УДК 621.784; 621.794; 674.055

А. В. Алифанов[1], доктор технических наук, профессор,
И. А. Богданович[2], кандидат технических наук, доцент,
Т. Я. Богданова[3], Е. В. Рогозина[4]
[1, 2, 3, 4]Учреждение образования «Барановичский государственный университет», ул. Войкова, 21, 225404 Барановичи, Республика Беларусь, +375 (029) 352 71 81
[1]Государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», ул. Академика Купревича, 10, 220084 Минск, Республика Беларусь, +375 (017) 367 60 10

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОТВЕРДОСТИ СТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ, УПРОЧНЕННЫХ ВАКУУМНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ И МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКОЙ

Исследовано влияние режимов вакуумного нанесения упрочняющих (TiN и ZrN) и антифрикционных (содержащих Cu, S и N) покрытий на стальные образцы с последующей магнитно-импульсной обработкой на трибологические свойства сформированных покрытий, разработаны опытные режимы нанесения покрытий, обеспечивающие повышенные трибологические характеристики стальных образцов. Установлено, что нанесение Cu на вакуумное покрытие с последующей магнитно-импульсной обработкой улучшает эксплуатационные характеристики покрытия — коэффициент трения и износостойкость.

Проведенные исследования показали, что для деталей, работающих в условиях интенсивного износа, целесообразно применять вакуумные покрытия типа TiN и ZrN с последующим нанесением слоя меди и магнитно-импульсной обработкой.

Ключевые слова: стальные образцы; вакуумные покрытия; магнитно-импульсная обработка; трибологические свойства; микротвердость.

Библиогр.: 7 назв.

A. V. Alifanov[1], DSc in Technical Sciences, Professor,
I. A. Bogdanovich[2], Phd in Technical Sciences, Associate Professor,
T. Ya. Bogdanova[3], E. V. Rogozina[4]
[1, 2, 3, 4]Institution of Education “Baranavichy State University”, 21 Voikova Str., 225404 Baranavichy, the Republic of Belarus, +375 (029) 352 71 81
[1]State Scientific Institution “Physical and Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus”, 10 Akademika Kuprevicha Str., 220084 Minsk, the Republic of Belarus, +375 (017) 367 60 10

RESEARCH OF STEEL SPECIMENS TRIBOLOGICAL PROPERTIES AND MICROHARDNESS STRENGTHENED BY VACUUM COATINGS AND MAGNETIC PULSE PROCESSING

The influence of vacuum deposition modes of strengthening (TiN and ZrN) and antifriction agents (containing Cu, S and N) coatings on steel samples with subsequent magnetic pulse processing on the formed coatings tribological properties, experimental coating application modes have been developed. It provides increased tribological

© Алифанов А. В., Богданович И. А., Богданова Т. Я., Рогозина Е. В., 2023

Репозиторий БарГУ

characteristics of steel samples. It has been established that applying Cu to a vacuum coating followed by magnetic pulse treatment improves the coating performance characteristics — friction coefficient and wear resistance.

The conducted studies have shown that for parts operating under intense wear conditions, it is advisable to use vacuum coatings such as TiN and ZrN, followed by the application of a copper layer and magnetic pulse processing.

Key words: steel samples; vacuum coatings; magnetic pulse processing; tribological properties; microhardness.

Ref.: 7 titles.

Введение. В государственном научном учреждении «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» и учреждении образования «Барановичский государственный университет» исследован эффект упрочнения сильным электромагнитным полем стальных изделий, в том числе закаленных, что открывает широкие перспективы в области упрочняющих технологий. Этот метод выгодно отличается от многих традиционных методов упрочнения простотой исполнения, низкими трудозатратами, малой энергоемкостью, экологической чистотой [1—4].

