

ИННОВАЦИИ СКВОЗЬ ПРИЗМУ МАШИНОСТРОЕНИЯ*

И. Н. Плющевский,

вед. науч. сотрудник ГУ «БелИСА», канд. техн. наук

М. А. Леванцевич,

вед. науч. сотрудник ГНУ «Объединенный институт машиностроения», канд. техн. наук

С. В. Бушева,

мл. науч. сотрудник ГУ «БелИСА»

Состояние отечественного парка оборудования является одной из главных проблем промышленности. Доля инновационных технологий, способствующих развитию отечественных предприятий очень мала, что предопределяет все большее отставание в области технологической конкурентоспособности. Одним из путей выхода является переход на инновационный путь развития, который, наряду с необходимостью выполнения комплекса организационно-технических мероприятий, предусматривает применение энерго- и ресурсосберегающих технологий.

State of the domestic fleet of equipment is by far one of the major industry issues, The share of innovative technologies contributing to the development of domestic enterprises is very small, which determines the lag in technological competitiveness. One of the ways out of situation is the transition of the economy to an innovative type of development, which provides simultaneously the realization organizing technical actions and application of energy- and resource-saving technologies.

Разработка и внедрение новых технологий в сфере производства товаров и предоставления услуг входят в число наиболее важных факторов перспективного роста и развития предприятий в современных условиях.

Известно, что главную роль в формировании и обновлении экономики, повышении уровня научно-технического развития всех отраслей промышленности играют отрасли высокотехнологичного машиностроения. Именно высокая наукоемкость и технологическая оснащенность машиностроения предопределяет соответственно высокий уровень инновационной деятельности. В этой связи, особо нуждается в модернизации на инновационной основе *станкоинструментальная промышленность*. Без нее невозможно полноценное участие в модернизации активной части основного капитала экономики Беларуси не только автомобилестроения, но и других отраслей машиностроения. В этой отрасли необходимо инновационное развитие производства не только литейного, кузнечно-прессового и металлорежущего оборудования, но и компонентной

базы в первую очередь. Сюда входят комплектные системы управления с программно-аппаратными средствами, цифровыми электроприводами и электродвигателями, мехатронными узлами вращательного и линейного движения и измерительными преобразователями, узлы цифрового гидропривода, узлы пневмопривода, электрошпиндели, различные типы муфт и др. Компоненты относятся к быстроизнашиваемым элементам различных машин, следовательно, генерируют постоянно возобновляемый спрос. В свою очередь большой импорт компонентов обуславливает полную технологическую зависимость от зарубежных производителей.

В отличие от автомобильной промышленности, продукцией которой преимущественно удовлетворяется конечный потребительский спрос, станкостроение и инструментальное производство обеспечивают спрос ключевых машиностроительных и промышленных отраслей. В этой связи к станкам и инструменту предъявляются повышенные требования по обеспечению надежной и безотказной работы.

В настоящее время одним из эффективных путей улучшения эксплуатационных свойств ответственных компонентов станков и инструмента является модифицирование рабочих поверхностей методами инженерии поверхностей, заключающееся в целенаправленном изменении физико-механических и кристаллохимических свойств поверхности и поверхностного слоя [1]. Эффективность указанного направления объясняется тем, что при большом разнообразии условий работы трущихся деталей станков и инструмента практически во всех случаях наиболее нагруженными оказываются их поверхностные слои [2], оказывающие существенное влияние на работоспособность указанных деталей.

В табл. 1 представлена взаимосвязь между характеристиками поверхности и поверхностного слоя инструмента и его эксплуатационными показателями — стойкостью, надежностью и др.

Поэтому на практике для повышения работоспособности подобных изделий, наряду с разработкой новых видов конструкционных материалов и смазки, широко используют методы поверхностной обработки, позволяющие сформировать требуемый комплекс эксплуатационных характеристик. К ним относят различные методы формирования функциональных покрытий, поверхностное легирование; термическую и химико-термическую обработку, деформационное воздействие; комбинированную обработку (использование двух и более различных методов упрочнения) [3].

Одним из главных преимуществ методов поверхностной обработки путем формирования функциональных покрытий является то обстоятельство, что их сравнительно легко можно использовать для упрочнения уже готовых «рыночных» деталей и инструмента.

