

ПОЛУЧЕНИЕ ГЛУБОКИХ АЗОТИРОВАННЫХ СЛОЕВ НА ИЗДЕЛИЯХ ИЗ СТАЛИ 40ХМФА

*Бондаренко С. В., Босяков М. Н., Жук Д. В., Капленко В. С.,
Моисеенко А. Н., Олешук И. Г., Поболь И. Л., Суворова О. Ю.*

Физико-технический институт НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

Перспективным методом упрочнения поверхностных слоев деталей из конструкционных и инструментальных сталей является ионно-плазменное азотирование (ИПА). Применение ИПА позволяет повысить твердость, износостойкость, усталостную прочность обработанных материалов, получать равномерные по профилю детали диффузионные слои с плавно понижающейся твердостью по глубине. Зубчатые колеса, шестерни и валы, ввиду относительно низких температур выполнения процесса упрочнения, практически не подвержены короблению по сравнению с цементованными (нитроцементованными) деталями и используются без дополнительной операции шлифования, что сокращает затраты при их производстве. По сравнению с печным азотированием при ИПА значительно сокращается продолжительность обработки за счет уменьшения времени нагрева и охлаждения садки и исключения промежуточных операций по активации поверхности деталей. ИПА характеризуется высокой экономичностью процесса, связанной с повышением коэффициента использования электроэнергии и сокращением расхода рабочих газов [1].

Имеется большое количество публикаций, посвященных упрочнению этим методом различных сталей. Как правило, исследования проводились на лабораторном оборудовании с объектами небольших габаритов, результаты которых распространить на ионное азотирование крупногабаритных изделий с использованием промышленного оборудования не представляется возможным. Публикации по ИПА деталей с получением упрочненных слоев глубиной до 0,7–0,8 мм на деталях с характерными размерами порядка 1000 мм и более и массой, превышающей 500 кг, практически отсутствуют.

ФТИ НАН Беларуси – единственный изготовитель лабораторного и промышленного оборудования ионно-плазменной химико-термической обработки (ХТО) в странах Восточной и Центральной Европы. Создаются как универсальные установки с возможностью упрочняющей обработки широкой номенклатуры разнообразных изделий из сталей, чугунов, сплавов титана и алюминия, так и специализированное оборудование для ионной ХТО длинномерных либо крупногабаритных деталей [1]. В работе представлены результаты исследований по ИПА таких изделий.

Материалы, оборудование, методики исследований. Конструкционная сталь марки 40ХМФА нашла применение в промышленности для изготовления валов, шестерен, зубчатых колес, штоков, шатунов, работающих при температурах до 400 °С. Из указанной стали в ЗАО «Солигорский институт проблем ресурсосбережения с опытным производством» изготавливают детали вал-шестерня ПКАБ 52.48.03.00.00.003 массой 1126 кг и длиной 2544 мм и колесо ПКАБ 52.48.02.00.00.029 массой 855 кг и диаметром 1490 мм (рисунок 1).

ИПА деталей и образцов-свидетелей из стали 40ХМФА проводили на оборудовании, разработанном и изготовленном в ФТИ НАН Беларуси. Для упрочнения валов использована установка секционного типа с возможностью ИПА изделий длиной до 3000 мм и диаметром до 900 мм. Обработку колёс выполняли на оборудовании для азотирования деталей диаметром до 2000 мм и высотой до 850 мм.



а



б

Рисунок 1 - Вал-шестерня и колесо после проведения ИПА в установках с рабочим пространством высотой 3000 мм (а) и диаметром 2 200 мм (б)

Твёрдость поверхности образцов-свидетелей определяли с использованием универсального твердомера AFFRI URBV-VRS (нагрузка на индентор 30 кг) согласно ГОСТ 2999-75. Для получения распределения микротвердости по глубине применяли цифровой микротвердомер AFFRI-MVDM8 (нагрузка на индентор 100 гс).

Исследования микроструктуры материала после ИПА проводили на оптическом микроскопе МИ-1 с CCD камерой. Для выявления структуры в качестве травителя использовали 4%-ый раствор HNO_3 в этиловом спирте.

