

Выводы

1. Оптимизированы условия синтеза нанодисперсного нитрида титана из газовой фазы путем амонолиза четыреххлористого титана.
2. Показано, что в оптимальных условиях ($T = 100\text{--}1100\text{ }^{\circ}\text{C}$), возможно получение нитрида титана с развитой поверхностью ($25\text{--}30\text{ м}^2/\text{г}$) при снижении расхода аммиака и остаточного содержания хлор-иона в продукте до $0,3\text{--}0,4\%$.

Литература

1. **Гусев, А.И.** Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев. – Изд. 2-е. – М.: Физматлит, 2009. – 416 с.
2. **Мальцев, П.П.** Нанотехнологии, наноматериалы. Наносистемная техника / П.П. Мальцев. – М.: Техносфера, 2008. – 432 с.
3. Термодинамический расчет процесса аммонолиза четыреххлористого титана / Н.И. Воробьев [и др.]. – Минск, 1978. – 10 с. – Деп. в ОНИТЭХИМ, № 1713. – 1978.
4. **Самсонов, Г.В.** Тугоплавкие соединения (справочник) / Г.В. Самсонов, И.М. Винницкий. – М.: Металлургия, 1976. – 500 с.
5. **Фольмер, М.** Кинетика образования новой фазы / М. Фольмер. – М.: Наука, 1986. – 208 с.

УДК 536.46

В.М. КОНСТАНТИНОВ, д-р техн. наук (БНТУ),
А.И. МИХЛЮК канд. техн. наук,
И.И. ВЕГЕРА канд. техн. наук (ФТИ НАН Б),
В.Г. ДАШКЕВИЧ, канд. техн. наук,
В.Г. ЩЕРБАКОВ (БНТУ)

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ УСТАНОВКА ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ*

Индукционная обработка является эффективной технологией для быстрого и экономичного нагрева сталей и сплавов бесконтактным способом [1, 2]. Широкое применение получили процессы поверх-

ностной закали, наплавки, есть опыт применения индукционного нагрева для объемной термоциклической обработки [3]. Традиционно для технологической реализации индукционного нагрева применяют узкоспециальные установки. Так, например, на ОАО «Минский автомобильный завод» была разработана и успешно внедрена в производство широкая гамма специальных технологических установок индукционного нагрева [4]. Указанное оборудование доказало свою эффективность в производственных условиях серийного выпуска.

Для исследовательских задач в лабораторных условиях целесообразно иметь универсальное оборудование. К сожалению, на рынке такое оборудование отсутствует. Реализация идеи многофункциональности оборудования для энергонасыщенных процессов упрочнения сложна и требует эффективных научно-технических решений. В рамках сотрудничества с ГНУ «ФТИ НАН Беларуси» был реализован комплекс мероприятий, связанный с созданием и разработкой научно-исследовательской индукционной установки обработки сталей и сплавов. Основные усилия были направлены на совмещение в разрабатываемом оборудовании реализации трех технологических процессов: наплавка, термоциклическая объемная обработка и поверхностная закалка.

В статье рассмотрены конструкционные особенности разработанной установки ФТИ-40/10-50 (рисунок 1), которая успешно эксплуатируется на базе научно-исследовательской лаборатории упрочнения стальных изделий БНТУ [4].

Установка ФТИ-40/10-50 обеспечивает преобразование трехфазного электрического сигнала промышленной частоты 50 Гц в однофазный частотой в диапазоне 10,0–70,0 кГц и содержит следующие системы и элементы:

- цифровая система автоматического управления, регулирования, диагностики и защиты;
- система теплового контроля теплонагруженных элементов системы;
- система контроля охлаждающей воды;
- система блокировки от несанкционированного доступа;
- устройство защиты и перезапуска при пропадании питающего напряжения;
- ограждение соединительных шин.



Рисунок 1 – Внешний вид установки ФТИ-40/10-50

Технические характеристики установки для наплавки и термической обработки деталей и образцов представлены в таблице 1.

Установка ФТИ-40/10-50 имеет приспособление для установки, вращения и перемещения деталей (заготовок) в индукторе. Приспособление обеспечивает вертикальное вращение и перемещение детали относительно неподвижного индуктора в горизонтальной и вертикальной плоскости. Скорость вращения детали регулируется в интервале $0,2-0,5 \text{ с}^{-1}$, скорость вертикального или горизонтального перемещения детали находится в интервале $2-20 \text{ мм/с}$ с плавным регулированием величины. В установке расположен закалочный бак с фильтром грубой очистки для сбора охлаждающей воды и предварительной очистки, защитные кожухи для защиты элементов приспособления и установки от попадания закалочной воды. В конструкции установки предусмотрены аварийные верхний и нижний ограничители для перемещения детали. Приспособление имеет подвижный (подпружиненный) верхний центр для надежной фиксации и быстрой установки (снятия) детали. На установке имеется легко-

съемный (поворотный, подвижный) прозрачный экран для защиты оператора в процессе работы.

