

М.Н.Степнов, М.Г.Вейцман, Е.В.Гиацинтов, А.С.Серегин

### ОЦЕНКА СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Вопросы повышения ресурса и надежности конструкций требуют сравнительного и всестороннего анализа механических свойств конструкционных материалов.

В настоящей статье рассматривается в статистическом аспекте сопротивление усталости алюминиевых сплавов АД33, АВ и В91.

Все экспериментальные данные получены путем испытания цилиндрических образцов диаметром 8мм при изгибе с вращением.

На рис. 1 приведены кривые усталости, отвечающие вероятностям разрушения  $P = 50\%$  и  $P = 1\%$  для гладких образцов из указанных трех сплавов.

Наибольшей выносливостью при  $P = 50\%$  обладают образцы из сплава В91. Однако кривые усталости, отвечающие вероятности разрушения  $P = 1\%$  для образцов из сплавов В91, АВ и АД33, разнятся незначительно.

Предел выносливости образцов из сплава В91, полученный на базе  $10^7$  циклов и отвечающий вероятности разрушения  $P = 50\%$ , в 1,13 раза превышает предел выносливости образцов из сплава АВ и в 1,22 раза из сплава АД33. Однако с уменьшением вероятности разрушения разница пределов выносливости снижается. Так при  $P = 1\%$  отношение

$$\frac{(\sigma_{-1})_{В91}}{(\sigma_{-1})_{АВ}} = 1,05 \quad \text{и} \quad \frac{(\sigma_{-1})_{В91}}{(\sigma_{-1})_{АД33}} = 1,11$$

Нижние границы пределов усталости, определенные исходя из нормального закона распределения случайной величины

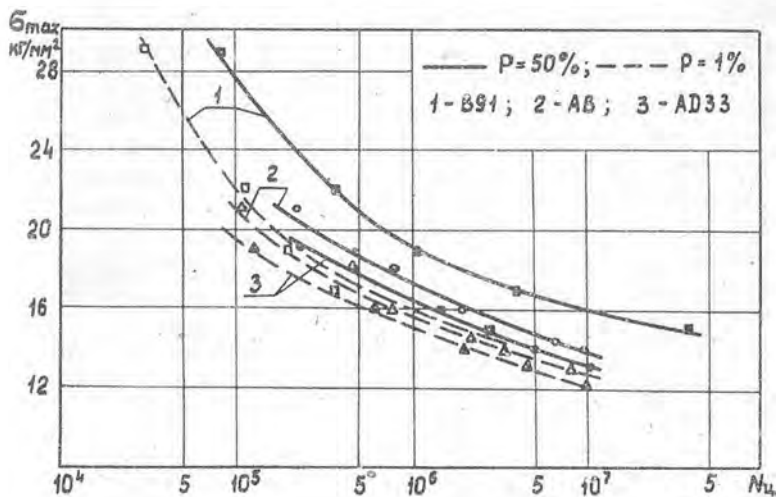


Рис. 1

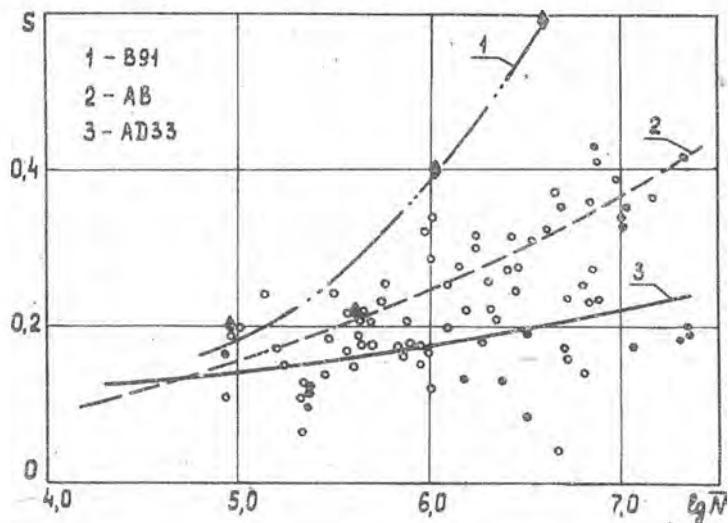


Рис. 2

$$\chi = \lg \frac{\sigma_{-1} - \sigma_0}{\sigma_k - \sigma_{-1}},$$

составляют для сплава В91  $\sigma_0 = 12 \text{ кг/мм}^2$ , для сплава АВ  $\sigma_0 = 11,7 \text{ кг/мм}^2$  и для сплава АД33  $\sigma_0 = 11,5 \text{ кг/мм}^2$ . Через  $\sigma_k$  обозначена верхняя граница предела усталости.

Сближение значений пределов усталости с уменьшением вероятности разрушения является следствием повышенного рассеивания сопротивления усталости сплава В91 по сравнению со сплавами АВ и АД33.

