

**Дудніков А. А.**

к.т.н., професор

Дудніков І. А.

к.т.н., доцент

Дудник В. В.

к.т.н., доцент

Лапенко Т. Г.

к.т.н., доцент

**Полтавська державна
аграрна академія****Dudnikov A.****Dudnikov I.****Dudnik V.****Lapenko T.****Poltava State Agrarian
Academy****УДК 621.43****DOI: 10.37128/2306-8744-2019-2-10**

МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

В роботі розглянуті питання підвищення довговічності поршневих пальців автотракторних двигунів за рахунок використання вібраційних коливань під час їх відновлення.

Експериментально виявлені оптимальні значення кута ухилу оброблюваного інструмента – пуансона і його вплив на величину налипання металу на робочу поверхню пуансона, що знижує якість оброблюваної поверхні поршневих пальців і підвищує нерівномірність деформації в радіальному напрямку і по довжині.

Показано зміну залишкової деформації по зовнішньому і внутрішньому діаметру поршневого пальця при вібраційному деформуванню.

Отримані математичні залежності зміни залишкової деформації по зовнішньому діаметрі від величини припуску на обробку.

Експериментально виявлена залежність, що зв'язує залишкову деформацію зі зносом поршневих пальців.

Результати роботи будуть використані для розробки технологічних процесів відновлення поршневих пальців і втулок верхніх головок шатунів різних автотракторних двигунів методом вібраційного деформування.

***Ключові слова:** технологічний процес, механічні коливання, налипання матеріалу, залишкова деформація, припуск обробки.*

Постановка проблеми. Під час експлуатації техніки в результаті зношування матеріалу поверхневого шару деталей відбувається зниження її ресурсу і якість виконуваних робіт. Тому в технологічних процесах відновлення деталей велику увагу слід приділяти пластичному деформуванню, що забезпечить необхідні (оптимальні) якісні параметри поверхневого шару, що сприяють підвищенню зносостійкості матеріалу.

Вдосконалення існуючих технологічних процесів являється одним із напрямів, що забезпечують якість деталей при їх виготовленні та відновленні.

Проблема підвищення якості полягає в застосуванні прогресивних технологій обробки тиском, що сприяють підвищенню міцності, пластичності, корозійної стійкості, підвищені зносостійкості матеріалу деталей машин і тому являється актуальною.

Аналіз останніх досліджень і

публікацій. Для деталей, що працюють в умовах дії знакозмінних навантажень, такі як поршневі пальці, втулки верхніх головок шатунів і інших автотракторних деталей застосування методу пластичного деформування обмежено у зв'язку з недостатньою вивченістю напрямків переміщення матеріалу деталей під час обробки тиском з використанням вібраційних коливань оброблюючого інструмента [1, 2].

Дослідженнями ряду вчених Скобло Т.С. [3], Григор'євой Н.С. [4] встановлена залежність між основними показниками поверхневого шару матеріалу оброблюваних матеріалів і його експлуатаційними властивостями.

На думку Скобло Т.С. [5] для підвищення зносостійкості третьових поверхонь досить мати товщину зміцненого шару до 2 мм.

З ціллю підвищення довговічності третьових поверхонь деталей необхідно мати зміцнену структуру, яка може бути отримана



вібраційним поверхневим деформуванням.

Аналіз умов роботи вказаних деталей, виду діючих на них навантажень і характеру зношування сприяє вибору ефективного технологічного процесу відновлення і оптимальних режимів обробки.

Формування мети досліджень. До числа ефективних методів підвищення довговічності вище перелічених деталей може бути віднесена технологія відновлення і зміцнення їх поверхні з використанням вібраційних коливань. Тому, вельми актуальним являються дослідження по визначенню оптимальних параметрів технологічного процесу вібраційного деформування. В цьому зв'язку ця технологія може бути віднесена до числа актуальних завдань для розвитку агропромислового комплексу України. Ціллю роботи являється підвищення довговічності деталей типу «втулка» при їх відновленні методом вібраційного деформування.

Виклад основного матеріалу дослідження. Форма оброблюючого інструменту (пуансона) істотно впливає на якість оброблюваної поверхні деталі.

Для виявлення оптимального значення кута ухилу оброблюючого інструменту в процесі звичайного і вібраційного деформування експериментальні дослідження проводили із наступними кутами ухилу β : 10°; 11°; 12°. Припуск на обробку змінювали від 0,1 до 0,5 мм.

