



УДК 621.7.04

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-20

ОБРОБЛЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ПОВЕРХНЕВО-ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ

Паніна В. В.¹ к.т.н.

ORCID 0000-0001-9623-516X

Дашивець Г.І.¹ к.т.н.

ORCID 0000-0003-2612-6077

Новік О.Ю.¹ інж.,

ORCID 0000-0002-8966-967X

¹Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, м. Мелітополь, Україна.

e-mail: valeriia.panina@tsatu.edu.ua

Постановка проблеми. В машинобудуванні найбільш масовими деталями є зубчасті колеса. Тенденція зростання потужності, навантажень і швидкостей в машинобудуванні вимагає розробки зубчастих передач для високошвидкісних машинних агрегатів, що в свою чергу потребує надійності цих передач і вимагає застосування високоміцних зубчастих коліс. Одним з ключових технологічних питань, що підвищують довговічність і технічну готовність мобільних засобів є застосування прогресивних технологічних процесів відновлення деталей, що забезпечують підвищення якості відновлення та ресурсу відремонтованих машин.

Аналіз останніх досліджень. У практиці поверхневого зміцнення склалося і діє понад 130 різних технологій. Обробкою зубчастих коліс для збільшення їх міцності займалися такі вчені, як Попова В.В., Кашкаров А.А., Мамонтов В.А., Поветкин В. В., Сушкова О. А. та інші. [1-4]. В своїх роботах вони відобразили статичні та ударні методи зміцнення робочих поверхонь зубчастих коліс. Збитки економіці України може завдавати застосування економічно неефективних методів обробки в зв'язку з обмеженістю інформації, а також протиріччя і протилежних тенденцій розвитку окремих технологій.

Формулювання цілей статті. Актуальний напрямок в технічному сервісі – це поверхневе зміцнення і нанесення зміцнюючих покриттів на зубчасті колеса. Мета статті проаналізувати напрямки розвитку поверхневого зміцнення зубчастих коліс, порівняння переваг і недоліків окремих технологій, а також оцінити найбільш перспективні рішення.

Основна частина. У мобільних засобів найбільш навантаженими деталями є зубчасті колеса, які працюють в умовах ударно-циклічного навантаження з ковзанням. Несуча здатність зубчастої передачі визначається такими характеристиками, як контактна міцність,



згинаюча втомна міцність і зносостійкість. Тому найбільш частими причинами відмови є втрата міцності зуба, стомлююче вищерблення контактної поверхні та знос профілю зуба.

В умовах експлуатації поверхневий шар деталі піддається найбільш сильному фізико-хімічного впливу: механічному, тепловому, магнітоелектричному, світловому, хімічному і ін. В більшості випадків у деталі починають погіршуватися властивості поверхні (знос, ерозія, кавітація, корозія, втомні тріщини) і інші, руйнування розвиваються спочатку на поверхні. Обробка поверхнево-пластичною деформацією (ППД) є одним з найбільш простих і ефективних способів підвищення експлуатаційних показників деталі і її поверхневого шару зокрема [5].

