

исследования, приведенные в промежуточных отчетах по указанной теме, позволили установить резонансный характер воздействия электромагнитного поля малой мощности на физико-химические системы, в которых происходят гетерофазные превращения, причем эффекты наблюдаются в интервале радиочастот.

В результате неравновесного фазового перехода скачкообразно изменяются характеристики открытых физико-химических систем. Устанавливается своеобразное критическое состояние, в этом случае системы откликаются на слабые или сверхслабые внешние возмущения, в том числе и слабые акустические поля. Важность исследования межфазной неустойчивости в физико-химических системах имеет большое практическое значение для нахождения новых оптимальных режимов, их целесообразного использования, а также для моделирования стационарных и переходных процессов.

УДК 539.319:621.787

## ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ УПРОЧНЁННЫХ ОБРАЗЦОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПОСЛЕ ТЕРМОЭКСПОЗИЦИИ

Кирпичёв<sup>1</sup> В.А., Саушкин<sup>2</sup> М.Н., Филатов<sup>1</sup> А.П., Лунин<sup>1</sup> В.В.

<sup>1</sup>Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королева (национальный исследовательский университет), г. Самара

<sup>2</sup>Самарский государственный технический университет, г. Самара

Для оценки влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости деталей в условиях концентрации напряжений в работе [1] был предложен критерий среднеинтегральных остаточных напряжений  $\bar{\sigma}_{ocm}$  в виде

$$\bar{\sigma}_{ocm} = \frac{2}{\pi} \int_0^1 \frac{\sigma_z(\xi)}{\sqrt{1-\xi^2}} d\xi, \quad (1)$$

где  $\sigma_z(\xi)$  – осевые остаточные напряжения в наименьшем сечении детали с концентратором;  $\xi = a/t_{кр}$  – расстояние от дна концентратора до текущего слоя, выраженное в долях  $t_{кр}$ ,  $t_{кр}$  – критическая глубина нераспространяющейся трещины усталости.

Зависимость для определения приращения предела выносливости при изгибе  $\Delta\sigma_{-1}$  упрочнённой детали с использованием критерия  $\bar{\sigma}_{ocm}$  имеет вид

$$\Delta\sigma_{-1} = \bar{\psi}_\sigma |\bar{\sigma}_{ocm}|, \quad (2)$$

где  $\bar{\psi}_\sigma$  – коэффициент влияния остаточных напряжений на предел выносливости.

В настоящем исследовании критерий  $\bar{\sigma}_{ocm}$  использован для исследования влияния остаточных напряжений на предел выносливости упрочнённых образцов с концентраторами напряжений из сплавов В95 и Д16Т, подвергнутых обработке на пневмодробеструйной установке.

Гладкие образцы диаметром 15 мм с отверстием диаметром 5 мм обрабатывались дробью диаметром 1,5-2 мм при давлении воздуха 0,25 МПа в течение 10 минут. Затем упрочнённые и неупрочнённые образцы подвергались термоэкспозиции при температуре  $T = 125^\circ\text{C}$  в течение 100 часов. Далее на все гладкие образцы наносились надрезы полукруглого профиля двух радиусов  $R=0,3$  мм и  $R=0,5$  мм.

Остаточные напряжения в образцах определялись методом колец и полосок [2], в образцах с надрезом – по методике работы [3]. Эпюры осевых  $\sigma_z$  остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя  $a$  в гладких и надрезанных образцах представлены на рис.1.

Из приведённого на рис.1 распределения остаточных напряжений видно, что после термоэкспозиции в образцах из сплава В95 сжимающие остаточные напряжения значительно меньше, чем в образцах из сплава Д16Т.

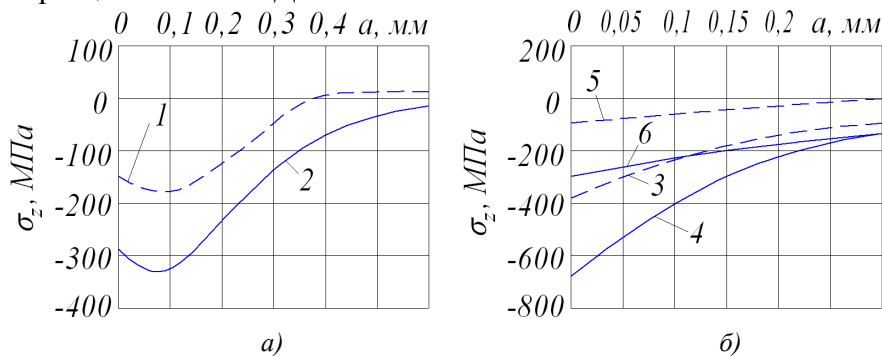


Рисунок 1. Осевые остаточные напряжения  $\sigma_z$  после упрочнения и термоэкспозиции в гладких образцах (а) и в образцах с надрезом (б) из сплавов В95 (1, 3, 5) и Д16Т (2, 4, 6):  
3, 4 –  $R = 0,3$  мм; 5, 6 –  $R = 0,5$  мм

Испытания на усталость образцов с надрезом при чистом изгибе в случае симметричного цикла проводились при  $T = 20^\circ\text{C}$  на машинах МУИ-6000, база испытаний -  $10^7$  циклов нагружения. Результаты испытаний на усталость и определения остаточных напряжений представлены в таблице.

