

УДК 621.787: 629.331 (Транспорт)
DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.1.2/30>

Хітров І.О.

Національний університет водного господарства та природокористування

Кононогов Ю.А.

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ ТА СПОСОБИ ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ

Сектор машинобудування забезпечує створення нових технологій, матеріалів та деталей машин (автомобілів, тракторів, дорожніх, сільськогосподарських та інших). Підтримання заданих виробничих експлуатаційних характеристик деталей машин протягом усього періоду їх роботи досягається належним технічним сервісом (обслуговування і ремонт). Для відновлення деталей машин застосовуються різні способи, на вибір яких впливає матеріал деталі, величина спрацювання, характер навантаження, собівартість відновлення та ін. У ремонтному виробництві за простотою і доступністю широко застосовуються способи відновлення деталей (їх робочих поверхонь) з обмеженим або відсутнім тепловим впливом, забезпечуючи при цьому ресурс деталей не нижче нових. Серед таких особливої уваги заслуговують способи відновлення деталей пластичним деформуванням, що ґрунтуються на використанні пластичних властивостей металу – під дією зовнішніх сил деформуватися без порушення цілісності. До них відносяться способи: правка, наклеп, осадження, роздавання, обкатування, електромеханічна обробка. Надійність роботи машин безпосередньо пов'язана з оптимальною якістю поверхневого шару деталей, яка досягається зміцнювальним поверхневим пластичним деформуванням (обкочування робочих поверхонь деталей, алмазне вигладжування, чеканка). Останні дослідження та практичні застосування таких методів дозволяють визначити оптимальні шляхи вдосконалення виготовлення або відновлення деталей з метою підвищення їхньої міцності та довговічності. Метою статті є опис процесу відновлення деталей пластичним деформуванням та аналіз ефективних методів для його здійснення. Стаття спрямована на висвітлення технічних аспектів пластичного деформування, його застосування у відновленні спрацьованих деталей, а подальші дослідження якого можуть бути направлені на досягнення оптимальних результатів підвищення ефективності за рахунок застосування у вигляді зміцнювальної технології в машинобудуванні під час виготовлення нових деталей або їх відновлення власними силами господарств (майстерень).

Ключові слова: машина, деталь, відновлення, пластична деформація, поверхнєве зміцнення, довговічність.

Постановка проблеми. В процесі експлуатації більшість деталей машин (85–90%) виходять з ладу внаслідок спрацювання (зношування) їх робочих поверхонь [1, с. 22]. Найбільша кількість деталей (біля 83%) має зношування до 0,6 мм, основна частка яких припадає на зовнішні та внутрішні циліндричні поверхні – 52% [2, с. 10; 3, с. 70].

В процесі експлуатації машин нерухомість посадки порушується внаслідок спрацювання спряжених поверхонь. В міру зростання величини спрацювання збільшуються зазори в спряженнях, зростає динамічне навантаження, виникають вібрації, прискорюється процес руйнування поверхонь, що вразі зменшує їх довговічність (ресурс).

Для відновлення нерухомих спряжень в основному використовуються способи термічного

впливу шляхом дугового наплавлення, електроконтактного наварювання, газотермічного напилення та ін. Однак ці технології не в повній мірі відповідають певним вимогам (зниження собівартості відновлення, підвищення стійкості проти фретингу, абразивного спрацювання і втоми).

Тому, актуальною задачею є використання в ремонтному виробництві способів з обмеженим або відсутнім тепловим впливом, які дозволяють відновлювати деталі з малими величинами спрацювань (до 0,3 мм), забезпечуючи при цьому їх ресурс не нижче, ніж нових. Одним із таких простих і доступних способів в будь-яких умовах виробництва є відновлення і зміцнення деталей пластичним деформуванням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Упродовж останніх десяти років проблема відновлення, зміцнення та підвищення довговічності

деталей машин (автомобілів, тракторів, сільськогосподарських машин) із застосуванням пластичного деформування активно привертає увагу науковців як в Україні, так і за її межами. Значний науковий внесок у створенні певних механічних властивостей відновлених деталей з використанням різних технологічних методів поверхневої обробки внесли такі вчені, як Анілович В.Я., Скобло Т.С., Науменко О.А., Молодик М.В., Мудрук О.С., Черновол М.І. та багато інших.

