



УДК 621.7.04

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-13

## ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ПОВЕРХНЕВО-ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ

Паніна В. В.<sup>1</sup> к.т.н.

ORCID 0000-0001-9623-516X

Дідур В. В.<sup>2</sup> к.т.н.

ORCID 0000-0001-7584-5073

Сірий І. С.<sup>1</sup> к.т.н.

ORCID 0000-0001-5943-7213

Чорна Т. С.<sup>1</sup> к.т.н.

ORCID-0000-0002-1439-9636

<sup>1</sup>Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, м. Мелітополь, Україна.

<sup>2</sup>Уманський національний університет садівництва м. Умань, Україна  
e-mail: [valeriia.panina@tsatu.edu.ua](mailto:valeriia.panina@tsatu.edu.ua)

*Постановка проблеми.* Відновлення деталей - технічно обґрунтований та економічно виправданий захід. Відновлення деталей дає змогу ремонтним та експлуатаційним підприємствам скорочувати час простою несправних машин, підвищувати якість їх технічного обслуговування та ремонту; позитивно впливає на поліпшення показників надійності і використання машин. Економічна сторона виконання робіт по відновленню деталей полягає в зниженні собівартості ремонту як агрегатів, так і машин за рахунок скорочення витрат на нові запасні частини, а також у скороченні виробничих витрат при експлуатації машин у господарствах. Вартість запасних частин становить значну частину в собівартості капітального ремонту машин, яка досягає 48-70%, зростаючи, як правило, із підвищенням конструкційної складності машин [1]. Це дає можливість знизити собівартість ремонту машин за рахунок скорочення цієї статті витрат шляхом відновлення деталей, що були в роботі.

*Аналіз останніх досліджень.* В більшості випадків руйнування деталей машин, обладнання, апаратів і елементів конструкцій розпочинається з поверхні (зношування, втома, контактні руйнування та ін.). Тому в багатьох випадках надійність та довговічність виробів залежить від якості, міцності та структурно-напруженого стану металу поверхневого шару деталей. За останні роки з'явилося багато нових способів дій на стан та якість твердих тіл, знайшли розвиток і широко застосовуються на практиці способи, які отримали назву технологічних методів поверхневого зміцнення. В основі багатьох із них лежить пластична або термопластична деформація металу відносно тонких поверхневих об'ємів при зберіганні незмінної серцевини [2, 3]. При обробці деталей поверхнево-пластичною деформацією (ППД) в



поверхневому шарі деталі відбуваються незворотні пластичні деформації, результатом яких є зміцнення поверхневого шару, а також формування залишкових напружень. Ці показники якості поверхневого шару переважно визначаються на основі проведення експериментальних досліджень [4]. Дослідженнями в області обробки деталей ППД займалися А. А. Дудніков, О. В. Нахайчук, П. Ю. Волосевич, С. А. Зайдес та інші вчені. Досвідним шляхом встановлено, що ППД дозволяє сформувати зміцнений поверхневий шар з такими показниками якості: глибина зміцнення 0,1...15 мм, збільшення твердості зміцненого шару до 20...150%, величини стискаючих напруг на рівні 200...1400 МПа [2]. Технологічна якість деталей машин залежить насамперед від виду кінцевої обробки і застосовуваних технологічних параметрів.

*Формулювання цілей статті.* Сьогодні велика увага приділяється використанню у народному господарстві вторинних матеріальних ресурсів, також, спостерігається тенденція впровадження новітніх технологій для ремонту сільськогосподарської техніки, які дозволяють більш раціонально використовувати засоби виробництва та економити кошти господарства, тому створення ресурсозберігаючого способу актуально.

*Основна частина.* Для здійснення пластичної деформації поверхневого шару деталей при динамічному методі зміцнення застосовують наступні технології: дробоструминний наклеп, який здійснюється струменем сталеві або чавунної дробі; чеканка, здійснюється спеціальними бійками, які наносять багаточисельні удари; наклеп ротаційним зміцненням, які викликають багаточисельні упорядковані удари шариками або роликками, розташованими по периферії дисків, що обертаються; гідроабразивний наклеп, який здійснюється струменем рідини, яка має абразиви різноманітної зернистості; безабразивна ультразвукова фінішна обробка [5-8].

