ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

INTERNATIONAL WORKSHOP

**«Multiscale Biomechanics and Tribology
of Inorganic and Organic Systems»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»

DOI: 10.17223/9785946218412/408

ВЛИЯНИЕ ФРИКЦИОННОЙ ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ НИКЕЛИДА ТИТАНА

Миронов Ю.П., Лотков А.И., Гришков В.Н., Рубцов В.Е., Белобородов В.А.
ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск

Представлены результаты исследования влияния воздействия, подобного сварке трением с перемешиванием (СТП), на структурно-фазовое состояние пластин толщиной 1.2 мм листового проката сплавов на основе никелида титана двух составов Ti-50.9(ат.%)Ni и Ti-50.2(ат.%)Ni производства МАТЭК-СПФ, Россия. Использование СТП для сплавов на основе никелида титана (TiNi) позволит создавать сложные конструкции из этих материалов [1], а также материалы с градиентной структурой (или составом) [2].

Процесс имитации СТП осуществляли на лабораторном стенде для экспериментальных исследований технологических режимов сварки трением с перемешиванием [3] посредством внедрения специального вращающегося инструмента (рис.1), изготовленного из жаропрочного сплава на никелевой основе ЖС6У в закреплённую пластину никелида титана. Вращающийся инструмент, подаваемый под осевой нагрузкой, в результате фрикционного взаимодействия с пластиной, разогревает её и переводит в состояние, когда может быть сравнительно легко осуществлена пластическая деформация. После погружения инструмента в пластину до уровня заплечиков инструмента, ему придавалось поступательное движение, которое формировало дорожку с модифицированной структурой. Для защиты дорожки от окисления производили подачу инертного газа аргона в зону разогрева. Нами было опробовано несколько технологических режимов СТП в диапазонах: нагрузка на инструмент – 600-1800 кг; частота вращения инструмента – 800-950 об/мин.; линейная скорость перемещения инструмента – 80-150 мм/мин.

Проведен сравнительный анализ структурно-фазового состояния никелида титана вышеуказанных составов: 1) в состоянии поставки; 2) в зоне термического влияния дорожки (ЗТВ); 3) в дорожке СТП непосредственно после её естественного охлаждения; 4) в дорожке после стравливания поверхностного слоя толщиной 0.05 мм.

Удаление поверхностного слоя дорожки производили её травлением в водном растворе $\text{HNO}_3 + \text{HF}$. Рентгенодифракционный анализ образцов проводили на дифрактометре ДРОН-7 (Буревестник, Россия), с использованием фильтрованного $\text{Co-K}\alpha$ излучения.

В большинстве режимов СТП, за исключением минимальных нагрузок, получены дорожки без дефектов (в частности, без микротрещин). Несмотря на принятые меры, наблюдали окисление поверхностных слоев обработанных сплавов (рис.1). ЗТВ характеризуется лишь слабым пожелтением поверхности, примыкающей к дорожке, т.е. незначительным окислением.

Рис.1. Наконечник инструмента, изготовленный из сплава ЖС6У и две дорожки СТП.

Секция 8. Сварка, родственные процессы и технологии для создания технических систем ответственного и специального назначения, в том числе для эксплуатации в экстремальных условиях и низких климатических температур Арктики и Крайнего Севера

В состоянии поставки оба сплава имеют широкие дифракционные отражения, затрудняющие идентификацию фаз малого содержания. Сплав с 50.9(ат.%)Ni при комнатной температуре находится в состоянии высокотемпературной фазы B2 (параметр решётки ОЦК $a_{B2} \approx 3.010 \text{ \AA}$), обладающей текстурой прокатки. Разделение вкладов в физическое уширение рефлексов решётки B2 показало как наличие малого среднего размера ОКР – $\langle D \rangle \approx 40 \text{ нм}$, так и высокую величину микродеформации, связанной с напряжениями II-го рода – $\epsilon^{\text{II}} \approx 0.9\%$. Сплав с 50.2(ат.%)Ni находится в двухфазном состоянии B19'+R (мартенситные фазы с моноклинной и ромбоэдрической структурой, соответственно). Удаление поверхностного слоя исходных образцов травлением не приводит к изменению структурно-фазового состояния обоих сплавов.

В ЗТВ вблизи дорожки, образцы сплава с 50.9(ат.%)Ni сохраняют состояние фазы B2 ($a_{B2} = 3.0116 \pm 0.0003 \text{ \AA}$). Текстура прокатки исчезает. Рентгеновские отражения становятся узкими, т.е. происходит рекристаллизационный отжиг. Это позволяет идентифицировать наличие малого количества фазы типа Ti_2NiO_x , определить низкое значение микродеформации решётки B2 – $\epsilon^{\text{II}} \approx 0.1\%$ и рост её среднего размера ОКР свыше предельного для метода ($\langle D \rangle \geq 150 \text{ нм}$).

В ЗТВ сплава с 50.2(ат.%)Ni также наблюдается сужение дифракционных отражений. Фиксируется неоднородность фазового состава: можно наблюдать как смесь фаз B2+R+B19', так и подавляющее содержание мартенситной фазы B19'. В обоих случаях на пороге обнаружения наблюдается примесная фаза Ti_2NiO_x .

В приповерхностном слое дорожки образцы сплава с 50.9(ат.%)Ni в основном сохраняют состояние фазы B2 с узкими рефлексами и отсутствием текстуры ($a_{B2} = 3.011 \div 3.013 \text{ \AA}$, с наличием зависимости от кристаллографического направления). В большей степени в это же состояние переходят и образцы сплава с 50.2(ат.%)Ni ($a_{B2} = 3.0114 \pm 0.0005 \text{ \AA}$). При этом сохраняется небольшое количество мартенситной фазы B19'. Кроме того, в дорожках СТП образцов обоих сплавов наблюдается текстурированный поверхностный слой TiO_2 , со структурой рутила, а также увеличение содержания фазы Ti_2NiO_x .

После удаления травлением поверхностного слоя дорожки толщиной 0.05 мм, в ней не обнаружено макроскопических дефектов или включений. В образцах сплава с 50.9(ат.%)Ni наблюдается фаза B2, а в образцах сплава с 50.2(ат.%)Ni – двухфазное состояние B19'+B2. В обоих образцах фиксируется малая объемная доля фазы типа Ti_2NiO_x и отсутствие TiO_2 .

Таким образом, обработка никелида титана, моделирующая процесс СТП, показывает возможность применения данного метода при выбранных типе инструмента и режимах. Подобная обработка приводит к исчезновению текстуры, характерной для исходных образцов, и слабо влияет на структурно-фазовое состояние сплавов. Фазовый состав внутренних объёмов материала дорожки в сплаве с 50.9(ат.%)Ni сохраняет состояние фазы B2, а в сплаве с 50.2(ат.%)Ni, R фаза испытывает превращение в состояние B2. Применённый защитный обдув образцов аргоном при СТП не предохраняет поверхностный слой от окисления. В то же время, толщина окисленного слоя составила менее 0.05 мм.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы, направление III.23.

1. Mani Prabu S.S., Madhu H.C., Perugu C.S., Akash K. et al. Mater. Sci. Eng. A (2017), 693, 233-236. <http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2017.03.101>.
2. Huang G.Q., Yan Y.F., Wu J., Shen Y.F., Gerlich A.P. J. Alloys Compd. (2019), 786, 257-271. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.01.364>.
3. Kalashnikov K.N., Tarasov S.Y., Chumaevskii A.V. et al. Int J Adv Manuf Technol (2019). <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03631-3>.