Целью работы являлась разработка технологий получения упрочненных слоев толщиной до 0,7–0,8 мм и твердостью до HV 450-650 при ИПА деталей колесо и вал-шестерня из стали 40ХМФА, а также изучение структуры и механических свойств азотированных слоев.

Общая характеристика процесса ИПА. Основными параметрами азотированного слоя являются поверхностная твердость HV, характер распределения микротвердости по глубине и глубина азотированного слоя h . Как правило, в чертеже указываются поверхностная твердость (если не указана нагрузка, то принимается ее значение, равное 30 кгс) и глубина (в большинстве случаев для изделий из конструкционных сталей задается глубина 0,3–0,5 мм).

Для всех подвергаемых упрочняющей обработке материалов твердость азотированного слоя зависит от химического состава стали, в первую очередь от содержания легирующих элементов (Cr, Mo, V); режима подачи рабочих газов; температуры изотермической выдержки (при увеличении температуры твердость азотированного слоя падает); длительности изотермической выдержки (при увеличении длительности твердость азотированного слоя снижается).

Глубина азотированного слоя зависит от химического состава стали, в первую очередь от концентрации С и Ni; режима подачи рабочих газов; температуры изотермической выдержки (при увеличении температуры глубина азотированного слоя увеличивается); длительности изотермической выдержки (при её увеличении глубина азотированного слоя также растет).

Таким образом, для достижения на всех подвергаемых упрочнению сталях требуемых значений глубины и твердости азотированного слоя необходимо изменять режим подачи газов, температуру и длительность изотермической выдержки. Авторами разработаны алгоритмы выбора требуемых параметров процесса обработки для получения необходимых характеристик упрочненных слоев для всех видов используемых сталей.

Твёрдость азотированного слоя легированных сталей определяется концентрацией азота в твёрдом растворе (твердорастворное упрочнение), количеством и дисперсностью выделившихся нитридов легирующих элементов, твердостью основы стали после предварительной термической обработки. Твёрдость материала поверхности стали после азотирования складывается из твердости основы и прибавки за счет растворения азота и образования нитридов легирующих элементов.

Результаты и анализ. Упрочняемые изделия (вал-шестерня и колесо, показанные на рисунке 1) перед азотированием подвергались объемной стабилизирующей термической обработке. ИПА деталей и образцов-свидетелей проводили по следующим режимам:

№ 1 – температура $T = 530$ °С, время выдержки 30 часов, расход рабочих газов: 38 л/ч азота, 5 л/ч водорода и 17 л/ч аргона;

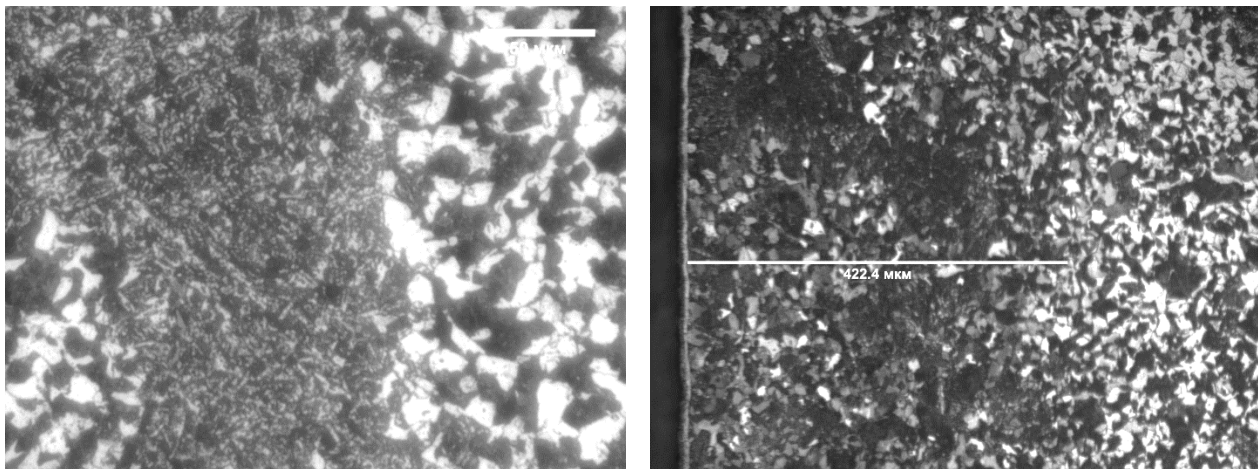
№ 2 – температура $T = 540$ °С, время выдержки 26 часов, расход рабочих газов: 31 л/ч азота, 10 л/ч водорода, 5 л/ч аргона.

