

УДК 621.8

В.В. Зелинский, Е.А. БорисоваМуромский институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Владимирский
государственный университет»**О МЕХАНИЗМЕ СНИЖЕНИЯ ИЗНОСА
ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Выдвинута гипотеза о противоадгезионной природе метода обработки магнитным полем режущих и деформирующих инструментов на основе анализа опыта эксплуатации и экспериментальных исследований широкой номенклатуры инструментов. Представлены результаты экспериментального и математического моделирования процесса изнашивания в условиях возрастающего магнитного воздействия. Установлено, что с увеличением количества импульсов воздействия внешним магнитным полем происходит снижение износа и повышение остаточной магнитной индукции образцов, обработанных магнитным полем. Приведена количественная оценка изменения интенсивности этих процессов. Предложен новый механизм влияния обработки магнитным полем на износ, заключающийся в создании электронной системы с измененным уровнем энергии, устойчивой к образованию химических связей, обуславливающих адгезию.

Ключевые слова: износ, адгезия, образец, импульс, магнитное поле, интенсивность изнашивания, энергия.

V.V. Zelinskiy, E.A. Borisova

Murom institute of Vladimir State University

**ABOUT THE MECHANISM OF REDUCE WEAR
OF FERROMAGNETIC MATERIALS**

The article hypothesized against adhesion method of processing magnetic field of cutting and deforming tools based on analysis of the experience of exploitation and experimental studies of a wide range of instruments. The results of experimental and mathematical modeling of the wear process in terms of increasing the magnetic impact are presented. Found that with increasing number of impulses the external magnetic field is a decrease wear and increase the residual magnetic induction of the samples processed by the magnetic field, and the quantification of changes in the intensity of these processes is showed. A new mechanism of influence of processing magnetic field on the wear is the appearance of an electronic system with a modified energy level that is resistant to the formation of chemical bonds, causing the adhesion is proposed.

Keywords: wear, adhesion, sample, impulse, magnetic field, wear intensity, energy.

Одним из новых физических методов повышения износостойкости режущих и деформирующих инструментов является обработка магнитным полем (ОМП). Однако, несмотря на имеющийся эффект ОМП ферромагнитных материалов, механизм и факторы влияния обработки на величину износа до сих пор малоизучены. Применяемые на практике технологии ОМП, основанные на предложенных ранее механизмах [1, 2], не дают надежного результата. Это сдерживает расширенное применение данного метода.

Проведенный авторами данной работы анализ опыта эксплуатации и экспериментальных исследований по изнашиванию большой номенклатуры инструментов с учетом конструктивных и технологических факторов позволил установить [3] преобладающий вид и причины изнашивания режущих инструментов, выявить причинно-следственные связи и соотношение общего износа инструмента с причинами его возникновения. Выявлено, что наибольшая доля причин изнашивания имеет адгезионный характер и может составлять до 85 %, а с учетом уже установленного на практике существенного (до 3,5 раз) снижения износа инструментов после ОМП выдвигается гипотеза о противоадгезионном влиянии данного метода.

В настоящей работе приводятся результаты экспериментального и математического моделирования процесса изнашивания в трибосистеме инструментальный материал – обрабатываемый материал в условиях возрастающего внешнего магнитного воздействия. В экспериментах использовалась модернизированная машина трения типа МИ, предусматривающая испытания по схеме трения ролик – образец. Образцами являлись прямоугольные призмы из быстрорежущей стали Р6М5 и легированной стали ХВГ, подвергнутые закалке по соответствующим технологиям. Контртелом для каждого образца служил отдельный ролик из стали 40Х, закаленный до твердости 48–49 НRс. Величина износа образцов оценивалась по убыли веса, устанавливаемой путем взвешивания на лабораторных аналитических весах. Уровень опытной нагрузки для всех образцов составлял 300 Н.

На образцы воздействовали внешним магнитным полем с количеством импульсов от 1 до 7, с длительностью импульса 2 с при помощи установки, излучающей магнитное поле напряженностью 400 кА/м с регулируемой длительностью импульса. По одному образцу каждой стали намагничиванию не подвергались и являлись контрольными.