В таблице I приведены средние квадратические отклонения пределов усталости на базе  $N = 10^7$  циклов.

Таблица I

Сплав	АД33	АВ	В91
$S_{\sigma_{-1}} = \text{кг/мм}^2$	0,550	0,638	1,349

Для образцов из сплава В91  $S_{\sigma_{-1}}$  превышает в 2,1 и в 2,4 раза соответствующие значения для сплавов АВ и АД33.

На рис. 2 приведены результаты статистического анализа рассеивания долговечности образцов из исследуемых сплавов. Графики построены по результатам испытаний различных партий образцов данных сплавов, отличающихся главным образом химическим составом в пределах технических условий. Общее число испытанных образцов из сплава АД33 составило 411, из сплава АВ - 3480, из сплава В91 - 90 штук.

Установлены степенные зависимости средних квадратических отклонений логарифмов разрушающих чисел циклов от средних логарифмов долговечности и амплитуд напряжений.

Получены следующие уравнения для сплавов:

$$\text{В91} - S_{\lg N} = 1,05 \cdot 10^{-2} \lg N^{4,581}; \quad S_{\lg N} = 1,9 \cdot 10^4 \sigma^{-3,65}$$

$$\text{АВ} - S_{\lg N} = 2,76 \cdot 10^{-2} \lg N^{2,509}; \quad S_{\lg N} = 34,6 \sigma^{-1,719}$$

$$\text{АД33} - S_{\lg N} = 1,94 \cdot 10^{-2} \lg N^{1,244}; \quad S_{\lg N} = 0,815 \sigma^{-0,535}$$

Наибольшее рассеивание долговечности имеют образцы из сплава В91, наименьшее - из АД33. Причем эта разница существенно возрастает с увеличением среднего значения логарифмов разрушающих чисел циклов или с уменьшением амплитуд напряжений.

С целью оценки чувствительности сплавов к концентрации напряжений проводились массовые испытания на усталость цилиндрических образцов с кольцевыми надрезами.

На рис. 3 результаты этих исследований представлены в форме кривых изменения коэффициента чувствительности к концентрации напряжений  $q = \frac{K_{\sigma} - 1}{\alpha_{\sigma} - 1}$  в зависимости от вероятности разрушения для долговечности  $N = 10^6$  циклов и  $N = 10^7$  циклов. Здесь  $\alpha_{\sigma}$  - теоретический, а  $K_{\sigma}$  - эффективный коэффициент концентрации напряжений.

Приведенные данные показывают, что сплав В91 оказывается более чувствительным к неравномерности распределения напряжений по сравнению со сплавом АВ. Значения коэффициентов  $q$  при  $P = 50\%$  для сплава В91 в 1,25 и в 1,18 раза выше, чем для сплава АВ на базах  $N = 10^6$  и  $N = 10^7$  циклов соответственно.

В связи с неизбежностью коррозионных повреждений элементов конструкции в процессе их производства, хранения и эксплуатации важное значение приобретает оценка влияния агрессивных сред на сопротивление усталости.

На рис. 4 приведены кривые изменения коэффициента  $\beta = \frac{(\sigma - 1)_{\text{в корр. среде}}}{(\sigma - 1)_{\text{на воздухе}}}$ , характеризующего снижение пределов усталости в связи с коррозионными воздействиями в зависимости от базы испытаний.

В качестве коррозионной среды использовалась морская вода (химический состав дан в таблице 2), которой непрерывно во время усталостных испытаний смачивалась рабочая часть образцов.

Таблица 2

Содержание компонентов в граммах на один литр дистиллированной воды.			
NaCl	MgCl <sub>2</sub>	MgSO <sub>4</sub>	CaSO <sub>4</sub>
29,6	3,6	2,4	1,3

Сплав В91 оказывается наименее стойким против коррозионного воздействия по сравнению со сплавами АВ и АД33.

Пределы усталости образцов из всех исследованных сплавов на базе  $N = 10^7$  циклов при испытании в морской воде оказываются практически на одном уровне и составляют  $\sigma_{-1} = 4,3$  кг/мм<sup>2</sup>. В связи с работой многих деталей в условиях нестационарного нагружения были проведены программные испытания образцов из сплавов

