

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЭКСТРУДИРОВАННОГО ПОРОШКОВОГО СПЛАВА TiNi

Маркова Г.В.¹, Володько С.С.¹, Касимцев А.В.²

¹ ФГБОУ ВО Тульский государственный университет,

² ООО «Метсинтез»,

г. Тула, Россия, galv.mark@rambler.ru

Для возможности эффективного использования никелида титана в технике необходима разработка технологии получения сплава с заданным уровнем функциональных, механических и технологических свойств в промышленных объемах. Для сплавов, полученных традиционной технологией литья, основная сложность заключается в обеспечении точного химического состава. Как правило, литая заготовка после гомогенизирующих отжигов подвергается полному контролю по составу и для дальнейшей обработки отбирается только небольшая ее часть. Ранее была показана возможность получения структуро-однородного никелида титана технологией порошковой металлургии путем вакуумного спекания гидридно-кальциевых порошков на промышленном оборудовании. Полученный материал отличается постоянством фазового состава во всем объеме заготовки от порошка до спеченного компакта.

Необходимым технологическим этапом при производстве заготовок и изделий из никелида титана является термомеханическая обработка, которая вызывает не только изменения структуры (полигонизация, динамическая рекристаллизация), но и изменение температур мартенситного превращения (МП) и, следовательно, температур проявления функциональных свойств. Это приводит к существенному изменению характеристик памяти формы и сверхупругости.

Объектом данного исследования является порошковый интерметаллид TiNi, полученный на промышленном оборудовании по гидридно-кальциевой технологии, обеспечивающей гомогенность химического и структурного состава во всем объеме заготовки (до 50 кг). Химический состав сплава соответствует техническому сплаву ТН1 (таблица 1).

Таблица 1 - Химический состав исследованного сплава

	Химический состав, % масс.									
	основные элементы		примеси, не более							
	Ni	Ti	C	Co	Fe	Si	N	O	H	Σ прочих примес.
ТУ 1-809-394-84 (ТН1)	53,5-56,5	Осн.	0,1	0,2	0,3	0,15	0,05	0,2	0,013	0,3
Исследуемый сплав	55,9	Осн.	0,067	-	0,1	-	0,015	0,1	-	0,13 (Ca)

Спеченную при 1200 °С заготовку подвергали экструзии при температуре 900 °С с истинной деформацией $\epsilon=1,5$. Металлографический анализ выполняли на оптическом микроскопе Axio Observer D1m компании Zeiss в светлом поле. Рентгеноструктурный анализ проводили на автоматизированном дифрактометре ДРОН-3 с использованием монохроматического Cu K-излучения с длиной волны $\lambda = 1,54178$ А. Съёмку проводили по точкам (в режиме шагового сканирования) в интервале углов $2\theta = 10-100$ град, шаг съёмки — 0,1 град, экспозиция на точку — 4 с. Сериальные измерения микротвердости проводили в соответствии с ГОСТ 9450–76 на микротвердомере ПМТ-3 по сечению образцов, вырезанных из прутка поперек направления деформации с шагом 300 мкм от поверхности. Механические свойства измеряли на разрывной машине Instron 5581. Испытания на растяжение проводили по ГОСТ 1497–84 на стандартных образцах. Для

определения температур МП использовали методы механической спектроскопии. Измерения температурных зависимостей внутреннего трения (ТЗВТ) и упругих свойств (ТЗМУ) проводили в килогерцевом диапазоне частот в режиме свободно затухающих изгибных колебаний. Температуры прямого и обратного МП определяли по положению характерного минимума модуля нормальной упругости E и мартенситного пика ВТ.

Микроструктура сплава после экструзии представляет собой зерна равновесной формы, со спрямленными границами и 120-градусными стыками (рисунок 1). Такая структура сформировалась в результате собирательной рекристаллизации, которая развивается, видимо, в процессе медленного охлаждения от температуры экструзии. Средний размер зерна составил 48 ± 8 мкм. Разнозернистость по сечению не наблюдается, что свидетельствует о равномерности деформации по всей толщине заготовки. Несмотря на высокую температуру термомеханической обработки, в сплаве сохраняется небольшая пористость. В структуре наблюдается также мелкодисперсная фаза, равномерно распределенная в теле зерен.

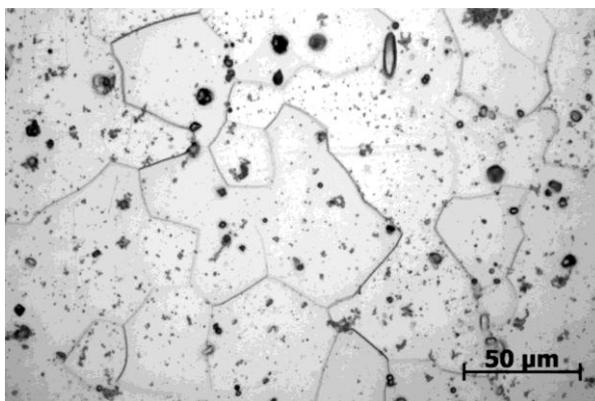


Рисунок 1 - Микроструктура экструдированного порошкового сплава TiNi.

