

УДК 621.787.4

В.І. Марчук, д-р техн. наук, А.А. Ткачук, Луцьк, Україна

## **ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ЗМІЦНЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ**

*Для обґрунтованого вибору способу поверхневого зміцнення необхідно провести аналіз технологічних можливостей відомих способів зміцнення, зокрема за параметрами мікротвердості та напруженого стану поверхневого шару. Досліджено процеси зміцнення поверхневих шарів в ході поверхневого деформування, виявлено можливість забезпечення поліпшення фізико-механічних властивостей поверхні металу внаслідок структурних перетворень, подрібнення зерен, а також формування в поверхневому шарі залишкових напружень стиску, що виникають за рахунок розвитку зрушень в кристалічній ґратці.*

*Для обоснованного выбора способа поверхностного упрочнения необходимо провести анализ технологических возможностей известных способов упрочнения, в частности по параметрам микротвердости и напряженного состояния поверхностного слоя. Исследованы процессы упрочнения поверхностных слоев в ходе поверхностного деформирования, выявлена возможность обеспечения улучшения физико-механических свойств поверхности металла вследствие структурных преобразований, измельчения зерен, а также формирование в поверхностном слое остаточных напряжений сжатия, возникающих за счет развития сдвигов в кристаллической решетке.*

*Scientifically grounded choice of the surface hardening method requires the analysis of manufacturing capability of known methods of hardening, in particular on the parameters of microhardness and stressed state of surface layer. The processes of surface layer hardening in the course of surface deformation have been studied, the possibility of providing improvement in physical-mechanical properties of the metal surface due to structural transformations, grain size refinement have been revealed, as well as the formation of residual compression in surface layer arising due to the development of shear in the crystal lattice.*

### **Вступ**

Відомо, що зміцнення поверхневого шару деталей пластичним деформуванням забезпечує підвищення опору втомі та твердості поверхневого шару, а також дозволяє формувати напруження стиску і створювати регламентований рельєф мікронерівностей на поверхні.

Існує група деталей, до яких в процесі роботи висуваються високі вимоги по глибині зміцненого шару. Перехід від зміцненої області до незміцненої повинен бути плавним і не утворювати додаткового концентратора напружень, щоб уникнути відшарування зміцненої поверхні під час впливу на деталь циклічних навантажень. Таким чином, постає завдання вибору найбільш ефективного методу зміцнюючого оброблення для забезпечення регламентованої якості поверхневого шару.

### Постановка проблеми

Для обґрунтованого вибору способу поверхневого зміцнення необхідно порівняти дані технологічних можливостей відомих способів зміцнення, зокрема за параметрами мікротвердості та напруженого стану зміцненого шару (рис. 1).

Відомі такі основні види зміцнюючого оброблення:

- термозміцнююче оброблення (ТО);
- хіміко-термічне оброблення (ХТО);
- нанесення зміцнюючих покриттів;
- поверхневе пластичне деформування (ППД).

