

УДК 621.891; 621.923

DOI: 10.30987/article_5bd8aa88d29f01.40920939

С.Г. Бишутин, д.т.н.

(ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»,
241035, Россия, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7)

E-mail: nad-bisch@yandex.ru

Качество и износостойкость поверхностей трения протяженных цилиндрических направляющих после комбинированной антифрикционной обработки

Приведены результаты исследований качества и износостойкости поверхностей протяженных цилиндрических направляющих, обработанных по новой технологии антифрикционной обработки. Рассмотрена конструкция разработанного комбинированного инструмента. Представлены технологические режимы обработки поверхностей и результаты триботехнических испытаний направляющих.

Ключевые слова: качество и износостойкость поверхности; антифрикционное покрытие; комбинированная обработка.

S.G. Bishutin, Dr. Sc. Tech.,

(FSBEI HE "Bryansk State Technical University", 7,
50th October Anniversary Boulevard, Bryansk, Russia 241035)

Quality and wear-resistance of friction surfaces in extended cylindrical guides after combined anti-friction treatment

The results of investigations of surface quality and wear-resistance in extended cylindrical guides worked according to a new technology of anti-friction treatment are shown. The design of a combined tool developed is considered. There are presented technological modes of surface treatment and the results of tribo-technical tests of guides.

Keywords: quality and wear-resistance of surface; antifriction coating; combined treatment.

Протяженные поверхности трения направляющих, применяемых в станках, лифтах, конвейерах и другом подъемно-транспортном оборудовании, подвергаются интенсивному изнашиванию. Эффективным средством повышения долговечности таких поверхностей является формирование износостойких покрытий при антифрикционной обработке [1, 2].

Однако существующие технологии антифрикционной обработки выполняются, как правило, поэтапно на различном оборудовании, что делает их трудоёмкими и дорогостоящими. Если требуется нанести

антифрикционное покрытие на узком протяженном участке цилиндрической направляющей, который контактирует с роликами каретки, то в настоящее время это представляет известные трудности.

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; поверхностная пластическая

деформация обработанного участка поверхности закаленными шариками.

Для реализации такой технологии разработан и изготовлен инструмент (рис. 1), который может обрабатывать наружную цилиндрическую (часть наружной цилиндрической поверхности) или плоскую протяженную поверхность. Он содержит корпус 1, который выполнен в форме диска с возможностью осевого вращения от внешнего привода и имеет коническую поверхность, обращенную вершиной к обрабатываемой заготовке. На корпусе установлены следующие элементы: обрабатывающий элемент 2 в форме сменного лепесткового шлифовального торцевого диска, имеющий механизм осевого перемещения в виде поджатых винтами 3 пружин 4; натирающий элемент 5 из антифрикционного материала в форме кольца, который состоит из конечного количества секторов, имеющих возможность самоустанавливаться по обрабатываемой поверхности за счет деформации резины 6; выглаживающий элемент 10 в виде стальных закаленных шариков из стали ШХ15.

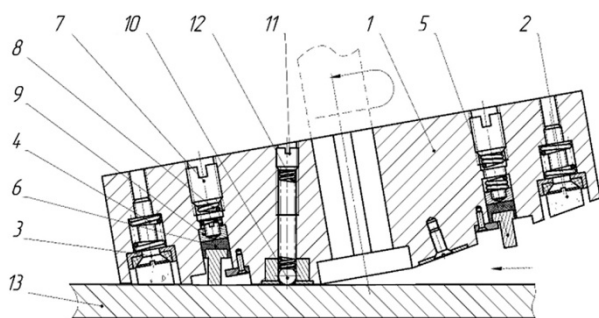


Рис. 1. Схема комбинированной антифрикционной обработки

Натирающие элементы имеют механизм осевого перемещения в виде поджатых винтами 7 регулирующих пружин 8, поджимающих составной диск 9. Выглаживающие элементы также имеют механизм для перемещения в сторону обрабатываемой детали в виде поджатых винтами 11 регулирующих пружин 12, что позволяет менять силу прижатия выглаживающего элемента к обрабатываемой поверхности заготовки 13, создавая тем самым необходимый упрочненный поверхностный слой с прочными адгезионными связями.