Таблица 1 – Технические характеристики ФТИ-40/10-50

Наименование	Значение
Максимальная установленная мощность, кВт	40
Питающее напряжение – трехфазная сеть системы ТТ или TN-S - напряжением, В - частотой, Гц	380±10% 50±1
Частота преобразования, кГц	от 10 до 70
Подстройка частоты при смене индуктора	автоматическая
Температура нагрева, °С	от 600 до 1500
Скорость нагрева и охлаждения, °С/с	от 1 до 50
Максимальное время термообработки, ч	8
Система управления микропроцессорная с памятью программ технологического процесса, кол. программ	100
Количество протоколов нагрева, записанных в память прибора, шт.	5
Рекомендуемый объем FLASH-накопителя, Гб	не более 4
Максимальная температура окружающей среды, °С	45
Наличие защит: - от перегрузки по току; - от несоответствия параметров питающей сети (повышенное или пониженное напряжение сети); - от перегрева охлаждающей жидкости; - от снижения скорости потока охлаждающей жидкости ниже допустимого	+ + + +

Установка оборудована стационарным пультом управления для работы в ручном и автоматическом режиме. Система контроля и управления имеет возможность подключения СУ NGX к сети MODBUS через интерфейс типа RS422/485 (для обеспечения дистанционного управления, контроля и диагностики). В процессе работы производится запись в реальном времени основных параметров работы оборудования, при возникновении аварийных ситуаций сохраняется и выводится на дисплей и персональный компьютер через USB порт предыстория и послеистория аварийной ситуации – от 2 до 8 каналов. Присутствует функция определения параметров

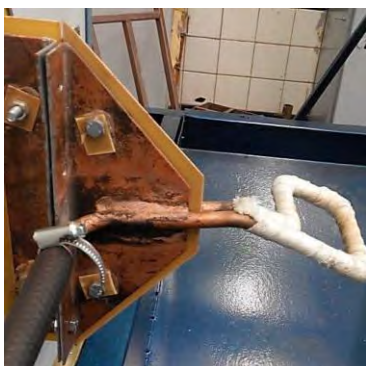
нагрузки (индуктивность линии), регулирование и автоматическое поддержание параметров нагрева при измерении температуры нагрева металла. Установка обеспечивает возможность работы в широком диапазоне частот без дополнительной перестройки системы управления и силовой схемы. Система управления установкой обеспечивает: контроль работы установки по заданным параметрам; аварийное отключение установки; отображение основных параметров работы установки и соответствующего оборудования в режиме постоянного мониторинга; управление и контроль над преобразователем частоты; контроль протока и температуры охлаждающей воды; контроль величины напряжения, мощности, частоты мощности, потребленной на один нагрев; контроль температуры нагрева заготовки от пирометра с цифровой индикацией.

Конструкция пульта управления позволяет обеспечивать следующие технологии термической обработки: нагрев деталей по заранее заданному программой режиму; одновременную закалку деталей с возможностью дозированного охлаждения и опережающего (до 1 с) включения охлаждения в процессе нагрева; непрерывно-последовательную закалку деталей с возможностью выдержки (до 3 с) в начале заковки; одновременный нагрев металла под оплавление с возможностью снижения мощности нагрева по заданной программе (после начала оплавления).

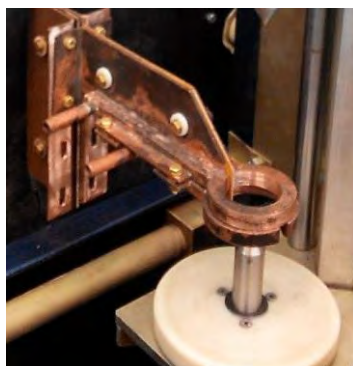
Установка оборудована системой охлаждения для обеспечения охлаждения элементов и систем установки в процессе работы, индукторов и для заковки и охлаждения детали (заготовки). Система охлаждения обеспечивает продолжительность непрерывной работы установки не менее 4 ч и выполняет следующие функции: принудительную циркуляцию охлаждающей жидкости, ее сбор и хранение, очистку и охлаждение. В конструкции системы охлаждения предусмотрена система защиты от минимального уровня охлаждающей жидкости, отсутствия циркуляции и превышения температуры. Предусмотрена также защита элементов системы от коррозии. Установка оснащена пирометром с элементами крепления. Стационарный пирометр «Compact» CTLaser-2MH-CF4 обеспечивает постоянный контроль температуры с погрешностью измерения не более ± 5 °С. Пирометр смонтирован на позиции нагрева. Конструкция крепления обеспечивает возможность регулировки по высоте, направлению в пространстве и расстоянию от зоны нагрева в интерва-

ле 0,3–0,7 м. Пирометр связан с системой управления для обеспечения возможности автоматического измерения темпа нагрева, обеспечивает возможность автоматической разбраковки заготовок по температуре.

