

УДК 621.43

А.А. Дудніков, І.А. Дудніков, А.О. Келемеш, О.І. Біловод, В.В. Дудник, О.В. Горбенко
Полтавська державна аграрна академія

ВПЛИВ ЗМІЦНЕННЯ МАТЕРІАЛУ ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА ЇХ ДОВГОВІЧНІСТЬ

У роботі досліджено вплив способів зміцнення робочих поверхонь деталей сільськогосподарських машин на їх довговічність.

Ключові слова: поверхневе пластичне деформування, мікротвердість, вібраційна обробка, глибина зміцнення, надійність.

А.А. Дудников, И.А. Дудников, А.А. Келемеш, А.И. Беловод, В.В. Дудник, А.В. Горбенко
ВЛИЯНИЕ УПРОЧНЕНИЯ МАТЕРИАЛА ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА ИХ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

В работе исследовано влияние способов упрочнения рабочих поверхностей деталей сельскохозяйственных машин на их долговечность.

Ключевые слова: поверхностное пластическое деформирование, микротвердость, вибрационная обработка, глубина упрочнения, надежность.

A. Dudnikov, I. Dudnikov, A. Kelemesh, O. Bilovod, V. Dudnyk, O. Gorbenko
INFLUENCE OF STRENGTHENING OF MACHINE PARTS MATERIALS ON THEIR
DURABILITY

In this work the influence of methods of strengthening working surfaces of parts of agricultural machines on their durability is investigated.

Key words: surface plastic deformation, microhardness, vibration treatment, depth of hardening, reliability.

Постановка проблеми. Підвищення надійності машин та довговічності їх деталей в процесі експлуатації є комплексом переліку проблем, до числа яких слід віднести: застосування матеріалів, що мають необхідні фізико-механічні властивості; застосування ефективних методів відновлення деталей в процесі ремонту, а також дотримання правил їх експлуатації.

В багатьох випадках надійність машин визначається довговічністю пар тертя, підвищенням зносостійкості деталей. Тому важливою проблемою є проведення робіт по додатковому пошуку засобів та методів зміцнення поверхневих робочих шарів, а також по підвищенню ефективності зміцнюючої обробки. Необхідно розширювати роботи по подальшому удосконаленню процесів зміцнення робочих поверхонь деталей як в процесі їх виготовлення, так і відновлення.

Тому актуальним є застосування методів пластичного деформування, при яких точність і необхідна якість поверхні деталей досягається ущільненням шарів матеріалу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує ряд досліджень по розробці способів покращення фізико-механічних властивостей зміцнюючого матеріалу деталей машин [1, 2].

Відомо, що спосіб поверхневого пластичного деформування (ППД) є ефективним способом, що забезпечує зміцнену структуру матеріалу оброблюваних деталей. Це дозволяє формувати зміцнений шар з більш високими показниками якості: підвищення твердості, глибини зміцнення, стискаючих залишкових напружень, що сприяють збільшенню ресурсу машин [3, 4].

Основними характеристиками ППД є параметри, що характеризують статичну або динамічну силу деформування.

Ефективність динамічного деформування, на нашу думку, залежить від параметрів оброблюваної деталі, її матеріалу, геометричних параметрів оброблюваного матеріалу, конструктивних рішень установки.

Слід відмітити, що в літературі недостатньо викладено застосування пластичного деформування в ремонтному виробництві, що викликає необхідність проведення самостійних досліджень [5].

Мета досліджень. Метою роботи є забезпечення показників якості зміцненого поверхневого шару матеріалу деталей за рахунок розробки основ управління технологічним процесом обробки їх матеріалу поверхневим пластичним деформуванням.

Результати досліджень. Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі: визначити основні параметри обробки ППД при відновленні деталей машин; виявити технологічні параметри вібраційного деформування (форму, геометричні розміри обробного інструменту), що забезпечують необхідний ударний імпульс в осередку деформації.

Оцінку якості поверхневого шару проводили по наступним показникам: твердість матеріалу деталей після обробки; залишкові напруження (стискаючі і розтягуючі); параметри шорсткості; структура матеріалу до і після деформування [6].

