

ОПТИМИЗАЦИЯ СВОЙСТВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПУТЕМ КОМБИНИРОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЙ ИМПУЛЬСНЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ И ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ

Введение. Повышение эксплуатационных характеристик металлических материалов имеет важную роль для машиностроения, аэрокосмической, автомобильной и других отраслей промышленности. Одно из направлений для повышения износостойкости, коррозионной стойкости и механической прочности является поверхностным модифицированием материалов [1]. Магнитно-импульсная обработка (МИО) и ионно-плазменное азотирование (ИПА) являются передовыми методами поверхностной модификации материалов, направленными на улучшение механических, коррозионных и трибологических характеристик.

В данной работе рассмотрены физические принципы данных видов воздействий, их технологические возможности как отдельных видов, так и их комбинации.

Основная часть. Два популярных метода, таких как магнитно-импульсная обработка и ионно-плазменное азотирование, показывают высокую эффективность при обработке различных металлов и сплавов. В то время как ИПА формирует твердые нитридные фазы на поверхности, МИО изменяет микроструктуру материала за счет воздействия магнитных импульсов. Объединение двух данных методов может обеспечить более интенсивное улучшение свойств материалов.

Магнитно-импульсная обработка основана на использовании высокоинтенсивных магнитных полей для воздействия на металлические детали. МИО сопровождается высокой температурой и давлением, что несколько снижает твердость и повышает пластичность поверхностного слоя изделия, но в целом повышают его прочность, стойкость и длительность работы [2,3].

Под воздействием магнитного поля в материале генерируются вихревые токи, вызывающие локальные механические деформации. Эти деформации способствуют упрочнению поверхности за счет утончения зерен, уменьшения внутренних напряжений и повышения плотности дефектов. МИО обладает следующими ключевыми эффектами:

- упрочнение поверхностного слоя металла;
- повышение пластичности и трещиностойкости;
- улучшение коррозионной стойкости за счет устранения микродефектов.

Однако МИО не формирует новые химические соединения или слои на поверхности материала, что ограничивает его применение при необходимости повышения твердости или износостойкости.

Ионно-плазменное азотирование — это процесс диффузионного насыщения поверхности азотом в ионной плазме. Азот внедряется в поверхность металла, образуя твердые нитридные фазы, которые значительно повышают износостойкость и твердость [4]. Технологическими факторами, влияющими на эффективность ионного азотирования, являются температура процесса, продолжительность насыщения, давление, состав и расход рабочей газовой смеси.

Основные преимущества ИПА включают:

- образование твердого нитридного слоя;
- повышение коррозионной и окислительной стойкости;
- увеличение усталостной прочности материала.

Процесс ИПА также позволяет контролировать глубину диффузии и состав нитридных слоев, что делает его гибким и настраиваемым методом для различных материалов [1].

Комбинируемое применение МИО и ИПА открывает новые возможности для создания материалов с улучшенными характеристиками. Рассмотрим несколько возможных подходов:

1. Последовательная обработка (МИО → ИПА). Сначала производится магнитно-импульсная обработка, направленная на уменьшение зерен и повышение плотности дефектов на поверхности. Затем следует ионно-плазменное азотирование, при котором внедрение азота происходит более эффективно благодаря ранее созданным дефектам. Это позволяет получить более глубокие и твердые нитридные слои.

2. Последовательная обработка (ИПА → МИО). В этом случае азотирование проводится первым этапом, а затем МИО используется для улучшения микроструктуры уже насыщенной азотом поверхности. Такая обработка может улучшить механическую стойкость нитридных слоев и их сцепление с основным материалом.

3. Одновременное применение МИО и ИПА. Одновременное воздействие магнитных импульсов и ионно-плазменного азотирования является перспективным методом, позволяющим комбинировать упрочнение за

счет магнитных полей и насыщение азотом. Этот подход требует разработки специализированного оборудования, но может обеспечить более высокую производительность и сокращение времени обработки.

Для проведения исследований по изучению комбинированного воздействия МИО и ИПА были изготовлены опытные образцы из азотируемой стали 30Х3МФ размером $\varnothing 10 \text{ мм} \times 100 \text{ мм}$.

