

УДК 539.4:620.17

В.В.Егоршин, Ф.М.Елжин,
Б.А.Лавров, А.И.Панченко,
В.А.Рясный, Ю.Л.Тарасов

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЧНОСТИ И ПЛАСТИЧНОСТИ
МАГНИЕВОЛИТИЕВЫХ СПЛАВОВ МА18 И МА21

В настоящей работе приводятся результаты исследований влияния вакуума, выдержки в вакууме, положительной и отрицательной температур на пластичность и прочность новых сверхлегких магниеволитиевых сплавов МА21 и МА18. В качестве характеристик прочности взяты предел прочности σ_B и условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, а в качестве характеристики пластичности - степень деформации сдвига, накопленная материалом к моменту разрушения $\lambda / \%$:

$$\lambda_p = \sqrt{3} \varepsilon_H = \sqrt{3} \ln \frac{100}{100 - \psi}, \quad (I)$$

где $\psi = \frac{F_0 - F_H}{F_0}$ - относительное сужение, %.

Испытания проводились на промышленной установке "АЛА-100" (ИМАШ-20-75) по схеме одноосного растяжения. Форма и размеры образцов показаны на рис. I.

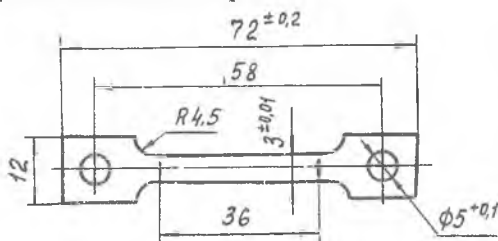


Рис. I

Площадь поперечного сечения образцов до и после испытаний измерялась с помощью оптического микроскопа МВТ-7. Предварительная выдержка образцов в вакууме производилась в камере промышленной установки "Киргизстан" (ИМАШ-5с-89)

Для выяснения влияния факторов реальных условий эксплуатации на пластичность и прочность сплавов МА18 и МА21 были использованы методы теории планирования эксперимента /2/. Входные величины (факторы) представлены в таблице I.

Согласно теории планирования в эксперименте по определенному

одну изменяются все факторы. Такой план представляется в виде матрицы планирования, в которой заключены все возможные при данных условиях одиночные опыты.

Таблица I

Характеристики факторов

Номер фактора	Название	Размерность	Область определения	Примечание
1	Выдержка в вакууме	Сутки	0 + 24	x_1
2	Вакуум	Па	$1,01 \cdot 10^5 + 6,6 \cdot 10^{-4}$	x_2
3	Скорость деформации	Сек ⁻¹	$6,1 \cdot 10^{-4} + 15,3 \cdot 10^{-4}$	x_3
4	Температура	К	223 + 353	x_4

Результаты эксперимента представляются в виде определенной модели, в которой можно выделить как влияние каждого фактора, так и их совместное воздействие.

В нашем случае модель принята в виде уравнения (2):

$$\begin{aligned}
 y = & b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_{12} x_1 x_2 + \\
 & + b_{13} x_1 x_3 + b_{14} x_1 x_4 + b_{23} x_2 x_3 + b_{24} x_2 x_4 + \\
 & + b_{34} x_3 x_4 + b_{123} x_1 x_2 x_3 + b_{124} x_1 x_2 x_4 + \\
 & + b_{134} x_1 x_3 x_4 + b_{234} x_2 x_3 x_4 + b_{1234} x_1 x_2 x_3 x_4.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Коэффициенты уравнения вычислялись с использованием метода наименьших квадратов, по формуле (3):

$$b_j = \frac{\sum_i^N x_{ji} y_i}{N}, \quad j = 0, 1, 2, \dots, k,
 \tag{3}$$

где j - номер фактора, i - номер опыта, N - число всех опытов.

Обычно матрица планирования представляется в закодированном виде, который дает возможность наиболее просто проводить вычисления

тельные процедуры для определения коэффициентов. Кодировка осуществляется по формуле (4):

$$x_j = \frac{\bar{x}_j - \bar{x}_{j0}}{y}, \quad (4)$$

где x_j - кодированное значение фактора; \bar{x}_j - натуральное значение фактора; \bar{x}_{j0} - натуральное значение основного уровня; y - интервал варьирования.

