

УДК 621.787:539.319

## ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ И ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ КОРСЕТНЫХ ОБРАЗЦОВ ПОСЛЕ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

© 2012 В.Ф. Павлов, А.В. Чирков, Е.А. Денискина, О.Ю. Семёнова, А.А. Шкатов

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

## LIMIT OF ENDURANCE AND RESIDUAL STRESSES OF CORSET SPECIMENS AFTER CHEMI-THERMICAL TREATING

© 2012 V.F. Pavlov, A.V. Chirkov, E.A. Deniskina, O.Yu. Semyonova, A.A. Shkatov

Cementation and nitriding influence on endurance limit of corset specimens made of ВКС-5 and ВНС-17 alloys is researched. It is established that use of average residual stresses criterion for forecasting limit of endurance of such specimens is available.

Изучалось влияние технологии изготовления корсетных образцов круглого поперечного сечения с наименьшим диаметром 7,5 мм из сплавов ВКС-5 и ВНС-17 на предел выносливости по величине и распределению остаточных напряжений поверхностного слоя. После шлифования образцы подвергались термической и химико-термической обработке по режимам, приведённым в табл. 1.

После термической обработки шли-

фованию подвергалась только коническая часть образцов, поэтому в рабочей (корсетной) части остаточное напряжённое состояние оставалось неизменным.

Испытания образцов на усталость при изгибе в случае симметричного цикла проводились на машине МВП-10000, база испытаний –  $30 \cdot 10^6$  циклов нагружения, температура испытаний – 20°C. Результаты определения предела выносливости  $\sigma_{-1}$  представлены в табл. 1

Материал	№ п/п	Вид обработки	Режим обработки	$\sigma_{-1}$ , МПа	$\bar{\sigma}_{ост}$ , МПа	$\bar{\psi}_{\sigma}$
ВКС-5	1	исходное состояние	закалка 900°C; отпуск 600°C – 1 час	760	-136	–
	2	ионная цементация	ионная цементация 950°C – 1 час; отпуск 650°C – 3 часа	900	-389	0,553
	3	цементация	цементация 940°C – 6 час; отпуск 650°C – 3 часа; закалка 900°C; обработка холодом: -70°C	1040	-672	0,522
ВНС-17	1	исходное состояние	закалка 860°C; отпуск 580°C – 10 час	640	-372	–
	2	азотирование	закалка 860°C; отпуск 580°C – 10 час; азотирование 560°C – 36 час	760	-606	0,513

Таблица 1

Из данных табл. 1 можно видеть, что цементация и азотирование образцов приводят к существенному повышению сопротивления усталости. Часть цементированных и азотированных образцов, испытанных на пределе выносливости при  $30 \cdot 10^6$  циклов нагружения, были доведены до разрушения при статической нагрузке в случае растяжения. Во всех образцах были обнаружены нераспространяющиеся трещины усталости, средняя глубина которых  $t_{кр}$  составляла 0,160 мм.

Меридиональные  $\sigma_\varphi$  остаточные напряжения определялись методом удаления половины поверхности образца в пределах его корсетной части и представлены на рис. 1 по толщине поверхностного слоя  $a$ . Исследовались остаточные напряжения в образцах как непосредственно после термической обработки, так и после испытаний на усталость. Необходимо отметить, что остаточные напряжения в образцах, прошедших базу испытаний при напряжении, равном пределу выносливости, практически не отличались от остаточных напряжений образцов, не подвергавшихся испытаниям на усталость. Следовательно, остаточные напряжения после термической и химико-термической обработок в исследованных образцах весьма устойчивы к воздействию переменных напряжений.

Из данных рис. 1 следует, что при всех видах обработки в образцах действуют сжимающие остаточные напряжения с максимумом на поверхности, достигающим -2200 МПа.

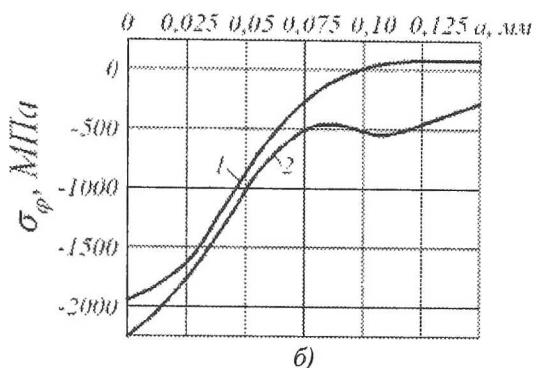
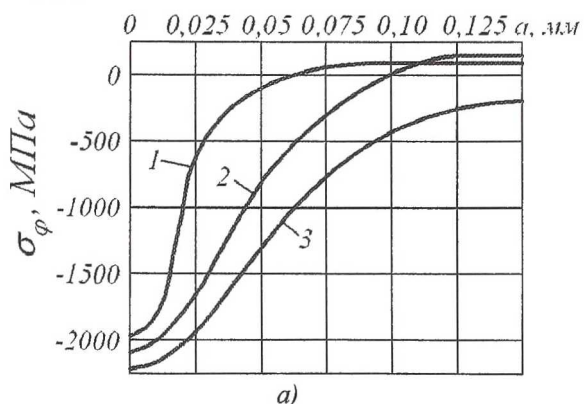


