

Можно видеть, что расчетные данные отличаются от экспериментальных не более, чем на 6,6%. Данная модель в виде демонстрационной может быть использована в учебном процессе.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ШТАМПОВОК ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ПЛАСТИЧНОСТИ И СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ**

**Муратаев Ф.И., Ганиев М.М.**

*Казанский государственный технический университет  
420111 Казань, ул. К.Маркса, 10  
E-mail: root @ kaiadm.kazan.su*

**АННОТАЦИЯ.** Предлагается методика, апробированная на примере выбора материала и обоснования технологии штамповки дисков на основе расчетов предельной пластичности при двухосном нагружении и построения кривых нормируемой повреждаемости применительно к условиям работы деталей в условиях сложного периодического нагружения.

При анализе характеристик предельной пластичности штамповок ВТ22 в условиях плоской деформации применяются известные функции пластичности, представленные в форме, приемлемой для выражения условий двухосного нагруженного состояния:

- критерий максимальных касательных напряжений

$$\varepsilon_e = \varepsilon_i (1 - \eta_3) / \eta_i, \quad (1)$$

где  $\eta_i = \sqrt{1 - \eta + \eta^2}$ ;

- критерий энергии формоизменения

$$\varepsilon_e = \varepsilon_i, \quad (2)$$

- критерий Сен-Венана

$$\varepsilon_e = \varepsilon_i (1 - \mu\eta) \left( \frac{1 + \mu\varnothing}{1 - \mu^2} \right) / \varnothing_i, \quad (3)$$

где  $\varnothing_i = 2/3 \sqrt{1 - \varnothing_1 + \varnothing_1^2 - \varnothing_1\varnothing_2 - \varnothing_2 + \varnothing_2^2}$ ;

- модифицированный критерий Писаренко-Лебедева

$$\varepsilon_{\theta_f} = \varepsilon_B \left[ \varnothing_i \left( \chi + \frac{1 - \chi}{\eta_i} \right)^{1/m^{(0)}} \right]^{-1,0}, \quad (4)$$

где  $m^{(0)} = (1 - 0,3\psi) \frac{\ln S_k / \sigma_{0,2}}{\ln \left\{ 1 / (\sigma_{0,2} / E + 0,2 \cdot 10^{-2}) \ln 1 / (1 - \psi) \right\}}$ ,

$$\eta = \sigma_x / \sigma_y = 0,5, \quad \chi = 0,6.$$

Сопоставление расчетных данных с экспериментальными результатами, полученными в условиях плоской деформации штамповок ВТ22 в различных состояниях структуры и свойств, позволило выявить преимущество выражения (4), дающего консервативную оценку (в запас) по предельной пластичности в 1,5 раза (табл.1). Для обоснования технологии штамповки дисков по критерию предельной пластичности использовалось выражение (4), поскольку зависимости (1)-(3) приводят к переоценке располагаемой пластичности в 4-5 раз и не учитывают свойства материала.

Было исследовано 9 технологических вариантов изготовления заготовок дисков. Технология штамповки варьировалась в составе операции от 3- до 8-переходной в высокотемпературной фазовой области с последующей упрочняющей термической обработкой в мягком или жестком режиме закалки на воздухе или в воде и старения в интервале температур (530...630)°С.

Были реализованы варианты равноосной и неравноосной структур, отличающихся резкой неоднородностью геомет-

Таблица 1

Результаты сопоставления расчетных и экспериментальных данных штамповки ВТ22 при двухосном нагружении

Кол-во переходов	$S_A/\sigma_B$	$\sigma_{0,2}/\sigma_B$	$m^{(0)}$	$\varepsilon_B, \%$	$\chi$	$\varepsilon_{0f}, \%$ - эксперимент	$\varepsilon_{0f}, \%$ - расчет по формулам			
							(4)	(1)	(2)	(3)
3	1,14	0,94	0,048	4,0	0,28	1,1	0,5	3,1	3,5	4,0
	1,17	0,92	0,05	5,0	0,37	0,99	0,7	3,8	4,5	5,0
	1,19	0,94	0,06	6,0	0,2	1,0	0,8	4,6	5,4	6,0
	1,19	0,95	0,06	5,8	0,22	1,07	0,7	4,4	5,2	5,8
5	1,34	0,94	0,09	6,0	0,41	2,9	1,9	4,6	5,4	6,0
	1,32	0,93	0,08	7,5	0,38	2,1	2,1	5,7	6,7	7,5
8	1,42	0,92	0,096	6,9	0,95	2,74	5,1	5,3	6,2	6,9
	1,47	0,94	0,095	5,8	0,91	3,79	4,6	4,4	5,2	5,8

рии, размеров, количества  $\alpha$ -фазы и морфологии, бывшей  $\beta$ -фазы. Исследован широкий диапазон структур, отвечающий (по баллам) от 3 до 6-8-го по шкале [1], от вариантов, близких к рекристаллизованной, до типов с наличием метастабильной непревращенной  $\beta$ -фазы с участками интенсивного дисперсионного упрочнения частицами  $\alpha$ -фазы. Изменение механических свойств по вариантам заготовок приведено в табл.2.

