

**Дудников А. А.**

к.т.н., професор

Дудник В. В.

к.т.н., доцент

Келемеш А. А.

к.т.н., старший викладач

Горбенко А. В.

к.т.н., доцент

Лапенко Т. Г.

к.т.н., доцент

Полтавская**государственная****аграрная академия****Dudnikov A. A.****Dudnik V. V.****Kelemesh A. O.****Gorbenko A. V.****Lapenko T. G.****Poltava State Agrarian****Academy****УДК 621.43****ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ
ДЕТАЛЕЙ МАШИН
ПОВЕРХНОСТНЫМ
ПЛАСТИЧЕСКИМ
ДЕФОРМИРОВАНИЕМ**

Произведена оценка качества поверхностного слоя: твердости и микротвердости, шероховатости при поверхностном пластическом деформировании материала образцов, а также их влияния на степень его упрочнения в условиях обычного и вибрационного нагружения.

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

Постановка проблемы. В процессе эксплуатации машин возникает проблема потери их работоспособности в результате износа рабочих поверхностей деталей. В технологических процессах изготовления, а также восстановления следует использовать поверхностное упрочнение, что способствует повышению эксплуатационных свойств их материала.

Анализ основных исследований. Имеется ряд исследований направленных на разработку методов улучшения свойств упрочняемого материала деталей машин [1, 2, 3, 4, 5].

Наиболее эффективным способом, обеспечивающим упрочненную структуру материала обрабатываемых деталей, является способ поверхностного пластического деформирования (ППД), позволяющий формировать упрочненный слой с улучшенными показателями качества: повышение твердости, глубины упрочнения, сжимающих остаточных напряжений [6, 7].

К основным характеристикам ППД относятся параметры, которые характеризуют силу деформирования (статическую или динамическую).

Динамическое нагружение осуществляется с меньшими энергетическими затратами и обеспечивает большую глубину и степень упрочнения. Процесс динамического деформирования характеризуется амплитудой, временем и скоростью обработки.

Эффективность динамического деформирования, по нашему мнению, зависит от геометрических и вибрационных параметров как обрабатываемой детали, обрабатывающего рабочего органа, так и конструкции установки.

В литературе, в основном, приводятся технологии упрочнения отдельных деталей в машиностроении при их изготовлении. Следует отметить, что использование вибрационного пластического деформирования в ремонтном производстве при восстановлении деталей машин изложено недостаточно, что требует проведения самостоятельных исследований.

Цель исследований. Обеспечение показателей качества упрочненного поверхностного слоя материала деталей машин за счет разработки основ управления технологическим процессом обработки их материала поверхностным пластическим деформированием.



Результаты исследований.

Достижение поставленной цели решалось следующими задачами: определить параметры метода обработки пластическим деформированием при восстановлении деталей машин; выявить технологические параметры вибрационной обработки – форму, геометрические размеры обрабатываемого инструмента для обеспечения ударного импульса в очаге деформации.

Оценку качества поверхностного слоя производили по таким показателям, как твердость обработанного материала деталей, остаточные напряжения, параметры шероховатости, структура до и после обработки.

Степень упрочнения поверхностным пластическим деформированием обычно характеризуется изменением твердости и остаточных напряжений (сжимающихся и растягивающихся) по глубине упрочненного поверхностного слоя деталей.

Степень наклепа при упрочнении материала деталей определяли измерением твердости HV , а также микротвердости H_{μ} по глубине h . Изменение микротвердости ΔH_{μ} оценивалось следующей зависимостью.

$$\Delta H_{\mu} = \frac{H_{\mu} - H_{\mu_0}}{H_{\mu_0}}, \quad (1)$$

где H_{μ} – микротвердость материала детали после упрочнения; H_{μ_0} – исходная микротвердость материала до обработки.

Микроструктурные исследования образцов, подвергнутых обычной и вибрационной обработке, проводились на шлифах изготавливаемых по следующей методике.

1. Вырезанный образец после помещения в оправку, заливался смесью из исходных материалов пластмассы.

2. После остывания смеси производилась грубая шлифовка на абразивном круге.

3. Тонкая шлифовка выполнялась в пять переходов по общепринятой методике.

4. Полировка осуществлялась на сукне с водой в течение 15-20 минут до появления на шлифе зеркальной поверхности.

5. Выявление микроструктуры производилось методом химического травления.

Характер изменения твердости поверхностного слоя после ППД зависит прежде всего от режимов обработки и свойств обрабатываемого материала.

Расчетные значения степени наклепа цилиндрических образцов при угле уклона рабочего органа (пуансона) 11° представлены в табл. 1.

Таблица 1

Значение степени наклепа

Материал образца (штулки)	Припуск на обработку, мм	Степень наклепа (упрочнения)	
		Обычное деформирование	Вибрационное деформирование
Ст. 3	0,2	0,015	0,056
	0,4	0,024	0,061
	0,6	0,031	0,065
Ст. 5	0,2	0,018	0,022
	0,4	0,027	0,031
	0,6	0,032	0,046
Ст. 7	0,2	0,013	0,017
	0,4	0,022	0,027
	0,6	0,028	0,034
Бронза БрОЦС 5-5-5	0,2	0,022	0,034
	0,4	0,035	0,047
	0,6	0,040	0,059

Степень наклепа (упрочнения) образцов из стали 3 при припуске на обработку 0,6 мм в 1,11 раза выше при обычной раздаче и в 1,91 раза при вибрационном деформировании

Степень упрочнения втулок из бронзы БрОЦС 5-5-5 при припуске 0,6 мм в 1,47 раза больше по сравнению с обычной раздачей.