В наукових джерелах найчастіше наводять дослідження з обґрунтування вимог до поверхневого, зміцненого шару деталей під час їх виготовлення і подальшій експлуатації [4–6]. Однак застосування пластичного деформування в ремонтному виробництві для відновлення різного роду деталей недостатнє, що вимагає виконання самостійних досліджень [2, 7, 8].

Такі дослідження мають на меті розширити розуміння процесу пластичного деформування, сприяти вдосконаленню методів відновлення деталей, а також підвищенню якості та здатності машини виконувати своє функціональне призначення.

Метою статті є опис процесу відновлення деталей пластичним деформуванням та аналіз ефективних методів для його здійснення. Стаття спрямована на висвітлення технічних аспектів пластичного деформування, його застосування у відновленні спрацьованих деталей, а подальші дослідження якого можуть бути направлені на досягнення оптимальних результатів підвищення ефективності за рахунок застосування у вигляді зміцнювальної технології в машинобудуванні під час виготовлення нових деталей або їх відновлення власними силами господарств.

Виклад основного матеріалу. Якість поверхні деталі визначається геометричною характеристикою і фізико-механічними властивостями його поверхневого шару (структури, мікротвердості, наявності залишкових напружень тощо) [9, с. 173]. Така оцінка може проводитися за допомогою візуального огляду, вимірювання параметрів поверхні з використанням спеціалізованого оснащення (інструментів, пристроїв, обладнання) для контролю якості.

Взаємозв'язок між якістю і довговічністю деталі, як процес вдосконалення матеріалів, конструкції та обробки (відновлення), спрямований на збільшення тривалості її експлуатації без втрати якості чи функціональності, досить тісний і визначається кількома ключовими факторами:

1. Використання матеріалів високої якості для забезпечення кращої стійкості до зношування, корозії та триваліший термін служби.

2. Оптимізація конструктивного виконання деталі (розробка більш ефективних конструкцій, які зменшують напруження та зношування під час роботи, моделювання робочих умов та випробування на виявлення слабких місць).

3. Технологічні інновації (використання новітніх технологій обробки та виробництва для покращення якості деталі). Наприклад, методи обробки і зміцнення деталей пластичним деформуванням часто забезпечують кращу стійкість до зношування.

4. Аналіз виробничих процесів (огляд та аналіз кожного етапу виробництва для виявлення можливих проблем, які можуть вплинути на довговічність деталі).

5. Систематичний контроль якості (для уникнення дефектів та забезпечення однорідності якості). Ретельний аналіз деталей дозволяє виявляти можливі слабкі місця, дефекти або недоліки, що можуть призвести до скорочення терміну експлуатації машини в цілому. Розуміння таких аспектів дозволяє вдосконалювати технологічні і виробничі процеси.

6. Удосконалення під час експлуатації (збір та аналіз даних про роботу деталі під час експлуатації для виявлення можливостей її поліпшення).

7. Технічне обслуговування і ремонт (надання рекомендацій з правильного використання та обслуговування деталі для запобігання прискореному зношуванню).

Підвищують довговічність деталей в машинобудуванні і ремонтній справі різними способами: загартування струмами високої частоти, нанесення гальванічних покриттів, азотування, а також поверхневим пластичним деформуванням (ППД) тощо.

В загальному, під деформацією розуміємо зміну розміру і форми деталі внаслідок зміни температури або прикладеної сили [6, с. 13]. Залежно від розміру, матеріалу та прикладеної сили можуть виникати різні форми деформації:

– пружна деформація (оборотна деформація, яка зникає після зняття прикладеної сили). Наприклад, робота пружини підвіски автомобіля;

– пластична деформація (деформація незворотна і залишається навіть після зняття прикладених сил). Наприклад, закручування торсійного валу або згинання сталевих стрижнів.

В ремонтній практиці спосіб відновлення (зміцнення) поверхні деталі пластичним деформуванням базується на використанні пластичних властивостей матеріалу, що проявляється у здатності металу деформуватися (без порушення цілісності) під дією зовнішніх сил шляхом

його перерозподілу з неробочих елементів деталей на зношені [10, с. 120].

