

Заключение. В нашей Республике Беларусь созданы наиболее благоприятные условия для развития научно-технической, инновационной деятельности, социально-экономического развития, которые постоянно совершенствуются с целью инновационного, устойчивого развития нашего государства, обеспечения стабильного развития каждой из отраслей экономики, социальной сферы, сохранения исторической памяти, культурного наследия нашей страны, патриотического воспитания населения нашей родной страны.

Список цитируемых источников

1. Стратегия «Наука и технологии: 2018—2040»: утв. постановлением Президиума Национальной академии наук Беларуси, 26 февраля 2018 г., № 17. — 44 с.
2. Информационно-аналитический портал Союзного государства [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://soyuz.by/novosti-soyuznogo-gosudarstva/v-soyuznom-gosudarstve-razrabotana-strategiya-nauchno-tehnologicheskogo-razvitiya>. — Дата доступа: 10.03.2023.
3. Национальное агентство инвестиций и приватизации Республики Беларусь [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://map.investinbelarus.by/preferential-treatments/>. — Дата доступа: 10.03.2023.
4. Интервью: Эксперт о перспективах сотрудничества Беларуси и Китая [Электронный ресурс] // БЕЛТА. — Режим доступа: <https://www.belta.by/economics/view/intervju-ekspert-o-perspektivah-sotrudnichestva-belarusi-i-kitaja-555050-2023/>. — Дата доступа: 13.03.2023.

УДК 621.785.532

И. В. Ковальчук¹, А. В. Малевич²

*Учреждение образования «Барановичский государственный университет»
Барановичи, Республика Беларусь, ¹iluakovalchuk@gmail.com,
²malevich-95@mail.ru*

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ

Статья содержит информацию о процессе ионно-плазменного азотирования, о основных производителях оборудования для ионно-плазменного азотирования в различных странах. Данная статья предназначена для инженеров-материаловедов

© Ковальчук И. В., Малевич А. В., 2023

и исследователей, интересующихся методами поверхностного упрочнения и коррозионной стойкостью металлических компонентов. Также в статье рассматриваются преимущества использования ионно-плазменного азотирования для повышения поверхностной твердости и износостойкости изделий, вопрос применения ионно-плазменного азотирования в промышленности Республики Беларусь и за рубежом.

Ключевые слова: ионно-плазменное азотирование; оборудование; тлеющий разряд; упрочнение поверхности; плазма.

I. V. Kovalchuk¹, A. V. Malevich²

Baranavichy State University, Baranavichy, the Republic of Belarus,

¹ilukovalchuk@gmail.com, ²malevich-95@mail.ru

EQUIPMENT FOR ION-PLASMA NITRIDING

The article contains information about the process of ion-plasma nitriding, about the main manufacturers of equipment for ion-plasma nitriding in various countries. This article is intended for material engineers and researchers interested in surface hardening techniques and the corrosion resistance of metal components. The article also discusses the advantages of using ion-plasma nitriding to increase the surface hardness and wear resistance of products, the issue of using ion-plasma nitriding in the industry of the Republic of Belarus and abroad.

Key words: ion-plasma nitriding; equipment; glow discharge; surface hardening; plasma.

Введение. Большая часть деталей машин работают в условиях износа, циклических нагрузок, коррозии при криогенных или высоких температурах, при которых максимальные напряжения возникают в поверхностных слоях металла, где сосредоточены основные концентраторы напряжения. Газотермическое напыление, наплавка, химико-термическая обработка повышают твёрдость, коррозионную стойкость и, создавая на поверхности благоприятные остаточные напряжения сжатия, увеличивают надёжность и долговечность деталей машин. Кроме того, увеличить прочность и сопротивление усталости можно созданием соответствующих композиций сплавов и технологии обработки [1].

Ионно-плазменное азотирование (ИПА) является предпочтительным процессом обработки поверхности, поскольку оно имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами, такими как цементация, карбонитрация и классическое азотирование. Процесс обработки ИПА происходит при низкой температуре и низком давлении,

что делает его пригодным для обработки широкого спектра материалов практически без деформации или физического повреждения. Кроме того, он обеспечивает хорошие свойства износостойкости и коррозионной стойкости, которые необходимы для различных промышленных изделий.

