

Образец	Твердость поверхности (HV10/10)	Твердость поверхности, HV
№ 1	470	250
№ 2	430	270

Исходя из результатов проведенных исследований, можно сделать следующие выводы:

1. Результаты исследования подтверждают, что продолжительность ионно-плазменного азотирования (ИПА) оказывает значительное влияние на свойства стали 40X. Образец, обработанный в течение 24 часов (образец № 2), имеет более глубокий азотированный слой, но его микротвердость на поверхности ниже по сравнению с образцом, обработанным в течение 12 часов (образец № 1).

2. Образец № 2 имеет более глубокий азотированный слой (0,65 мм) по сравнению с образцом № 1 (0,25 мм). Это свидетельствует о более интенсивной обработке и более высоком проникновении азота в материал.

3. График распределения микротвердости Образца № 2 имеет более пологий вид по сравнению с результатами образца № 1. Это указывает на более равномерное распределение азота при длительной обработке.

Результаты подчеркивают важность выбора оптимальной продолжительности ИПА в зависимости от конкретных требований и целей улучшения свойств сталей. Более продолжительная обработка может достичь более глубокого азотированного слоя и более высокой микротвердости, но требует более тщательной оптимизации процесса. Таким образом, исследование подтверждает, что ИПА может быть эффективным методом для улучшения свойств сталей; продолжительность обработки играет важную роль в достижении желаемых результатов. Эти выводы могут быть полезными для инженеров и научных исследователей, занимающихся обработкой металлов с целью улучшения их характеристик.

Список использованных источников

1. Босьяков, М. Н. Выбор режима упрочняющей обработки на установках ионного азотирования промышленного типа / М. Н. Босьяков, А. Н. Моисеенко // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : материалы VIII МНТК. — Минск : ФТИ НАН Беларуси. — 2016. — С. 50—58.
2. Будилов, В. В. Технология ионного азотирования в тлеющем разряде с полым катодом / В. В. Будилов, Р. Д. Агзамов, К. Н. Рамазанов // МиТОМ. — 2007. — № 7.
3. Говорун, Т. П. Ионно-плазменное азотирование как один из современных методов поверхностного упрочнения материалов / Т. П. Говорун. — Изд-во СумГУ. — 2011.

УДК 621.983.044

С. В. Матыборский

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь

*Научный руководитель
Е. В. Розогина*

ИОННО-ПЛАЗМЕННОЕ АЗОТИРОВАНИЕ

Введение. На практике бывают ситуации, когда в механизмах прочность металлических изделий любой марки недостаточна для продолжительной работы. Поэтому для увеличения прочности металлических деталей предлагают проводить процесс упрочнения слоев над изделиями. В настоящее время существует много методов упрочнения: нанесение слоев, пластическое упрочнение, термообработка и т. д.

Сейчас в Республике Беларусь набирает популярность новый метод обработки стальных изделий, который называется ионно-плазменное азотирование (ИПА). Данный инновационный метод для Беларуси имеет несколько преимуществ перед остальными методами упрочнения по экономности и экологичности. Физико-технический институт НАН разработал оборудование для осуществления ионно-плазменного азотирования в научно-исследовательских целях. Также ИПА уже используется в промышленности Беларуси.

Цель статьи заключается в представлении данного метода, его процесс, преимущества и недостатки, оборудование и будущие перспективы.

Основная часть. Ионно-плазменное азотирование — это метод химико-термический процесс повышения твердости, прочности и износостойкости поверхности металлических изделий при помощи смеси газов (азот, аргон и водород). Процесс заключается в том, что металлическую деталь помещают в вакуумную камеру, где потом наполняется смесью газов. Между стенками камеры (анодом) и обрабатываемым изделием (катодом) возбуждается электрический разряд. Возбуждение аномально тлеющего заряда

инициирует образование плазмы и, как следствие, активной среды, включающей в себя заряженные ионы, атомы и молекулы рабочей смеси, находящиеся в возбужденном состоянии. Температура плазмы составляет от 400 до 1000 градусов. Низкое давление обеспечивает равномерное и полноценное покрытие детали свечением. Три рабочих газа (азот, аргон и водород) защищают нагретый металл от окисляющей среды и создают активную насыщенную среду [1]. Это приводит к формированию на поверхности металлической детали азотированного слоя, который улучшает поверхностные характеристики металлического изделия (твердость, износостойкость и прочность).

