

ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПАРЫ ТРЕНИЯ СТАЛЬНОЙ ВАЛ И БРОНЗОВЫЙ ВКЛАДЫШ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ОБКАТЫВАНИЯ РОЛИКАМИ

Boris Butakov, Vitaliy Artyukh

Mykolayiv State Agrarian University, Ukraine

Vitaliy55555555@rambler.ru

Аннотация. Исследования распределения микротвёрдости по глубине показали, что после обкатывания вала роликом с помощью устройства со стабилизацией усилия обкатывания, создаётся достаточно однородный по структуре и свойствам поверхностный слой, который обеспечивает заданное качество материала в течение всего ресурса работы детали. После проведения испытаний на износ у вкладышей, работающих в паре с обкатанными образцами, наблюдается большая износостойкость по сравнению со шлифованными.

Ключевые слова: ролик, усилие, смятие, твердость, шероховатость

ВСТУПЛЕНИЕ

Для упрочнения поверхностного слоя металлических деталей ответственного назначения находит применение поверхностное пластическое деформирование (ППД) обкатыванием роликами или чеканкой бойками. Для улучшения внешнего товарного вида и повышения износостойкости поверхностного слоя применяется чистовое ППД, а с целью повышения износостойкости деталей – упрочняющая обработка [1 - 4].

Современная техника для упрочнения поверхностных слоев, которые в большинстве случаев определяют служебные характеристики деталей машин, включает целый ряд методов: химико-термическую обработку, закалку ТВЧ, лазерную обработку и т. д. Для массового производства широкое применение для упрочнения поверхностных слоев деталей машин нашло обкатывание роликом [5 - 7].

При осуществлении технологического процесса обкатывания наиболее широко применяются сферические или торообразные ролики и при больших углах вдавливания ролика в направлении его подачи на обкатанной поверхности детали появляется волнистость с шагом, отличным от величины подачи [8 - 10].

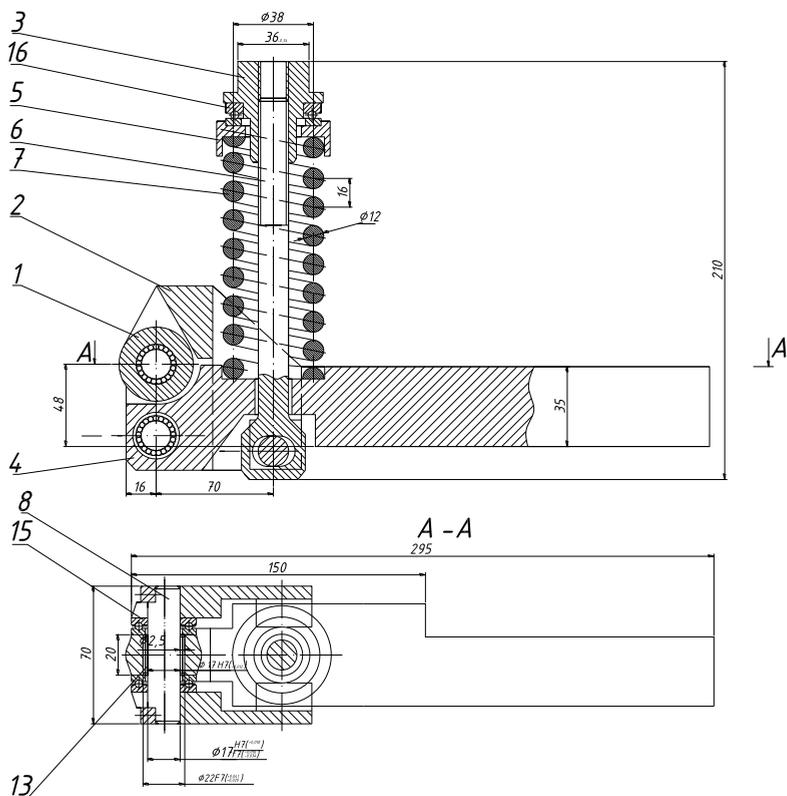
МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Основной причиной появления волнистости многие исследователи считают наличие торцевого биения ролика, приводящего к переменной подаче обкатывания [11, 12].

Для предотвращения появления волнистости при чистовом обкатывании рекомендуют принимать угол вдавливания значением $2 - 3^{\circ}$ (что, однако, ограничивает шероховатость обкатанной поверхности величиной $40 < R_z < 80$ мкм, а для уменьшения волнистости – использовать ролики с точным рабочим профилем и чаще их перешлифовывать. При упрочняющем обкатывании тонкий поверхностный слой для исключения волнистости поверхности сошлифовывают или стачивают, это существенно уменьшает эффективность упрочнения [13].

