

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ПАМЯТИ ФОРМЫ В ПРОМЫШЛЕННОМ ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ VT16 В ЦЕЛЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕГО В УСТРОЙСТВАХ БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Попов Н.Н., Корчуганов И.А., Ларькин В.Ф., Пресняков Д.В., Суворова Е.Б.

Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»), Саров, Россия

ilya1281@yandex.ru

В настоящее время в Российской Федерации бурно развивается атомная энергетика. При этом создаются новые реакторные установки (РУ), в которых уделяется повышенное внимание обеспечению их безопасности. В частности, пассивная защита РУ должна быть дополнительно оснащена устройством безопасности на основе температурного принципа действия. Одним из материалов для создания такого устройства может быть высокотемпературный сплав с памятью формы, который должен обладать температурным диапазоном восстановления формы выше 700 °С.

В настоящей работе была сделана попытка применения в качестве привода линейных перемещений в конструкции устройства безопасности набора тарельчатых деталей [1], выполненных из промышленного титанового сплава VT16 (см. рис. 1). Известно, что этот сплав испытывает обратимое мартенситное превращение $\alpha'' \leftrightarrow \beta$, диапазон которого можно регулировать в интервале температур от 120 °С до 500 °С [2, 3].

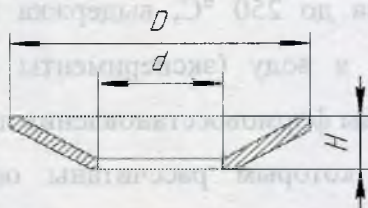


Рисунок 1. Эскиз образца в виде тарельчатой детали для исследования проявления эффекта памяти формы

На первом этапе исследований образцы были подвергнуты предварительной термической обработке в виде закалки по различным режимам и последующего наведения деформации сжатием (эксперименты №№ 1-7). По результатам испытаний, на нашей экспериментально-методической базе [4], построены диаграммы формовосстановления при нагреве деформированных образцов (см. рис. 2а), по которым рассчитаны основные термомеханические характеристики (см. таблицу). Проведенные предварительные исследования показали, что промышленный титановый сплав VT16 обладает эффектом памяти формы. Характер формовосстановления сплава

является многостадийным и одна из температурных стадий формовосстановления близка к требуемому для устройства безопасности температурному диапазону (от 500 °С и выше). Оптимальным режимом предварительной термической обработки является закалка, выполненная по режиму: нагрев до 800 °С, выдержка 1 час и охлаждение в воду.

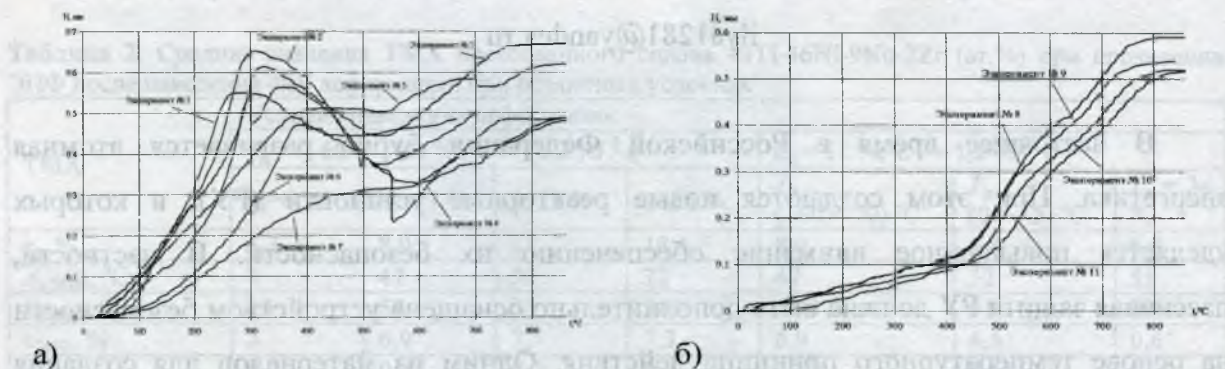


Рисунок 2. Диаграммы формовосстановления тарельчатых деталей, изготовленных из сплава ВТ16 после предварительной термической обработки (а) и после окончательной термической обработки (б)