*Дробоструминний наклеп* викликає порівняно неглибоке проникання пластичної деформації в поверхні, що оброблюється (до 0,5-0,7 мм) і застосовується для невеликих за розмірами деталей складних форм (гвинтових пружин ресори, шестерні та ін.). Дробоструминний наклеп здійснюється сталеві або чавунною дробом на спеціальних установках. Ресори, напіввісі, пружини, цапфи після поверхневого наклепу підвищується строк експлуатації в 2-3 рази [9-11]. Сухий метод, порівняно з застосуванням скляних кульок з водою, дозволяє отримати кращу чистоту поверхні та звести до мінімуму корозію. Дробоструменева обробка застосовується для серійних деталей, і режими обробки встановлюють експериментальним підбором. Поверхня деталі повинна бути повністю покрита слідами-



вм'ятинами. Діапазон твердості деталей, які підлягають дробеструменевому зміцненню, практично не обмежений.

*Чеканка.* Чеканка спеціальними бійками виконується ударною дією на поверхню, яка зміцнюється [6]. Ефективність такого наклепу для підвищення стомлюючої міцності досягає значних меж. В теперішній час існують конструкції пружинних ударників, які працюють від кулачкового валика. Ці механічні чеканочні пристосування застосовуються для зміцнення циліндричних і плоских поверхонь.

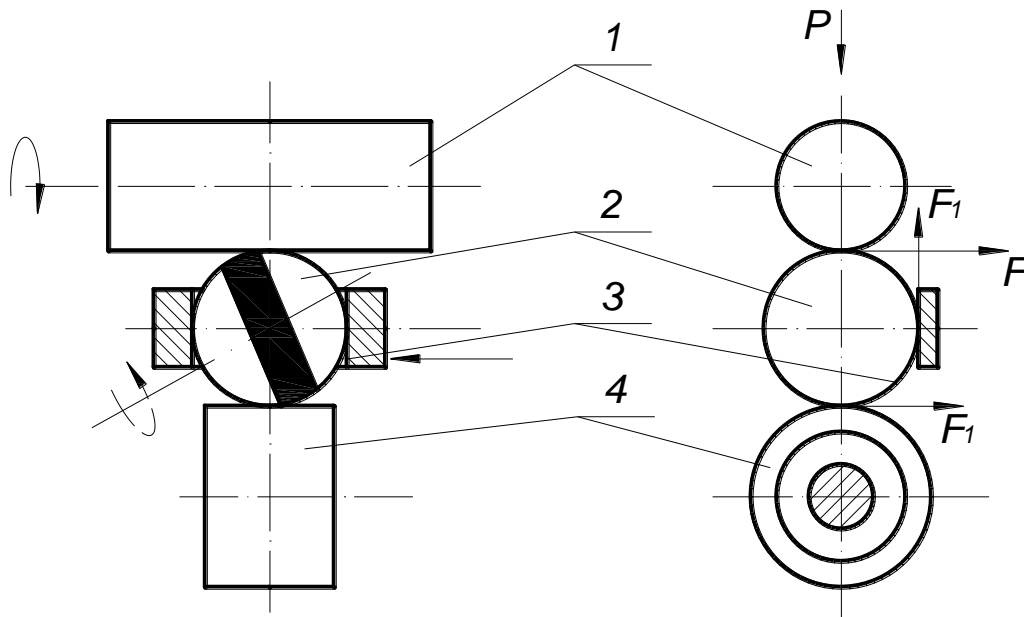
*Гідроабразивний наклеп* здійснюється одночасно з гідрополіруванням поверхні. Струмін рідини, який має абразиви, під тиском направляєється на поверхню, що оброблюється. Конструкції установок для гідроабразивної обробки по способу подачі рідини можна розділити на дві групи: подача рідини самотічно або засмоктування її стиснутим повітрям; подача рідини до форсунок під тиском насосу [10]. Гідроабразивні методи обробки застосовуються у тих випадках, коли можна обмежитися невеликою глибиною наклепаного шару і отримати високу шорсткість поверхні.