С помощью универсального динамометра УДМ конструкции ВНИИ были измерены составляющие усилия P обкатывания торообразным роликом валов диаметром 100-200 мм из стали 40 (200 НВ) на токарном станке с помощью устройства, показанного на рис. 1, а. Ролик 1 установлен через подшипники 8 на оси 9. Усилие пружины 3 через тягу 4, ось 7 и рычаг 2 передается на ролик 1 и прикладывается к детали. Рычаг 2 установлен на оси 11 с помощью игольчатого 6 и упорных 5 подшипников и легко поворачивается относительно

корпуса 10. В устройстве вместо подшипников качения 5 и 6 могут быть установлены подшипники скольжения.



а)

б)

Рис. 1 Устройство для обкатывания деталей торообразным роликом со стабилизацией усилия обкатывания: а) конструктивная схема; б) общий вид

Fig. 1 Device for rolling of details by a toroobraznim rolikom with stabilization of effort of rolling: a) structural chart; b) general kind

На рис. 2 показана осциллограмма составляющих усилия P , полученная при установке роликового узла на опорах скольжения, т.е. применительно к конструкции устройств, используемых на заводах для упрочняющего или чистового обкатывания стальных деталей.

Номинальное значение усилия поджима ролика к детали, $P_{yn} = 5 \text{ кН}$, а соотношение: $P_{xn} : P_{yn} : P_{zn} = 0,15 : 5 : 1,5$. Сила P_x в процессе обкатывания остается практически постоянной, а силы P_y и P_z с каждым оборотом ролика периодически изменяются; амплитуда колебания силы P_y составляет $\Delta P_y = 0,45$, а сила P_z (в направлении подачи) изменяется менее заметно. При установке роликового узла на подшипниках качения, как показали измерения, $\Delta P_y < 0,03 P_{yn}$, а колебания сил P_x и P_y практически не обнаружены.

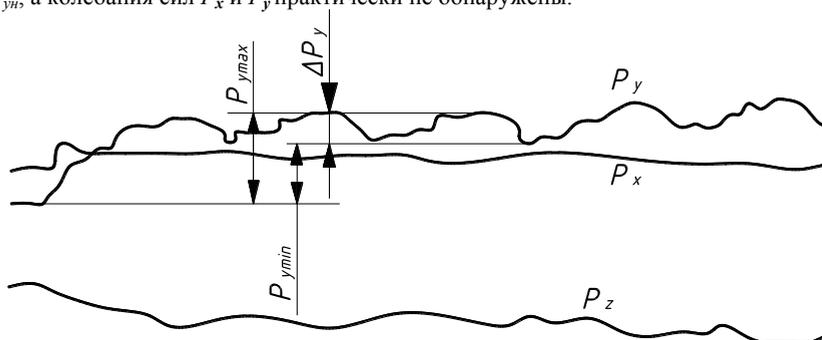


Рис.2. Осциллограмма составляющих усилия P обкатывания: P_x – касательное усилие качения ролика; P_y – нормальное усилие поджима ролика к детали; P_z – усилие подачи

Fig. 2. Ostsillogramma of constituents of effort of P obkativaniya: P_x – tangent effort of kacheniya roller; P_y – normal effort of screwing of roller to the detail; P_z – effort of serve

Коэффициент трения в подшипниках скольжения составляет $f_c = 0,05 \div 0,1$, а в подшипниках качения $f_k = 0,003 \div 0,008$, поэтому стабилизация силы P при установке роликового узла на подшипниках качения достигается существенным уменьшением сил трения в опорах [14 - 17]. Силы трения в опорах, складываясь с рабочим усилием пружинящего элемента обкатного устройства, влияют на величину усилия P обкатывания; при наличии же радиального биения ролика силы трения в процессе обкатывания становятся переменными по величине и направлению. Это позволило предположить, что основной причиной появления волнистости является наличие колебания усилия P обкатывания при каждом обороте ролика в результате его радиального биения [18 - 21].

Рассчитаем шаг волны S_w при некратных отношениях D_d/D_p , где D_d , D_p соответственно диаметры детали и ролика. Точками на развертке следа ролика при качении его по детали отмечены места максимального значения усилия P (рис. 3).

Точки, сдвигаясь по поверхности детали, образуют винтовые линии с шагом S_w , превосходящим величину S подачи ролика. Вдоль этих линий деформация металла поверхностного слоя детали получается большей, чем в промежутках между ними, чем и определяется появление волнистости. Из подобия треугольников ABC и A_1B_1C получим

$$S_w = D_p S / (D_p N - D_d), \quad (1)$$

где: $N = D_d/D_p + 1$ (здесь D_d/D_p - целая часть отношения). Данное выражение справедливо для случая, исключая проскальзывание ролика по детали при их взаимном вращении, при наличии скольжения фактический шаг волны может значительно отличаться от расчетного. Разворотом оси ролика вокруг перпендикуляра к поверхности контакта в ту или другую сторону можно изменить степень проскальзывания ролика и тем самым повлиять на величину S_w .

Стабилизируя с помощью установки роликового узла на подшипниках качения усилие P можно исключить появление волнистости при больших углах вдавливания, которые свойственны даже упрочняющему обкатыванию. При этом удается получить шероховатость поверхности $R_a = 0,08 - 0,32$ мкм при исходной $R_z = 80 - 160$ мкм, и кроме того, совместить чистовое и упрочняющее обкатывание.