Для відновлення деталей машин широкого розповсюдження набули способи пластичного деформування у вигляді правки, рихтування, наклепу, осадження, роздавання, обкатування [8, с. 149]. Особливістю кожного способу полягає у перерозподілі деформуючої сили F з напрямом необхідної деформації металу δ (рис. 1).

Принципові відмінності електромеханічного способу відновлення деталей від багатьох інших способів полягає в тому, що в процесі відновлення досягається значне підвищення фізико-механічних властивостей активного поверхневого шару деталі без додаткових операцій термічної обробки. При цьому сам процес відновлення базується на перерозподілі матеріалу відновлюваної деталі, що забезпечує значне збільшення використання матеріалу.

Технологічний процес відновлення складається з двох операцій: висадки металу і згладжування посадочної поверхні до певного розміру. Принципова відмінність цих операцій полягає в відмінності контактних напружень. При висадці на контактній поверхні утворюється гвинтовий виступ, а при згладжуванні цей виступ зменшується до необхідного розміру, площа контактної поверхні збільшується. Згладжування забезпечує: збільшення контактної поверхні спряженої деталі і зниження її шорсткості; збільшення твердості

і пружних властивостей контактної поверхні; необхідний натяг спряження і його міцність.

Суть електромеханічної обробки полягає в тому, що через місце контакту інструменту з деталлю проходить струм великої сили і низької напруги (рис. 2). Це приводить до сильного локального нагрівання поверхні, чим спричинюється зниження міцності і твердості металу та полегшуються деформація і згладжування металу деталі під тиском інструменту в процесі обробки, а після закінчення обробки поверхневий шар зміцнюється.

Пристрій (накатник) для електромеханічної обробки складається з пластини, що кріпиться трьома болтами на плиті поперечного супорта токарно-гвинторізного верстата і накатної головки, яка може плавно переміщуватися і закріплюватися на плиті пристосування, забезпечуючи таким чином, мінімальний кут прикладання зусилля деформування при накатуванні. Накатна головка пристрою складається із важеля, коромисла, на одному кінці якого на осі встановлюється ролик, а на другому кінці прикладається необхідне зусилля деформування за допомогою пружини стискання і шпильки з гайкою (рис. 3).

Поверхнєве пластичне деформування (поверхнєве зміцнення) – це процес зміни форми або структури матеріалу, який відбувається на поверхні без значної зміни обсягу або глибини

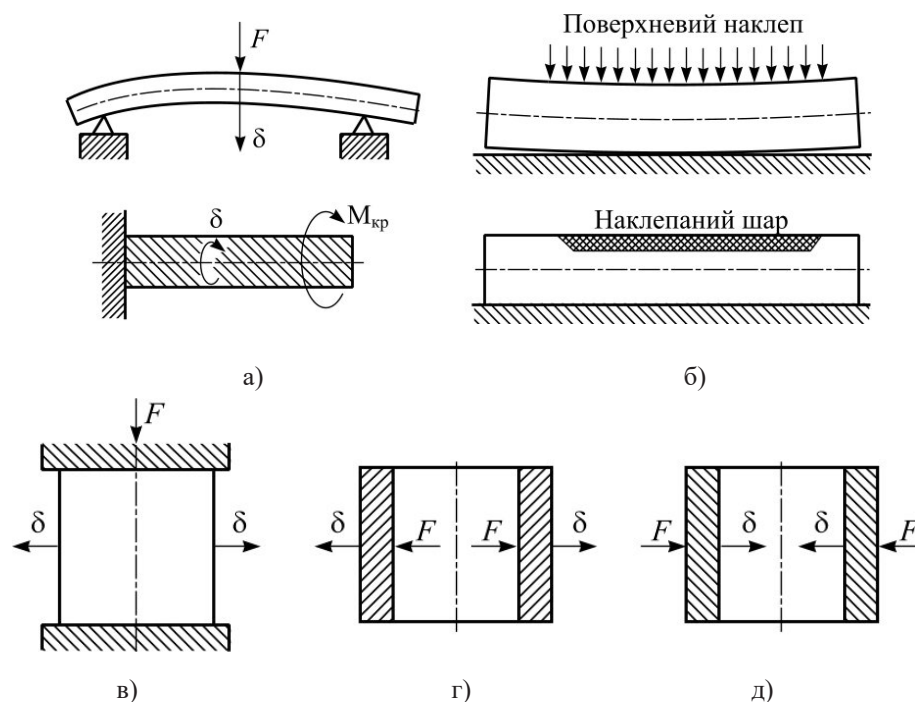


Рис. 1. Схема відновлення деталі статичним навантаженням (а), поверхневим наклепом (б), осадженням (в), роздаванням (г) та обтискуванням (д)

