УДК621.793

А. В. Рутковский, канд. техн. наук., старш. науч. сотр.,
А. Ю. Кумуржи, асп.

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ СТАЛИ 40Х13 ПОСЛЕ УПРОЧНЕНИЯ МЕТОДОМ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОГО ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ АБРАЗИВНОГО ИЗНАШИВАНИЯ

Институт проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины,
maricom@bigmir.net

Исследования показали перспективность и целесообразность применения ионно-плазменного термоциклического азотирования (ИПТА) для повышения надежности деталей машин и механизмов, работающих в условиях абразивного изнашивания. Применение метода ИПТА позволяет получить упрочненные поверхности, которые обладают комплексом специфических физико-механических и эксплуатационных свойств. Полученные данные об износостойкости упрочненных слоев в условиях абразивного изнашивания свидетельствует о целесообразности применения этого метода для поверхностного упрочнения деталей машин и механизмов.

Введение и состояние проблемы. Повышение надежности конструкционных элементов машин и механизмов является сегодня важной задачей. Одним из направлений ее решения является использование достижений в области диффузионного упрочнения поверхностных слоев, которые обеспечиваются высококачественными технологиями и помогают решать вопросы обеспечения надежности на этапах создания и ремонта в диапазоне эксплуатационных режимов. Для этой цели используется ионное азотирование - эффективный метод упрочняющей обработки деталей из легированных конструкционных сталей: зубчатых венцов, валов, прямозубых, конических и цилиндрических шестерен, муфт, валов-шестерен сложной геометрической конфигурации и др. Однако, в традиционном варианте технология ионно-плазменного азотирования обладает рядом существенных недостатков: высокие удельные мощности потребления электроэнергии на 1кг изделия, а так же относительно длительный цикл процесса.

В Институте проблем прочности им. Г. С. Писаренко разработана принципиально новая технология ИПТА, которая основана на следующих академических разработках: теория термической усталости, аномальный массоперенос при механической нагрузке и эффект дискретного энерговвода.

Технология имеет следующие преимущества:

– используется нагрев только поверхностного слоя детали без прогрева ее сердцевины. Нагрев происходит за счет энергии тлеющего разряда, поэтому нет необходимости использовать печи;

– циклические нагревы и охлаждения детали создают термические напряжения в поверхностном слое, что в 2–3 раза ускоряет диффузионные процессы и соответственно сокращается время обработки;

– форма и размеры детали и чистота ее поверхности остаются без изменений, поэтому не нужна финишная механическая обработка;

– сокращение длительности обработки, циклический характер скоростного дискретного энерговвода и нагрев только поверхностного слоя сокращают затраты электроэнергии до 10 раз.

Технология ионно-плазменного термоциклического азотирования защищена патентами Украины и не имеет аналогов в отечественной и мировой практике.

Предварительные промышленные испытания подтвердили возможность замены газовой азотации и цементации на ИПТА в смеси азота и аргона.

Основными потребителями оборудования и технологии ионно-плазменного азотирования являются автомобильные, тракторные, авиационные, судостроительные и судоремонтные, машино- и станкостроительные заводы, заводы по производству сельскохозяйственной техники, насосного и компрессорного оборудования, шестерен, подшипников, алюминиевых профилей, энергетических установок и др.

Среди различных видов изнашивания деталей машин и механизмов наиболее распространенным и быстро протекающим является абразивное изнашивание, при котором разрушение поверхностного слоя деталей осуществляется твердыми частицами, находящимися в различных состояниях и по-разному воздействующими на материал [1–3].

Абразивное изнашивание вызывает почва, грунт, зола, пыль, попавшая на поверхность трения, продукты износа, в особенности выкрошившееся частицы твердых структурных составляющих.

Абразивному изнашиванию подвержены детали гусеничного хода различной техники, сельскохозяйственных, дорожно-строительных, горных, транспортных, металлургических и других машин, агрегаты и оборудование, выполненные из металлов, сплавов, композиционных материалов, защитных покрытий, полимеров, керамики [4; 5; 6; 7].

Распространенность абразивного изнашивания обусловлена не только тем, что многие детали по характеру выполняемых функций неизбежно соприкасаются с материалами, способными вызывать абразивный процесс изнашивания. Абразивный износ подавляет менее интенсивные процессы изнашивания деталей и в тех случаях, когда контакт с посторонними твердыми частицами не связан с работой техники, а обусловлен загрязненностью среды. Часто крайне сложно исключить загрязненность твердыми частицами окружающего воздуха, воды, горюче-смазочных материалов, различных технологических сред, контактирующих с трущимися поверхностями деталей машин.

