

Е.С. ПЕРЕВЕРЗЕВ, Д.Г. БОРЩЕВСКАЯ, В.Ф. БУТЕНКО, В.Д. РЯБЧИЙ, С.П. ФЕДИЙ

## ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ НА ПОЛЗУЧЕСТЬ СПЛАВА АМг6М

Приведены результаты исследований по оценке влияния комплексного энергетического нагружения на ресурс долговечности сплава АМг6М. Показано, что введение промежуточной пластической деформации при испытаниях на ползучесть существенно увеличивает время до разрушения.

Наведено результати досліджень з оцінки впливу комплексного енергетичного навантаження на ресурс довготривалості сплаву АМг6М. Показано, що введення проміжної пластичної деформації при випробуваннях на повзучість суттєво підвищує час до руйнування матеріалу.

The results of studies on estimation of the complex power loads effects on the АМg6М alloy life are presented.

Первоочередной задачей современного машиностроения является повышение эксплуатационной надежности конструкций ответственного назначения. Особую актуальность эта проблема приобретает для изделий, длительное время функционирующих при постоянных нагрузках и температурах, что приводит к накоплению внутренних повреждений в конструкционных материалах и, как следствие, к изменениям структуры, снижающим прочностные характеристики. Поэтому чрезвычайно важным становится вопрос о возможности повышения долговечности существующих конструкционных материалов путем усовершенствования технологии их упрочняющей обработки.

Перспективными в этом аспекте являются технологические методы, базирующиеся на использовании принципов синергетики. Здесь речь идет о том, что в условиях воздействия внешних возмущений за счет непрерывного притока энергии в материале, приведенном в неравновесное состояние, могут произойти самоорганизационные процессы с образованием новых диссипативных структур, обеспечивающих существенное улучшение его свойств.

Целью настоящих исследований являлась разработка способа повышения долговечности в режиме ползучести образцов сплава АМг6М, приведенного в неравновесное состояние в условиях комплексного энергетического нагружения.

Неравновесное состояние материала достигалось путем создания сжимающих напряжений при высоких значениях нагрузки и повышенной температуре, применения электростимулированного нагрева токами высокой плотности, воздействия электромагнитных и ударных ультразвуковых колебаний в условиях одноосного статического растяжения.

Квазистатическое растягивающее нагружение образцов осуществлялось на установке ИМАШ-20-78 с определением характеристик кратковременной и длительной прочностей. Нагрев проводился путем пропуска через образец электрического тока повышенной плотности. Скорость движения захватов составляла 30 мм/час, погрешность измерения деформации образца в рабочей зоне – не более 0,01 мм, нагрузки –  $\pm 1,5\%$ , температуры –  $\pm 1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

© Е.С. Переверзев, Д.Г. Борщевская, В.Ф. Бутенко, В.Д. Рябчий, С.П. Федий, 2009

Техн. механика. – 2009. – № 4.

Испытания на сжатие проводились при нагрузке  $P = 5 \cdot 10^5$  Н и температуре  $T = 300$  °С с использованием специально изготовленной прессформы. Применение в процессе технологической обработки высокотемпературного сжимающего нагружения является эффективным приемом по залечиванию имеющихся микронесплошностей как в объеме, так и в приповерхностных слоях материала [1 – 4]. Дефекты в поверхностном слое могут быть успешно залечены наклепывающим действием ударного ультразвука [5].

Потоки ударных ультразвуковых колебаний с частотой 20 кГц создавались с помощью генератора ударного ультразвука УЗГ-250. Передача ударных ультразвуковых колебаний осуществлялась путем сканирования бойком ударника по поверхности образца. При этом амплитуда колебаний излучателя составляла 19,8 мкм, интенсивность излучателя – более 1 Вт/см<sup>2</sup>.

Передача образцу электромагнитных колебаний осуществлялась контактным способом с использованием генератора ГЧ-102 и специально собранной схемы усиления выходного сигнала.

Ресурс долговечности образцов сплава АМгбМ определялся по величине времени  $\tau$  до разрушения при испытаниях на ползучесть, которые проводились по ускоренному режиму: непрерывная выдержка под нагрузкой  $P = 2100$  Н при температуре  $T = 160$  °С. При этом для образцов, подвергнутых энергетической обработке, вносилась поправка в величину нагрузки с учетом возможного изменения сечения образца.