*Безабразивна ультразвукова фінішна обробка.* Перевага технології полягає у тому, що її використання дозволяє перетворювати верстати в багатоопераційні, а шорсткість поверхні значно знизити. Суть методу в тому, що частота електричного струму перетворюється із 50 Гц в 22 кГц завдяки перетворювачу частоти електричного струму, а потім електричні коливання перетворюються в механічні і передаються на робочий орган який здійснює наклеп [9].

*Обкатка роликками або кульками.* Незважаючи на те, що цей метод обробки тиском давно застосовується в промисловості і досить широко освітлений в технічній літературі, умови його використання недостатньо вивчені, що в свою чергу робить його застосування мало ефективним. Роликові обкатники поділяються на пристрої пружної дії та жорсткої, одно- і багато роликові; з нерегульованим роликом і роликом, положення якого відносно заготовки регулюється, з циліндричними і конічними роликками.

Вібронакатування поверхонь знижує схильність до утворення задирів за рахунок більшої маслоємності поверхні. Зношування робочих поверхонь після зміцнюючої обробки в період припрацювання менше в 1,1-1,8 рази, в період експлуатації – менший у 2 рази. Поверхневий шар, розкатаний при оптимальних режимах, має підвищену на 18-27% мікротвердість [12]. Вирішальним фактором, який визначає техніко-економічні показники обкатування роликками є правильний вибір схеми і параметрів обкатки [13-15].

Схема обкатування кулькою зовнішньої циліндричної поверхні зображена на рис. 1.



1 – заготовка; 2 – куля; 3 – сепаратор; 4 – опорний шарикопідшипник  
Рис. 1. Схема обкатування кулькою зовнішньої циліндричної поверхні

Велике число конструктивних варіантів обкатних пристроїв та кінематичних схем обкатування ускладнюють задачу технолога при визначенні оптимального варіанта, але накоплений виробничий досвід і результати досліджень в теперішній час дозволяють установити область рентабельного використання кожного із них.

Вказані методи ППД забезпечують підвищення зносостійкості, опір втомі, контактної витримки та інших експлуатаційних властивостей деталей що оброблюються на 20-50%, а в деяких випадках – в 2-3 рази (при умові вибору в кожному конкретному випадку найбільш раціонального методу і призначенні оптимальних режимів обробки).

В ряді з забезпеченням високої якості поверхні ППД в багатьох випадках дозволяє механізувати ручний труд та підвищити продуктивність на кінцевих операціях. Збільшення твердості і міцності металу поверхневим наклепом, а також ріст опорної поверхні при обкатуванні роликми [16] дозволяють розглядати його як один з ефективних способів підвищення працездатності і, зокрема, зносостійкості деталей машин.

При терті зі змащенням велике значення має здатність третьових поверхонь зберігати під навантаженням масляну плівку, що запобігає виникненню осередків безпосереднього контакту металевих поверхонь. Результати багатьох досліджень [6, 12, 14, 17-20] показують, що обкатані поверхні володіють підвищеною несучою здатністю. Навантаження заїдання обкатаних сталевих і чавунних



роликів у парі зі сталевими обоймами в середньому на 20% вище, ніж шліфованих. У випадку перенаклепу поверхні деталі її знос зростає.

*Висновки.* Таким чином дослідження показують, що більшість методів ППД не тільки знижують параметр шорсткості в 5-10 разів, але і створюють сприятливу для зносостійкості форму мікронерівностей, яка ближче, ніж при інших методах кінцевої обробки, до форми мікронерівностей, що створюються після припрацювання. Це підвищує зносостійкість та скорочує період прироблення.

Список використаних джерел.