Вибрационное нагружение является эффективным воздействием при формировании микрорельефа обрабатываемого материала.

Разработана математическая модель, учитывающая степень деформации



ε материала и глубину h его упрочнения с частотой колебания n обрабатывающего

инструмента (пуансона), твердость HV материала и амплитуду A колебания пуансона:

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

Степень деформации образцов по наружному диаметру в 1,48...1,55 раза больше при вибрационном деформировании. При этом создаются более благоприятные условия для равномерного распределения напряжений по объему деформируемого образца.

В настоящее время имеется ряд методик [8, 9] для определения глубины наклепа (упрочнения) материала в результате деформационного упрочнения.

При вибрационном деформировании глубину наклепа h определяли по следующей зависимости:

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

где n – частота колебаний обрабатывающего инструмента; D – диаметр калибрующего пояса пуансона.

При обычном нагружении использовали зависимость, по которой глубина наклепа определяется через усилие деформирования P и предел текучести σ_T обрабатываемого материала:

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

Было установлено, что при одинаковых исходных данных технологического процесса глубина деформированного слоя (наклепа) составила при обычном деформировании 550 мкм, а при вибрационном нагружении 820 мкм, т.е. в 1,49 раза меньше.

В деформируемом материале деталей после снятия нагрузки вследствие пластической деформации остаются радиальные, тангенциальные и осевые напряжения, которые при определенных параметрах обработки могут достигать значений, близких к пределу текучести, что может вызвать разрушение детали.

Остаточные напряжения в материале образцов при раздате определялись методом последовательного удаления слоев материала путем расточки внутренней поверхности образцов. Метод расточек позволяет определить величину и характер распределения наиболее опасных

тангенциальных остаточных напряжений по всей толщине стенки детали.

После каждой расточки в результате снятия остаточных напряжений определенного знака происходит изменение наружного диаметра и длины образца (детали), и в оставшем сечении стенки наступает новое равновесное состояние. По данных последовательных расточек строили эпюры остаточных напряжений по толщине стенки образца и в зависимости от глубины его закаленного слоя устанавливали предельную толщину стенки, при которой расточка прекращалась. Глубина каждой расточки составляла 0,6-0,8 мм.

Указанные остаточные напряжения после каждой расточки определяли по следующим зависимостям.

Радиальные:

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

Тангенциальные:

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

Осевые:

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

где E – модуль упругости; μ – коэффициент Пуассона (для стали $\mu=0,3$); f_n – площадь наружной поверхности образца; f – площадь поперечного сечения отверстия образца после каждой расточки.

Величины θ и Λ определяли по формулам:

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

Затем определяли значения

производных $\frac{d\theta}{df}$ и $\frac{d\Lambda}{df}$ и рассчитывали

остаточные напряжения при каждой расточке (табл. 2).



Таблиця 2

Значения остаточных напряжений

Номер расточки	Внутренний диаметр образца после каждой расточки, мм	Напряжения, МПа		
		σ_c	σ_t	σ_l
0	17,24	0	0	-181,3
1	17,30	-8,7	-14,2	+60,8
2	18,00	-3,3	81,8	+127,4
3	18,07	+6,9	164,8	161,5
4	18,15	+11,6	230,6	199,4

На качество обрабатываемой поверхности образцов, а, следовательно, на их прочность значительное влияние оказывает высота калибрующего пояска рабочего инструмента (пуансона), как в условиях

обычного, так и вибрационного деформирования. Полученные данные изменения шероховатости поверхности деформированных образцов представлены в табл. 3.

Таблиця 3

Изменение шероховатости обработанных образцов

Высота калибрующего пояска, мм	Значение параметра R_z , мкм	
	Обычное деформирование	Вибрационное деформирование
3	12,9	5,8
4	8,8	3,1
5	9,0	3,3
6	12,6	5,6
7	22,3	6,0

Установлено, что минимальное значение шероховатости как при обычном, так и вибрационном деформировании, характерно для высоты калибрующей части 4-5 мм.

Выявлено, что шероховатость зависит от величины припуска на обработку, угла уклона рабочей части обрабатывающего инструмента, усилия и скорости деформирования. Чрезмерное увеличение удельного давления может привести к тяжелым условиям прохождения пуансона через обрабатываемую внутреннюю поверхность образца (сдвиг материала на торец образца, налипание

материала на обрабатываемую поверхность рабочего инструмента, задиры на обработанной поверхности). Все это оказывает негативное влияние на прочностные свойства материала детали.

На основании проведенных исследований технологических возможностей поверхностного пластического деформирования выявлены технологические факторы, оказывающие влияние на параметры качества поверхностного слоя, определяющие его прочность (табл. 4).