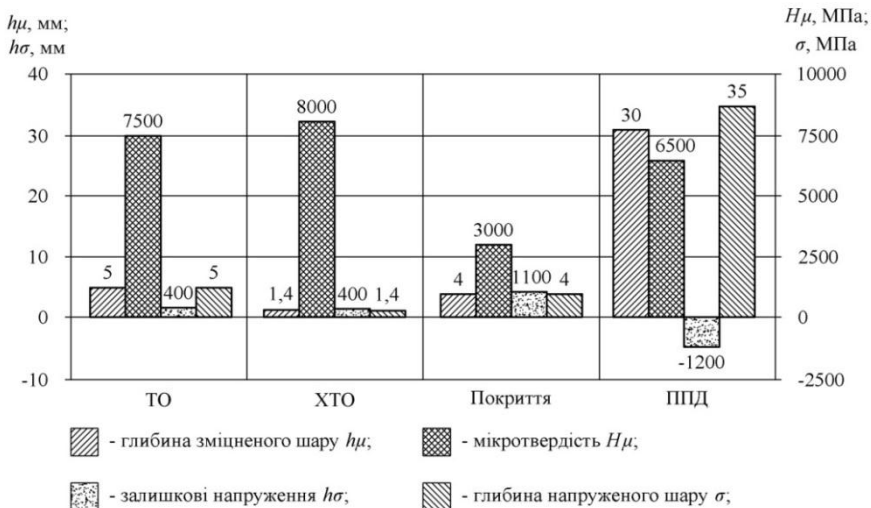


Рисунок 1 – Вплив видів зміцнюючого оброблення на мікротвердість і напружений стан зміцненого шару

Після термічного оброблення величина мікротвердості сталей типу ШХ15 може досягати 7500 МПа, а глибина зміцненого шару не більше 3 мм. Напруження в зміцненому поверхневому шарі залежно від обраних режимів ТО можуть бути як розтягуючими, так і стискаючими. Необхідно відзначити наявність різкого переходу від зміцненого поверхневого шару до незміцненої «серцевини».

Мікротвердість після ХТО може становити до 8000 МПа, глибина зміцненої поверхні від 0,01 до 1,4 мм. Знак залишкових напружень і характер їх розподілу після ХТО залежать від способу подальшого термооброблення [5].

Нанесення покриттів в основному використовують для підвищення корозійної стійкості та зносостійкості під час тертя. Нанесенням зміцнюючих металевих покриттів зазвичай отримують мікротвердість поверхні до 3000 МПа, причому незалежно від вихідної твердості матеріалу зміцнюваної деталі [1]. Товщина покриттів лежить в межах 0,003-2 мм. В процесі нанесення покриттів в поверхневому шарі формуються напруження розтягу.

Оброблення поверхневим пластичним деформуванням (ППД) дозволяє забезпечити глибину зміцненого поверхневого шару до 5 мм, а також збільшувати мікротвердість в середньому близько 150% відносно вихідного значення до 6500 МПа. Залишкові напруження після оброблення ППД завжди мають від'ємне значення, глибина їх розповсюдження перевищує глибину поширення підвищеної мікротвердості в 1,5 рази (рис.1). У зв'язку з цим зміцнення ППД необхідно розглядати як найбільш ефективний спосіб підвищення експлуатаційних характеристик деталей машин, які працюють при циклічних навантаженнях.

### **Виклад основного матеріалу**

В ході досліджень встановлено, що зміцнення металу ППД полягає в наступному. В області площин ковзання відбувається спотворення кристалічної ґратки, зокрема її поворот, а також зсув атомів з положення стійкої рівноваги і пружні викривлення площин ковзання. Ці спотворення викликають появу додаткових напружень, що залишаються після зняття прикладеного навантаження [1, 2, 4, 6, 7].

Отже, в результаті зміцнення поверхневих шарів в процесі поверхневого деформування можна забезпечити поліпшення фізико-механічних властивостей металу внаслідок структурних перетворень, подрібнення зерен, а також формування в поверхневому шарі залишкових напружень стиску, що виникають за рахунок розвитку зрушень в кристалічній ґратці.

Поверхні з однаковими параметрами шорсткості, отримані різними методами оброблення, будуть відрізнятися, тому що мають нерівності різної форми і тому різну величину опорної площі.

На отриманій в ході досліджень профілограмі (рис. 2) видно, що шліфувана поверхня має нерівності у вигляді загострених виступів і піків. Більш притуплена форма нерівностей спостерігається у поверхонь, отриманих поліруванням. Гострі піки відсутні на поверхні, обробленій суперфінішування. Під час алмазного вигладжування поверхня згладжена, форма мікронерівностей округлена.