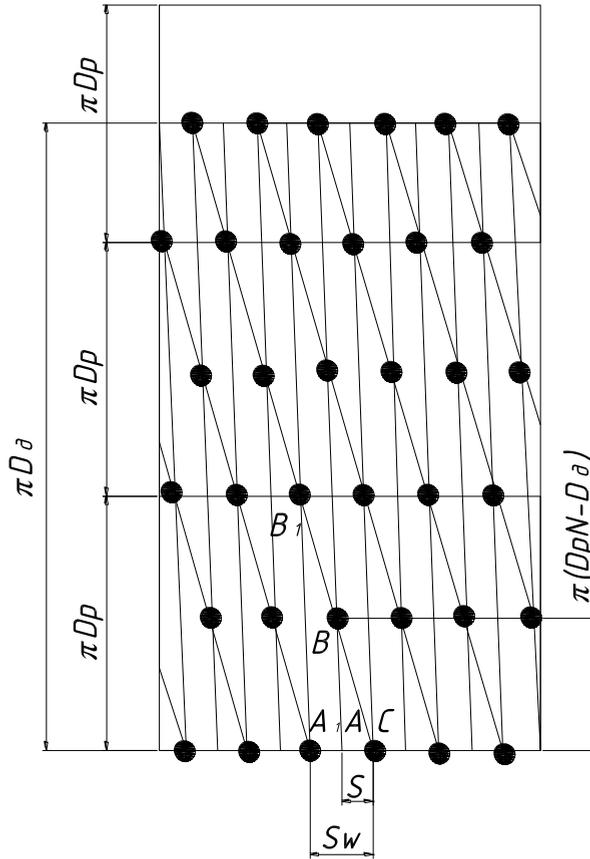


Рис. 3. Схема расчета шага S_w волны при обкатывании роликами

Fig. 3. Chart of computation of step of the S_w wave at rolling by rollers

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

После изготовления устройства произведено обкатывание вала из стали 40 диаметром 50 мм (рис 4).

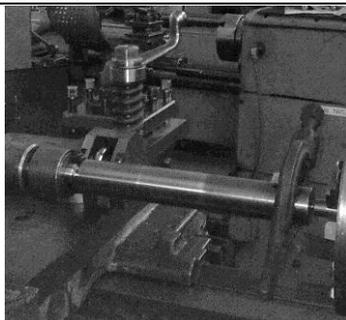


Рис. 4. Обкатывание вала роликом на токарно-винторезном станке 1К62
Fig. 4. Rolling of billow by a roller on the screw-cutter 1K62

Вал был установлен в центрах и поводковый патрон, а устройство было зажато в резцедержателе станка.

Обкатывание производилось по двум режимам, чистовой - с усилием обкатывания 0,75 kH и упрочняющий - с усилием 3 kH . Усилие было подобрано по номограмме [2, 3] и осуществлялось с помощью сжатия пружины устройства. Обкатывания выполнялось с частотой вращения детали 315 $об/мин$ и подачей 0,07 $мм/об$. Перед обкатыванием вал смазывался индустриальным маслом И-20. После обкатывания вал был порезан на образцы шириной 11 $мм$. По периметру образец, перед тем как его полировать, заливался самотвердеющей пластмассой "ПРОТАКРИЛ-М", для того чтобы не завалить торцы при полировке (рис 5).



Рис. 5. Образцы подготовленные для исследования микротвердости
Fig. 5. Obratzsi prepared for research of mikrotverdsti

Микроструктура обкатанного образца приведена на рис. 6. Перед измерением микротвердости сталь травили 3% раствором азотной кислоты для выявления микроструктуры.

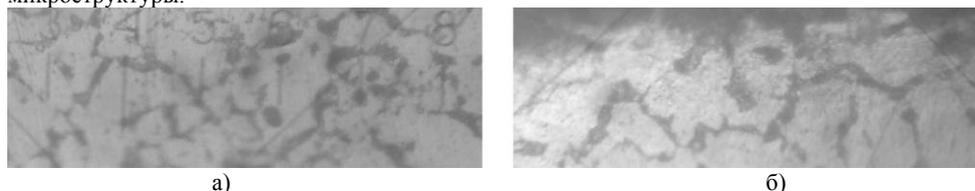


Рис. 6. Микроструктура поверхностного слоя вала из стали 40 ($\times 500$):
а) – до обкатывания; б) – после обкатывания с усилием 3 kH
Fig. 6. Microstructure of poverhtnostnogo layer of billow from the steel 40 ($\times 500$):
а) – to rolling; б) – after rolling with effort 3 kN

После обкатывания вала из стали 40, как видно из рис. 6, ферритные и перлитные зерна вытянуты в направлении качения ролика.

Измерения микротвердости выполнялись на приборе ПМТ-3 по глубине через 0,2 мм. Изображение отпечатков микротвердости приведено на рис. 7. На экране монитора можно изображение увеличивать, изменять яркость и резкость. Это очень важно для материалов, имеющих очень неоднородную микроструктуру.