На образцах-свидетелях из стали 40ХМФА проводили исследование микроструктуры упрочненного слоя, измерение поверхностной твердости и получали распределение микротвердости по глубине образцов.

В случае ИПА деталей и образца-свидетеля из стали 40ХМФА по режиму № 1 твердость поверхности материала на образце-свидетеле составила HV 610. После ИПА микроструктура сердцевины имела полосчатый характер (рисунок 2 а). Микроструктура упрочненного слоя показана на рисунке 2 б. У поверхности наблюдается светлый нитридный слой толщиной несколько микрометров. За ним располагается более темный диффузионный слой, который представляет собой твердый раствор азота в α -железе с включениями нитридов железа Fe_3N , Fe_4N и нитридов легирующих элементов (хрома, молибдена и вольфрама).

Из-за полосчатости материала сердцевины и особенностей структуры стали 40ХМФА точное определение глубины упрочненного слоя металлографическим методом является затруднительным и в некоторой степени субъективным. Оценка распределения микротвердости на поперечном сечении образцов-свидетелей после ИПА (в соответствии с СТБ 2307-2013 «Поверхностно-упрочненные слои металлических изделий. Методы измерения толщины») является точным методом выявления толщины азотированного слоя. Измерения проводили от поверхности к сердцевине образца с расстоянием между уколами индентора 30 мкм. Распределение микротвердости по глубине упрочненного слоя показано

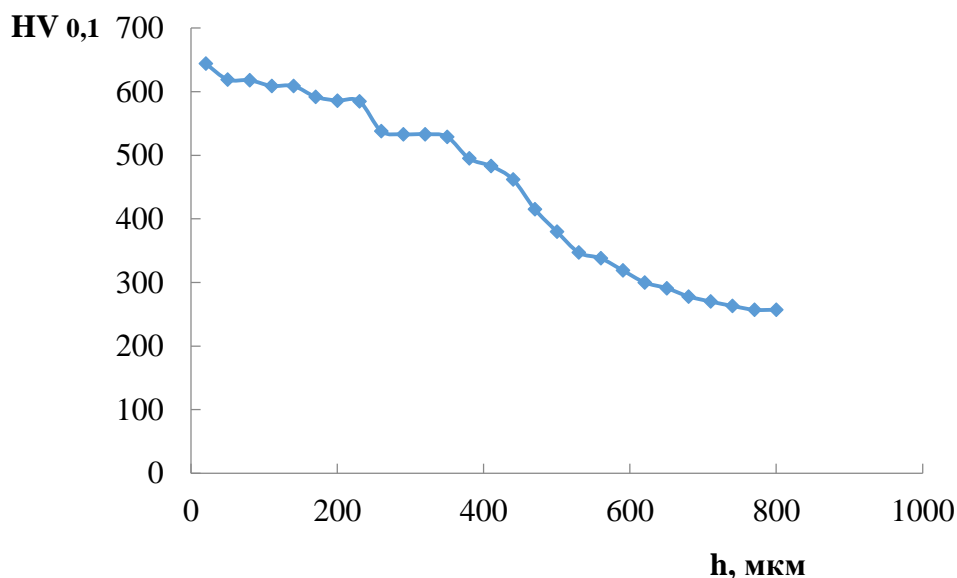
на рисунке 3 а. Микротвердость у поверхности образца составила HV 645, а при переходе к основе HV 270. Распределение микротвердости носит плавный характер. Глубина азотированного слоя достигает 700 мкм.



