

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА БАРОКРИОДЕФОРМИРОВАНИЯ НА АКУСТИЧЕСКУЮ ЭМИССИЮ TiNi

Хаймович П.А.¹, Андреев В.А.^{2,3}, Черняева Е.В.^{4*}, Волков А.Е.⁴, Шульгин Н.А.¹,
Вьюненко Ю.Н.⁵

¹Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», г. Харьков, 61108, Украина,

² ООО «Промышленный центр МАТЭК-СПФ», Москва, 117449, Россия

³ ФГБУН Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва, 119334, Россия

⁴Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, 198504, Россия

lena@smel.math.spbu.ru

⁵ООО «ОПТИМИКСТ ЛТД», Санкт-Петербург, 195426, Россия,

Исследовали сплав TiNi с содержанием никеля 55,15 вес.%, из которого методом ротационнойковки [1] были изготовлены прутки диаметром 10 мм. Из полученных заготовок нарезали образцы в виде дисков толщиной 2 мм и цилиндры высотой 25 для проведения барокриодеформирования (БКД) в установке, состоящей из рабочей камеры 1 и присоединяемой к ней камеры противодействия 2 (рис.1). Продавливание заготовки 3 через матрицу осуществлялось за счет разницы давлений P_1 и P_2 в камерах 1 и 2, соответственно, при температуре -196°C . В качестве рабочей среды в камере 2 был использован индий [2]. Деформирование проводили при трех уровнях противодействия $P_2 = 5, 8$ и 12 кБар. При этом разница между величинами P_1 и P_2 всегда составляла 6 кБар. Удлинение исходного цилиндра составило примерно 20% при всех режимах.

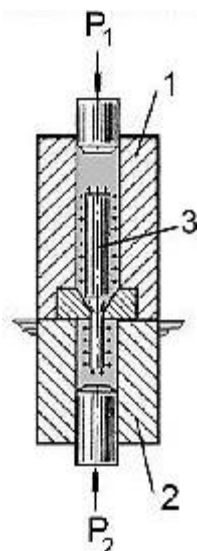


Рисунок 1 - Схема установки для проведения БКД

Из полученных экструдатов были вырезаны прямоугольные образцы размерами примерно $10 \times 9 \times 1,5$ мм и образцы в виде дисков толщиной 1,5 мм

Регистрацию сигналов акустической эмиссии (АЭ) проводили при помощи широкополосных датчиков АЭ MSAE-L2 и MSAE 1300 WB-C с усилителем MSAE-FA010 с общим усилением 80дБ. Все зарегистрированные сигналы разбивали на группы по форме кривой спектральной плотности и анализировали спектральные портреты (усредненные для каждой группы формы кривой спектральной плотности мощности) самой представительной группы, которая обычно содержала от 70 до 90 % сигналов. Дополнительно для каждого сигнала вычисляли энергию и медианную частоту (частоту, которая делит площадь под кривой спектральной плотности пополам).

Структурные изменения в никелиде титана оценивали по изменению характеристик АЭ при уколах твердосплавным коническим индентором в приповерхностный слой (1, рис.2), центральную область (3, рис.2) и промежуточную область (2, рис.2). Индентирование проводили непосредственно на датчике (рис.3) с максимальной нагрузкой на индентор 1000 Н.

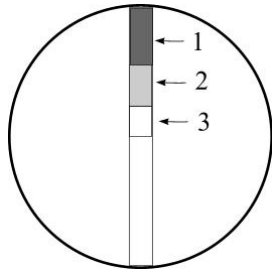


Рисунок 2 - Области укола индентором при изучении АЭ



Рисунок 3 - Внешний вид нагружающего устройства акустической установки

На рис.4 приведены кривые спектральной плотности S для уколов индентором в образец в исходном состоянии (образец №1). Показано, что в зонах 2 и 3 максимальные значения локальных экстремумов соответствуют частоте 130 кГц, а в приповерхностном слое наибольший локальный максимум обнаружен на частоте около 240 кГц. Увеличение в спектре высокочастотной составляющей обычно свидетельствует о большей поврежденности структуры материала [3]. В нашем случае это может быть связано с деформационным воздействием на приповерхностный слой прутка во время его изготовления при тепловой ковке.

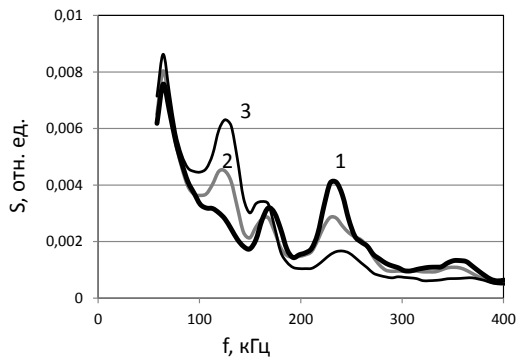


Рисунок 4 - Кривые спектральной плотности мощности, полученные при уколах в приповерхностную зону 1 (кривая 1), промежуточную зону 2 (кривая 2) и центральную зону 3 (кривая 3) образца TiNi в исходном состоянии.

В образцах №2-4, полученных из материала после БКД при $P_2 = 5, 8$ и 12 кБар, соответственно, во всех случаях доминируют пики спектральной плотности на частотах 130 и 170 кГц (рис. 5). При этом высокочастотная составляющая (на частотах около 240 кГц) спектральной плотности в наружных слоях везде больше, чем в центральных зонах. Причем с ростом степени противодавления P_2 высота пиков на этих частотах в наружном слое увеличивается, а спектры в центральной части образцов практически не меняются, что свидетельствует о том, что при продавливании заготовки через матрицу при БКД наибольшему изменению подвергается внешняя часть заготовки.

