

**ДЕФОРМАЦИЯ СПЛАВОВ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ С ВОЗДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАЗВУКА
И ИМПУЛЬСНОГО ТОКА**

Рубаник В.В., Царенко Ю.В., Рубаник В.В.мл., Ворошилов И.В., Самолетов В.Г.
*ГНУ «Институт технической акустики НАН Беларуси»,
г. Витебск, Беларусь, E-mail: ita@vitebsk.by*

Для интенсификации технологических процессов пластической деформации металлов давлением используют явление электропластичности, которое возникает при наложении на зону деформации импульсов тока большой плотности (порядка 10^3 А/мм²) и малой продолжительности (около 10^{-4} с). Действие электрического тока в этом случае не вызывает существенного нагрева металла и поэтому принципиально отличается от джоулевого эффекта, лежащего в основе электроконтактного нагрева. Изменение пластических свойств металла в этом случае происходит без заметных изменений его прочности [1]. Взаимодействие деформируемого металла с электрическим током большой плотности приводит к снижению сопротивления металла деформированию и меняет его физико-механические характеристики. Достаточно широко изучены процессы электропластической деформации при обработке металлов давлением для титановых сплавов [1].

Применение комбинированных методов деформации позволяет создать ряд новых наноструктурных и ультрамелкозернистых состояний с высоким уровнем прочности и пластичности, добиться более равноосного зерна и большей степени измельчения структуры. Использование различных физических воздействий позволяет в значительной мере интенсифицировать технологические процессы получения и обработки материалов и в большинстве случаев получать результаты, недостижимые при традиционной технологии. К числу таких воздействий, дающих наибольший эффект, относятся концентрированные потоки энергии, в частности, ультразвуковые.

Известен [2,3] способ применения ультразвуковых колебаний (УЗК) при электропластическом плющении. Отмечается, что при ультразвуковом воздействии на процесс плющения достигаются высокие степени единичного обжатия - в несколько десятков процентов (до 88-90%) без растрескивания материала.

За счет оптимальной комбинации (последовательной или одновременной) действия акусто- и электропластического эффекта на сплавы планируется существенно снизить усилия деформирования и измельчить микроструктуру материалов до наноструктурного состояния.

В целом механизмы электропластического и акустопластического эффектов отличаются, поэтому на первом этапе работ необходимо оценить остаточный ресурс пластичности при последовательной деформации проволоки из никелида титана по следующим схемам: электропластическое волочение + волочение с УЗК; волочение с УЗК + электропластическое волочение [2].

Для одновременного воздействия на проволоку ультразвуковых колебаний и импульсного тока нами предложен способ деформации, схема которого представлена на рисунке 1.

Показано, что за счет оптимальной комбинации (последовательной или одновременной) действия акусто- и электропластического эффекта на сплавы с памятью формы можно существенно снизить усилия деформирования и измельчить микроструктуру материалов вплоть до наноструктурного состояния. Предложен способ комбинированной обработки проволоки импульсным током и ультразвуком [4].

Наложение ультразвуковых колебаний ведёт к снижению усилия волочения на 30- 40 % по сравнению с волочением в обычных условиях. С ростом степени деформации возрастает усилие волочения, причём при больших обжатиях (порядка 25%) происходит обрыв проволоки.

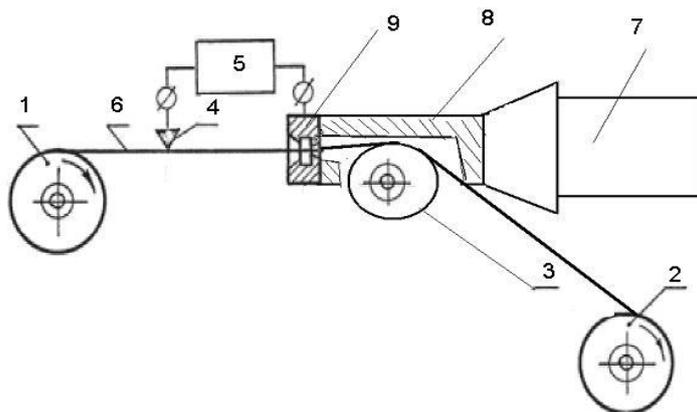


Рисунок 1 – Устройство волочения и воздействия на проволоку ультразвуковых колебаний и импульсного тока: 1- отдающий барабан, 2 – тянущее устройство, 3 – направляющий ролик, 4 – контактное устройство, 5 – генератор электрических импульсов, 6 – обрабатываемая проволока, 7 – ультразвуковой преобразователь, 8 – волновод с закрепленной в пучности смещений волокой 9

Установлено, что значение степени восстановления формы практически совпадают для случая волочения с наложением ультразвука и в обычных условиях. Термообработка проволоки после деформации менее 8% ведёт к полному возврату исходной формы, а после деформации свыше 20% ЭПФ в значительной мере подавляется. Результаты измерений предела прочности показывают, что проволока, протянутая в обычных условиях и с наложением УЗК, имеет практически одинаковые прочностные свойства.

Процесс волочения осуществляли при комнатной температуре. В случае ультразвукового воздействия температура в очаге деформации не превышала 70°C. Поскольку превращение мартенсита в аустенит начинается при температуре $A_n=90^\circ\text{C}$, следовательно, весь объём исходного материала находился в мартенситном состоянии.

