

М.В. ЗИМИН¹, Г.В. ФРАНЦУЗОВ¹, П.К. ЗАБРОДИН¹,
К.А. БОРОДАКО¹, А.В. ШЕЛЯКОВ¹, Н.Н. СИТНИКОВ^{1,2}, Д.А. АБИН¹

¹Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия

²Федеральное государственное унитарное предприятие «Центр Келдыша», Москва, Россия

ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЫСТРОЗАКАЛЁННОГО СПЛАВА TiNiCu С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ ПРИ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Исследуется влияние электроимпульсной обработки на термомеханические свойства сплава TiNiCu с эффектом памяти формы. Разработана лабораторная установка для электроимпульсной обработки. Установлено влияние параметров обработки (длительность и энергия импульса) на термомеханические свойства сплава. Показано улучшение характеристики памяти формы и сужение температурного гистерезиса при сокращении времени обработки.

M.V. ZIMIN¹, G.V. FRANTSUZOV¹, P.K. ZABRODIN¹,
K.A. BORODAKO¹, A.V. SHELYAKOV¹, N.N. SITNIKOV^{1,2}, D.A. ABIN¹

¹National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia

²Federal State Unitary Enterprise "Keldysh Research Center, Moscow, Russia

THERMOMECHANICAL PROPERTIES OF RAPIDLY QUENCHED TiNiCu ALLOY WITH SHAPE MEMORY EFFECT UNDER ELECTRO-PULSE CRYSTALLIZATION

The effect of electro-pulse treatment on the thermomechanical properties of TiNiCu alloy with shape memory effect is studied. A laboratory setup for electro-pulse treatment was developed. The influence of treatment parameters (pulse duration and energy) on the thermomechanical properties of the alloy is established. Improvement in shape memory characteristics and narrowing of temperature hysteresis with reduced processing time are demonstrated.

На сегодняшний день исследовательский интерес сосредоточен на изучении воздействия режимов электроимпульсной обработки (ЭИО) на термомеханические свойства быстрозакалённого сплава TiNiCu с эффектом памяти формы (ЭПФ), поскольку этот метод кристаллизации вызывает существенные изменения в структурных свойствах образцов [1, 2]. Целью настоящей работы является исследование влияния параметров ЭИО (длительности и энергии импульса) на характеристики ЭПФ данного сплава.

Для реализации поставленной цели была разработана специализированная лабораторная установка. На основе экспериментальных данных [2] были вычислены значения энергии импульса, необходимые для различных времён кристаллизации, а также определены характеристики электрических компонентов установки. Электрическая схема, разработанная в LTspice XVII, представлена на рисунке 1а, а модель установки, созданная в программе КОМПАС-3D, показана на рисунке 1б. Время кристаллизации варьировалось в пределах от 0,5 до 1000 мс. С помощью лабораторной установки была проведена кристаллизация образцов из сплава TiNiCu, в ходе которой были достигнуты различные структурные состояния: начальная стадия структурных преобразований, полная кристаллизация за время импульса и полная кристаллизация, превосходящая за более чем половину времени действия импульса.

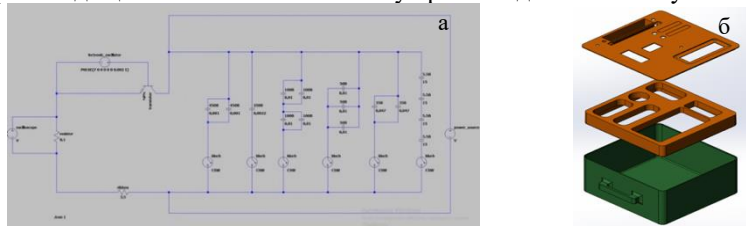


Рис. 1. Схема лабораторной установки для электроимпульсной обработки (а) и модель установки, разработанная в программе КОМПАС-3D (б)

В работе также проведены термомеханические исследования полученных образцов на установке, включающей термопару, работающую по эффекту Зеебека, и датчик, фиксирующий удлинение по принципу магнитной индукции. Измерения осуществлялись с использованием цифрового осциллографа (АЦП-ЦАП). В ходе исследования термомеханических характеристик были получены зависимости деформации образцов от температуры при постоянной нагрузке 100 МПа. По графикам были рассчитаны величины ЭПФ, его гистерезиса, а также температуры начала и окончания прямого (M_s , M_f) и обратного (A_s , A_f) мартенситных превращений. Установлено, что уменьшение длительности ЭИО и приближение к состоянию полной кристаллизации приводит к увеличению ЭПФ, сужению температурного гистерезиса и повышению температур мартенситных превращений.

Список литературы

1. Sitnikov N.N., Shelyakov A.V., Khabibullina I.A. and others // MSE. 2020. Vol. 770, № 1. P. 012088.
2. Зимин М.В. // Ляпуновские чтения - 2025. 2025. С. 409–410