

УДК 621.81

Опытная оценка влияния магнитной обработки на износостойкость инструментальных сталей

Зелинский В.В., Борисова Е.А.

В статье приводятся результаты экспериментального исследования влияния импульсной магнитной обработки на износ образцов сталей, применяемых для режущих инструментов. Особое внимание уделено методологическому аспекту моделирования изнашивания при резании, для чего использовались научные основы трибологии, позволившие обеспечить наибольшее соответствие реальным условиям резания по виду изнашивания и контактными параметрам. Приведено описание условий опытов и конкретных методик экспериментов, с использованием которых получены новые зависимости по влиянию магнитной обработки на износ исследуемых сталей. Варьируя одним из факторов магнитного поля – количеством импульсов, удалось выявить его существенное влияние на величину износа с установлением оптимального числа импульсов. Предложена новая интерпретация эффекта снижения износа, основанная на создании устойчивой к адгезии поверхностной структуры в виде многоэлектронной системы. Ее защитные функции реализуются за счет нормируемого распределения энергии остаточного магнитного поля и диссипируемой энергии трибоконтактных явлений.

Ключевые слова: магнитная обработка, образец, трение, износ, сталь, импульс, трибосистема.

Experimental estimation of magnetic treatment effect on tool steels wear resistance

Zelinskiy V.V., Borisova E.A.

The article presents the results of an experimental study of magnetic-impulse processing effect on the wear of steel samples used for manufacturing cutting tools. Particular attention is paid to the methodological aspect of wear simulation in cutting process. Scientific basics of tribology are used, which provide maximum conformity with the actual cutting conditions in terms of wear and contact parameters. The description of experimental conditions and specific experimental methods are presented. They are used for obtaining new data on the effect of magnetic treatment on the wear of steels under study. Varying one of the factors of the magnetic field, that is the number of impulses, it's possible to find out its significant effect on the wear value along with specifying the optimal number of impulses. A new interpretation of the reduction wear effect is presented. It is based on the adhesion-resistant surface secondary structure of a multiple-electron system. Its safety features are realized by the normalized energy distribution of the residual magnetic field and dissipated energy of tribocontact phenomena.

Keywords: magnetic treatment, sample, friction, wear, steel, impulse, tribosystem.

Введение

Среди способов повышения износостойкости металлообрабатывающего и деревообрабатывающего инструментов являются перспективными физические методы, например, импульсная обработка магнитным полем (ОМП) с использованием относительно слабых магнитных полей до 800 кА/м (10^4 э). Однако из-за многофакторности метод слабо изучен, в ряде условий результаты не воспроизводятся и иногда противоречивы. Меха-

низм и закономерности влияния на износостойкость также изучены недостаточно. Все это препятствует правильному управлению получаемым эффектом и сдерживает широкое практическое применение метода.

В соответствии с научными подходами в трибологии изучение таких проблем начинают с установления доминирующего вида изнашивания в изучаемой системе материалов и условий. Авторами проводилось разностороннее изучение опыта эксплуатации и экс-

периментальных исследований по изнашиванию большой номенклатуры инструментов с учетом технологических и конструктивных факторов. В результате установлены [1] преобладающий вид и причины изнашивания режущих инструментов, выявлены причинно-следственные связи и соотношение общего износа инструмента с причинами его возникновения. Выявлено, что доля причин изнашивания адгезионной природы может составлять до 85%. Поэтому, с учетом существенного (до 3,5 раз) снижения износа инструментов после ОМП, выдвигается гипотеза о противоадгезионной природе этого метода.

Целью данной работы является исследование влияния импульсного режима ОМП на величину износа в трибосистеме инструментальный материал-обрабатываемый материал при адгезионном изнашивании в условиях однофакторного эксперимента.

Оборудование, образцы, условия опытов

Общий подход. Трибосистему без указания ее внутренней структуры можно представить в виде «черного ящика», имеющего входы – *внешние факторы* и выходы – *характеристики трибопроцесса*.

В данном исследовании основными внешними факторами являются

1) *факторы трибосистемы* – контактное давление, скорость скольжения, характеристики взаимодействующих материалов и среды и др.;

2) *факторы магнитного поля* – уровень напряженности, количественный и временной режим импульсов воздействия, расположение инструмента относительно излучателя поля и др. В опытах все факторы трибосистемы принимались постоянными, а переменным был принят лишь один из факторов магнитного поля – количество импульсов воздействия полем.

Основной характеристикой трибопроцесса в ходе однофакторных экспериментов была

принята величина износа инструмента, как наиболее важный для практики показатель эффективности ОМП.

