

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **035010**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2020.04.16**

(21) Номер заявки  
**201501124**

(22) Дата подачи заявки  
**2015.10.09**

(51) Int. Cl. **C22F 1/00** (2006.01)  
**C22F 1/10** (2006.01)  
**C21D 1/04** (2006.01)  
**C22F 3/00** (2006.01)

(54) **СПОСОБ ЗАДАНИЯ ПАМЯТИ ФОРМЫ ИЗДЕЛИЯМ ИЗ СПЛАВА TiNi**(43) **2017.04.28**(96) **2015/EA/0128 (BY) 2015.10.09**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ "ИНСТИТУТ  
ТЕХНИЧЕСКОЙ АКУСТИКИ  
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ  
НАУК БЕЛАРУСИ" (ГНУ "ИТА НАН  
БЕЛАРУСИ") (BY)**

(72) Изобретатель:  
**Рубаник Василий Васильевич,  
Рубаник Василий Васильевич, мл.,  
Мильюкина Светлана Николаевна  
(BY)**

(56) **BY-C1-4065  
BY-C1-14169**

**РУБАНИК В.В.** и др. Влияние  
ультразвуковой обработки на эффект памяти  
формы в сплавах TiNi. Шестая Международная  
Конференция "Фазовые превращения и прочность  
кристаллов", 16-19 ноября 2010 г., Черногоровка,  
с. 124

**RU-C2-2372417  
КРАХИН О.И.** и др. Сплавы с памятью.  
Технология и применение. Старый Оскол "ТНТ",  
2011, с. 87-91, рис. 2.6, 2.7

(57) Изобретение относится к области материаловедения, а именно к материалам, обладающим эффектом памяти формы. Для снижения температуры обработки при задании памяти формы изделиям из TiNi сплавов осуществляют формообразование конструкции в мартенситной фазе, заневоливание и последующий нагрев в заневоленном состоянии до температуры окончания обратного мартенситного превращения под нагрузкой ( $A_k^o$ ) обычным тепловым способом или посредством воздействия ультразвуковых колебаний с последующим охлаждением ниже температуры окончания прямого мартенситного превращения под нагрузкой ( $M_k^o$ ). Продолжительность ультразвукового воздействия зависит как от геометрических параметров заготовки, так и от мощности ультразвуковых колебаний, при этом нагрев материала превышает температуры окончания обратного мартенситного превращения в свободном состоянии ( $A_k$ ) всего на  $\sim 15-20^\circ\text{C}$ . Столь малый разогрев материала при задании памяти формы не имеет аналогов и позволяет осуществлять задание памяти формы конструкционным элементам, помещенным в полимерную оболочку.

**035010**  
**B1**

**035010**  
**B1**

Изобретение относится к области материаловедения, а именно к материалам, обладающим эффектом памяти формы (ЭПФ).

Известен способ задания памяти формы, заключающийся в том, что сначала с помощью прокатки или волочения сплав в достаточной степени подвергается деформационному упрочнению, затем с помощью соответствующей обработки сплаву придается заданная форма, в таком состоянии деталь закрепляется и осуществляется обработка для запоминания формы путем нагрева до температур 400-500°C с выдержкой от нескольких минут до нескольких часов [1].

Известен также способ задания памяти формы, заключающийся в деформации заготовки из TiNi сплава с нормализованной структурой в мартенситной фазе, фиксации в этом состоянии и нагреве в стесненном (заневоленном) состоянии до температур 200-300°C [2].

Данный способ является наиболее близким по технической сущности к предлагаемому.

Недостатком известных способов является использование достаточно высоких температур, что делает невозможным обработку комбинированных элементов конструкции, помещенных в полимерную оболочку, приводит к изменению поверхности материала (образование окисного слоя). Кроме того, во втором способе [2] не удаётся получить высокие характеристики восстановления формы по сравнению со свойствами изделий после обработки при температурах 400-500°C.

Технической задачей, на решение которой направлено данное изобретение, является понижение температуры обработки и получение высоких характеристик формовосстановления.

Решение указанной задачи достигается за счет того, что в способе задания памяти формы, заключающемся в деформации нормализованного материала в мартенситной фазе, заневоливании и последующем нагреве, нагрев осуществляется до температуры окончания обратного мартенситного превращения под нагрузкой  $A_k^\sigma$  и с последующим охлаждением ниже температуры окончания прямого мартенситного превращения под нагрузкой  $M_k^\sigma$ . Причем нагрев до  $A_k^\sigma$  может осуществляться и за счет ультразвукового воздействия, что значительно снижает значение  $A_k^\sigma$ .