Рабочая поверхность направляющей формируется следующим образом. В шпиндель станка, например, вертикально-фрезерного (рис. 2), устанавливают данный инструмент и подводят к заготовке таким образом, чтобы обеспечить одновременное касание поверхно-

сти заготовки обрабатывающим, натирающим и выглаживающим элементами, что позволяет повысить качество нанесенного антифрикционного слоя за счет фрикционного нагрева натирающего элемента и последующей пластической деформации покрытия выглаживающими элементами. Далее вращением винтов 7 и 11 обеспечивают необходимый натяг натирающих и выглаживающих элементов в сторону обрабатываемой поверхности. Инструменту придают осевое вращение от внешнего привода, после чего осуществляют его подачу по касательной к обрабатываемой поверхности заготовки.

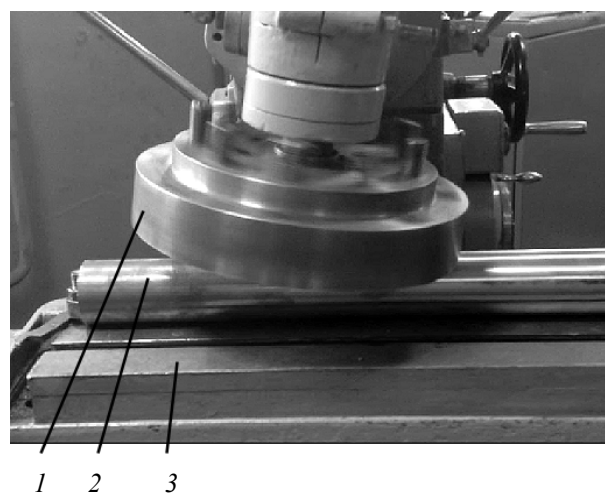


Рис. 2. Антифрикционная обработка направляющей на вертикально-фрезерном станке:

1 – инструмент для антифрикционной обработки; 2 – цилиндрический образец; 3 – стол вертикально-фрезерного станка

Обрабатывающим элементом удаляется необходимый припуск и формируется требуемая шероховатость поверхности для обеспечения необходимой адгезии покрытия. Далее натирающий элемент, разогревая поверхность обрабатываемой детали, наносит тонкий антифрикционный слой. В дальнейшем этот слой подвергается поверхностно-пластическому упрочнению выглаживающим элементом, что повышает его качество [3].

Конструкция инструмента защищена патентом РФ №118907 на полезную модель.

Для определения технологических режимов антифрикционной комбинированной обработки поверхностей направляющих был проведен ряд экспериментов с использованием данного инструмента на вертикально-фрезерном станке 6Т13. В ходе экспериментов варьировались частота вращения шпинделя (50...200 мин⁻¹), продольная подача инструмента для анти-

фрикционной обработки (0,2...0,8 мм/об), усилие прижатия натирающих (250...3000 Н) и выглаживающих (100...500 Н) элементов к обрабатываемой поверхности, зернистость обрабатывающих абразивных лепестков (12...25 по ГОСТ 3647-80). Для обеспечения качественного антифрикционного покрытия при

проведении экспериментов использовался глицерин. По результатам экспериментов были определены режимы обработки поверхностей направляющих, обеспечивающие стабильное формирование качественных антифрикционных покрытий на всём обрабатываемом участке (табл. 1).

1. Режимы комбинированной антифрикционной обработки наружных цилиндрических и плоских поверхностей направляющих

Вид обрабатываемой поверхности	Скорость скольжения натирающих (выглаживающих) элементов, м/мин	Сила прижатия натирающих элементов, Н	Сила прижатия выглаживающих элементов, Н	Продольная подача устройства, мм/об	Зернистость абразивных лепестков по ГОСТ 3647-80
Наружная цилиндрическая	60...90 (30...40)	350...400	140...170	0,2...0,3	12...16
Плоская	80...100 (40...50)	> 2500	150...200	0,3...0,5	16...20

Примечания: 1. Усилие прижатия зависит от ширины плоской обрабатываемой поверхности.
2. Указанная зернистость абразивных лепестков обеспечивала шероховатость поверхности $Ra = 0,6...2,0$ мкм.
3. Толщина антифрикционного покрытия находилась в пределах от 0,01 до 0,05 мм.

Следующий этап исследований был посвящен обработке наружных цилиндрических поверхностей на установленных технологических режимах и анализу обработанных по новой технологии поверхностей. Отдельные результаты этих исследований представлены на рис. 3. Профилограммы поверхностей были получены с помощью профилографа-профилометра мод. 170311.

