



ПРИМЕНЕНИЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОГО АЗОТИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ляшенко Б.А., Рутковский А.В., Кумуржи А.Ю.

Институт проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины, г. Киев

Разработан метод ионно-плазменного термоциклического азотирования для повышения прочности деталей технологического оборудования. Метод дает возможность: получать слои заданного состава, увеличить твердость стальных деталей до 9-12 ГПа по сравнению с традиционными методами; повысить производительность процесса в 3-5 раза и сформировать поверхностный нитридный слой без микротрещин.

Ключевые слова: метод ионно-плазменного термоциклического азотирования, твердость, износостойкость, прочность.

Постановка проблемы. Повышение надежности элементов машин и механизмов является сегодня основной задачей увеличения ресурса их работы в целом. Одним из главных направлений решения поставленной задачи является использование достижений в области упрочнения поверхности, которые обеспечиваются новейшими энергосберегающими и экологически безопасными технологиями, помогающими решать вопросы модификации поверхности на этапах создания, эксплуатации и ремонта конструкционных элементов оборудования [1].

Анализ последних исследований и публикаций. Одной из предлагаемых технологий, отвечающих современным требованиям, является ионно-плазменное термоциклическое азотирование (ИПТА). ИПТА – эффективный метод упрочняющей химико-термической обработки деталей в вакууме из: легированных конструкционных сталей (шестерен, зубчатых венцов, конических и цилиндрических шестерен, вал-шестерен, шнеков экструдеров, валов, прямозубых, пресс-форм, муфт сложной геометрической конфигурации и др.), чугунов (пресс-формы, валы, шестерни и др.), нержавеющей сталей, титановых сплавов (рис. 1).

В отличие от традиционного вакуумного азотирования предлагаемая технология ИПТА использует газовые среды, в которых отсутствует аммиак, исключено водородное охрупчивание поверхности, технология позволяет упрочнять необходимые участки деталей. Основными потребителями оборудования и технологии ионно-плазменного азотирования являются автомобильные, тракторные, авиационные, судостроительные и судоремонтные, авиа-, машино- и станкостроительные заводы, заводы по производству сельскохозяйственной техники, насосного и компрессорного оборудования, шестерен, подшипников, алюминиевых профилей, энергетических установок и др. [1, 2].

Цель работы – разработать установку ионно-плазменного термоциклического азотирования для повышения прочности технологического оборудования.

Результаты и обсуждение. В Институте проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины разработано принципиально новое оборудование (рис. 2) и технология ИПТА, которая основана на следующих академических разработках: теория термической усталости, аномальный массоперенос при механической нагрузке и эффект дискретного энерговода.

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 энерговода и нагрев только поверхностного слоя сокращают затраты электроэнергии до 10 раз.