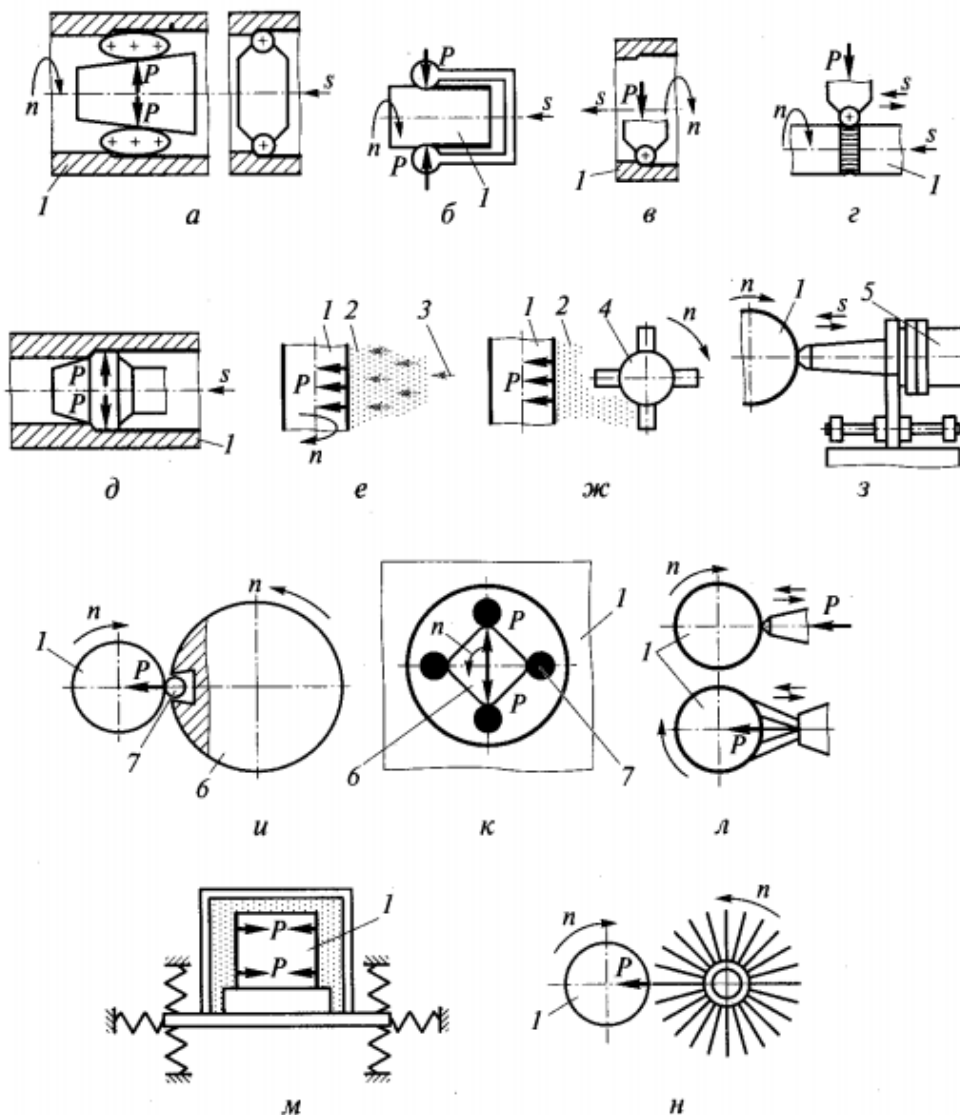
ППД засноване на здатності металевої поверхні сприймати залишкові пластичні деформації без порушення цілісності металу. ППД один з найбільш простих і ефективних технологічних шляхів підвищення працездатності та надійності деталей машин. Внаслідок ППД підвищуються твердість і міцність поверхневого шару, формуються сприятливі залишкові напруги стиску, зменшується параметр шорсткості R_a , збільшується радіус заокруглення вершин мікроступів, відносна опорна довжина профілю мікронерівностей і т.і. ППД забезпечує підвищення втомної міцності і витривалості деталі в процесі експлуатації в 1,5...2,3 рази [1].

При статичних методах ППД інструмент впливає на оброблювану поверхню з певною постійною силою, відбувається плавне переміщення вогнища впливу, який послідовно проходить всю поверхню, що підлягає обробці. При цьому інерційні сили не роблять істотного впливу на ППД. До таких методів відносять різні вигладжування, обкатування і розкочування [6].

При ударних методах інструмент багаторазово впливає на всю поверхню оброблення або її частину, при цьому сила впливу в кожному циклі змінюється від нуля або від деякого мінімального значення до максимуму, а в разі локального ударного впливу вогнище деформування може послідовно і рівномірно проходити всю поверхню оброблення, як і в статичних методах. При цьому розрізняють: накатування, вигладжування, калібрування, дорнованіє. Зазвичай в якості інструментів при ППД застосовують шарики, ролики, вигладжувальники, дорни, деформуючі протяжки. При цьому, застосування статичних методів ППД дає меншу товщину деформованого шару, шорсткість поверхню. При використанні ударних методів ППД можливо досягти більшої ступені зміцнення, що надає збільшення мікротвердості, товщини зміцнюючого шару.

Основні способи ППД представлені на рис. 1.

Обкатуванням і розкочуванням обробляють і зміцнюють циліндричні, конічні, плоскі, фасонні зовнішні і внутрішні поверхні.



