

УДК 621.891; 621.923

С.Г. Бишутин, А.С. Пиляев

## ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ НАПРАВЛЯЮЩИХ, СФОРМИРОВАННЫХ ПРИ ФИНИШНОЙ КОМБИНИРОВАННОЙ АНТИФРИКЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ<sup>1</sup>

Приведены результаты исследований износостойкости поверхностных слоев протяженных цилиндрических направляющих, обработанных по новой технологии антифрикционной обработки. Представлено описание разработанного испытательного оборудования.

Ключевые слова: износостойкость поверхности, формирование износостойких покрытий, финишная антифрикционная абразивная обработка, цилиндрические направляющие, испытательное оборудование.

В процессе эксплуатации направляющих машин и механизмов наиболее интенсивным внешним воздействиям подвергаются их поверхностные слои, износостойкость которых во многом определяет работоспособность и долговечность изделия в целом.

Эффективным средством повышения долговечности рабочих поверхностей направляющих является формирование износостойких покрытий при антифрикционной обработке [1-3]. Однако существующие технологии антифрикционной обработки выполняются, как правило, поэтапно на различном оборудовании, что делает их дорогостоящими. Если требуется нанести антифрикционное покрытие на узком протяженном участке цилиндрической направляющей, то в настоящее время не существует приемлемых технологий формирования таких покрытий. В связи с этим была разработана новая технология комбинированной антифрикционной обработки, включающая три основные стадии, выполняемые одновременно: предварительная абразивная обработка для подготовки поверхности к нанесению антифрикционного материала; натирание поверхности антифрикционным материалом; структурирование и упрочнение поверхностного слоя путем пластической деформации обработанного участка поверхности закаленными шариками (рис.1). Подробное описание новой технологии и разработанного для её реализации оборудования представлено в [4-6].

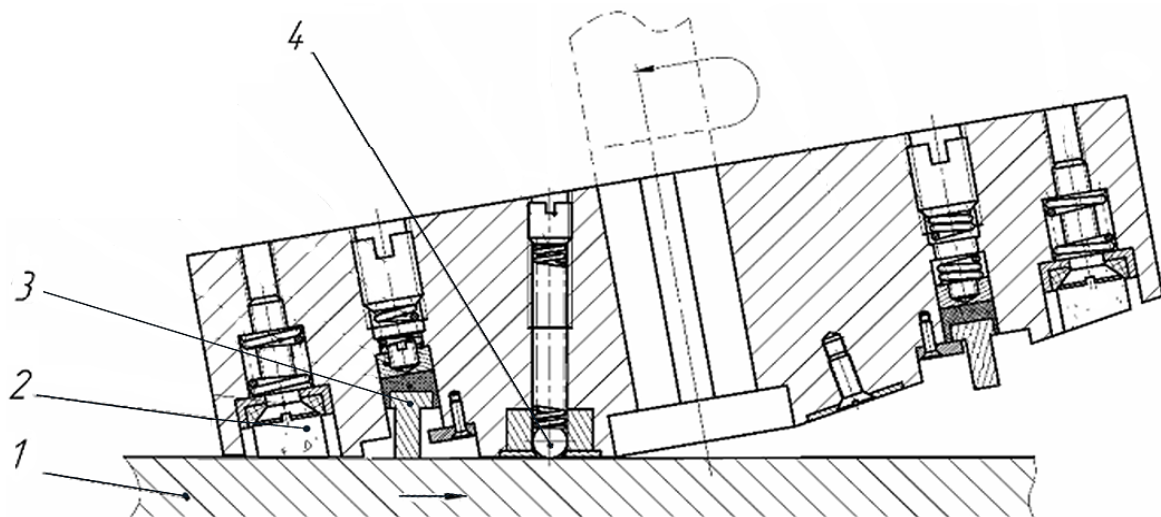


Рис. 1. Схема комбинированной финишной антифрикционной обработки:

1 – направляющая; 2 – абразивные лепестки; 3 – элемент из антифрикционного материала; 4 – деформирующий шарик

<sup>1</sup> Отдельные результаты исследований получены при выполнении проекта № 1353 (06/61) в рамках государственного задания на выполнение работ.

Следующим этапом исследования является оценка износостойкости поверхностных слоев, сформированных по новой технологии антифрикционной обработки, для разработки научно обоснованных рекомендаций по технологическому обеспечению и повышению износостойкости поверхностей направляющих машин и механизмов.

