

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МИКРОТВЕРДОСТИ И ГЛУБИНЫ НАКЛЕПА ОТ ПРИПУСКА НА ППД

Проф. А.И. Сидаленко, доцент В.К. Аветисян, стар. преп. П.С. Сыромятников,
Лондарь А.Л., студент
(ХГТУСХ)

Наведено залежність мікротвердості і глибини наклепу від припуску на ППД. Проведений вибір режимів і оптимізація процесу відновлення дзеркала циліндрів суміщеним процесом розточування і ППД.

Для исследования замерялась микротвердость цилиндров, восстановленных с припуском 0,010; 0,025; 0,040; 0,055мм при постоянном усилии ППД, равном 2,5МПа, скорости обработки 395,6м/мин, подаче 0,05мм/об по разработанной методике. Результаты замеров приводили к среднему значению микротвердости исходной поверхности и сводили в табл. 1 по которой строили графические зависимости изменения микротвердости по глубине при различных припусках на ППД (рис. 1.)

Таблица 1. Изменение микротвердости по толщине цилиндра при различном припуске на ППД

Глубина замера, мм	Микротвердость H_0 , Н/мм ² при припуске на ППД, мм			
	0,010	0,025	0,040	0,055
0,05	3287,3	3650,1	4140,1	3942,9
0,10	2871,8	3346,0	3870,5	3832,6
0,15	2807,3	3297,0	3545,2	3444,6
0,20	2706,3	2984,9	3195,9	3162,3
0,25	2581,2	2769,5	3022,0	2893,5
0,30	2671,1	2627,4	2738,0	2815,7
0,35	2600,8	2590,7	2611,0	2672,5
0,40	2525,0	2525,0	2525,0	2525,0

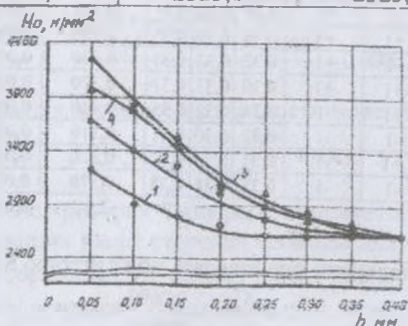


Рис. 1. Изменение микротвердости по глубине цилиндра при припуске на ППД: 1 – 0,010мм; 2 – 0,025мм; 3 – 0,040мм; 4 – 0,055мм.

Из графика (рис. 1.) видно, что увеличение припуска значительно влияет на микротвердость поверхности цилиндра. При припуске 0,010мм микротвердость увеличивается на 762,3Н/мм², а при увеличении припуска до 0,040мм микротвердость увеличивается на 1615,1Н/мм². Глубина проникновения наклепа, также увеличивается с увеличением припуска и при припуске, равном 0,040мм составляет 0,30мм. При дальнейшем увеличении припуска до 0,055мм на поверхности цилиндра наблюдается уменьшение микротвердости на 197,2Н/мм² по сравнению с микротвердостью при припуске, равном 0,040мм, хотя глубина наклепа продолжает увеличиваться.

Это объясняется тем, что так же, как и при увеличении усилия ППД, так и при увеличении припуска выше оптимального значения на поверхности цилиндра образуются микротрещины, приводящие к разрушению поверхностного слоя.

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы.

1. При совмещенном процессе растачивания и ППД с увеличением припуска до 0,040мм микротвердость поверхностного слоя увеличивается на 64 %, при этом глубина наклепа составляет 0,30 мм.

2. Увеличение припуска более 0,040 мм приводит к уменьшению микротвердости поверхности разрушению поверхностного слоя, образованию микротрещин, несмотря на то, что глубина наклепа увеличивается.

3. Производительность процесса увеличивается в 7-8 раз по сравнению с типовым технологическим процессом.

Выбор режимов и оптимизация процесса восстановления зеркала цилиндров совмещенным процессом растачивания и ППД производился согласно принятой методике план и результаты эксперимента приведены табл. 2.