Ступінь зміцнення (наклепу) визначали вимірюванням твердості HV та мікротвердості H_μ по глибині h оброблюваного матеріалу [7].

Зміна мікротвердості оцінювалася наступною залежністю:

$$\Delta H_\mu = \frac{H_\mu - H_{\mu 0}}{H_{\mu 0}}, \quad (1)$$

де H_μ – мікротвердість матеріалу деталей після зміцнення;

$H_{\mu 0}$ – вихідна мікротвердість матеріалу до обробки.

Мікроструктурні дослідження зразків після звичайної та вібраційної обробки проводились на шліфах, що виготовлялись по наступній методиці:

а) вирізаний зразок поміщався в оправку і заливався сумішшю з вихідних матеріалів пластмаси;

б) після остигання суміші приводилося грубе шліфування на абразивному крузі;

в) тонке шліфування проводилося по загальноприйнятій методиці;

г) полірування проводилося на сукні з водою протягом 15-20 хв.;

д) проявлення мікроструктури проводилось методом хімічного травлення.

Розрахункові значення ступеня зміцнення (наклепу) пустотілих циліндричних зразків (втулок) при куті нахилу $\beta = 11^\circ$ робочого органу представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Значення ступеня наклепу

Матеріал втулки	Припуск на обробку, мм	Ступінь наклепу (зміцнення)	
		Звичайне деформування	Вібраційне деформування
Ст 3	0,2	0,012	0,054
	0,4	0,021	0,060
	0,6	0,029	0,066
Ст 45	0,2	0,016	0,021
	0,4	0,024	0,031
	0,6	0,028	0,047
Бронза БрОЦС 5-5-5	0,2	0,024	0,035
	0,4	0,037	0,046
	0,6	0,041	0,060

Ступінь зміцнення зразків зі Ст 3 при припуску на обробку 0,6 мм в 1,13 рази вища при звичайній роздачі та в 1,94 рази при вібраційному деформуванні.

Ступінь зміцнення зразків з БрОЦС 5-5-5 при вібраційному деформуванні при припуску 0,6 мм в 1,46 рази більша порівняно зі звичайною роздачею.

Розроблена математична модель, що враховує величину деформації ε матеріалу та глибину h його зміцнення з частотою коливань n пуансона, твердість HV 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 1,48...1,55 рази більша при вібраційному деформуванні.

На сьогодні існує ряд методик [6] для визначення глибини зміцнення матеріалу в результаті вібраційного зміцнення.

При вібраційному деформуванні глибину зміцнення визначали по наступній залежності:

$$h = 1,54 \sqrt[4]{\frac{6n \cdot D}{HB}}, \quad (3)$$

де n – частота коливань пуансона;

D – діаметр калібруючого пояса пуансона.

Глибину наклепу (зміцнення) при звичайній обробці (роздачі) визначали через зусилля деформування P та межу текучості σ_T оброблюваного матеріалу:

$$h = \frac{1}{1,07} \sqrt{\frac{P}{2\sigma_T}}. \quad (4)$$

Дослідженнями встановлено, що при однакових вихідних даних технологічного процесу глибина шару зміцнення складала 515 мкм, а при вібраційному навантаженні 790 мкм, тобто в 1,53 рази менша.

Після обробки матеріалу деталі в ньому залишаються радіальні, тангенціальні та осьові напруження внаслідок пластичної деформації. Останні при певних параметрах обробки можуть досягати значень, наближених до межі текучості σ_T , що призводять, як правило, до руйнування деталі.

Значення указаних напружень визначались методом послідовного зняття (видалення) розточування шарів матеріалу внутрішньої поверхні зразків, який дозволяє визначити величину та характер розподілу найбільш небезпечних тангенціальних напружень по товщині стінки деталі.

По даним послідовних розточувань будувались епюри залишкових напружень по товщині стінки зразка та в залежності від глибини його загартованого шару визначали граничну товщину стінки, при якій розточування припинялося. Глибина кожного розточування складала 0,6-0,8 мм.

Указані залишкові напруження після кожного розточування визначали по наступним залежностям.