На експлуатаційні властивості поверхні, зокрема зносостійкість і контактну жорсткість, впливає головним чином верхня частина мікрорельєфу поверхні, тобто форма і розміри верхньої частини нерівностей, чим більше вони притуплені і чим більша опорна площа на вершинах гребінців, тим більша зносостійкість і жорсткість поверхні.

Отже, можна зробити висновок, що поверхня, одержана при алмазному вигладжуванні, володіє опорною здатністю в середньому на 23% вище, ніж одержана після суперфінішування.

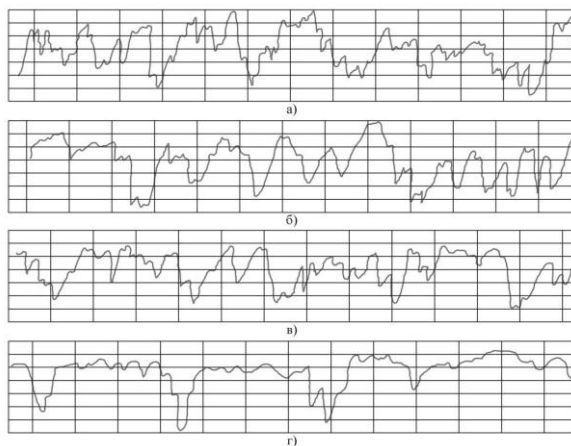


Рисунок 2 – Профілограми поверхонь з  $Ra \leq 0,16$  оброблених: а) шліфуванням; б) поліруванням; в) суперфінішуванням; г) алмазним вигладжуванням

У табл. 1 показані характеристики шорсткості і опорної здатності поверхні, оброблених різними технологічними методами.

Одним з найбільш перспективних і ефективних методів ППД є алмазне вигладжування. Сутність процесу вигладжування полягає в пружнопластичній деформації поверхневого шару при взаємодії алмазного інструменту та оброблюваної деталі.

Зміни розмірів поверхонь в ході вигладжування незначні і знаходяться в межах технологічного допуску [3]. Тому припуски під вигладжування можна не передбачати. При цьому попередня обробка повинна забезпечити точність розмірів в межах заданого на деталі якості та точність форми.

Вигладжена поверхня відрізняється від поверхонь, оброблених абразивними методами, характерним дзеркальним блиском. На шліфованій поверхні чітко видно сліди різання окремих зерен, а також нарости, окремі вириви і напливи розмазаного і розм'якшеного металу. Полірована поверхня більш рівна, на ній помітно більша кількість рисок – слідів полірування абразивною стрічкою. Виривів, наростів та інших дефектів, характерних для шліфування, на полірованій поверхні не спостерігається. Поверхня після суперфінішу має характерну сітку пересічних слідів від різання абразивними зернами, обумовлену характером рухів брусків щодо

оброблюваної поверхні, вона має окремі дефекти у вигляді напливів металу. Після вигладжування утворюється характерна пластично деформована поверхня, рівна, без виривів і наростів (рис. 3).

Таблиця 1 – Характеристики шорсткості та опорної здатності поверхонь оброблених різними методами

Метод оброблення	Ra поверхні	Коефіцієнт заповнення профілю	Радіус округлення мікронерівностей R, мкм	Кут профілю $\beta$	Опорна частина	
					профілю $f_p, \%$	площі $f_f, \%$
Алмазне вигладжування	0,16	0,65-0,75	1000	0°35'	30	1515
	0,08		1500	0°25'	45	20
	0,04		2500	0°15'	70	40
	0,02		3500	0°10'	87	50
Супер-фінішування	0,08	0,6-0,64	350	0°45'	25	8
	0,04		450	0°30'	35	14
Полірування	0,16	0,57-0,62	200	1°30'	18	5
	0,08		300	1°	22	8
	0,04		400	0°45'	30	15
Тонке шліфування	0,16	0,45-0,55	70	4°	4	1,5
	0,04		100	2°	7	2

Поверхні однакової шорсткості, отримані різними методами оброблення, відрізняються експлуатаційними властивостями. Це пояснюється тим, що на експлуатаційні властивості обробленої поверхні впливають не стільки висота шорсткості, скільки висота опорної площі поверхні. Зазвичай навіть при ретельній обробці поверхні опорна площа складає лише невелику частину контурної площі.