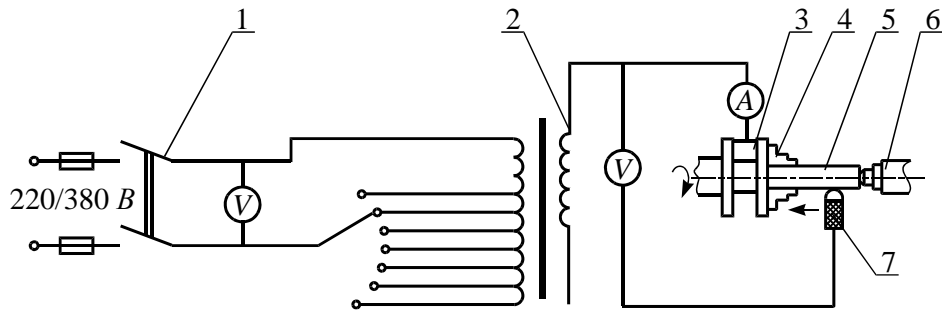


Рис. 2. Схема електромеханічної обробки деталі: 1 – вимикач ; 2 – вторинна обмотка; 3 – пристрій для підведення струму; 4 – патрон токарного верстату; 5 – деталь, яка підлягає відновленню; 6 – задня бабка; 7 – пристрій (накатник)

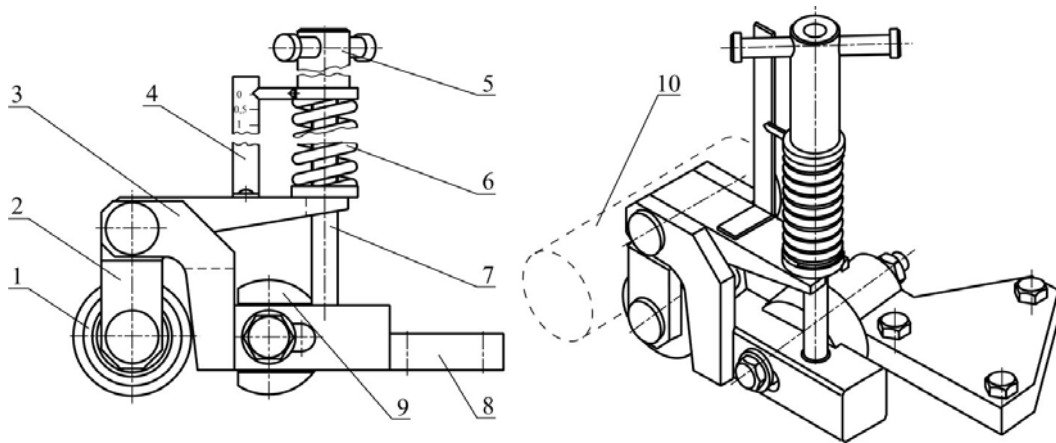


Рис. 3. Схема одноролікового пристрою: 1 – ролик; 2 – коромисло; 3 – важіль; 4 – шкала; 5 – гайка; 6 – пружина; 7 – шпилька; 8 – пластина; 9 – втулка; 10 – деталь, поверхня якої підлягає відновленню

самого матеріалу. Це відбувається через застосування зовнішнього навантаження, що призводить до розтягування, стиснення, згинання або зміни форми поверхні матеріалу. Цей процес може мати різноманітні застосування, від роботи з металами до полімерів та інших матеріалів. Важливою особливістю поверхневого пластичного деформування є те, що воно відбувається на поверхні матеріалу, не впливаючи значно на його об'ємні властивості або структуру всередині.

Зміцнення поверхні деталі пластичним деформування найчастіше застосовують в таких випадках роботи елементів конструкції [5, с. 49]:

1. Циклічна дія повторних навантажень (розтягування, стиснення, згин, скручування або їх поєднання).