По результатам экспериментов построены графики зависимости величины износа образцов m от количества импульсов воздействия внешним магнитным полем n (рис. 1), на которых прослеживается устойчивое снижение величины износа при увеличении числа импульсов магнитного воздействия с постепенным ослаблением его влияния, предположительно связанное с магнитным насыщением материала образцов. Причем для стали ХВГ кратность снижения величины износа наиболее намагниченного образца ($n = 7$) по сравнению с контрольным образцом ($n = 0$) составила 2,9–3,6; для стали Р6М5 кратность снижения величины износа лежит в пределах 2,42–2,66.

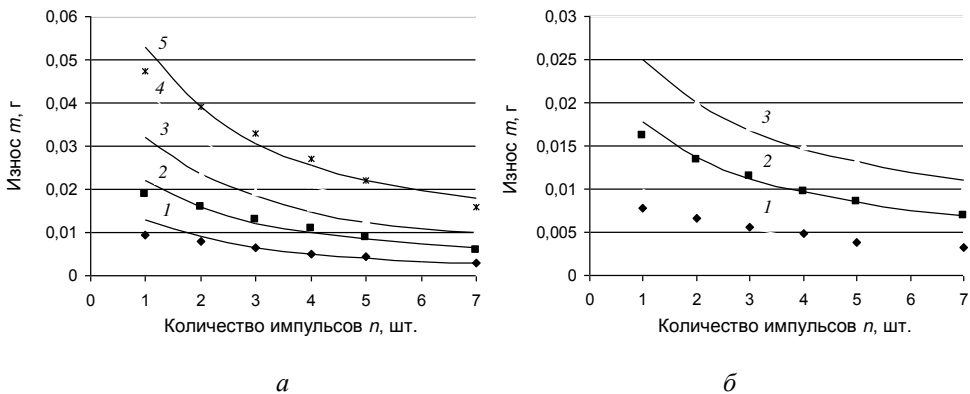


Рис. 1. Зависимость величины износа от количества импульсов магнитного воздействия и длительности трения: *а* – сталь ХВГ: 1 – $t = 30$ мин; 2 – $t = 60$ мин; 3 – $t = 90$ мин; 4 – $t = 120$ мин; 5 – $t = 150$ мин; *б* – сталь Р6М5: 1 – $t = 60$ мин; 2 – $t = 120$ мин; 3 – $t = 180$ мин

Одним из подходов к оценке износа может быть подход, основанный на уравнении износа Арчарда, полученном в результате математического моделирования процесса адгезионного изнашивания:

$$dW = K_a \frac{qV}{H} dA,$$

где W – объемный износ; K_a – безразмерный коэффициент адгезии; q – контактное давление; V – скорость скольжения; H – твердость материала; A – площадь трущегося контакта.

Для принятых условий экспериментов данное уравнение изнашивания принимает вид [4]:

$$m = K_a \gamma AV \frac{q}{H} t,$$

где γ – плотность материала частиц износа.

Анализ уравнения показывает, что при постоянных значениях γ , A , V , q и H , реализованных в опытах с одинаковой длительностью трения, величина весового износа определяется только значением коэффициента адгезии. Основываясь на данном выводе, предполагаем, что намагничивание придает образцам некоторые новые свойства, которые и оказывают влияние на адгезионное взаимодействие модифицированных образцов с контртелом. Следовательно, коэффициент адгезии K_a в уравнении изнашивания является наиболее сильным внутренним фактором процесса изнашивания.

В развитие предположения о придании путем намагничивания образцам новых свойств были проведены опыты по определению зависимости остаточной намагниченности от количества импульсов воздействия внешним полем. Для этого по три образца исследуемых сталей подвергали намагничиванию в режимах с количеством импульсов 3, 6, 9 и 15 с одинаковой длительностью воздействия магнитным полем $t = 2$ с. Магнитную индукцию B остаточного магнитного поля у поверхностей намагниченных образцов, которые в последующих опытах являлись поверхностями трения, измеряли при помощи магнитометра.

Из результатов измерения (рис. 2) следует, что с увеличением количества импульсов воздействия внешним магнитным полем уровень остаточной магнитной индукции B (и следовательно, напряженности остаточного магнитного поля) на поверхности трения образцов устойчиво возрастает с некоторым ослаблением при больших количествах импульсов.