Таблица 2. План и результаты ПФЭ 2³

№ п/п	Уровень факторов								Значение параметра оптимизации Кд. мкм			Среднее значение параметра оптимизации	Дисперсия среднего значения	Расчетное значение	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃	y ₁	y ₂	y ₃	\bar{y}			S ²	\hat{y}
1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	0,29	0,30	0,31	0,300	0,0001	0,300	0,000	0,000
2	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	0,36	0,34	0,35	0,350	0,0001	0,350	0,000	0,000
3	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	0,32	0,32	0,35	0,330	0,0003	0,335	0,005	0,000025
4	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0,30	0,33	0,31	0,320	0,0003	0,315	0,005	0,000025
5	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	0,34	0,33	0,35	0,340	0,0001	0,335	0,005	0,000025
6	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	0,32	0,30	0,31	0,310	0,0001	0,315	0,005	0,000025
7	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	0,31	0,33	0,32	0,320	0,0001	0,320	0,000	0,000
8	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	0,35	0,38	0,38	0,370	0,0003	0,370	0,000	0,000
											2,64	0,0014	0,0001		

Однородность дисперсия оценивалась по критерию Кохрена

$$G = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{j=1}^n S_j^2} = \frac{0,0003}{0,0014} = 0,214$$

Табличное значение критерия Кохрена для восьми разных экспериментов и числа степеней свободы $(m-1)=2$, при уровне значимости $\alpha=0,05$ равен $\bar{c}_8 = 0,516$, что превышает экспериментальные значения. Поэтому гипотеза об однородности дисперсии принимается.

Дисперсия воспроизводимости равна

$$S_y^2 = \frac{\sum_{j=1}^8 S_j^2}{n} = \frac{0,0014}{8} = 0,000175$$

Число степеней свободы дисперсий воспроизводимости

$$n(m-1) = 8(3-1) = 16$$

В результате расчета получены следующие коэффициенты регрессии - $b_0 = 0,33$; $b_1 = 0,0075$; $b_2 = 0,005$; $b_3 = -0,0175$; $b_{12} = 0,0025$; $b_{13} = -0,005$; $b_{23} = 0,0025$; $b_{123} = -0,005$.

Дисперсия оценки коэффициентов регрессии

$$S_{b_i}^2 = \frac{S_y^2}{m \cdot n} = \frac{0,000175}{3 \cdot 8} = 0,0000072$$

Ошибка в определении i -го коэффициента регрессии

$$S_{b_i} = \pm \sqrt{S_{b_i}^2} = \sqrt{0,0000072} = 0,00628$$

Значимость коэффициентов уравнения регрессии определяет по t -критерию Стьюдента. Коэффициенты значимы, если $t_p > t_r$ для принятого уровня значимости $\alpha = 0,05$ и числа степеней свободы $n(m-1) = 16$. Табличное значение $t_{0,05; 16} = 1,75$.

В виду незначимости коэффициентов b_{12}, b_{23} при составлении уравнения регрессии, их исключаем..

Полученное уравнение регрессии имеет вид:

$$y = 0,33 + 0,0075X_1 + 0,005X_2 - 0,0175X_3 - 0,005X_{13} - 0,005X_{123}$$

Дисперсию адекватности модели проверяем по критерию Фишера. Дисперсия адекватности модели равна

$$S_a^2 = \frac{m \sum_{j=1}^m (\hat{y}_j - \bar{y}_j)^2}{f} = \frac{3 \cdot 0,0001}{4} = 0,000075$$

Критерий Фишера для проверки адекватности модели равен

$$F_p = \frac{S_a^2}{S_y^2} = \frac{0,000075}{0,000175} = 0,43$$

Табличное значение критерия Фишера, для принятого уровня значимости $\alpha = 0,05$ и соответствующих чисел степеней свободы для числителя и знаменателя равно $F_{\gamma} = 3,01$ и превышает расчетное, значит принятая модель адекватна.

Анализ уравнения регрессии показывает, что характер влияния факторов на выходной параметр различен. Наибольшее влияние на исследуемый параметр оказывает усилие ППД, затем скорость обработки и в меньшей степени – подача.