1. Техническое обслуживание и ремонт машин в с/х.: учебное пос. / В. И. Черноиванов и др. Москва-Челябинск: ГОСНИТИ-ЧГАУ. 2003. 992 с.
2. Смелянский В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. М.: Машиностроение, 2002. 300 с.
3. Нові технологічні процеси з використанням прогресивних методів пластичного деформування: монографія / О. В. Нахайчук та ін. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. 158 с.
4. Особенности формирования глубины упрочнения при обработке деталей поверхностным пластическим деформированием / Я. Н. Отений та ін. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016. № 12(3). С. 452-455.
5. Особенности пластической деформации малоуглеродистой стали под влиянием комбинированного нагружения кручением с растяжением 14 / Е. Г. Пашинская и др. *Інженерна механіка: наукові нотатки*. Луцьк, 2009. Вип. 25, ч. II. С. 182-189.
6. Alcalá J., Barone A. C., Anglada M. The influence of plastic hardening on surface deformation modes around vickers and spherical indents. *Acta Materialia*. 2020. vol. 48. pp. 3451-3464.
7. Ежелев А. В., Бобровский И. Н., Лукьянов А. А. Анализ способов обработки поверхностно-пластическим деформированием. *Фундаментальные исследования*. 2012. № 6(3). С. 642-646.
8. Зайдес С. А. Новые способы поверхностного пластического деформирования при изготовлении деталей машин. *Вестник МГТУ им. Г. И. Носова*. 2018. Т.16. № 3. С. 129-139.
9. Пластическая деформация в ультразвуковом поле и ее возможности применительно к насыщению углеродом поверхностных слоев образцов железа / П. Ю. Волосевич и др. *Металлофизика и новейшие технологии*. 2003. Т. 25. Вип. 5. С. 679-692.
10. Singh B., Singh G. A review on parametric analysis of surface roughness during turning of different types of steel. *National conference on*



*advances in mechanical, industrial & materials engineering*. 2019. pp. (1)-(10).

11. Increase in Durability of Motor Crankshaft Pin Surface by Vibrorolling / O. Novyk et al. *Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations: Conference proceedings* / Tavria State Agrotechnological University. 2019. Ч. 1. С. 177-182.

12. Методичні вказівки до самостійної роботи з навчальної дисципліни «Триботехніка» для здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр» зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / Д. П. Журавель та ін. Мелітополь: ТОВ «Колор Принт», 2019. 112 с.

13. Паніна В. В., Дашивець Г. І. Спосіб відновлення гільз циліндрів з використанням ФАБО. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*: електрон. наукове фах. видання / ТДАТУ. Мелітополь, 2015. Вип. 5, т. 1. С. 134-139.

14. Паніна В. В., Чорна Т. С. Альтернативний спосіб відновлення гільз циліндрів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного*. Мелітополь, 2020. Вип. 10, том 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-23.

15. Chen X. Corrective Abrasive Polishing Processes for Freeform Surface. *Key Engineering Materials*. 2009. vol. 404. pp. 103-112. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.404.103.

16. Lu K., Lu J. Nanostructure surface layer on metallic materials induced by surface mechanical attrition treatment. *Materials Science and Engineering: A*. 2004. № 373. P. 38-45.

17. Gradient structure formation by severe plastic deformation / M. Danylenko et al. *Nanomaterials by Sever plastic deformation*: Proc. of the 3th Internat. conf. on Nanomaterials by Severe Plastic Deformation held, September 22-26, 2005. P. 787-792.

18. Nepershin R. I. Surface Plastic Deformation by Sliding Elliptical Cylinder. *Journal of Materials Science and Chemica* 2015. Vol. 3 №.1 . С. 1-7.

19. Поверхностное упрочнение изделий сложной формы с использованием комплексных схем деформирования / С. А. Фирстов и др. URL: <http://www.materials.kiev.ua/publications/EMMM/2013/3.pdf>.

20. Тамаркин М. А., Тищенко Э. Э., Лебеденко В. Г. Повышение качества поверхностного слоя деталей при обработке поверхностным пластическим деформированием в гибких гранулированных средах. *Вестник ДГТУ*, 2009. №3 (42). С.213-224.



## ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ПОВЕРХНЕВО-ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ

В.В. Паніна, Дідур В.В., І.С. Сірий, Т.С. Чорна

### *Анотація*

В статті розглядаються існуючі технології зміцнення поверхневого шару деталей з застосуванням поверхнево-пластичної деформації: дробоструминний наклеп; чеканка; гідроабразивний наклеп; безабразивна ультразвукова фінішна обробка; обкатка роликками або кульками. Розглянуті в статті методи поверхневої пластичної деформації забезпечують підвищення зносостійкості, опір втомі, контактної витримки та інших експлуатаційних властивостей деталей що оброблюються на 20-50%, а в деяких випадках – в 2-3 рази (при умові вибору в кожному конкретному випадку найбільш раціонального методу і призначенні оптимальних режимів обробки). Збільшення твердості і міцності металу поверхневим наклепом, а також ріст опорної поверхні при обкатуванні роликками дозволяють розглядати його як один з ефективних способів підвищення працездатності і, зокрема, зносостійкості деталей машин.

**Ключові слова:** поверхневий шар, метод зміцнення, поверхнево-пластична деформація, мікронерівності, підвищення працездатності.

## УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ПОВЕРХНОСТНО-ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

В. В. Панина, В. В. Дидур, И. С. Серый, Т. С. Черная

### *Аннотация*

В статье рассматриваются существующие технологии упрочнения поверхностного слоя деталей с применением поверхностно-пластической деформации: дробеструйный наклеп; чеканка; гидроабразивный наклеп; безабразивная ультразвуковая финишная обработка; обкатка роликками или шариками. Рассмотренные в статье методы поверхностной пластической деформации обеспечивают повышение износостойкости, сопротивление усталости, контактной выдержке и других эксплуатационных свойств, обрабатываемых деталей на 20-50%, а в некоторых случаях – в 2-3 раза (при условии выбора в каждом конкретном случае наиболее рационального метода и назначения оптимальных режимов обработки). Увеличение твердости и прочности металла поверхностным наклепом, а также рост опорной поверхности при обкатке роликками позволяют рассматривать его как один из эффективных способов повышения работоспособности и, в частности, износостойкости деталей машин.

**Ключевые слова:** поверхностный слой, упрочнение, поверхностно-пластическая деформация, микронеровности, повышение работоспособности.

## STRENGTHENING OF DETAILS BY SURFACE-PLASTIC DEFORMATION

V. Panina, V. Didur, I. Sieryi, T. Chorna

### *Summary*

The article considers the existing technologies for strengthening the surface layer of parts using surface-plastic deformation: shotgun slander, which is carried out by a jet of steel or cast iron shot; processing is carried out by special fights which inflict numerous blows; defatation by rotational hardening, which causes numerous ordered blows by



balls or rollers located on the periphery of rotating disks; hydroabrasive slander is carried out by a stream of liquid, which has abrasives of various granules; non-abrasive ultrasonic finishing allows you to turn machines into multi-operational, and significantly reduce surface roughness; treatment with rollers or balls reduces the tendency to the formation of burrs due to the greater oil content of the surface. Studies show that most methods of surface-plastic deformation not only reduce the roughness parameter by 5-10 times, but also create a favorable for wear resistance form of micro-irregularities, which is closer than with other methods of finishing, to the form of micro-irregularities created after running-in. The methods of surface plastic deformation considered in the article provide increase of wear resistance, fatigue resistance, contact exposure and other performance properties of parts processed by 20-50%, and in some cases – 2-3 times (provided the choice in each case by the nearest rational method and certain optimal modes of blocks). Along with ensuring high surface quality, surface-plastic deformation in many cases allows mechanizing manual labor and increase productivity in the final operations. Increasing the hardness and strength of the metal by surface hardening, as well as the growth of the bearing surface when running in rollers allow us to consider it as one of the effective ways to improve performance and, in particular, wear resistance of machine parts.

**Key words.** surface layer, strengthening method, surface-plastic deformation, micro-inequalities, increase efficiency.