Експериментально встановлено, що налипання металу на поверхню пуансона і здвиг його до торця деталі має негативний вплив на процес деформування: знижується якість оброблюваної поверхні, підвищується нерівномірність деформації k в радіальному напрямку, так і по довжині зразка, а також зростає зусилля деформування. Вказані величини знаходяться в залежності від кута ухилу пуансона β . З збільшенням кута підвищується зусилля, що витрачається на роздачу зразка по діаметру, і здвиг металу по довжині зразка.

В табл. 1 приведені значення величини металу, що налипає на поверхню пуансона в залежності від кута ухилу, матеріалу оброблюваних деталей і способу деформування зразків довжиною $l=90$ мм і швидкості обробки $v=0,03$ м/с загартованих зразків із Ст. 45.

Таблиця 1

Величина налипання металу

Припуск L , мм	Величина налипання Q , г					
	$\beta=10^\circ$	$\beta=11^\circ$	$\beta=12^\circ$	$\beta=10^\circ$	$\beta=11^\circ$	$\beta=12^\circ$
	Звичайне деформування			Вібраційне деформування		
0,1	-	-	-	-	-	-
0,2	-	-	-	-	-	-
0,3	0,001	0,002	0,004	-	-	-
0,4	0,004	0,006	0,008	-	-	-
0,5	0,008	0,010	0,013	0,002	0,001	0,003

Дослідженнями встановлено, що із збільшенням кута ухилу пуансона збільшується кількість налипаючого металу на його робочу поверхню в умовах звичайного і вібраційного деформування. Так, при припуску на обробку $L=0,5$ мм і куті ухилу пуансона $\beta=11^\circ$ при звичайному деформуванні загартованих зразків із сталі 45, величина налипаючого металу склала 0,010 г, а при вібраційному деформуванні – 0,001 г.

Зменшення кута ухилу пуансона сприяє збільшенню його поверхні контакту з деформуючим зразком, що, в свою чергу, призведе до збільшення налипання металу. При збільшенні кута поверхня контакту зменшується. Це визиває збільшення питомого тиску і призводить до більшого налипання металу на поверхню пуансона. При куті ухилу

11°, мабуть, з'являється оптимальне співвідношення між поверхнею контакту і величиною питомого тиску.

Проведені дослідження показали, що кількість налипаючого металу залежить від матеріалу відновлюваних деталей. Чим вище твердість і більше модуль пружності матеріалу, тим менше величина налипання металу на поверхню робочого інструменту пуансона.

Із збільшенням припуску на обробку змінюється глибина розповсюдження зони пластичної деформації, що визиває збільшення залишкової деформації по зовнішньому діаметру.

Зміна залишкової деформації по зовнішньому і внутрішньому діаметрам при вібраційному деформуванні вказано на рис. 1.

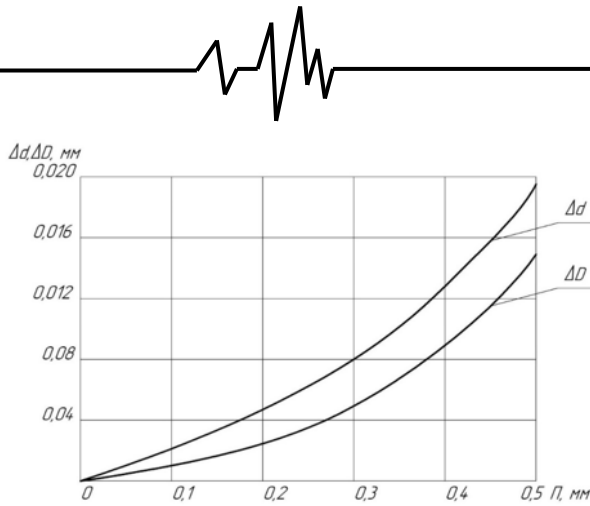


Рис. 1. Зміна залишкової деформації по внутрішньому Δd і зовнішньому ΔD діаметрам при вібраційному деформуванні

Аналіз кривих зміни залишкових деформацій показує, що для вказаних припусків величина деформації зразка по внутрішньому діаметру може бути виражена через деформацію його по зовнішньому діаметру наступним рівнянням:

$$\Delta d = k \Delta D. \quad (1)$$

Коефіцієнт k з достатньою для практичних розрахунків точністю може бути прийнятий:

$$k = 2(1 - \Pi). \quad (2)$$

Експериментальна крива залежності $\Pi = f(\Delta D)$ нагадує параболу, рівняння якої можна записати в наступному вигляді:

$$\Pi = a(\Delta D)^{\epsilon}, \quad (3)$$

де a і ϵ – невідомі коефіцієнти, які необхідно визначити.

