

. В статье сравниваются структура и физико-механические свойства циркония и титана ВТ1-0. Путем последовательных отжигов выявлена корреляция между структурой, механическими и электрическими свойствами материалов.

: цирконий, титан ВТ1-0, электросопротивление, термообработка.

1. . Титан, цирконий и гафний составляют специфичную группу химически активных металлов. Химические свойства их близки, но их применение принципиально различное из-за особенностей физико-механических свойств.

Развитие сложных промышленных направлений, какими являются аэрокосмическая, атомная энергетика, химическое машиностроение и др. способствовало интенсивному исследованию свойств и разработки новых технологий с применением указанных металлов. Однако, интерес к изучению их свойств не ослабевает, что способствует получению новых или углублению существующих представлений, о процессах протекающих в определенных физико-механических условиях эксперимента. В частности, исследование температурного воздействия на механические свойства циркония и титана создает возможность расширить представление о механизмах, протекающих в материале в процессе деформации.

В настоящей работе представлены результаты исследований влияния температуры отжига циркония и титана ВТ1-0, подверженных пластическому деформированию прокаткой, на физико-механические свойства.

2. . Материалом для проведения исследований служил поликристаллический цирконий и технически чистый титан марки ВТ1-0. Исходный материал подвергался горячей пластической деформации прокаткой при 500°C с остаточной деформацией 75%. Отжиг материала производился в вакуумной печи СНВЭ 131/14 с остаточным давлением не ниже 10⁻⁵ Па при температурах 150°C - 850°C в течение 60 минут с последующим медленным охлаждением со скоростью 1.8 гр./мин. Образцы вырезались на электроэрозионной установке «Sodick AQ 300 L» вдоль прокатки из пластин в виде лопаток с шириной рабочей части 2 мм и длиной 12 мм для растяжения в испытательной машине «INSTRON 5882» со скоростью нагружения 1,5 мм/с при комнатной температуре.

Для металлографических исследований, с целью проведения анализа структуры, образцы подвергались механической шлифовке с последующим травлением. Измерение

микротвердости образцов выполняли на микротвердомере «DM-8B» с использованием пирамидки Виккерса с нагрузкой на индентор 100 г. Размеры зерна определяли с помощью микроскопа «OLYMPUS G71». Регистрация данных удельного электрического сопротивления проводилась цифровым нановольтметром «agilent 34420A» четырехзондовым методом в диапазоне температур от 10К до 300К.