Оборудование. Для намагничивания применялась установка, состоящая из силового блока, блока управления и излучателя магнитного поля напряженностью 400 кА/м. Блок управления обеспечивал регулируемую длительность воздействия магнитным полем – импульс с фиксированной паузой. Для моделирования процесса изнашивания использовалась модернизированная машина трения типа МИ, предусматривающая испытания по схеме трения «ролик-образец».

Образцы. Для изготовления режущих инструментов используется устоявшаяся номенклатура сталей, из которых были выбраны быстрорежущая сталь Р6М5 и легированная сталь ХВГ. Образцы сталей до проведения ОМП подвергались закалке по соответствующим технологиям.

В испытаниях на изнашивание образцы исследуемых сталей являлись неподвижными и имели форму прямоугольной призмы с размерами 5×5×15 мм. Торцы призмы являлись поверхностью трения. Это обеспечивало достаточно малую площадь контакта, сохраняющейся постоянной по мере изнашивания, что позволяло в процессе испытаний при постоянной внешней нагрузке поддерживать неизменным контактное давление. Эта особенность методики испытаний весьма важна, так как контактное давление является важнейшим из факторов, влияющих на величину износа.

Контртелом в испытаниях являлись подвижные образцы-ролики диаметром 40 мм из конструкционной стали 40Х. Ролики подвергались закалке до твердости 48-49 НРС. Цилиндрические поверхности роликов, обработанные чистовым точением, являлись поверхностями трения.

Оценка износа. Величина износа образцов оценивалась по убыли веса, устанавливаемой

взвешиванием на лабораторных аналитических весах. Поскольку важной являлась оценка влияния ОМП на износостойкость образцов изучаемых сталей, то износ измерялся только у неподвижных образцов-призм. При этом принималось во внимание, что величина износа роликов не связана с износостойкостью неподвижных образцов, а отражает истирающую способность последних и износостойкость самих роликов.

Выбор опытной нагрузки. Как отмечалось выше, причиной около 85% величины общего износа инструмента при резании является адгезионное схватывание поверхностей. Важнейшим условием возникновения схватывания является наступление текучести вершин микронеровностей поверхности инструментального материала. Поэтому для максимального приближения условий взаимодействия трущихся поверхностей в процессе лабораторных испытаний к реальным условиям трения при резании опытная нагрузка на образец должна гарантированно обеспечивать на его фактической площади контакта касательные напряжения среза τ_{cp} , соизмеримые по величине с пределом текучести на сдвиг (срез) τ_t испытываемого инструментального материала.

При плоском деформированном состоянии, реализуемом при трении, $\tau_t = 0,5\sigma_t$ (где σ_t - предел текучести материала поверхностного слоя под действием нормальной нагрузки). В приближенных расчетах за предел текучести материала поверхностного слоя принимают числа твердости НВ. Их значения получали с помощью стандартной таблицы соотношений между числами твердости, полученными различными методами.

По Горячевой И.Г. и Демкину Н.Б. [2] фактическая площадь контакта в большинстве случаев трения составляет около 5% от контурной площади контакта. В условиях опытов контурная площадь равна номинальной, определяемой внешними размерами поверхности трения.

На основании изложенного и проведенных расчетов, а также с учетом недопустимости перегрузки и приближенности расчетов, уровень опытной нагрузки для всех образцов был принят равным 300 Н.

Методика испытаний на изнашивание. Испытания на машине трения производились при постоянной скорости скольжения. Контролем для каждого образца исследуемых сталей являлся отдельный ролик.

В начале испытания для каждого неподвижного образца производилась приработка. Введение приработочного этапа в испытания в методическом смысле очень важно. За счет приработочного износа торцевая поверхность образца-призмы приобретает вогнутость, что обеспечивает полное взаимное прилегание неподвижного и подвижного образцов и постоянство контурной площади контакта, необходимые для стабилизации контактного давления. Кроме того, приработка устраняет путем изнашивания искажения в геометрии контакта, вызванных упругой деформацией держателя образца, устанавливает определенную температуру трения.

Длительность приработки для разных образцов составляла в целом от 30 до 60 минут. После проведения приработки образец-призма взвешивался и установленный вес принимался за исходный. Далее образец закреплялся в первоначальном положении в держателе и вновь нагружался заданной нагрузкой.

Испытания проводились этапами длительностью 30 мин для стали ХВГ и 60 мин для стали Р6М5 с перерывами для определения величины весового износа.