Таблица 2

Изменение свойств заготовок ВТ22

Кол-во переходов штампов, км	$S_k$	$\sigma_{0,2}$	$\psi, \%$	Относительное снижение долго- вечности по (6) при $\sigma_{a2}/\sigma_{-1}$		Обеспечение циклической долго- вечности по (5) при $\sigma_m/\sigma_B > 0,1$
	МПа			0,15	0,35	
				7,5	120	
3	1390	1130	13,5	7,5	120	нет
	1468	1129	15	-	105	нет
5	1508	1141	27,6	-	-	нет
	1758	1208	25,5	4	55	нет
8	1567	1047	42	2	4	да
	1642	1049	47	-	-	да

Экспериментальное исследование прочности и пластичности материала при двухосном пропорциональном нагружении с соотношением компонент напряженного состояния  $\sigma_z/\sigma_\theta = 0,5$  осуществляется подачей избыточного давления масла в полость трубчатых образцов. Для замера деформаций используется струнный датчик, устанавливаемый непосредственно на образце, позволяющий контролировать приращение его окружности [2].

Как показали экспериментальные и расчетные данные (см. табл.1) большие уровни предельной пластичности ( $\varepsilon_{\theta f}$ ) обеспечиваются вариантом 8-переходной штамповки с большими значениями комплекса свойств  $S_{\kappa}/\sigma_B$ ,  $\chi$  и  $m^{(0)}$ . Анализ работоспособности сплава ВТ22, с учетом варьирования технологии штамповки дисков по критериям сопротивления усталости при двухчастотном комбинированном нагружении, проводится по моделям:

$$\ln(1 - \psi)^{-1,0} = \frac{S_{\kappa} A}{E \nu} (A_1 - A_2 \sigma_m / \sigma_B - 1)^{-1,0}, \quad (5)$$

$$n = B + B_1 \frac{\sigma_{\max} \varepsilon}{\sigma_R} - B_2 \frac{E_{\kappa}}{E} + B_3 \frac{\mu}{\psi} + B_4 \frac{m^{(0)} \psi}{\delta}; \quad (6)$$

зависимость (5) - по критериям сопротивления усталости, исходя из условия равной повреждаемости сплава при простом и сложном периодическом нагружении  $\sigma_{a2} = \sigma_a$  при  $\sigma_{\max 1} = \sigma_m$ ; выражение (6) - по критерию снижения циклической долговечности в случае действия относительно высокочастотной составляющей нагрузки  $\sigma_{a2}/\sigma_{-1} = 0,15$  и  $0,35$ .

Изменение свойств штамповок ВТ22 и анализ результатов расчета по формуле (5) при  $\sigma_m/\sigma_B = \text{const}$  и по формуле (6) при  $\sigma_{a2}/\sigma_{-1} = 0,15$  и  $0,35$  приведено в табл. 2. Видно, что большая циклическая долговечность обеспечивается 8-переходной штамповкой, вариантом с большими значениями  $\psi$  и  $S_{\kappa}/\sigma_{0,2}$ .

Проведенная комплексная расчетно-экспериментальная оценка по критериям предельной пластичности и сопротивления усталости позволила количественно обосновать технологию штамповки дисков из сплава ВТ22, выявить потенциально ненадежные заготовки и скорректировать уровни свойств ТУ на штамповку.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Титановые сплавы. Металлография титановых сплавов. М.: Металлургия, 1980. 464 с.
2. А.с.1057773 СССР, МКИ G01 В 5/30. Тензомер для измерения поперечной деформации образцов /И.Н.Шканов, В.М.Такранов, Н.З.Брауде, С.А.Клевин //Б.И. 1983. № 44.

## **УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ**

**Муратов В.С.**

*Самарский государственный технический университет  
443010 Самара, Галактионовская, 141  
E-mail: mvm. @ mc.sstu. samara. Ru*

**АННОТАЦИЯ.** Сформулированы принципы совершенствования многоэтапных технологических процессов обработки деформируемых алюминиевых сплавов с целью повышения экономичности и улучшения свойств. Приведены и обоснованы разработанные на их основе режимы тепловых и деформационных воздействий.