Таблица 2

№ опыта	x_0		x_1		x_2		x_3		x_4	
	Код	Сутки	Код	Па	Код	Сек ⁻¹	Код	К		
I	+	-	0	-	$6,6 \cdot 10^{-4}$	-	$6,1 \cdot 10^{-4}$	-	223	
2	+	+	24	-	$6,6 \cdot 10^{-4}$	-	$6,1 \cdot 10^{-4}$	-	223	
3	+	-	0	+	$1,01 \cdot 10^5$	-	$6,1 \cdot 10^{-4}$	-	223	
4	+	+	24	+	$1,01 \cdot 10^5$	-	$6,1 \cdot 10^{-4}$	-	223	
5	+	-	0	-	$6,6 \cdot 10^{-4}$	+	$15,3 \cdot 10^{-4}$	-	223	
6	+	+	24	-	$6,6 \cdot 10^{-4}$	+	$15,3 \cdot 10^{-4}$	-	223	
7	+	-	0	+	$1,01 \cdot 10^5$	+	$15,3 \cdot 10^{-4}$	-	223	
8	+	+	24	+	$1,01 \cdot 10^5$	+	$15,3 \cdot 10^{-4}$	-	223	
9	+	-	0	-	$6,6 \cdot 10^{-4}$	-	$6,1 \cdot 10^{-4}$	+	353	
10	+	+	24	-	$6,6 \cdot 10^{-4}$	-	$6,1 \cdot 10^{-4}$	+	353	
11	+	-	0	+	$1,01 \cdot 10^5$	-	$6,1 \cdot 10^{-4}$	+	353	
12	+	+	24	+	$1,01 \cdot 10^5$	-	$6,1 \cdot 10^{-4}$	+	353	
13	+	-	0	-	$6,6 \cdot 10^{-4}$	+	$15,3 \cdot 10^{-4}$	+	353	
14	+	+	24	-	$6,6 \cdot 10^{-4}$	+	$15,3 \cdot 10^{-4}$	+	353	
15	+	-	0	+	$1,01 \cdot 10^5$	+	$15,3 \cdot 10^{-4}$	+	353	
16	+	+	24	+	$1,01 \cdot 10^5$	+	$15,3 \cdot 10^{-4}$	+	353	

В таблице 2 представлена матрица планирования, где наряду с кодированными приводятся и натуральные значения факторов.

В матрице планирования единицы опущены и введен фактор x_0 , необходимый для вычисления коэффициента при нулевом члене уравнения (2).

С целью исключения систематических ошибок опыты проводились в случайной последовательности.

После вычисления коэффициентов уравнения регрессии по методу наименьших квадратов (формула (3)) производили проверку значимости коэффициентов. Проверка осуществлялась по t -критерию Стьюдента или построением доверительного интервала. Коэффициент значим, если его абсолютная величина больше доверительного интервала.

Формулу для доверительного интервала можно записать в следующей форме:

$$\Delta b_j = \pm t \cdot S_{\{b_j\}}, \quad (5)$$

где t - табличное значение критерия Стьюдента, $S_{\{b_j\}}$ - среднеквадратичная ошибка коэффициентов регрессии

$$S_{\{b_j\}} = \sqrt{S^2_{\{b_j\}}} = \sqrt{\bar{S}_i^2 / N}, \quad (6)$$

где \bar{S}_i^2 - дисперсия среднего арифметического в каждой строке матрицы; N - число всех опытов.

После исключения статистически незначимых коэффициентов из уравнений регрессии были получены окончательные выражения:

материал МА21

$$b_B = 21,88 + 0,518 x_3 - 2,068 x_4 \quad (7)$$

$$b_{0,2} = 19,15 + 0,425 x_3 - 1,575 x_4 \quad (8)$$

$$L_p = 0,457 - 0,014 x_3 + 0,048 x_4 \quad (9)$$

материал МА18

$$b_B = 1387 + 0,732 x_3 - 3,640 x_4 \quad (10)$$

$$b_{0,2} = 12,29 + 0,483 x_3 - 2,991 x_4 \quad (11)$$

$$L_p = 2,755 - 0,136 x_3 + 0,923 x_4. \quad (12)$$

Проверку адекватности моделей осуществляли по критерию Фишера, для чего было найдено отношение дисперсии $S_{\alpha\beta}^2$, характеризующей адекватность модели, к дисперсии параметра воспроизводимости $S^2\{\bar{y}\}$:

$$F_{расч} = \frac{S_{\alpha\beta}^2}{S^2\{\bar{y}\}} \quad (13)$$

Здесь

$$S_{\alpha\beta}^2 = \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2 / f, \quad (14)$$

где \bar{y}_i - среднее значение экспериментальных величин; \hat{y}_i - рассчитанные по уравнению регрессии; $f = N - (k + 1)$ - число степеней свободы дисперсии адекватности модели; k - число значимых коэффициентов модели

$$S^2\{\bar{y}\} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{q=1}^n (y_{iq} - \bar{y}_i)^2}{Nn(n-1)}, \quad (15)$$

где $i = 1, 2, \dots, N$; $q = 1, 2, \dots, n$.

Поскольку в нашем случае экспериментальное значение критерия Фишера не превышает табличного, гипотезу об адекватности модели не отвергаем.