а, б - зміцнюючі розкочування і обкатування; в - вигладжування; г - вібраційний наплив і вигладжування; д - поверхнєве дорнування; е - дробеструйна обробка; ж - дробеметна обробка; з - ультразвукова обробка дробом; и - відцентрова обробка; к - ударне розкочування; л - зміцнююче карбування; м - вібраційна ударна обробка; н - обробка механічною щіткою. 1 - заготовка; 2 - дріб; 3 - струмінь газу і (або) рідини; 4 - дробемет (турбинка); 5 - ультразвуковий генератор; 6 - опора; 7 - ролики;

- n - обертання заготовки і (або) інструменту;
- s - переміщення заготовки та (або) інструменту;
- P - зусилля деформування;
- - напрямок різного виду рухів

Рис. 1. Основні способи ППД

З аналізу численних видів покриттів і технологій їх нанесення впливають негативні явища, які необхідно враховувати при виборі

альтернативних варіантів поверхневого зміцнення зубчастих коліс [7-11]:

- зниження міцності основного матеріалу;
- деформаційні повідці, викривлення і необхідність фінішних операцій;
- відмінності властивостей покриттів залежно від способу зміцнення.

Характерною особливістю методів поверхневого зміцнення є те, що не вдається отримати одночасного підвищення всіх експлуатаційних властивостей зубчастих коліс для всіх режимів експлуатації. Тому рекомендують диференційований підхід цільового застосування технологій для підвищення окремих службових характеристик - зносостійкості, контактної і згинальної міцності [2].

Комбіновані методи найбільш ефективні для підвищення контактної і згинальної втомної міцності деталей машин. До таких способів відносяться гартування струмами високої частоти, термічна або хіміко-термічна обробка (цементування, ціанування, азотування) з подальшою обробкою ППД. Загальним недоліком кожного з них є утворення на поверхні, внаслідок термічних або інших видів впливу, хаотичних, випадково розташованих мікрорельєфів [12, 13]. Таким чином, актуальним є отримання зміцненого поверхневого шару з великими глибиною і ступенем зміцнення. Такі характеристики поверхні найбільш доцільно отримати при використанні способів ППД на основі вібраційних коливань обробного інструменту. Найбільш поширеним методом нанесення регулярного мікрорельєфу є метод вібраційного накочування. Метою обробки зубчастих коліс за даним методом є утворення на робочих поверхнях зубів системи синусоїдальних канавок, показаних на рис. 2:

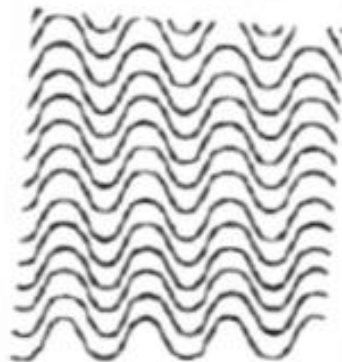


Рис. 2. Система синусоїдальних канавок на робочій поверхні зубів
Основою вібраційного зміцнення є динамічний характер протікання процесу, що супроводжується безліччю мікроударів робочого інструмента або частинок робочого середовища по поверхні оброблюваних деталей. При цьому забезпечується пластичне деформування поверхневого шару, що призводить до підвищення



мікротвердості, утворення сприятливих стискаючих залишкових напруг і зменшення шорсткості поверхні [14-17].

Також слід зазначити, що обробка ППД з застосуванням вібраційних коливань обробного інструменту забезпечує поліпшення фізико-механічних властивостей оброблюваної поверхні. Це відбувається за рахунок циклічного впливу вібрацій на деталь, що оброблюється через робочий інструмент [18-20].

Спосіб обробки має ряд переваг:

1. Створення регулярного мікрорельєфу, який утворюється як слід руху деформуючого елемента, що контактує з оброблюваною поверхнею.

2. Сприятлива практично для всіх умов експлуатації форма нерівностей регулярних мікрорельєфів.

3. Можливо управляти такими параметрами поверхні як фактична її площа і фактична площа контакту, і створювати високочисті поверхні достатньої маслоємності, виключати явища молекулярного зчеплення, адгезії, фреттінгкорозії.

4. Відсутність перерізання волокон металу, незначний нагрів його поверхневого шару, зміцнення за рахунок наклепу і стискаючих напруг, відсутність шаржування в поверхневому шарі сторонніх частинок.

В результаті вібронакатування досягається значне збільшення ресурсу роботи передачі, що позитивно позначається на економії коштів і часу.

Висновки. Мікрорельєф, сформований віброобробкою, підвищує плавність роботи рухомого сполучення за рахунок зниження коефіцієнта тертя в 1,6 ... 2,2 рази. При сухому терті канавки працюють як пастки, що затримують в собі продукти зносу, пил і абразивні частки, завдяки чому усувається їх абразивна дія. Створення регулярного мікрорельєфу на обох поверхнях пари тертя підвищує зносостійкість сполучення в середньому в 2 рази.