Исследования проводились по следующей схеме.

Первоначально строилась диаграмма ползучести контрольного образца и определялось время  $\tau$  до его разрушения.

Типичный пример кривой ползучести контрольного образца сплава АМгбМ приведен на рисунке 1.

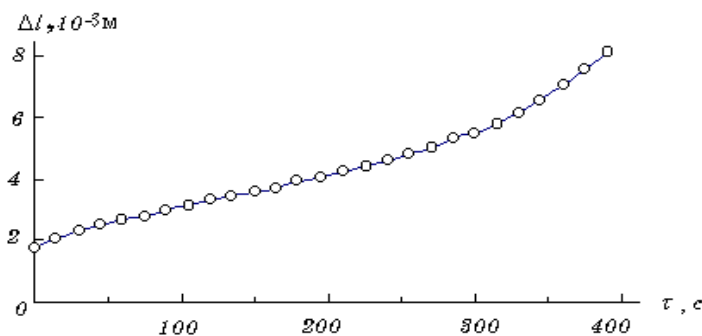


Рис. 1

Для ее построения через каждые 15 секунд выдержки образца в режиме ползучести, вплоть до разрушения, измерялась величина его удлинения  $\Delta l$ . В результате получена зависимость  $\tau = f(\Delta l)$ .

Образцы, подлежащие энергетической обработке, предварительно испытывались в режиме ползучести до выработки примерно половины ресурса долговечности контрольного образца. После разгрузки и охлаждения до комнатной температуры они подвергались высокотемпературному сжимающему нагружению с последующим воздействием электромагнитных и ударных

ультразвуковых колебаний как в ненагруженном состоянии, так и под нагрузкой в упругой зоне деформации при одноосном квазистатическом растяжении. Затем образцы вновь выводились на режим ползучести (соответствующий значениям температуры и уровня нагружения контрольного образца с учетом их изменившихся сечений в результате энергетической обработки) и доводились до разрушения.

Путем варьирования уровней нагружения, частоты электромагнитных колебаний и температуры нагрева выбирались режимы промежуточной пластической деформации, обеспечивающие максимальное увеличение ресурса долговечности образцов сплава АМг6М. Полученные результаты сведены в таблицу.

Из таблицы следует, что оптимальным является режим испытаний, который, наряду с высокотемпературной сжимающей нагрузкой, включает действие электромагнитных колебаний с частотой 1 МГц и ударного ультразвука с частотой 20 кГц под нагрузкой при одноосном квазистатическом растяжении в упругой зоне деформации. При этом зафиксировано увеличение среднего времени до разрушения при ползучести в 35 раз.

Рисунок 2 иллюстрирует ход кривой ползучести образца, подвергнутого промежуточной энергетической обработке по выбранному режиму:

- 1).  $P_{\text{раст.}} = 2100 \text{ Н}$ ,  $T = 160 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t = 300 \text{ с}$ ;
- 2).  $P_{\text{сж.}} = 5 \cdot 10^5 \text{ Н}$ ,  $T = 300 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- 3).  $P_{\text{раст.}} = 1300 \text{ Н}$ ,  $f_{\text{ЭМ}} = 1 \text{ МГц}$ ,  $f_{\text{УВЗ}} = 20 \text{ кГц}$ .

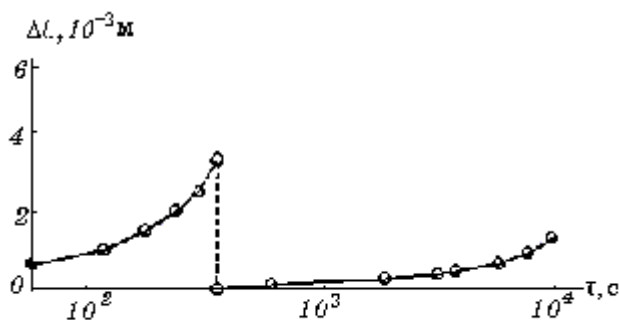


Рис. 2

Как видно из рисунка, введение промежуточной пластической деформации по приведенному выше режиму существенно повышает показатель долговечности образца. Заметно изменяется и характер кривой ползучести: увеличивается протяженность участка с постоянной скоростью ползучести и уменьшается длительность третьей стадии крипа с возрастающей скоростью. При этом заметно уменьшается общая деформация образца.