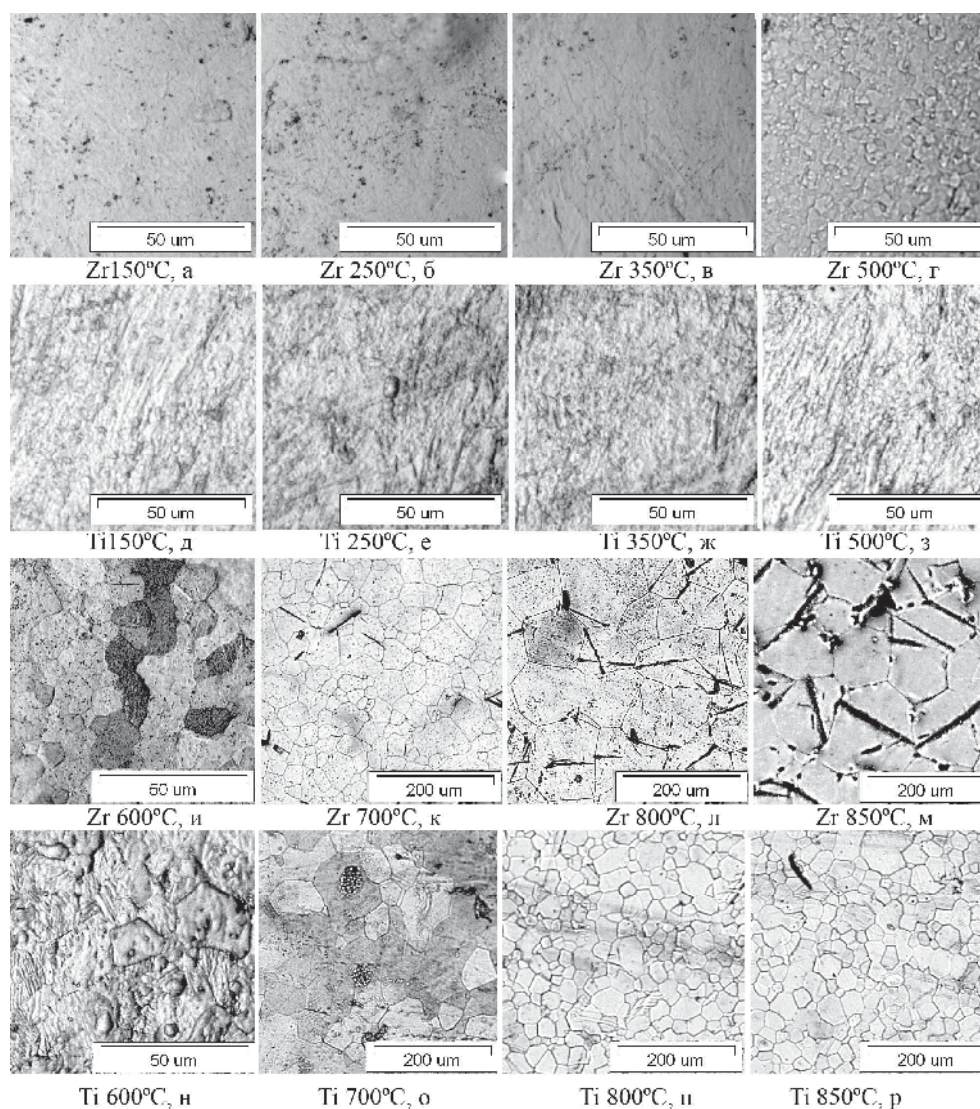


Рис. 1. Макроструктура циркония и титана после нагрева от различных температур.

3.

3.1. Эволюция структуры в процессе термического отжига деформированных образцов циркония и титана представлена на рис. 1.

При отжигах в диапазоне 150 – 350°C у циркония (рис. 1, а, б, в) и 150 – 500°C у титана (рис. 1, д, е, ж, з) видимых различий в структуре не наблюдается. Заметные изменения в структуре циркония происходят при 500°C (рис. 1, г) образуется неодно-

родная структура с размерами зерна от 3 до 5 мкм. Аналогичные изменения в титане наблюдаются при более высоких температурах отжига – 600°С (рис. 1, н).

С повышением температуры отжига до 600 – 700°С у циркония происходит рост зерна и образуется структура с размерами зерна от 10 до 25 мкм (рис. 1, и, к); после отжигов 800 – 850°С величина их достигает 120-155 мкм с образованием двойников отжига (рис. 1, л, м).

У титана с повышением температуры отжига до 800 – 850°С наблюдается полное разрушение структуры, образовавшейся в результате горячей прокатки, и формируются зерна (20-35 мкм), внутри которых происходит укрупнение частиц второй фазы, образованных за счет инородных элементов (рис. 1, п, р). Произошла полная рекристаллизация.

По мере увеличения температуры отжига макроструктура циркония и титана становится однородной.

Если в титане зерно, очищаясь от скоплений дислокаций, становится однородным и размеры зерен несколько увеличиваются с приближением к полиморфному преобразованию (рис. 1, п, р), то у циркония, в диапазоне температур 800 – 850°С, зерна существенно увеличиваются в размерах и заполняются двойникообразующими дислокациями (рис. 1, л, м).

В титане, при аналогичных температурных режимах отжига, происходит перемещения дислокаций из зерен на их границы с одновременной полигонизацией, что и приводит к разориентации зерна и появлению основных границ [1, 2].

1

Материал	Температура отжига, °С	Размер зерна (d), мкм	Микротвердость, НВ	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа
Zr	150	-	137	363	441
Zr	250	-	134	351	413
Zr	350	-	140	342	410
Zr	450	4,75	132	285	342
Zr	500	6,5	135	263	310
Zr	600	11,9	110	214	266
Zr	700	22,8	115	125	191
Zr	800	120,4	118	122,7	183,6
Zr	850	155	125	80	135,9
Ti	150	-	229	490	575
Ti	250	-	234	487	570
Ti	350	-	230	489	573
Ti	450	-	237	483	569
Ti	500	4,5	232	475	560
Ti	600	15	192	360	440
Ti	700	47,8	183	314	393
Ti	800	51	179	292	387
Ti	850	53,1	175	280	380

3.2.

. Изменение механических свойств от температуры отжига у циркония и титана в основном аналогичны, а именно: с повышением температуры отжига происходит снижение механических параметров (табл. 1).

У циркония при температурах отжига в диапазоне 150 – 350°C и у титана при 150 – 500°C механические свойства слабо зависят от температурного воздействия и характеризуются довольно высоким уровнем прочности. Состояния после отжигов в диапазоне 450 – 850°C у циркония и 500 – 850°C у титана характеризуются постепенным снижением прочности и увеличением пластичности (рис. 2).

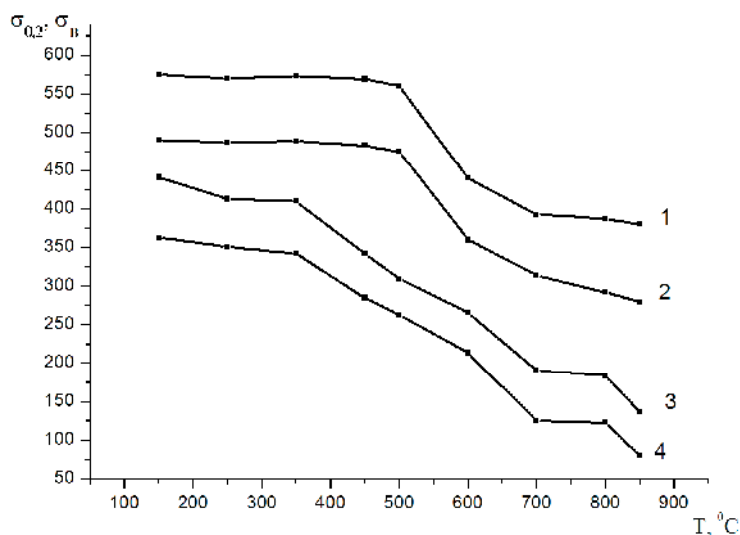


Рис. 2. Зависимость механических параметров от температуры отжига:

1 – предел прочности и 2 – предел текучести титана VT1-0; 3 – предел прочности и 4 – предел текучести циркония.