Для этого были подготовлены стальные цилиндрические образцы  $\varnothing 56 \times 500$  мм, на которых были сформированы антифрикционные покрытия при следующих технологических режимах: скорость скольжения по поверхности абразивных лепестков и элементов из антифрикционного материала – 1,5...2,3 м/с; усилие прижатия к образцу элементов из антифрикционного материала – 350...450 Н; зернистость абразивных лепестков – 12...16 (по ГОСТ 3647-80); усилие прижатия к образцу шариков – 150...200 Н; скорость скольжения по поверхности закаленных шариков – 0,6...1,2 м/с; продольная подача устройства для антифрикционной обработки – 0,2...0,3 мм/об. Обработка проводилась на вертикально-фрезерном станке 6Т13. Для лучшей адгезии антифрикционного материала с поверхностью образца использовался глицерин. Длина обработанных участков образцов составила 150...200 мм, ширина – 2,5...4 мм. Толщина антифрикционного покрытия находилась в пределах от 0,01 до 0,05 мм.

Далее образцы были подвергнуты триботехническим испытаниям. Для проведения испытаний был создан стенд, имитирующий реальные условия эксплуатации цилиндрических направляющих подъемников (рис.2).

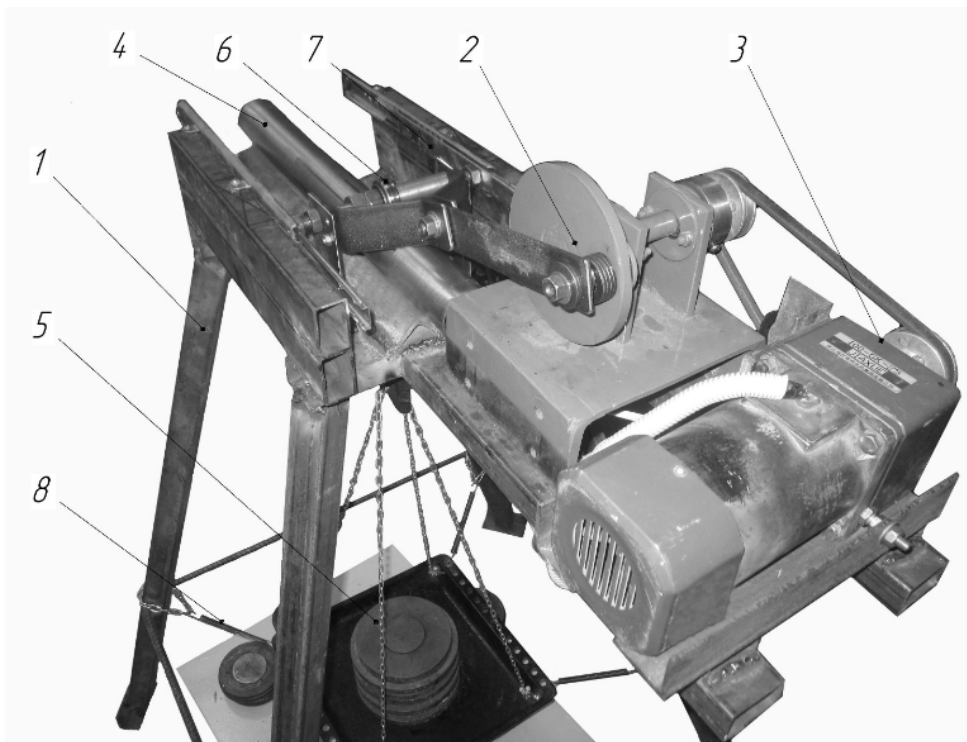


Рис. 2. Внешний вид стенда для триботехнических испытаний направляющих

Стенд содержит корпус 1, сваренный из профильной трубы, на котором для закрепления испытуемого образца расположена призма, создающая опорную поверхность для цилиндрических образцов. Стенд состоит из следующих элементов: эксцентриковый механизм 2, преобразующий вращательное движение в возвратно-поступательное; мотор-редуктор 3, соединенный посредством ременной передачи с эксцентриковым механизмом 2; испытуемый образец 4, закрепленный в призме корпуса 1; устройство нагружения 5 в виде чаши с грузами, фиксирующееся пружинными демпферами 8; ролик 6 из закаленной

стали ШХ15, шарнирно соединенный с эксцентриковым механизмом; самоустанавливающиеся линейные направляющие 7 для направления ролика.

