

ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ ПІСЛЯ ОБКочУВАННЯ РОЛИКОМ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто вплив поверхневого пластичного деформування методом обкочування роликом на фізико-механічні властивості сталевих деталей. Досліджено зміни мікротвердості, шорсткості поверхні, залишкових напружень та зносостійкості матеріалу після обробки. Встановлено, що застосування обкочування роликом сприяє зміцненню поверхневого шару, підвищенню втомної міцності та експлуатаційної надійності деталей машин.

Ключові слова: ролик, обкочування, сумарне зусилля оброки, подача, швидкість.

Abstract

The paper examines the effect of surface plastic deformation by roller rolling on the physical and mechanical properties of steel parts. Changes in microhardness, surface roughness, residual stresses and wear resistance of the material after processing are investigated. It is established that the use of roller rolling contributes to the strengthening of the surface layer, increasing the fatigue strength and operational reliability of machine parts.

Keywords: roller, rolling, total effort, feed, speed.

Вступ

Сучасне машинобудування висуває високі вимоги до якості поверхневого шару деталей, оскільки саме поверхня визначає їхню довговічність, зносостійкість та опір втомному руйнуванню. Одним із перспективних методів зміцнення поверхні є поверхневе пластичне деформування (ППД), зокрема обкочування роликом.

Метод обкочування роликом полягає у дії спеціального ролика на поверхню деталі під певним зусиллям. У результаті локального пластичного деформування відбувається ущільнення структури поверхневого шару, зменшення мікронерівностей та формування сприятливого напруженого стану. Завдяки цьому суттєво покращуються фізико-механічні характеристики матеріалу без зміни його хімічного складу.

Результати дослідження

Під час обкочування ролик переміщується вздовж поверхні деталі та створює контактний тиск, який перевищує межу текучості матеріалу. У поверхневому шарі виникає пластична деформація, тоді як внутрішні шари залишаються переважно пружними. Це призводить до формування зміцненого шару товщиною від кількох десятків мікрометрів до кількох міліметрів залежно від режимів обробки.

Основними параметрами процесу є: зусилля обкочування; діаметр ролика; подача інструмента; швидкість обробки; кількість проходів. Рациональний вибір цих параметрів дозволяє отримати оптимальне поєднання високої якості поверхні та необхідних механічних характеристик.

Однією з найважливіших характеристик поверхневого шару є мікротвердість. Після обкочування роликом спостерігається її значне зростання внаслідок наклепу металу. Пластична деформація викликає збільшення густини дислокацій та подрібнення структурних складових матеріалу.

Для конструкційних сталей підвищення мікротвердості може становити від 15 до 50 % порівняно з початковим станом. Найбільше зміцнення спостерігається безпосередньо біля поверхні, після чого твердість поступово зменшується в напрямку серцевини деталі.

Зростання мікротвердості позитивно впливає на опір зношуванню, контактну міцність та довговічність деталей, що працюють в умовах циклічного навантаження.

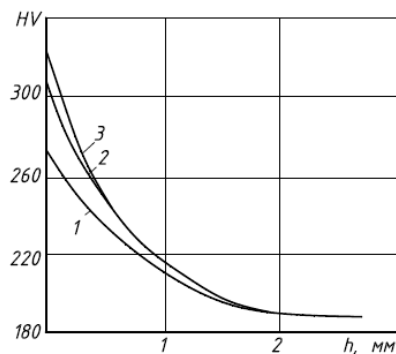


Рис. 1 - Вплив числа проходів на глибину наклепа: 1 - один прохід; 2- три проходи; 3 - шість проходів; h - відстань від поверхні

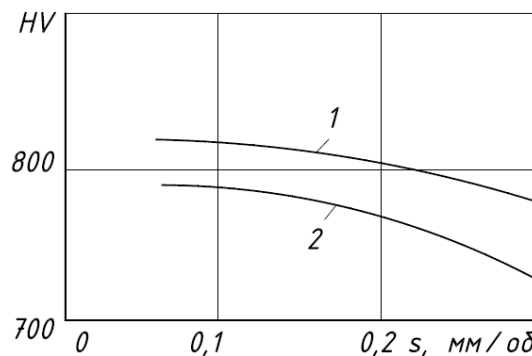


Рис. 2 - Вплив подачі на поверхневу твердість зразків із загартованої сталі ШХ15, оброблених при тиску: 2800 МПа (крива 1) і 2200 МПа (крива 2)

Важливим результатом обкочування роликом є виникнення залишкових напружень стиску в поверхневому шарі. Під час пластичного деформування поверхні шари прагнуть розширитися, але стримуються менш деформованими внутрішніми шарами матеріалу. У результаті після завершення процесу формуються стискуючі напруження.

Наявність залишкових напружень стиску є надзвичайно корисною для деталей машин, оскільки вони перешкоджають зародженню та розвитку втомних тріщин. Особливо важливим це є для валів, осей, штоків, зубчастих коліс та інших деталей, які працюють в умовах змінних навантажень. Дослідження показують, що втомна міцність сталевих деталей після обкочування може підвищуватися на 20–70 %, залежно від марки сталі та режимів обробки.