Расходы на восстановление деталей машин в результате износа огромны и они ежегодно увеличиваются. На симпозиуме, проведенном в США по вопросу снижения износа в технике [6], общее мнение свелось к тому, что управление изнашиванием является центральным звеном в решении таких национальных проблем, как экономия энергии, сокращение расходов материалов, обеспечение надежности и безопасности механических систем. На симпозиуме также отмечалось, что для промышленности США за счет эффективного внедрения результатов триботехники в практику экономия может составить более 16 млрд. дол.

Проблема износостойкости актуальна и для Украины, и прежде всего, в связи со значительным износом оборудования и техники, отсутствием средств на его восстановление и реконструкцию.

Многообразие факторов и их неоднозначное влияние на интенсивность абразивного изнашивания затрудняют разработку универсальных методов защиты от износа.

Вопросам абразивного изнашивания различных материалов посвящено много исследований [1–3; 6–8 и др.], результаты которых показали, что механизм абразивного изнашивания достаточно сложен. Представление о нем, как о простом царапанье металла абразивными частицами, ведет к ошибочным конструктивным и технологическим решениям в части выбора материала или покрытия и метода упрочнения.

На интенсивность абразивного изнашивания большое влияние оказывают форма, твердость и геометрические размеры абразивных частиц, нагрузка, скорость перемещения, физико-механические свойства изнашиваемой поверхности, ее структурное состояние и многие другие факторы. Не всякие структурные изменения отражаются на абразивной износостойкости металла.

Характерно, что для одних металлов абразивная износостойкость после пластической деформации изменяется, а для других – не изменяется, что свидетельствует о двойственном влиянии деформационных процессов на характер и кинетику абразивного изнашивания, о чем подчеркивается в работе [8].

Анализ механизма абразивного изнашивания свидетельствует о том, что однозначного ответа о роли внешних и структурных факторов не существует. Разнообразие этих факторов, а также их неоднозначное влияние на процессы абразивного изнашивания затрудняют разработку универсальных методов защиты от износа.

Многолетний опыт эксплуатации машин и механизмов показал, что подавляющее большинство всех неисправностей и отказов возникают вследствие недопустимого большого износа деталей и узлов, обусловленного повреждением поверхностей трения. При эксплуатации деталей и агрегатов с попаданием абразивных материалов, в трибоузлы ресурс их значительно сокращается. Большинство изношенных деталей восстанавливается различными методами, однако значительная часть их бракуется по причине повышенного износа и отсутствия технологии их восстановления.

Постановка задачи. Качество и надежность деталей узлов трения эффективно обеспечивается применением, как защитных покрытий, так и формированием упрочненных поверхностных слоев, толщина которых измеряется от долей микрометров до нескольких миллиметров. Защита тонкого поверхностного слоя дета-

ли позволяет сэкономить дорогостоящие легированные стали, цветные металлы и другие дефицитные материалы.

Цель работы – изучение влияния методов ионно-плазменного азотирования поверхности стали 40Х13 на интенсивность абразивного изнашивания

Методика исследований. Для формирования диффузионных слоев методом вакуумного ионно-плазменного термоциклического азотирования использовалась разработанная в Институте проблем прочности им.Г.С.Писаренко НАН Украины универсальная установка «ВИПА-1» (рис.1).

Рис. 1. Общий вид установки «ВИПА-1»

Технологические параметры формирования упрочненных слоев: температура термоциклирования – 550 ± 30 ºС, давление – 25–150 Па, время обработки – 10 часов, соотношение реакционных газов – 80 % Ar + 20 % N_2; для сравнительной оценки образцов, обработанных термоциклическим режимом, были использованы образцы, обработанные изотермическим способом (постоянная температура 550 ºС). В качестве подложки использовали образцы из стали 40Х13 размером 30×30 мм и толщиной 10 мм.

Упрочнение поверхностей образцов происходило равномерно по всему периметру (рис. 2), что должно обеспечивать равномерную толщину диффузионного слоя.

Рис. 2. Образец в камере установки

Испытание покрытий на износостойкость проводили на экспериментальной установке (рис. 3) [9] в соответствии с ГОСТ 23.208-79, который совпадает с американским стандартом АСТМ С 6568. Процесс трения моделировался в присутствии свободного не жесткозакрепленного абразива.

