

ИОННО-ПЛАЗМЕННОЕ АЗОТИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИЗДЕЛИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Введение. Машиностроение остается важнейшей отраслью Беларуси с активным развитием сельскохозяйственного и транспортного направлений. В республике выпускаются трактора, зерноуборочные комбайны, грузовые автомобили и автобусы. Основной задачей современного машиностроения является изготовление продукции сверхвысокого качества с минимальными капиталовложениями и временными затратами, что в то же время сопровождается постоянным повышением сложности геометрических форм деталей и их точности, высокими требованиями к сопрягаемым поверхностям и их свойствам, увеличением нагрузок, скоростей, давлений, температур и снижении металлоемкости. Всё это приводит к необходимости расширения теоретических и экспериментальных исследований в области прочности и увеличению физико-химических свойств поверхностных слоев конструкционных и инструментальных сталей, стимулируя развитие новых технологических процессов инженерии поверхностей. Важное место в решении данных проблем принадлежит поверхностным слоям изделий, которые отвечают за износостойкость, усталостную прочность и теплостойкость.

Традиционно используемыми технологиями ХТО на предприятиях Беларуси и стран СНГ являются газовая цементация, нитроцементация, газовое азотирование, никатрирование (газовое азотирование в смеси аммиака и природного газа при температуре 560—570°C).

Каждый из этих видов обработки имеет свои особенности, преимущества и недостатки. Было бы неправильно противопоставлять один способ другому, оказывая предпочтение одному из них, без всестороннего учёта его технической и экономической целесообразности. Вопрос технической целесообразности применения того или иного вида ХТО решается конкретно для каждой детали с учётом технических требований, предъявленных к ней, условий работы этой детали, программы выпуска.

Широкое применение в промышленности получило азотирование. Азотирование стали применяется в различных отраслях промышленности для повышения эксплуатационной надежности широкой номенклатуры изделий: гильз цилиндров, коленчатых и распределительных валов, шпинделей металлорежущих станков, штампового и режущего инструмента и т. д. Азотирование — процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя сталей и сплавов азотом при нагревании в азотосодержащей среде [2].

Перспективным методом азотирования является ионно-плазменное азотирование (ИПА) [1]. Этот процесс является высокопроизводительным, энергосберегающим, экологически чистым. В значительной степени этому способствует создание высокотехнологичного автоматизированного оборудования — установок ионного азотирования, которое позволило избавиться от таких недостатков газового азотирования, как длительное время процесса, повышенная хрупкость слоя, недостаточная контактная выносливость, трудоемкость процесса, нестабильность получаемых результатов, что отвечает современным требованиям машиностроения.

Основная часть. Метод ионно-плазменного азотирования (ИПА) является одним из наиболее динамично развивающихся направлений химико-термической обработки в индустриально развитых странах. Широкое применение метод ИПА нашёл в авто- и машиностроении. Основным отличием ионного азотирования, которое выгодно выделяет его на фоне других методов высокотемпературных ХТО (цементация, нитроцементация и т. д.), являются малые деформации и коробления деталей.

Ионно-плазменное азотирование — это химико-термическая обработка деталей машин, инструмента, штамповой и литейной оснастки, обеспечивающая диффузионное насыщение поверхностного слоя стали и чугуна азотом (или азотом и углеродом) в азотосодержащем тлеющем разряде при температуре 350—600°C и давлении 150—1000 Па.

Технологическими факторами, влияющими на эффективность ионного азотирования, являются температура процесса, продолжительность насыщения, давление, состав и расход рабочей газовой смеси.

Температурный диапазон ионного азотирования при упрочнении стали и чугуна шире, чем газового азотирования и находится в пределах 400—600°C. Обработка при температурах ниже 500°C особенно эффективна при упрочнении изделий из инструментальных легированных сталей для холодной обработки, быстро-режущих и мартенситно-стареющих сталей, т.к. значительно повышает их эксплуатационные свойства при сохранении твёрдости сердцевины на уровне 55—60 HRC.

ИПА способствует значительному повышению износостойкости и сопротивления задиру и усталости. Варьируя состав газа, давление, температуру и время выдержки можно получать слои заданной структуры и фазового состава.