Проведенный рентгеноструктурный анализ показал, что структура сплава однофазна и представляет собой аустенитную B2 фазу с ОЦК решеткой с параметром $a = 3.012$ ангстрем (рисунок 2). Вторая фаза не идентифицирована вследствие ее небольшого количества и высокой дисперсности. Наблюдаются признаки формирования небольшой текстуры.

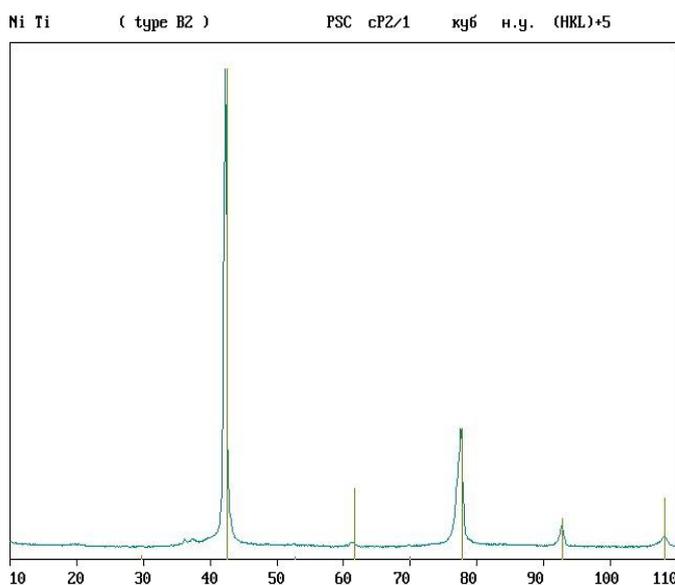


Рисунок 2 - Дифрактограмма экструдированного сплава

Измерения температурных зависимостей внутреннего трения и модуля упругости показали, что в исходном состоянии температура МП, определенная по

минимуму на T_{3f} , находится ниже комнатной – при температуре $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$. На ТЗВТ в области отрицательных температур обнаруживается повышенный уровень рассеяния энергии, но не отчетливый максимум ВТ, как ожидалось. По-видимому, образец находится в крайне неравновесном состоянии, характеризующимся высокими внутренними напряжениями. После нагрева до температуры $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ и последующего охлаждения на ТЗВТ формируется два максимума, соответствующие двум мартенситным превращения В2-R и R-B19'. Температура перехода В2-R составляет $24\text{ }^{\circ}\text{C}$, а R-B19' - $(-17)\text{ }^{\circ}\text{C}$. При повторном нагреве формируется один пик ВТ с максимумом при $44\text{ }^{\circ}\text{C}$. Столь существенное смещение температуры превращений свидетельствует о нестабильном состоянии образца в исходном состоянии.

Сериальные измерения микротвердости показали, что микротвердость распределена по сечению равномерно (рисунок 3). Это свидетельствует о равномерной деформации по всему сечению заготовки, что подтверждает данные, полученные микроструктурным анализом. Среднее значение твердости по образцу составило $331 \pm 42\text{ HV}$.

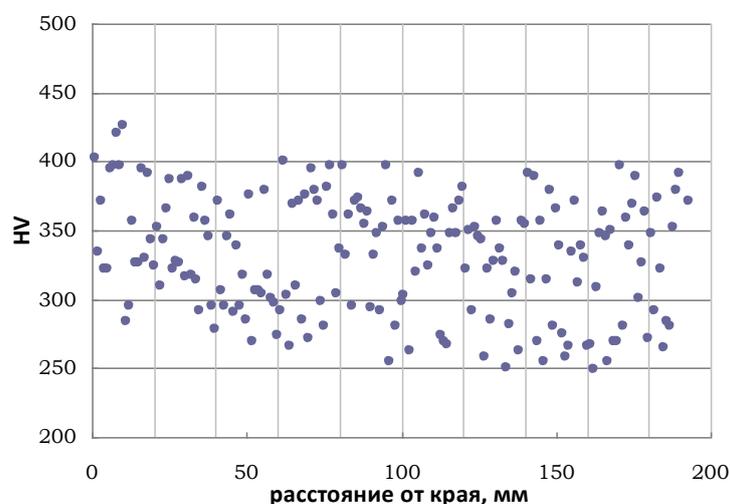


Рисунок 3 - Распределение твердости по сечению заготовки экструдированного сплава

Определение механических свойств проводили на двух стандартных образцах (таблица 2).

Таблица 2 - Механические свойства экструдированного образца

Образец	σ_{B} , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	E, ГПа
ТН-1 ТУ 1-809-215-85	539	294	>10	-	-
спеченный	985	484	3,6	-	-
экструзия	1210	768	13	5	72
	1251	783	13	5	68

Полученные результаты показывают, что по всему комплексу механических свойств экструдированный сплав не только удовлетворяет, но и превышает требования ТУ.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-03-00360 А.