

# МИКРОСТРУКТУРА, ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ И СВОЙСТВА ЛИТЫХ И БЫСТРОЗАКАЛЕННЫХ СПЛАВОВ $Ti_2NiCu$ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ

<sup>1</sup>*Пушин А.В.*

*Руководитель – профессор, д.т.н. <sup>2</sup>Попов А.А.*

<sup>1</sup>Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург,

<sup>2</sup>ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого

Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург,

avpushin@rambler.ru

Комплексно исследованы сплавы с термоупругими мартенситными превращениями (ТМП) и эффектами памяти формы (ЭПФ) квазибинарного разреза  $TiNi-TiCu$ . Тонкие длинномерные ленты получены с использованием метода быстрой закалки расплава (БЗР) спиннингованием струи со скоростями охлаждения  $v_{зак.} = 10^5-10^6$  °C/с. Химический состав новых перспективных БЗР сплавов на основе  $Ti_2NiCu$  варьировали в пределах  $\pm 1$  ат.% относительно разреза  $TiNi-TiCu$  по двум или трем компонентам. Исследования структуры, химического и фазового состава сплавов выполнены методами просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии, дифракции электронов, рентгеноструктурного анализа. Измерены механические свойства, удельное электросопротивление, ЭПФ сплавов. Сплавы изучены в литом состоянии, после БЗР и термической обработки по различным режимам.

Показано, что БЗР со скоростью охлаждения  $10^6$  °C/с приводит к аморфизации сплавов с содержанием меди более 22 ат.%, а нагрев до 450°C и выше обеспечивает их расстекловывание по полиморфному, первичному или эвтектическому механизмам без изменения или с изменением химического состава при образовании структуры В2-аустенита. В зависимости от отклонения состава сплавов от стехиометрического, приводящего при нанокристаллизации к распаду, закономерно изменяются их механические свойства и ЭПФ. Пределы прочности  $\sigma_B$  и текучести  $\sigma_{0,2}$  варьируют в пределах 850-1400 МПа, 700-1200 МПа, относительное удлинение – в пределах 9-12% при высокой обратимой деформации 3-5%.

Зависимости электросопротивления от температуры  $\rho(T)$  исследуемых сплавов систематизированы в виде диаграмм ТМП (рисунок 1). Отклонение квазибинарного сплава  $Ti_2NiCu$  по химическому составу по Cu и Ni в сторону увеличения концентрации Cu приводит к некоторому практически линейному снижению критических температур (на 2-5°). Иной характер имеют указанные зависимости при отклонении состава от стехиометрии по Ti и Ni (рис. 1а) и Ti и Cu (рис. 1б). Как при увеличении содержания Ti (до 51 ат.%) и уменьшении содержания Ni или Cu (до 24

ат.%), так и, напротив, при уменьшении Ti (до 49 ат.%) и увеличении Ni или Cu (до 26 ат.%) критические температуры начала и конца прямого и обратного ТМП заметно снижаются, как и их интервал от 55-68°C до 12-30°C, соответственно (для Ti и Ni); от 55-68°C до 20-35°C, соответственно (для Ti и Cu).

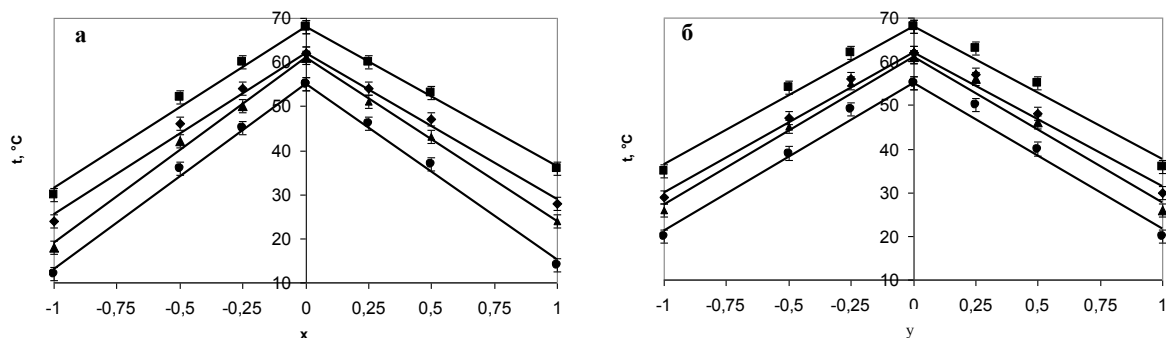


Рисунок 1 Зависимости критических температур ТМП от химического состава БЗР сплавов  $Ti_{50-x}Ni_{25+x}Cu_{25}$  (а),  $Ti_{50-y}Ni_{25}Cu_{25+y}$  (б) (■ –  $A_f$ , ◆ –  $M_s$ , ▲ –  $A_s$ , ● –  $M_f$ ) ( $10^6$  °C/с, 450°C, 10 минут)

Размерный эффект стабилизации объясняется измельчением зеренной структуры В2-аустенита, которое обусловлено барьерным влиянием дисперсных частиц избыточных фаз при расстекловывании. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 11-02-00021.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексашин В.А., Кондратьев В.В., Королев А.В., Пушин В.Г., Пушин А.В., Солонинин А.В., Танкеев А.П. Спектры ЯМР  $^{63}Cu$ , магнитная восприимчивость и просвечивающая электронная микроскопия быстрозакаленных сплавов  $Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$  // ФММ. 2010. Т. 110. №6. С. 608-613.
2. Пушин А.В., Попов А.А., Пушин В.Г. Влияние отклонения химического состава от стехиометрического на структурные и фазовые превращения и свойства быстрозакаленных сплавов  $Ti_{50+x}Ni_{25-x}Cu_{25}$  // ФММ. 2012. Т. 113. № 3. С. 299-311.
3. Пушин В.Г., Куранова Н.Н., Пушин А.В. и др. Формирование нанокристаллической структуры в аморфном сплаве  $Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$  при интенсивном механотермическом воздействии и размерный эффект термоупругого мартенситного превращения  $B2 \leftrightarrow B19$  // ФММ. 2012. Т. 113. № 3. С. 286-298.