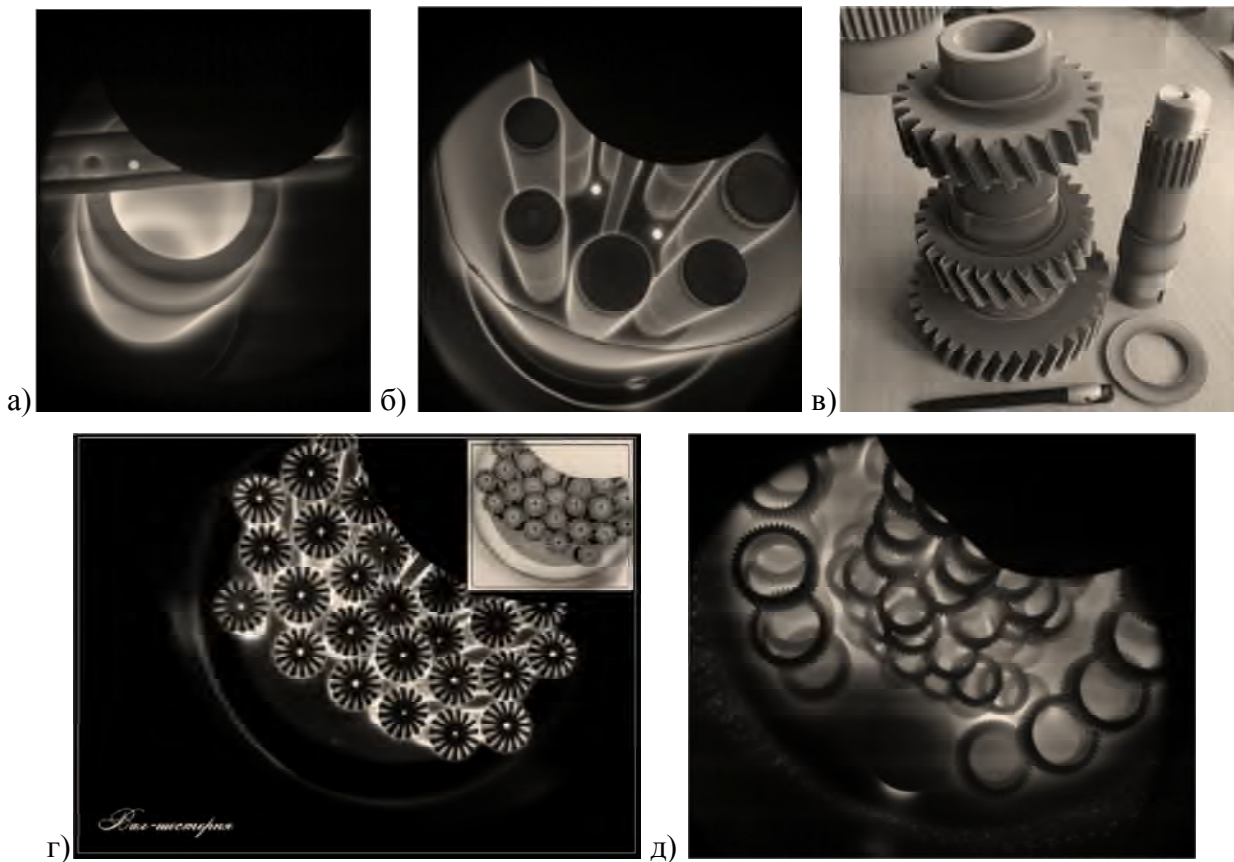


Рисунок 1 – Применение ИПТА для некоторых деталей: а) гильза; б) шпиндель; в) шестерня и вал-шестерня; г) вал-шестерня; д) зубчатые колеса

Технология ИПТА защищена патентами Украины и не имеет аналогов в отечественной и мировой практике [2].

Метод ИПТА основан на изменении напряженно-деформированного состояния поверхности (постоянном накоплении от цикла к циклу положительных изменений в структуре металлов за счет воздействия импульсов короткой длительности и большой амплитуды) реализуется с помощью оригинальной вакуумной установки.

В основе предложенной технологии лежит процесс, связанный с дискретным вводом энергии, возникновением и релаксацией напряжений в обрабатываемом материале (рис. 3а, б) накоплением дефектов кристаллического строения, за счет чего существенно увеличивается кинетика диффузии, приводящая к ее аномальному течению. Вследствие этого создаются условия для перераспределения компонентов в твердом растворе, измельчения фаз, а, следовательно, для повышения твердости, прочности и ударной вязкости.

На диаграммах показаны микронапряжения, возникающие в слое материала (рис. 3, рис. 4). В точке М достигается максимальное значение сжимающих (отрицательных) напряжений. При снижении температуры (рис. 3а) достигаются максимальные растягивающие (положительные) напряжения в точке Q (рис. 3б). Таким образом, можно рассчитать суммирующие значения напряжений в зависимости от температуры в детали (рис. 4). Реализация разработанного метода ИПТА достигается с помощью сформированных импульсов тока (рис. 5а), которые осуществляют дискретный ввод



подводимой энергии. Такое технологическое решение позволяет сократить время нагрева детали (рис. 6) и время процесса диффузионного насыщения поверхности.



Рисунок 2 – Общий вид установки «ВИПА-1»

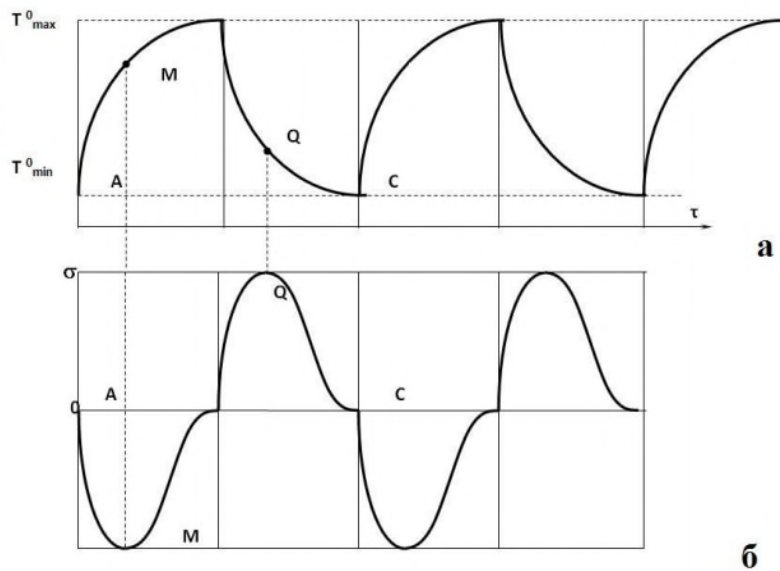


Рисунок 3 – Изменения микронапряжений: б) в поверхностном слое; а) от температурного цикла

