

**ВЛИЯНИЕ ТЕРМОЦИКЛИРОВАНИЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОТНОСТИ
ДЕФЕКТОВ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СПЛАВАХ Ti-Hf-Zr-Ni-Co-Cu**
**Поникарова И.В.¹, Реснина Н.Н.¹, Беляев С.П.¹, Сибирев А.В.¹, Андреев В.А.²,
Ребров Т.В.¹, Кальницкая М.В.¹, Березовская С.В.¹, Стародубова М.С.¹**

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Россия, Санкт-Петербург
² Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Россия, Москва
e-mail: ivp2001@yandex.ru

Исследование микротвердости показало, что в шестикомпонентных сплавах Ti-Hf-Zr-Ni-Co-Cu, где атомы Hf и Zr замещают атомы Ti, а атомы Co и Cu – атомы Ni, наблюдается твердорастворное упрочнение. Можно предположить, что в этих сплавах дислокационный предел текучести увеличится по сравнению с бинарным сплавом TiNi, что улучшит термоциклическую стабильность этих сплавов. Целью настоящей работы было исследование изменения плотности дефектов и параметров мартенситных переходов при термоциклировании сплавов Ti-Hf-Zr-Ni-Co-Cu с различным химическим составом.

Сплавы $Ti_{49-2x}Hf_xZr_xNi_{51-2x}Co_xCu_x$ ($X=1, 5, 10, 17$ ат. %) были получены методом электролучевой плавки. Слитки массой 20 г на электроэрозионном станке разрезали на пластины толщиной от 0,3 до 1 мм, из которых были вырезаны образцы для калориметрических исследований, измерения электросопротивления и рентгеноструктурного анализа. Образцы для рентгеноструктурных исследований предварительно подвергали электрополировке в 10 % растворе $HClO_4$ + 90 % растворе C_2H_5OH при температуре -20 °С. Для изучения стабильности температур мартенситных переходов образцы термоциклировали в интервале температур от 150 °С до -193 °С. В 1, 10, 20, 30, 40, 50, 75 и 100 циклах изучали мартенситные превращения методом дифференциальной сканирующей калориметрии и измерением электросопротивления. Структуру образцов исследовали после указанных циклов методом рентгеноструктурного анализа на дифрактометре Rigaku MiniFlex-II.

Полученные результаты показали, что все сплавы при комнатной температуре находятся в аустенитной B2 фазе, при этом кроме основных рефлексов на рентгенограммах присутствовали сверхструктурные рефлексы (100), (111) и (210). Как и в бинарном сплаве, самым интенсивным рефлексом оказался рефлекс (110), поэтому для оценки изменения плотности дефектов при термоциклировании анализировали полуширину этого пика.

Установлено, что при $X=1$ ат. % термоциклирование приводит к увеличению полуширины рентгеновского пика (110) в первых 10 циклах, а далее все изменения находятся в пределах ошибки измерения. Это хорошо согласуется с изменением температур $B2 \leftrightarrow B19'$ превращения, которые за первые 10 циклов уменьшаются на 8-14°С. В следующих 40 циклах температуры переходов уменьшаются еще на 10 градусов. Начиная с 50 цикла, температуры переходов стабилизируются. Таким образом, можно заключить, что в первых 10 циклах уменьшение температур связано с увеличением плотности дефектов. При $X = 5$ ат. %, плотность дефектов также возрастает в первых 10 циклах. Вместе с тем измерить температуры превращений не представилось возможным, поскольку этот сплав испытывает переходы ниже -110 °С. Измерение электросопротивления показало, что первые 10 термоциклов приводят к увеличению электросопротивления, что свидетельствует об увеличении плотности дефектов. При дальнейшем термоциклировании ни полуширина пиков, ни электросопротивление не меняются. В сплавах при $X=10$ и 17 ат. % ни полуширина пиков, ни электросопротивления не меняются при термоциклировании.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РНФ № 22-19-00169.