

УДК 621.43

DOI 10.36910/6775.24153966.2021.71.27

А. А. Дудніков, О. В. Іванкова, О. А. Бурлака, О. В. Канівець, В. В. Дудник*Полтавська державна аграрна академія***РОЛЬ ПОВЕРХНЕВОГО ДЕФОРМУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ У ПІДВИЩЕННІ ЇХ РЕСУРСУ**

В роботі досліджено вплив деформування внутрішньої поверхні циліндричних зразків з метою визначення конструктивно-технологічних параметрів обробки деталей машин.

Ключові слова: поверхнєве деформування, вібраційна обробка, мікротвердість, ступінь та глибина деформування.

А. А. Дудніков, Е. В. Іванкова, А. А. Бурлака, А. В. Канівець, В. В. Дудник**РОЛЬ ПОВЕРХНОСТНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ В ПОВЫШЕНИИ ИХ РЕСУРСА**

В работе исследовано влияние деформирования внутренней поверхности цилиндрических образцов с целью определения конструктивно-технологических параметров обработки деталей машин

Ключевые слова: поверхностное деформирование, вибрационная обработка, микротвердость, степень и глубина деформирования.

A. Dudnikov, E. Ivankova, O. Burlaka, O. Kanivets, V. Dudnik**THE ROLE OF SURFACE DEFORMATION OF PARTS IN INCREASING THEIR LIFE**

The paper investigates the effect of deformation of the inner surface of cylindrical samples in order to determine the structural and technological parameters of processing machine parts.

Key words: surface deformation, vibration treatment, microhardness, degree and depth of deformation

Постановка проблеми. Актуальність проблеми зумовлена необхідністю проведення досліджень зношування деталей машин з метою підвищення їх ресурсу.

У зв'язку з цим актуальними є дослідження по виявленню ролі поверхневого шару у вирішенні даної проблеми, направлені на зниження зношування деталей машин і підвищення їх довговічності.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В процесі експлуатації деталі у її поверхневому шарі виникають нерівності, змінюється структура, виникають залишкові напруження, які суттєво впливають на надійність роботи деталей машин в цілому [1, 2, 3].

Поверхневий шар деталі в умовах експлуатації сприймає значні механічні, теплові та іншим впливи. Втрата деталю службового призначення та її руйнування в більшості випадків починається з поверхневого шару: виникнення і розвиток втомних тріщин, корозії, зносу і т. д.

У літературі є деякі дослідження [4, 5, 6] по впливу середовища, що обробляється на зміни, які відбуваються у поверхневому шарі деталі (диски сошників сівалок, лемеші плугів та ін.).

Найбільш ефективним способом підвищення ресурсу деталей є спосіб поверхневого пластичного деформування (ППД), який дозволяє деформувати їх поверхневий зміцнений шар із покращеними показниками якості.

До основних характеристик ППД відносяться параметри, які характеризують статичну або динамічну силу деформування.

У літературі, в основному, наводяться технології зміцнення окремих деталей у машинобудуванні при їх виготовленні. Слід відмітити, що застосування вібраційного пластичного деформування в ремонтному виробництві при відновленні зношених деталей машин викладено недостатньо, що вимагає самостійних досліджень [7].

Постановка завдань. Метою роботи є забезпечення якості поверхневого шару матеріалу деталей машин за рахунок розробки основ управління технологічним процесом їх матеріалу поверхневим пластичним деформуванням.

Викладення основного матеріалу. Ступінь пластичної деформації поверхневого шару залежить від тертя на поверхні інструменту, що її обробляє. Тому фактори, які впливають на характеристики тертя, повинні сприяти зміні наклепу поверхневого шару деталі.

Поставлена мета вирішувалась наступними задачами: виявити основні перемерти методу

обробки - форму, геометричні розміри інструменту, яким обробляється деталь для забезпечення ударного імпульсу у центрі деформації.

Якість поверхневого шару оцінювали за такими показниками: твердість обробленого матеріалу деталі, параметри шорсткості, структура до і після обробки, залишкові напруження.

Ступінь зміцнення (наклеп) при обробці матеріалу деталей визначали вимірюванням твердості HV, а також мікротвердості H_μ по глибині h .

Зміна мікротвердості ΔH_μ оцінювалась наступною залежністю:

$$\Delta H_\mu = \frac{H_\mu - H_{\mu n}}{H_{\mu n}}, \quad (1)$$

де H_μ - мікротвердість матеріалу деталі після зміцнення;

$H_{\mu n}$ - вихідна мікротвердість до обробки.