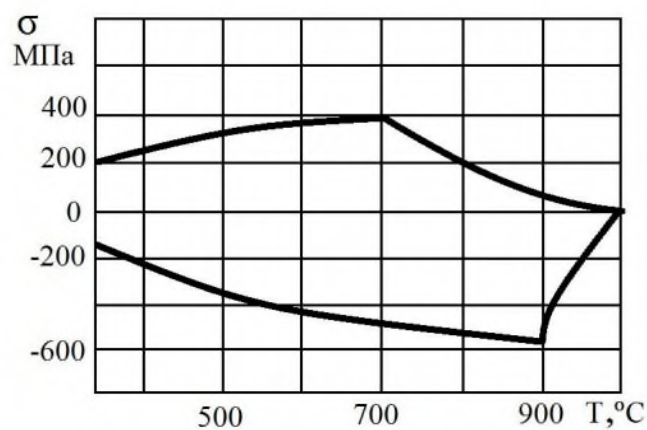


Рисунок 4 – Диаграмма накопления напряжений в основе материала в зависимости от температуры процесса

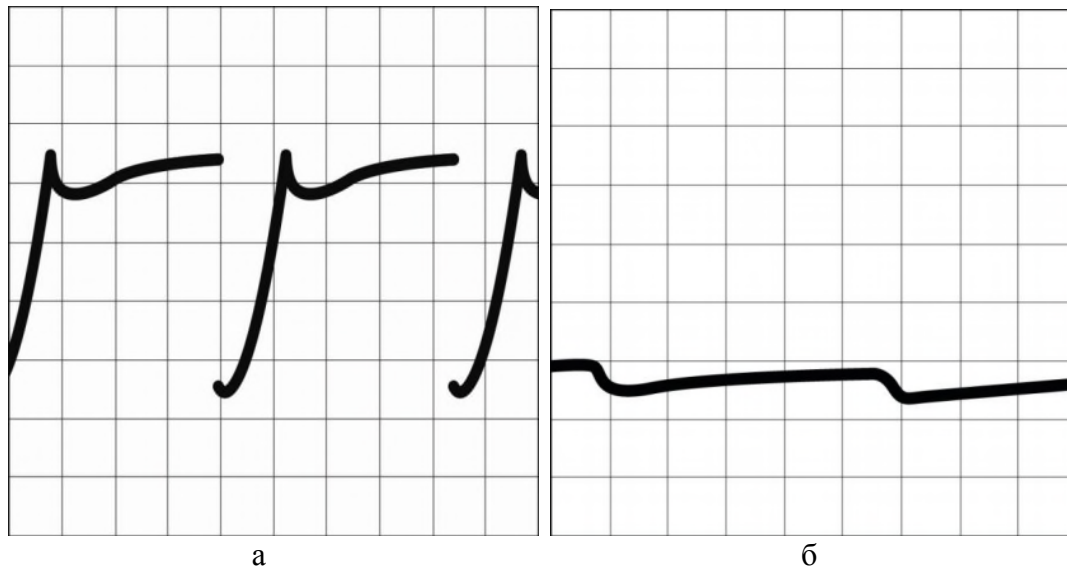


Рисунок 5 – Форма імпульса: а – ИПТА, б – ізотермічний режим ХТО

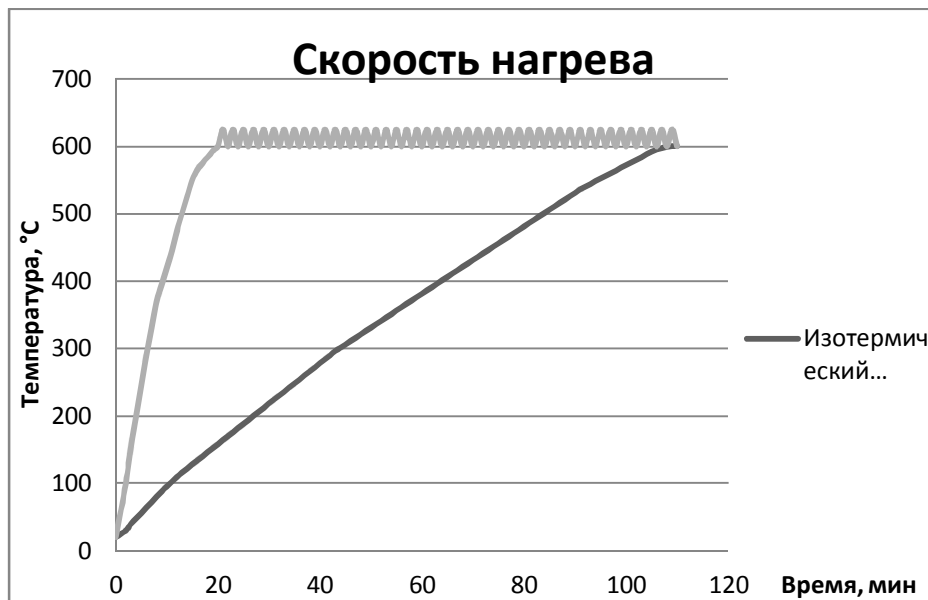


Рисунок 6 – Скорость нагрева образцов методом ионно-плазменного термоциклического азотирования при изотермическом и импульсном режимах

Приведем один из частных примеров использования технологии ИПТА. Ионно-плазменному термоциклическому азотированию подвергались образцы стали 40X13. Использовались два технологических подхода: изотермический и термоциклический.

Азотирование образцов одним и вторым методом проводилось в смеси газов азота и аргона (в соотношении 20-80 %). Время азотирования составляло 360 мин., при рабочем давлении 120 Па. Температура процесса – 550 °С (при изотермическом режиме) и 550±25, 550±50, 550±100 °С (при термоциклическом режиме). Охлаждение образцов проводили в камере при давлении 1,5-2,0 Па.