Рис. 1. Меридиональные  $\sigma_\varphi$  остаточные напряжения в корсетных образцах из сплавов ВКС-5 (а) и ВНС-17 (б); номера эпюр соответствуют номерам вариантов табл. 1

На примере образцов из сплава ВКС-5 можно проследить за влиянием полноты эпюры сжимающих остаточных напряжений на предел выносливости. После ионной цементации и обычной цементации наибольшие остаточные напряжения различаются незначительно: -2100 МПа и -2200 МПа соответственно (рис. 1, а; эпюры 2 и 3). Однако, после ионной цементации распределение остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя является менее полным, чем после обычной цементации – смена знака напряжений в первом случае (рис. 1, а; эпюра 2) происходит на глубине  $a = 0,1$  мм, а во втором (рис. 1, а; эпюра 3) – на глубине  $a = 0,23$  мм. В результате приращение предела выносливости образцов по сравнению с исходным состоянием (рис. 1, а; эпюра 1) после ионной цементации в 2 раза меньше, чем после обычной цементации.

Оценка влияния остаточных напряжений на приращение предела выносливости образцов  $\Delta\sigma_{-1}$  проводилась по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений  $\bar{\sigma}_{ост}$  [1]

$$\Delta\sigma_{-1} = \bar{\psi}_\sigma \cdot |\bar{\sigma}_{ост}|,$$

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

Среднеинтегральные остаточные напряжения  $\bar{\sigma}_{ост}$  вычислялись по методике работы [1] и приведены в табл. 1, где представлены также значения

коэффициента  $\bar{\psi}_\sigma$ . Анализ приведённых в табл. 1 данных показывает, что значение коэффициента  $\bar{\psi}_\sigma$  составляет в среднем 0,529 и совпадает с значением  $\bar{\psi}_\sigma = 0,53$ , вычисленным по зависимости работы [2] для случая корсетных образцов.

Таким образом, проведённое исследование показывает, что критерий среднеинтегральных остаточных напряжений  $\bar{\sigma}_{ост}$  может быть использован для прогнозирования приращения предела выносливости цементированных и азотированных корсетных образцов из сплавов ВКС-5 и ВНС-17.

## 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. Кирпичёв В.А., Филатов А.П., Каранаева О.В., Чирков А.В., Семёнова О.Ю. Прогнозирование предела выносливости поверхностно упрочнённых деталей при различной степени концентрации напряжений// Труды МНТК «Прочность материалов и элементов конструкций». – Киев: ИПП им. Г.С. Писаренко НАНУ, 2011. – С. 678-685.

УДК 629.735.33

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТСОСА ВОЗДУХА С ВЕРХНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КРЫЛА НА ЕГО АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

© 2012 Панкратов А.С., Никитин А.Н.

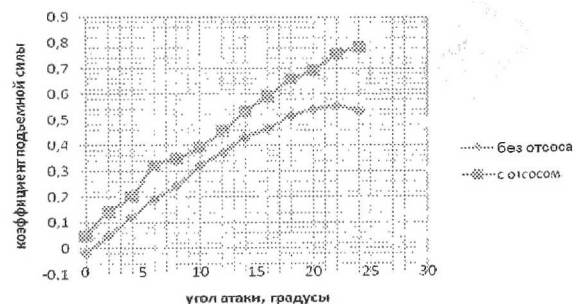
Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет), Самара

© 2012 Nikitin A.N., Pankratov A.S.

### EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF AIR SUCTION INTENSITY TO UPPER SURFACE OF WING ON ITS AERODYNAMIC CHARACTERISTICS

Experimental pressure distribution on surface of airfoil NACA 0028 are used to estimate the lift force for angles of attack from 0° to 24° and Reynolds number equal to  $8,62 \cdot 10^4$

Целью исследований является экспериментальное определение изменения величины подъемной силы и критического угла атаки крыла большой относительной толщины (профиль NACA 0028) при малых числах Рейнольдса ( $8,62 \cdot 10^4$ ) для случая щелевого отсоса воздуха из различных зон верхней поверхности крыла.



Для проведения экспериментальных исследований была изготовлена полая модель участка крыла бесконечного размаха. Трубчатая система крепления модели на штатном  $\alpha$ -механизме аэродинамической трубы АДТ-3 СГАУ обеспечивает подключение механизма отсоса (выдува) воздуха с поверхности