

износостойкость, по другим данным присутствие остаточного аустенита мало меняет твердость и износостойкость; некоторые авторы считают, что небольшое увеличение содержания остаточного аустенита приводит к снижению износостойкости и т.д. [1].

Для оценки влияния аустенита на физико-химические характеристики отливок образцы 1 и 2 исследовали на коррозионную устойчивость. Относительная потеря массы образца 1 при выдержке в течение 24 ч при комнатной температуре в 5 %-ом растворе H_2SO_4 , в 5 %-ом растворе HNO_3 и в 25 %-ом растворе HCl составила 12,40, 6,36 и 8,25 % соответственно, а относительная потеря массы образца 2 составила 6,55, 3,31 и 2,59 %. Установлено, что коррозионная стойкость образца 2 в 2 – 4 раза выше по сравнению со стойкостью образца 1. Модифицирующая смесь с восстановителем Na_3AlF_6 снижает скорость коррозии и увеличивает коррозионную стойкость на 15 %.

Выводы. Исследован чугун марки ИЧХ28Н2 в двух состояниях: без добавления модифицирующей смеси и после введения модифицирующей смеси с восстановителем криолит (Na_3AlF_6). Установлено, что в образцах присутствуют три основные фазы: α -(Ni–Cr–Fe), γ -(Fe, C), $(Cr, Fe)_7C_3$. Образец без использования модифицирующей смеси характеризуется грубодисперсной эвтектикой с наибольшим содержанием фазы α -(Ni–Cr–Fe) и карбидной фазы $(Cr, Fe)_7C_3$. Установлено, что введение модифицирующей смеси с восстановителем Na_3AlF_6 повлияло на

соотношение количества основных фаз и структуру чугуна. Наблюдается формирование мелкодисперсной эвтектики, с размерами карбидных включений 5 – 10 мкм. Показано, что после введения модифицирующей смеси в образце увеличилось содержание аустенита (фаза γ -(Fe, C)), что способствовало увеличению коррозионной стойкости. Модифицирующая смесь на основе ультра- и нанодисперсных порошков оксидов металлов с восстановителем Na_3AlF_6 снижает скорость коррозии и увеличивает коррозионную стойкость на 15 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гарбер М.Е. Износостойкие белые чугуны: свойства, структура, технология, эксплуатация. – М.: Машиностроение, 2010. – 280 с.
2. Мальцев В.М. Модифицирование структуры металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1964. – 214 с.
3. Семенихин Б.А., Петридис А.В., Куприянова И.Ю. – В кн.: Новые материалы и технологии в машиностроении – 2005». Материалы IV международной научно-технической конф. «Новые материалы и технологии в машиностроении». – Курск: изд. КГТУ, 2005. С. 30 – 35.
4. Черепанов А.Н., Полубояров В.А., Калинина А.П., Коротаева З.А. // Материаловедение. 2000. № 10. С. 45 – 53.
5. Лившиц Л.С. Основы легирования наплавленного металла. – М.: Машиностроение, 1969. – 188 с.

© 2013 г. А.П. Зыкова, И.А. Курзина, Д.В. Лычагин,
А.А. Никулина, М.Ю. Новомейский
Поступила 19 декабря 2012 г.

УДК 669.295:621.771.016

У.Х. Узурчиев, В.В. Столяров

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (г. Москва)

ДЕФОРМАЦИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ НАНОСТРУКТУРНОГО СПЛАВА TiNi ПРИ РАСТЯЖЕНИИ С ТОКОМ

Аннотация. Изучено влияние импульсного тока на деформационное поведение при одноосном растяжении при комнатной температуре наноструктурного сплава TiNi с памятью формы. Показано, что направление и величина скачков напряжения в исследуемом материале резко отличаются от скачков, наблюдаемых в чистых металлах и сплавах без фазовых превращений при электропластическом эффекте.

Ключевые слова: импульсный ток, наноструктура, деформируемость, растяжение, память формы.

DEFORMATION BEHAVIOR OF NANOSTRUCTURED TiNi ALLOY AT TENSION WITH CURRENT

Abstract. Influence of a pulse current on deformation behavior is studied at tension and a room temperature of nanostructured shape memory TiNi alloy. The direction and amplitude of stress jumps in investigated material sharply differ from those, observed in pure metals and alloys without phase transformations.

Keywords: pulse current, nanostructure, deformability, tension, shape memory.

Известно, что в металлах и сплавах (Al, Cu, Ni, Fe, Nb, W, Ti, Zr, нержавеющая сталь) при растяжении и одновременном воздействии одиночными импульсами

тока плотностью примерно 10^3 А/мм² и длительностью 10^{-4} с наблюдается электропластический эффект (ЭПЭ) [1 – 3]. Этот эффект проявляется в скачкообразных уд-

линиях и соответствующих им сбросам напряжений на кривой растяжения при прохождении по образцу одиночного импульса тока без существенного теплового эффекта и тепловой дилатации образцов. Электропластический эффект существует лишь во время пластической деформации материала, а его величина по отношению к напряжению течения варьируется от нескольких процентов (для поликристаллов) до десятков процентов (для монокристаллов). Предполагается, что в основе ЭПЭ лежит ускорение пластического течения металла потоком электронов проводимости, которые помимо джоулевого эффекта способны оказывать особое специфическое электропластическое действие на металл, находящийся под механическим напряжением выше предела текучести. Для рассматриваемых металлов и сплавов фазовые превращения в интервале исследованных температур 77 – 300 К отсутствуют или наблюдаются при более высоких температурах, поэтому в литературе отсутствуют данные по влиянию фазовых превращений на ЭПЭ.

