

## ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТНОЙ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТОКОМ ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ16

*И. М. Мальцев, к.т.н., доцент, преподаватель кафедры материаловедения и технологии новых материалов НГТУ им. Р. Е. Алексеева;*

*Л. А. Ошурина, к.т.н., доцент, преподаватель кафедры металлургии, термическая и пластическая обработка металлов НГТУ им. Р. Е. Алексеева;*

*Е. Н. Гришин, студент 6-го курса факультета материаловедения и высокотемпературных технологий (ФМВТ) НГТУ им. Р. Е. Алексеева*

**Аннотация.** Определено влияние параметров технологии, структуры и свойств титанового сплава ВТ 16 после скоростной электротермической обработки, основанной на обработке металлических материалов током высокой плотности 108-109 А/м<sup>2</sup>.

**Ключевые слова:** структура, токи высокой плотности, титановый сплав, скоростная электротермическая обработка.

В настоящее время широкое распространение получают технологии машиностроения и металлургии, основанные на обработке проводящих металлических материалов током высокой плотности 108-109 А/м<sup>2</sup> при деформировании, нагреве и формовании (ЭО) [1,2].

Физические основы технологий состоят в воздействии тока высокой плотности (108-109 А/м<sup>2</sup>) «электронного ветра» на дефекты кристаллической решетки при нагреве и деформации материалов и использовании эффектов Джо-

уля-Ленца, Пинч-эффекта, электрокристаллизации, электропластического и др. при электрофизической обработке, повышающих свойства проводящих материалов.

Особенностью процессов это является то, что сам проводящий материал определяет параметры технологии и результаты такой обработки.

Процессы фазовой перекристаллизации титана и его сплавов при скоростном нагреве были изучены в работе [4]. Где отмечается, что в отличие от сталей фазовая перекристаллизация титановых сплавов не приводит к измельчению зерна. Применение быстрого нагрева при деформации и термической обработке титановых сплавов приведено также в работе [5]. При скоростном нагреве, в отличие от обычного печного, продолжительность пребывания металла при температурах  $\rho$ -области может быть уменьшена до нескольких секунд. Это позволяет фиксировать различные начальные и промежуточные стадии роста (3-зернен и тем самым обеспечивать получение их размеров в заданном диапазоне.

Целью настоящей работы является исследование структуры и свойств титанового сплава ВТ 16 после скоростной электротермической обработки, основанной на обработке металлических материалов током высокой плотности 108-109 А/м<sup>2</sup>.

### **Методика эксперимента**

Для проведения СЭТО необходимо обеспечить постоянное механическое давление на электрических контактах, которые передают электрический ток на образец. Для этого разработано и использовано специальное зажимное устройство (рис. 1,2). Шестеренчато-рычажной механизм увеличивает давление груза в 100 раз. Давление на электрических контактах, выполненных из меди, покрытых гальваническим никелем, можно изменять от 10 до 100 МПа. В экспериментах использовались цилиндрические

или прямоугольные образцы длиной 100 мм с сечением, которое при пропускании тока по длине образцов от генератора импульсов создает высокую плотность тока.

Во время СЭТО образцов из стали происходит их термическое расширение, при фазовом превращении размеры образца изменяются. Чтобы компенсировать эти явления, один из контактов зажимного устройства (см. рис.1) может перемещаться в горизонтальной плоскости под механическим давлением удлиняющегося образца. При максимальном разогреве образца рычаг 1 (см. рис. 2) сначала перемещается вверх, затем опускается, при этом точка да

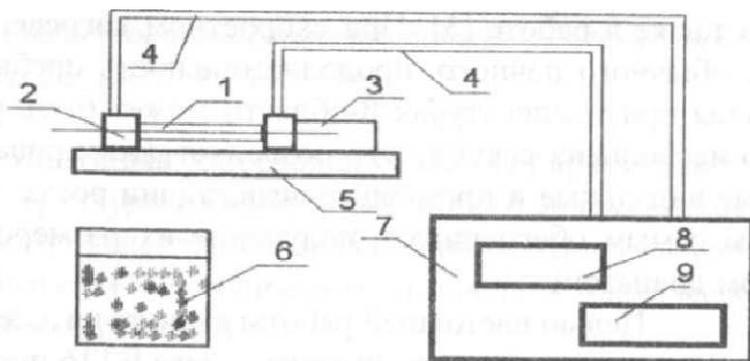


Рис. 1. Схема установки конструкции НГТУ для скоростного электротермического нагрева импульсным током:

