УДК 621.793

М.А. Леванцевич, канд. техн. наук, **Н.Н. Максимченко,** канд. техн. наук**,**
В.Н. Калач, канд. техн. наук
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь
Тел. +375 17 2840871; факс +375 17 2842910; e-mail: levancev@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ПОКРЫТИЙ НА ПЛАВНОСТЬ ХОДА ПОДВИЖНЫХ СТАНОЧНЫХ УЗЛОВ

В результате триботехнических испытаний покрытий, сформированных из баббита Б83, легированного твердосмазочными материалами С и MoS_2, установлено, что, по сравнению с образцом без покрытия, в условиях одностороннего вращения и при скорости скольжения 0,06 м/с имеет место положительное влияние покрытий на снижение динамического коэффициента трения $f_д$ и критерия антискачковых свойств Δf. Однако влияние концентрации легирующих добавок из С и MoS_2 на это снижение неоднозначно. Из исследованных покрытий наилучшие результаты обеспечило покрытие, сформированное из донора, содержащего не более 1,2 мас. % легирующих добавок С и MoS_2. К концу цикла испытаний указанное покрытие способствовало снижению $f_д$ на 50 %, а Δf – на 76 %.

Ключевые слова: *направляющие скольжения, подвижные единицы металлорежущего оборудования, облицовка гибким инструментом, антифрикционные покрытия, баббиты Б83*

Введение. Анализ условий фрикционного взаимодействия направляющих скольжения и перемещающихся по ним станочных узлов показывает, что основными факторами, определяющими условия работы направляющих, являются: давление, в том числе его нестабильность; скорость скольжения; смазка; температура направляющих; загрязнение направляющих или масла отходами обработки (металлической стружкой, окалиной, абразивом); наличие реверсирования движения; периодичность работы (относительная продолжительность работы направляющих в сравнении с длительностью смены) либо путь трения.

Важнейшей характеристикой условий работы направляющих является режим трения. По сравнению с другими парами трения, условия трения в направляющих скольжения отличают такие особенности, как: 1) очень широкий диапазон изменения скоростей и нагрузок; 2) вызванные большой протяженностью и невысокой жесткостью контактирующих деталей существенные микро- и макронеровности поверхности; 3) наличие в зоне трения загрязняющих веществ вследствие трудности создания достаточно герметичных защитных устройств. Важными критериями, позволяющими судить об условиях работы направляющих, являются зависимости силы трения от времени неподвижного контакта и скорости скольжения.

Практика эксплуатации металлорежущих станков показывает, что при медленных (до 200 мм/мин) перемещениях станочных узлов по направляющим скольжения часто наблюдается характерное для трения скольжения скачкообразное движение, вызванное появлением в направлении движения колебаний релаксационного или гармонического типа, приводящих к неравномерности подач, снижению точности и чувствительности заданных перемещений, а следовательно, и точности обработки и качества обработанных поверхностей деталей. Кроме того, фрикционные автоколебания (ФА) создают до-

полнительные динамические нагрузки в приводе, вызывают повышенный износ направляющих и оборудования и поломку режущего инструмента.

Для обеспечения плавного, без рывков движения станочных узлов по направляющим скольжения разность между статическим и динамическим коэффициентами трения должна быть как можно меньше.

В точных металлорежущих станках с ЧПУ и в станках, встраиваемых в автоматические линии и гибкие производственные системы, отрицательное влияние ФА традиционно снижают либо изменением параметров механической системы в целом, за счет повышения жесткости привода подач и улучшения демпфирующих свойств системы, либо воздействием на процесс трения, путем снижения сил трения и улучшения характеристик сил трения от скорости в направляющих скольжения. Кроме того, широко используют различные антискачковые конструкционные и смазочные материалы [1–5]. Вместе с тем, как показывает практика, большинство из этих методов имеют ограниченные технологические возможности и на сегодняшний день не обеспечивают достижение требуемых точностных характеристик выпускаемых металлорежущих станков, соответствующих уровню мировых аналогов.

Одним из перспективных путей снижения отрицательного влияния ФА и улучшения плавности хода подвижных узлов станка считают формирование на рабочих поверхностях направляющих скольжения антифрикционных покрытий [6–8]. Однако вопросы выбора как рационального состава материала покрытия, так и способа его формирования пока недостаточно изучены. По этой причине достаточно сложно принять решение о целесообразности их применения, что и предопределяет необходимость проведения дополнительных исследований

Цель работы заключалась в экспериментальной оценке влияния состава покрытий, сформированных из порошковых композиционных материалов на основе баббита Б83 с легирующими добавками компонентов твердой смазки (графита и дисульфида молибдена), на плавность хода подвижных станочных узлов.