Оборудование для ионно-плазменного азотирования производится различными производителями, включая ФТИ НАН РБ, Ion Heat, Tratar Group, IonTech, Seal Tech, IonTech, которые предлагает новейшие доступные технологии в оборудовании для ионно-плазменного азотирования. Эти компании специализируются на разработке и производстве оборудования для ионно-плазменного азотирования, которое используется в различных отраслях промышленности для улучшения свойств таких материалов, как металлы, сплавы и керамика. В Беларуси оборудование ИПА применяется на таких крупных машиностроительных предприятиях, как Минский завод колесных тягачей ОАО «МЗКТ», ОАО «БелАЗ», ОАО «МАЗ», ПО «Гомсельмаш», ОАО «Могилевлифтмаш». Многие компании аэрокосмической и автомобильной промышленности используют оборудование ионно-плазменного азотирования для повышения производительности и долговечности своей продукции. Например, GE Aviation использует ионно-плазменное азотирование для повышения усталостной прочности и коррозионной стойкости компонентов авиационных двигателей, а Honda Motor Co. применяет эту технологию для повышения износостойкости шестерен трансмиссии.

Основная часть. Ионно-плазменное азотирование — это процесс обработки поверхности, используемый для улучшения свойств таких материалов, как металлы, сплавы и керамика. Процесс включает использование плазмы, генерируемой из газа, насыщенного азотом, который затем ионизируется с помощью электрического поля для получения ионов азота.

Во время процесса ионно-плазменного азотирования изделие помещается в вакуумную камеру, где применяется электрический заряд высокого напряжения для создания плазмы. Ионы азота из плазмы ускоряются и бомбардируют поверхность металла, проникая в изделие и образуя слой, насыщенный азотом. Этот поверхностный слой, известный как азотированный слой, является твердым, износостойким и может улучшить усталостную долговечность материала. Ионно-плазменное азотирование обычно используется в тех случаях,

когда металлические детали должны выдерживать высокие нагрузки, износ и коррозию.

Оборудование, которое предназначено для проведения процесса ионно-плазменного азотирования обычно состоит из панели управления, вакуумной камеры, высоковольтного источника питания, насосная система для контролирования давления, системы охлаждения и системы подачи рабочих газов. Вакуумная камера является одной из наиболее важных частей машины, так как она обеспечивает подходящую среду для протекания процесса. Камера должна иметь герметичное уплотнение для создания вакуума, подходящего для процесса. Для охлаждения вакуумной камеры используется система водяного или масляного охлаждения, а для подачи азота в вакуумную камеру используется система впуска газа. Конкретный тип и размер оборудования могут варьироваться в зависимости от размера и формы обрабатываемых деталей машин. Правильный выбор и использование оборудования имеет решающее значение для успеха процесса ионно-плазменного азотирования и является ключевым фактором в производстве изделий с модифицированной поверхностью.

Источник питания производит электрический заряд, необходимый для создания плазмы, которая ионизирует газообразный азот и генерирует ионы азота, которые ускоряются и бомбардируют обрабатываемое изделие. Процесс может осуществляться с использованием двух типов источников ионов, которые представляют собой источники плазмы постоянного тока и высоких частот. Источники плазмы постоянного тока способны производить высокоэнергетическую плазму, но требуют высоковольтных источников питания, которые могут быть дорогими и сложными в обслуживании. Источники высокочастотной плазмы, с другой стороны, более экономичны и надежны, но имеют более низкую энергию плазмы, что может ограничивать глубину азотированного слоя. Система нагрева имеет решающее значение для обеспечения контроля температуры в вакуумной камере, что необходимо для обеспечения успеха процесса азотирования.

Панель управления является центральным узлом оборудования для ионно-плазменного азотирования, позволяя оператору контролировать и контролировать весь процесс. Обычно панель включает в себя цифровой дисплей, который показывает температуру и давление в вакуумной камере, скорость потока газообразного азота

и других рабочих газов, настройки мощности электрического заряда, создающего плазму. Для оптимизации процесса ионно-плазменного необходимо тщательно контролировать такие параметры как, температура процесса, давление и состав газовой среды. Обычно предпочтительны более низкие температуры и давление, чтобы предотвратить деформацию и повреждение изделия. Состав газа можно варьировать для достижения различных уровней азотирования.

Ниже приведён перечень изготовителей установок для ионно-плазменного азотирования материалов:

1. *Физико-технический институт НАН Беларуси (ФТИ), Республика Беларусь.* ФТИ занимается как изготовлением оборудования, так и оказанием услуг по ИПА. 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). Некоторые предприятия следом за первой приобретают вторую, а то и третью-четвертую установку ФТИ.

2. *Компания PVA Industrial Vacuum Systems GmbH, Германия.* Компания производит оборудование, которое представляет собой вакуумные системы для осуществления процессов плазменной диффузии, предназначенных для обогащения поверхности детали азотом и/или углеродом с целью повышения износостойкости и коррозионной стойкости. Диффузионные процессы PlaTeG-PulsPlasma®, в частности, PulsPlasma®Nitriding (PPNTM) и PulsPlasma®Nitrocarburizing (PPNCTM), являются экологически чистыми и ресурсосберегающими процессами плазменной диффузии и дают заказчикам многочисленные преимущества по сравнению с традиционными процессами азотирования, в частности, карбонитрацией в солевой ванне или газовым азотированием.