ППД має значні переваги щодо досягнутої якості обробленої поверхні, в порівнянні з обробкою відомими методами різання металу. Так, мікроструктура після шліфування загартованих сталей відрізняється підвищеним вмістом в поверхневому шарі залишкового аустеніту (до 30-40%). Згідно даними досліджень, залишковий аустеніт, що виникає в поверхневому шарі загартованих сталей після шліфування, є небажаною структурною складовою, яка понижує деякі експлуатаційні властивості поверхневого шару (контактну міцність, втомну міцність і зносостійкість).

Рентгеноструктурне дослідження фазового складу поверхневого шару загартованої сталі ШХ15 після алмазного вигладжування показало, що в процесі алмазного вигладжування відбувається інтенсивний розпад залишкового аустеніту. При вихідному 30%-му вмісті залишкового аустеніту

вигладжування з силою 50Н викликає практично повний його розпад. Зменшення подачі і збільшення числа проходів при вигладжуванні зменшують кількість залишкового аустеніту в поверхневому шарі.

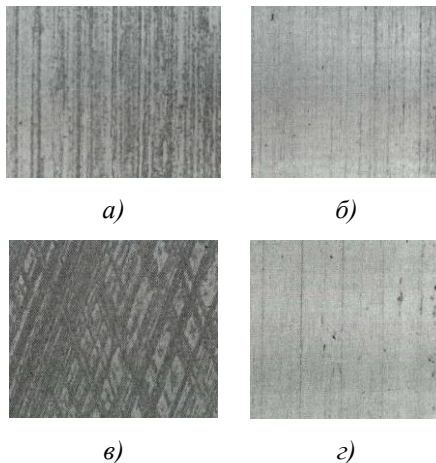


Рисунок 3 – Зовнішній вигляд поверхонь після:  
а) шліфування; б) полірування; в) суперфінішу; г) алмазного вигладжування

### **Висновок**

Перспективним з позиції прогнозування експлуатаційних властивостей функціональних поверхонь способом поверхневого зміцнення є алмазне вигладжування за допомогою якого, можна обробляти практично всі метали та сплави, які застосовуються в сучасному машинобудуванні, за виключенням титану, цирконію та ніобію, в зв'язку з тим, що вони налипають на функціональну частину інструменту. Також піддавати обробленню різні складні за формою поверхні деталей, в тому числі зовнішні, внутрішні, плоскі та профільні. Але в кожному конкретному випадку застосування ППД вимагає спеціального способу його реалізації.

**Список використаних джерел:** 1. Агеев Н.П. Изготовление деталей пластическим деформированием / Н.П. Агеев и др. Л.: Машиностроение, 1979. – 307с. 2. Джонсон К. Механика контактных взаимодействий / К. Джонсон. М.: Мир, 1989. – 509 с. 3. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием / Д.Д. Папшев. М.: Машиностроение, 1978. – 152 с. 4. Пишбальский В. Технология поверхностной пластической обработки / В. Пишбальский. пер. с польск. М.: Металлургия, 1991. – 479 с. 5. Технологические остаточные напряжения / А.В. Подзей, А.И. Сулима, Г.З. Серебринников. М.: Машиностроение, 1973. – 216 с. 6. Томленов А.Д. Теория пластического деформирования металлов / А.Д. Томленов. М.: Металлургия, 1972. – 408 с. 7. Унксов Е.П. Теория пластических деформаций металлов / Е.П. Унксов, У. Джонсон, В.Л. Колмогоров. М.: Машиностроение, 1983. – 598 с.

*Надійшла до редколегії 15.10.2013*