

ВЛИЯНИЕ ИЗОХРОННОГО ОТЖИГА НА КИНЕТИКУ МАРТЕНСИТНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРИСТОГО СПЛАВА Ti–48 АТ.%Ni, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА

Реснина Н. Н., Беляев С. П., Воронков А. В., Мозгунов В. Ф.

¹*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*
resnat@mail.ru

Пористые сплавы на основе TiNi являются одними из наилучших кандидатов для изготовления имплантатов, поскольку наличие сквозной пористости позволяет живой ткани прорасти сквозь поровые каналы, обеспечивая лучшее вживание имплантата. Однако существует ряд проблем, главной из которых является то, что структура пористого сплава TiNi, полученного методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза является неоднородной и наряду с фазой TiNi в материале присутствуют вторичные фазы, обогащенные как титаном, так и никелем. В тоже время сама фаза TiNi характеризуется повышенным содержанием никеля и его неоднородным распределением. В результате мартенситные превращения в таком материале слабо выражены и реализуются в очень широком интервале температур. Функциональные свойства при этом практически не проявляются. Очевидно, формирование подобной структуры и свойств являются характерной особенностью технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. После синтеза и завершения горения шихты из-за быстрого охлаждения процесс структурообразования в сплаве оказывается незавершенным и фиксируется неравновесная структура. Так, было обнаружено, что в пористом сплаве, синтезированном из смеси порошков Ti–50.0 ат. % Ni, не более 20 % объема материала претерпевает мартенситное превращение, что обусловлено высокой (по видимому более 52 ат.% Ni) концентрацией никеля в фазе TiNi. При этом в сплаве присутствует большое количество частиц фазы Ti₂Ni. Считается, что именно образование этой фазы, предшествующее при синтезе образованию фазы TiNi, приводит к обеднению смеси атомами Ti, в результате чего концентрация никеля в фазе TiNi превышает 50.0 ат. %. В этом случае можно предположить, что увеличение концентрации титана в исходной смеси порошков будет компенсировать недостаток титана в фазе TiNi. Целью данной работы явилось исследование влияние изохронного отжига на кинетику мартенситных превращений и механическое поведение пористого сплава Ti–48.0 ат. % Ni, полученных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза.

Для получения пористых сплавов использовали смеси порошков никеля «ПНК-1» и титана «ПТОМ-2» (средний размер фракций 0–40 мкм) в пропорции Ti–48.0 ат. % Ni. Смеси порошков закладывали в реактор и нагревали до температуры 340°C или 500 °C, после чего инициировали реакцию самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Во время всего процесса смесь порошков находилась в атмосфере аргона во избежание окисления. Таким образом были получены заготовки пористого сплава TiNi диаметром 35 мм и длиной 100 мм. Образцы были подвергнуты изохронному отжигу в интервале температур от 300 °C до 600 °C с шагом по температуре 100 °C и выдержкой 30 минут. После каждого этапа изохронного отжига были исследованы структура, кинетика мартенситных превращений и механические свойства при температурах 140 °C и -170 °C.

Полученные результаты показали, что в отличие от сплава Ti–50.0 ат. % Ni, исследуемый сплав не содержит фазы Ti₃Ni₄. Это косвенным образом указывает на то, что в результате увеличения содержания титана в шихте объемная доля областей, обогащенных никелем, в твердом растворе TiNi конечного продукта уменьшилась. Исследо-

вание кинетики мартенситных превращений показало, что калориметрические кривые, полученные при охлаждении и нагревании сплавов Ti–48.0 ат. % Ni, синтезированных при температуре предварительного нагрева 340 °C и 500 °C (рис. 1) содержат по два тепловых пика при охлаждении (А и Б) и два пика при нагревании (В и Г)

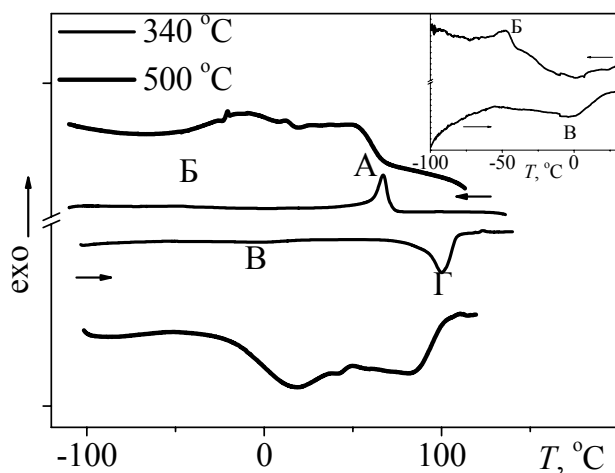


Рис. 1. Калориметрические кривые, получены при охлаждении и нагревании сплава Ti – 48.0 ат. % Ni, синтезированного при температурах предварительного нагрева 340 °C и 500 °C.

48.0 ат. % Ni, синтезированном при температуре 500 °C, более 60 % объема фазы TiNi претерпевает фазовый переход.

Изохронный отжиг сплава Ti–48.0 ат. % Ni, синтезированного при температуре 340 °C приводит к образованию частиц фазы Ti₃Ni₄, объемная доля которых зависит от температуры отжига и оказывается максимальной в сплаве, отожженном при температуре 500 °C. Образование частиц фазы Ti₃Ni₄ способствует уменьшению концентрации никеля в фазе TiNi и появлению областей с концентрацией никеля близкой к 51 %. При охлаждении в этих областях реализуется превращение из кубической B2 фазы в моноклинную B19'. Кроме этого, увеличение температуры изохронного отжига до 500 °C приводит к увеличению теплоты превращения, что косвенно указывает на увеличение объема сплава, претерпевающего мартенситный переход.