Рис. 7. Измерение отпечатков микротвердости на приборе ПМТ-3 ($\times 500$)
Fig. 7. Measuring of imprints of mikrotverdosti on the PMT-3-3 device ($\times 500$)

Глубина наклепа определяется по формуле Хейфеца:

$$t = \sqrt{\frac{P}{2\sigma_m}},$$

где: P – усилие обкатывания, σ_m – предел текучести стали.

Твердость на глубине достаточно резко начинает снижаться, что является свидетельством малой ширины переходной зоны.

результатам измерения микротвердости были построены графики изменения микротвердости по глубине (рис.8).

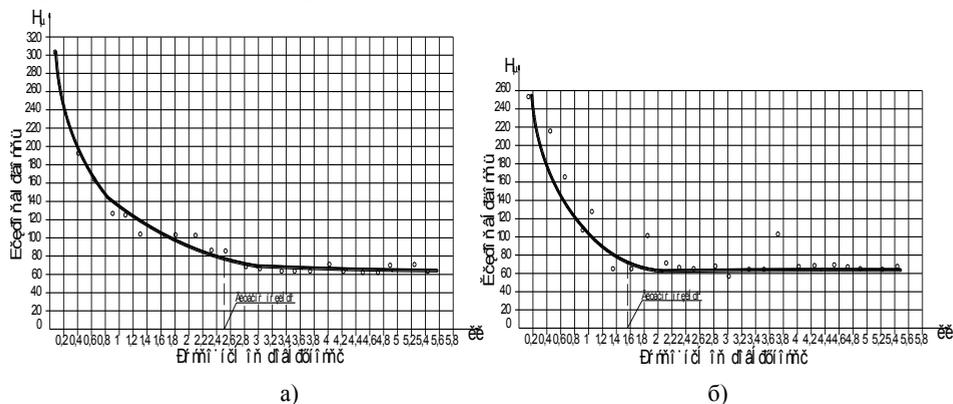


Рис. 8. Изменение микротвердости по глубине: а – образец, обкатанный с упрочняющим режимом при усилии 3 кН; б – образец, обкатанный с чистовым режимом при усилии 0,75 кН

Fig. 8. Change of mikrotverdosti on a depth: and – standard rolling with the consolidating mode at the effort 3 kN; b – standard rolling with the clean mode at effort 0,75 kN

Глубина упрочненного слоя, у вала, обкатанного при усилии 3 кН, составляет 2,6 мм, а вала, обкатанного при усилии 0,75 кН - 1,6 мм.

Способ обкатывания деталей роликами со стабилизацией усилия обкатывания позволяет получать упрочненный слой различной толщины с достаточно высокой и однородной твердостью.

Измерение шероховатости и снятие профилограмм поверхности образцов после пути трения 20000 и 40000 м производилось на профилографе-профилометре завода «Калибр» (см. рис. 9 - 12)

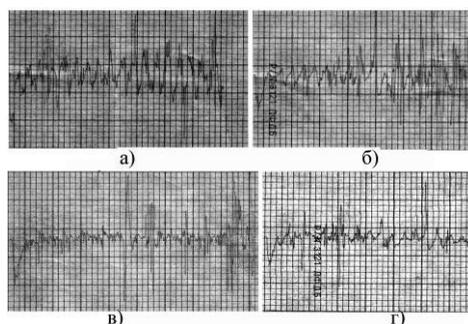


Рис. 9. Профилограммы поверхности стальных образцов, снятые после пути трения 20000 м (по вертикали $\times 1000$, по горизонтали $\times 1000$): а – образец, обкатанный с усилием 3 кН после шлифования; б – шлифованный образец; в – образец, обкатанный с усилием 0,75 кН после точения; г – образец, обкатанный с усилием 3 кН после точения

Fig. 9. The Profilogrammi surfaces of steel standards, taken off after the way of friction 20000 m (on the vertical line $\times 1000$, on the horizontal line $\times 1000$): and – standard obkatanniy with effort 3 kN after polishing; b – the polished standard; in – standard obkatanniy with effort 0,75 kN after sharpening; g – standard obkatanniy with effort 3 kN after sharpening

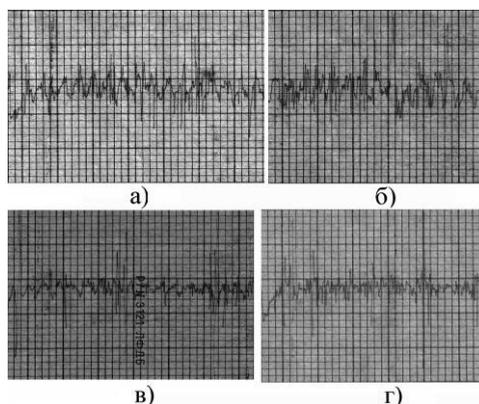


Рис. 10. Профилограммы поверхности стальных образцов, снятые после пути трения 40000 м (по вертикали $\times 1000$, по горизонтали $\times 1000$): а – образец, обкатанный с усилием 3 кН после шлифования; б – шлифованный образец; в – образец, обкатанный с усилием 0,75 кН после точения; г – образец, обкатанный с усилием 3 кН после точения