Список використаних джерел.

1. Попова В.В. Поверхностное пластическое деформирование и физикохимическая обработка: Учебное пособие. Рубцовск, 2013. 98 с.

2. Кашкаров А.А., Мамонтов В.А. Методика исследования влияния шероховатости переходных поверхностей зубьев, упрочненных поверхностным пластическим деформированием, на их изгибную выносливость. *Пробл. динамики и прочности исполнительных механизмов и машин: Материалы научн. конф.* Астрахань: АГТУ. 2002. С. 278-280.

3. А.С. № 23770, Поветкин В. В., Сушкова О. А. Способ упрочнения зубчатых колес. Опубликовано 14.09.2012. Бюллетень № 9.



4. А.С. № 33654 Поветкин В.В., Сушкова О.А., Ибрагимова З.А. Способ упрочнения зубчатых колес привода шаровых мельниц. Опубликовано 26.12.2014. Бюллетень № 12.
5. Cao, S. C., Zhang, X., Lu, J., Wang, Y., Shi, S.-Q., Ritchie, R. O. Predicting surface deformation during mechanical attrition of metallic alloys. *Npj Computational Materials*, 2019, 5 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41524-019-0171-6>
6. Ляшенко Б.А., Посвятенко Э.К., Довжук С.А., Златопольский Ф.Й. Основные направления развития поверхностного упрочнения зубчатых колес. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*, 2011. Вип. 24, ч. II С.8.
7. Guo Rui, Wang Ronghua. Дробеструйная обработка зубчатых колес. *Jinshu rechuli=Heat Treat. Metals*. 2001. № 6. С.21-23.
8. Поветкин В.В. 1, Керимжанова М.Ф., Ибрагимова З.А., Даиров А.А., Исаева И.Н. Повышение износостойкости поверхностей зубчатых зацеплений методами энергетической активации. http://konf-sev.donntu.org/sbornik/Pdf_2_15/076-081.pdf
9. Ariura Yasutsune, Morikawa Hiroshi. Качество поверхности колес после дробеструйной обработки. *Trans. Jap. Soc. Mech. Eng.* С. 2000. № 643. Рр. 240-247.
10. Kovaci, H., Bozkurt, Y. B., Yetim, A. F., Aslan, M., Çelik, A. The effect of surface plastic deformation produced by shot peening on corrosion behavior of a low-alloy steel. *Surface and Coatings Technology*, 2019. 360, 78–86. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.01.003>
11. Hu, J., Shimizu, T., Yoshino, T., Shiratori, T., Yang, M. Ultrasonic dynamic impact effect on deformation of aluminum during micro-compression tests. *Journal of Materials Processing Technology*, 258, 144–154. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2018.03.021>
12. Nadano Hiromasa. Повышенная стойкость азотированных ножек зубьев цилиндрической передачи из нержавеющей SUS440С стали. *Trans. Jap. Soc. Mech. Eng.* Рр. 2002, №680. С.1840-1847.
13. А.С. № 1238410, Сорокина Т.Н. Волков В.И. Способ упрочнения металлических деталей. Опубликовано 01.20.2006. Бюллетень № 10.
14. Kelemesh, A., Gorbenko, O., Dudnikov, A., Dudnikov, I. Research of wear resistance of bronze bushings during plastic vibration deformation. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 2017, 2 (11 (86)), 16–21. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.97534>.
15. Oleksii Novyk, Valeriia Panina, Halyna Dashyvets and Andriy Bondar. Increase in Durability of Motor Crankshaft Pin Surface by Vibrorolling. *Modern Development Paths of Agricultural Production*. Springer Nature Switzerland AG. 2019. P.177-182.



16. Дідур В.В., В'юник О.В. Спосіб підвищення післяремонтної довговічності шестеренних насосів. *Праці ТДАТУ*. Вип. 19, том 4. Мелітополь, ТДАТУ, 2019. С.110-117.

17. Новік О.Ю., Паніна В.В., Дашивець Г.І. Обґрунтування режимів вібронакаткування поверхонь деталей циліндро-поршньової групи двигуна. *Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти*. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. Вип.5. С.50-56.

18. Дудников, А. А., Дудник, В. В., Келемеш, А. А., Горбенко, А. В., Лапенко, Т. Г. Повышение надежности деталей машин поверхностным пластическим деформированием. *Вібрації в техніці та технологіях*, 2017, 3 (86), С.74–78.