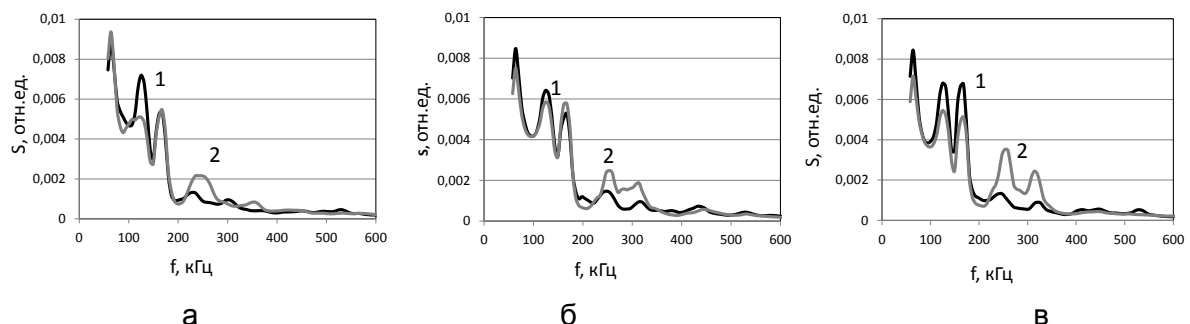


Рисунок 5 - Кривые спектральной плотности сигналов АЭ при внедрении индентора в образцы №2 (а), №3 (б) и №4 (в) в центральные (кривые 1) и приповерхностные (2) зоны (см. рис.2)

Кроме того, после БКД процесс индентирования сопровождается пониженной генерацией акустических импульсов. В экспериментах с диском в исходном состоянии

среднее количество зафиксированных сигналов было равно 280 на один укол, а после БКД оно составляло 203-208 импульсов.

В отличие от индентирования при комнатной температуре, акустическая эмиссия, сопровождающая фазовый переход в деформированном материале, была интенсивней в сравнении с исходным состоянием. Для изучения этого процесса использовали датчик MSAE 1300 WB-C с усилителем MSAE-FA010 с общим усилением 80 дБ. Нагрев образцов №1-4, расположенных на поверхности датчика (3), проводили с помощью теплопровода из стальной пластины размерами 90x20x2 мм, край которой нагревали пламенем свечи. Каждый из четырех образцов последовательно трижды нагревали до 150°C и охлаждали до комнатной температуры.

На рис. 6 показана зависимость числа зафиксированных импульсов с единицы объема материала от номера термоцикла.

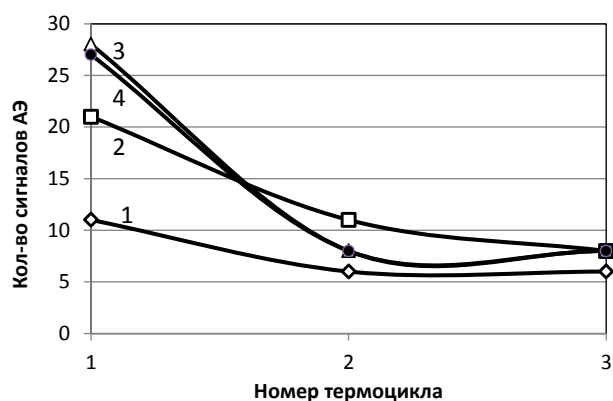


Рисунок 6 - Зависимость удельного количества сигналов АЭ (а) в трех последовательных циклах нагрев-охлаждение для образцов TiNi в исходном состоянии №1 (1) и после БКД: №2 (2), №3 (3) и №4 (4)

Из приведенных данных видно, что в исходном и продеформированных образцах с противодавлением 8 и 12 кБар во втором и третьем термоциклах число импульсов АЭ практически одинаковое. После деформирования сплава при $P_2=5$ кБар понижение АЭ идет более плавно. При этом количество сигналов в первом термоцикле у образца в исходном состоянии существенно меньше, чем у образцов после БКД.

Таким образом, варьируя давление в камерах установки для БКД можно влиять на свойства никелида титана. Метод АЭ может служить индикатором как изменений в структуре, так и в протекании фазовых превращений в сплаве TiNi.

Список литературы

1. Андреев В.А., Юсупов В.С., Перкас М.М., Просвирнин В.В., Шелест А.Е., Прокошкин С.Д., Хмелевская И.Ю., Коротичкий А.В., Бондарева С.А., Карелин Р.Д. Механические и функциональные свойства промышленных полуфабрикатов из сплава тн-1, полученных тепловой ротационной ковкой и РКУП//Деформация и разрушение материалов. 2017. №4. С.43-48
2. Хаймович П.А., Черняева Е.В. Особенности реализации барокриодеформирования металлов / в кн. Перспективные материалы и технологии - Витебск: изд-во УО «ВГТУ», 20017 – с.182-202
3. Черняева Е.В., Мерсон Д.Л. Спектральный анализ акустической эмиссии как перспективный метод оценки состояния материалов /гл. в кн. Перспективные технологии и методы контроля - Витебск: изд-во УО «ВГТУ», 2009 – с.316-359