Fig. 10. The Profilogrammi surfaces of steel standards, taken off after the way of friction 40000 m (on the vertical line $\times 1000$, on the horizontal line $\times 1000$): and – standard obkatanniy

with effort 3 kN after polishing; b – the polished standard; in – standard obkatanniy with effort 0,75 kN after sharpening; g – standard obkatanniy with effort 3 kN after sharpening

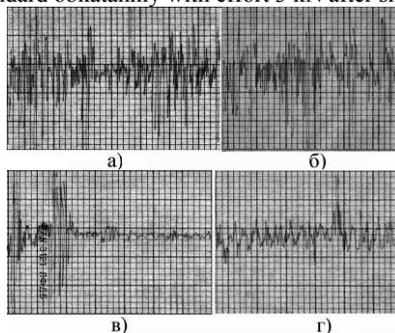


Рис. 11. Профилограммы поверхности бронзовых образцов образцов, снятые после пути трения 20000 м (по вертикали $\times 1000$, по горизонтали $\times 10$): а – образец, работающий в паре с валом, обкатанным с усилием 3 кН после шлифования; б – образец, работающий в паре со шлифованным валом; в – образец, работающий в паре с валом, обкатанным с усилием 0,75 кН после точения; г – образец, работающий в паре с валом, обкатанным с усилием 3 кН после точения

The fig. 11. The Profilogrammi surfaces of bronze standards of standards, taken off after the way of friction 20000 m (on the vertical line $\times 1000$, on the horizontal line $\times 1000$): and – standard, working in a pair with a billow obkatannim with effort 3 kN after polishing; b – standard working in a pair with the polished billow; in – standard, working in a pair with a billow obkatannim with effort 0,75 kN after sharpening; g – standard, working in a pair with a billow obkatannim with effort 3 kN after sharpening

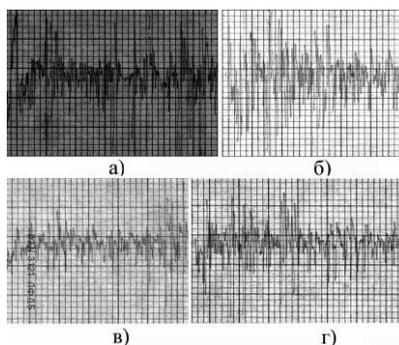


Рис. 12. Профилограммы поверхности бронзовых образцов образцов, снятые после пути трения 40000 м (по вертикали $\times 1000$, по горизонтали $\times 10$): а – образец, работающий в паре с валом, обкатанным с усилием 3 кН после шлифования; б – образец, работающий в паре со шлифованным валом; в – образец, работающий в паре с валом, обкатанным с усилием 0,75 кН после точения; г – образец, работающий в паре с валом, обкатанным с усилием 3 кН после точения

Fig. 12. The Profilograms surfaces of bronze standards of standards, taken off after the way of friction 40000 m (on the vertical line $\times 1000$, on the horizontal line $\times 1000$): and – standard, working in a pair with a billow obkatannim with effort 3 kN after polishing; b – standard working in a pair with the polished billow; in – standard, working in a pair with a billow obkatannim with

effort 0,75 kN after sharpening; g – standard, working in a pair with a billow obkatannim with effort 3 kN after sharpening

Как видно из профилограмм, шероховатость поверхности обкатанного вала меньше, чем шероховатость шлифованной поверхности, это ускоряет приработку деталей.

Во всех случаях на поверхности вкладышей формируется новый рельеф. В таблице представлены параметры шероховатости стальных и бронзовых образцов, указанных выше на рисунках после пути трения 20000 и 40000 м.

Как видно из таблицы, у обкатанных образцов возрастает опорная поверхность t_p за счет снижения шероховатости поверхности, которая в процессе приработки с бронзовым вкладышем формируется в виде нового рельефа.

Таблица 1. Параметры шероховатости поверхности экспериментальных образцов
Table 1. Parameters of the surface roughness of the experimental samples

Образец	R_a , мкм	n^*	H_{max}^* , мкм	H_{min} , мкм	t_p^* , %
1	2	3	4	5	6
Стальные образцы					
После пути трения 20000м					
Образец, обкатанный с усилием 3 кН после шлифования	0,28 – 0,29	5-7	5,3	6,79	91,1
Шлифованный образец	0,44 – 0,45	6-8	7,4	8,1	55
Образец, обкатанный с усилием 0,75 кН после точения (чистовой режим)	0,16 – 0,20	3-4	4,8	3,2	95
Образец, обкатанный с усилием 3 кН после точения (упрочняющий режим)	0,18 – 0,25	5-6	4,7	2,5	97
После пути трения 40000м					
Образец, обкатанный с усилием 3 кН после шлифования	0,20 – 0,21	5-7	5,3	1,9	94
Шлифованный образец	0,27 – 0,28	10 – 11	7,9	4,85	54
Образец, обкатанный с усилием 0,75 кН после точения (чистовой режим)	0,16 – 0,21	1 – 3	2,3	8,1	96
Образец, обкатанный с усилием 3 кН после точения (упрочняющий режим)	0,17 – 0,22	3 – 4	2,8	1,3	97,5
Бронзовые образцы					
После пути трения 20000м					
Вкладыш, работающий с образцом, обкатанным с усилием 3 кН после шлифования	0,50 – 0,51	11 – 13	4,96	6,78	82
Вкладыш, работающий со шлифованным образцом	0,61 – 0,62	12 – 16	6,76	7,73	51
Вкладыш, работающий с образцом, обкатанным с усилием 0,75 кН после точения (чистовой режим)	0,39 – 0,51	9	4,81	2,46	95