Методика эксперимента. Плавность хода оценивали по антискачковым и триботехническим характеристикам образцов с покрытием.

Испытания проводили на лабораторной машине трения одностороннего вращения, осуществляющей трение торцовых поверхностей трех цилиндрических контробразцов, расположенных друг относительно друга под углом 120^0 и изготовленных из незакаленного серого чугуна СЧ-20, по плоской поверхности вращающегося диска-образца из аналогичного материала, но подвергнутого обработке ТВЧ до твердости $HRC_э$ 45–46, с нанесенным покрытием. Формирование покрытий толщиной 8–10 мкм на поверхности дисков осуществляли методом плакирования гибким инструментом по способу, описанному в работе [9]. Для этого использовали дисковую щетку 150×15×22 мм с проволочным ворсом; диаметр ворса 0,25 мм, вылет ворса 25 мм. В качестве материалов-доноров использовали композиты на основе баббита Б83, легированного графитом (C) и дисульфидом молибдена (MoS_2) в концентрациях 1,2; 1,6; 2,0 и 4,0 мас. %, полученные из порошковой шихты прессованием с последующим спеканием.

В ходе испытаний первоначально выполнялась приработка образцов в течение одного часа при удельной нагрузке 0,5 МПа и скорости относительного скольжения 0,06 м/с, а затем – штатные испытания в течение 5 часов (путь трения 1000 м) при нагрузке 2,0 МПа и идентичной скорости скольжения. Смазывание дорожки трения на диске осуществляли фитилем, на который поступало масло И-20А (ГОСТ 20799-88) с расходом 8 капель/мин.

При испытаниях через каждые 60 минут с помощью измерительной системы ре-

гистрировали статический $M_с$ и динамический $M_д$ моменты от сил трения, возникающих при взаимодействии контробразцов с поверхностью диска. По их значениям вычисляли статический $f_с$ коэффициент трения покоя и динамический $f_д$ коэффициент трения скольжения. Статический момент трения определяли по среднему значению величин 5-ти амплитуд, измеренных по осциллограмме (рис. 1), для момента страгивания диска после неподвижного контакта в течение 60 с.

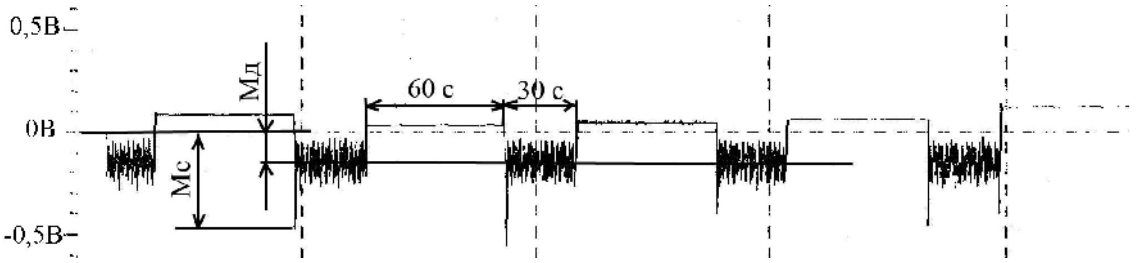


Рис. 1. Фрагмент осциллограммы записи колебаний статического $M_с$ и динамического $M_д$ моментов от сил трения, возникающих при трении контробразцов по поверхности диска, соответственно в момент страгивания диска после неподвижного контакта в течение 60 с и вращения в течение 30 с

Динамический момент трения определяли по среднему значению 5-ти величин отклонений от нулевой линии средней линии, проведенной через середину амплитуд колебаний динамического момента трения при вращении диска.

В качестве критерия оценки антискачковых свойств использовали разность Δf между статическим и динамическим коэффициентами трения: $\Delta f = f_с - f_д$ [10].

Результаты испытаний представлены на рис. 2, 3.

Как видно из диаграмм, приведенных на рис 2, сформированные покрытия из баббита Б83 способствуют снижению динамического коэффициента трения скольжения $f_д$ и критерия антискачковых свойств Δf. Однако влияние концентрации легирующих добавок из C и MoS_2 на снижение $f_д$ и, в особенности, Δf неоднозначно.

В условиях проводимых испытаний наибольшее снижение $f_д$ (примерно на 50 %) и Δf (примерно на 76 %) к концу цикла испытаний обеспечило покрытие, сформированное из донора, содержащего не более 1,2 мас. % C и MoS_2. По-видимому, это можно объяснить тем, что в небольших концентрациях легирующие добавки C и MoS_2 вместе с матричным материалом достаточно хорошо переносятся ворсом щетки на поверхность обрабатываемой детали и имеют прочную связь с матрицей.