Стенд работает следующим образом. Испытуемый образец закрепляется на призме и вводится в контакт с роликом (рис. 3). Необходимая нагрузка на ролик создается грузами,

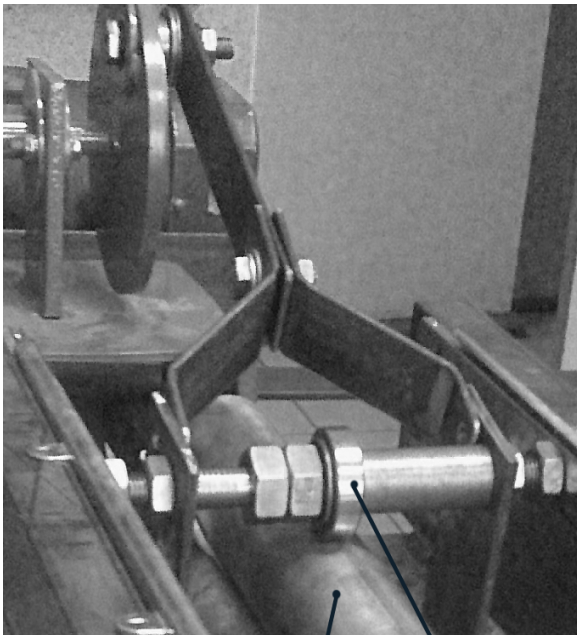


Рис. 3. Внешний вид испытательного узла стенда:  
1 – цилиндрический образец (направляющая);  
2 – нагружающий ролик

устанавливаемыми на чашу устройства нагружения. Далее включением тумблера питания на стенд подается напряжение, приводящее мотор-редуктор во вращение и запускающее тем самым возвратно-поступательное движение ролика по цилиндрическому образцу. Затем регулятором напряжения (частоты вращения) устанавливается скорость вращения мотор-редуктора до необходимого значения, после чего проводятся триботехнические испытания.

В ходе триботехнических испытаний нагрузка на образцы менялась от 100 до 600 Н. Варьирование нагрузки приводило к изменению контактных напряжений между роликом и образцом, значения которых рассчитывались по известной формуле Г. Герца [7]:

$$p_k = 0,564 \sqrt{\frac{F}{LR \left( \frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \right)}}$$

где  $F$  – нагрузка на ролик;  $L$  – ширина обработанного участка поверхности;  $R$  – радиус ролика;  $\mu_1$ ,  $E_1$  – коэффициент Пуассона и модуль упругости материала ролика;  $\mu_2$ ,  $E_2$  – коэффициент Пуассона и модуль упругости материала антифрикционного слоя (в качестве наносимого на поверхность трения антифрикционного материала использовали бронзу Бр АЖ 9-4, медь М1 и латунь Л63).

В ходе испытаний фиксировали время, по истечении которого антифрикционное покрытие истиралось. Критерием этого служило появление на участке с антифрикционным покрытием основного металла цилиндрического образца. Затем определяли предельное число  $N$  циклов нагружения поверхностного слоя по формуле

$$N = \frac{2T}{u_p n},$$

где  $T$  – время испытания участка образца с антифрикционным покрытием;  $u_p$  – передаточное число ременной передачи;  $n$  – частота вращения мотор-редуктора стенда.

Далее выявляли зависимость предельного числа  $N$  циклов нагружения от давления  $p_k$  в контакте ролика и образца:

$$N = \alpha p_k^\beta,$$

где  $\alpha$ ,  $\beta$  – коэффициенты, определяемые методом наименьших квадратов [8; 9].

Разработанная технология антифрикционной обработки позволяет наносить покрытия на приработанные и неприработанные поверхности трения направляющих. В этой связи антифрикционные покрытия наносили на образцы, у которых были сформированы ро-

ликом на стенде дорожки катания, и на образцы без указанных дорожек. Это обстоятельство существенно повлияло на износостойкость поверхностных слоев образцов (таблица).