Способ реализуется следующим образом.

Материал подвергают деформации в мартенситной фазе, заневоливают в этом состоянии и осуществляют нагрев до температуры  $A_k^\sigma$  обычным тепловым способом или посредством воздействия ультразвуковых колебаний, а затем охлаждают до температуры  $M_k^\sigma$ . В результате чего материал "запоминает" сообщенную ему деформацию. При этом продолжительность ультразвукового воздействия зависит как от геометрических параметров заготовки, так и мощности ультразвуковых колебаний. Общая продолжительность обработки материала для запоминания формы конструкции составляет не более 10 мин.

Запоминание сообщенной материалу деформации в процессе указанной обработки обусловлено реализацией обратного и прямого мартенситных превращений в заневоленном материале. При нагреве до температуры  $A_k^\sigma$ , вследствие невозможности свободного формовосстановления, пластическая деформация мартенситной фазы переходит в пластическую деформацию аустенитной фазы, что обуславливает запоминание материалом сообщенной ему деформации. При охлаждении вследствие облегчения в момент прямого превращения различного рода перестроений дислокационной и блочной структуры, происходящих путем движения дефектов преимущественно в таком направлении, которое способствует уменьшению плотности дислокаций, и возникновения ориентированных внешними напряжениями зародышей мартенситной фазы обеспечиваются высокие характеристики формовосстановления при последующем деформировании и инициировании эффекта памяти формы в свободном состоянии.

В процессе ультразвукового воздействия материал нагревается лишь до температуры окончания обратного перехода, так как в аустенитном состоянии внутреннее трение в сплаве TiNi значительно ниже, чем в мартенситном или двухфазном состояниях. В деформированном и напряженном материале температурный интервал реализации обратного перехода сдвигается в сторону повышенных температур, однако если при обычном тепловом нагреве обратное превращение заканчивается при температурах, превышающих температуру окончания обратного мартенситного превращения в свободном состоянии  $A_k$  на 100-150°C, то при ультразвуковом воздействии оно завершается при температурах, превышающих  $A_k$  не более, чем на ~15-20°C. Это обусловлено тем, что ультразвуковые колебания за счет теплового и силового воздействия [3] существенно снижают  $A_k^\sigma$  [4]. Прекращение ультразвукового воздействия инициирует прямое мартенситное превращение, и, как следствие, эффект пластичности превращения. В результате указанной ультразвуковой обработки в образцах сплава TiNi наблюдается снижение фазового предела текучести, что способствует увеличению ресурса обратимой деформации и обуславливает более высокие характеристики формовосстановления.

Сопоставительный анализ показывает, что предлагаемый способ отличается от прототипа тем, что тепловой и ультразвуковой нагрев осуществляется до температуры  $A_k^\sigma$  с последующим охлаждением ниже  $M_k^\sigma$  что свидетельствует о наличии признаков, отличающих заявляемый способ от прототипа.

Примеры конкретного осуществления способа.

Во всех примерах использовали в качестве образцов проволоку Ti-50,4 ат.% Ni диаметром 0,65 мм, которую предварительно подвергали рекристаллизационному отжигу при температуре 700°C в течение 30 мин с последующей закалкой в воде.

Пример 1.

Образец деформируют в мартенситном состоянии изгибом на величину 4,5% и заневоливают. Затем осуществляют нагрев в заневоленном состоянии до температуры 200°C, выдержку в течение 5 мин и охлаждение до температуры 10°C. В результате указанной обработки запоминаемая деформация составляет 3,5%. После деформирования изгибом в мартенситном состоянии на 6% и инициирования эффекта памяти формы в свободном состоянии величина восстанавливаемой деформации составляет 6%.

Пример 2.

Образец деформируют в мартенситном состоянии изгибом на величину 4,5% и заневоливают. Затем осуществляют нагрев в заневоленном состоянии до температуры 150°C, выдержку в течение 5 мин и охлаждение до температуры 10°C. В результате указанной обработки запоминаемая деформация составляет 3,1%. После деформирования изгибом в мартенситном состоянии на 6% и инициирования эффекта памяти формы в свободном состоянии величина восстанавливаемой деформации составляет 5,9%.

Пример 3.

Образец деформируют в мартенситном состоянии изгибом на величину  $8,1 \pm 0,1\%$ , заневоливают и осуществляют ультразвуковое воздействие с амплитудой механических напряжений  $25 \pm 3$  МПа и частотой 22 кГц в течение 1 минуты. В результате указанной обработки запоминаемая деформация составляет 6,5 %.