Вкладыш, работающий с образцом, обкатанным с усилием 3 кН после точения (упрочняющий режим)	0,35 – 0,36	9	4,85	2,10	95
После пути трения 40000м					
Вкладыш, работающий с образцом, обкатанным с усилием 3 кН после шлифования	0,30 – 0,31	8	5,48	1,64	82
Вкладыш, работающий со шлифованным образцом	0,58 – 0,60	11	6,85	4,65	51,6
Вкладыш, работающий с образцом, обкатанным с усилием 0,75 кН после точения (чистовой режим)	0,18 – 0,19	9	1,14	7,62	95
Вкладыш работающий с образцом обкатанным с усилием 3 кН после точения (упрочняющий режим)	0,26 – 0,27	9	1,04	0,88	95,4
* n – Число шагов неровностей в пределах длины трассы; * H_{max} – Высота наибольшего выступа профиля; * H_{min} – Глубина наибольшей впадины профиля; * l_p – Относительная опорная длина профиля.					

Для испытания на износ образцов на машине трения СМЦ – 2 применялся образец 1 из стали 40 диаметром 50 мм в паре с образцом 2 из оловянистой бронзы Бр. ОЦС 8-21 (рис.13).

Стальные образцы были обработаны по четырем вариантам: шлифованные (шероховатость поверхности $R_a = 0,25$ мкм); обкатанные роликом с чистовым режимом при усилии $P = 0,75$ кН после точения, (шероховатость поверхности $R_a = 0,15$ мкм); обкатанные роликом с упрочняющим режимом при $P = 3$ кН после шлифования (шероховатость поверхности $R_a = 0,12$ мкм) и обкатанные роликом с упрочняющим режимом при $P = 3$ кН после точения (шероховатость поверхности $R_a = 0,17$ мкм). Поверхность вкладышей (втулок) после растачивания имела шероховатость $R_a = 0,36$ мкм.

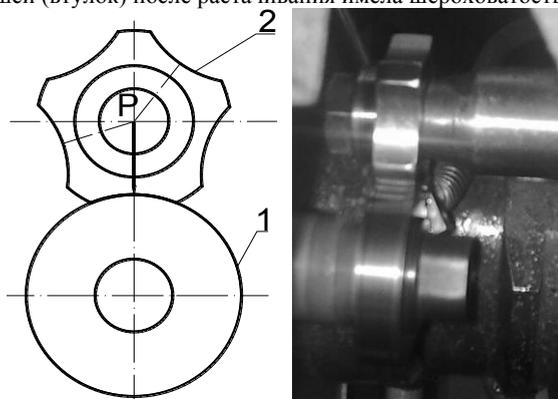


Рис. 13 Схема нагружения экспериментальных образцов
1 – Образец из стали 40; 2 – образец из оловянистой бронзы Бр. ОЦС 8-21

Fig. 13 Chart of loading of experimental standards
1 – Standard from the steel 40; 2 – standard from the tin bronze Br. OTSS 8-21

Испытания пары трения выполнялись при номинальной удельной нагрузке 5 МПа и окружной скоростью 79 м/мин; образцы обильно смазывались моторным маслом фирмы “Castrol Magnatec” 10W – 40.

На рис. 14 и 15 приведены графики зависимостей износа бронзовых и стальных образцов от пути трения. При проведении испытаний образцы взвешивались через каждые 1000 м пути трения на аналитических весах ВЛР – 200, испытанию подвергались 16 пар образцов, а в дальнейшем – четырех пар для каждого варианта обработки.

Как видно из графиков, в момент интенсивной приработки $L = 20000$ м, наблюдается значительное повышение износа вкладыша, работающего в паре со шлифованным валом, приводящее к значительному повышению температуры экспериментальных образцов по сравнению с вкладышами, работающими с валом, обкатанным при усилии 0,75 и 3 кН после точения и шлифования. Коэффициент трения f в начале испытаний составлял для шлифованных образцов 0,127, а для образцов, обкатанных при $P = 0,75$ кН и $P = 3$ кН после точения и шлифования, соответственно 0,047 и 0,12. В дальнейшем, коэффициент трения достиг минимума ($f = 0,016$) для образцов, обкатанных при $P = 3$ кН после точения.

