**Идентификация частиц избыточной фазы Ti3Ni4 в стареющих сплавах TiNi методами просвечивающей электронной микроскопии и рентгенофазового анализа**

***Черкасов В.В.1, Комаров В.С.1,2, Карелин Р.Д.1,2, Осокин А.А.1, Неймантанте П.Г.1, Хмелевская И.Ю.1, Прокошкин С.Д.1***

*Аспирант, 3 год обучения*

*1Университет МИСИС, Москва, Россия*

*2ИМЕТ РАН им. А.А. Байкова, Москва Россия*

*E-mail: cherkasov.vv@misis.ru*

Для управления комплексом механических и функциональных характеристик сплавов с памятью формы (СПФ) TiNi применяются различные методы термомеханической обработки (ТМО). Ранее, было установлено, что наиболее эффективной температурой формирования ультрамелкозернистой структуры в процессе проведения деформации СПФ TiNi является интервал 300-600 °С, характеризующийся протеканием процессов динамической полигонизации. Однако в заэквиатомных СПФ TiNi с 50,5 ат.% Ni, в данном температурном интервале также протекают конкурирующие процессы старения, сопровождающиеся выделением частиц избыточной фазы Ti3Ni4, которые довольно трудно идентифицировать ввиду малого размера частиц.

В данной работе была предпринята попытка идентификации фазы Ti3Ni4 после деформации сжатием на степени *е* = 0,5-1,3 при температурах 300-500 °С и последующего последеформационного отжига (ПДО) стареющего СПФ TiNi методами рентгеновской дифракции и просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью расширения знаний о кинетике выделения избыточной фазы Ti3Ni4 в СПФ TiNi для разработки эффективной технологии проведения ТМО.

Съемка рентгенограмм проводилась при комнатной температуре, что соответствовало нахождению материала в стабильной B2 фазе. Для оценки ширины линии пика 110B2 время экспозиции излучения составило 5 секунд, в интервале углов 40-45° 2θ.

По результатам проведенного анализа было установлено, что с увеличением температуры деформации ширина линии 110B2 уменьшается, что свидетельствует о снижении дефектности структуры исследуемых образцов. Поскольку линия пика 110B2 обладала высокой интенсивностью, линии пика фазы Ti3Ni4 обнаружено не было, ввиду его наложения. После проведения ПДО при температуре 430 ºС в течение 1 часа, обнаружилась тенденция снижения ширины линии пика 110B2, что связано со снижением дефектности структуры. Однако в образцах после деформации при 430 и 500 ºС и ПДО наблюдалось уширение данной линии, что объясняется наложением линии 21 фазы Ti3Ni4 на 110B2 линию, а также свидетельствует о том, что при проведении деформации в данном температурном интервале, формируется наиболее благоприятная структура для последующего выделения частиц избыточной фазы.

На рентгенограммах образцов после деформации с последующим ПДО в течение 10 часов линии 21 фазы Ti3Ni4 не наблюдается в явном виде, однако внизу линии 110 фазы имеет место легкая асимметрия. Увеличение времени экспозиции рентгеновского излучения до 100 секунд и сужение интервала углов рентгеновской съемки, не позволило в явном виде идентифицировать искомую избыточную фазу после всех режимов ТМО.

На изображениях структуры, полученных с помощью ПЭМ, видимых частиц избыточной фазы выявлено не было. Однако на дифракционных картинах присутствовали рефлексы 12 фазы Ti3Ni4, что свидетельствует об её наноразмерных выделениях. Это может быть объяснено влиянием непродолжительного нахождения образцов при температуре старения при проведении деформации.

Визуально обнаружить частицы фазы Ti3Ni4 удалось только в образцах, подвергнутых деформации сжатием при 430 и 500 ºС с последующим ПДО в течение 1 часа. Средний размер частиц после данных обработок в среднем составил 50 нм.

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №24-79-10332.*