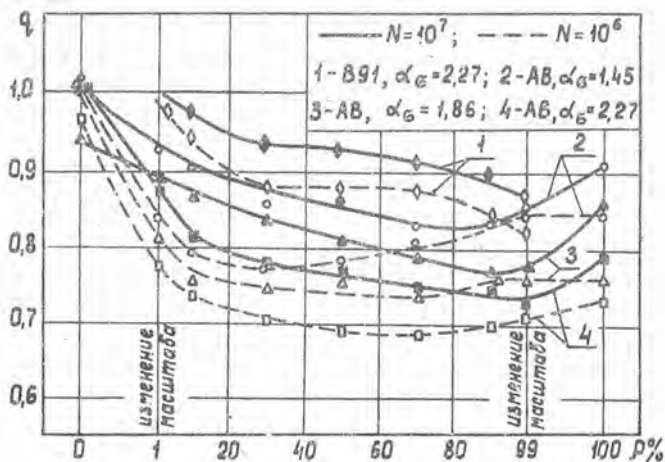


Рис. 3

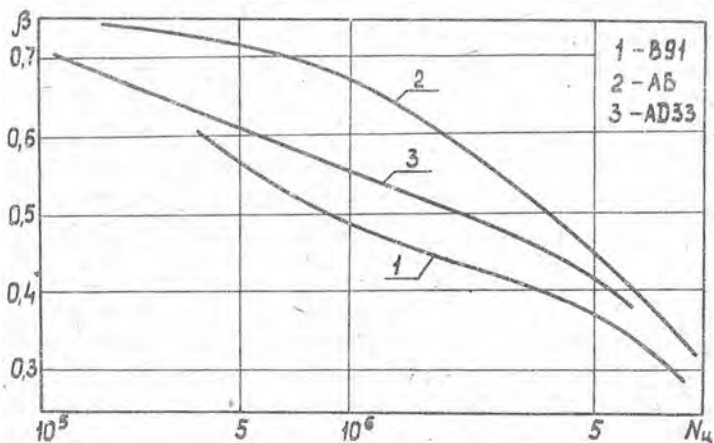


Рис. 4

В91 и АВ. Программные блоки нагружения были близки к режиму, описываемому интегральной функцией бэга - распределения.

Гладкие полированные образцы диаметром рабочей части 8 мм испытывались при изгибе с вращением на машинах МУИ-6000, оборудованных программными устройствами. Переход от одного режима к другому осуществлялся путем пропорционального изменения амплитуд программных блоков. Емкость блоков была выбрана такой, чтобы до разрушения образца повторялось не менее десяти блоков программы.

Результаты исследований в виде зависимости суммы относительных долговечностей от относительных уровней напряженности  $\frac{\sigma_{max}}{\sigma_{max}(N=10^7)}$  показаны на рис. 5. Здесь  $\sigma_{max}$  - текущее значение

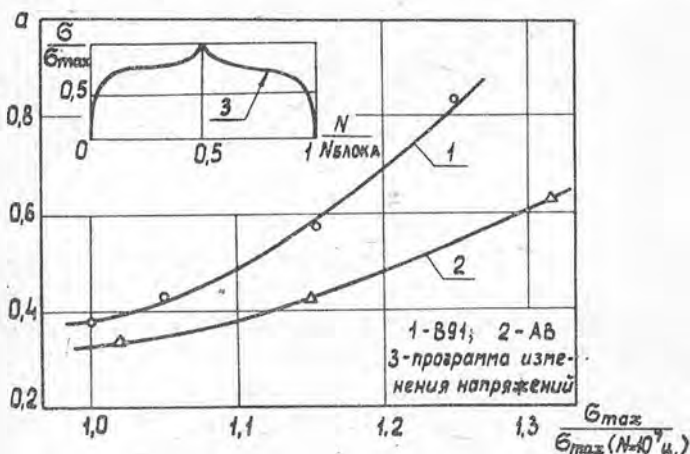


Рис. 5

ние пределов выносливости в максимальных значениях амплитуд программных блоков;  $\sigma_{max}(N=10^7)$  - предел выносливости, определенный по максимальному значению амплитуды напряжений программного блока на базе  $10^7$  циклов;  $\alpha = \sum \frac{n_i}{N_i}$  - сумма относительных долговечностей.

Для обоих сплавов характерным является снижение  $\alpha$  с увеличением базы испытаний. Преимущества сплава В91 сказываются в основном при больших уровнях напряжений программных блоков, т.е.

в области малых долговечностей. С уменьшением напряжений кривые сближаются, и при  $N = 10^7$  циклов значения  $\sigma$  сплавов АВ и В9І оказываются практически равными друг другу.

Таким образом, результаты выполненных исследований позволяют считать, что сплав В9І обладает повышенной прочностью по сравнению со сплавами АВ и АД33 как при стационарном, так и нестационарном нагружении. Однако в связи с большим рассеиванием сопротивления усталости сплава В9І при переходе к малым вероятностям разрушения характеристики выносливости исследованных сплавов сближаются.

Сплав В9І обладает повышенной чувствительностью к концентрации напряжений и пониженной коррозионной стойкостью. Это дает основание считать актуальными исследования по совершенствованию сплава В9І, в том числе путем модернизации его химического состава и технологии изготовления полуфабрикатов с целью снижения рассеивания механических свойств и повышения коррозионной стойкости при сохранении средних характеристик сопротивления усталости.

#### Л и т е р а т у р а

- І. Степнов М.Н., Гиацинтов Е.В. Усталость легких конструкционных сплавов. Машиностроение, 1973.