

**ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОГО СТАРЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА АМг6М**

Исследовано влияние длительного растягивающего нагружения на изменение механических характеристик сплава АМг6М. Установлено, что естественное деформационное старение в течение 20 лет приводит к охрупчиванию материала.

Досліджено вплив тривалого розтягуючого навантаження на зміну механічних характеристик сплаву Амг6М. Встановлено, що природне деформаційне старіння на протязі 20 років призводить до зривчужання матеріалу.

The influence of a long-term tension load on variations in mechanic characteristics of the AMg6M alloy is investigated. It is found that a natural deformation deterioration for 20 years leads to the material brittleness.

В процессе производственной обработки изделий долгосрочного функционирования используют, как правило, традиционные методы ускоренных испытаний. Однако, при таком подходе трудно учесть все многообразие физико-химических процессов, которые протекают в материалах в реальных условиях длительного функционирования и могут служить причиной преждевременного выхода конструкций из строя [1]. К тому же, характеристики механических свойств, полученные при кратковременных испытаниях, не отражают возможное поведение материала в конструкции. Поэтому несомненный интерес представляют данные об испытаниях конструкционных материалов изделий долгосрочного функционирования в реальном масштабе времени.

При выборе конструкционных материалов, обеспечивающих работоспособность конструкций в условиях длительной эксплуатации (в частности сосудов давления, находящихся в заправленном состоянии на длительном хранении, и т. д.), следует учитывать три основных фактора: деформационное старение, коррозию под напряжением и способность к релаксации остаточных напряжений в сварных соединениях. Этим требованиям вполне удовлетворяют сплавы группы магналиев.

Целью настоящей работы являлась оценка влияния на механические свойства сплава АМг6М деформационного старения в условиях длительного действия растягивающего нагружения. Выбор сплава обусловлен его широким применением в конструкциях ответственного назначения.

В качестве объекта исследований использовались образцы, изготовленные в соответствии с требованиями инструкции к установке ИМАШ-20-78, предназначенной для термомеханических испытаний.

Сплав АМг6М является деформируемым сплавом, не упрочняющимся с помощью термической обработки. Его структурными составляющими являются  $\alpha$  – твердый раствор магния в алюминии и интерметаллидные фазы:  $Al_3Mg_2$ ,  $Mg_2Si$  и др.

Основой поведения сплавов группы Al – Mg является состояние пересыщенного твердого раствора Mg в Al: пока он сохраняется (вследствие понижения концентрации или отсутствия условий для его распада), сплавы обладают высокой пластичностью, коррозионной стойкостью и свариваемостью [2]. Механические свойства сплава АМг6М приведены в таблице 1.

Таблица 1. Механические характеристики сплава АМг6

| Наименование сплава | Обработка         | $\sigma_B$ , МПа | $\sigma_{0,2}$ , МПа | $\delta$ , % | <i>НВ</i> | $\sigma_{-1}$ , МПа |
|---------------------|-------------------|------------------|----------------------|--------------|-----------|---------------------|
| АМг6М               | Отжиг             | 350              | 170                  | 20           | 70        | 130                 |
| АМг6Н               | Нагартовка на 20% | 390              | 300                  | 10           | –         | –                   |
| АМг6НПП*            | Нагартовка на 30% | 430              | 350                  | 8            | –         | –                   |

\* НПП – нагартованный повышенной прочности

Эффект деформационного старения сплава АМг6М оценивался по изменению прочностных характеристик в результате 20-летней выдержки под растягивающей нагрузкой  $P = 900$  Н в напряженном состоянии, равном 100 МПа, в температурном диапазоне от 0 до 20°C. Испытания на длительное действие одноосного растяжения проводились с помощью специально изготовленного приспособления.

Количественными показателями деформационного старения исследуемого сплава являлись характеристики кратковременной прочности, т.е. предел прочности  $\sigma_B$ , предел текучести  $\sigma_{0,2}$ , предел усталости  $\sigma_{-1}$ , работа разрушения  $A$ , определяемая площадью под кривой разрушения, величина относительного удлинения материала  $\delta$  и твердость по Бринеллю *НВ*.

Механические испытания образцов проводились на установке ИМАШ-20-78 со скоростью движения захватов, равной 3 мм/мин. Погрешность измерения деформации образца в рабочей зоне составляла не более  $\pm 0,01$  мм, нагрузки –  $\pm 1,5$  %.

Результаты проведенных исследований, усредненные по 4-м образцам, представлены в таблице 2, где  $\sigma_B^{обp}$ ,  $\sigma_{0,2}^{обp}$  – предел прочности и текучести обработанного образца;  $\sigma_B^{кон}$ ,  $\sigma_{0,2}^{кон}$  – предел прочности и предел текучести контрольного образца;  $A^{обp}$ ,  $A^{кон}$  – работа разрушения обработанного образца и работа разрушения контрольного.