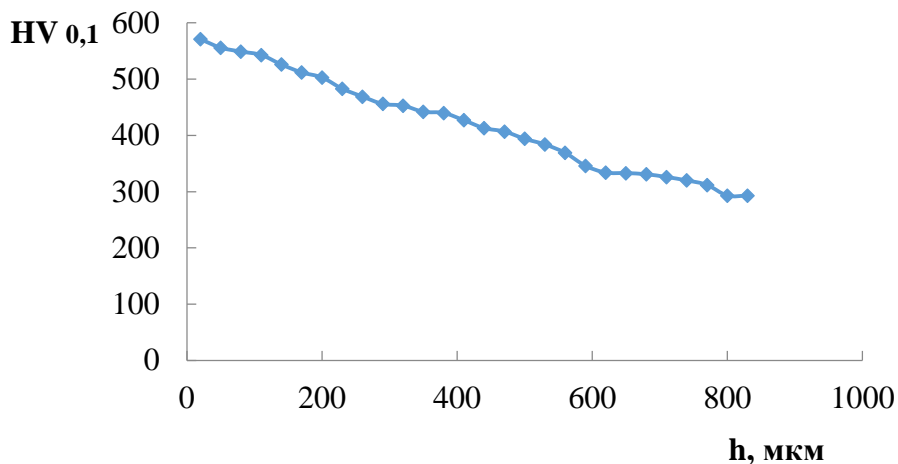
а б
Рисунок 2 – Микроструктура образца-свидетеля из стали 40ХМФА после ИПА по режиму № 1: а – сердцевина; б – азотированный слой

В случае ИПА деталей и образца-свидетеля по режиму № 2 твердость поверхности материала на образце-свидетеле составила HV 540. Микроструктура стали 40ХМФА на образце-свидетеле после ионно-плазменной обработки представлена на рисунке 4. Распределение микротвердости по глубине слоя показано на рисунке 3 б. Микротвердость у поверхности образца составила HV 570, а при переходе к основе HV 312. Распределение микротвердости также носит плавный характер. Глубина азотированного слоя достигает 700–750 мкм.

Таким образом, глубина азотированного слоя на образце-свидетеле из стали 40ХМФА после ИПА по режиму № 1 составила 0,7 мм, поверхностная твердость – HV 610. Глубина азотированного слоя на образце-свидетеле после ИПА по режиму № 2 составила 0,7–0,75 мм, поверхностная твердость – HV 540.

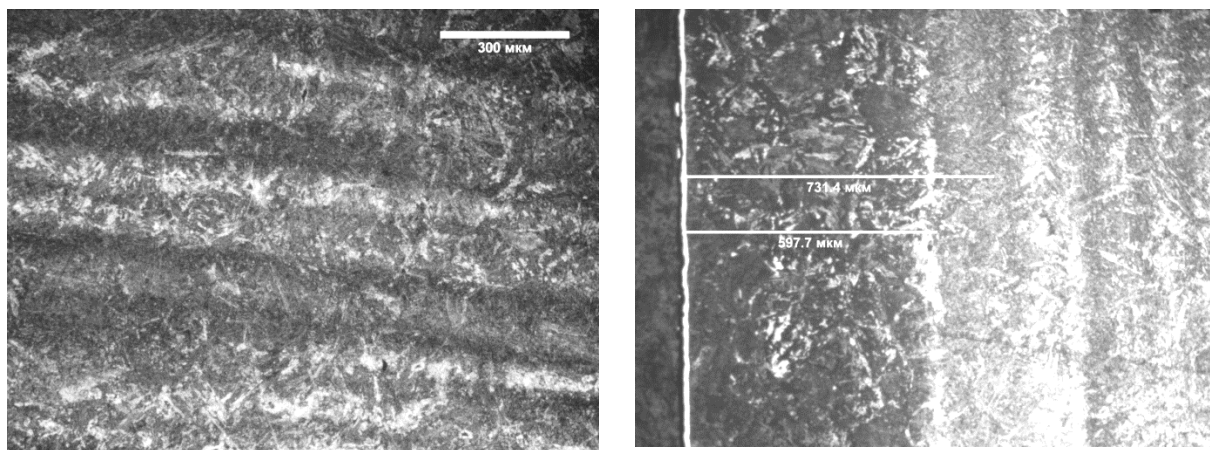


а



б

Рисунок 3 – Распределение микротвердости по глубине образцов-свидетелей из стали 40ХМФА после ИПА: а – по режиму № 1; б – по режиму № 2