Таблица

Значения коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$ 

Антифрикционный материал	Покрытие на неприработанной поверхности трения		Покрытие на приработанной поверхности трения	
	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
Бронза Бр АЖ 9-4	$3,0 \cdot 10^5$	-0,60	$2,1 \cdot 10^5$	-0,65
Медь М1	$2,5 \cdot 10^5$	-0,45	$1,4 \cdot 10^5$	-0,50
Латунь Л63	$1,7 \cdot 10^5$	-0,55	$0,9 \cdot 10^5$	-0,60

Примечания: 1. Контактные напряжения  $p_k$  варьировались в пределах от 75 до 250 МПа. 2. Значимость и адекватность зависимостей проверялась по F-критерию Фишера с доверительной вероятностью 0,95. 3. Шероховатость поверхности образцов после обработки составила  $Ra=0,4...0,63$  мкм.

Анализ результатов исследований позволяет сделать следующие выводы:

1. Стендовые испытания поверхностей трения образцов, обработанных по новой технологии, показали, что ресурс поверхностных слоев из антифрикционного материала составляет 8000...32000 циклов (от 3 до 12 лет нормальной эксплуатации подъемников). Ресурс зависит от толщины антифрикционного покрытия, марки антифрикционного материала, режимов обработки направляющей и нагрузки на ролик при испытаниях.

2. Более износостойкими получаются поверхностные слои, содержащие бронзу Бр АЖ 9-4, что может быть объяснено наличием в бронзе железа, обеспечивающего более сильные адгезионные взаимодействия с металлом образца. Менее износостойкими оказались поверхностные слои, сформированные с использованием латуни Л63.

3. Антифрикционные покрытия неприработанных поверхностей трения обладают большей износостойкостью (в 1,5-2 раза) по сравнению с аналогичными покрытиями, нанесенными на приработанные поверхности образцов. Это можно объяснить наличием значительного дефектного приповерхностного слоя приработанных поверхностей, существенно снижающего адгезионные связи антифрикционного материала и металла образца.

4. Существенное снижение (до 3-4 раз) износостойкости антифрикционных покрытий наблюдалось при превышении контактных напряжений свыше 130...150 МПа, поэтому предельно допустимые контактные напряжения в парах трения с направляющими, рабочие поверхности которых обработаны по новой технологии, должны быть не более 100...120 МПа.

5. Наиболее целесообразно применять разработанную технологию финишной комбинированной антифрикционной обработки при изготовлении направляющих машин и механизмов, работающих в условиях усталостного изнашивания.

Полученные результаты позволят разработать научно обоснованные методики проектирования технологических операций финишной антифрикционной обработки поверхностей трения направляющих машин с учетом требуемых эксплуатационных показателей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сильман, Г.И. Триботехническое материаловедение и триботехнология/ Г.И. Сильман, О.А. Горленко. – М.: Машиностроение-1, 2006. – 348с.

2. Бишутин, С.Г. Износостойкость деталей машин и механизмов: учеб. пособие/С.Г. Бишутин, А.О. Горленко, В.П. Матлахов; под ред. С.Г. Бишутина. – Брянск: БГТУ, 2010. – 112 с.
3. Бишутин, С.Г. Повышение износостойкости поверхностей деталей машин при финишной абразивной обработке/ С.Г. Бишутин // Вестн. Брян. гос. техн. ун-та. – 2013. – №2. – С.11-15.
4. Бишутин, С.Г. Особенности формирования рабочих поверхностей протяженных направляющих при финишной комбинированной антифрикционной обработке/ С.Г. Бишутин, А.С. Пиляев// Вестн. Брян. гос. техн. ун-та. – 2013. – №3. – С.5-9.
5. Бишутин, С.Г. Устройство для нанесения антифрикционного покрытия деталей/ С.Г. Бишутин, А.С. Пиляев//Изобретения. Полезные модели. – 2012. – Бюл. №22.
6. Бишутин, С.Г. Технология формирования износостойких покрытий рабочих участков протяженных направляющих/С.Г. Бишутин, А.С. Пиляев//Машиностроение – основа технологического развития России: сб. науч. ст. V Междунар. науч.-техн. конф. – Курск: Юго-Запад. гос. ун-т, 2013. – С.290-293.
7. Писаренко, Г.С. Справочник по сопротивлению материалов/ Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев. – Киев: Наукова думка, 1988. – 736с.
8. Барботько, А.И. Моделирование и исследование процесса резания материалов/А.И. Барботько. – Воронеж: ВГУ, 1998. – 368с.
9. Суслов, А.Г. Экспериментально-статистический метод обеспечения качества поверхности деталей машин/ А.Г. Суслов, О.А. Горленко. – М.:Машиностроение-1,2003. – 303с.

Материал поступил в редколлегию 17.03.14.