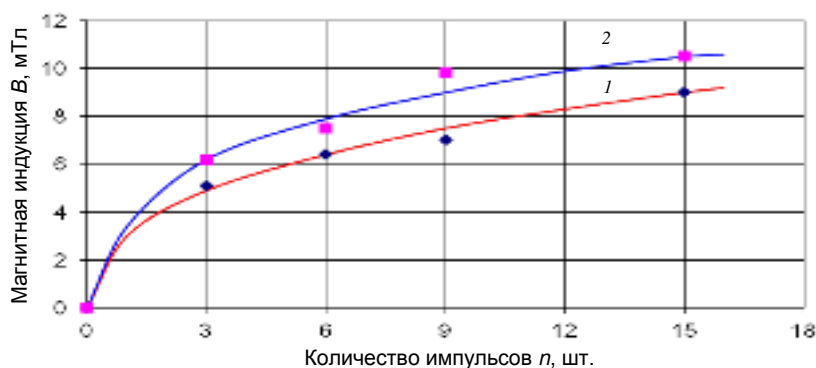


Рис. 2. Зависимость остаточной магнитной индукции поверхностей трения образцов-призм от количества импульсов воздействия внешним магнитным полем: 1 – образец из стали Р6М5; 2 – образец из стали ХВГ; $n = 0$, без ОМП

Из сопоставления экспериментальных зависимостей износа m (см. рис. 1) и остаточной магнитной индукции B (см. рис. 2) от количества импульсов n видно, что по мере накачивания материала образцов энергией магнитного поля, т.е. увеличения n , одновременно происходят два процесса: повышение остаточной магнитной индукции и снижение величины износа.

Естественно считать, что процесс роста остаточной магнитной индукции при взаимодействии трущихся поверхностей является ведущим и инициирует снижение темпа изнашивания. При этом принципиально важна степень обусловленности второго процесса (снижения темпа изнашивания) первым (ростом остаточной магнитной индукции).

Компьютерная обработка экспериментальных результатов позволила оба процесса представить в виде функций с одинаковой переменной, достаточно точно воспроизводящих опытные зависимости (расхождение менее 10 %):

$$B = An^{0,35},$$

$$m = Cn^{-0,67},$$

где A, C – постоянные коэффициенты.

Сравнение этих функций по показателям степеней u переменной величины (различающихся почти в 2 раза) показывает отсутствие полной обусловленности снижения темпа изнашивания процессом повышения остаточной магнитной индукции. Видно, что по мере накачки образцов магнитной энергией темп снижения изнашивания превышает темп роста остаточной магнитной индукции.

Количественную оценку разности в скоростях прохождения обоих процессов в функции количества импульсов намагничивания можно осуществить сравнением абсолютных значений текущих интенсивностей изменения J_1 и J_2 рассматриваемых процессов, представленных в виде:

$$J_1 = \frac{\Delta B}{\Delta n}, \quad J_2 = \frac{\Delta m}{\Delta n},$$

где $\Delta B, \Delta m, \Delta n$ – соответственно абсолютные значения текущих изменений магнитной индукции и величины износа при соответствующем значении изменения количества импульсов.

Результаты сопоставления J_1 и J_2 (рис. 3) также показывают, что интенсивность снижения износа больше интенсивности роста остаточной магнитной индукции во всем диапазоне повышения количества импульсов. Причем интенсивность снижения износа всегда превышает интенсивность накопления магнитной индукции в 1,5–2 раза (рис. 4).

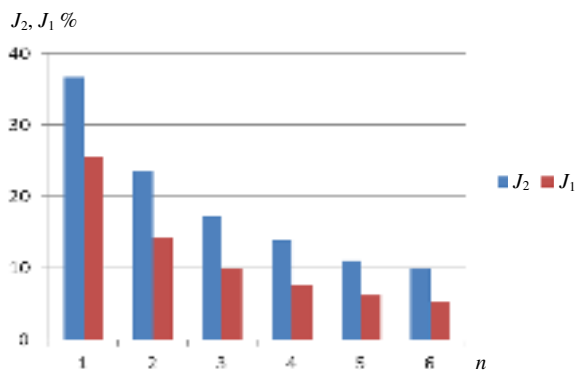


Рис. 3. Изменение текущих интенсивностей снижения износа m и повышения магнитной индукции B

