–техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2018. – Вып. 88. – С. 172 – 178.

7. Посвятенко Е. К., Аксьом П. А. Про природу впливу деформаційного зміцнення на оброблюваність аустенітних сталей. Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Наук.–техн. зб. – К.: НТУ, 2019. – Вип. 3 (45). – С. 113 – 121.

Публікації у наукових періодичних виданнях зарубіжних держав

8. Посвятенко Е. К. Поліпшення властивостей аустенітних сталей як конструкційного матеріалу / Е. К. Посвятенко, Н. І. Посвятенко, П. А. Аксьом // Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia. Monografia nr 6 seria: Transport, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2015, s. 113 – 118.

Патенти

9. Пат. 118017 Україна, МПК (2017.01) C21D 8/00. Спосіб оброблення аустенітних сталей / Посвятенко Е. К., Аксьом П. А. Власник Національний

транспортний університет. – № а 2016 08413; заявл. 01.08.2016; опубл. 25.07.2017. Бюл. № 14.

Публікації апробаційного характеру

10. Посвятенко Е. К. Підвищення оброблюваності аустенітних сталей різанням / Е. К. Посвятенко, П. А. Аксьом, Ю. В. Драгун // Тези доповідей LXX наукова конференція професорсько–викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2014. – С. 9 – 10.

11. Посвятенко Е. К. Основний напрямок підвищення оброблюваності аустенітних сталей / Е. К. Посвятенко, Н. І. Посвятенко, П. А. Аксьом // Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: Материалы 14-го Международного научно–технического семинара, 24–28 февраля 2014г., г. Свалява. – Киев: АТМ України, 2014. – С. 189 – 192.

12. Посвятенко Е. К. Нова технологія виготовлення та ремонту деталей транспортних засобів із аустенітних сталей / Е. К. Посвятенко, П. А. Аксьом // Тези доповідей LXXI наукова конференція професорсько–викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2015. – С. 9.

13. Посвятенко Е. К. Аустенітні сталі у транспортному машинобудуванні / Е. К. Посвятенко, П. А. Аксьом // 12-й Міжнародний симпозіум українських інженерів–механіків у Львові: Тези доповідей. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД. – 2015. – С. 121 – 122.

14. Посвятенко Е. К. Зміна властивостей аустенітних сталей холодним пластичним деформуванням / Е. К. Посвятенко, П. А. Аксьом // Тези доповідей III–ої міжнародної інтернет–конференції «Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій», 23 грудня 2015 року: збірник наукових праць. Частина 1 / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інші]. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – С. 37.

15. Аксьом П. А. Новий метод обробки аустенітних сталей при виготовленні і відновленні деталей транспортних засобів / П. А. Аксьом // Тези доповідей LXXII наукова конференція професорсько–викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2016. – С. 14.

16. Посвятенко Е. К. Математична модель обробки деталей транспортних засобів із аустенітних сталей / Е. К. Посвятенко, П. А. Аксьом, Р. В. Будяк // Качество, стандартизация, контроль: теория и практика: Материалы 16-й Международной научно–практической конференции, 20 – 23 сентября 2016 г., г. Одесса. – Киев: АТМ України, 2016. – С. 122 – 126.

17. Аксьом П. А. Дослідження холодного пластичного деформування методом поперечного стискання / П. А. Аксьом // Теорія та практика раціонального

проектування, виготовлення і експлуатація машинобудівних конструкцій: Матеріали конференції. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД. – 2016. – С. 16 – 17.

18. Посвятенко Е. К. Про вплив дислокацій на фізико–механічні властивості феритних та аустенітних сталей / Е. К. Посвятенко, П. А. Аксьом, О. В. Мельник // Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: Материалы 17–го Международного научно–технического семинара, 20–24 февраля 2017 г., г. Свалява. – Киев: АТМ Украины, 2017. – С. 239 – 241.

19. Аксьом П. А. Вплив середовища на оброблюваність деталей транспорту із аустенітних сталей / П. А. Аксьом // Тези доповідей LXXIII наукова конференція професорсько–викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2017. – С. 15.

20. Посвятенко Е. К. Визначення фактичного складу аустенітних сталей / Е. К. Посвятенко, П. А. Аксьом // 13–й Міжнародний симпозіум українських інженерів–механіків у Львові: Матеріали симпозіуму. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД. – 2017. – С. 187 – 188.

21. Посвятенко Е. К. Про фізичну природу поліпшення оброблюваності аустенітних сталей / Е. К. Посвятенко, Н. І. Посвятенко, П. А. Аксьом // Инженерия поверхности и реновация изделий: Материалы 17–й Международной научно–практической конференции, 29 мая – 02 июня 2017 г., г. Одесса. – Киев: АТМ Украины, 2017. – С. 153 – 157.

22. Аксьом П. А. До аналізу складових металевого матеріалу / П. А. Аксьом, Е. К. Посвятенко, О. В. Мельник // Тези доповідей LXXIV наукова конференція професорсько–викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2018. – С. 13.

23. Аксьом П. А. Структурні перетворення у аустенітних сталях при холодному пластичному деформуванні / П. А. Аксьом, Е. К. Посвятенко // Тези доповідей LXXV наукова конференція професорсько–викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2019. – С. 9

24. Посвятенко Е. К. Поліпшення оброблюваності різанням пластичних матеріалів / Е. К. Посвятенко, П. А. Аксьом, Р. В. Будяк // 14–й Міжнародний симпозіум українських інженерів–механіків у Львові: Матеріали симпозіуму. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД. – 2019. – С. 163 – 164.