В то же время, при увеличении концентрации C и MoS_2 неметаллические включения не только ухудшают налипание на ворс щетки и перенос микрочастиц материала-донора на поверхность детали, но и препятствуют их прочному сцеплению с основой, что, возможно, является одной из основных причин отсутствия заметного влияния покрытий с повышенной концентрацией C и MoS_2 на снижение критерия антискачковых свойств Δf (рис. 3) от начала до конца цикла испытаний, при явно наблюдаемой общей тенденции снижения коэффициента трения скольжения (см. рис. 2).

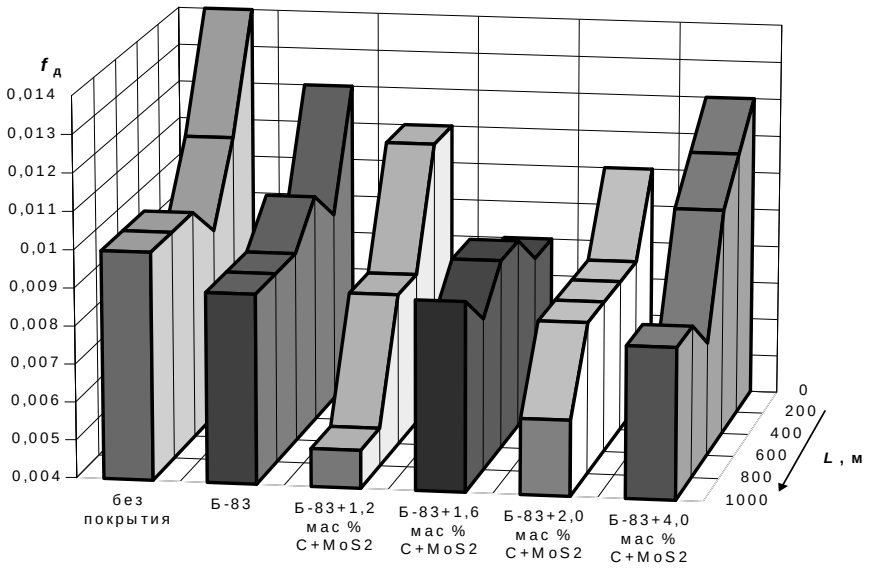


Рис. 2. Зависимость динамического коэффициента трения скольжения $f_д$ от пути трения L для образцов без покрытия и с покрытием из баббита Б83, легированного твердосмазочными добавками C и MoS_2

