

ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТ В СПЛАВАХ ПРИ ПРОКАТКЕ С ТОКОМ

Мисоченко А.А.¹, Столяров В.В.^{1,2}

¹Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия,
ls3216@yandex.ru

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

В последнее время активно развивается научное направление по получению объемных наноструктурных (НС) материалов, свойства которых превосходят крупнозернистые аналоги. Одним из методов создания НС состояния в сплавах является метод интенсивной пластической деформации (ИПД) с использованием импульсного тока [1]. Недавно было показано, что введение тока в процессе прокатки способствует повышению деформационной способности материалов, формированию в них НС состояния и повышению физико-механических и функциональных свойств [2,3]. Метод основан на электропластическом эффекте [4], природа которого для современных материалов (композиты, сплавы с мартенситными превращениями) изучена недостаточно, а предполагаемые физические механизмы не подтверждены экспериментально. Одним из реальных механизмов, повышающих деформационную способность материалов, могло бы быть тепловое воздействие электрического тока. В этой связи в настоящей работе исследуется влияние химического состава и структурно-фазового состояния на величину теплового эффекта при обработке металлов импульсным током.

Материалами исследования служили сплавы в виде прутков $\varnothing 6$ мм в крупнозернистом состоянии: Nb–47%Ti для сверхпроводников, Ti_{49,2}Ni_{50,8} для материалов с памятью формы и конструкционный Д16. Исследуемые сплавы подвергались прокатке без тока и с импульсным током до $\varnothing 3$ мм (деформации $\epsilon = 1,4$) по режиму: плотность тока $j = 100$ А/мм², длительность импульса $\tau = 100$ –120 мкс, частота импульсов $f = 1000$ Гц, скважность $Q = 10$, скорость прокатки $v = 5$ см/сек. Тепловой эффект тока определяли на проволочных образцах длиной 30 мм после пропускания импульсного тока в течении $t = 2, 3$ и 5 сек, при этом с помощью термопары и осциллографа измеряли прирост температуры ΔT . Режим тока соответствовал режиму в процессе предварительной прокатки.

Полученные результаты показали, что в исходных крупнозернистых сплавах с увеличением длительности действия тока от 2 до 5 сек тепловой эффект ΔT в соответствии с законом Джоуля-Ленца закономерно повышается от 30–70 до 60–250 °С для исследуемых материалов (рис. 1а, б, в), при этом максимальный разогрев соответствует сплаву TiNi с наиболее низкой теплопроводностью. Поскольку тепловой эффект в сплавах Д16 и TiNb не превышает 30 °С (при $t = 2$ сек), то он не может объяснить факт многократного повышения деформационной способности в процессе прокатки с током по сравнению с традиционными методами холодной деформации. Следует рассматривать и другие возможные механизмы, например, пондеромоторные силы, скин эффект, образование дискретных бризеров и т.д.

Сравнение пиковых температур в образцах до и после прокатки с током позволило обнаружить зависимость теплового эффекта от фазового состава и степени дисперсности структуры, которая выражена сильнее в сплаве TiNi (рис. 2). Видно, что предварительная деформационная обработка снижает тепловой эффект при дальнейшей обработке током. Этот эффект скорее всего связан с зависимостью теплопроводности от дисперсности структуры: деформированная структура является более дисперсной по сравнению с закаленной (крупнозернистой).