Необходимо отметить, что сокращение издержек на эксплуатацию и ремонт станков, различных видов машин и технологического оборудования за счет повышения ресурса трущихся деталей является одним из эффективных путей решения проблемы ресурсо- и энергосбережения. Актуальность этой проблемы объясняется тем, что расходы мировой промышленности на поддержание в рабочем состоянии в процессе эксплуатации имеющегося парка технических средств, в том числе связанных с ремонтом и заменой деталей трущихся сопряжений, составляют значительную величину (миллиарды долларов). При этом, узлы трибосопряжений, составляя всего 3–5 % общего веса машин и механизмов, в 80–85 % случаев являются основной причиной выхода их из строя [4]. Поэтому вопросам повышения работоспособности подобных изделий на современном этапе развития техники, особенно в высокоразвитых странах, уделяется все больше внимания.

Одним из эффективных и сравнительно недорогих методов поверхностного упрочнения рабочих поверхностей трущихся деталей является метод фрикционно-механического плакирование гибким инструментом (ФМПГИ), где в

Таблица 1

Взаимосвязь между характеристиками поверхности и поверхностного слоя инструмента и его эксплуатационными показателями*

Эксплуатационные показатели инструмента	Основные характеристики инструментального материала и поверхностного слоя инструмента						
	Предел прочности при растяжении, изгибе	Твердость, HRC	Теплостойкость, T, °C	Теплопроводимость, λ, Вт/мК	Шероховатость	Остаточные напряжения	Адгезионные свойства
Стойкость	●	●	●	●	●	●	●
Надежность	●	●	●	●	■	●	■
Точность изделия	■	●	■	●	●	○	●
Шероховатость изделия	○	●	■	●	●	○	●
Производительность	●	●	●	●	○	■	○

* ● — оказывает основное влияние; ■ — оказывает влияние; ○ — оказывает несущественное влияние или не влияет.

качестве последнего используется вращающаяся металлическая щетка (ВМЩ) с проволочным ворсом [5, 6]. Сущность метода состоит в том, что в процессе обработки ВМЩ одновременно взаимодействует с поверхностью обрабатываемой детали и брусом из материала покрытия, используемого в качестве донора. В результате на поверхности детали образуется упрочненный слой основы с покрытием, которое формируется за счет переноса ворсинками щетки частичек материала-донора (рис. 1). В зависимости от состава материала-донора или их комбинации можно формировать металлические и полимерные покрытия практически любого функционального назначения на изделиях из металла, камня, керамики, стекла и др. Последующая механическая обработка сформированных покрытий не требуется.



Рис. 1. Образцы материалов-доноров для формирования покрытий при комбинированной обработке гибким инструментом

Наряду с переносом частичек материала-донора ворс щетки оказывает механическое воздействие на поверхность основы, пластически деформируя и упрочняя ее. Толщина и структура деформированного слоя основы и покрытия существенно зависят от технологических параметров процесса плакирования (величины натяга щетки, скорости ее вращения и скорости подачи изделия, числа проходов), конструктивных параметров щетки (диаметра, ширины, длины и диаметра ворса), а также вида и состава материала донора. Производительность процесса формирования покрытия определяется диаметром и шириной щетки. Например, при ширине щетки 80 мм, при фор-

мировании слоя толщиной 10–15 мкм производительность процесса составит 300–350 дм²/ч. Коэффициент использования материала покрытия составляет 0,9–0,95. Технология ФМПГИ позволяет формировать покрытия любого функционального назначения: антифрикционные, износостойкие, коррозионно-стойкие, демпфирующие, декоративные, технологические подслои. В качестве материала донора для формирования покрытия используются как литые металлы и сплавы на их основе, так и компактированные порошковые материалы, полученные путем спекания металлических порошков с легирующими добавками компонентов металлического и не металлического происхождения, а также полимерные материалы.

Технологические возможности сформированных покрытий во многом определяются как составом материала-донора, так и конструктивно-технологическими параметрами процесса плакирования [7]. В качестве примера на рис. 2 представлена диаграмма, иллюстрирующая технологические возможности покрытий на образцах из стали 08 кп (HV80) при трении скольжения торцов цилиндрических роликов из стали ШХ15 (HRC 60–63) в условиях граничной смазки.

