

Секция 1  
ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 621.785

**МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ  
В ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ**

**А. И. Гордиенко, М. Н. Босяков, И. Л. Поболь**  
*Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск*

Большинство зарубежных фирм, производящих оборудование для азотирования, в качестве источника азота используют аммиак  $\text{NH}_3$ . Применение аммиака имеет целый ряд недостатков. Использование в качестве рабочей среды смеси  $\text{H}_2 + \text{N}_2 + \text{Ar}$  дает существенно лучшие результаты. Для реализации такой возможности необходимо обеспечить управление процессом ИПА с использованием системы компьютерного управления. Управляя алгоритмом изменения плотности потока азота в ходе процесса, можно формировать на сталях глубокие слои за более короткое время.

На основе теоретического анализа проблемы энергоэффективности ионного азотирования разработана методика определения электрической мощности, которую необходимо вкладывать в разряд для обеспечения необходимого темпа разогрева садки различной массы в разных температурных интервалах, а также мощности, обеспечивающей постоянство температуры садки на стадии выдержки. Предполагается, что в тлеющем разряде мощность, выделяющаяся на катоде (самих изделиях), определяется в основном энергией, приносимой положительными ионами и «быстрыми» молекулами и атомами, образующимися при перезарядке в области катодного падения потенциала.

Расчет и экспериментальные исследования проводились применительно к лабораторному оборудованию (диаметр рабочего пространства и высота загрузки 400 мм) и промышленному оборудованию с камерой колпакового типа (соответственно, 950 мм и 1250 мм). Обе камеры имеют водоохлаждаемый кожух, камера лабораторной установки – экранную теплоизоляцию (два экрана), камера промышленной установки – три теп-

лозащитных экрана. Мощность разряда на опытной установке – до 15 кВт, на промышленной – до 50 кВт, при этом максимальное напряжение горения разряда не превышает 700 В. Загрузка камеры лабораторной установки – до 100 кг, промышленной – до 1000 кг. Подтверждено, что методика с достаточно хорошей точностью позволяет определить величину мощности, необходимой для разогрева садки и ее выдержки при постоянной температуре.

Расчеты, проведенные для установки промышленного типа для различного количества теплозащитных экранов, показали, что наличие в камере трех экранов снижает расход электроэнергии на стадии разогрева на 30 и 90 % по сравнению с двумя или одним экраном. Высокая температура внутреннего экрана обеспечивает однородность температурного поля в садке и низкий расход электроэнергии. Так, при обработке садки массой 515 кг на стадии выдержки затрачиваемая на поддержание разряда мощность составляет всего 18 – 18,5 кВт (или 35 – 36 Вт/кг). В установках ИПА, имеющих один или два экрана, затраты мощности на поддержание разряда выше, т.к. теплообмен со стенками камеры интенсивнее и, соответственно, температура внутреннего экрана ниже, что приводит к существенному градиенту температуры садки в радиальном направлении.

Экспериментально установлено, что чем полнее загружена камера, тем меньше удельный расход электроэнергии для обеспечения необходимой глубины азотированного слоя. При этом удельные энергозатраты составляют 0,6 – 1,6 кВт·ч/кг в зависимости от загрузки камеры при температуре садки 525 – 530 °С.

По мере повышения температуры в камере снижается плотность тока, обеспечивающая существование разряда в виде аномального при одинаковом давлении. С другой стороны, при одинаковой температуре рост давления в камере приводит к повышению плотности тока, что необходимо учитывать при выборе режима обработки.

Азотированию могут подвергаться детали из разных марок сталей, а количество поглощенного азота, тип и количество выделившихся нитридов определяют степень повышения твердости стали при азотировании. Перепад твердости от поверхности к сердцевине детали тем резче, чем выше в стали содержание нитридообразующих легирующих элементов (Ti, Al, Cr, V, Mo, Si), причем некоторые элементы (Ti, Cr, W, V, Mo) увеличивают растворимость азота в  $\alpha$ -твердом растворе  $C_{\alpha-Fe}^{лег}$ , а Ni и Si – снижают ее (Al – не изменяет растворимость).