Результаты и их обсуждение

Оценка влияния ОМП на твердость образцов. Воздействия внешним магнитным полем для образцов-призм различались по количеству импульсов от 1 до 7 с длительностью импульсов 2 сек. По одному образцу

каждой стали намагничиванию не подвергались и являлись контрольными.

Исходя из предположения о возможном изменении механических свойств образцов от намагничивания, проводилось многократное измерение их твердости на твердомере Роквелла. Для повышения достоверности результатов образцы предварительно обрабатывались вручную шлифовальной бумагой. Однако для всех сталей не удалось выявить заметного влияния намагниченности на изменение механических свойств поверхности образцов. Режимы намагничивания и средние значения твердости для каждого образца обеих сталей представлены в таблице 1.

Оценка влияния ОМП на величину износа. Анализ результатов экспериментов по изнашиванию на основе построения зависимости величины износа m от длительности трения t , выявил постоянные скорости изнашивания для всех образцов, включая контрольные. В соответствии с принятыми в трибологии признаками классификации видов изнашивания и их трактовкой постоянные скорости изнашивания свойственны адгезионному изнашиванию. Это указывает на взаимное соответствие условий трения в опытах и при резании.

С позиций оценки влияния импульсного режима ОМП на износостойкость образцов наибольший интерес представляют зависимости величины их износа от количества импульсов воздействия магнитным полем (рис. 1). Данные зависимости показывают, что увеличение числа импульсов магнитного воздействия обеспечивает устойчивое снижение величины износа как для стали ХВГ (рис. 1, а), так и для стали Р6М5 (рис. 1, б). При этом для стали ХВГ кратность снижения величины износа наиболее намагниченного образца ($n = 7$) по сравнению с контрольным образцом ($n = 0$) лежит в пределах от 2,9 (при 90 и 120 минутах трения) до 3,6 (при 30 минутах тре-

ния). Для стали Р6М5 кратность снижения износа при намагничивании 7 импульсами по отношению к контрольному образцу ($n = 0$) составляет от 2,42 (при 120 минутах трения) до 2,66 (при 180 минутах трения). Следует отметить, что с увеличением количества импульсов воздействия происходит постепенное ослабление его влияния, предположительно, связанное с магнитным насыщением материала образцов.

Для объяснения результатов рассмотрим функционирование трибоконтакта с намагниченным образцом. Все инструментальные стали являются ферромагнетиками и состоят из доменов с самопроизвольной намагниченностью.

При отсутствии внешнего магнитного поля домены ориентированы беспорядочно и тело в среднем не намагничено. Внешнее магнитное поле ориентирует домены в определенном направлении, отчего и возникает сильная и направленная намагниченность. При снятии внешнего поля из-за магнитного трения ориентация доменов сохраняется и в теле создается остаточная намагниченность с определенным расположением линий напряженности поля.

Основываясь на принципах взаимодействия при трении структурных составляющих сопряженных кристаллических решеток [2], можно предположить, что остаточное магнитное поле образца формирует на его поверхности многоэлектронную систему с измененным энергетическим состоянием, устойчивую к образованию химических связей. Эта система возникает и осуществляет защитные функции за счет нормируемого распределения энергии остаточного магнитного поля и диссипируемой энергии трибоконтактных явлений. Благодаря этому интенсивность явлений адгезионного схватывания в трибоконтакте и, следовательно, образование частиц износа, снижается.

Таблица 1

**Количество импульсов и твердость образцов стали ХВГ(числитель) и стали Р6М5
(знаменатель)**

Количество импульсов n , шт	0 (контрольный образец)	1	2	3	4	5	7
Твердость HRC	55/ 59	55/ 59,5	54/ 58	54,5/ 59	53,5/ -	55/ 59	55/ 58