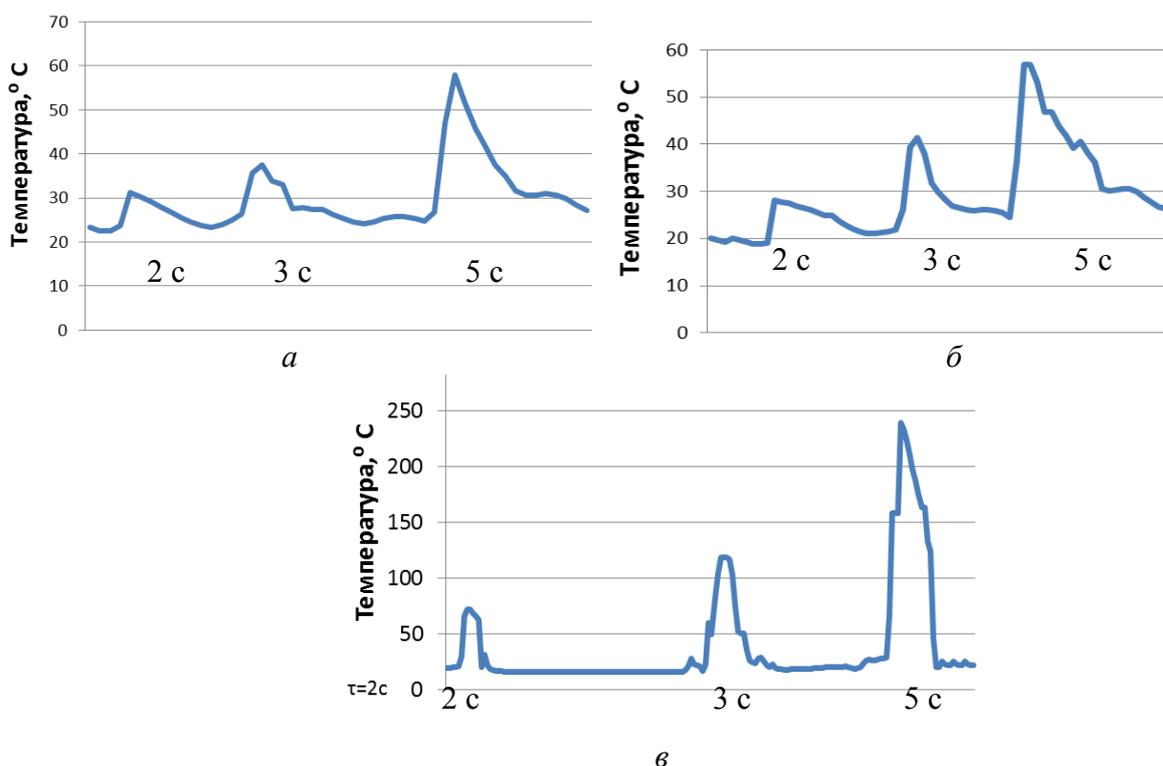


Рис. 1. Тепловой эффект в исходных крупнозернистых сплавах TiNb (а), Д16(б) и TiNi (в): температурные пики соответствуют моменту включения импульсов тока с указанной продолжительностью

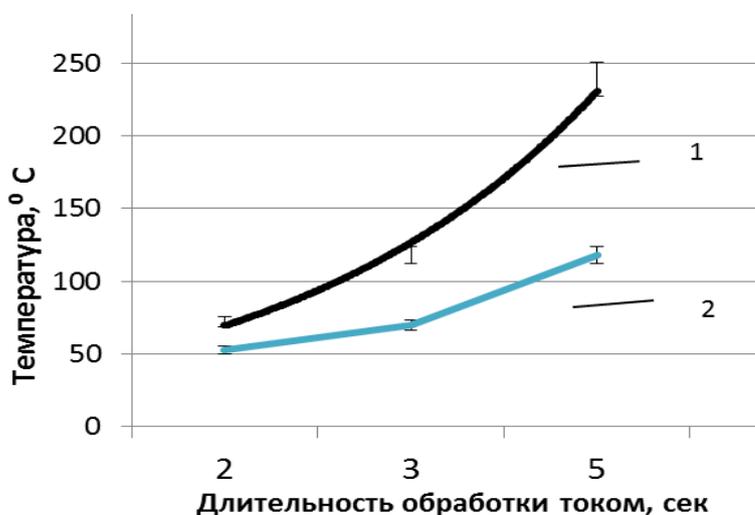


Рис. 2. Тепловой эффект в сплаве TiNi: 1 – крупнозернистое (недеформированное) состояние; 2 – после прокатки с током ($\epsilon = 1,4$)

