

сти эмульсии, происходит более равномерное распределение смазки по поверхности формы, что предотвращает её стекание на дно формы.

Таким образом, разработанная ресурсосберегающая технология и оборудование может быть рекомендовано для внедрения на предприятиях хлебной промышленности.

#### Литература:

1. Б.М. Агранат и др. Ультразвук в гидрометаллургии. М.: Metallurgy, 1969, 233 с.
2. С.Д. Шестаков., Р.Д. Поландова. Об ультразвуковом экспресс-эмульгировании пищевых растительных жиров. Сборник докладов научно-технической конференции "Ультразвуковые технологические процессы-98", Москва: 1998, С. 81-84.

УДК 669.24'295

### **КИНЕТИКА ТЕРМОУПРУГИХ МАРТЕНСИТНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ TiNi В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ**

В.В. Рубаник, В.В. Рубаник мл.

(ВГТУ, г. Витебск)

Открытие явления термоупругого равновесия и обратимых фазовых превращений мартенситного типа послужило основой для разработки нового класса материалов обладающих эффектом деформационной памяти - эффектом памяти формы (ЭПФ) сущность которого заключается в восстановлении первоначальной формы при нагреве выше температуры фазового превращения [1]. Среди сплавов обладающих ЭПФ наибольший интерес представляют сплавы на основе никелида титана (TiNi), имеющие высокие прочностные и пластические характеристики. Проявление ЭПФ, пластичности превращения и генерации реактивных напряжений связаны исключительно с температурным фактором и механическими напряжениями [1, 2].

Так как ультразвуковые колебания (УЗК) обуславливают при определенных условиях не только нагрев материала, но и возникновение в нем значительных знакопеременных механических напряжений, то естественно предположить, что УЗК помимо изменения кинетики деформационного поведения сплавов с эффек-

том памяти формы должны инициировать и сами фазовые превращения.

В качестве объекта исследования использовали проволоку диаметром 0,5 мм из никелида титана примерно равноатомного состава предварительно подвергнутую отжигу при температуре 550°C в течении 30 минут. Охлаждение осуществляли вместе с печкой. После термообработки проволока имела заданную спиралевидную конфигурацию и обладала способностью к одностороннему восстановлению формы. Характеристические температуры, измеренные четырёхзондовым методом, соответствовали следующим значениям:  $M_n=45^\circ\text{C}$ ,  $M_k=35^\circ\text{C}$ ,  $A_n=95^\circ\text{C}$ ,  $A_k=105^\circ\text{C}$ . Источником УЗК служил промышленный генератор УЗДН с магнитоскрипциным преобразователем и титановым волноводом. В мартенситном состоянии проволочный образец распрямляли, что соответствовало степени деформации порядка 5 %. Воздействие на образцы ультразвуковых колебаний с частотой 22 кГц при амплитуде смещений торца волновода 15 мкм в течении 8 с позволило осуществить фазовое превращение мартенсит→аустенит, что привело к полному восстановлению исходной спиралевидной формы. Т.е. только за счёт энергии ультразвука добивались устойчивого проявления одностороннего ЭПФ [3-5].

Для изучения кинетики фазовых превращений под действием ультразвука исследовали распределение температурных полей создаваемых акустическими колебаниями в TiNi образцах примерно эквиатомного состава волновой длины диаметром 10 мм. Исходные характеристические температуры материала имели значения:  $M_n=70^\circ\text{C}$ ,  $M_k=60^\circ\text{C}$ ,  $A_n=93^\circ\text{C}$  и  $A_k=105^\circ\text{C}$ . Для возбуждения в образце ультразвуковых колебаний использовали генератор с автоматической подстройкой резонансной частоты и непрерывной регистрацией частоты и амплитуды УЗК. Образцы к концентратору крепили методом резьбового соединения.

Для изучения температурного профиля всего образца в процессе воздействия УЗК была использована система "Thermovision 880" фирмы Agema. Измерения проводили в температурном интервале от 20°C до 150°C, т.е. в интервале мартенситных превращений с точностью 0.5°C. Видеокамерный блок располагался так, что позволял снимать весь образец и место соединения образца с концентратором. Запись процесса велась на видеоманитофон с которого в дальнейшем информация вносилась в компьютер и обрабатывалась.

Установлено, что в образцах резонансной длины в процессе воздействия

ультразвука максимальный нагрев наблюдается в узлах смещений и минимальный - в пучностях смещений, или узлах механических напряжений. За счет теплообмена температура по длине образца со временем выравнивается. Однако, разница температур по длине образца в процессе его нагрева за счет УЗК до  $T \approx A_k$  сохраняется и составляет до  $20^\circ\text{C}$  (рис. 1). В аустенитном состоянии УЗК практически не вызывают дальнейшего разогрева TiNi волновода и его температура стабилизируется. Это обусловлено более низким уровнем внутреннего трения TiNi в аустенитном состоянии по сравнению с мартенситным. Кроме того, при переходе материала из мартенситного в аустенитное состояние наблюдалось увеличение и амплитуды смещения TiNi волновода. Так при исходной амплитуде смещений торца волновода 2мкм (мартенситное состояние) переход в аустенитное состояние сопровождался увеличением амплитуды до 8-12 мкм. Изменение резонансной частоты (рис.2) в зависимости от времени действия УЗК и температуры на поверхности образца указывает, что фазовое превращение в материале под действием ультразвука начинается и заканчивается при более низкой температуре по сравнению с нагревом в печи. Эти данные подтверждают ранее сделанные выводы об изменении характеристических температур под действием УЗК, полученные с помощью дилатометрических исследований [4].