У циркония ухудшение механических свойств начинается от 350°C, а в титане такое изменение наблюдается от 500°C. В цирконии, в отличие от титана, скорость изменения механических параметров остается неизменной в более широком диапазоне температур (350 – 850°C). У титана же скорость изменения параметров находится в более узком температурном диапазоне.

3.3.

. Измерения остаточного значения электрического сопротивления показали, что в температурном диапазоне 100 – 600°C характер изменения остается подобным, но отличаются абсолютными значениями (рис. 3). Однако, в цирконии при температуре 600°C остаточное электросопротивление начинает резко возрастать, что, по видимому, связано с образованием двойников отжига. Сравнивая изменения механических параметров и электрического сопротивления можно отметить особенности поведения их в цирконии в диапазоне температур 600 – 850°C, отличные от титана.

Образование двойников отжига в структуре материала способствуют уменьшению внутренних напряжений, что приводит к уменьшению прочностных параметров и увеличению пластичности за счёт более равномерного распределения дефектов в структуре металла (рис. 2) [3]. Так, с появлением двойников отжига в цирконии при 600°C наблюдается уменьшение прочностных параметров, но при этом происходит повышение остаточного электросопротивления, что противоречит утверждению о равномерности распределения дефектов при образовании двойников отжига. Очевидно образование большеугловых границ в цирконии в температурном диапазоне 600 – 850°C, которыми являются некогерентные границы двойниковых прослоек, играющие более существенную роль в сравнении с равномерным распределением дефектов в зерне. В титане, в котором плотность большеугловых границ меньше, такой закономерности не наблюдалось.

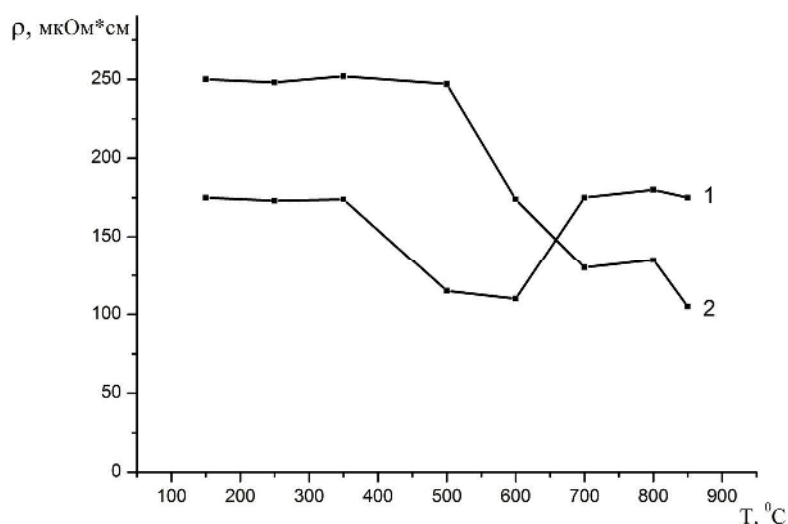


Рис. 3. Зависимость удельного электрического сопротивления от температуры отжига:
1 – цирконий; 2 - титан ВТ1-0.

Таким образом, путем последовательных отжигов циркония и титана, выявлена корреляция между структурой и механическими свойствами материала. Механические свойства циркония и титана в процессе повышения температуры отжига ведут себя аналогично. Однако, на зависимости остаточного электросопротивления от температуры отжига у циркония, в отличие от титана, наблюдается отклонение, причиной которого может быть повышенная плотность большеугловых границ.

1. Хесснер Ф. Рекристаллизация металлических материалов / М.: Металлургия, 1982. – 352 с.
2. Гарелик С.С., Добаткин С.В., Капустина Л.М. Рекристаллизация металлов и сплавов / М.: МИСИС 2005. – 432 с.

3. Классен-Неклюдова М.В. Механическое двойникование кристаллов / М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1960. – 260 с.

COMPARISON OF STRUCTURE
STATES
AND PHYSICAL PROPERTIES OF ZIRCONIUM AND TITANIUM VT1-
0
AFTER HEATING AND SLOW
COLLING

N.V. Kamyshanchenko, E.S. Kungurtsev, M.S. Kungurtsev, I.S.
Nikulin

Belgorod State
University,
Pobedy St., 85, Belgorod, 308015, Russia, e-mail:
kamysh@bsu.edu.ru

Abstract. Structure states and physico-mechanical properties of zirconium and titanium VT1-0 are compared in the paper. Correlations between structures, mechanical and electrical properties have been identified after consecutive annealings of material.
Key words: zirconium, titanium VT1-0, electrical resistance, heat treatment.