В Беларуси оборудование ИПА применяется на таких крупных машиностроительных предприятиях, как ОАО «МЗКТ», ОАО «МАЗ», ПО «Гомсельмаш», ОАО «Могилевлифтмаш». Трем последним предприятиям установки производства ФТИ поставлены в 2012 – 2013 гг. При этом на Заводе самоходных комбайнов «Гомсельмаш» эксплуатируются три установки ИПА с размерами вакуумных камер 950 мм (диаметр внутреннего рабочего пространства)/1250 (высота рабочего пространства), 950/2200 и 1400/2000 мм. В 2013 г. большой комплекс оборудования будет поставлен также и в ОАО «БелАЗ». В Институте функционирует уникальная установка с возможностью изменения геометрических размеров вакуумной камеры. Внутреннее рабочее пространство имеет следующие габариты: диаметр 950 мм, а высота загрузки может составлять 1400 и 3000 мм. Благодаря этому на установке возможна обработка широкого спектра деталей, в том числе длинномерных (валов и т.п.), с массой садки до 2000 кг.

Оборудование для ионного азотирования производства ФТИ – автоматизированное, установки имеют широкий спектр технологических программ, позволяющих обрабатывать всю номенклатуру деталей из разных марок сталей и чугунов, предусмотренную заданием. В качестве рабочей газовой среды используются смеси азота, аргона и водорода в различной пропорции (в зависимости от марки стали, загрузки камеры и температуры процесса). Водород получается автономно, путем электролиза дистиллированной воды. Возможна также подача метана, пропан-бутана или ацетилена.

Накоплен значительный опыт по упрочнению большой номенклатуры изделий из различных марок сталей: цементуемых, низко- и среднелегированных (18ХГТ, 20ХНЗА, 20ХГНМ, 25ХГТ и др.), улучшаемых (40Х, 40ХН, 40ХФА, 40ХН2МА, 40ХМФА, 38ХМ, 38ХНЗМФА, 38Х2Н2МФА, 30Х2НМ и др.), азотируемых (38ХМЮА, 38Х2МЮА, 30Х3МФ и др.), инструментальных (4Х5МФС, Х12М, Х12МФ, 5ХНМ и др.), а также чугунов. При обработке на оборудовании ФТИ глубина азотированного слоя на деталях составляет 0,3 – 0,5 мм с заданной твердостью (HV 450 – 1250 в зависимости от марки стали) независимо от объема загрузки камеры деталями. При необходимости может быть получен слой 0,6 – 0,8 мм с тонкой нитридной зоной.

Технология ИПА применяется на производстве вместо цементации, нитроцементации (шестерни и валы и др.), ТВЧ-закалки (валы, цилиндры)

и объемной закалки (детали из листовой стали), может использоваться взамен газового или жидкостного азотирования и нитрирования (т.е. азотирования в смеси аммиака и природного газа при повышенных температурах).

Многие детали, прежде всего шестерни и валы, изготавливаются в окончательный размер и после ИПА не требуют обработки (для сравнения, после цементации проводится шлифовка, а после ТВЧ-закалки – рихтовка).

Таким образом, отечественное оборудование и технологии ионного азотирования имеют существенные конкурентные преимущества перед другими методами высокотемпературной ХТО и иных способов поверхностного упрочнения и во многих случаях обеспечивают более высокое качество продукции, в частности благодаря малым деформациям и короблению деталей.

**УДК 621.9.02**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОФИЛЯ ИСХОДНОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ СЛОЖНОГО ФАСОННОГО ИНСТРУМЕНТА**

**В. А. Гречишников, Б. Е. Седов, В. Б. Романов**

*Московский государственный технологический университет «Станкин»,  
Москва, Российская Федерация*

В промышленности широко применяются инструменты в форме поверхности вращения – дисковые фасонные фрезы, накатные ролики, шлифованные круги и т.д. Самым общим технологическим случаем является обработка при перекрещивающихся осях инструмента и изделия, зубчатых деталей, ограниченных винтовыми поверхностями.

Для заданной поверхности обрабатываемой детали решается прямая задача – определение профиля исходной инструментальной поверхности, на базе которой проектируется фасонный специальный инструмент. При обработке абразивным инструментом необходимый его профиль обеспечивается правкой шлифовального круга.

При использовании шлифовальных кругов из сверхтвердых материалов (алмаз, эльбор) их фасонная правка или чрезвычайно затруднена, или практически невозможна. В статье решается обратная задача –