В логарифмічному вигляді це рівняння можна представити у вигляді прямої лінії, якщо прийнять $\lg \Pi = y$, $\lg \Delta D = x$:

$$y = \lg a + \epsilon x. \quad (4)$$

$$\lg a \sum_{i=0}^n \lg \Delta D - \sum_{i=0}^n \lg \Delta D \cdot \lg \Pi + \epsilon \sum_{i=0}^n (\lg \Delta D)^2 = 0. \quad (11)$$

Для знаходження значень a і ϵ необхідно розв'язати систему отриманих рівнянь на підставі експериментально отриманих даних (табл. 2).

Розв'язанням системи рівнянь отримаємо:

$$\lg a = -0,1422; \quad a = 0,72; \quad \epsilon = 0,554.$$

Таким чином, рівняння параболі має вигляд:

$$\Pi = 0,72 \Delta D^{0,554}. \quad (12)$$

Експериментально виявлена залежність

Для визначення невідомих величин a і ϵ використовуємо метод найменших квадратів, відповідно якому, щоб сума

$$S = \sum_{i=0}^n (y - \lg a - \epsilon x)^2 \quad \text{мала менше}$$

значення в порівнянні з іншими функціями, з числа яких вибирається шукане наближене.

Значення коефіцієнтів a і ϵ можуть бути знайдені розв'язанням системи рівнянь:

$$\frac{\partial S}{\partial a} = 0; \quad \frac{\partial S}{\partial \epsilon} = 0. \quad (5)$$

Визначаємо окремі похідні виразу S :

$$\frac{\partial S}{\partial a} = \sum_{i=0}^n 2(y - \lg a - \epsilon x) \left(-\frac{0,4343}{a}\right) = 0, \quad (6)$$

$$\frac{\partial S}{\partial \epsilon} = \sum_{i=0}^n 2(y - \lg a - \epsilon x)(-x) = 0. \quad (7)$$

Після перемноження і скорочення на постійні величини отримуємо:

$$\sum_{i=0}^n (y - \lg a - \epsilon x) = 0, \quad (8)$$

$$\sum_{i=0}^n (x \cdot \lg a - \epsilon x^2) = 0. \quad (9)$$

Замінюючи $y = \lg \Pi$ і $x = \lg \Delta D$, маємо систему рівнянь:

$$\sum_{i=0}^n \lg \Pi - n \lg a - \epsilon \sum_{i=0}^n \lg \Delta D = 0, \quad (10)$$

$\Delta D = \Pi + 0,03$, що пов'язує величину залишкової деформації із зносом Π . Величина 0,03 мм мінімальний припуск на шліфування поршневих пальців після роздавання.

Як показують експериментальні дані під час зносу поршневих пальців від 0,02 до 0,06 мм необхідна залишкова деформація по зовнішньому діаметрі може бути досягнута при обробці за один прохід з припуском $\Pi = 0,17 \dots 0,25$ мм.



Таблиця 2

Значення параметрів для знаходження величин a і v

ΔD	Π	$\lg \Delta D$	$\lg \Pi$	$\lg \Delta D \cdot \lg \Pi$	$(\lg \Delta D)^2$
0,2	0,160	-1,6990	-0,7930	1,347645	2,886603
0,4	0,234	-1,3979	-0,6328	0,884313	1,954122
0,6	0,290	-1,2218	-0,5373	0,656838	1,492795
0,08	0,348	-1,0969	-0,4587	0,502821	1,203188
0,10	0,370	-1,000	-0,4295	0,429502	1,000000
0,12	0,426	-0,9208	-0,3719	0,342167	0,847873
0,14	0,465	-0,8540	-0,3313	0,283155	0,729145
0,16	0,500	-0,7959	-0,3027	0,240996	0,633458
0,18	0,533	-0,7447	-0,2717	0,202279	0,554576
0,20	0,590	-0,6990	-0,2277	0,159163	0,488601
		$\sum \lg \Delta D =$ $= -10,4299$	$\sum \lg \Pi =$ $= -4,3566$	$\sum \lg \Delta D \cdot \lg \Pi =$ $= 5,04886$	$\sum (\lg \Delta D)^2 =$ $= 11,79036$