Экспериментально определено, что применение термоциклического режима более эффективно, чем изотермического (рис. 6). Полученные данные показали, что циклическая обработка в режиме ± 50 °С позволяет достичь максимальной твердости поверхностного слоя (рис. 7), тем самым снизить износ рабочих частей детали при работе в газоабразивных средах и увеличить срок службы в 2-4 раза [3].

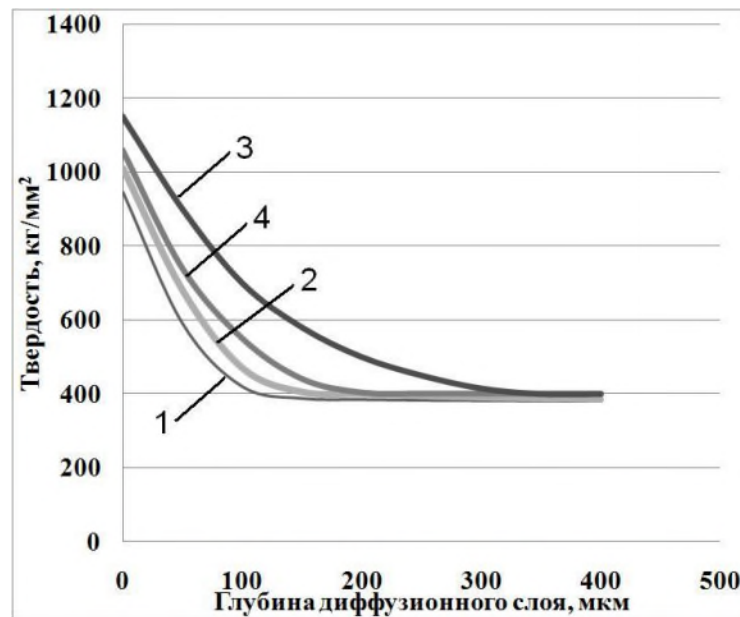


Рисунок 7 – Влияние длительности циклов на глубину диффузионного слоя:
 1 – при изотермической обработке; 2 – при циклировании ± 25 °C; 3 – при циклировании ± 50 °C;
 4 – при циклировании ± 100 °C

Нижче показана ефективність розробленої технології: оброблені образці по технології ИПТА були испытаны на износостойкость и сравнивались с износостойкостью образцов, которые были, обработаны в изотермическом режиме.

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

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 измеряли 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.