Таблица 2. Изменение прочностных характеристик сплава АМг6М после длительной выдержки под нагрузкой

| Режимы обработки |         |                          | $\sigma_B$ , МПа | $\sigma_{0,2}$ , МПа | работа разрушения-<br>$A$ , см <sup>2</sup> | $\frac{\sigma_B^{обp}}{\sigma_B^{кон}}$ | $\frac{\sigma_{0,2}^{обp}}{\sigma_{0,2}^{кон}}$ | $\frac{A^{обp}}{A^{кон}}$ |
|------------------|---------|--------------------------|------------------|----------------------|---|---|---|---------------------------|
| $P$ , Н          | $T$ , С | Продолж. выдержки, сутки |                  |                      |   |   |   |                           |
| Контрольный      |         |                          | 333,3            | 166,0                | 115,0                                       | –                                       | –   | –                         |
| 900              | 0 ÷ 20  | 7300                     | 283,0            | 219,5                | 42,6  | умен. в 1,2 раза                        | 1,3   | умен. в 2,7 раза          |

Ход кривой разрушения образцов, подвергнутых длительным испытаниям, показан на рис. 1 (кривая 2). На этом же рисунке для сравнения приведена кривая разрушения контрольного образца сплава АМг6М (кривая 1). Как следует из полученных данных, наиболее чувствительной к деформационному старению сплава АМг6М оказалась работа разрушения – уменьшается в среднем относительно исходного состояния на 60 %. Соответственно, длительное воздействие нагрузки существенно снижает и величину относительного удлинения (в среднем на 58 %).

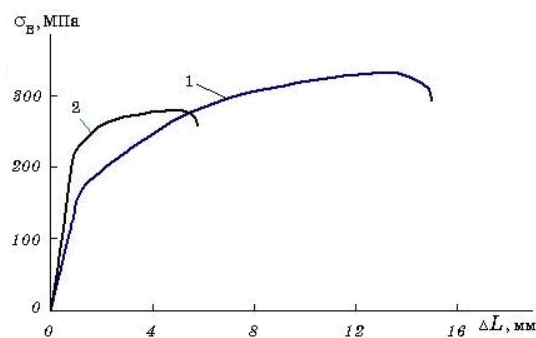


Рис. 1

Предел текучести при этом увеличивается в среднем на 30 % с одновременным уменьшением предела прочности на 17 %.

Как показал Фридляндер И. Н. в работе [3], естественное, т.е. зонное, старение литого алюминиево-магниевого сплава с содержанием Mg менее 6 % практически не оказывает влияния на его механические

свойства, что объясняется недостаточным обогащением зон Гинье–Престона магнием и большой концентрацией в них вакансий. Значительный эффект старения сплав приобретает при содержании Mg от 10 до 14 %. При этом повышаются прочностные характеристики ( $\sigma_{0,2}$ ,  $\sigma_B$ ) материала при значительном снижении его относительного удлинения  $\delta$ . По мнению автора [3], старение в этих сплавах может длиться годами, при этом пластичность материала падает практически до нуля.

Исследования, проведенные в настоящей работе с использованием деформируемого отожженного сплава АМг6М с содержанием Mg около 6 %, показали, что, в отличие от литого состояния, в этом сплаве при длительной выдержке под нагрузкой наблюдается эффект естественного старения. За это время заметно прошел процесс охрупчивания материала. При этом зона пластической деформации уменьшилась в среднем в 2,7 раза.

Проведенные структурные исследования состаренных образцов с применением светового микроскопа не позволили выявить существенных изменений на микро- и макроуровнях.

Таким образом, наиболее важным следствием деформационного старения алюминиево-магниевого сплава АМг6М является эффект охрупчивания материала, существенно снизивший пластичность и уменьшивший предел прочности. При этом, однако, заметно увеличился предел текучести материала.

Полученные результаты по изменению основных показателей естественного старения сплава АМг6М в условиях длительной выдержки под нагрузкой могут быть использованы при разработке конструкций, рассчитанных на продолжительные сроки эксплуатации.

1. Тихонов Л. В. Структура и свойства металлов и сплавов: справочник / Л. В. Тихонов, В. А. Кононенко, Г. И. Прокопенко, В. А. Рафаловский. – К. : Наукова думка, 1985. – 567 с.
2. Колачев Б. А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б. А. Колачев, В. И. Елагин, В. А. Ливанов. – М. : МИСИС, 2001. – 413 с.
3. Фридляндер И. Н. Алюминиевые деформируемые конструкционные сплавы / И. Н. Фридляндер. – М. : Металлургия, 1979. – 208 с.

Институт технической механики  
НАН Украины и НКА Украины,  
Днепропетровск

Получено 16.02.10,  
в окончательном варианте 16.02.10