1 - цилиндрический образец; 2 - контакты; 3 - зажимное устройство; 4 - водоохлаждаемые токопроводы; 5 - рабочий стол; 6 - закалочный бак; 7 - генератор; 8 - устройство синхронизации импульсов; 9 - устройство управления длительностью импульсов и пауз

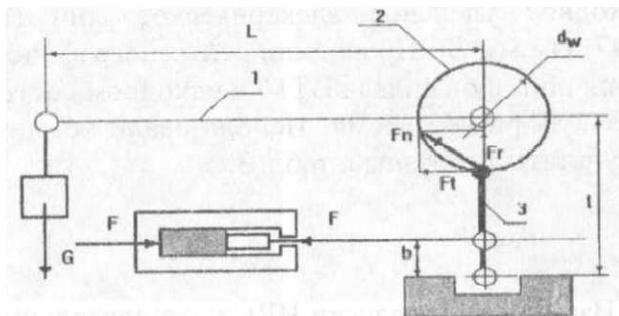


Рис. 2. Схема механизма зажима образцов:

$L$  - длина рычага;  $G$  - вес груза на конце рычага;  $F$  - сила сжатия образца контактами;  $l$  - высота рычага шестеренчатого механизма;  $b$  - расстояние от опорной оси до скользящей втулки, давящей на поршень;  $d_w$  - делительный диаметр сегмента зубчатого колеса;  $F_n$ ;  $F_t$ ;  $F_r$  - нормальная, тангенциальная и радиальная силы соответственно; 1 - рычаг; 2 - сегмент зубчатого колеса; 3 - давящий шток вящего штока 3, ограниченный отрезком  $b$ , двигается направо, затем налево

В итоге стальной образец выгибается вверх. Образцы можно выпрямлять в горячем состоянии или даже штамповать при температуре фазового превращения.

Стареющие титановые сплавы проходят закалку, деформацию и старение. К таким сплавам относят титановый сплав ВТ-16 [6-7]. Однако в литературе не достаточно подробно изучена возможность СЭТО и влияние тока высокой плотности таких сплавов. Проводили СЭТО титановых образцов диаметром 5 мм и длиной 0,1 м током высокой плотности. Проводили закалку образцов с нагревом на установке СЭТО НГТУ за время 1, 2; 2, 5 секунд без изотермической выдержки. Охлаждение осуществляли в воде. Измеряли удельное электрическое сопротивление, твердость, проводили металлографические и рентгенографические исследования. Металлографические исследования показаны на рис.3. Результаты эксперимента представлены в табл. 1, 2. Исходная твердость 13,92 (9,42) НRC. Исходное удельное электрическое сопротивление 55,6 (1,47) Ом

мм<sup>2</sup>/м. Проводили рентгенографические исследования образцов сплава ВТ 16 в исходном состоянии и после СЭТО за разное время. Использовали установку ДРОН-2. Результаты показаны в табл. 3.

Таблица 1

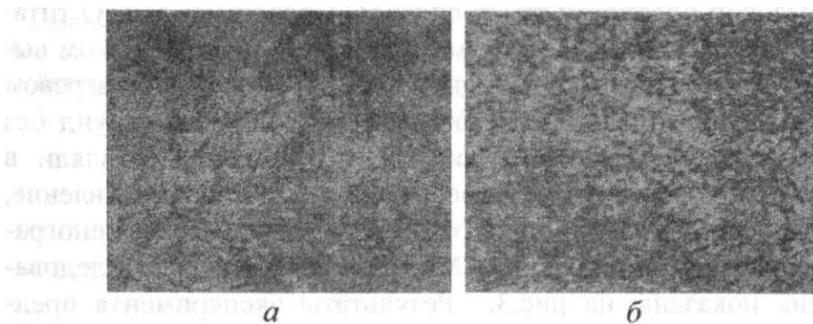
Изменение твердости НРС и относительной ошибки эксперимента сплава ВТ 16 после СЭТО за разное время нагрева

Время СЭТО, с	1	2	2,5
Твердость НРС	14,5 (4,85)	21,0 (8,43)	13,5 (10,21)

Таблица 2

Изменение удельного электрического сопротивления и относительной ошибки эксперимента сплава ВТ 16 после СЭТО за разное время нагрева

Время СЭТО, с	1	2	2.5
Удельное сопротивление	52,1 (6,01)	58,2 (4,27)	60,4(3,37)