3. *Официальный представитель в России IONITECH Ltd., г. София, Болгария.* IONITECH Ltd. — один из ведущих мировых производителей оборудования для ионно-плазменного азотирования. Компания выпускает широкий модельный ряд ионно-вакуумных установок, способный удовлетворить потребности любого производства.

ООО «ИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» является единственным официальным представителем фирмы IONITECH Ltd. на территории России. За весь период многолетнего сотрудничества с IONITECH Ltd.

наша компания успешно внедрила уже более 40 единиц ионно-плазменного оборудования. Среди наших партнеров ведущие промышленные предприятия России и ближнего зарубежья: ООО «Уралмаш НГО Холдинг», ПАО «Калужский турбинный завод», ПАО «Мотор Сич», ПАО «ГАЗ», АО «ОДК». ООО «ИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» обеспечивает не только поставку и запуск установок, но, что самое важное — осуществляет внедрение технологии упрочнения деталей в производственный процесс предприятия. Ionitech Ltd. является производителем оборудования для плазменного (ионного) азотирования со штаб-квартирой в Китае, и он занимается разработкой передовой технологии плазменного азотирования.

4. *Элан-практик, Российская Федерация.* Компания осуществляет изготовление вакуумных установок для нанесения покрытий на заказ по невысокой цене в Нижнем Новгороде. Все разрабатываемое ими оборудование основано на собственных проектах и решениях в сфере создания магнетронных несбалансированных распылительных систем и реализации технологий ионного азотирования импульсами высокой мощности.

5. *RUBIG GmbH & Co KG Durisolstraße, Австрия.* Компания производит печи и установки для термообработки по индивидуальному заказу. Технология MICROPULS® от RUBIG Industrial Furnaces считается технологией премиум класса в области термообработки.

6. *Changsha Samy Instrument & Equipment Co., Ltd. Кумай.* Компания Changsha Samy Instrument Equipment Co., Ltd. зарегистрирована с 2010 года. После более чем десяти лет развития она стала профессиональной высокотехнологичной компанией, занимающейся исследованиями и разработками, производством и продажей лабораторного оборудования и приборов с собственной интеллектуальной права собственности, независимые бренды и независимые инновационные возможности. Продукция компании широко используется в научно-исследовательских институтах, университетах, банках крови, больницах, биологических продуктах, фармацевтике, биохимических испытаниях, сельскохозяйственных науках, исследованиях в области охраны окружающей среды и нефтехимического производства.

7. *HK furnace 11 # Rd Jiutonglu, Кумай.* Компания производит полную серию промышленных печей, включая печи с выдвижным поддоном, шахтные печи, печи коробчатого типа, печи для отжига, закалочные печи, печи для отпуска, вакуумные печи, печи для азотирования,

печи науглероживания, печи с соляной ванной и другие промышленные печи. Центр исследований и разработок в области термообработки включает в себя более 30 специалистов по термообработке, включая докторантов и магистров, а также нанятых известных университетских профессоров в области термообработки в качестве консультантов.

8. *Beijing Sevenstar Electronics Co., Ltd, Kumaй*. Эта компания специализируется на производстве оборудования для ионной имплантации, источников ионов и другого оборудования для плазменной обработки для различных отраслей промышленности, включая производство полупроводников, солнечных батарей и светодиодов.

Заключение. Таким образом, ионно-плазменное азотирование является универсальной и эффективной технологией улучшения свойств металлических материалов и широко применяется в различных отраслях промышленности. Благодаря наличию передового оборудования и технической поддержки со стороны производителей все больше компаний внедряют эту технологию для получения более качественных и долговечных изделий. Исходя из вышеизложенной информации можно сделать вывод, что ионно-плазменное азотирование применяется в различных отраслях промышленности, а также в многих странах. Номенклатура производителей оборудования для ионно-плазменного азотирования довольно велика. Следовательно, процесс ионно-плазменного азотирования является перспективным и преимущественным в научных исследованиях как Республики Беларусь, так и других стран. После анализа рынка производителей оборудования было выяснено, что Китай так же использует ионно-плазменное азотирование для повышения характеристик металла в машиностроении, производит свои установки для азотирования и проводят научно-исследовательскую деятельность в этой отрасли. Это говорит о хорошем уровне развития этой отрасли в Китае.

Список цитируемых источников

1. *Босяков, М. Н.* Энергетические параметры процессов ионного азотирования на промышленном оборудовании / М. Н. Босяков, А. А. Козлов // Доклады БГУИР. — 2013. — № 3(73). — С. 76—82.