Из приведённых в таблице данных можно видеть, что коэффициент влияния остаточных напряжений  $\bar{\psi}_\sigma$  на предел выносливости по критерию  $\bar{\sigma}_{ост}$  составляет в среднем 0,368 и близок к значению  $\bar{\psi}_\sigma = 0,36$ , установленному в [4] для упрочнённых образцов с такой же степенью концентрации напряжений.

Таблица

| Материал | Радиус надреза, $R$ , мм | Неупрочнённые образцы $\sigma_{-1}$ , МПа | Упрочнённые образцы |               |                            |                     |
|----------|--------------------------|---|---------------------|---------------|----------------------------|---------------------|
|          |                          |   | $\sigma_{-1}$ , МПа | $t_{кр}$ , мм | $\bar{\sigma}_{ост}$ , МПа | $\bar{\psi}_\sigma$ |
| В95      | 0,3                      | 105                                       | 155                 | 0,310         | -141                       | 0,355               |
|          | 0,5                      | 107,5                                     | 115                 | 0,320         | -21,3                      | 0,352               |
| Д16Т     | 0,3                      | 82,5                                      | 175                 | 0,320         | -250                       | 0,370               |
|          | 0,5                      | 82,5                                      | 150                 | 0,310         | -171                       | 0,395               |

Таким образом, проведённое исследование показывает, что критерий среднеинтегральных остаточных напряжений  $\bar{\sigma}_{ост}$  можно применять для оценки влияния поверхностного упрочнения и последующего температурного воздействия на предел выносливости образцов с концентраторами, изготовленными из алюминиевых сплавов В95 и Д16Т.

#### Список литературы

1. Павлов В.Ф. О связи остаточных напряжений и предела выносливости при изгибе в условиях концентрации напряжений // Известия вузов. Машиностроение. – 1986. – № 8. – С. 29-32.
2. Иванов С.И. К определению остаточных напряжений в цилиндре методом колец и полосок // Остаточные напряжения. – Куйбышев: КуАИ, 1971. – Вып.53. – С. 32-42.
3. Иванов С.И., Шатунов М.П., Павлов В.Ф. Влияние остаточных напряжений на выносливость образцов с надрезом // Вопросы прочности элементов авиационных конструкций. – Куйбышев: КуАИ, 1974. – Вып.1. – С. 88-95.

4. Павлов В.Ф., Кирпичёв В.А., Иванов В.Б. Остаточные напряжения и сопротивление усталости упрочнённых деталей с концентраторами напряжений. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2008. – 64 с.

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект 2.1.1/13944).*

УДК 621.787: 539.319

### **ВЛИЯНИЕ ПНЕВМОДРОБЕСТРУЙНОЙ ОБРАБОТКИ НА ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ ОБРАЗЦОВ С НАДРЕЗАМИ ИЗ СПЛАВОВ В95 И Д16Т**

Кирпичёв В.А., Чирков А.В., Иванова А.В., Сургутанов Н.А.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

Для сокращения длительных и дорогостоящих испытаний на усталость при внедрении в производство новых упрочняющих технологий необходимо разрабатывать и апробировать научно обоснованные расчётные методы прогнозирования характеристик сопротивления усталости деталей. Известно, что основную роль в повышении сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей в условиях концентрации играют сжимающие остаточные напряжения [1]. В работе [2] для оценки приращения предела выносливости упрочнённых деталей с концентраторами по остаточным напряжениям был предложен критерий среднеинтегральных остаточных напряжений  $\bar{\sigma}_{ocm}$  в виде

$$\bar{\sigma}_{ocm} = \frac{2}{\pi} \int_0^1 \frac{\sigma_z(\xi)}{\sqrt{1-\xi^2}} d\xi, \quad (1)$$

где  $\sigma_z(\xi)$  – осевые остаточные напряжения в наименьшем сечении детали с концентратором;  $\xi = a/t_{кр}$  – расстояние от дна концентратора до текущего слоя, выраженное в долях  $t_{кр}$ ;  $t_{кр}$  – критическая глубина нераспространяющейся трещины усталости, возникающей при работе детали на пределе выносливости.

Приращение предела выносливости при изгибе и растяжении-сжатии в случае симметричного цикла  $\Delta\sigma_{-1}$  упрочнённой детали с помощью критерия  $\bar{\sigma}_{ocm}$  можно определить по следующей формуле:

$$\Delta\sigma_{-1} = \bar{\psi}_{\sigma} \cdot |\bar{\sigma}_{ocm}|, \quad (2)$$

где  $\bar{\psi}_{\sigma}$  – коэффициент влияния остаточных напряжений на предел выносливости.

Для проверки возможности применения критерия  $\bar{\sigma}_{ocm}$  в случае поверхностного упрочнения деталей из алюминиевых сплавов были проведены эксперименты на образцах с надрезами из материалов В95 и Д16Т.

Гладкие образцы диаметром 15 мм с отверстием 5 мм подвергались пневмодробеструйной обработке (ПДО) дробью диаметром 1,5-2 мм при давлении воздуха 0,25 МПа в течение 10 минут. Затем на все упрочнённые и неупрочнённые гладкие образцы наносились круговые надрезы полукруглого профиля двух радиусов  $R=0,3$  мм и  $R=0,5$  мм. Остаточные напряжения в гладких образцах определялись экспериментально, а в образцах с надрезом – суммированием дополнительных напряжений, возникающих при нанесении надрезов на упрочнённую поверхность, с остаточными напряжениями гладких образцов.