Технологическими факторами, влияющими на эффективность ИПА, являются температура процесса, продолжительность насыщения, давление, состав и расход рабочей газовой смеси, а также плотность тока разряда [2].

Ионное азотирование по сравнению с другими методами имеет следующие преимущества: более высокая твердость поверхности металлических изделий; большую скорость насыщения; возможность проведения регулируемых процессов азотирования; незначительные деформации изделий в процессе обработки и высокий класс чистоты поверхности; большая экономичность процесса, повышение коэффициента использования электроэнергии, сокращение расхода насыщающих газов; экологичность: процесс не токсичен и отвечает требованиям по защите окружающей среды [3]; безопасность процесса из-за отсутствия аммиака, который является взрывоопасным в остальных методах азотирования.

Однако присутствуют и недостатки этого метода. При ионно-плазменном азотировании проявляются трудности упрочнения поверхности отверстий и щелей в обрабатываемых деталях. Как и при других методов азотирования тонкие детали после обработки становятся хрупкими и легко ломаются.

В ФТИ НАН Беларуси проводились эксперименты по упрочнению ионно-плазменным азотированием стальных изделий. Азотированию были подвержены стали марки 38ХМЮА и 40Х. Ионное азотирование образца из стали 38Х2МЮА проводили при температуре 535 °С в течение 13 ч, образцов из стали 40Х — при температуре 515 °С в течение 14 ч. В итоге толщина и микротвердость упрочнённого слоя и стали марки 38ХМЮА составляла 290–330 мкм и HV 750–800, а для стали 40Х — 230–270 мкм и HV 500–590.

Проводились эксперименты на титанов и титановых сплавов (рисунок 1). Например, толщина упрочнённого азотированного слоя для титана VT1-0 составляла 200–220 мкм, для сплава VT6 — 90–100 мкм, для OT4-1 — до 150 мкм. В случае ионно-плазменного азотирования титана VT1-0 повышение содержания азота в смеси с аргоном с 38 % до 50 % микротвердость составляла у поверхности образцов до HV 850 [5].

На сегодняшний день ФТИ НАН Беларуси является монополистом по производству оборудования ИПА для высших учебных заведений и промышленности. Две установки с компьютеризированной системой были выпущены для университетов: они находятся в лабораторных кабинетах БНТУ и БарГУ (рисунок 2).

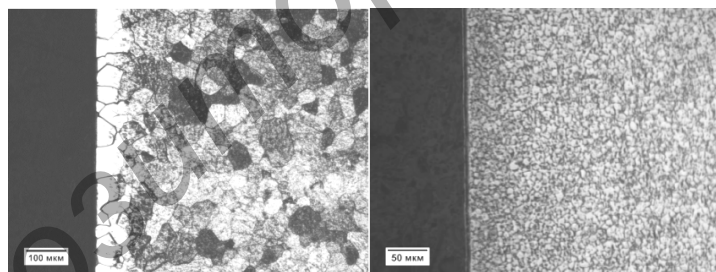


Рисунок 1 — Микроструктура азотированного слоя в образце из титана VT1-0 (слева) и сплава VT6 (справа) после ИПА при температуре 830 °С в течение 6 ч [5]



Рисунок 2 — Лаборатория ионно-плазменного азотирования в БарГУ и установка УА-25-400 / 400

Созданное в стенах ФТИ НАН Беларуси оборудование уже действует на ОАО «БелАЗ», ОАО «МАЗ», ОАО «Гомсельмаш», ОАО «Могилевлифтмаш», УЧНПП «Технолит», АО «Инжиниринговая компания «АЭМ-технологии — АТТОММАШ» госкорпорации «Росатом» (Волгодонск).

На создание производства оборудования ионно-плазменного азотирования деталей машиностроения и инструмента инновационный фонд Мингорисполкома выделил 310 тыс. руб., инновационный фонд НАН Беларуси — 30 тыс. руб., 40 тыс. руб. вложил физико-технический институт. На сегодняшний день средняя стоимость оборудования ИПА в Беларуси составляет 300 тыс. руб. [1].