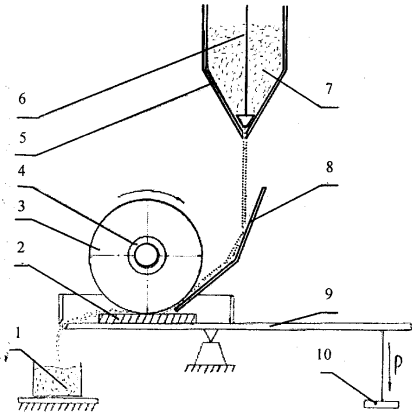

Рис. 3. Внешний вид и схема установки на абразивное изнашивание: *1* – бункер для отходов абразива; *2* – образец; *3* – резиновый ролик; *4* – головка для рулона; *5* – бункер для свободного абразива; *6* – рычаг для регулирования скорости подачи абразива; *7* – свободный абразив; *8* – желоб для подачи абразива; *9* – рычаг для регулирования нажима; *10* – груз

Образцы изнашивались свободным абразивом, увлекаемым резиновым роликом на поверхность трения. В качестве абразива использовался кварцевый песок (SiO_2) зернистостью 200…250 мкм. Перед испытанием абразив просушивали (влажность не превышала

0,16%). Износ замеряли весовым методом на аналитических весах АДВ-200 с точностью до 0,0001 г. До и после испытаний образцы промывали в этиловом спирте, просушивали и взвешивали. Эксперимент проводили при скорости скольжения 0,158 м/с, нагрузке 20 кг (при плече 272 мм) и пути трения 100 м.

Дополнительно исследования проводились в средах: вода + кварцевый песок, влажная соль + кварцевый песок. Зернистость кварцевого песка и условия проведения экспериментальных исследований соответствовали предыдущим.

Для сравнения на износостойкость испытывались образцы из стали 40Х13, как не упрочненные, так и после обработки (рис. 4). В качестве абразивных сред использовались: *1* – кварцевый песок, *2* – вода + песок, *3* – влажная соль + песок.

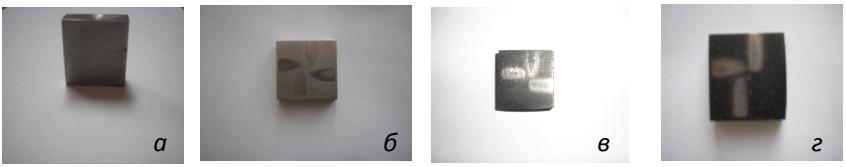

Рис. 4. Общий вид образца № 1 до испытаний (*а*) и образцов № *1*, *2*, *3* после испытаний (*б, в , г*)

Результаты исследований. Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице и на рис. 5, 6, 7.

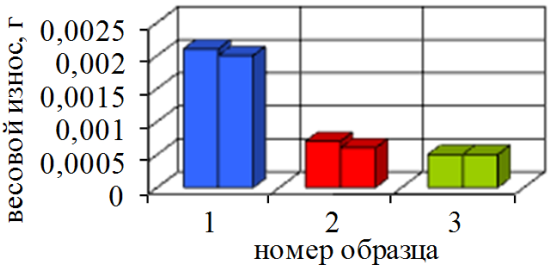

Рис. 5. Весовой износ образцов в песке: *1* – без упрочнения; *2* – термоциклический режим азотирования; *3* – изотермический режим азотирования

Таблица

Результаты экспериментальных исследований

№ образца	Обработка	Весовой износ, гр.	Среда
1	–	0,0021	песок
1	–	0,0020	песок
1	–	0,0014	вода + песок
1	–	0,0013	вода + песок
1	–	0,0015	соль + песок
1	–	0,0016	соль + песок
2	Термоциклич. режим	0,0007	песок
2	Термоциклич. режим	0,0006	песок
2	Термоциклич. режим	0,0004	вода + песок
2	Термоциклич. режим	0,0004	вода + песок
2	Термоциклич. режим	0,0006	соль + песок
2	Термоциклич. режим	0,0006	соль + песок
3	Изотермич. режим	0,0005	песок
3	Изотермич. режим	0,0005	песок
3	Изотермич. режим	0,0007	вода + песок
3	Изотермич. режим	0,0006	вода + песок
3	Изотермич. режим	0,0008	соль + песок
3	Изотермич. режим	0,0009	соль + песок

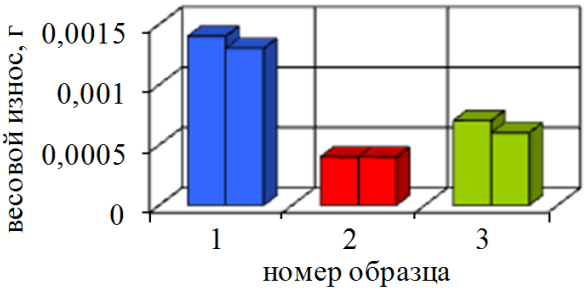

Рис. 6. Весовой износ образцов в среде вода + песок: *1* – без упрочнения; *2* – термоциклический режим азотирования; *3* – изотермический режим азотирования

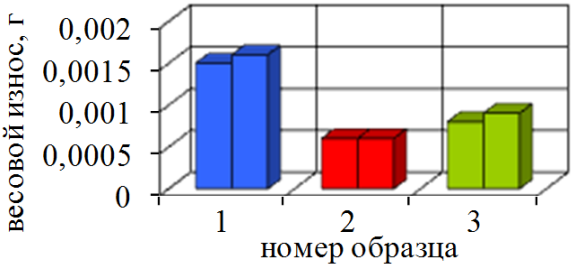

Рис. 7. Весовой износ образцов в среде соль + песок: *1* – без упрочнения; *2* – термоциклический режим азотирования; *3* – изотермический режим азотирования

Таким образом, в результате экспериментальных исследований установлено:

1. Наибольшая интенсивность изнашивания стали 40Х13 без упрочнения.