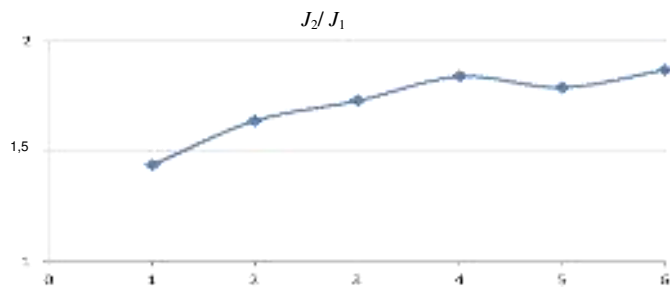


Рис. 4. Отношение текущих интенсивностей снижения износа m и повышения магнитной индукции B

Из изложенного следует, что по мере накачки материала энергией на процесс изнашивания оказывает влияние не только фактор намагниченности, но и дополнительный фактор противадгезионной природы, и на его проявление также расходуется часть накачиваемой энергии. Причем накопление магнитной индукции в материале является способствующим этому процессом.

Таким образом, принципиально возможен следующий механизм влияния ОМП на износ. Внешнее магнитное поле в ферромагнитных материалах ориентирует домены в определенном направлении, которые создают намагниченность тела. В соответствии с теорией кванто-

во-механического строения атома внешнее магнитное поле изменяет энергетическое состояние молекулярных орбиталей взаимодействующих кристаллических решеток. При снятии поля остаточная намагниченность вместе с частью энергии фрикционных явлений поддерживает внесенные энергетические изменения. Созданная электронная система более устойчива к образованию химических связей, обуславливающих адгезию. Снижение активности адгезионных процессов способствует снижению величины износа.

Предложенный механизм в достаточной мере соответствует количественной оценке (до 85 %) причин изнашивания инструментов на практике и выдвинутой на этой основе гипотезе о противоадгезионной природе влияния магнитного воздействия на износостойкость инструментов.

По результатам работы получены следующие выводы:

1. Изучаемые стали предрасположены к повышению износостойкости путем применения ОМП, причем кратность снижения износа составила для стали ХВГ 2,9–3,6, для стали Р6М5 – 2,42–2,66.

2. Экспериментально установлено, что в снижении износа ведущую роль играет фактор противоадгезионной природы, а роль намагниченности вторична.

3. Предложен новый механизм снижения износа в результате ОМП и установлен один из режимных факторов влияния – количество импульсов воздействия магнитным полем с оптимальным значением 6–7.

Список литературы

1. Малыгин Б.В. Магнитное упрочнение инструмента и деталей машин. – М.: Машиностроение, 1989. – 112 с.

2. Кантович Л.И., Малыгин Б.В., Первов К.М. Повышение ресурса инструмента и деталей горных машин методом магнитной обработки // Горное оборудование и электромеханика. – 2007. – № 1. – С. 13–16.

3. Зелинский В.В., Борисова Е.А. Установление преобладающих видов и причин изнашивания режущих инструментов // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. – 2012. – № 2 (12). – С. 55–60.

4. Зелинский В.В., Борисова Е.А. Исследование износостойкости инструментальных сталей // Новые материалы и технологии в машиностроении: сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-техн. конф. / под общ. ред. Е.А. Памфилова. – Брянск, 2013. – Вып. 18. – С. 37–41.

Получено 24.05.2014

Зелинский Виктор Васильевич (Муром, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Муромского института (филиала) Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых; e-mail: selvik46@yandex.ru

Борисова Екатерина Александровна (Муром, Россия) – аспирант кафедры «Технология машиностроения» Муромского института (филиала) Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых; e-mail: catherine.b2011@yandex.ru

Zelinskiy Victor Vasilevich (Murom, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department “Technology of Machine Building”, Murom Institute (branch) of Vladimir State University; e-mail: selvik46@yandex.ru

Borisova Ekaterina Aleksandrovna (Murom, Russian Federation) – Graduate Student, Department “Technology of Machine Building”, Murom Institute (branch) of Vladimir State University; e-mail: catherine.b2011@yandex.ru