Заключение. Ионно-плазменное азотирование является перспективным методом упрочнения для промышленности в нашей стране. Собственное оборудование из-за своих преимуществ, в частности экономности, низкой стоимостью и экологичности, позволяет заменить зарубежные аналоги, которые в свою очередь крайне дорогие. Поэтому сейчас большинство наших предприятий (ОАО «БелАЗ», ОАО «МАЗ») имеют установки ионно-плазменного азотирования, разработанные ФТИ НАН Беларуси.

Применение новой технологии и оборудования повышает прочность, износостойкость деталей из различных сталей, чугунов, титановых сплавов. По сравнению с газовым азотированием время обработки деталей и инструмента (валов, шестерен, запорной арматуры, направляющих, зубчатых колес и многого другого) сократилось в 2-3 раза. Расход электроэнергии снизился в 3,5 раза, газов — в 10 раз. Кроме того, с отказом от использования аммиака повысилась экологическая безопасность [1].

Список использованных источников

1. Разработка белорусских ученых вытеснила с рынка зарубежных конкурентов [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://minsknews.by/razrabotka-belorusskih-uchenyih-vyitesnila-s-ryinka-zarubezhnyih-konkurentov/>. — Дата доступа: 07.10.2023.
2. Оборудование и применение ионно-плазменного азотирования для упрочнения деталей машин и механизмов / М. Н. Босьяков [и др.] // Вестник Карагандинского университета серия Физика. — 2013. — № 3. — С. 76—84
3. Ионно-плазменное азотирование легирование стали с применением тлеющего разряда в отсутствии аммиака [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/39788/1/TPU394838.pdf> — Дата доступа: 08.10.2023.
4. *Поболь, И. Л.* Ионное азотирование поверхности отверстий в длинномерных изделиях из сталей / И. Л. Поболь // Вестник Брестского государственного технического университета. — № 4. 2019 — С. 25—30.
5. Исследование влияния состава газовой среды при ионно-плазменном азотировании титановых сплавов на глубину упрочненных слоев [Электронный ресурс] / И. Г. Олешук [и др.] // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф., 12—14 сент. 2018 г. — Минск : [б. и.], 2018 — С. 201—211.

УДК 631.316.4

М. А. Покровский, А. С. Кот

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь

*Научный руководитель
В. А. Дремук*

АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАЗБОР ФОРМ ОКУЧНИКОВ

Введение. Для повышения урожайности сельскохозяйственной продукции необходимо улучшить условия роста растений, обеспечить им необходимое питание и защиту от неблагоприятных факторов, применение окучников является эффективным методом повышения урожайности.

Окучники — это неотъемлемая часть сельского хозяйства, выполняющая ряд важных функций, направленных на обеспечение оптимальных условий для роста сельскохозяйственных культур. В данной статье мы подробно рассматриваются различные формы окучников, их назначение и аналитический разбор данного сельскохозяйственного инструмента. Аналитический разбор форм окучника представляет собой систематическое рассмотрение различных конструкций этого сельскохозяйственного инструмента с целью выявления их преимуществ, недостатков и областей наилучшего применения. В аналитический разбор входит роль формы окучника, а также плюсы применения, специфика работы, адаптация к различным условиям и типам почв и его влияние на водный режим. Окучники являются незаменимым инструментом сельского хозяйства, оптимизирующим условия для роста растений. Их эффективное использование требует аналитического подхода, учитывая разнообразные условия сельскохозяйственного производства. Выбор правильной формы и метода окучивания позволяет достичь наивысших результатов в сельском хозяйстве [2]. Окучники играют важную роль в сельском хозяйстве, выполняя следующие функции:

1. Увлажнение и подкормка: Создавая борозды вокруг растений, окучники способствуют более равномерному распределению влаги и удобрений в почве, что существенно повышает плодородие.
2. Поддержка растений: Конусообразные окучники обеспечивают надежную поддержку отдельным растениям, что особенно важно для высокорослых культур, склонных к оседанию и изгибанию.