Оптимизация свойств упрочняемой поверхности обеспечивается за счёт необходимого сочетания нитридного и диффузионного слоёв, которые формируются на обрабатываемых деталях. В зависимости от химического состава стали и условий азотирования нитридный слой является либо γ' -фазой (Fe_4N) либо ϵ -фазой ($\text{Fe}_2\text{-3N}$), причём γ' -нитридный слой является износостойким и относительно пластичным, а ϵ -слой — коррозионно-стойким.

Принцип действия ИПА заключается в том, что в разряженной азотсодержащей газовой среде (200—1000 Па) между катодом и анодом возбуждается аномальный тлеющий разряд, образующий активную среду (ионы, атомы). На катоде располагаются обрабатываемые детали. В качестве анода служат стенки вакуумной камеры [1]. Процесс обеспечивает формирование на поверхности изделия азотированного слоя, состоящего из двух зон: внешней, нитридной и располагающейся под ней диффузионной зоны.

Для управления структурой слоя и механическими свойствами слоя применяются разные стадии процесса: изменение плотности тока; изменение расхода азота; изменение степени разряжения; добавки к азоту особо чистых технологических газов: водорода и аргона.

При этом, в зависимости от целей обработки, в результате ИПА возможно получение как диффузионного слоя с развитой нитридной зоной, обеспечивающей высокую сопротивляемость коррозии и прирабатываемость трущихся поверхностей — для деталей, работающих на износ, так и диффузионного слоя без нитридной зоны — для режущего и штампового инструмента и деталей, работающих при знакопеременных нагрузках в условиях изнашивания при высоких давлениях.

В течение многих лет ИПА с успехом применяется ведущими авто-, тракторо- и моторостроительными предприятиями мира: Atlas, Audi, Chrysler, Caterpillar, Ford Motor, General Motors, Handle, John Deere, Mercedes, Volkswagen, Voith, Volvo, Wabco и др.

В частности, данным методом обрабатываются следующие изделия: форсунки для легковых автомобилей, несущие пластины автоматического привода, матрицы, пуансоны, штампы, пресс-формы (Mercedes, Chrysler); пружины для системы впрыска (Opel); коленчатые валы (Audi); распределительные (кулачковые) валы (Volkswagen); коленчатые валы для компрессора (Atlas, США и Wabco, Германия); шестерни для BMW (Handle, Германия); автобусные шестерни (Voith).

Ряд фирм («Нугховенс», «Скандекс», «Джон Девис» и др.) используют ИПА для упрочнения прессового инструмента в производстве алюминиевых изделий.

Есть положительный опыт промышленного использования данного метода в странах СНГ: в Беларуси (ОАО «БелАЗ», «МАЗ», «МЗКТ», завод самоходных комбайнов ОАО «Гомсельмаш», ОАО «Могилевлифтмаш», УЧНПП «Технолит» и др.) и России (АвтоВАЗ, КамАЗ, ММПП «Салют», Уфимское моторостроительное объединение (УМПО), завод «Ижнефтемаш», «ГАЗ», «Волжский дизель» и др.).

Несмотря на достаточно широкое применение метода ИПА в промышленности, в литературе отсутствуют данные по рассмотрению возможности реализации управления процессом азотирования деталей. Как правило приводятся данные по влиянию способа механической подготовки образцов и состава газовой смеси на глубину азотирования и данные по изменению шероховатости в результате процесса ИПА. Это сдерживает расширение номенклатуры азотируемых изделий — особенно это касается изделий с высоким качеством поверхности.

Заключение. Ионное азотирование является одним из наиболее эффективных способов поверхностного упрочнения, повышающих твердость, сопротивление изнашиванию, контактную выносливость, сопротивление к схватыванию, теплостойкость и коррозионную стойкость разнообразных деталей машин, штампового и режущего инструмента. Важным преимуществом метода ионно-плазменного азотирования является то, что процесс реализуется на простом, энергосберегающем и экологически чистом оборудовании, которое обеспечивает высокую производительность, не требует финишных операций механической обработки, позволяет получать упрочнённые слои различного фазового состава исходя из условий работы детали.

Список цитируемых источников

1. Арзамасов, Б.Н. Ионная химико-термическая обработка сплавов / Б. Н. Арзамасов, А. Е. Братухин, Ю. С. Елисеев, Т. Р. Панайоти. — М. : Изд-во МГТУ им. Баумана, 1999. — 400 с.
2. Берлин, Е.В. Плазменная химико-термическая обработка поверхности стальных деталей / Е. В. Берлин, Н. Н. Коваль, Л. А. Сейдман. — М. : Техносфера, 2012. — 464 с.