Оптимальная скорость растачивания и ППД составила $V=395,64$ м/мин; усилие поверхностного пластического деформирования $P=2,5$ МПа; подача $S=0,05$ мм/об. Шероховатость поверхности цилиндров при указанных режимах обработки составила $R_a=0,31$ мкм.

Полученные результаты позволили обоснованно выбрать оптимальные режимы восстановления цилиндров совмещенным процессом растачивания и ППД.

Сравнение предлагаемой технологии восстановления цилиндров с существующей, полученное путем хронометража, позволили сделать вывод, что производительность нового процесса повысилась в 7-8 раз. При этом качество восстановления как показали исследования, улучшилось.

Профилограмма шероховатости цилиндров, восстановленных совмещенным процессом растачивания и ППД на оптимальных режимах показана на рис.2. а профилограммы серийного цилиндра и восстановленного растачиванием с последующим хонингованием, соответственно на рис. 3. и 4.. Как видим, поверхность цилиндра при совмещенном процессе лучше.

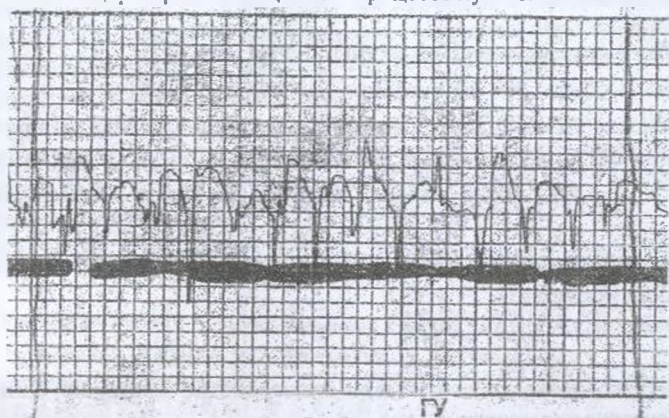


Рис. 2. Профилограмма шероховатости поверхности цилиндра, восстановленного совмещенным процессом растачивания и ППД на оптимальном режиме

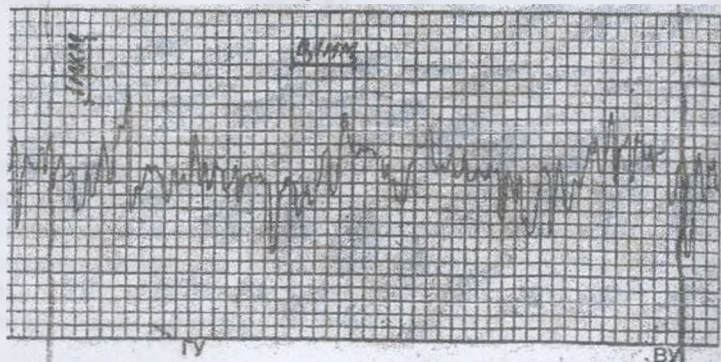


Рис. 3. Профилограмма шероховатости поверхности серийного цилиндра

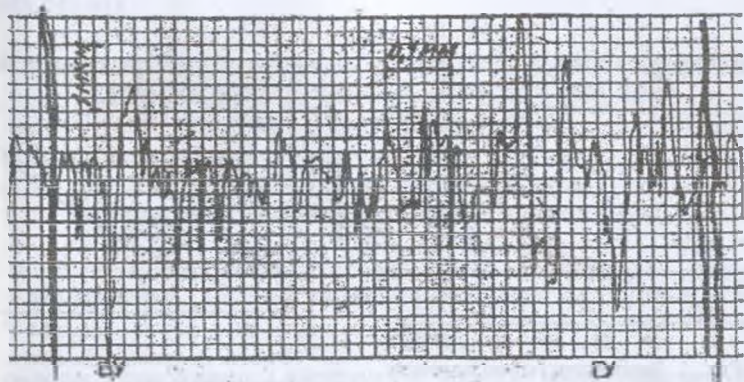


Рис. 4. Профилограмма шероховатости поверхности цилиндра, восстановленного растачиванием с последующим хонингованием