19. Журавель Д.П., Бондар А.М. Методичні вказівки до самостійної роботи з навчальної дисципліни «Триботехніка». Мелітополь: ТОВ «Колор Принт», 2019. 112 с.

20. Rostislav I. Nepershin. Surface Plastic Deformation by Sliding Elliptical Cylinder. *Journal of Materials Science and Chemical*. Vol.3 No.1, January 2015.

ОБРОБЛЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ПОВЕРХНЕВО-ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ

Паніна В.В., Дашивець Г.І., Новік О.Ю.

Анотація

В статті розглядаються існуючі технології зміцнення поверхневого шару зубчастих коліс з застосуванням поверхнево-пластичної деформації. Основою вібраційного зміцнення є динамічний характер протікання процесу, що супроводжується безліччю мікроударів робочого інструмента або частинок робочого середовища по поверхні оброблюваних деталей. Обробка поверхнево-пластичним деформуванням з застосуванням вібраційних коливань обробного інструменту забезпечує поліпшення фізико-механічних властивостей оброблюваної поверхні. Це відбувається за рахунок циклічного впливу на деталь, що обробляється через робочий інструмент. Мікрорельєф, сформований віброобробкою, підвищує плавність роботи рухомого сполучення за рахунок зниження коефіцієнта тертя в 1,6 ... 2,2 рази. Створення регулярного мікрорельєфу на обох поверхнях пари тертя підвищує зносостійкість сполучення в середньому в 2 рази.

Ключові слова: поверхневий шар, метод зміцнення, поверхнево-пластична деформація, мікрорельєф, вібронакаткування.

ОБРАБОТКА РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Паніна В.В., Дашивець Г.І., Новік А.Ю.

Аннотация

В статье рассматриваются существующие технологии упрочнения поверхностного слоя зубчатых колес с использованием поверхностной пластической деформации. Основой вибрационного упрочнения является



динамичный характер прохождения процесса, что сопровождается бесконечными микроударами рабочего инструмента или частей рабочей среды по поверхности обрабатываемой детали. Обработка поверхностной пластической деформацией с использованием вибрационных колебаний обрабатываемого инструмента обеспечивает улучшение физико-механических свойств обрабатываемых поверхностей. Это происходит за счет циклического воздействия на обрабатываемую деталь через рабочий инструмент. Микрорельеф, полученный вибронкаткой, повышает плавность работы подвижного соединения за счет снижения коэффициента трения в 1,6...2,2 раза. Создание регулярного микрорельефа на обеих поверхностях пары трения повышает износостойкость соединения в среднем в 2 раза.

Ключевые слова: поверхностный слой, метод упрочнения, поверхностная пластическая деформация, микрорельеф, вибронкатка.

PROCESSING OF WORKING SURFACES OF GEAR WHEELS BY SURFACE PLASTIC DEFORMATION

Panina V., Dashyvets H., Novyk O.

Summary

The article considers the existing technologies of strengthening the surface layer of gears with the use of surface-plastic deformation. In practice, surface hardening has developed and operates more than 130 different technologies. Damage to the economy of Ukraine can be caused by the use of economically inefficient processing methods due to limited information, as well as contradictions and opposite trends in the development of certain technologies. The current direction in technical service is surface hardening and drawing of strengthening coverings on gear wheels. The purpose of the article is to analyze the directions of development of surface hardening of gears, comparison of advantages and disadvantages of separate technologies, and also to estimate the most perspective decisions. The basis of vibration hardening is the dynamic nature of the process, accompanied by many micro-shocks of the working tool or particles of the working medium on the surface of the workpiece. This provides plastic deformation of the surface layer, which leads to increased microhardness, the formation of favorable compressive residual stresses and reduce surface roughness. Surface-plastic deformation treatment with the use of vibration oscillations of the processing tool improves the physical and mechanical properties of the treated surface. This is due to the cyclic effect of vibration on the part being machined through the work tool. As a result of vibration rolling, a significant increase in the service life of the transmission is achieved, which has a positive effect on saving money and time. The microrelief formed by vibration processing increases the smooth operation of the mobile connection by reducing the coefficient of friction by 1.6-2.2 times. When dry friction, the grooves work as traps that retain wear products, dust and abrasive particles, thus eliminating their abrasive effect. Creating a regular microrelief on both surfaces of the friction pair increases the wear resistance of the joint by an average of 2 times.

Key words: surface layer, hardening method, surface-plastic deformation, microrelief, vibration rolling.