

# Инновационное оборудование и технологии ионного азотирования

К основным средствам высокопроизводительного упрочнения поверхности массовых деталей из сталей и чугунов относятся методы ионно-плазменной химико-термической обработки (ХТО), прежде всего ионного азотирования. В 2005 г. учеными ФТИ НАН Беларуси было разработано требуемое для их реализации оборудование. Оно до сих пор используется в ОАО «МЗКТ». Затем на протяжении нескольких лет эту технологию «распробовали» еще на ряде предприятий: ОАО «Гомсельмаш», «МАЗ», «Могилевлифтмаш», УЧНПП «Технолит» (г. Могилев), ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством».

В 2014 г. специалисты ОАО «БЕЛАЗ» приобрели установку ионного азотирования для выполнения упрочняющей обработки серийных тяжелонагруженных шестерен, а по прошествии 9 лет заказали у института еще один комплекс, предъявив максимально высокие требования не только к его технологическим возможностям, но и к дизайну. Эти требования были выполнены, и в 2024 г. оборудование введено в эксплуатацию. Оно имеет 3 независимые зоны внешнего нагрева, автономные системы получения азота и водорода, а также систему ускоренного охлаждения упрочненной садки деталей.

В 2025 г. начнется использование установки ионной ХТО в ОАО «СтанкоГомель».

Важно отметить, что по заказам университетов страны – БарГУ

и БНТУ – созданы еще 2 полупромышленные установки ионной ХТО. На них выполняются обучение, экспериментальные исследования студентов, магистрантов, аспирантов, а также оказываются услуги по упрочняющей обработке заказчикам.

В Физико-техническом институте заложены научные основы разработки ресурсосберегающего оборудования и технологий ионной химико-термической обработки деталей из сталей, чугунов, титановых сплавов для машиностроения, инструментального производства, сельскохозяйственной техники. Они позволяют повысить стабильность результатов упрочнения, в 3–4 раза сократить затраты и длительность изготовления изделий по сравнению с традиционными методами ХТО.

Принцип ионной ХТО заключается в том, что в разряжен-

ной, при давлении 150–1000 Па, газовой среде, содержащей азот или углерод, между катодом (деталью) и анодом (стенками вакуумной камеры) возбуждается аномальный тлеющий разряд, образующий активную среду (ионы, атомы, возбужденные молекулы), формирующую упрочненный слой. Нагрев деталей до требуемой температуры в диапазоне 350–600 °С обеспечивается тлеющим разрядом.

Отличительной особенностью технологий ионного азотирования на создаваемом в ФТИ НАН Беларуси промышленном оборудовании является управление химической активностью разряда и величиной рабочего давления в зависимости от площади поверхности деталей обрабатываемой садки и температуры азотирования. По мере увеличения площади давление снижается



ОАО «БЕЛАЗ» (оборудование поставлено в 2015 и 2024 гг.), проводится обработка зубчатых колес

для обеспечения аномально-сти разряда. А для сохранения химической активности разряда доля азота в составе смеси увеличивается, чтобы сохранить постоянную плотность потока газа независимо от суммарной упрочняемой площади. Такой подход позволяет воспроизводить результаты обработки независимо от степени загрузки камеры, что особенно актуально в условиях серийного выпуска изделий.

Управление установкой и контроль за ходом процесса осуществляется автоматически по заданной программе с использованием

контроллеров и возможностью удаленного доступа.

Регулирование строения азотированного слоя при ионной ХТО достигается изменением плотности потока азота в плазме, поддерживая который на уровне его растворимости в той или иной фазе ( $\alpha$ ,  $\gamma'$ ) можно получать азотированный слой, состоящий только из  $\alpha$ -твердого раствора либо из  $\gamma'$ -нитридного слоя и диффузионного подслоя. Для каждой марки стали существует определенный диапазон значений плотности потока, обеспечивающий предельную концентрацию азота в  $\alpha$ -твердом растворе. При

этом на поверхности не образуется  $\gamma'$ -слой, характеризующийся низкой диффузионной подвижностью в нем азота. Получение его предельной (по растворимости) концентрации обеспечивает ускоренный рост зоны внутреннего азотирования.

После ионной обработки микротвердость поверхности сталей составляет: HV<sub>0,05</sub>–660–1300, глубина упрочненного слоя – 100–800 мкм и соответственно HV<sub>0,05</sub>–750–1100 и 100–150 мкм для титановых сплавов. Свойства материалов зависят от марки сплава (то есть содержания легирующих элементов) и режимов азотирования. Такая обработка способствует значительному повышению износостойкости, сопротивления задиру и усталости изделий. Варьируя состав газа, давление, температуру и время выдержки, можно получать слои заданной структуры и фазового состава.

В ФТИ освоено производство различных типов установок ионной ХТО для упрочнения деталей с размерами от нескольких миллиметров до 3 м, а также по запросу заказчика еще больших габаритов.

Пользователями услуг института по части азотирования, цементации, нитроцементации являются более 200 предприятий страны, оборудование поставлено в Россию – АО «Волгодизельмаш» (г. Балаково), АО «Инжиниринговая компания «АЭМ-технологии» (г. Волгодонск), «Завод БКУ» – филиал ООО «Уралмаш НГО Холдинг» (г. Тюмень). ■



«Завод БКУ» – филиал ООО «Уралмаш НГО Холдинг», г. Тюмень (оборудование используется с 2021 г.), обработка вал-шестерен (в вакуумной камере шахтного типа) и зубчатых колес для насосов буровых установок (в камере колпакового типа).

И. Поболь,  
начальник отдела  
электронно-лучевых технологий  
и физики плазмы ФТИ, д.т.н.