Дослідженнями встановлено, що під час деформування зразків з різною глибиною загартованого шару в межах 0,5–1,5 мм і постійним припуском остання не робить суттєвого впливу на величину залишкової деформації по зовнішньому діаметру. Так, при $\Pi=0,3$ мм величина залишкової деформації при глибині загартованого шару 0,75 мм склала 0,056 мм, а при глибині 1,3 мм – $\Delta D = 0,061$.

Висновок. Дані, отримані під час експериментальних досліджень, будуть використані для розробки технологічних процесів відновлення поршневих пальців і втулок верхніх головок шатунів різних автотракторних двигунів з ціллю підвищення їх довговічності і надійності техніки.

Список використаних джерел

1. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии / А.П. Бабичев, И.А. Бабичев. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2008. – 694 с.
2. Киричок П.О. Зміцнення поверхонь металевих деталей / П.О. Киричок, В.Г. Олійник, Т.Ю. Киричок. – К.: Преса України, 2004. – 240 с.
3. Скобло Т.С. Анализ факторов влияющих на определение связи твёрдость-коэрцитивная сила / Т.С. Скобло, А.И. Сидашенко, М.В. Марченко // Сб. ХДТУСГ. Вып. 39. – Харьков: 2005. – С.264 – 270.
4. Григор'єва Н.С. Забезпечення та підвищення експлуатаційних властивостей деталей та з'єднань / Н.С. Григор'єва, В.А. Шабайкович // Вісн. ЖДТУ. – 2006. №4. – С. 124 – 135.
5. Скобло Т.С. Исследование влияния

виброобработки на упрочнение структурных составляющих стали 10 / Т.С. Скобло, В.М. Власовец, А.О. Науменко, И.А. Дудников // Сб. ХНТУСГ им. Петра Василенка. – Харьков: – 2015. – Вип. 158. – С. 279–287.

References

1. Babichev A.P. Osnovy vibracionnoj tehnologii / A.P. Babichev, I.A. Babichev. – Rostov n/D: Izdatelskij centr DGTU, 2008. – 694 s.
2. Kirichok P.O. Zmicnennya poverhon metalevih detalej / P.O. Kirichok, V.G. Olijnik, T.Yu. Kirichok. – K.: Presa Ukrayini, 2004. – 240 s.
3. Skoblo T.S. Analiz faktorov vliyayushih na opredelenie svyazi tvordost-koercitivnaya sila / T.S. Skoblo, A.I. Sidashenko, M.V. Marchenko // Sb. HNTUSG. Vyp. 39. – Harkov: 2005. – S.264 – 270.
4. Grigor'yeva N.S. Zabezpechennya ta pidvishennya ekspluatacijnih vlastivostej detalej ta z'yednan / N.S. Grigor'yeva, V.A. Shabajkovich // Visn. ZhDTU. – 2006. №4. – S. 124 – 135.
5. Skoblo T.S. Issledovanie vliyanija vibroobrabotki na uprochnenie strukturnyh sostavlyayushih stali 10 / T.S. Skoblo, V.M. Vlasovec, A.O. Naumenko, I.A. Dudnikov // Sb. HNTUSG im. Petra Vasilenka. – Harkov: – 2015. – Vip. 158. – S. 279–287.

Механические колебания в технологических процессах восстановления деталей машин

В работе рассмотрены вопросы повышения долговечности поршневых пальцев автотракторных двигателей за счет использования вибрационных колебаний во время их восстановления.

Експериментально виявлені оптимальні значення кута уклону



обрабатывающего инструмента – пуансона и его влияние на величину налипания металла на рабочую поверхность пуансона, снижающего качество обрабатываемой поверхности поршневых пальцев и повышающего неравномерность деформации в радиальном направлении и по длине.

Показано изменение остаточной деформации по внешнему и внутреннему диаметру поршневого пальца при вибрационном деформировании.

Получены математические зависимости изменения остаточной деформации по наружному диаметру от величины припуска на обработку.

Экспериментально выявлена зависимость, связывающая остаточную деформацию с износом поршневых пальцев.