Таблиця 4

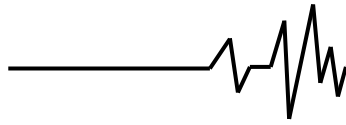
Параметры качества вибрационной обработки

Конструктивно-технологические и технологические параметры ППД	Значение
1. Угол уклона обрабатывающего инструмента, β	10°-11°
2. Высота калибрующего пояска пуансона, h	4-5 мм
3. Скорость деформирования, v	0,03-0,05 м/с
4. Амплитуда колебаний	1,0-1,25 мм
5. Частота колебаний	2000-2200 мин ⁻¹

Выводы. Поверхностное пластическое деформирование материала деталей при их восстановлении (изготовлении) позволяет повысить их прочностные свойства, что способствует повышению надежности машин в процессе эксплуатации.

Список использованных источников

1. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т. 1 (ч. 1). Машини та знаряддя обробітку ґрунту. П.М. Заїка. – Харків: Око, 2001. – 444 с.



2. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини / Д.Г. Войтюк, Р.Г. Гаврилук. – К.: Каравелла, 2004. – 552 с.

3. Рибак Т.І. Пошукове конструювання на базі оптимізації ресурсу мобільних сільськогосподарських машин / Т.І. Рибак. – Тернопіль: ВАТ «ТВПК», 2003, – 332 с.

4. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии / А.П. Бабичев, И.А. Бабичев. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2008. – 694 с.

5. Дудніков А.А. Забезпечення якості поверхні деталей при обробці тиском / А.А. Дудніков, А.О. Келемеш та інш. // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха, 2013. – Вип. 98. Т. 2. 590 С.

6. Хрущов М.М. Повышения долговечности рабочих деталей почвообрабатывающих машин / М.М.Хрущов. – М.: Машиностроение, 1990. – 200 с.

7. Гранкін С.Г. Надійність сільськогосподарської техніки / С.Г. Гранкін, В.С. Малехов, М.І. Черновол та інш. – К.: Урожай, 1998. – 208 с.

8. Дрозд М.С. Инженерные расчеты упругопластической деформации / М.С. Дрозд, М.И. Матлин, Ю.И. Сидякин. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.

9. Смелянский В.М. Механика упрочнения деталей пластическим деформированием / В.М. Смелянский. – М.: Машиностроение, 2002. – 300 с.

Список источников в транслитерации

1. Zaika P.M. Teoriia silskohospodarskykh mashyn. T. 1 (ch. 1). Mashyny ta znariaddia obrobittku gruntu. P.M. Zaika. – Kharkiv: Oho, 2001. – 444 s.

2. Voitiuk D.H. Silskohospodarski mashyny / D.H. Voitiuk, R.H. Havryliuk. – K.: Karavella, 2004. – 552 s.

3. Rybak T.I. Poshukove konstruiuvannia na bazi optymizatsii resursu mobilnykh silskohospodarskykh mashyn / T.I. Rybak. – Ternopil: VAT «ТВПК», 2003, – 332 с.

4. Babichev A.P. Osnovy vibracionnoj tekhnologii / A.P. Babichev, I.A. Babichev. – Rostov n/D: Izdatel'skij centr DGTU, 2008. – 694 s.

5. Dudnikov A.A. Zabezpechennia yakosti

poverkhni detalei pry obrobtsti tyskom / A.A. Dudnikov, A.O. Kelemesh ta insh. // Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva. – Hlevakha, 2013. – Vyp. 98. T. 2. 590 S.

6. Hrushchov M.M. Povysheniya dolgovechnosti robochih detalej pochvoobrabatyvayushchih mashyn / M.M.Hrushchov. – M.: Mashinostroenie, 1990. – 200 s.

7. Hrankin S.H. Nadiinist silskohospodarskoi tekhniki / S.H. Hrankin, V.S. Malekhov, M.I. Chernovol ta insh. – K.: Urozhai, 1998. – 208 s.

8. Drozd M.S. Inzhenernye raschety uprugoplasticheskoi deformatsii / M.S. Drozd, M.I. Matlin, YU.I. Sidiakin. – M.: Mashinostroenie, 1986. – 224 s.

9. Smelyanskij V.M. Mekhanika uprochneniya detalej plasticheskim deformirovaniem / V.M. Smelyanskij. – M.: Mashinostroenie, 2002. – 300 s.

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПОВЕРХНЕВИМ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ

Анотація. Проведено оцінку якості поверхневого шару: твердості і мікротвердості, шорсткості при поверхневому пластичному деформуванні матеріалу зразків, а також їх впливу на ступінь його зміцнення в умовах звичайного і вібраційного навантаження.

Ключові слова: поверхнєве пластичне деформування, мікротвердість, вібраційна обробка, ступінь і глибина зміцнення, надійність деталей.

INCREASING THE RELIABILITY OF MACHINE PARTS BY SURFACE PLASTIC DEFORMATION

Annotation. The quality of the surface layer is assessed: hardness and microhardness, roughness in the surface plastic deformation of the sample material, as well as their effect on the degree of hardening under normal and vibrational loading conditions.

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