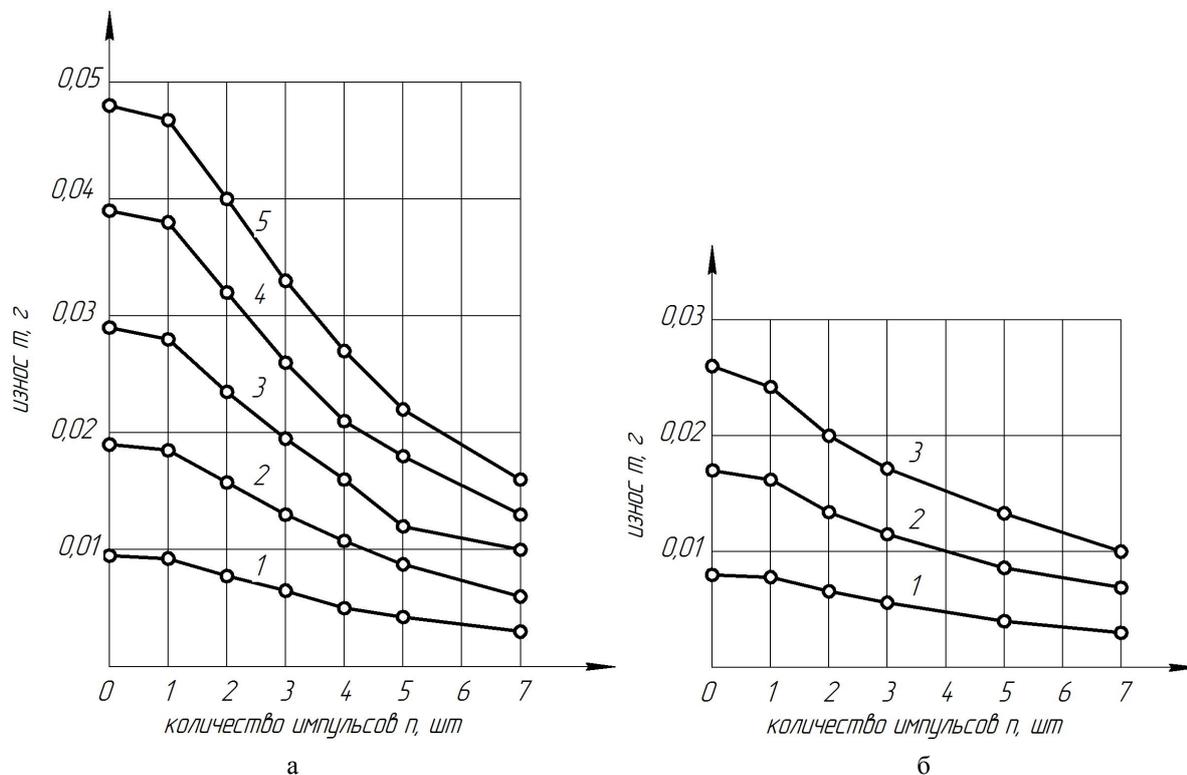


Рис. 1. Зависимость величины износа от количества импульсов магнитного воздействия n и длительности трения t ; а – сталь ХВГ (1 – $t = 30$ мин, 2 – $t = 60$ мин, 3 – $t = 90$ мин, 4 – $t = 120$ мин, 5 – $t = 150$ мин), б – сталь Р6М5 (1 – $t = 60$ мин, 2 – $t = 120$ мин, 3 – $t = 180$ мин).

Заключение

В проведенном исследовании получены результаты, которые могут быть полезны при разработке научно обоснованной технологии ОМП для повышения износостойкости режущих инструментов из сталей ХВГ и Р6М5, так как установлено следующее.

1. Изучаемые стали предрасположены к повышению износостойкости применением ОМП и кратность снижения износа в условиях проведенных экспериментов составила для стали ХВГ от 2,9 до 3,6, для стали Р6М5 – от 2,42 до 2,66.

2. Предложена новая интерпретация эффекта снижения износа в результате магнитной обработки и установлен один из режим-

ных факторов влияния - количество импульсов воздействия магнитным полем с оптимальным значением 6...7.

Литература

1. Зелинский В.В. Борисова Е.А. Установление преобладающих видов и причин изнашивания режущих инструментов // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, № 2, 2012, – С. 55-60.
2. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун и др.; Под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.

References

1. *Zelinskiy V.V., Borisova E.A.* Identification of the predominant species and causes wear of cutting tools // *Engineering and Life*, 2012, № 2. – P. 55-60.
2. Friction, wear and lubrication (Tribology and Tribotechnics) / *A.V. Chichinadze, E.M. Berliner, E.D. Brown.* Ed. A.V. Chichinadze. – Moscow: Mashinostroenie, 2003. – 576 p.

Статья поступила в редакцию 15 июля 2013 г.

Зелинский Виктор Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром, Россия. E-mail: selvik46@yandex.ru

Борисова Екатерина Александровна – аспирант кафедры «Технология машиностроения» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром, Россия. E-mail: catherine.b2011@yandex.ru

Zelinskiy Viktor Vasiljevich – Ph.D., Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia. E-mail: selvik46@yandex.ru

Borisova Ekaterina Aleksandrovna – Graduate student, Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia. E-mail: catherine.b2011@yandex.ru