Шероховатость поверхности после комбинированной обработки составила: $Ra = 0,5...1,0$ мкм и $Sm = 0,1...0,2$ мм.

Далее образцы были подвергнуты триботехническим испытаниям. Для проведения испытаний был создан стенд, имитирующий реальные условия эксплуатации цилиндрических направляющих подъемников [4]. Стенд работает следующим образом. Испытуемый образец закрепляется на призме и вводится в контакт с роликом (рис. 4). Необходимая нагрузка на ролик создается грузами, 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 цилиндрической направляющей. Затем регулятором напряжения (частоты вращения) устанавливается скорость вращения мотор-редуктора до необходимого значения, и 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 [5]:

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

где F – нагрузка на ролик; L – ширина обработанного участка поверхности; R – радиус ролика; μ_1, E_1 – коэффициент Пуассона и модуль упругости материала ролика соответственно; μ_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 цилиндрической направляющей. Затем определяли предельное число N циклов нагружения поверхности по формуле

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

где T – время испытания; u_p – передаточное число ременной передачи; n – частота вращения мотор-редуктора стенда.

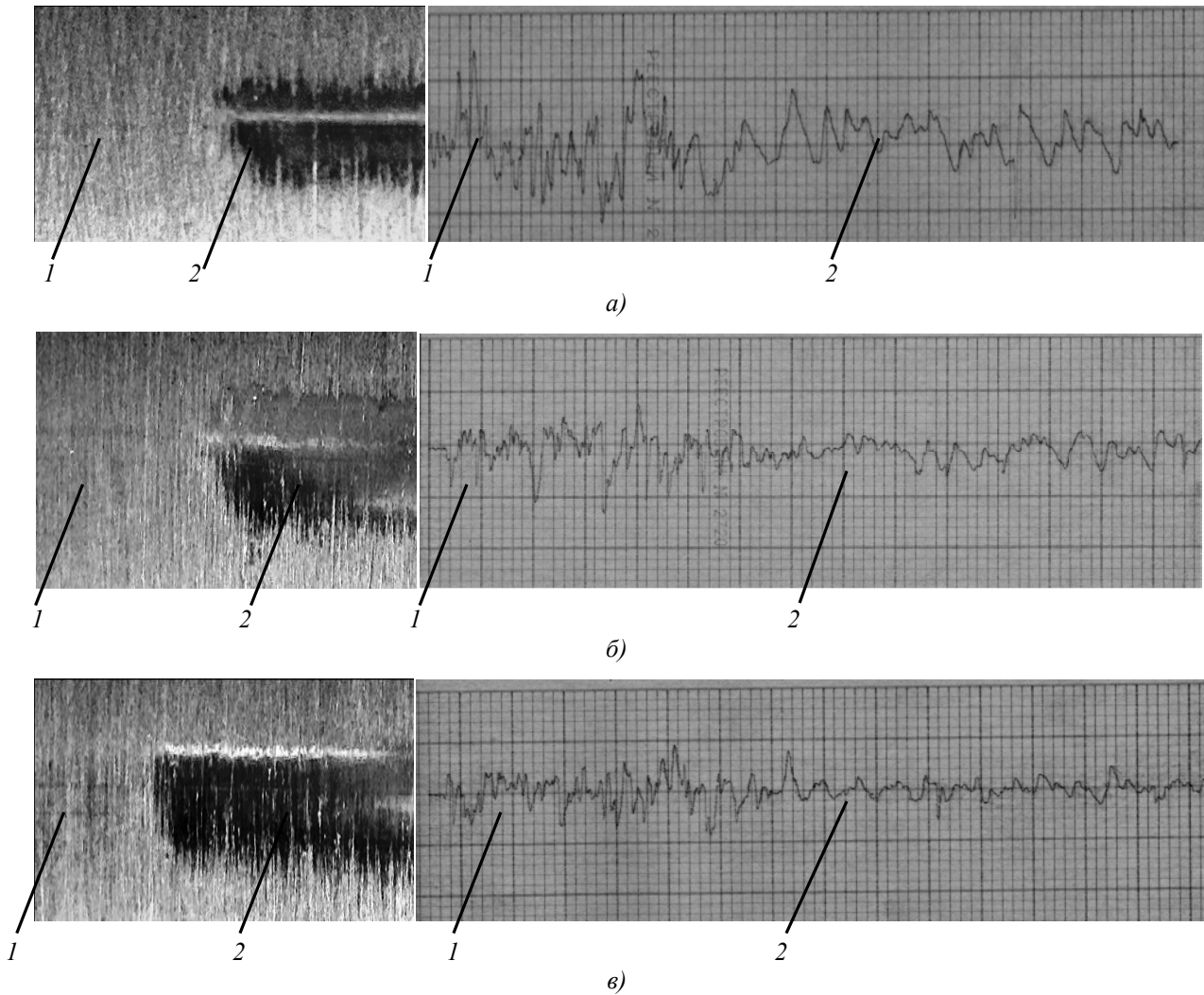


Рис. 3. Внешний вид и профилограммы необработанных (1) и обработанных (2) поверхностей с различной исходной шероховатостью:

a – $Ra = 1,7 \text{ мкм}$; $Rz = 11,3 \text{ мкм}$; $Rp = 4,5 \text{ мкм}$; $Sm = 0,35 \text{ мм}$; *б* – $Ra = 1,0 \text{ мкм}$; $Rz = 8,4 \text{ мкм}$; $Rp = 3,4 \text{ мкм}$; $Sm = 0,30 \text{ мм}$; *в* – $Ra = 0,6 \text{ мкм}$; $Rz = 5,6 \text{ мкм}$; $Rp = 2,5 \text{ мкм}$; $Sm = 0,20 \text{ мм}$



Рис. 4. Внешний вид испытательного узла стенда:
1 – цилиндрический образец (направляющая); 2 – нагружающий ролик

Далее выявляли зависимости предельного числа N циклов нагружения от давления p_k в контакте ролика и направляющей в виде:

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

где α , β – коэффициенты, определяемые методом наименьших квадратов [6, 7].

Разработанная технология антифрикционной обработки позволяет наносить покрытия на приработанные и неприработанные поверхности трения направляющих. В этой связи антифрикционные покрытия наносили на поверхности, у которых были сформированы роликом на стенде дорожки катания, и на поверхности без указанных дорожек. Это обстоятельство существенно повлияло на износостойкость направляющей (табл. 2).