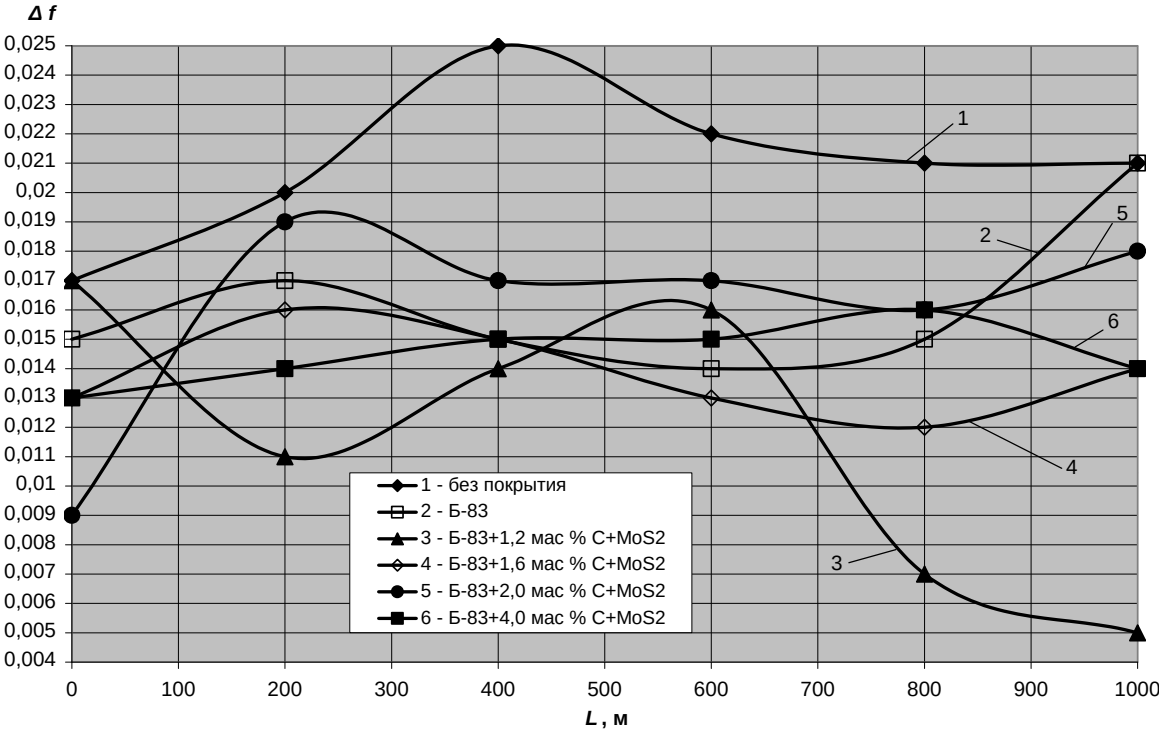
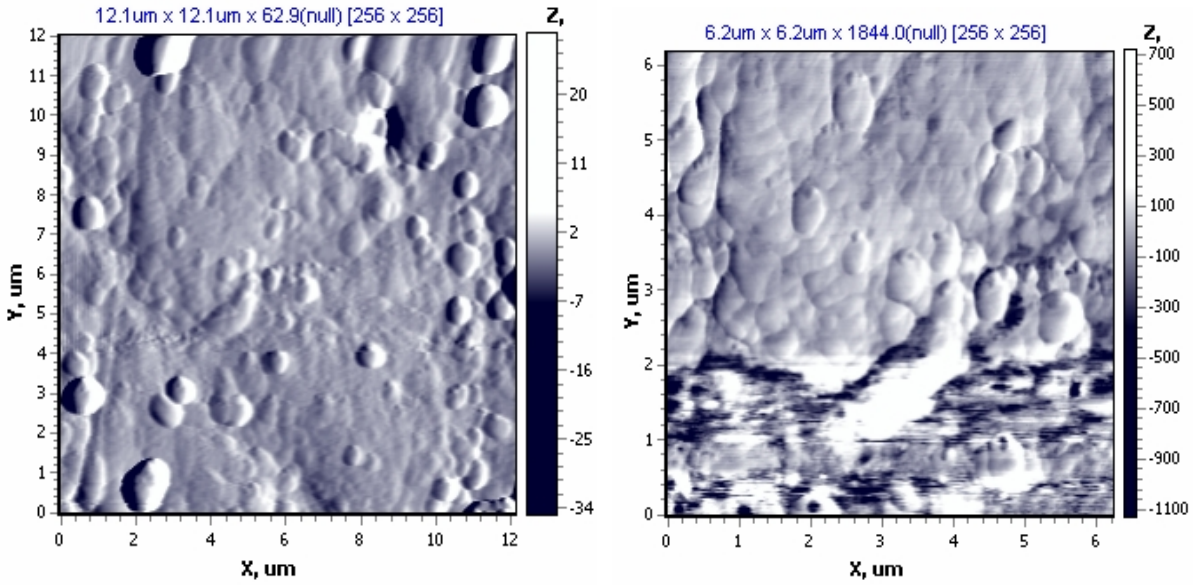


Рис. 3. Изменение критерия антискачковых свойств Δf в процессе триботехнических испытаний образцов без покрытия (*1*) и с покрытием (*2–6*) из баббита Б83, легированного твердосмазочными добавками C и MoS_2 (длительность испытания – 5 ч, путь трения L – 1000 м)

На рис. 4 представлена морфология поверхности образца с покрытием из композиционного материала Б83+C+MoS_2 с концентрацией легирующих добавок 1,2 мас. % до и после испытаний. Из снимков видно, что в процессе фрикционного взаимодействия у покрытия имеет место «обнажение» твердосмазочных включений (рис. 4, *б*), которые наряду со смазочным материалом способствуют созданию антифрикционного поверхностного слоя, обладающего повышенной износостойкостью.

Выводы. В результате триботехнических испытаний покрытий, сформированных из баббита Б83, легированного твердосмазочными материалами C и MoS_2, установлено, что, по сравнению с образцом без покрытия, в условиях одностороннего вращения и при скорости скольжения 0,06 м/с имеет место положительное влияние покрытий на снижение динамического коэффициента трения $f_д$ и критерия антискачковых свойств Δf. Однако влияние концентрации легирующих добавок из C и MoS_2 на это снижение неоднозначно. Из исследованных покрытий наилучшие результаты обеспечило покрытие, сформированное из донора, содержащего не более 1,2 мас. % легирующих добавок C и MoS_2. К концу цикла испытаний указанное покрытие способствовало снижению $f_д$ на 50 %, а Δf – на 76 %.