Необходимость обрабатывать механическими методами высокопрочные поверхности ставит перед инструментальщиками задачу упрочнять режущие инструменты в целях повышения их стойкостных показателей. Применение магнитно-импульсной упрочняющей обработки (далее — МИО) позволяет значительно увеличить период стойкости дереворежущих ножей [2; 3].

В последнее время для модификации инструмента методом конденсации с ионной бомбардировкой (КИБ) создаются и исследуются ионно-плазменные покрытия на базе нитридов тугоплавких металлов (Ti, Mo, Cr, Zr), которые позволяют существенно увеличить физико-механические свойства различных материалов и, соответственно, улучшить эксплуатационные свойства изделий, применяемых в различных отраслях промышленности, в том числе при деревообработке [5; 6].

Однако требования производственников к эксплуатационным характеристикам изделий непрерывно растут, в связи с чем появилась необходимость создания комбинированных методов упрочнения, сочетающих различные виды высокоэнергетических воздействий, в частности КИБ и МИО.

Особенности воздействия комбинированного метода вакуумного ионно-плазменного напыления и МИО на микроструктуру, фазовый сосав и триботехнические свойства лезвий ножей фрезерного инструмента, применяемого при обработке древесины, практически не изучены. Для проведения исследований были использованы стальные образцы из стали 45. Для уменьшения коэффициента трения поверх упрочняющих покрытий химико-термическим методом наносилась медь, а также на поверхность стальных образцов методом сульфационирования наносилось покрытие, содержащее серу и азот.

Сульфационирование — диффузионный процесс насыщения поверхности деталей серой и азотом [7]. Слой, содержащий соединения серы, ускоряет приработку трущихся пар, улучшает адсорбцию масла и предотвращает схватывание и задиры. Слой карбонитридных фаз и нитридов обеспечивает длительное сохранение высокой износостойкости и хорошую приработку поверхности. Процесс сульфационирования не требует специального оборудования и может быть осуществлен в обычных тигельных печах-ваннах.

Результаты исследования и их обсуждение. Для проведения исследований было изготовлено 36 стальных образцов из стали 45 размером 10 × 10 × 5 мм, произведена шлифовка всех поверхностей. Затем на поверхность 12 образцов было нанесено покрытие TiN толщиной 4 мкм, после чего эти образцы были подвергнуты МИО с энергией импульса 1, 4, 6 кДж (по 3 образца на каждую величину энергии). На поверхность 12 образцов нанесено покрытие ZrN также толщиной 4 мкм, после чего их подвергли МИО по вышеуказанной схеме. На оставшиеся 12 образцов нанесли, кроме TiN и ZrN, слой меди толщиной 4 мкм, после чего образцы также

Репозиторий БарГУ

были обработаны магнитно-импульсным воздействием с энергией импульса 1 и 6 кДж (2 образца, покрытых ZrN + Cu, и 2 образца, покрытых TiN + Cu, МИО не подвергались).

На машине трения были исследованы трибологические свойства образцов из стали 45, покрытых нитридом циркония (ZrN) и обработанных магнитно-импульсным воздействием с энергией импульса 1, 4 и 6 кДж.

Микротвердость покрытий на всех образцах находилась в пределах 29…34 ГПа (нагрузка — 0,1 Н). Коэффициент трения образцов практически не менялся за время эксперимента и находился в пределах от 0,08 до 0,13. Изменение энергии импульса существенно не повлияло на величину и характер изменений коэффициента трения.

На машине трения также исследованы трибологические свойства 12 образцов из стали 45, покрытых вакуумным упрочняющим покрытием TiN и обработанных магнитно-импульсным воздействием с энергией импульса 1, 4 и 6 кДж. И в этом случае изменение энергии импульса мало влияет на характер изменения коэффициента трения, который находится в пределах 0,09… 0,12.

Микротвердость покрытия на всех образцах находилась в пределах 22…34 ГПа, в частности, микротвердость незакаленных образцов из стали 45, упрочненных вакуумными покрытиями TiN и ZrN и магнитно-импульсным воздействием, увеличилась для образцов с покрытием TiN от 22…25 до 25…28 Гпа, образцов с покрытием ZrN — от 26…30 до 29…34 ГПа.