Радіальні:

$$\sigma_R = \frac{E}{1-\mu^2} \cdot \frac{F_H - F_{II}}{2F_{II}} \cdot \theta; \quad (5)$$

тангенціальні:

$$\sigma_T = \frac{E}{1-\mu^2} \left[(F_H - F_{II}) \cdot \frac{d\theta}{dF_{II}} - \frac{F_H - F_{II}}{2F_{II}} \cdot \theta \right]; \quad (6)$$

осьові:

$$\sigma_l = \frac{E}{1-\mu^2} \left[(F_H - F_{II}) \cdot \frac{d\Lambda}{dF_{II}} - \theta \right], \quad (7)$$

де E – модуль пружності;

μ – коефіцієнт Пуассона;

F_H – площа зовнішньої поверхні зразка;

F_{II} – площа поперечного перерізу зразка після кожного розточування.

Величини θ і Λ визначали за формулами:

$$\theta = \Delta d + \mu \Delta l; \quad \Lambda = \Delta l + \mu \Delta l \quad (8)$$

Потім розраховували значення похідних $\frac{d\theta}{dF_H}$ та $\frac{d\Lambda}{dF_{II}}$ і визначали залишкові напруження після кожного розточування (табл. 2).

Таблиця 2

Значення залишкових напружень

Номер розточування	Внутрішній діаметр після кожного розточування, мм	Напруження, МПа		
		σ_R	σ_T	σ_l
0	17,88	0	0	-178,9
1	17,94	-9,0	-13,9	+71,1
2	18,00	-3,7	81,2	+126,8
3	18,06	+6,2	160,4	+160,5
4	18,12	+12,1	222,4	+200,7

В умовах звичайного та вібраційного деформування на якість оброблюваної поверхні впливає висота калібруючого пояса. Одержані дані зміни шорсткості поверхні деформованих зразків представлені в табл. 3.

Таблиця 3

Зміна шорсткості оброблених зразків

Висота калібруючого пояса, мм	Значення параметра R_a , мкм	
	Звичайне деформування	Вібраційне деформування
3	12,9	6,0
4	9,0	2,9
5	9,2	3,5
6	12,8	5,8

Установлено, що мінімальні значення шорсткості в обох видах навантажень, характерні для висоти калібруючої частини 4-5 мм.

Дослідженнями встановлено, що шорсткість залежить від припуску на обробку, кута нахилу робочої поверхні пуансона, зусилля та швидкості деформування.

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

Таблиця 4

Параметри якості вібраційної обробки

Конструктивно-технологічні та технологічні параметри ППД	Значення
1. Кут нахилу пуансона, β	10°-11°
2. Висота калібруючого пояса пуансона, h	4-5 мм
3. Амплітуда коливань	1,0-1,25 мм
4. Швидкість деформування	0,03-0,05 м/с
5. Частота коливань	2000-2200 хв ⁻¹

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

Список використаних джерел:

1. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини / Д.Г. Войтюк, Р.Г. Гаврилук. – К.: Каравелла, 2004. – 552 с.
2. Рибак Т.І. Пошукове конструювання на базі оптимізації ресурсу мобільних сільськогосподарських машин / Т.І. Рибак. – Тернопіль: ВАТ «ТВПК», 2003, –332 с.
3. Гранкін С.Г. Надійність сільськогосподарської техніки / С.Г. Гранкін, В.С. Малехов, М.І. Черновол та інш. – К.: Урожай, 1998. – 208 с.
4. Афтаназів І.С. Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням / І.С. Афтаназів. – Житомир. 2011. – 516 с.
5. Лапенко Т.Г. Упрочнение поверхностей деталей при обычном и вибрационном деформировании / Т.Г. Лапенко. БСХ. – Горки: 1998. – С. 110-115.
6. Опальчук А.С., Афтанділянц Є.Г., Клендій М.Б. та ін. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство / А.С. Опальчук, Є.Г. Афтанділянц, М.Б. Клендій. – Ніжин: «Аспект-Поліграф». 2011. – 792 с.
7. Опальчук А.С. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів / А.С. Опальчук, Є.Г. Афтанділянц, Л.Л. Роговський, О.Є. Семеновський, М.Б. Клендій, О.І. Біловод, І.А. Дудніков. – Ніжин: ПП Лисенко М.М. 2013. – 752 с.

Стаття надійшла до редакції 12.03.2018