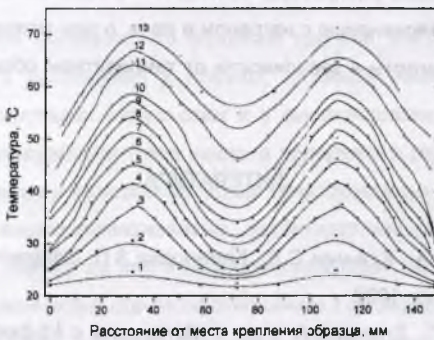


Рис. 1. Распределение температур по поверхности TiNi образца в процессе УЗК воздействия. Время действия УЗК: 1- 4; 2- 13; 3- 22; 4-31; 5- 40; 6- 49; 7- 58; 8 - 67; 9- 78; 10- 89; 11- 118; 12- 146; 13- 165 секунд. Резонансная частота в начальный момент озвучивания 22.3 кГц



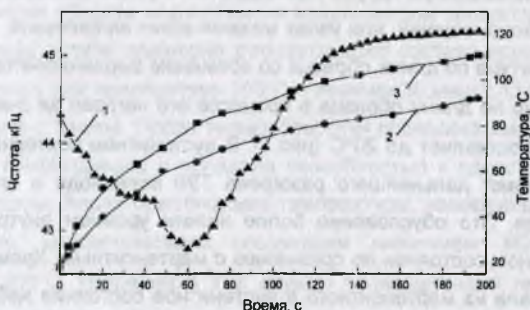


Рис. 2. Изменение резонансной частоты УЗК (кривая 1), максимальной (кривая 3) и средней (кривая 2) температуры на поверхности TiNi образца длиной  $\lambda/2$  в процессе его озвучивания, где  $\lambda$  - длина продольной ультразвуковой волны

Таким образом установлено, что ультразвуковые колебания могут в полной мере инициировать обратное мартенситное превращение в TiNi при этом механизм превращения несколько отличен от теплового. Фазовое превращение в материале под действием ультразвука начинается и заканчивается при более низкой температуре по сравнению с нагревом в печи, о чем можно судить по изменению резонансной частоты в зависимости от температуры образца при ультразвуковом воздействии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лихачев В.А., Кузьмин С.Л., Каменцева З.П. Эффект памяти формы. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1987.
2. Беляев С.П., Егоров С.А. и др. // Материалы с эффектом памяти формы: Сб. докл. 1-го Российско-Американского семинара. С.-Петербург, 1995. Ч.1. С.11-19.
3. Рубаник В.В. (мл.) // Тез. научно-технической конференции ВГТУ. Витебск: ВГТУ, 1996. С.17.
4. Рубаник В.В. (мл.) // Сб. докл. междунар. научного симпозиума молодых

научных работников. Зелена Гура, Польша, 1997. Том IV. С.173-176.

5. Klubovich V.V., Rubanick V.V., Dorodeiko V.G. et al. / Proceedings II International Conference on Shape Memory and Superelastic Technologies: Engineering and Biomedical Applications. Asilomar, Pacific Grove, CA (USA), 1997. P. 59-64.

УДК 621.793

## СТРУКТУРА ИМПУЛЬСНОГО КАНАЛА ПЛАЗМЫ

М. И. Жемчужный

(ВГТУ, г. Витебск)

При питании канала плазмы однополярными импульсами постоянного тока частотой 15-20 КГц, зафиксированы явления, характерные для высокочастотной плазмы:

- низкий уровень акустических колебаний;
- устойчивость канала плазмы к делению;
- стабильность положения опорного пятна канала плазмы на поверхности мишени.

Исследования показали, что основная причина этого явления - сходство формы питающего напряжения у плазмы, питаемой низкочастотными прямоугольными однополярными импульсами и у высокочастотной плазмы. Сходство выражается в соизмеримости углов наклона переднего и заднего фронтов у прямоугольных импульсов и у высокочастотных синусоидальных колебаний.

Наряду с вышеперечисленными особенностями наблюдается деление структуры канала плазмы на два концентрических слоя. Сердцевина имеет явно выраженный энергетический скачок по отношению к периферии.

Следует отметить, что неоднородность энергетических полей в канальной модели дуги является традиционной уже более 60 лет. Эта модель была впервые предложена Штеенбеком [1]. В ней дуговой канал разбивался на центральную зону, где сосредоточена основная масса выделяющейся энергии. Вокруг центральной зоны располагалась непроводящая оболочка. Зависимости, связывающие электропроводность канала  $\delta$  с потенциалом его теплового потока  $S$  были полу-