В результате экспериментальных исследований (рис. 8) установлено, что наибольшая интенсивность износа наблюдалась у образца без упрочнения. Также выявлено, что обработка методом ИПТА повышает износостойкость стали 40X13 в песке в 3,5 раза, а при изотермическом режиме азотирования повышается износостойкость стали 40X13 в песке – 2 раза. Проведенные испытания показали перспективность и целесообразность применения ионно-плазменного термоциклического азотирования для повышения надежности деталей машин и механизмов,

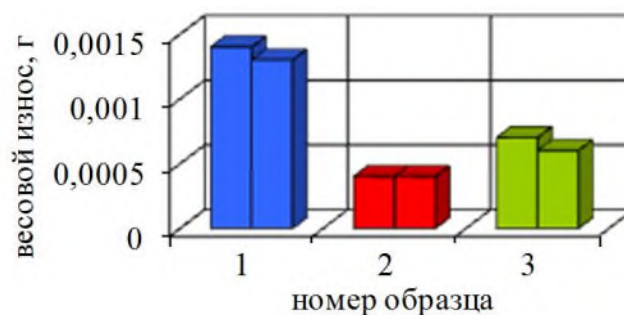


Рисунок 8 – Весовой износ образцов в песке: 1 – без упрочнения; 2 – термоциклический режим азотирования; 3 – изотермический режим азотирования



Выводы. Метод ИПТА дает возможность: получать слои заданного состава, увеличить твердость стальных деталей до 9-12 ГПа по сравнению с традиционными методами ХТО; повысить производительность процесса в 3-5 раза; сформировать поверхностный нитридный слой без микротрещин.

Полученные данные об износостойкости упрочненных слоев в условиях абразивного изнашивания свидетельствует о перспективности применения метода ИПТА для поверхностного упрочнения деталей машин и механизмов, работающих в условиях абразивного изнашивания. Применяв новейшие технологические приемы и изменив комплекс специфических физико-механических и эксплуатационных свойств, были получены материалы с новыми эксплуатационными свойствами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаркунов Д. Н. Повышение износостойкости деталей конструкций самолетов / Д. Н. Гаркунов, А. А. Поляков. – М. : Машиностроение, 1973. – 200 с.
2. Рутковский А. В. Циклическая долговечность титанового сплава BT1-0 с покрытием, полученным методом ионно-плазменного термоциклического азотирования (ИПТА) / А. В. Рутковский, А. Ю. Кумуржи, Я. В. Можеитов. – Полтава : Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво), 2012. – № 2 (32), Т. 1. – С. 208-213.
3. Рутковский А. В. Износостойкость стали 40X13 после упрочнения методом термоциклического ионно-плазменного азотирования в условиях абразивного изнашивания / А. В. Рутковский, А. Ю. Кумуржи // Проблемы тертя та зношування. – 2012. – № 57. – С. 240-250.
4. Кудрин А. П. Исследование износостойкости упрочненной углеродистой стали в условиях абразивного изнашивания / А. П. Кудрин, В. Ф. Лабунец, О. А. Вишнеvский // Вісник НАУ. – 2003. – № 2. – С. 111-114.

Ляшенко Б.А., Рутковський А.В., Кумуржі А.Ю. ЗАСТОСУВАННЯ ІОННО-ПЛАЗМОВОГО ТЕРМОЦИКЛІЧНОГО АЗОТУВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ

Розроблено метод іонно-плазмового термоциклічного азотування для підвищення міцності деталей технологічного обладнання. Метод дає можливість: отримувати шари заданого складу, збільшити твердість сталевих деталей до 9-12 ГПа порівняно з традиційними методами; підвищити продуктивність процесу в 3-5 рази і сформувати поверхневий нітридний шар без мікротріщин.

Ключові слова: метод іонно-плазмового термоциклічного азотування, твердість, зносостійкість, міцність.

Ljashenko B.A., Rutkowski A.V., Kumurzhi A.Yu. THE USE OF ION-PLASMA NITRIDING TEMPERATURE CYCLING TO INCREASE THE STRENGTH OF PROCESS EQUIPMENT

Developed a method of ion-plasma nitriding temperature cycling to increase the strength of parts manufacturing equipment. The method makes it possible: to get the layers of a given composition, increase the hardness of steel parts to 9-12 GPa compared with traditional methods, increase the productivity of the process 3-5 times and form a surface nitride layer without microcracks.

Keywords: method of ion-plasma nitriding temperature cycling, hardness, wear resistance, strength.

Статтю прийнято
до редакції 23.10.2013