Выявлена зависимость теплового эффекта от способа прокатки. Так, для сплава Д16 (рис. 3) показано, что предварительная холодная прокатка способствует тому, что сплав в дальнейшем нагревается меньше, чем после предварительной прокатки с током до той же степени деформации. Это согласуется с ранее обнаруженным эффектом релаксационного воздействия тока на структуру при деформировании. После прокатки с током при равных величинах деформации в структуре сплава наблюдаются меньшая степень фрагментации и повышение температуры рекристаллизации по сравнению с холодной прокаткой [5].

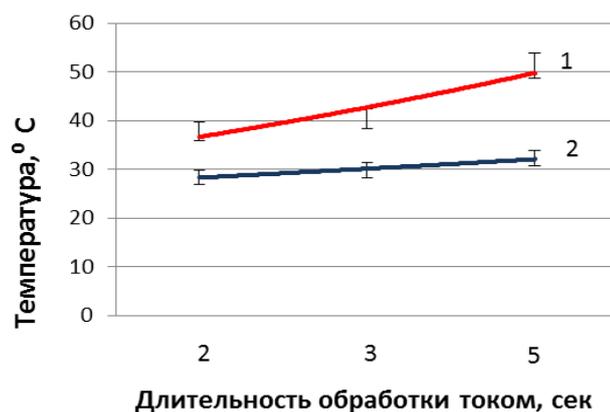


Рис. 3. Тепловой эффект в сплаве Д16 , прокатанном с током (кривая 1) и без тока (кривая 2)

Таким образом, проведенное исследование показало, что тепловой эффект при обработке током зависит от теплопроводящих свойств материала и предварительной обработки. Показано, что в исходном крупнозернистом состоянии тепловой эффект при обработке током по режимам, аналогичным прокатке с током ($t = 2$ с) не превышает $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ в сплаве с памятью формы, и вдвое меньше в сплавах Д16 и TiNb. Обнаружена зависимость теплового эффекта от способа прокатки.

Список литературы

1. Столяров В.В., Влияние электроимпульсной обработки на структуру и механические свойства нанокристаллического сплава TiNi с памятью формы, Письма о материалах, т.1, 2011 – С. 75-77.
2. Мединцов В.Э., Столяров В.В. Особенности деформирования, структура и механические свойства сплава ВТ6 при электропластической прокатке /Деформация и разрушение материалов, 2012, № 12 - С. 37-41.
3. Potapova A.A., Resnina N.N., and Stolyarov V.V. Shape Memory Effects in TiNi based Alloys Subjected to Electroplastic Rolling / Journal of Materials Engineering and Performance, 2014, 7 – P. 2391-2395.
4. Спицын В. И., Троицкий О. А. Электропластическая деформация металлов, «Наука», М., 1985, - 160 с.
5. Потапова А.А. Структура и свойства конструкционных сплавов на основе TiNi, подвергнутых прокатке с импульсным током: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.16.09 / Анна Александровна Потапова. – М., 2014. – 16с.

СВЕРХУПРУГИЙ СПЛАВ Ti–22%Nb–6%Zr: РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДЕФОРМАЦИИ

Перлович Ю.А., Исаенкова М.Г., Чеканов С.В., Фесенко В.А., Крымская О.А.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия,
yuperl@mail.ru*

При использовании рентгеновских методов исследования изучены особенности деформации сверхупругого сплава Ti–22%Nb–6%Zr (ат. %), характеризующегося обратимым образованием мартенсита деформации (МД) при комнатной температуре [1]. Именно в силу этого данный сплав оказывается сверхупругим, то есть обнаруживает способность к обратимой деформации на 1-2 порядка более высокой, чем деформация до условного