2. Значения коэффициентов α и β

Антифрикционный материал	Покрытие на не приработанной поверхности трения		Покрытие на приработанной поверхности трения	
	α	β	α	β
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 испытаний составила $Ra = 0,4 \dots 0,63$ мкм.

Стендовые испытания направляющих, обработанных по новой технологии, показали, что ресурс их рабочих поверхностей составляет 8 000 – 32 000 циклов (от 3 до 12 лет нормальной эксплуатации подъемников с цилиндрическими направляющими). Ресурс зависит от толщины антифрикционного покрытия, марки антифрикционного материала, технологических режимов обработки направляющей и нагрузки на ролик при испытаниях.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. При увеличении скорости скольжения натирающих элементов по обрабатываемой поверхности свыше 100 м/мин наблюдается неравномерность формирования антифрикционного покрытия. Существенное уменьшение скорости скольжения приводит к снижению производительности обработки и толщины формируемого покрытия, поэтому приемлемое значение скорости скольжения лежит в диапазоне от 70 до 100 м/мин.

2. Сила прижатия к обрабатываемой цилиндрической поверхности выглаживающих элементов не должна быть более 350...400 Н, так как возможны местные разрушения антифрикционного покрытия поверхности.

3. При исходном значении параметра шероховатости поверхности более $Ra = 3,5 \dots 4,0$ мкм наблюдается существенный расход антифрикционного материала и формирование фрагментарного покрытия на обрабатываемой поверхности. Фрагментарное покрытие также наблюдается при подаче устройства для антифрикционной обработки более 0,5 мм/об. Наиболее качественное покрытие формируется при исходной шероховатости поверхности $Ra = 1,25 \dots 2,0$ мкм.

4. Уменьшение высотных параметров шероховатости обработанной поверхности в 2 – 3 раза происходит за счет заполнения впадин антифрикционным материалом и деформации наиболее высоких выступов исходных

микронеровностей поверхности.

5. Более износостойкими получились поверхности, при обработке которых использовалась бронза Бр АЖ9-4, что может быть объяснено наличием в бронзе железа, обеспечивающего более сильные адгезионные взаимодействия с металлом направляющей. Менее износостойкими оказались поверхности, сформированные с использованием латуни Л63.