Однако в ряде материалов, например в сплавах TiNi с памятью формы, обратимые мартенситные превращения наблюдаются при комнатной и более низких температурах, что может влиять на их деформационное поведение как под воздействием тока, так и без тока. В титановых сплавах VT1-0, VT6 и TiNi установлено положительное влияние импульсного тока на деформируемость [4] и формирование наноструктуры при холодной прокатке [5], поэтому важно понять механизм этого влияния при деформационном поведении.

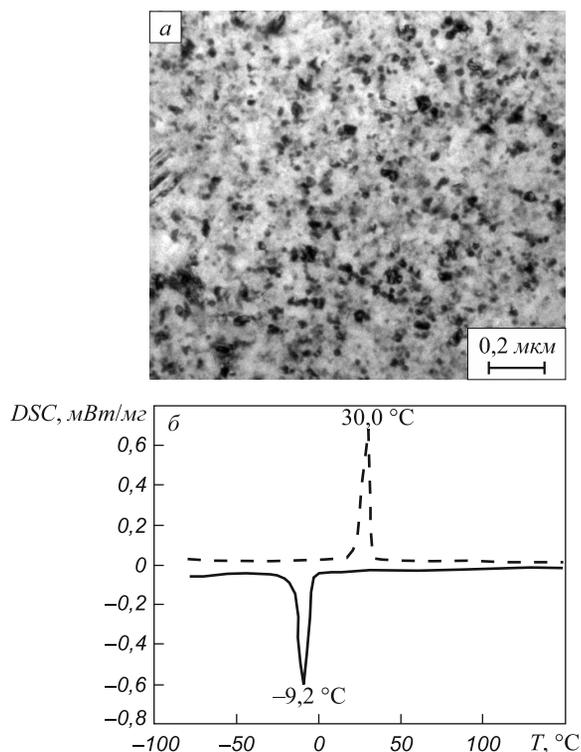


Рис. 1. Микроструктура (а) и термограммы (б) при охлаждении (—) и нагреве (---) при ЭПП сплава $Ti_{49,3}Ni_{50,7}$ после отжига

Целью настоящей работы является исследование деформационного поведения наноструктурного сплава TiNi с памятью формы при растяжении и одновременном действии импульсного тока.

Объектом исследования являлся наноструктурный сплав $Ti_{49,3}Ni_{50,7}$ в форме полосы размерами $0,35 \times 8,0 \times 80$ мм, полученной методом электропластической прокатки (ЭПП) со степенью истинной деформации 1,81 [5]. Вид наноструктуры со средним размером зерен менее 100 нм показан на рис. 1, а.

Полосы исследовали в двух состояниях: исходно-деформированном и после отжига при $450\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 1 ч. Температуры мартенситных превращений измерены на приборе NETZSCH DSC204 при скорости нагрева (охлаждения) $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$ (рис. 1, б). Деформационное поведение сплава изучали при растяжении и одновременном наложении импульсного тока на горизонтальной машине ИР-5081 при скорости испытания $0,5\text{ мм}/\text{мин}$ на образцах общей длиной 20 мм и размерами рабочей части $0,35 \times 2,5 \times 1,0$ мм. От генератора импульсный ток частотой 10^3 Гц, длительностью одиночных импульсов 80 мкс, плотностью около $10^3\text{ А}/\text{мм}^2$ подавали на стадии пластической деформации образца через захваты машины. Время воздействия тока составляло 0,5 с. Ток подавали при напряжениях течения выше напряжения превращения $A \rightarrow M$.

На рис. 2 представлены кривые растяжения без тока и с током для ЭПП сплава $Ti_{49,3}Ni_{50,7}$ после отжига. На

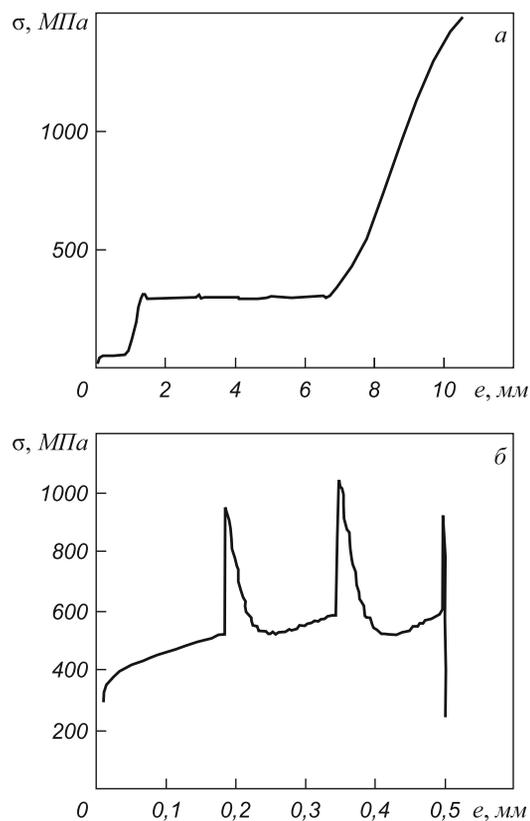


Рис. 2. Кривые растяжения без тока (а) и с током (б) при ЭПП сплава $Ti_{49,3}Ni_{50,7}$ после отжига