Мікроструктурні дослідження зразків, що були оброблені звичайним та вібраційним деформуванням, проводились на шліфах, виготовлених за наступною методикою:

1. Вирізаний зразок вставлявся в оправку, заливався сумішшю з вихідних матеріалів пластмаси

2. Після остигання суміші проводилось грубе шліфування абразивним кругом

3. Тонке шліфування виконувалось у п'ять переходів по загальноприйнятій методиці

4. Полірування здійснювалося на сукне з водою протягом 15-20 хвилин до отримання на поверхні шліфа дзеркальної поверхні.

5. Виявлення мікроструктури проводилося методом хімічного травлення.

Характер зміни твердості поверхневого шару після ППД залежить насамперед від режимів обробки і властивостей оброблюваного матеріалу.

Розрахункові значення ступеня зміцнення циліндричних зразків при значенні кута уклону робочого органу (пуансона) 11° представлені у табл. 1.

Таблиця 1.

Значення ступеня зміцнення

Матеріал зразка (втулки)	Припуск на обробку, мм	Ступінь зміцнення	
		Звичайне деформування	Вібраційне деформування
Ст 3	0,2	0,012	0,058
	0,4	0,021	0,063
	0,6	0,030	0,067
Ст 6	0,2	0,013	0,017
	0,4	0,022	0,028
	0,6	0,028	0,034
Бронза БрОЦС -5-5-5	0,2	0,022	0,035
	0,4	0,037	0,048
	0,6	0,041	0,063

Ступінь зміцнення зразків із сталі Ст 3 при припуску на обробку 0,6 мм у 1,1 рази вище при звичайній роздачі і у 1,9 рази при вібраційному деформуванні.

Ступінь зміцнення бронзових втулок при припуску 0,6 мм у 1,5 рази вище у порівнянні із звичайною роздачею.

При формуванні рельєфу оброблюваного матеріалу вібраційне навантаження являється ефективною дією.

Розроблена математична модель, яка враховує ступінь деформації ε матеріалу і глибини h його зміцнення з частотою коливань n обробного інструменту (пуансона), твердість HV матеріалу і амплітуду A коливання пуансона:

$$\varepsilon = 0,325 + 0,004n - 0,347 \frac{HV}{1000} + 0,005 \lg A \quad (2)$$

Ступінь деформації зразків по зовнішньому діаметру в 1,45...1,57 рази більше при вібраційному деформуванні. При цьому створюються більш сприятливі умови для рівномірного розподілу напружень по об'єму деформованого зразка.

При вібраційному деформуванні глибину зміцнення h визначаємо з наступної залежності:

$$1.5 \sqrt[4]{\frac{6nD}{HB}} \quad (3)$$

де n – частота коливань інструменту обробки;

D – діаметр калібруючого пояса пуансона.

При звичайному деформуванні використовували залежність, по якій глибина зміцнення визначається через зусилля деформування P і межа текучості σ_T оброблюваного матеріалу:

$$h = \frac{1}{0.07} \sqrt{\frac{P}{2\sigma_T}} \quad (4)$$

Дослідженнями встановлено, що при однакових вихідних даних технологічного процесу глибина деформованого шару (наклепу) складала при звичайній обробці 550 мкм, а при вібраційному навантаженні 820 мкм, тобто у 1,49 рази більше.

Залишкові напруження у матеріалі зразків при роздачі визначаємо методом послідовного видалення шарів матеріалу шляхом розточування поверхні зразків. Даний метод дозволяє визначити величину і характер розподілу найбільш небезпечних тангенціальних залишкових напружень по всій товщині стінки деталі.

Після кожного розточування в результаті зняття залишкових напружень визначеного знаку відбувається зміна зовнішнього діаметра і довжини деталі, і у перерізі стінки, який залишається, настає новий рівноважний стан. По даних послідовних розточувань будуюмо епюри залишкових напружень по товщині стінки зразка і у залежності від глибини його загартованого шару встановлюємо граничну товщину стінки, при якій розточування припиняли. Глибина кожного розточування складала 0,6-0,8 мм.

Вказані залишкові напруження після кожного розточування визначали за наступними залежностями.

Радіальні:

$$\sigma_r = \frac{E}{1-\mu^2} \cdot \frac{f_H - f}{2f} \cdot \theta \quad (5)$$

Тангенціальні:

$$\sigma_t = \frac{E}{1-\mu^2} \cdot \left[(f_H - f) \cdot \frac{d\theta}{df} - \frac{f_H - f}{2f} \cdot \theta \right] \quad (6)$$

Осьові:

$$\sigma_l = \frac{E}{1-\mu^2} \left[(f_H - f) \cdot \frac{d\lambda}{df} - \theta \right] \quad (7)$$

де E – модуль пружності;

μ – коефіцієнт Пуассона (для сталі $\mu=0,3$);

f_H – площа зовнішньої поверхні зразка;

f – площа поперечного перерізу отвору зразка після кожного розточування.

Величини θ і λ визначаємо за формулами:

$$\begin{aligned} \theta &= \Delta d + \mu \Delta l \\ \lambda &= \Delta l + \mu \Delta l \end{aligned} \quad (8)$$

Потім визначаємо значення похідних $\frac{d\theta}{df}$, $\frac{d\lambda}{df}$ і розраховуємо залишкові напруження при кожному розточуванні (табл.2)

Таблиця 2.

Значення залишкових напружень

Номер розточування	Внутрішній діаметр зразка після кожного розточування, мм	Напруження, Мпа		
		σ_r	σ_t	σ_l
0	17,88	0	0	-181,5
1	17,94	-8,8	-14,4	+60,9
2	18,00	-3,5	+81,5	+126,7
3	18,07	+7,1	+163,9	+160,6
4	18,15	+11,2	+229,2	+198,7

На якість оброблюваної поверхні зразків, а відповідно на їх міцність значний вплив має висота калібруючого пояска робочого інструменту (пуансона), як в умовах звичайного, так і вібраційного деформування. Отримані дані зміни шорсткості поверхні деформованих зразків представлені у табл. 3.

Таблиця 3.

Зміни шорсткості оброблених зразків

Висота калібруючого пояска, мм	Значення параметрів R_z , мкм	
	Звичайне деформування	Вібраційне деформування
4	8,7	3,1
5	9,1	3,3
6	12,7	5,6

Дослідженнями встановлено, що мінімальне значення шорсткості як при звичайному, так і при вібраційному деформуванні характерно висоти калібруючої частини 4-5 мм.

Виявлено, що шорсткість залежить від припуску на обробку, кута уклону робочої частини обробного інструмента, зусилля і швидкості деформування. Значне збільшення питомого тиску може призвести до важких умов проходження пуансона через оброблювану внутрішню поверхню зразка (здвиг металу на торець зразка, налипання металу на обробну поверхню робочого інструмента, задири на обробленій поверхні). Все це чинить негативний вплив на властивості міцності матеріалу деталі.

На основі проведених досліджень технологічних можливостей поверхневого пластичного деформування виявлені технологічні фактори, які впливають на параметри якості поверхневого шару, визначають його міцність (табл. 4)

Таблиця 4.

Параметри якості вібраційної обробки

Конструктивно-технологічні і технологічні параметри ППД	Значення
1. Кут уклону обробного інструменту, β	$10^0 - 11^0$
2. Висота калібруючого пояска, h	4-5 мм
3. Швидкість деформування, x	0,03-0,05 м/с
4. Амплітуда коливань	1,0-0,25 мм
5. Частота коливань	2000-2200 хв. ⁻¹

Висновки. Поверхнєве пластичне деформування матеріалу деталей при відновленні (виготовленні) дозволяє підвищити їх властивості міцності, що сприяє підвищенню надійності машин в процесі експлуатації.

Список використаних джерел:

1. Сулима А. М., Шулов В. А., Ягодкин Ю. Д. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин. М.: Машиностроение, 1988. 240с.
2. Дудников А. А., Дудник В. В., Келемеш А. А., Горбенко О.В., Лапенко Т. Г. Повышение надежности деталей машин поверхностным пластическим деформированием. Ж. Вібрації в техніці та технологіях. №3 (86) – Вінниця, 2017 -3(86). 144с.
3. Бабичев А. П. Основы вибрационной технологии. Ростов н Д.: Издательский центр ДГТУ, 2008. 694с.
4. Смелянский В. М. Механика упрочнения деталей пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 2002. 300с.
5. Войтюк Д. Г., Гаврилюк Р. Т. Сільськогосподарські машини. – К.: Каравелла, 2004. – 552с.
6. Рибак Т. І. Пошукове конструювання на базі оптимізації ресурсу мобільних сільськогосподарських машин. – Тернопіль: ВАТ «ТВПК», 2003, 332с.
7. Білоусько Я. К. Проблеми реалізації технічної політики в агропромисловому комплексі. – К.: ННУ «ІАЕ», 2007. 215 с.