

## ВЛИЯНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ПРЕДЕЛЬНУЮ АМПЛИТУДУ ПРУЖИН

Павлов В.Ф.<sup>1</sup>, Вакулюк В.С.<sup>1</sup>, Сазанов В.П.<sup>2</sup>, Кожевников Д.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Самарский государственный аэрокосмический университет

<sup>2</sup>ЗАО ВКБ РКК «Энергия» имени С.П. Королёва, г. Самара

### INFLUENCE OF RESIDUAL STRESSES ON LIMITING AMPLITUDE OF SPRINGS

*Pavlov V.F., Vakuljuk V.S., Sazanov V.P., Kozhevnikov P.E. Residual stresses are investigated and fatigue tests of springs after various types of surface treatment are conducted. It is established that the increment of limiting amplitude is according to level and character of residual stresses distribution.*

Усталостные поломки пружин в различных машинах хотя и являются редкими, однако приводят к серьёзным последствиям. Одним из резервов повышения сопротивления усталости пружин является применение поверхностного упрочнения. Оценить прочность пружин при длительных переменных рабочих нагрузках можно путём проведения испытаний на многоцикловую усталость и сопоставлением результатов испытаний с результатами исследования остаточных напряжений.

Для оценки работоспособности пружин, обработанных различными методами поверхностного пластического деформирования (ППД), были проведены испытания на усталость и исследованы остаточные напряжения. Четыре партии цилиндрических винтовых пружин из стали 65Г с пятью витками, средний диаметр которых составлял 40 мм при диаметре проволоки 2 мм, изготавливались по разным технологическим вариантам:

– в исходном состоянии, неупрочнённые (вариант 1);

– упрочнённых обработкой микрошариками (ОМ) диаметром 0,1 мм на роторной установке при диаметре колеса 300 мм и частоте вращения 3600 об/мин (вариант 2);

– упрочнённых пневмодробеструйной обработкой (ПДО) стальной дробью диаметром 0,5–1 мм при давлении воздуха  $P = 0,2$  МПа (вариант 3);

– упрочнённых ПДО стальной дробью диаметром 0,5–1 мм при давлении воздуха

$P = 0,2$  МПа в заневоленном состоянии при растяжении пружины на 12 мм (вариант 4).

Методом удаления половины цилиндрической поверхности во всех партиях пружин определялись остаточные напряжения  $S_{ост}$  по толщине поверхностного слоя  $a$ , распределение которых приведено на рис. 1.

Можно видеть, что после всех видов поверхностного упрочнения в пружинах формируются сжимающие остаточные напряжения. При упрочнении микрошариками максимум остаточных напряжений находится на поверхности пружин, а смена знака происходит на глубине 0,11 мм.

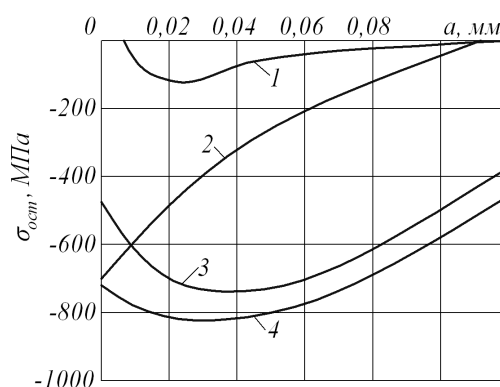


Рис. 1. Остаточные напряжения  $S_{ост}$  в пружинах; номера эпок соответствуют вариантам табл. 1

Пневмодробеструйная обработка приводит к увеличению максимума остаточных напряжений и его смещению от поверхности вглубь. Заневоливание пружин при ПДО увеличивает уровень сжимающих остаточных напряжений, в том числе и на поверхно-

сти. Существенно увеличивается по сравнению с обработкой микрошариками толщина поверхностного слоя с сжимающими остаточными напряжениями, составляя в варианте 3 – 0,17 мм, 4 – 0,18 мм, что способствует повышению сопротивления усталости [1].

В табл.1 представлены значения критерия среднеинтегральных остаточных напряжений  $\bar{\sigma}_{ост}$  [2], с помощью которого оценивается влияние поверхностного упрочнения на сопротивление многоциклового усталости.

Таблица 1- Результаты определения остаточных напряжений и испытаний на усталость

Вариант	Метод ППД	$\bar{\sigma}_{ост}$ , МПа	$t_0$ , МПа
1	неупрочнённые	–	270
2	ОМ	-450	320
3	ПДО	-690	365
4	ПДО в заневоленном состоянии	-800	410

Испытания пружин на усталость при отнулевом цикле растяжения с целью определения предельной амплитуды цикла напряжений  $t_0$  проводились на специально созданной для этих целей установке. Результаты испытаний на усталость представлены в табл. 1.

Анализируя результаты определения остаточных напряжений и испытаний на усталость, можно видеть, что во всех случаях поверхностное пластическое деформирование приводит к увеличению сопротивления

усталости. Наиболее эффективным из рассмотренных вариантов поверхностного упрочнения является пневмодробеструйная обработка пружин в заневоленном состоянии, которая приводит к увеличению предельной амплитуды в 1,5 раза по сравнению с исходным состоянием. Во всех случаях приращение предельной амплитуды цикла напряжений  $t_0$  находится в соответствии с уровнем, характером распределения остаточных напряжений в поверхностном слое пружин и значением критерия среднеинтегральных остаточных напряжений  $\bar{\sigma}_{ост}$ .

### Библиографический список

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

2. Павлов, В.Ф. О связи остаточных напряжений и предела выносливости при изгибе в условиях концентрации напряжений / В.Ф. Павлов // Известия вузов. Машиностроение. – 1986. – №8. – С. 29-32.

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

## ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И СОПРОТИВЛЕНИЕ УСТАЛОСТИ ОБРАЗЦОВ ИЗ СПЛАВА ВНС-17 ПРИ НОРМАЛЬНОЙ И ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРАХ

Вакулук В.С.<sup>1</sup>, Кирпичёв В.А.<sup>1</sup>, Саушкин М.Н.<sup>2</sup>, Шадрин В.К.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Самарский государственный аэрокосмический университет

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

## RESIDUAL STRESSES AND FATIGUE RESISTANCE OF SPECIMENS MADE OF BHC-17 ALLOY AT NORMAL AND RAISED TEMPERATURES

Vakuljuk V.S., Kirpichyev V.A., Saushkin M.N., Shadrin V.K. It is studied influence of nitriding on residual stresses and limit of endurance of corset specimens made of BHC-17 alloy at normal and raised temperatures. It is shown that criterion of average residual stresses can be used for forecasting of specimens' limit of endurance.