стадии деформации мартенсита после горизонтального плато в случае растяжения с током появляются значительные (до 500 МПа) скачки напряжения, соответствующие кратковременному включению генератора (рис. 2, б). При растяжении без тока пики отсутствуют (рис. 2, а). При ЭПП сплава $Ti_{49,3}Ni_{50,7}$ без отжига скачки напряжения также наблюдаются, но их величина не превышает 200 МПа (рис. 3, а).

В нержавеющей стали импульсный ток также вызывает появление пиков, однако их направление противоположно пикам на диаграмме сплава $Ti_{49,3}Ni_{50,7}$. Относительная амплитуда пиков напряжения уменьшается со временем воздействия тока до 10 % и может быть сравнима с величиной ЭПЭ.

Анализ полученных данных показывает, что природа скачков напряжения в наноструктурном сплаве $Ti_{49,3}Ni_{50,7}$ не связана с ЭПЭ, так как их величина и знак не соответствуют наблюдаемым скачкам в работах [1 – 3]. Вероятной причиной скачков напряжения в сплаве $Ti_{49,3}Ni_{50,7}$ является тепловой эффект от импульсного тока, при котором имеет место прямое фазовое превращение мартенсита в аустенит и связанное с ним сокращение длины образца. Отжиг сплава после ЭПП увеличивает этот эффект.

Выводы. Импульсный ток плотностью около 10^3 А/мм² длительностью менее 1 с при растяжении образца наноструктурного сплава $Ti_{49,3}Ni_{50,7}$ вызывает скачки напряжения, природа которых не связана с ЭПЭ. Предполагается, что сильное повышение напряжения обусловлено обратным превращением $M \rightarrow A$, вызванным тепловым эффектом импульсного тока. Отжиг ЭПП сплава снимает внутренние напряжения, облегчает мартенситное превращение и увеличивает амплитуду скачков напряжения почти в два раза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Троицкий О.А. // Письма в ЖЭТФ. 1969. № 10. С. 18 – 22.

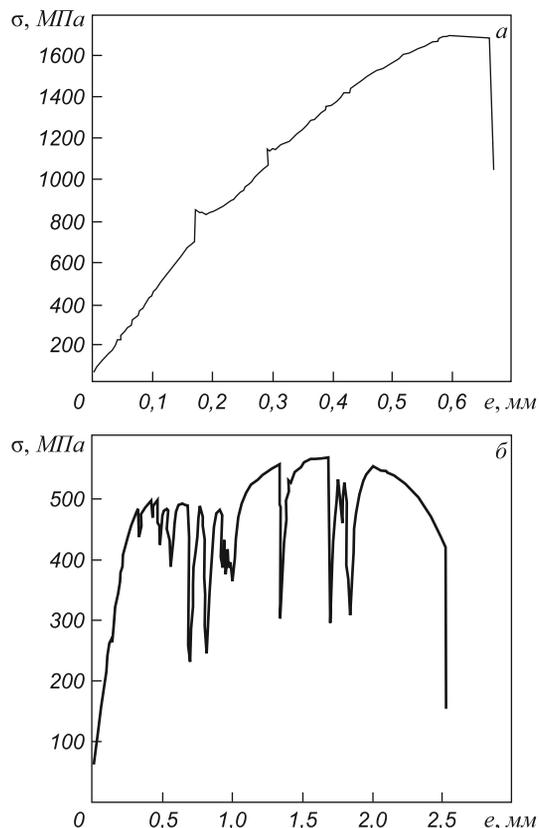


Рис. 3. Кривые растяжения с током сплава $Ti_{49,3}Ni_{50,7}$ (а) и нержавеющей стали после ЭПП (б)

- Okazaki K., Kagawa M., Conrad H. // *Scr. Metallurgica*. 1978. Vol. 12. № 11. P. 1063 – 1068; 1979. Vol. 13. № 4. P. 277 – 280; 1979. Vol. 13. № 6. P. 473 – 477.
- Okazaki K., Kagawa M., Conrad H. // *Materials Science and Engineering*. 1980. Vol. 45. № 2. P. 109 – 116.
- Столяров В.В., Угурчиев У.Х. // *Проблемы машиностроения и надежности машин*. 2012. № 5. С. 66 – 69.
- Столяров В.В., Угурчиев У.Х., Трубицына И.Б. и др. // *ФТВД*. 2006. № 4. Вып. 16. С. 48 – 51.

© 2013 г. У. Х. Угурчиев, В. В. Столяров
Поступила 5 февраля 2013 г.