Обработка образцов производилась в следующей последовательности: ионно-плазменное азотирование в течение 6 часов при температуре 540°C , установка образцов в цилиндрический индуктор, воздействие на образцы импульсным магнитным полем, выдержка в течение 24 часов с целью завершения внутренних процессов, связанных с рассеянием электромагнитной энергии в материале образца.

Исследована зависимость электросопротивления от режимов МИО при комбинированной обработке поверхности образца ионно-плазменным азотированием и магнитно-импульсным воздействием. В данном случае первичная рекристаллизация проявилась гораздо более энергично, что объясняется дополнительным высокоэнергетическим воздействием ионно-плазменного азотирования.

К преимуществам комбинированной обработки можно отнести следующее:

- синергетическое улучшение характеристик: усиленное упрочнение и увеличение твердости за счет одновременной модификации микроструктуры и химического состава поверхности;
- ускорение процесса: последовательная или одновременная обработка может сократить время, требуемое для достижения оптимальных свойств материала;
- гибкость процесса: возможность регулирования параметров обоих процессов для достижения нужных характеристик в зависимости от требований к конечным изделиям.

Кроме того, применение магнитно-импульсной обработки может уменьшить время азотирования в разы.

Заключение. Магнитно-импульсная обработка и ионно-плазменное азотирование представляют собой мощные инструменты для улучшения свойств металлических материалов. Их комбинированное применение открывает новые перспективы для создания высокоэффективных материалов с улучшенными механическими, коррозионными и трибологическими характеристиками. Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение оптимальных параметров комбинированной обработки и разработку новых технологий для их реализации.

Список цитируемых источников

1. *Босьяков М. Н., Козлов А. А.* Энергетические и газодинамические характеристики установок ионного азотирования промышленного типа. *Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук.* 2018. — Т. 63, № 3. — С. 342—350.
2. *Алифанов, А. В.* Физика процесса магнитно-импульсного упрочнения стальных изделий, расчет индукторов и параметров процесса / А. В. Алифанов, Д. А. Ционенко, А. М. Милокова // *Перспективные материалы и технологии: монография в 2 т. / под общ. ред. В. В. Рубаника.* — Витебск, 2017. — Т. 2 — Гл. 2. — С. 31—53.
3. *Алифанов, А. В.* Магнитно-импульсная обработка стальных изделий / А. В. Алифанов, Ж. А. Попова, Н. М. Ционенко // *Перспективные материалы и технологии: монография в 2 т. / под общ. ред. В. В. Рубаника.* — Витебск, 2013. — Т. 1 — Гл. 25. — С. 521 — 544.
4. *Босьяков М. Н., Козлов А. А.* Энергетические параметры процессов ионного азотирования на промышленном оборудовании // *Доклады БГУИР*, 2013. — № 3(73) — С. 76—82.
5. *Босьяков М. Н., Моисеенко А. Н.* Выбор режима упрочняющей обработки на установках ионного азотирования промышленного типа // *Современные методы и технологии создания и обработки материалов: материалы VIII МНТК.* Минск: ФТИ НАН Беларуси. — 2016. — С. 50—58.

УДК 635.21

А. А. Рудый, В. Ю. Мороз

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

*Научный руководитель
В. А. Бурдейко*

КАРТОФЕЛЕСАЖАЛКИ ДЛЯ ПОСАДКИ ПРОРОЩЕННОГО КАРТОФЕЛЯ

Введение. Эффективное производство продукции картофелеводства в современных условиях возможно только с использованием новейших достижений в различных отраслях сельскохозяйственной науки и сельскохозяйственной практики [1].

Одним из важных направлений роста урожайности сельскохозяйственных культур является повышение полевой всхожести семян картофеля, которое можно обеспечить за счет улучшения качества посадки. Однако, чтобы получить хороший урожай картофеля, мало позаботиться лишь о качестве семян и подготовке семенного ложа. Для обеспечения росткам оптимального питания, количества тепла и света, важно, чтобы посадочный материал был равномерно распределен и высажен в соответствующие агрономические сроки. Гарантировать такой результат можно при использовании высокоэффективной техники.