Изохронный отжиг сплава Ti–48.0 ат. % Ni, синтезированного при температуре 500 °C не приводит к образованию частиц фазы Ti₃Ni₄. Однако отжиг способствует изменению последовательности мартенситных превращений. Изменение величины тепловыделения не наблюдается, однако происходит перераспределению интенсивности между калориметрическими пиками, что косвенно указывает на то, что объемная доля фазы TiNi, претерпевающей то или иное превращение меняется. В целом, вне зависимости от температуры отжига, в сплаве Ti–48.0 ат. % Ni, синтезированном при температуре 500 °C, 60 % объема сплава претерпевает мартенситное превращение.

Таким образом результаты работы показали, что в зависимости от температуры синтеза пористого сплава Ti–48.0 ат. % Ni, последующий отжиг может приводить к различным последствиям. Кроме этого от температуры синтеза напрямую зависит объемная доля материала, способного претерпеть фазовое превращение. Так, в сплаве Ti – 48.0 ат. % Ni, синтезированном при температуре 340 °C, даже после отжига 500 °C лишь 20 % объема материала претерпевает мартенситное превращение. В то время как в сплаве Ti – 48.0 ат. % Ni, синтезированном при температуре 500 °C, фазовый переход реализуется в 60 % объема сплава. Это оказывает влияние на механизмы деформирования пористого сплава и на максимально обратимую деформацию. Так, в сплаве Ti – 48.0 ат. % Ni, синтезированном при температуре 340 °C максимальная деформации до

Отличительным является тот факт, что в сплаве Ti – 48.0 ат. % Ni, синтезированном при 340 °C, пики А и Г наблюдаются в узком температурном интервале, а интегральная теплота под пиками Б и В крайне мала (0,7- 0,9 Дж/г) (см. вставку на рис. 1). Вместе с тем в сплаве Ti – 48.0 ат. % Ni, синтезированном при температуре 500 °C, как при охлаждении, так и при нагревании пики перекрываются, а тепловыделение составляет 17 Дж/г, что в 2-3 раза превосходит величину теплоты прямых переходов, измеренную в сплаве Ti – 50.0 ат. % Ni. Это указывает на то, что в сплаве Ti –

разрушения составляет 2 %, в то время как в сплаве Ti – 48.0 ат. % Ni, синтезированном при 500 °С, разрушение происходит лишь при 4 %. Вместе с тем, наличие в сплаве Ti – 48.0 ат. % Ni, синтезированном при температуре 340 °С, частиц вторичной фазы Ti₃Ni₄ приводит к сильному упрочнению сплава.

Таким образом, результаты работы показали, что варьирование параметров самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и последующего отжига позволяет управлять структурой и свойствами пористых сплавов на основе Ti – 48.0 ат. % Ni.

Работа выполнена в рамках государственного контракта П1237 от 27.08.2009г по Федеральной Целевой программе «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России»

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНЫХ СВОЙСТВ НИТИНОЛА

**Колмаков А. Г., Севостьянов М. А., Гончаренко Б. А., Заболотный В. Т.,
Шкурин С. А., Асмолова Ю. О.**

*Россия, Учреждение Российской академии наук Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН,
smakp@mail.ru*

В последнее время широкое практическое применение находят сплавы, проявляющие эффект памяти формы, благодаря особому комплексу свойств, рассматриваются как функциональные материалы для нестандартного решения важных технических задач. Сплавы с памятью формы используются в различных областях техники (энергетика, машиностроение, робототехника, сельское хозяйство, бытовая и авиакосмическая техника и др.), медицине и др.

В данной работе исследовали усталостные свойства проволоочных образцов диаметром 290 мкм в состоянии поставки, после отжига (при температуре 390 °С в течение 15 минут) и после обработки поверхности образцов наждачной шкуркой и последующего отжига проволоки 50.2 ат. % Ni. Усталостные испытания проводили на специальной установке в условиях чистого изгиба с вращением.

Фрактографические исследования проводили с помощью растрового электронного микроскопа LEO-430i. Данные по усталостной прочности представлены на рис. 1.

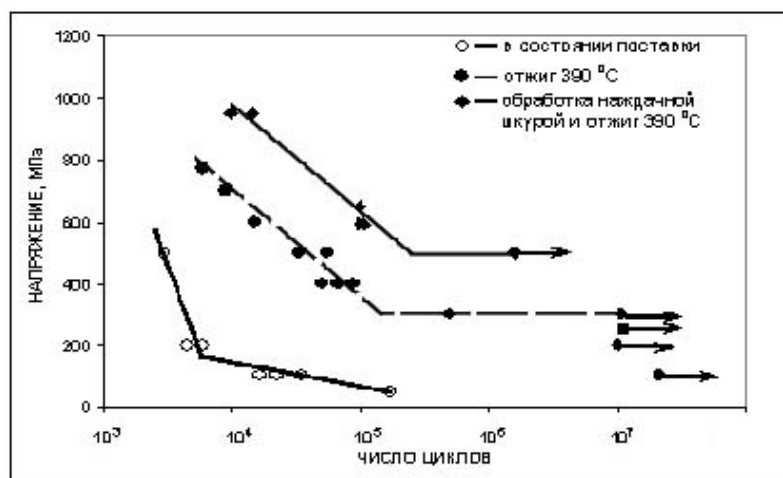


Рис. 1. Усталостные кривые напряжение - число циклов