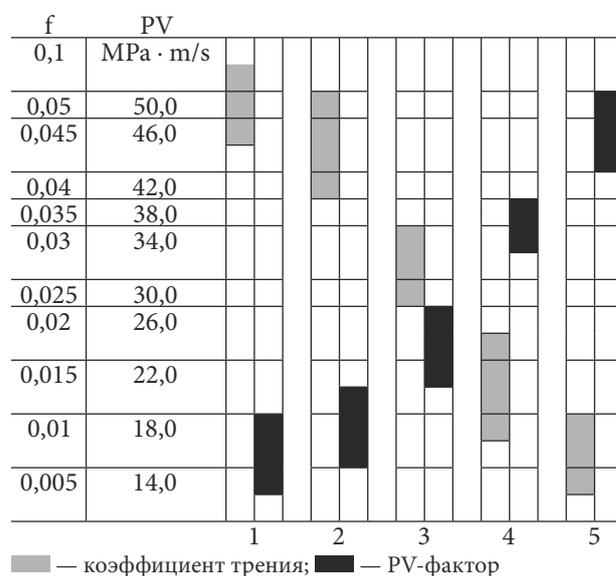


Рис. 4. Технологические возможности покрытий, сформированных вращающейся металлической щеткой: 1 — без покрытия; 2 — с покрытием из меди и медьсодержащих металлов; 3 — с покрытием с компонентами твердой смазки (бронзографит); 4, 5 — с поликомпозиционным покрытием с УДАГ и компонентами твердой смазки (графит, дисульфид молибдена)

Как видно из приведенной диаграммы, по сравнению с образцами без покрытий, поликомпозиционные покрытия обеспечивают снижение коэффициента трения в 2–2,5 раза, повышение PV-фактора в среднем с 14,6 до 37 МПа·м/с (PV-фактор — это произведение нагрузки на обрабатываемый материал на скорость относительного скольжения). В настоящее время разработаны технические решения, которые в перспективе обеспечат дальнейший прогресс по снижению коэффициента трения и повышению несущей способности трущихся поверхностей.

Сопоставление указанного метода с традиционными методами защиты, упрочнения и модификации поверхности показывает, что в определенных условиях метод ФМПГИ обладает рядом преимуществ: малая металлоемкость и энергоемкость, отсутствие сложных и вредных для обслуживающего персонала операций предварительной подготовки поверхности, высокие коэффициент полезного действия и производительность процесса и его экологическая чистота.

Результаты опытно-промышленной проверки использования технологии плакирования показали, что покрытия, сформированные методом ФМПГИ на рабочем профиле зубьев зубчатых колес, способствуют повышению устойчивости к задирам и заеданиям в 2,2–3 раза и снижению шума передачи на 4–6 дБ. При формировании антифрикционного покрытия на направляющих скольжения станин металлорежущих станков коэффициент трения скольжения снижается на 25–40 %, что способствует улучшению плавности хода подвижных узлов станка в 1,7–2,3 раза. Антифрикционное покрытие, сформированное методом ФМПГИ на рабочих поверхностях пуансонов для вырубki отверстий в шайбах сердцевин замков, обеспечило повышение их стойкости в 1,4–1,6 раза. Жаростойкое покрытие, сформированное на рабочей поверхности оправки для горячей раскатки подрессорников к автомобилям семейства МАЗ, обеспечило увеличение стойкости последней с 3000 до 4700 шт. деталей.

Таким образом, данные результаты свидетельствуют, что широкое использование технологии ФМПГИ позволит получить значительный энерго- и ресурсосберегающий эффект при минимальных затратах, связанных с изготовлением и адаптацией к действующему оборудованию технических средств для ее реализации.

Области применения разрабатываемой технологии могут быть весьма разнообразны. Сюда можно включить следующие направления для использования описанного процесса.

1. Повышение фрикционных и антифрикционных свойств деталей пар трения различных машин и механизмов путем формирования покрытий (нанесение покрытий на рабочие поверхности деталей триботехнического назначения, посадочные поверхности отверстий корпусных деталей и направляющие скольжения металлообрабатывающих станков, зубчатые колеса редукторов, трансмиссий, детали кузнечнопрессового оборудования, соединения и внутренние поверхности магистральных трубопроводов, штоки гидроцилиндров, плунжеры, различные оси, цапфы валов, пальцы сепараторов и цепей и др.).