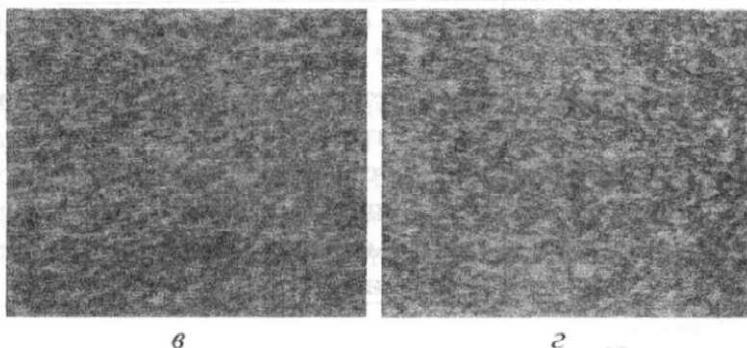


Рис. 3. Микроструктуры титанового сплава ВТ 16 после СЭТО током высокой плотности с охлаждением в воде:  
*а* - обработка 2,5 с; *б* - обработка 2 с; *в* - обработка 1 с;  
*г* - исходная структура (x 270)

Таблица 3  
 Рентгенографические исследования сплава ВТ-16 после  
 СЭТО током высокой плотности

Состояние и время обработки СЭТО, с	Результаты рентгенографирования
Исходный образец	Наблюдаются $\alpha + \beta$ фазы
1 с СЭТО, охлаждение в воде	Происходит смещение линии $\alpha$ . Наблюдается неоднородность $\beta$ -фазы. Превращения не наблюдаются
2 с СЭТО, охлаждение в воде	Произошло фазовое превращение по мартенситному типу. Образуются $\alpha'$ и $\alpha''$ -фазы мартенситного превращения. Возникает тетрагональность. Фазы ближе к ГЦК решетке

2,5 с СЭТО, охлаждение в воде	Линия $\alpha'$ увеличилась в сравнении с $\alpha''$ . Фаза $\alpha''$ превалирует, параметр решетки изменяется. Смещение угла происходит на 0,3 град. Возникает очень напряженное состояние. Фазовое превращение прекращается. Образуется твердый раствор замещения. Наблюдается ускорение диффузии
-------------------------------	--

Из вышеперечисленного можно сделать вывод, что при СЭТО титановых сплавов возможно проводить процесс за короткое технологическое время, исчисляемое секундами.

### Литература

1. Баранов, Ю. В. Физические основы электроимпульсной и электропластической обработок и новые материалы / Ю. В. Баранов, О. А. Троицкий, Ю. С. Авраамов, А. Д. Шляпин/. - М. М: МГИУ, 2001. - 844 с.
2. Электрофизические процессы металлургии: Учеб. Пособие/ И. М. Мальцев; Нижегород. гос. техн. ун-т. Нижний Новгород, 2003, - 59 с.
3. Мальцев, И. М. Эффекты в металлических материалах во время электрофизической обработки: Сборн. научн. тр. НГТУ. // Материаловедение и металлургия. Н. - Новгород, НГТУ. Т. 50. 2005. - С. 148-151.
4. Баулин, А. В. Особенности фазовой перекристаллизации титана и его сплавов при скоростном нагреве / А. В. Баулин, А. М. Смирнов // МиТОМ. 1993. № 2. С. 33 -36.
5. Применение быстрого нагрева при деформации и термической обработке титановых сплавов / М. Я. Брун и [др.] // МиТОМ. 1991. № 12. С. 33-37.
6. Ивасишин, О. М. Исследование скоростного нагрева под закалку титановых сплавов / О. М. Ивасишин, П.

Е. Марковский, С. П. Ошкадеров // МиТОМ. 1990. № 1. С. 32-35.

7. Шипко, А. А. Перспективные способы поверхностного упрочнения титановых сплавов и сталей при скоростном нагреве / МиТОМ. 1987. № 10. С. 45-49.

## **RESEARCH OF HIGH-SPEED ELECTROTHERMAL PROCESSING BY A CURRENT OF HIGH DENSITY OF TITANIC ALLOY BT16**

*I. M. Maltsev, k.t.n., docent, teacher chairs of materials and technology of new materials NGTU them. R. E. Alexeev;*

*L. A. Oshurina, k.t.n., docent, teacher chairs of materials and technology of new materials NGTU them. R. E. Alexeev;*

*E. N. Grishin, student 6-th year of faculty of materials science and high technology (FMVT) NGTU them. R. E. Alexeev*

**Annotation.** Influence of parameters of technology, structure and properties of titanic alloy BT16 after the highspeed electrothermal processing based on processing of metal materials by a current of high density 108-109 A/m<sup>2</sup> is certain.

**The keywords.** Structure, currents of high density, a titanic alloy, high-speed electrothermal processing.