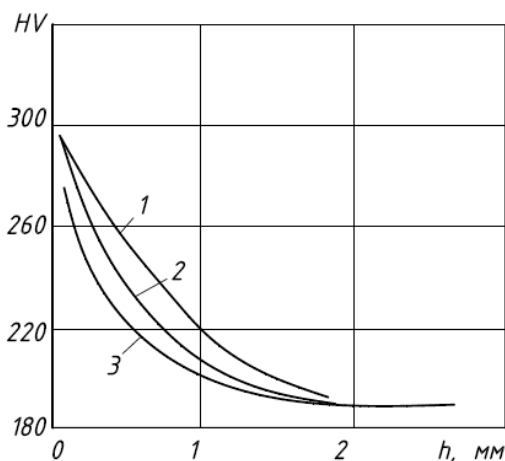


Рис. 3 - Вплив швидкості на зміцнення при обкатці зразків зі сталі 45: 1 - $u = 12$ м/хв; 2 - $u = 50$ м/хв; 3 - $u = 180$ м/хв; h - відстань від поверхні

Під час механічної обробки різанням на поверхні утворюються мікронерівності у вигляді виступів і западин. У процесі обкочування ролик деформує виступи та частково заповнює западини, що сприяє вирівнюванню поверхні. У результаті значення параметра шорсткості може зменшуватися у декілька разів. Для деталей після токарної обробки часто вдається досягти шорсткості рівня $Ra = 0,1\text{--}0,4$ мкм без додаткового шліфування. Зниження шорсткості забезпечує: зменшення коефіцієнта тертя; покращення умов змащування; підвищення герметичності з'єднань; зниження інтенсивності зношування.

Таким чином, обкочування роликом виконує одночасно функції зміцнення та фінішної обробки поверхні.

Зносостійкість сталевих деталей значною мірою залежить від твердості поверхневого шару, його структури та стану поверхні. Завдяки поєднанню наклепу, зниження шорсткості та утворення стискуючих напружень обкочування роликом забезпечує комплексне покращення трибологічних властивостей.

Зміцнений поверхневий шар краще чинить опір абразивному та контактному зношуванню. У багатьох випадках інтенсивність зносу зменшується у 1,5–3 рази порівняно з деталями після звичайної механічної обробки.

Крім того, підвищується стійкість до корозійно-механічного руйнування, що особливо важливо для деталей, які працюють у вологому або агресивному середовищі.

На мікроструктурному рівні пластична деформація спричиняє подрібнення зерен та орієнтацію структурних елементів уздовж напрямку деформації. У поверхневому шарі формується більш щільна та однорідна структура з підвищеною дислокаційною густиною.

Подрібнення зерен сприяє зміцненню матеріалу відповідно до механізму дисперсійного зміцнення. У результаті підвищуються показники міцності без суттєвого погіршення пластичності деталі в цілому. Глибина структурних змін залежить від прикладеного навантаження та механічних властивостей оброблюваної сталі.

Висновки

Обкочування роликком є ефективним методом поверхневого пластичного деформування сталевих деталей, який дозволяє суттєво покращити фізико-механічні властивості поверхневого шару. У результаті обробки спостерігається підвищення мікротвердості, формування залишкових стискуючих напружень, зменшення шорсткості та покращення мікроструктури матеріалу.

Комплексна дія зазначених факторів забезпечує зростання зносостійкості, контактної міцності та втомної довговічності деталей машин. Завдяки відносній простоті реалізації та високій ефективності обкочування роликком широко застосовується в сучасному машинобудуванні для підвищення надійності та ресурсу відповідальних вузлів і механізмів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сердюк О.В. Дослідження впливу технологічних параметрів процесу обкочування на якість поверхневого шару / О. В. Сердюк, В.В. Літвінов, О.В. Березюк, В.В. Півторак // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences. – Хмельницький, 2025. – Вип. 355(4). – С. 538-541
2. Сердюк О. В. , Літвінов В. В.. «Моделювання процесу обкочування торіодальним роликком з гвинтовою поверхнею та змінним навантаженням » в Матеріали конференції « Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025)», Вінниця, 2025. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/view/914/1598/2915>
3. -2Дослідження процесу обкочування роликком із гвинтовою робочою поверхнею [Текст] / О. В. Сердюк, С. І. Сухоруков, В. В. Сердюк, О. А. Корчинський // Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні науки». – Хмельницький, 2021. – № 5(301). – С. 66-68.

Сердюк Ольга Валентинівна — канд. техн. наук, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет

Мартинюк Володимир Валерійович — канд. техн. наук, доцент кафедри фізики, Вінницький національний технічний університет

Сердюк Олександр Васильович - студент групи ІПІ-25б, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Serduk Olga V. - Cand. Sc. (Eng), assistant professor, department of technology and automation of mechanical engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Martynyuk Volodymyr V. - Cand. Sc. (Eng), assistant professor, department of physics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Serduk Oleksandr V. - student of group ІPI-25b, faculty of information technologies and computer engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia