

2. Берон А.И. и др. Определение нагрузки двигателей очистных комбайнов в связи с изменчивостью свойств угля в забое.-М.: Уголь, 1969, № 3, с.44-49.
3. Важнов А.И. Основы теории переходных процессов синхронной машины.- М.: Госэнергоиздат, 1960.- 312 е.
4. Василевский М.Н., Траубе Е.С., Хатулев Е.А. Деформация моментных характеристик асинхронных двигателей в условиях сети ограниченной мощности.- Донецк: Сб.тр.: "Взрывобезопас-ное электрооборудование", вып.1, 1964, с.3-6.
5. Вейц В.Л. Динамика машинных агрегатов.-Л.: Машиностроение,
6. Волощенко Н.Й., Неякин Д.В. Повшение эффективности систем электроснабжения угольных шахт,- М.: Горные машины и автоматика, 1976, 4, с.2-3.
7. Горев А.А. Основные уравнения неустановившегося режима синхронной машины.- Львов: Труды ЛИИ, 1936, 5, с.6-11.

**УДК 621.787.4**

## **ПОДБОР ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА ОБКАТЫВАНИЯ ВАЛОВ РОЛИКАМИ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ**

Креминский С. С., студент гр. М 4/1

Николаевский национальный аграрный университет

Научные руководители д.т.н, проф. Бутаков Б.И., ассистент Артюх В.А.,  
ассистент Баранова Е.В.

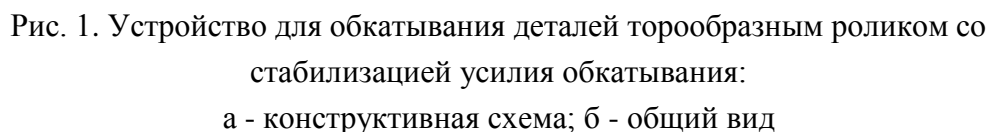
### ***Анотация***

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.

### ***Annotation***

Researches of distribution of microhardness showed on a depth, that after the rolling-off of billow 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.

Основной причиной появления волнистости многие исследователи считают наличие торцевого биения ролика, приводящего к переменной подаче обкатывания. Для предотвращения появления волнистости при чистовом обкатывании рекомендуют принимать угол вдавливания, значением  $2 - 3^{\circ}$  что, 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.



156

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.

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,  $P_{yn} = 5$  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.

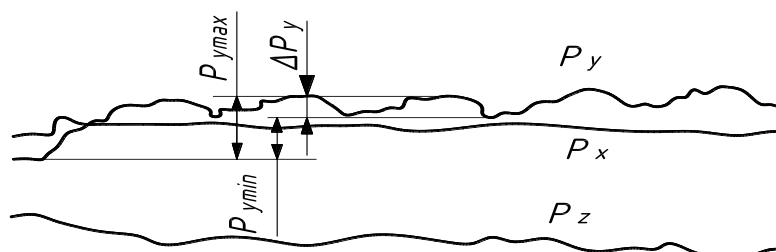


Рис. 2. Осциллограмма составляющих усилия  $P$  обкатывания:

$P_x$  – касательное усилие качения ролика;  $P_y$  – нормальное усилие поджима ролика к детали;  
 $P_z$  – усилие подачи

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. 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.

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).

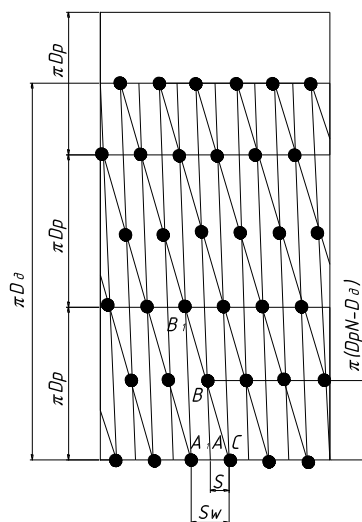


Рис. 3. Схема расчета шага  $S_w$  волны при обкатывании роликами

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, исключающего 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 удастся 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.

С помощью изготовленного устройства произведено обкатывание вала из стали 40 диаметром 50 мм (рис. 4).

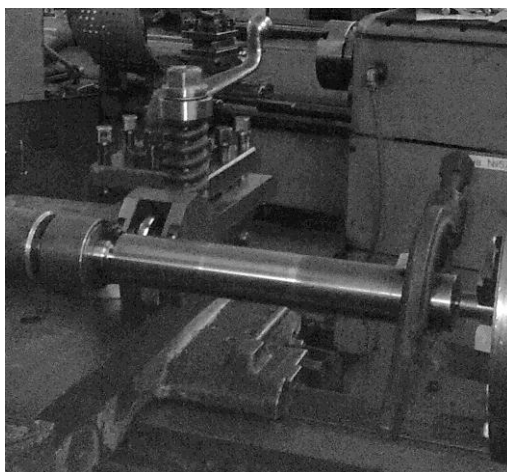


Рис. 4. Обкатывание вала роликом на токарно-винторезном станке 1К62

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

Обкатывание производилось по двум режимам, чистовой - с усилием обкатывания 0,75 кН и упрочняющий - с усилием 3 кН. Усилие было подобрано по номограмме [3] и осуществлялось с помощью сжатия пружины устройства. Обкатывание 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

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

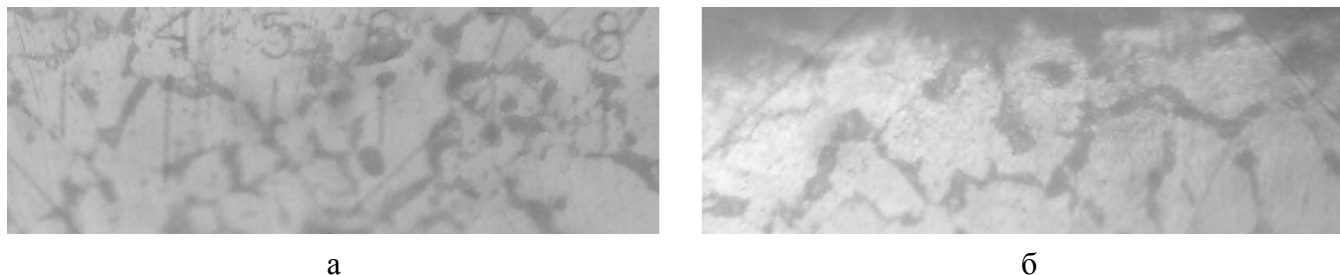


Рис. 6. Микроструктура поверхностного слоя вала из стали 40 ( $\times 500$ ):  
а – до обкатывания; б – после обкатывания с усилием 3 кН

После обкатывания вала из стали 40, как видно из рис. 6, наблюдается вытягивание ферритных и перлитных зерен в направлении подачи ролика.

Измерения микротвердости выполнялось 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.

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

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

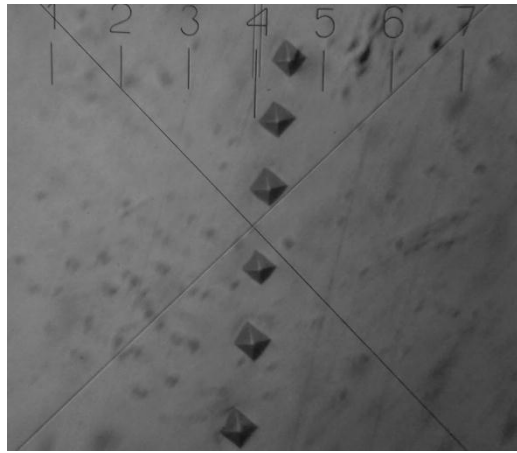


Рис. 7. Измерение отпечатков микротвердости на приборе ПМТ-3 ( $\times 500$ )

Глубина наклепа определяется по формуле Хейфеца:

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

где:  $P$  – усилие обкатывания,  $\sigma_m$  – предел текучести стали.

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

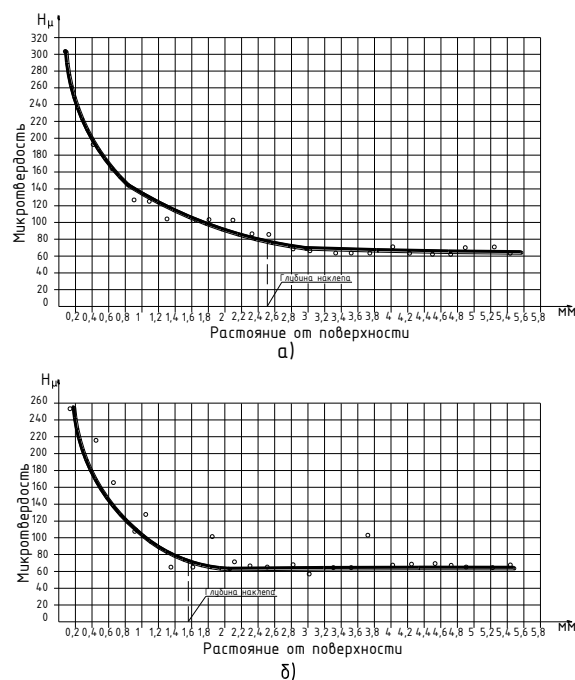


Рис. 8. Изменение микротвердости по глубине:

а – образец, обкатанный с упрочняющим режимом при усилиии 3 кН;

б – образец, обкатанный с чистовым режимом при усилиии 0,75 кН

После проведения исследований шероховатости поверхности были представлены профилограммы поверхности образцов, которые сняты после пути трения 20000 и 40000 м (рис. 9, 10, 11, 12).

Измерение шероховатости и снятие профилограмм поверхности производилось на профилографе-профилометре завода «Калибр».

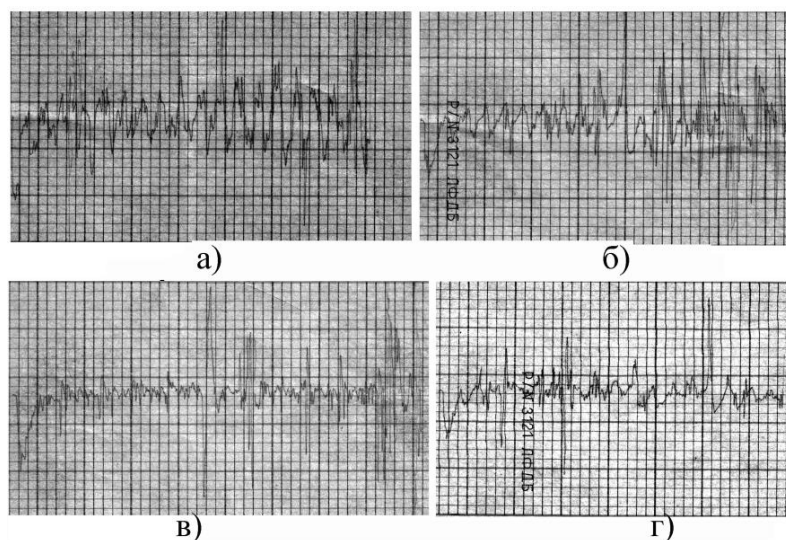


Рис. 9. Профилограммы поверхности стальных образцов, снятые после пути трения 20000 м (по вертикали  $\times 1000$ , по горизонтали  $\times 10$ ):  
а – образец, обкатанный с усилием 3 кН после шлифовки; б – шлифованный образец;  
в – образец, обкатанный с усилием 0,75 кН после точения; г – образец, обкатанный с усилием 3 кН после точения

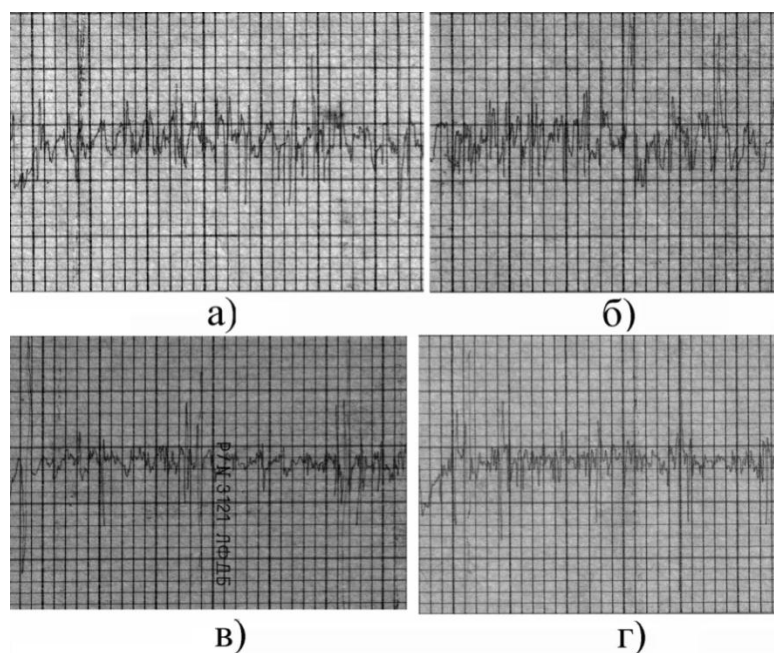


Рис. 10. Профилограммы поверхности стальных образцов, снятые после пути трения 40000 м (по вертикали  $\times 1000$ , по горизонтали  $\times 10$ ):  
а – образец, обкатанный с усилием 3 кН после шлифовки; б – шлифованный образец;  
в – образец, обкатанный с усилием 0,75 кН после точения; г – образец,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

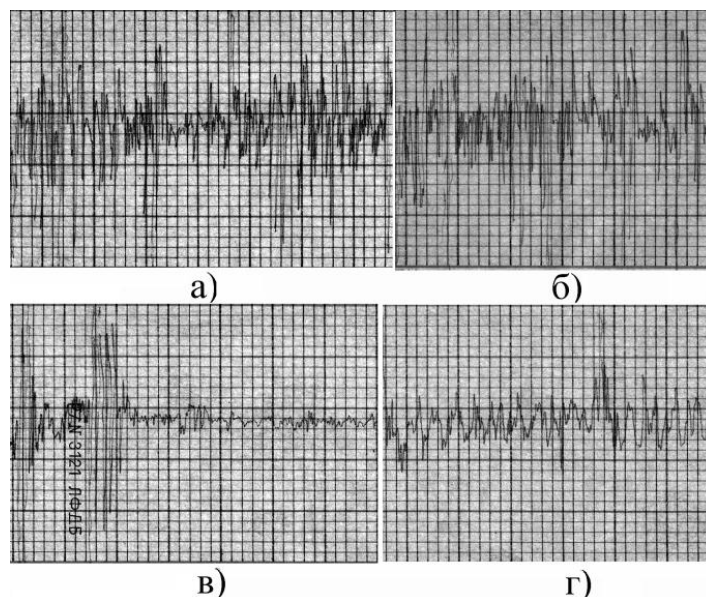


Рис. 11. Профилограммы поверхности бронзовых образцов, снятые после пути трения 20000 м (по вертикали  $\times 1000$ , по горизонтали  $\times 10$ ):

- а – образец, работающий в паре с валом, обкатанным с усилием 3 кН после шлифовки;  
 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

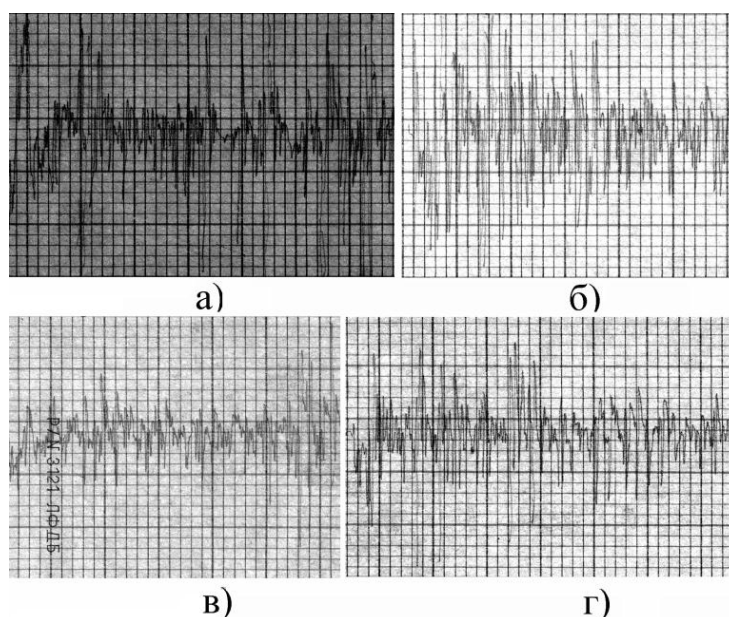


Рис. 12. Профилограммы поверхности бронзовых образцов, снятые после пути трения 40000 м (по вертикали  $\times 1000$ , по горизонтали  $\times 10$ ):

- а – образец, работающий в паре с валом, обкатанным с усилием 3 кН после шлифовки;  
 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



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 табл. 1 представлены параметры шероховатостей стальных и бронзовых образцов, указанных выше на рисунках после пути трения 20000 и 40000 м.

Таблица 1

Параметры шероховатости поверхности экспериментальных образцов

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 шлифовки	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 шлифовки	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 шлифовки	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	0,35 – 0,36	9	4,85	2,10	95

точения (упрочняющий режим)					
После пути трения 40000м					
Вкладыш, работающий с образцом, обкатанным с усилием 3 кН после шлифовки	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

Как видно из таблицы 1 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.

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 шлифовки (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.

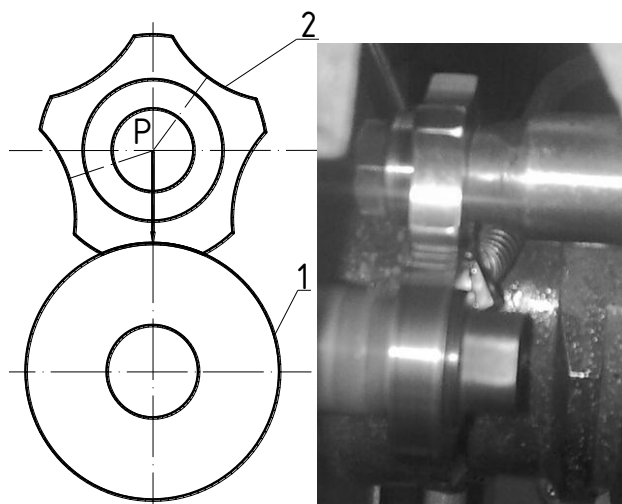


Рис. 13. Схема нагружения экспериментальных образцов:

1 – Образец из стали 40; 2 – образец из оловянистой бронзы Бр. ОЦС 8-21

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, испытания проводились на основании 16 пар образцов, а в дальнейшем – четырех пар для каждого варианта обработки.

Как видно из графиков в момент интенсивной притирки  $L = 20000$  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 шлифовки. 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 шлифовки, 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 шлифованных; при этом износ шлифованных образцов за значительный период работы в 3 – 3,5 раза больше, чем обкатанных.

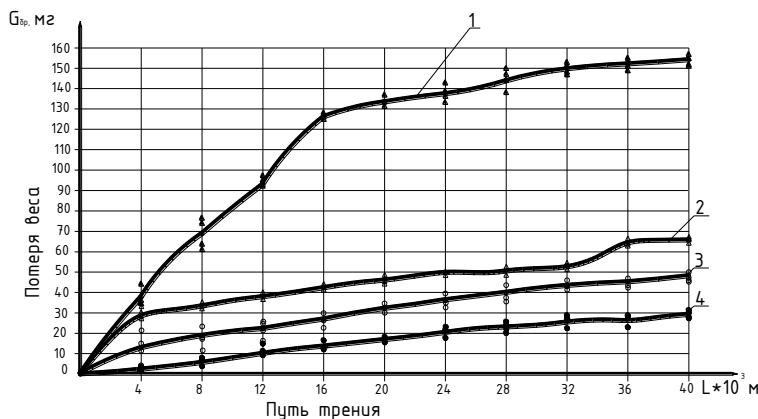


Рис. 14. График износа бронзовых вкладышей:

- 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

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. 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.

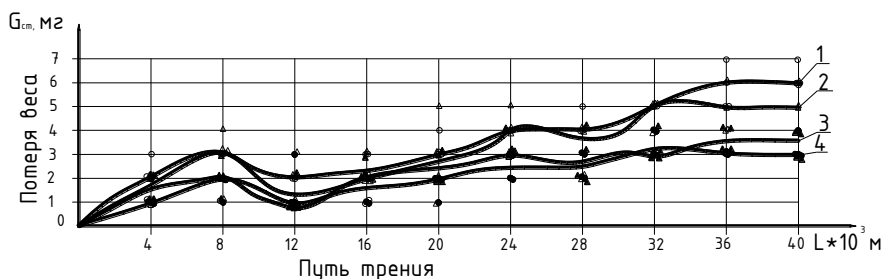


Рис. 15. График износа образцов из стали 40:

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

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:

- Браславский В.М. Технология обкатки крупных деталей роликами. / Браславский В.М. 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1975. – 160 с.
- Бутаков Б.И. Усовершенствование процесса чистового обкатывания деталей роликами / Б.И.Бутаков. Вестник машиностроения. - 1984. - № 7. - С. 50 – 53.
- Бабей Ю.И. Поверхностное упрочнение металлов. / Ю.И. Бабей, Б.И. Бутаков, В.Г. Сысоев – К.: Наукова думка, 1995. – 255 с.

УДК 631.355.3

### ДОСЛІДЖЕННЯ НОВОГО СПОСОБУ ВІДОКРЕМЛЕННЯ КАЧАНІВ КУКУРУДЗИ ВІД СТЕБЕЛ

Решотка К.О., студентка гр. М 4/2

Миколаївський національний аграрний університет  
Науковий керівник ас. Завірюха М.В.

#### Анотація

В даній статті обґрунтовано роботу нового способу відокремлення качанів кукурудзи, шляхом проведення експериментальних досліджень процесу відокремлення качанів за рахунок удару на пластинах, які мають підвищені демпфуючі показники.