Как видно на рис.14, 15, приработка бронзовых вкладышей в паре с обкатанными стальными образцами происходит в несколько раз быстрее, чем в паре со шлифованными, при этом износ шлифованных образцов за значительный период работы в 3 – 3,5 раза больше, чем обкатанных.

Минимальный износ имели образцы, обкатанные роликом при $P = 3$ кН после точения; это обусловлено не только упрочняющим эффектом и увеличением твердости, но и обеспечением оптимальной шероховатости при данном методе обработки.

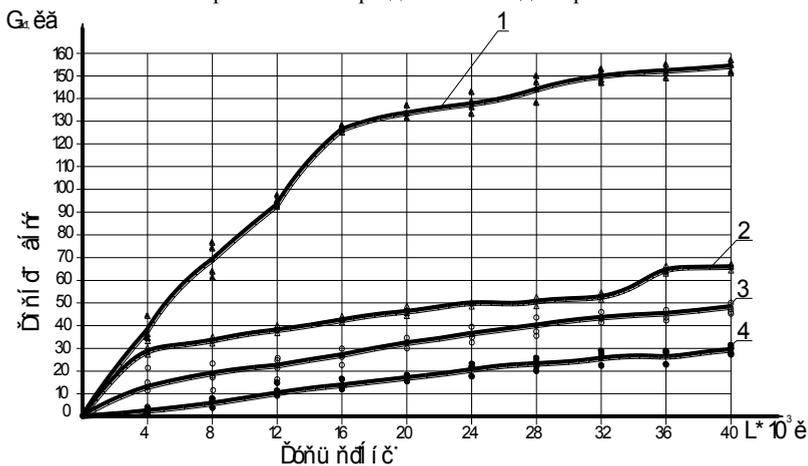


Рис 14. График износа бронзовых вкладышей

- 1-Бронзовый вкладыш в паре со шлифованным валом;
- 2-Бронзовый вкладыш в паре с валом, обкатанным при усилии 0,75 кН после точения;
- 3-Бронзовый вкладыш в паре с валом, обкатанным при усилии 3 кН после шлифовки;
- 4-Бронзовый вкладыш в паре с валом, обкатанным при усилии 3 кН после точения;

Fig.14. The graph of wear of bronze vkladishey

- 1-bronze vkladish in a pair with the polished billow;
- 2-bronze vkladish in a pair with a billow obkatannim at effort 0,75 kN after sharpening;
- 3-bronze vkladish in a pair with a billow obkatannim at effort 3 kN after polishing;
- 4-bronze vkladish in a pair with a billow obkatannim at effort 3 kN after sharpening;

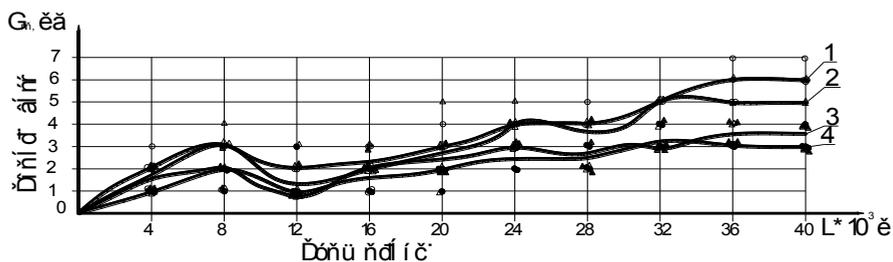


Рис 15. График износа образцов из стали 40

- 1-Стальной шлифованный образец;
- 2-Образец, обкатанный при усилии 0,75 кН после точения;
- 3- Образец, обкатанный при усилии 3 кН после шлифования;
- 4- Образец, обкатанный при усилии 3 кН после точения

Fig. 15 The graph of wear of standards from the steel 40

- The 1-steel polished standard;
 2-standard obkatanniy at effort 0,75 kN after sharpening;
 a 3- Standard obkatanniy at effort 3 kN after polishing;
 a 4- Standard obkatanniy at effort 3 kN after sharpening

Опорная площадь поверхности обкатанных образцов в верхних слоях в 1,5 – 2, а в нижних слоях – в 1,1 – 1,2 раза больше, чем шлифованных, высота неровностей обкатанной поверхности уменьшилась в 1,5 – 1,8 раза, а шлифованной – в 1,2 раза. На обкатанных поверхностях возникающая при их износе шероховатость образуется в основном за счет сглаживания вершин выступов без существенного изменения шероховатости в нижних ее сечениях. Благодаря этому различие в величине опорной площади между шлифованной и обкатанной поверхностями в процессе их изнашивания возрастает еще больше.

Способ обкатывание деталей роликами со стабилизацией усилия обкатывание позволяет получать упрочненный слой различной толщины с достаточно высокой и однородной твердостью, а также повышенной износостойкостью.