2. Тривала дія статичних навантажень, здатних спричинити руйнування деталей.

3. Наявність мікропереміщень з подальшим розвитком фретинг-корозії поверхні (наприклад, відновлення посадочних отворів корпусної деталі під підшипник кочення).

4. Посилення захисту від дії агресивного середовища (корозії).

5. При виготовленні нових деталей або усуненні виробничих дефектів.

6. За наявності крихкого покриття (хромування, анодування).

Способи поверхневого пластичного деформування поділяються на статичні (робоче тіло інструмента діє на оброблювану поверхню з певною постійною силою) та ударні (робоче тіло або середовище багаторазово діє на оброблювану поверхню із змінною силою) – рис. 4.

Висновки. У цій статті ми розглянули процес відновлення (зміцнення) деталей за допомогою пластичного деформування та виявили його важливість у вирішенні завдань ремонту та відновлення функціональності деталей різної номенклатури.

Дослідження показали, що пластичне деформування може бути ефективним методом відновлення, забезпечуючи не лише відновлення форми, але і підвищення поверхневої міцності та довговічності. Застосування сучасних технологій та інно-

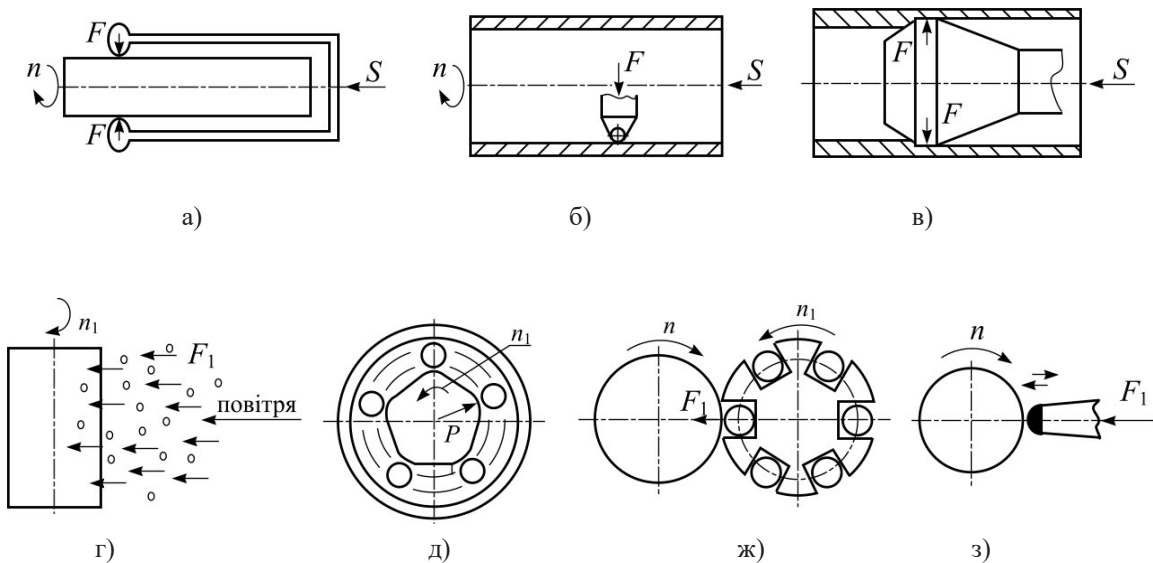


Рис. 4. Способи поверхневого пластичного деформування (зміцнення) деталей статичні (а – обкочування; б – вигладжування; в – дорнування) та динамічні (г – дробоструменева обробка; д – ударне розкочування; ж – відцентрова обробка; з – зміцнювальна чеканка)

вацій в області машинобудування і ремонту сприятиме покращенню якості та ефективності процесу.

Остаточний висновок полягає в тому, що пластичне деформування, як важливий інструмент

в арсеналі методів відновлення деталей, дозволить підвищити характеристики міцності поверхневого шару, що, в свою чергу, сприятиме підвищенню експлуатаційної надійності машин.