Практически одинаковая величина возврата формы проволоки протянутой в обычных условиях и с наложением ультразвука, её одинаковые прочностные свойства, могут говорить об идентичности механизмов пластической деформации в обоих случаях, или о незначительном влиянии ультразвука на физико-механические свойства нитинола.

Калориметрические эффекты (ДСК) в образцах нитинола, полученных после ультразвукового волочения и электропластической прокатки, исследовали с помощью синхронного термоанализатора фирмы NETZSCH STA 449 C Jupiter®. Измерения проводились при нагреве со скоростью 10 К/минв атмосфере аргона. Калориметрия проводилась в два этапа: сначала в ходе нагрева с определенной скоростью до температуры 700°C записывалась кривая поглощения, затем образец охлаждался вместе с печью, затем повторно проводился нагрев того же образца с той же скоростью для записи базовой линии. Для анализа использовалась разница между линией поглощения и базовой линией.

На рисунке 2 показаны ДСК кривые образцов нитинола после электропластической прокатки и последующей ультразвуковой обработки. В процессе калориметрических исследований было выполнено два цикла нагрева образца. Прокатка выполнялась с пропуском импульсного тока. После прокатки была выполнена ультразвуковая обработка образца нитинола в пучности напряжений волновода. Амплитуда напряжений составляла 100 МПа, а время экспозиции 3 мин.

Из рисунка 2,а (кривая 1), видно, что после прокатки наблюдается 2 пика энергии при температурах 350 и 550°C, которые исчезают после повторного нагрева образца (кривая 2).

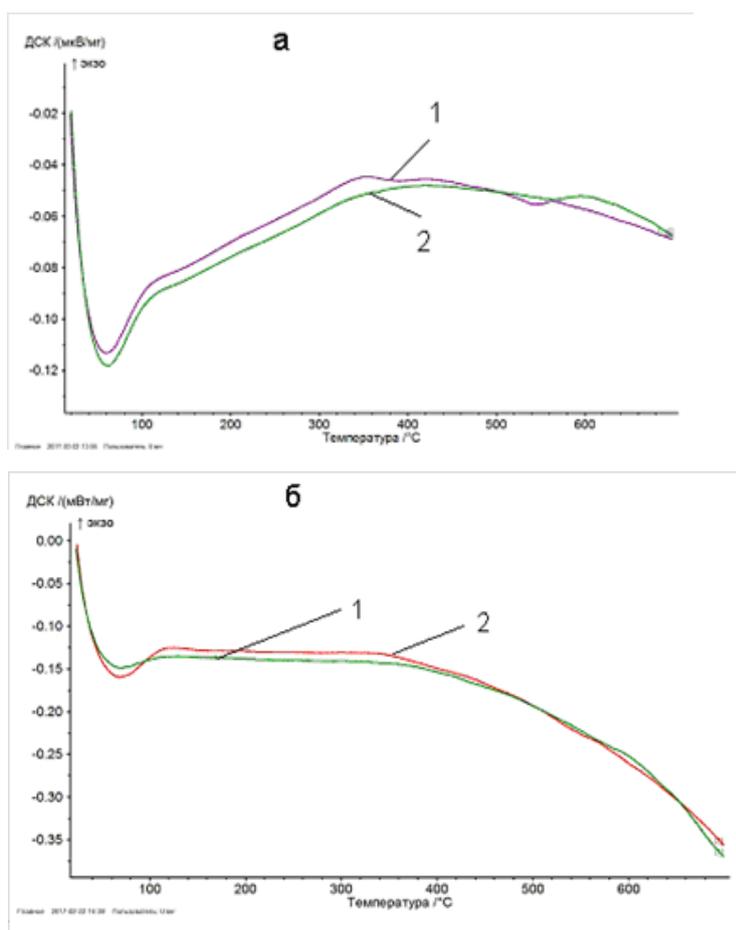


Рисунок 2 – Кривые ДСК образцов нитинола после прокатки (а) и последующей ультразвуковой обработки (б); кривые 1 – первый цикл нагрева, кривые 2 – повторный нагрев

После ультразвуковой обработки нитинола (рисунок 2б) кривые ДСК после 1 и 2 цикла нагрева практически совпадают, что свидетельствует о достижении в материале под действием ультразвуковой обработки эффекта, аналогичного термическому.

Образцы никелида титана в рамках выполнения совместного гранта БРФФИ-РФФИ №Т16-152 были представлены сотрудниками Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (проф. Столяров В.В.).

Список литературы:

1. Столяров В.В. Деформационное поведение титановых сплавов при растяжении с пропусканием импульсного тока //Физика и техника высоких давлений. 2010. - Т. 20, № 4. - С.127-133.
2. Троицкий О.А. Ультразвуковое электропластическое плющение металла // Вестник научно-технического развития. – 2009. - № 10 (26). - С.42-49.
3. Kozlov A.V., Mordyuk B.N., Chernyashevsky A.V. On the additivity of acoustoplastic and electroplastic effects //Mater. Sci.&Eng.A190 (1995) 75-79.
4. Столяров В.В., Мисоченко А.А., Рубаник В.В., Рубаник В.В.мл., Царенко Ю.В. Влияние импульсного тока и ультразвука на деформационное поведение в сплавах с памятью формы// Материалы Межд. конф. «Техническая акустика: разработки, проблемы, перспективы». Витебск, УО «ВГТУ» – Витебск, 2016. - С.51-54.