На втором этапе исследований было решено с помощью окончательной термической обработки «отделить» стадию формовосстановления, лежащую выше 500 °С, от других стадий. Для этого образцы были подвергнуты предварительной термической обработке по выбранному выше режиму закалки. Далее им навели деформацию сжатием, после чего подвергали окончательной термической обработке по различным режимам. В результате выбран оптимальный режим окончательной термической обработки: нагрев до 250 °С, выдержка 0,2 часа, нагрев до 450 °С, выдержка 3 ч и охлаждение в воду (эксперименты №№ 8-11). По результатам испытаний построены диаграммы формовосстановления при нагреве деформированных образцов (см. рис. 2б), по которым рассчитаны основные термомеханические характеристики (см. таблицу). Из таблицы видно, что выбранный режим окончательной термической обработки позволяет повысить температуру начала основного формовосстановления.

Таблица 1. Основные термомеханические характеристики тарельчатых деталей, изготовленных из сплава ВТ16 и обработанных по различным режимам

№ эксперимента	$A_{с\text{ЭПФ}}^H$, °С	$A_{г\text{ЭПФ}}^K$, °С	$A_{с\text{ЭПФ}}$, °С	$A_{г\text{ЭПФ}}$, °С	$\epsilon_{\text{ЭПФ}}$, %	$\eta_{\text{ЭПФ}}$
Эксперимент № 1	20	700	—	—	11,83	0,30
Эксперимент № 2	30	700	—	—	12,20	0,31
Эксперимент № 3	30	860	—	—	15,95	0,45
Эксперимент № 4	40	750	—	—	11,53	0,30
Эксперимент № 5	30	860	—	—	14,09	0,48

Эксперимент № 6	40	860	–	–	11,53	0,47
Эксперимент № 7	50	860	–	–	11,03	0,30
Эксперимент № 8	25	810	430	760	13,72	0,34
Эксперимент № 9	10	840	435	750	13,17	0,35
Эксперимент № 10	100	820	440	770	12,68	0,35
Эксперимент № 11	30	848	480	800	12,44	0,34

$A_{сЭПФ}^H$, $A_{гЭПФ}^K$ – температуры, характеризующие весь диапазон формовосстановления; $A_{сЭПФ}$, $A_{гЭПФ}$ – температуры, характеризующие основное формовосстановление внутри диапазона температур $A_{сЭПФ}^H$ и $A_{гЭПФ}^K$; $\varepsilon_{ЭПФ}$ – величина термически обратимой деформации; $\eta_{ЭПФ}$ – степень восстановления формы при проявлении ЭПФ.

На третьем этапе исследований изготовлен макет устройства безопасности и на нем проведено испытание привода из тарельчатых деталей, выполненных из сплава ВТ16, и обработанных по выбранным нами оптимальным технологическим режимам. Во время испытания макет устройства безопасности сработал при температуре 730°C, что удовлетворяет предъявляемым эксплуатационным температурным требованиям к нему.

1. Попов Н. Н. Свидетельство на полезную модель № 99578 Россия. МПК F16K 31/64 F03G 7/06. Привод линейных перемещений. Попов Н.Н., Ларькин В.Ф., Андреев Н.Н. ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». Оpubл. 20.11.2010.
2. Коллингз Е. В. Физическое металловедение титановых сплавов: Пер. с англ./Под ред. Веркина Б. И. М.: Металлургия, 1988.
3. Ильин А. А. Механизм и кинетика фазовых и структурных превращений в титановых сплавах. М.: Наука, 1994.
4. Попов Н. Н. Разработка прогрессивных технологий на основе материалов, обладающих эффектом памяти формы. Монография. – Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». – 2008. – 315 с.