Список літератури:

1. Закалов О. В., Закалов І. О. Основи тертя і зношування в машинах : навч. посіб. Тернопіль : Видавництво ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. 322 с. <https://core.ac.uk/download/pdf/60787657.pdf>.
2. Технологічне забезпечення якості відновлення посадочних отворів корпусних деталей : монографія. / Хітров І. О., Гавриш В. С., Кононогов Ю. А., Фастовець П. М. Рівне: НУВГП, 2013. 128 с. <https://ep3.nuwm.edu.ua/2394/1/729815%20zah.pdf>.
3. Лузан С. О., Бантковський В. А. Оцінка номенклатури деталей машин, що визначають ресурс. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Машинознавство та САПР. 2022. № 1. С. 67–73. <https://doi.org/10.20998/2079-0775.2022.1.06>.
4. Plastic Deformation Behavior of Metal Materials: A Review of Constitutive Models. / Xiangdong J., Kunming H., Zhan L., Zhenyu F. *Metals*. 2022, 12(12), 2077. <https://doi.org/10.3390/met12122077>.
5. Методи поверхневого зміцнення у процесі виготовлення деталей машин : навч. посіб. / Фесенко А. Г. та ін. Дніпропетровськ : РВВ ДНУ, 2015. 104 с. <https://cutt.ly/JwJxGDxU>.
6. Нові технологічні процеси з використанням прогресивних методів пластичного деформування: монографія. / О. В. Нахайчук та ін. Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. 158 с.
7. Відновлення зношених деталей сільськогосподарської техніки пластичним деформуванням. / Іванкова О. В., Бартош В. Ю., Обчий Я. О., Кисіль Ю. Ю. *Modern Engineering and Innovative Technologies*. 2023. Issue 25 (1). Рр. 23–29. <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2023-25-01-073>.
8. Зміцнення деталей за допомогою поверхнево-пластичної деформації. / Паніна В. В., Дідур В. В., Сірий І. С., Чорна Т. С. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного*. 2020. Вип. 10. Т. 2. С. 148-155. <https://cutt.ly/dwJxHdQz>.
9. Технологічне забезпечення якості продукції машинобудування : монографія. / Фролов Є. А., Кравченко С. І., Попов С. В., Гнітько С. М. Полтава : ПНТУ, 2019. 204 с. <https://dspace.pdau.edu.ua/server/api/core/bitstreams/ab64c1c1-ee69-4b41-be34-334b98e8e9c9/content>.
10. Хітров І. О., Гавриш В. С. Ремонт машин і обладнання : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2011. 184 с. <https://ep3.nuwm.edu.ua/2214/1/721022%20zah.pdf>.

Khitrov I.O., Kononogov Yu.A. RECOVERY OF PARTS BY PLASTIC DEFORMATION AND METHODS FOR ITS IMPLEMENTATION

The machine-building sector ensures the creation of new technologies, materials and machine parts (cars, tractors, road, agricultural and other vehicles). Maintaining the performance characteristics of machine parts specified by the manufacturer throughout the entire period of their operation is achieved through proper technical service (maintenance and repair). Various methods are used to restore machine parts, the choice of which is influenced by the material of the part, the amount of wear, the nature of the load, the cost of restoration, etc. Due to their simplicity and accessibility, methods of restoring parts (their working surfaces) with limited or no thermal impact are widely used in repair production, ensuring that the service life of parts is not lower than new ones. Among these, special attention should be paid to the methods of restoring parts by plastic deformation, which is based on the use of the plastic properties of metal – under the influence of external forces, it can deform without compromising its integrity. These include the following methods: straightening, tacking, deposition, dispensing, rolling, and electromechanical processing. The reliability of machines is directly related to the optimal quality of the surface layer of parts, which is achieved by hardening surface plastic deformation (rolling of the working surfaces of parts, diamond smoothing, and chasing). Recent research and practical applications of such methods make it possible to determine the best ways to improve the manufacture or restoration of parts in order to increase their strength and durability. The purpose of the article is to describe the process of restoring parts by plastic deformation and to analyze effective methods for its implementation. The article is aimed at highlighting the technical aspects of plastic deformation, its application in the restoration of worn parts, and further research on which can be aimed at achieving optimal results of efficiency improvement through its use as a strengthening technology in mechanical engineering in the manufacture of new parts or their restoration by the own forces of farms (workshops).

Key words: vehicle, part, restoration, plastic deformation, surface hardening, durability.