6. Антифрикционные покрытия не приработанных поверхностей трения обладают большей износостойкостью (в 1,5–2 раза) по сравнению с аналогичными покрытиями, нанесенными на приработанные поверхности направляющих. Это объясняется наличием значительного дефектного приповерхностного слоя приработанных поверхностей, существенно снижающего адгезионные связи антифрикционного материала и металла образца.

7. 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.

Наиболее целесообразно применять описанную антифрикционную обработку при изготовлении направляющих машин, работающих в условиях усталостного изнашивания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мышкин, Н.К., Петроковец, М.И. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии. – М.: Физматлит, 2007. – 368 с.
 2. Бишутин, С.Г. Повышение износостойкости поверхностей деталей машин при финишной абразивной обработке // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2013. – №2. – С.11-15.

3. Бишутин, С.Г., Пиляев, А.С. Особенности формирования рабочих поверхностей протяженных направляющих при финишной комбинированной антифрикционной обработке // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2013. – №3. – С.5.

4. Бишутин, С.Г., Пиляев, А.С. Износостойкость поверхностных слоев направляющих, сформированных при финишной комбинированной антифрикционной обработке // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2014. – №2. – С. 9-13.

5. Писаренко, Г.С., Яковлев, А.П., Матвеев, В.В. Справочник по сопротивлению материалов. – Киев: Наукова думка, 1988. – 736 с.

6. Суслов, А.Г., Горленко, О.А. Экспериментально-статистический метод обеспечения качества поверхности деталей машин. – М.: Машиностроение-1, 2003. – 303 с.

7. Суслов, А.Г., Бишутин, С.Г. Математическая модель шероховатости шлифованной поверхности // Справочник. Инженерный журнал. – 2004. – № 8. – С. 17-20.

REFERENCES

1. Myshkin, N.K., Petrokovets, M.I. *Friction, Lubrica-*

tion, Wear. Physical Fundamentals and Technical Applications of Tribology. – М.: Physmathlit, 2007. – pp. 368.

2. Bishutin, S.G. Machinery surface wear-resistance increase at abrasive-finishing // *Bulletin of Bryansk State Technical University.* – 2013. – No.2. – pp. 11-15.

3. Bishutin, S.G., Pilyaev, A.S. Peculiarities of work surface formation in extended guides at combined anti-friction finishing // *Bulletin of Bryansk State Technical University.* – 2013. – No.3. – pp. 5.

4. Bishutin, S.G., Pilyaev, A.S. Wear-resistance in surface layers of guides formed at combined anti-friction finishing // *Bulletin of Bryansk State Technical University.* 2014. – No.2. – pp. 9-13.

5. Pisarenko, G.S., Yakovlev, A.P. Matveev, V.V. *Material Resistance Reference Book.* – Kiev: Scientific Conception, 1988. – pp. 736.

6. Suslov, A.G., Gorlenko, O.A. *Experimental Statistical Method to Ensure Surface Quality of Machinery.* – М.: Mechanical Engineering – 1, 2003. – pp. 303.

7. Suslov, A.G., Bishutin, S.G. Simulator of polished surface roughness // *Reference Book. Engineering Journal.* – 2004. – No.8. – pp. 17-20.

Рецензент д.т.н. А.В. Томай

УДК 621.75

DOI: 10.30987/article_5bd8aa894253a8.73896914

Е.А. Польский, к.т.н.

(ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»
241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7)

E-mail: polski.eugene@hotmail.com

Обеспечение надежности высокотехнологичных сборочных узлов

Рассмотрена методика технологического обеспечения требуемых параметров надежности сборочных узлов с учетом анализа изменения параметров точности функциональных размеров на этапах эксплуатации. Представлены рекомендации по корректировке допусков и предельных отклонений размеров контактирующих поверхностей деталей сборочных единиц с учетом их формирования на этапах механической обработки.

Ключевые слова: размерный анализ; качество поверхности; технологическое обеспечение эксплуатационных свойств; сборочные единицы.

Е.А. Polsky, Can. Sc. Tech.

(FSBEI HE "Bryansk State Technical University", 7, 50th October Anniversary Boulevard, Bryansk, Russia 241035)

Reliability assurance of high-technological sub-assemblies

A procedure is considered for technological support of reliability parameters required in sub-assemblies taking into account the analysis of parameter accuracy changes in operation dimensions at operation stages. There are presented recommendations on updating tolerances and size limit deviations in contact surfaces of parts in assembly units taking into account their formation at machining stages.

Keywords: dimension analysis; surface quality; technological support of operation properties; assembly units.