Были проведены исследования трибологических свойств образцов из стали 45 с комбинированным покрытием ZrN + Cu. Установлено, что коэффициент трения образца, обработанного магнитно-импульсным воздействием, сохраняется практически без изменений в процессе исследования (в пределах 0,05…0,06), а у образца, не обработанного магнитно-импульсным воздействием, коэффициент трения очень быстро увеличивается (от 0,05 до 0,13), ухудшая трибологические свойства покрытия. Такая же картина наблюдается и при исследовании образцов с покрытием TiN + Cu.

Сравнение полученных результатов показывает, что коэффициент трения стальных образцов, покрытых ZrN + Cu и обработанных магнитно-импульсным воздействием, в 1,5…2,0 раза меньше, чем у стальных образцов, покрытых только ZrN или TiN и обработанных магнитно-импульсным воздействием, что позволяет сделать вывод о благоприятном влиянии дополнительной обработки упрочняемых стальных поверхностей медью. Следует также отметить, что медное покрытие, не обработанное магнитным полем, очень быстро истирается, коэффициент трения, соответственно, возрастает. Дополнительная обработка магнитно-импульсным воздействием уплотняет медное покрытие и улучшает адгезию к стальной основе, в результате чего улучшаются эксплуатационные характеристики образца (коэффициент трения и износостойкость).

Заключение. Анализ вышеприведенных исследований трибологических свойств образцов, обработанных комбинированным методом, показывает, что коэффициент трения у образцов с покрытиями TiN и ZrN находится в пределах 0,8…1,3, а у образцов, дополнительно покрытых слоем меди толщиной 4 мкм, коэффициент трения уменьшается до значений 0,5…0,75. Этот результат показывает, что для деталей, работающих в условиях интенсивного износа, целесообразно применять вакуумные покрытия типа TiN и ZrN с последующим слоем меди и МИО.

Репозиторий БарГУ

Список цитированных источников

1. *Алифанов, А. В.* Проблемы станкостроения / А. В. Алифанов, А. С. Демянчик. — Барановичи : РИО БарГУ. — 2014. — 92 с.

2. Магнитно-импульсная упрочняющая обработка изделий из конструкционных и инструментальных сталей / А. В. Алифанов [и др.] // Литье и металлургия. — 2012 — № 3. — С. 77—83.

3. *Алифанов, А. В.* Влияние режимов упрочняющей магнитно-импульсной обработки на прочностные характеристики дереворежущих ножей / А. В. Алифанов, Ж. А. Попова, А. С. Демянчик // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки. — 2012. — С. 74—78.

4. *Алифанов, А. В.* Механизм упрочнения легированных сталей в импульсном магнитном поле / А. В. Алифанов, Ж. А. Попова, Н. М. Ционенко // Литье и металлургия. — 2012. — № 4.

5. *Алифанов, А. В.* Влияние TiN-покрытий твердосплавных ножей на эксплуатацию дереворежущего фрезерного инструмента при обработке ламинированных ДСтП // Тр. БГТУ. — 2012. — № 2 : Лесная и деревообрабатывающая промышленность. — С. 207— 211.

6. *Гришкевич, А. А.* Особенности износа упрочненных методом КИБ лезвий и ножей дереворежущего фрезерного инструмента при обработке ДСтП // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. материалов VII Междунар. науч.-техн. конф., 19—21 сент. 2012 г. — Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2012. — Кн. 2. — С. 297—303.

7. *Елизаветин, М. А.* Технологические способы повышения долговечности машин / М. А. Елизаветин, Э. А. Сатель. — М. : Машиностроение, 1969. — 400 с.

Поступила в редакцию 11.10.2023.

Репозиторий БарГУ