Конструкция установки позволяет производить оперативную замену индукторов для конкретных типоразмеров детали с возможностью подключения спрейерного охлаждения или без дополнительного охлаждения в процессе нагрева, в зависимости от вида обработки деталей (рисунок 2).



а



б

а – для нагрева деталей прямоугольной формы; б – для нагрева цилиндрических деталей

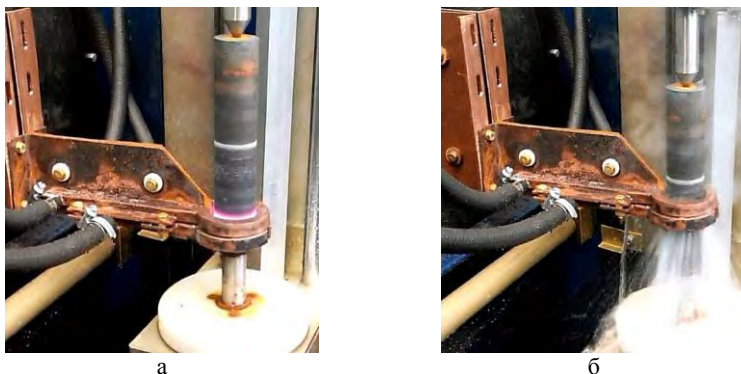
Рисунок 2 – Индуктора для установки ФТИ-40/10-50

При испытаниях установки проводились различные виды обработок, в частности, непрерывно-последовательная закалка цилиндрической детали с вращением относительно вертикальной оси (рисунок 3).

Таким образом, основными отличительными особенностями разработанной установки являются:

- высокая степень автоматизации;
- наличие программной оболочки с возможностью эффективной работы с данными, полученными от измерительных блоков установки и установочными данными;

– оригинальная конструкция привода и установки образцов, позволяющая обеспечивать вертикальное и горизонтальное перемещение изделий.



а – индукционный нагрев цилиндрической детали;
б – индукционный нагрев с одновременным охлаждением в спрейере установки

Рисунок 3 – Индукционная закалка на установке ФТИ-40/10-50

Результаты испытаний и опыт лабораторного использования установки свидетельствуют, о том, что созданное многофункциональное оборудование имеет широкий технологический диапазон применения – наплавка, объемное термоциклирование, поверхностная закалка, химико-термическая обработка сталей и сплавов. Существенным являются демонстрационные возможности установки для учебных задач в рамках проводимых курсов «Технология индукционного нагрева», «Теория и технология термической обработки» и других для студентов-материаловедов и магистрантов БНТУ.

Литература

1. Шепеляковский, К.З. Упрочнение деталей машин поверхностной закалкой при индукционном нагреве / К.З. Шепеляковский. – М.: Машиностроение, 1972. – 288 с.
2. **Обработка изделий** машиностроения с применением индукционного нагрева / А. И. Гордиенко [и др.] ; НАН Беларуси, ФТИ. – Минск: Беларус. навука, 2009. – 286 с.

3. Ткаченко, Г.А. Структурообразование диффузионных слоев и сердцевины деталей из конструкционных сталей циклической термической и химико-термической обработкой: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.16.01 / Г.А. Ткаченко; БНТУ. – Минск, 2011. – 22 с.

4. Астапчик, С.А. История и направления развития исследований и технологий индукционного нагрева в Беларуси / С.А. Астапчик, П.С. Гурченко, А.А. Шипко. – Минск.: Беларус. навука, 2015. – 67 с.

5. BESTO (Белорусские среды для термодиффузионной обработки) [Electronic resource] – Mode of access : [http://besto.by/vidy-obrabotok / borirovanie](http://besto.by/vidy-obrabotok/borirovanie). – Date of access : 28.04.2015.

УДК 621.79 / 669.18./33

В.М. КОНСТАНТИНОВ, д-р техн. наук,
Б.Б. ХИНА, д-р физ.-мат. наук (БНТУ)

ОБ УСКОРЕНИИ ПРОЦЕССОВ ХТО В ПОДВИЖНЫХ ПОРОШКОВЫХ СМЕСЯХ*

Явление аномальной (ускоренной) твердофазной диффузии в металлах и сплавах было впервые обнаружено в 1975 г. в системах Fe–M (M = Cr, Co, Ni, Nb) при пластической деформации биметаллических образцов в широком интервале температур, степеней и скоростей деформации [1]. В последние годы этот эффект стал предметом интенсивных экспериментальных исследований. Он наблюдается при диффузии атомов замещения и внедрения во многих металлах в условиях периодической пластической деформации (ППД) при механическом легировании в порошковых системах при относительно низких температурах ($T = 25\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}$) [2], при получении объемных наноструктурированных материалов такими методами интенсивной пластической деформации (ИПД), как равноканально-угловое (РКУ) прессование и кручение под высоким давлением [3], а также в условиях одно- и многократной импульсной деформации массивных образцов, включая ударно-волновую [4]. Однако физический механизм этого сложного явления полностью