

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ОБЪЕМНЫХ  
НАНОСТРУКТУРНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ С ПОВЫШЕННЫМИ  
МЕХАНИЧЕСКИМИ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ  
ИЗ СПФ МАРКИ ТН-1**

**Андреев В.А.<sup>1</sup>, Юсупов В.С.<sup>2</sup>, Перкас М.М.<sup>2</sup>, Просвирнин В.В.<sup>2</sup>, Шелест А.Е.<sup>2</sup>,  
Прокошкин С.Д.<sup>3</sup>, Хмелевская И.Ю.<sup>3</sup>, Дубинский С.М.<sup>3</sup>, Бондарева С.А.<sup>3</sup>,  
Хусаинов М.А.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> *«Промышленный центр «МАТЭК-СПФ», Москва, Россия*

<sup>2</sup> *ИМЕТ РАН, Москва, Россия*

<sup>3</sup> *НИТУ «МИСиС», Москва, Россия*

<sup>4</sup> *НГУ имени Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Россия*

andreev.icmateks@gmail.com

В настоящее время в мировой практике большое внимание уделяется получению наноструктурных полуфабрикатов из сплавов с памятью формы (СПФ) с повышенными механическими и служебными свойствами [1-3]. Однако до сих пор проблемы производства таких материалов в промышленных масштабах, и прежде всего в виде объёмных длинномерных полуфабрикатов, далеки от решения. Настоящая работа направлена на разработку эффективной технологии получения длинномерного продукта: прутков диаметром 4-6 мм, длиной 1500-3000 мм с высокими механическими и эксплуатационными свойствами, которая включает на первом этапе интенсивную пластическую деформацию (ИПД) методом РКУП и последующую низкотемпературную ротационную ковку. В дальнейшем планируется разработка технологии получения проволоки диаметром от 2,0 до 0,1 мм.

Сплавы Ti-Ni были выплавлены в индукционной печи. Масса каждого слитка – 25 кг. После разливки, охлаждения и механической обработки их подвергали горячей поперечно-винтовой прокатке до 20 мм за несколько проходов с единичными обжатиями 7-20% и с промежуточными нагревами при 950-850°C.

Горячекатаные прутки диаметром 20 мм и длиной 75-100 мм из СПФ марки ТН1 (производства ООО «Промышленный центр МАТЭК-СПФ») двух составов – (1) условно эквивалентный (Ti-55,10 масс.%Ni) и (2), обогащённый никелем (Ti-55,83 масс.%Ni), подвергали интенсивной пластической деформации (ИПД) методом РКУП с углом пересечения каналов 120° при температуре около 450°C за 6-20 проходов.

Исходное состояние образцов перед РКУП было получено после следующих обработок: для сплава 1 – отжига при температуре 750°C в течение 30 мин. с

последующим охлаждением в воде, а для сплава 2 – также закалке от 750°C, 30 мин. и последующего старения при температуре 450°C, 30 мин. Образцы для исследования микроструктуры были отобраны в исходном состоянии, после 1-го, 8-го и 20-го проходов РКУП. Исследование механических и функциональных свойств проводили в горячекатаном состоянии, после термообработки (исходное состояние) и после 20-го прохода РКУП.

Оценка механического поведения горячекатаных прутков в ходе деформации растяжением при комнатной температуре показала, что оно традиционно для сплавов этих составов в рекристаллизованном состоянии. Сплав 1 имеет низкий фазовый предел текучести  $\sigma_{tr}=150$  МПа, площадку текучести, характеризующую величину обратимой деформации,  $\epsilon_{пл}=7,8\%$ ; дислокационный предел текучести  $\sigma_r=480$  МПа, предел прочности  $\sigma_b=740$  МПа. У стареющего сплава 2  $\sigma_{tr}=400$  МПа,  $\epsilon_{пл}=3,5\%$ ,  $\sigma_b=600$  МПа. Относительное удлинение до разрушения обоих сплавов – 25-28%. Твёрдость сплава 1 составила 61- 62 HRB.

На рисунке 1 представлена структура сплавов (прутков диаметром 20 мм) в состоянии после горячей прокатки. Видно, что структура исходного В2-аустенита рекристаллизованная.

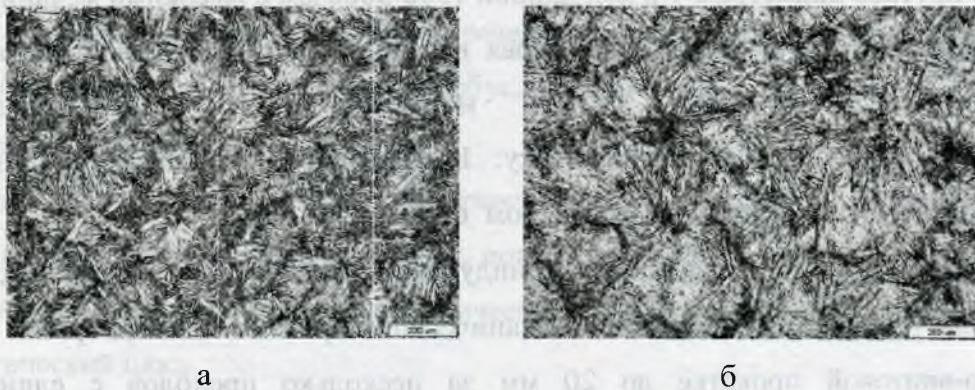


Рисунок 1. Структура горячекатаных прутков сплава 1(а) и сплава 2(б)

В структуре обоих сплавов присутствует мартенсит, однако в сплаве 1 его значительно больше, поскольку при комнатной температуре сплав находится в состоянии ниже температуры окончания мартенситного превращения,  $M_k$ . В сплаве 2 мартенсит появляется в результате подстаривания при охлаждении прутка после прокатки.

Дальнейшие исследования структуры и свойств сплавов после РКУП и ротационнойковки позволят ответить на вопрос о возможности получения нанокристаллической структуры с помощью данной технологии.

1. Рыклина Е.П. V Всероссийская конференция по наноматериалам. «НАНО 2013». Звенигород. 23-27 сентября 2013 г. // Сборник материалов. – М.: ИМЕТ РАН, 2013, 224 с.
2. Андреев В.А., Хусаинов М.А., Бондарев А.Б. // Производство проката. 2008. №9. С.37-42.
3. Khoptiar Y., Flomenblit J., Padan R., Gutman I., and Gorni D. //The International Conference on Shape Memory and Superelastic Technologies, May 20-24, 2013. Prague, Czech Republic. Abstracts, p.36.