2. Влияние ионно-плазменного термоциклического азотирования повышает износостойкость стали 40Х13:

– в песке – 3 раза;

– в воде + песок – 3,5 раза;

– в соли + песок – 2,5 раза.

3. Влияние ионно-плазменного изотермического азотирования повышает износостойкость стали 40Х13:

– в песке – 4 раза;

– в воде + песок – 2 раза;

– в соли + песок – 1,7 раза.

4. Наивысшей износостойкостью обладают образцы после обработки в термоциклическим режиме азотирования.

Выводы. Таким образом, образцы, упрочненные предложенной технологией ИПТА, показали повышенную износостойкость (в среднем в 2,5 раза) по сравнению с обработанными изотермическим способом. Проведенные исследования показали перспективность и целесообразность применения ионно-плазменного термоциклического азотирования для повышения надежности деталей машин и механизмов, работающих в условиях абразивного изнашивания.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию параметров технологического процесса формирования

диффузионных ионно-азотированных слоев для повышения их триботехнических характеристик в различных абразивных средах.

Список литературы

1. *Хрущев М. М.* Абразивное изнашивание / М. М. Хрущев, М. А. Бабичев. - М.: Изд-во «Наука», 1970. – 251 с.

2. *Тененбаум М. М.* Сопротивление абразивному изнашиванию / М. М. Тененбаум.- М.: Машиностроение, 1976. – 270 с.

3. *Гаркунов Д. Н. Поляков А.А.* Повышение износостойкости деталей конструкций самолетов. Изд-во 2-е / Д. Н. Гаркунов, А. А. Поляков. – М.: Машиностроение, 1973. – 200 с.

4. *Локай В.И.* Газовые турбины двигателей летательных аппаратов / В. И. Локай, М. К. Максутова, В. А. Струнки. – М.: Машиностроение, 1979. – 350 с.

5. *Ткачев В.Н.* Резервы решения проблемы абразивного износа / В. Н. Ткачев. – М.: Машиностроение, 2002. – 59 с.

6. *Баходур С.* Экономическое значение износа материалов в современном обществе / С. Баходур. – М.: Проблемы трения и смазки, 1978. – №2. – С. 1– 4.

7. *Львов П. Н.* Абразивный износ и защита от него / П. Н. Львов. – М.: Изд-во ВНИИстройдормаш, 1959.

8. *Клейс И. Р.* Износостойкость элементов измельчителей ударного действия / И. Р. Клейс, Х. Х. Уэмыйс. – М.: Машиностроение, 1986. – 160 с.

9. *Кудрин А. П.* Исследование износостойкости упрочненной углеродистой стали в условиях абразивного изнашивания / А. П. Кудрин, В. Ф. Лабунец, О. А. Вишневский. – К.: Вісник НАУ, 2003. – №2. – С. 111– 114.

Рутковський А. В., Кумуржи О. Ю. **Зносостійкість сталі 40Х13 зміцненної методом термоциклічного іонно-плазмевого азотування в умовах абразивного зношування** // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2012. – Вип. 57. – С.240–250. Дослідження показали перспективність і доцільність застосування іонно-плазмового термоциклічного азотування (ІПТА) для підвищення надійності деталей машин і механізмів, що працюють в умовах абразивного зношування. Застосування методу ІПТА дозволяє отримати зміцнені поверхні, які мають комплекс специфічних фізико-механічних та експлуатаційних властивостей. Отримані дані про зносостійкість зміцнених шарів в умовах абразивного зношування свідчать про доцільність застосування цього методу для поверхневого зміцнення деталей машин і механізмів.

Табл. 1, рис. 7, список літ.: 9 найм.

Rutkovskiy A. V., Kumurzhi A. U. **Abrasive wear proofness of 40X13 steel nardened by thermocyclic ion nitriding method**

Investigations have shown promise and usefulness of ion-plasma thermal cycling nitriding of to improve the reliability of machine parts and mechanisms operating in conditions of abrasive wear. Priority is given to hardened layers, which greatly expanded the possibilities of this method by achieving specific set of physical, mechanical and performance properties. The data on the durability of hardened layers in conditions of abrasive wear suggests a promising application of this method for surface hardening of machine parts and mechanisms.

Ключевые слова: ионно-плазменное термоциклическое азотирование, поверхность, абразивный износ, износостойкость.

Стаття надійшла до редакції 29.02.2012