АНОТАЦІЯ

Аксьом П. А. Підвищення властивостей відновлювальних деталей засобів транспорту. – 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, м. Київ, 2020.

У роботі вирішено науково–технічна проблема розширення використання аустенітних сталей для виготовлення та відновлення деталей засобів транспорту.

Вивчено спільну дію холодної пластичної деформації та рослинних мастильно–охолоджувальних рідин при механічній обробці. Визначено причини поліпшення оброблюваності, що полягають у попередньому виконанні частини роботи різання пластичним безстружковим деформуванням, зростанням густини дислокацій на 1–3 порядки, частковим перетворенням парамагнітної структури аустенітної сталі у феромагнітну, а також за рахунок зміни контактних процесів на передній поверхні інструменту. Розроблено метод поперечного об'ємного стискання металевих матеріалів та проведено ранжування екологічно чистих мастильно–охолоджувальних матеріалів, серед яких найкращою рідиною виявилась ріпакова олія.

Поліпшення оброблюваності полягало у зниженні складових сили різання на 10–30%, температури до 10%, коефіцієнта усадки стружки до 1,8, довжини контакту по передній поверхні інструменту до 1,9 раз, коефіцієнта тертя до 0,9–1,5, та підвищенням коефіцієнта заповнення стружкових канавок до 0,55–0,65. Отримано зниження інтенсивності наростуотворення.

Результати роботи використані на 2–х машинобудівних підприємствах України та у навчальному процесі Національного транспортного університету.

Ключові слова: холодна пластична деформація; мастильно–охолоджувальна рідина; поперечне стискання, дислокації, парамагнітні властивості матеріалів.

АННОТАЦІЯ

Аксём П. А. Повышение свойств восстанавливаемых деталей средств транспорта. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – Эксплуатация и ремонт средств транспорта. – Национальный транспортный университет Министерства образования и науки Украины, г. Киев, 2020.

В работе решена научно–техническая проблема расширения использования аустенитных сталей для изготовления и восстановления деталей средств транспорта.

Изучено совместное действие холодной пластической деформации и растительных смазывающе–охлаждающих жидкостей при механической обработке. Определены причины улучшения обрабатываемости, которые заключаются у предварительном выполнении части работы резания пластическим безстружечным деформированием, возрастанием плотности дислокаций на 1–3 порядка, частичным превращением парамагнитной структуры аустенитной стали у феромагнитную, а также за счет изменения контактных процессов на передней поверхности инструмента. Проведено ранжирование растительных экологически чистых смазывающе–охлаждающих материалов, среди которых наилучшей жидкостью оказалось рапсовое масло.

Разработано методика объёмного холодного пластического деформирования металлических материалов, суть которой состоит в поперечном сжатии цилиндрических заготовок перпендикулярно их оси.

Разработано математическую модель процесса обработки аустенитных сталей резанием, что определяет влияние значащих факторов: величины предварительной холодной пластической деформации, вида экологически чистой смазывающе–охлаждающей жидкости растительного происхождения и скорости резания в пределах 5–50 м/мин.

Улучшение обрабатываемости состоит в снижении составляющих силы резания на 10–30%, температуры резания до 10%, коэффициента усадки стружки до 1,8, длины контакта по передней поверхности инструмента до 1,9 раз, коэффициента трения до 0,9–1,5 и повышением коэффициента заполнения стружечных канавок до 0,55–0,65. Получено снижение интенсивности нароста.

Создано типичный процесс по схеме: холодное пластическое деформирование – обработка резанием – возвращение начальных физико–механических свойств сталей средним отпускком в защитной атмосфере. Результаты работы использованы на 2–х машиностроительных предприятиях Украины и в учебном процессе Национального транспортного университета.

Ключевые слова: холодная пластическая деформация; смазочно–охлаждающая жидкость; поперечное сжатие; дислокации; парамагнитные свойства материалов.

SUMMARY

Aksom P.A. Improvement of the properties of renewable parts of vehicles. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for a candidate degree in technical sciences in speciality 05.22.20 “Maintenance and Repair for Transport Vehicle” National Transport University, Ministry of Science and Education of Ukraine, Kyiv, 2020.

This paper addresses the scientific and technical problem of expanding the use of austenitic steels for the manufacturing and restoration of parts of vehicles.

Was studied the joint effect of cold plastic deformation and vegetable lubricant–coolant liquids during the machining. The paper determined reasons for improvement of workability, which consist in preliminary execution of part of the work of cutting by plastic chipless deformation, increase of dislocation density by 1–3 orders, partial transformation of paramagnetic structure of austenitic steel into ferromagnetic, due to the change of contact processes on the front surface of the tool. The method of transverse three–dimensional compression of metallic materials was developed and the ranking of environmentally friendly lubricant–coolant materials was performed, among which rapeseed oil was the best liquid.

The improvement in workability consisted in reducing the components of the cutting force by 10–30%, temperature to 10%, chip reduction coefficient to 1,8, contact length on

the front surface of the tool to 1,9 times, friction coefficient to 0,9–1,5, and increasing the filling factor of chip grooves to 0,55–0,65. A decrease in the intensity of build-up formation was obtained.

The results of the work were used at 2 machine-building enterprises of Ukraine and in the educational process of the National Transport University.

Key words: cold plastic deformation; lubricant-coolant liquids; transverse compression, dislocations, paramagnetic properties of materials.