Для косвенной оценки влияния комплексного воздействия всех факторов, действующих на отдельные элементы летательных аппаратов, проводилось экспонирование образцов в реальных условиях эксплуатации (РУЭ) с последующим их испытанием на воздухе в лабораторных условиях. Экспонированию подвергались образцы из сплава МА21. Время экспонирования составляло 12 суток. Испытания проводили при четырех скоростях деформации: $1,2 \times 10^{-4} \text{ сек}^{-1}$, $3,1 \times 10^{-4} \text{ сек}^{-1}$, $7,7 \times 10^{-4} \text{ сек}^{-1}$, $1,9 \times 10^{-3} \text{ сек}^{-1}$. Всего было испытано 20 образцов. На каждом уровне скорости деформации было испытано по 5 образцов. Контрольные образцы, неэкспонированные, испытывались на воздухе и в вакууме.

Результаты экспериментов представлены на рис. 2. Треугольниками показаны экспериментальные значения контрольных образцов, испытанных в вакууме 1,3 мПа. Кружочками - контрольные образцы, испытанные на воздухе. Квадратиками отмечены образцы, экспонированные

и РУЭ с последующим их испытанием на воздухе в лабораторных условиях.

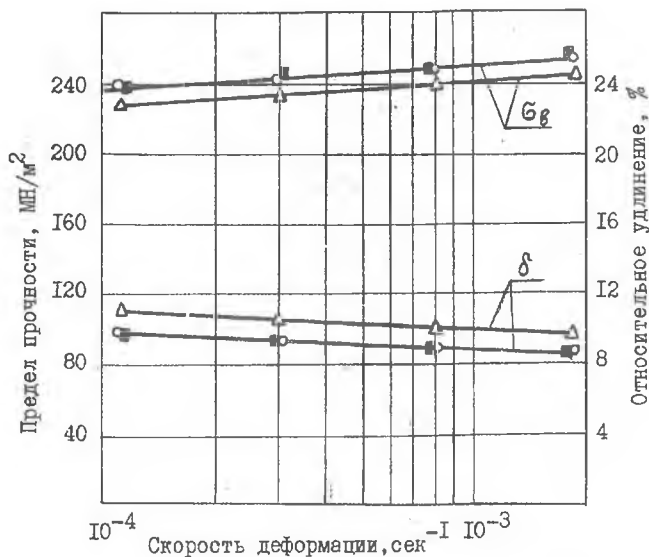


Рис. 2

Из рассмотрения рис. 2 видно, что значения предела прочности и относительного удлинения контрольных образцов, испытанных на воздухе и в вакууме, различны. Вакуум снижает предел прочности и повышает относительное удлинение. Испытание экспонированных образцов показало, что предел прочности и относительное удлинение не изменялись по сравнению с исходными, контрольными их значениями.

Таким образом, в настоящей работе показано, что из рассмотренных факторов значительное влияние на характеристики прочности и пластичности оказывает температура как фактор и скорость деформации как параметр нагружения. Вакуум оказывает незначительное влияние на эти характеристики. Экспонирование образцов в РУЭ с последующим их испытанием в лабораторных условиях не оказывает влияния на механические характеристики материала. Это, по-видимому, можно объяснить тем, что за тот промежуток времени, который проходит с момента экспонирования до лабораторных испытаний, материал как бы

восстанавливает свои первоначальные свойства. Поэтому самым объективным для оценки влияния комплексного воздействия всех факторов на характеристики материала был бы эксперимент, непосредственно проходивший в РУЭ с записью полученных результатов.

Л и т е р а т у р а

1. Пластичность и разрушение. /Под ред. В.Л.Колмогорова. - М.: Металлургия, 1977. - 336 с.
2. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. - М.: Наука, 1976. - 254 с.

УДК 629.7.018

А.А.Чураков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОНСТРУКТИВНОГО ЭЛЕМЕНТА ПРИ СЛУЧАЙНОМ НАГРУЖЕНИИ

Конструктивный элемент представляет собой широко используемую в практике авиастроения деталь типа фитинга, выполненного из стали X18H10T. Фитинг представляет собой фланец 1 с трубкой 2, соединенные между собой посредством сварного шва 3 (рис. 1). Для удобства нагружения трубке была несколько удлинена и заканчивалась специальной втулкой 4, через которую передавалась нагрузка. Фланец фитинга крепился с помощью двух болтов к неподвижной плите вибростенда. Нагрузка на фитинг передавалась через двойной шарнирный узел, один конец которого крепился к подвижной катушке электродинамического вибростенда, а другой конец, заканчивающийся сферическим шарниром, соединялся с втулкой.

Предполагалось, что в реальных условиях деталь работает на