Результаты работы будут использованы для разработки технологических процессов восстановления поршневых пальцев и втулок верхних головок шатунов различных автотракторных двигателей методом вибрационного деформирования.

Ключевые слова: технологический процесс, механические колебания, налипание материала, остаточная деформация, припуск обработки.

Mechanical oscillations in the technological processes of restoration of machine parts

The paper addresses the issues of increasing the durability of piston pins of automotive and tractor engines through the use of vibration oscillations during their restoration.

Experimentally found the optimal values of the angle of inclination of the machined tool – punch and its effect on the amount of metal sticking to the working surface of the punch, which reduces the quality of the processed surface of the piston pins and increases the non-uniformity of deformation in the radial direction and length.

The change of the residual strain along the outer and inner diameter of the piston pin during vibratory deformation is shown.

The obtained mathematical dependences of the change in residual strain on the outer diameter on the value of the allowance for processing.

Experimentally found a relationship that associates residual deformation with the wear of piston pins.

The results of the work will be used for the development of technological processes for the restoration of piston pins and bushings of the top heads of connecting rods of various autotractor engines by the method of vibration deformation.

Keywords: technological process, mechanical oscillations, sticking of the material, residual deformation, processing allowance.

Відомості про авторів

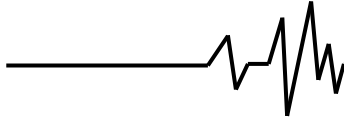
Дудніков Анатолій Андрійович – кандидат технічних наук, професор кафедри технології та засоби механізації аграрного виробництва в Полтавській державній аграрній академії, (Сковороди, 1/3, Полтава, 36003, Україна), anat_dudnikov@ukr.net, +3080955155575.

Дудников Анатолий Андреевич – кандидат технических наук, профессор кафедры технологии и средств механизации аграрного производства Полтавской государственной аграрной академии (Сковороды, 1/3, Полтава, 36003, Украина), anat_dudnikov@ukr.net, +3080955155575.

Anatoly Dudnikov – PhD tech. sci., Professor, department of technology and means of mechanization of agrarian production in Poltava State Agrarian Academy (1/3 Skovorody str., Poltava, 36003, Ukraine), anat_dudnikov@ukr.net, +3080955155575.

Дудніков Ігор Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, декан інженерно-технологічного факультету в Полтавській державній аграрній академії (Сковороди, 1/3, Полтава, 36003, Україна), anat_dudnikov@ukr.net, +3080955155575.

Дудников Игорь Анатолиевич – кандидат технических наук, доцент, декан инженерно-технологического факультета Полтавской государственной аграрной академии (Сковороды, 1/3, Полтава, 36003, Украина), anat_dudnikov@ukr.net, +3080955155575.



Igor Dudnikov – PhD tech. sci., Assos. Prof., dean of the faculty of engineering and technology in Poltava State Agrarian Academy (1/3 Skovorody str., Poltava, 36003, Ukraine), anat_dudnikov@ukr.net, +3080955155575.

Дудник Володимир Васильович – кандидат технічних наук, доцент кафедри безпеки життєдіяльності в Полтавській державній аграрній академії (Сковороди, 1/3, Полтава, 36003, Україна), prepoddvv@ukr.net, +3080508539525.

Дудник Владимир Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности Полтавской государственной аграрной академии (Сковороды, 1/3, Полтава, 36003, Украина), prepoddvv@ukr.net, +3080508539525.

Vladimir Dudnik – PhD tech. sci, associate professor of life safety department in Poltava State Agrarian Academy (1/3 Skovorody str., Poltava, 36003, Ukraine), prepoddvv@ukr.net, +3080508539525.

Лапенко Тарас Григорович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри безпеки життєдіяльності в Полтавській державній аграрній академії (Сковороди, 1/3, Полтава, 36003, Україна), prepoddvv@ukr.net, +3080508539525.

Лапенко Тарас Григорьевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности Полтавской государственной аграрной академии (Сковороды, 1/3, Полтава, 36003, Украина), prepoddvv@ukr.net, +3080508539525.

Taras Lapenko – PhD tech. sci., Assos. Prof., head of the department of safety of life in Poltava State Agrarian Academy (1/3 Skovorody str., Poltava, 36003, Ukraine), prepoddvv@ukr.net, +3080508539525.