а

б

Рисунок 4 – Микроструктура образца-свидетеля из стали 40ХМФА после ИПА по режиму № 2: а – сердцевина; б – упрочненный слой

Конструктивное исполнение разработанного в институте оборудования ИПА и система полностью автоматизированного управления процессом гарантирует достижение идентичных параметров упрочненных слоев на всех участках обрабатываемых изделий, будь то в верхней, средней или нижней частях садки. Практически одинаковые значения имеют твердость стали и глубина азотирования на выступающих элементах деталей и в углублениях на них. Эти параметры контролируются путем анализа образцов-свидетелей, размещаемых в различных зонах садки.

Полученные результаты исследований использованы для разработки технологий ионно-плазменного азотирования деталей для ЗАО «Солигорский институт проблем ресурсосбережения с опытным производством». Упрочненные изделия используются в выпускаемых предприятием насосах для нефтегазовой отрасли и успешно применяются в жестких условиях эксплуатации.

Заключение. С использованием разработанного и производимого в ФТИ НАН Беларуси промышленного оборудования ионно-плазменного азотирования

решаются задачи поверхностного упрочнения широкой номенклатуры деталей с размерами от нескольких десятков до 3000 миллиметров.

На стали 40ХМФА достигается глубина азотированного слоя 0,7-0,75 мм, поверхностная твердость – HV 540-610. Параметры упрочненных слоев в соответствии с требованиями конструкторской документации на изделие регулируются путем выбора температуры, при которой выполняется процесс, длительностью выдержки, расходом рабочих газов (азота, водорода и аргона).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Босяков, М. Н. Научные основы разработки промышленных технологических процессов плазменной химико-термической обработки изделий машиностроения / М. Н. Босяков [и др.]// Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов. – 2021. – Т. 1. – С. 60–80.
2. Теория и технология азотирования / Ю. М. Лахтин [и др.]. – М. : «Металлургия», 1991. – 320 с.

УДК 001.32.100

ИДЕИ И ТРАДИЦИИ, ЗАЛОЖЕННЫЕ АКАДЕМИКОМ БОРИСОМ ЕВГЕНЬЕВИЧЕМ ПАТОНОМ В ИССЛЕДОВАНИЯХ, ПРОВОДИМЫХ АКАДЕМИЧЕСКОЙ НАУКОЙ

Грачев О. А.

Государственное учреждение «Институт исследований научно-технического потенциала и истории науки им. Г. М. Доброва НАН Украины»
г. Киев, Украина

Более полувека ученые Украины искренне гордились своей принадлежностью к этой части советской и украинской интеллигенции. И это было обоснованно уже хотя бы потому, что во главе Национальной академии наук Украины (до 1991 года Академия наук УССР, с 1991 по 1993 – Академия наук Украины), а следовательно всей научной сферы Украины более 58 лет (с 1962 года) был Борис Евгеньевич Патон – выдающаяся личность, великий, всемирно известный ученый и организатор науки.

На протяжении своей более чем столетней истории Национальная академия наук Украины пережила немало крутых политических и экономических поворотов, но речь всегда шла исключительно о том, какой ей быть, чтобы отвечать требованиям времени, направлениям и темпам развития мировой науки, актуальным потребностям экономики, безопасности и социальной сферы общества. Объективный научный исторический анализ вклада Б. Е. Патона в развитие Академии наук в советский и последующий период будет полнее, если кратко изложить становление Академии наук как ведущего научного центра республики в период, который условно назовем «допатоновским».

1. В период создания Академии наук в 1918–1921 годах ее первый президент В. И. Вернадский, имея опыт и знания о преимуществах и недостатках деятельности разных по статусу и принципам организации академий наук в разных странах, сумел убедить всех (а оппонентов и критиков хватало) в необходимости создания государственной сети научно-исследовательских институтов. Ученый