Пример 4.

Образец деформируют в мартенситном состоянии изгибом на величину  $4,8 \pm 0,1\%$ , заневоливают и осуществляют ультразвуковое воздействие с амплитудой механических напряжений  $25 \pm 3$  МПа и частотой 22 кГц в течение 1 мин. В результате указанной обработки запоминаемая деформация составляет 3,1%.

В процессе ультразвуковой обработки температура материала не превышает 72°C ( $A_k=57^\circ\text{C}$ ). В результате деформирования образцов после ультразвукового воздействия изгибом в мартенситном состоянии на 10,5% и инициирования эффекта памяти формы в свободном состоянии обычным тепловым способом величина восстанавливаемой деформации составляет 9,2%, в то время как в образце не подвергнутом ультразвуковому воздействию всего 7,1%, что свидетельствует об увеличении ресурса обратимой деформации в процессе ультразвуковой обработки.

Преимущества предлагаемого способа обработки в сравнении с известными способами заключаются в задании формы при более низких температурах, отсутствии повреждений поверхностного слоя материала, возможности обработки комбинированных элементов конструкции и элементов с покрытиями, не выдерживающих высоких температур, и, в связи с использованием более низких температур, упрощении требований к оснастке, необходимой для заневоливания образцов. Кроме того, в результате использования предлагаемого способа обработки в материале формируются характеристики формовосстановления, не уступающие по своим значениям, характеристикам, полученным в результате обработки при температурах 400-500°C.

В случае использования ультразвуковых колебаний нагрев материала превышает  $A_k$  всего на ~15-20°C, столь малый разогрев материала при задании памяти формы не имеет аналогов, и это преимущество трудно переоценить, так как появляется возможность обрабатывать композиционные конструкции из сплавов TiNi, помещенных в полимерную оболочку, которая не выдерживает температур, превышающих 100°C. Кроме того, в результате использования предлагаемого способа обработки в материале увеличивается ресурс обратимой деформации при реализации эффекта памяти формы, формовосстановление в образцах после ультразвукового воздействия на ~ 15-20% больше, чем в образцах после термообработки.

Источники информации.

1. Ооцука, К. Сплавы с эффектом памяти формы / К. Судзуки, Ю. Судзуки и др.; под ред. Х. Фунакубо / пер. с японск. И.И. Дружинина. - М.: Металлургия, 1990. - С. 158-162.
2. Ооцука, К. Сплавы с эффектом памяти формы / К. Судзуки, Ю. Судзуки и др.; под ред. Х. Фунакубо / пер. с японск. И.И. Дружинина. - М.: Металлургия, 1990. - С. 162.
3. Рубаник, В.В. (мл.) Инициирование эффекта памяти формы в сплавах TiNi под действием ультразвуковых колебаний: дис. канд. физ.-мат. наук : 01.04.07 / В.В. Рубаник (мл.). - Минск, 2005.
4. Милюкина, С.Н. Динамика ультразвукового нагрева TiNi сплавов с эффектом памяти формы / С.Н. Милюкина, А.В. Шадурский, В.В. Рубаник, В.В. Рубаник, мл. // Международный симпозиум "Перспективные материалы и технологии", 27-29 мая 2015 г., Витебск, Беларусь: Материалы конференции / УО "ВГТУ" - Витебск, 2015. - С. 323-325.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ задания памяти формы конструкции из сплава Ti-50,4 ат.% Ni с нормализованной струк-

турой, включающий формоизменение конструкции в мартенситной фазе, заневоливание и воздействие на неё в заневоленном состоянии, отличающийся тем, что материал конструкции подвергается тепловому воздействию, которое заключается в повышении температуры материала до  $A_k^\sigma$  и последующем охлаждении в заневоленном состоянии до  $M_k^\sigma$ , где  $A_k^\sigma$  - температура окончания обратного мартенситного превращения под нагрузкой, а  $M_k^\sigma$  - температура окончания прямого мартенситного превращения под нагрузкой.

2. Способ задания памяти формы конструкции из сплава Ti-50,4 ат.% Ni с нормализованной структурой, включающий формоизменение конструкции в мартенситной фазе, заневоливание и воздействие на неё в заневоленном состоянии, отличающийся тем, что материал конструкции подвергается ультразвуковому воздействию, которое осуществляет перевод материала в аустенитную фазу, после чего конструкцию охлаждают в заневоленном состоянии до  $M_k^\sigma$ .