Усилие поверхностного пластического деформирования (ППД) является одним из важных технологических параметров и оказывает влияние на точность размеров цилиндра, шероховатость поверхности, степень упрочнения, эксплуатационные характеристики детали, что обусловлено самим характером обработки холодного пластического деформирования. Начальное увеличение усилия ППД вызывает уменьшение высоты микровыступов поверхности за счет их сглаживания. По мере заполнения микропрофиля, увеличения поверхности контакта рабочей части шариков с обрабатываемой поверхностью цилиндра и упрочнения металла, сопротивление деформации растет и уменьшение шероховатости замедляется. При оптимальном усилии ППД шероховатость поверхности практически не изменяется. Пластическое течение металла в направлении, движения шариков сопровождается интенсивным тепловыделением и увеличением осевых усилий. Кроме того; возникающие при перемещении волны и сжимающие напряжения в поверхностном слое металла, уменьшают опасность возникновения перенаклепа. Выбор усилия ППД зависит от появления овальности и конусности цилиндров (рис. 5.; рис. 6.). Анализ кривых показывает, что при выборе усилия ППД для цилиндров воздушного охлаждения необходимо руководствоваться зависимостями образования конусности. Вероятно это происходит вследствие неравномерной толщины цилиндра по образующей.

Кроме того, для анализа точности геометрической формы цилиндров проводили замеры овальности, конусности, отклонения размеров цилиндров, восстановленных совмещенным процессом растачивания и ППД на оптимальных режимах, значения отклонений размеров сравнивались с техническими требованиями на ремонт цилиндра. Результаты замеров показали, что при восстановлении цилиндров совмещенным процессом растачивания и ППД на специально сконструированной оснастке точность геометрической формы и размера обеспечивается и соответствует требованиям на восстановление цилиндра (по 8-му качеству с отклонением $0,054\text{мм}$, погрешности формы $\pm 0,02\text{мм}$).

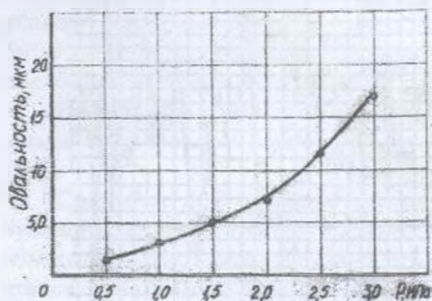


Рис. 5. Зависимость овальности цилиндров от усилия ППД

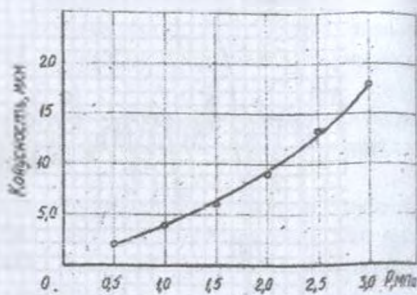


Рис. 6. Зависимость конусности цилиндров от усилия ППД

Литература

1. Коновалов Е.Г., Сидоренко В.А. Чистовая и упрочняющая ротационная обработка поверхностей. Минск: Высшая школа, 1968, 420с.
2. Дизели Д-37Е, Д-144 и их модификации. Технические требования на капитальный ремонт. М.: ГОСНИТИ, 1984, 179с.

Аннотация.

Исследование зависимости микротвердости и глубины наклепа от припуска на ППД

Представлены зависимости микротвердости и глубины наклепа от припуска на ППД.

Произведен выбор режимов и оптимизация процесса восстановления зеркала цилиндров совмещенным процессом растачивания и ППД.

Abstract.

Research of dependence of microhardness and depth of cold-hardening from SPD (superficial plastic deformation) allowance.

Dependences of microhardness and depth of cold-hardening SPD (superficial plastic deformation) allowance are presented.

A choice of the modes is produced. A process of renewal of mirror of cylinders at boring and SPD (superficial plastic deformation) is optimized.