Действие высокочастотных колебаний на материал, находящийся в ненагруженном состоянии, оказывается менее эффективным.

Полученные результаты можно трактовать с позиции синергетического подхода. Естественно ожидать, что введение при испытаниях сплава АМг6М на ползучесть промежуточной комплексной энергетической обработки,

N п/п	Наименование материала	$P_{\text{раст.}}, \text{Н}$	$P_{\text{сж.}}, \text{Н}$	$T, \text{С}$	$f_{\text{ЭМ}}, \text{кГц}$	$f_{\text{УВЗ}}, \text{Гц}$	$\tau_{\text{обр.}} / \tau_{\text{контр.}}$
1	АМг6М	2100 (300)	–	160 (300)	–	–	35,1
		–	$5 \cdot 10^5$	300	–	–	
		1300	–	–	1000 (600)	–	
1300		–	–	–	20 (600)		
2		2100 (300)	–	160 (300)	–	–	32,3
	–	$5 \cdot 10^5$	300	–	–		
	1300	–	–	1000 (600)	–		
3	2100 (300)	–	160 (300)	–	–	28,6	
	–	$5 \cdot 10^5$	300	–	–		
	1300	–	–	1000 (600)	–		
4	2100 (300)	–	160 (300)	–	–	27,2	
	–	$5 \cdot 10^5$	300	–	–		
	–	–	–	–	20 (600)		
5	2100 (300)	–	160 (300)	–	–	22,0	
	–	$5 \cdot 10^5$	300	–	–		

(...) – продолжительность энергетической обработки, с.

включающей воздействие силовых, тепловых, электромагнитных и ультразвуковых полей, приводит материал в термодинамически неустойчивое состояние. При этом ему сообщается энергия, достаточная для реализации самоорганизационных процессов, следствием чего и является деформационное упрочнение сплава.

Итак, результаты проведенного эксперимента показали, что существует принципиальная возможность повышения ресурса долговечности элементов конструкций из сплава АМг6М, длительное время эксплуатируемых при постоянных значениях нагрузки и температуры.

1. *Переверзев Е. С.* Упрочняющее действие комплексной энергетической обработки сплава АМг6М / *Е. С. Переверзев и др.* // *Техническая механика.* – 2006. – №2. – С. 127 – 134.
2. *Петров В. А.* Физические основы прогнозирования долговечности конструкционных материалов / *В. А. Петров, А. Я. Башкарев, В. И. Веттегрень.* – С.-Петербург : Политехника, 1993. – 475 с.
3. *Бетехтин В. И.* Развитие и залечивание микротрещин в поверхностных слоях и в объеме деформированных металлов / *В. И. Бетехтин, У. Н. Ажимуратов, А. Н. Бехтибаев и др.* – В кн. : *Физика и технология упрочнения поверхности металлов.* – Л. : ФТИ, 1985. – С. 36 – 41.
4. *Петров А. И.* Начальная стадия процесса залечивания пор и трещин в поликристаллических металлах в условиях всестороннего сжатия / *А. И. Петров, М. В. Разуваева* // *Физика твердого тела.* – 2005. – Т. 47, вып. 5. – С. 880 – 885.
5. *Горюшин В. В.* Влияние ультразвуковой ударной обработки на структуру и свойства поверхностных слоев железа и некоторых сталей / *В. В. Горюшин, В. П. Кривко, Г. И. Прокопенко, В. Л. Свечников.* – В кн. : *Прочность материалов и элементов конструкций при звуковых и ультразвуковых частотах нагружения.* – К. : Наукова думка, 1980. – С. 137 – 140.

Институт технической механики  
НАН Украины и НКА Украины,  
Днепропетровск

Получено 30.06.09,  
в окончательном варианте 15.09.09