а) *б)*

Рис. 4. Морфология поверхности образца с покрытием из композиционного материала Б83+C+MoS_2 до (*а*) и после (*б*) триботехнических испытаний (область вблизи края дорожки трения)

Список литературы:

1. Детали и механизмы металлорежущих станков. Т. 1 /Под ред. Д.Н Решетова. – М.: Машиностроение, 1972. – 664 с.

2. Клюйко, Э.В. Основы проектирования механизмов главного движения и подач металлорежущих станков : учеб. пособие / Э.В. Клюйко, А.И. Матвеев. – 1-е изд. – Тверь, 2001. – 202 с.

3. Применение полимерных материалов для направляющих металлорежущих станков. Метод. рекомендации / Под ред. А.С. Лапидуса и П.-Ж. Дюшева. – М.: НИИмаш, 1983. – 76 с.

4. Антискачковые масла для направляющих скольжения металлорежущих станков: Методические рекомендации / В.Т. Портман [и др.]. – М.: ЭНИМС, 1977. – 24 с.

5. Масла Mobil для направляющих скольжения станочного оборудования [Электронный ресурс] / Мотор–Технология. – Н. Новгород, 2009**.** - Режим доступа : http://www.motorteh.ru. – Дата доступа : 02.09.2009.

6. Кац, А.Я. Влияние отделочной химико-механической обработки на износостойкость направляющих скольжения / А.Я. Кац, Р.М. Штромберг // Станки и инструмент. – 1982. – № 2. – С. 28–29.

7. Противозадирные покрытия в парах трения «чугун по чугуну» / С.З. Сапожников [и др.] // Станки и инструмент. – 1990. – № 6. – С.31–32.

8. Исследование работоспособности направляющих скольжения с покрытием из порошковых материалов / М.А. Леванцевич [и др.] // Порошковая металлургия : сб. науч. тр. / Ин-т порошковой металлургии НАН Беларуси. – Минск, 2008. – № 31. – С. 93–97.

9. Способ нанесения покрытия: а. с. 1206068 СССР, МКИ4 В 24 В 39/00 / Л.С. Белевский, В.И. Кадошников, Ю.М. Миронов, И.Д. Кадошникова; // Открытия. Изобретения. – 1986. – № 3. – С. 54.

10. Гитис, Н.В. Оценка антискачковых свойств материалов направляющих станков / Н.В. Гитис // Станки и инструмент. – 1986. – № 3. – С. 21–22.

MA Levantsevich,
N. Maksimchenko, VN Kalac

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF COATINGS SMOOTH RUNNING MOBILE TOOL UNITS

As a result of tribological testing of coatings, made of babbit B-83-doped solid lubricating materials s and MoS2, found that, compared with the sample uncoated, in conditions of unilateral rotation and the sliding speed of 0.06 m/s place has a positive effect coatings on the reduction of the dynamic friction FD and criteria against surges properties Δf. One-to the influence of concentration of alloying elements of C and MoS2 this reduction is ambiguous. Studied coatings best results provided coating, formed from a donor, containing not more than 1.2 wt. % of alloying additives and MoS2. By the end of the cycle of tests specified coverage has contributed to the reduction FD 50 %, and the F - 76 %

Key words*: slide-ways, movable unit of metal-cutting equipment, cladding by flexible tool, antifrictional coating, babbit Б83*

М.А. Леванцевич,
Н.Н. Максимченко, В.Н. Калач

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СКЛАДУ ПОКРИТТІВ НА ПЛАВНІСТЬ ХОДУ РУХЛИВИХ ВЕРСТАТНИХ ВУЗЛІВ

В результаті триботехнічного випробувань покриттів, сформованих з бабіта Б83, легованого твердосмазочными матеріалами і 3 MoS2, встановлено, що, порівняно зі зразком без покриття, в умовах одностороннього обертання і при швидкості ковзання 0,06 м/с має місце позитивний вплив покриттів на зниження динамічного коефіцієнта тертя fд і критерію антискачковых властивостей Δf. Але вплив концентрації легуючих добавок з 3 і MoS2 на це зниження неоднозначно. З досліджених покриттів найкращі результати забезпечило покриття, сформований з донора, що містить не більше 1,2 мас. % легуючих добавок і 3 MoS2. До кінця циклу випробувань вказане покриття сприяло зниженню fд на 50 %, а Δf - на 76 %

Ключові слова: *направляючі ковзання, рухомі одиниці металорізального обладнання, облицювання гнучким інструментом, антифрикційні покриття, бабіти Б83*

Надійшла до редколегії 15.05.2013 р.