ВЫВОДЫ

Для упрочнения нежестких деталей вращения (штоков, валов, у которых их длина превосходит диаметр более чем на порядок) разработано и внедрено в производство устройство для обкатывания роликом со стабилизацией усилия обкатывания. Стабилизация усилия обкатывания позволила совместить чистовую и упрочняющую обработки и исключить при этом появление остаточного искривления оси длинных деталей во время их обкатывания.

Способ обкатывание деталей роликами со стабилизацией усилия обкатывание позволяет получать упрочненный слой различной толщины с достаточно высокой и однородной твердостью, а также повышенной износостойкостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Браславский В.М. Технология обкатки крупных деталей роликами / В.М. Браславский. 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1975. – 160 с.
2. Бутаков Б.И. Усовершенствование процесса чистовой обкатывания деталей роликами / Б.И. Бутаков. Вестник машиностроения. - 1984. - № 7. - С. 50 – 53.

3. Бабей Ю.И. Поверхностное упрочнение металлов / [Ю.И. Бабей, Б.И. Бутаков, В.Г. Сысоев] – К.: Наукова думка, 1995. – 256 с.
4. Азаревич Г.М. Чистовая обработка цилиндрических поверхностей пластическим деформированием / [Г.М. Азаревич Г.Ш. Берштейн] — М.: ОНТИ НИИ Тракторсельхозмаша, 1963.- 43 с.
5. Браславский В.М. Обкатка деталей роликами как средство повышения износостойкости / [В.М. Браславский, В.В. Топычканов]. Пр-во крупных машин, НИИТЯЖМАШ Уралмашзцзода, 1989. — Вып. XIX. — С. 136 — 144.
6. Браславский В.М. Технология обкатки крупных деталей роликами / В.М. Браславский — М.: Машиностроение, 1975. — 160 с.
7. Браславский В.М. Повышение износостойкости винтовых пар обкатыванием роликами / [В.М. Браславский, Б.И. Бутаков, Ю.Я. Шилков]. Технология, организация и механизация механосборочного производства. — М.: НИИформТЯЖМАШ, 1985. — С. 15 — 17.
8. Бутаков Б.И. Усовершенствование процесса чистового обкатывания деталей роликами / Б.И. Бутаков. Вестн. машиностроения. — 1984. — № 7.—С. 50—53 с
9. Иванов В.В. Износостойкость стальных деталей, упрочненных обкаткой роликом / В.В. Иванов. Тр. ЦНИИТМАШа, кн. 2. — М., 1980.— С. 67—75.
10. Кашеев В.Н. Предварительный наклеп и абразивное разрушение металлической поверхности / В.Н. Кашеев Сельхозмашина. — 1985.— № 1.- С. 20-26.
11. Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ / [И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов] — М.: Машиностроение, 1985. — 526 с.
12. Кудрявцев И.В. Новые способы поверхностного пластического деформирования / [И.В. Кудрявцев, Р.Е. Грудская]. Машиностроитель, 1984, № 7, С. 28-29.
13. Марков А.И. Ультразвуковая обработка материалов / А.И. Марков – М.: Машиностроение, 1980.— 238 с.
14. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов / Я.Б. Фридман — М.: Оборонгиз, 1987. — 556 с.
15. Одинцов Л. Г. Финишная обработка деталей алмазным выглаживанием и вибровыглаживанием / Л. Г. Одинцов – М.: Машиностроение, 1981. – 160 с.
16. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием / Д.Д. Папшев – М.: Машиностроение, 1983. – 152 с.
17. Рыжов Э.В. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин / [Э.В. Рыжов, А.Г. Суслов, В.П. Федоров] — М.: Машиностроение, 1979.— 176с.
18. Степнов М.Н. Статистическая обработка результатов механических испытаний / М. Н. Степнов – М.: Машиностроение, 1980. – 232 с.
19. Хрущов М.М. Экспериментальные основы теории абразивного изнашивания / [М.М. Хрущов, М.А. Бабичев] Вести, машиностроения. — 1984.— № 6. — С. 56 — 62.
20. Шестаков В.В. Факторы, влияющие на степень поверхностного пластического упрочнения при обработке стальными шариками / [В.В. Шестаков, Л.П. Крючков, Б.П. Кузьмичев] Вестник машиностроения, 1984. № 5, С. 67 — 68.
21. Школьник Л.М. Технология и приспособления для упрочнения и отделки деталей накатыванием / [Л.М. Школьник, В.И. Шахов] — М.: Машиностроение, 1983. — 184 с.

RESEARCHES OF WEARPROOF OF PAIR OF FRICTION STEEL BILLOW AND BRONZE VKLADISH AT DIFFERENT MODES ROLLING BY ROLLERS

Summary. Researches of distribution of microhardness showed on a depth, that after the rolling-off of bilow a roller by means of device with stabilizing of effort of rolling-off, the homogeneous enough is created on a structure and properties superficial layer which provides the set quality of material during all resource of work of detail. After testing on a wear at hobs working in a pair with rollings standards there is large wearproofness as compared to polished.

Key words: roller, effort, crumpling, hardness, roughness.

Reviewer: Yury Seleznyov, Prof. Sc. D. Eng.