2. Увеличение срока службы режущего инструмента за счет создания на его рабочих кромках тончайших металлических и полимерных пленок.

3. Формирование покрытий на поверхностях резьбовых соединений, длительное время находящихся под воздействием высоких нагрузок, для предотвращения их схватывания и заклинивания.

4. Повышение коррозионной стойкости стальных и чугунных изделий нанесением алюминиевых или алюмоцинковых защитных слоев.

5. Восстановление размеров и эксплуатационных свойств изношенных деталей пневмо- и гидроаппаратуры.

6. Увеличение стойкости деформирующего инструмента (например, прокатных роликов при обжимке труб, штампов кузнечно-прессового оборудования и др.).

7. Нанесение технологических покрытий на заготовки перед нагревом и горячим пластическим деформированием с целью снижения теплотеря излучением, уменьшения интенсивности окисления и предотвращения появления поверхностных дефектов.

8. Создание подслоя перед газоплазменным или плазменным напылением.

9. Нанесение декоративных и токопроводящих слоев на поверхность стекла, керамики или камня.

10. Получение износостойких керамических покрытий путем формирования покрытий из алюминиевых или титановых сплавов на сталь-

ных изделиях с последующим микродуговым оксидированием.

Таким образом, переход к системному (комплексному) инновационному развитию производств должен представлять в настоящее время как техническое перевооружение предприятия, так и максимальное использование инновационных ресурсосберегающих универсальных технологических процессов, обеспечивающих значительное улучшение эксплуатационных характеристик дорогостоящего оборудования, деталей, инструмента. Соответственно, ввиду двух указанных параллельно действующих подходов, очевидно, следует строить систему стратегического управления инновационной деятельностью высокотехнологичного машиностроения.

Есть также смысл рассмотреть реальную программу действий по созданию специализированных региональных технологических центров по использованию современных технологий по восстановлению оборудования и его деталей с целью увеличения периода поддержания оборудования в работоспособном состоянии без замены его новым. Особенно это характерно для предприятий машиностроения, сельскохозяйственной техники, автомобилестроения, лесохозяйственных и агропромышленных комплексов и др., где детали оборудования и инструмент функционируют в агрессивных условиях. Нельзя также не учитывать оборудование насосной группы. Можно обдумать также и создание межрайонных пунктов для рациональной организации восстановления этих деталей. В условиях Республики Беларусь при значительном количестве сельско-

хозяйственных предприятий особо важно внедрение описанной технологии по хозяйствам или микрорегионам с целью оперативного восстановления деталей техники, активно изнашивающихся в силу эксплуатации в агрессивных условиях.

Литература:

1. Grigoriev, S., Melnik, Y., Metel, A. Broad fast neutral molecule beam sources for industrial-scale beam-assisted deposition // *Surface and Coatings Technology*. 2002. — Т. 156. — № 1–3. — Р. 44–49.
2. Черпаков, Б. И., Григорьев, С. Н. Тенденции развития технологического оборудования в начале XXI в. // *Ремонт, восстановление, модернизация*. — 2003. — № 10. — С. 2–7.
3. Волосова, М. А., Григорьев, С. Н. Технологические принципы осаждения износостойких нанопокровов для применения в инструментальном производстве // *Упрочняющие технологии и покрытия*. — 2010. — № 6. — С. 37–42.
4. Бутенко, В. И. Износ деталей трибосистем. — Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002. — 236 с.
5. Леванцевич, М. А., Максимченко, Н. Н., Зольников, В. Г. Повышение эксплуатационных свойств трибосопрежений нанесением покрытий металлическими щетками // *Вестник НАН Беларуси. Серия физ.-техн. наук*. — 2005. — № 1. — С. 67–72.
6. Триботехнические свойства тонких металлических покрытий с наноразмерными наполнителями / П. А. Витязь, М. А. Леванцевич, Н. Н. Максимченко и др. // *Трение и износ*. — 2004. — Т. 25. — № 6. — С. 593–601.
7. Леванцевич, М. А. Технологические возможности покрытий, нанесенных металлическими щетками // *Вестник ПГУ*. — 2003. — Т. 2. — № 4. — С. 53–55.