

### Библиографический список

1. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. Справочник в 4 т. / под ред. В.П. Глушко. – М.: Наука, 1978 -1982.
2. Термодинамические свойства продуктов сгорания. Справочник в 10 т. / Под ред. В.П. Глушко. – М.: ВИНТИ АН СССР, 1971 – 1979

3. Акимов, В.М. Теория воздушно-реактивных двигателей // В.М. Акимов, В.И. Бакулев, Р.И. Курзинер [и др.]. - М.: Машиностроение 1987. - 568 с.

4. Квасников, А.В. Теория жидкостных ракетных двигателей / А.В. Квасников.- Л.: Судпромгиз, 1959. - 542 с.

УДК 621.787: 539.319

## ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И СОПРОТИВЛЕНИЕ УСТАЛОСТИ ОБРАЗЦОВ С НАДРЕЗАМИ ИЗ СТАЛИ ВНС40

Кирпичёв В.А.<sup>1</sup>, Вакулук В.С.<sup>1</sup>, Афанасьева О.С.<sup>2</sup>, Сургутанова Ю.Н.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Самарский государственный технический университет

### RESIDUAL STRESSES AND FATIGUE RESISTANCE OF BHC40 STEEL SPECIMENS WITH NOTCHES

*Kirpichyev V.A., Vakuljuk V.S., Afanasjeva O.S., Surgutanova Yu.N. The patterns of relationship of residual stresses distribution in BHC40 steel specimens with V-shaped notches after grinding, turning and nitriding are studied. Influence of nitriding on endurance limit is researched.*

Изучались меридиональные  $S_j$  (осевые  $S_z$  – в наименьшем сечении) остаточные напряжения в цилиндрических образцах с V-образным надрезом (рис. 1) из стали ВНС40 после шлифования, точения, упрочнения микрошариками, азотирования и азотирования

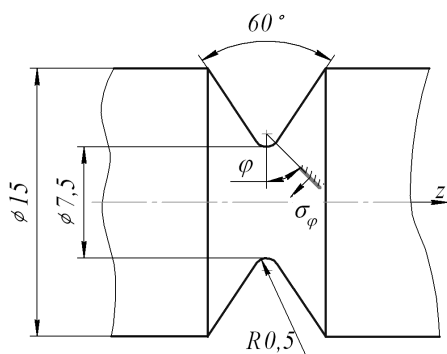
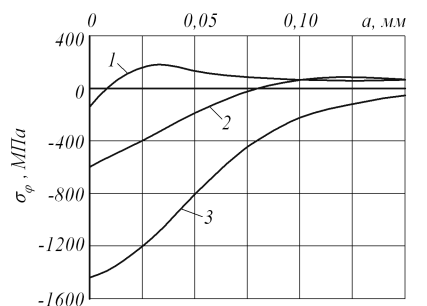
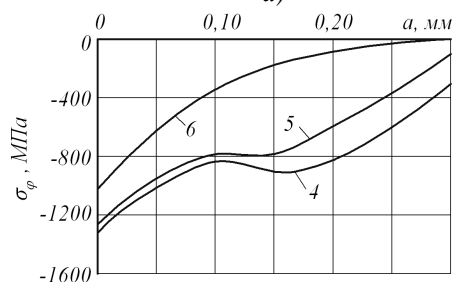


Рис. 1. Рабочая часть образца

ния с последующей термоэкспозицией. Меридиональные остаточные напряжения  $S_j$  определялись экспериментально методом удаления половины поверхности криволи-



а)



б)

Рис. 2. Распределение меридиональных  $S_j$  остаточных напряжений в образцах с V-образным надрезом после: 1 – шлифования, 2 – точения, 3 – упрочнения микрошариками, 4 – азотирования, 5 – азотирования и термоэкспозиции при  $T = 600^\circ\text{C}$  в течение двух часов, 6 – азотирования и термоэкспозиции при  $T = 600^\circ\text{C}$  в течение 590 часов

нейной части впадины надреза. Результаты определения остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя  $a$  представлены на рис. 2. Из данных рис. 2 можно видеть, что шлифование создаёт в образцах растягивающие остаточные напряжения с подповерхностным максимумом на глубине 25–30 мкм.

После точения фасонным резцом в образцах создаются, в основном, сжимающие остаточные напряжения до 900 МПа, залегающие в тонком поверхностном слое толщиной до 50–100 мкм.

Упрочнение шлифованных образцов стальными микрошариками на роторной установке приводит к созданию в тонком поверхностном слое дна впадин надрезов значительных сжимающих остаточных напряжений, достигающих на поверхности 1400 МПа (рис. 2,а, эпюра 3). Толщина слоя с сжимающими остаточными напряжениями после упрочнения микрошариками составляет 120–160 мкм.

Азотирование образцов (рис. 2,б, эпюра 4) приводит к возникновению в поверхностном слое впадин надрезов значительных сжимающих остаточных напряжений с максимумом (1300 МПа) на поверхности дна концентратора. Характерным для азотирования является наличие второго подповерхностного максимума остаточных напряжений на расстоянии 150–160 мкм от поверхности надреза.

Азотированные образцы с надрезами подвергались термоэкспозиции при температуре  $T = 600^\circ\text{C}$  на двух режимах: в вакууме в течение двух часов и на воздухе в течение 590 часов. Результаты измерения остаточных напряжений  $S_j$  представлены на рис. 2,б (эпюры 5 и 6). Можно видеть, что термоэкспозиция в вакууме в течение двух часов незначительно изменила распределение остаточных напряжений, сгладив лишь их экстремальные значения. После термоэкспозиции на воздухе в течение 590 часов произошла существенная релаксация остаточных напряжений, причём изменился харак-

тер распределения напряжений – исчез подповерхностный максимум.

В работе исследовалось также влияние азотирования на предел выносливости образцов с V-образным надрезом (рис. 1) при изгибе в случае симметричного цикла. Предел выносливости  $S_{-1}$  шлифованных образцов составил 200 МПа, а азотированных – 560 МПа. Такое значительное повышение предела выносливости объясняется наиболее полным распределением сжимающих остаточных напряжений после азотирования (рис. 2,б, эпюра 4) по толщине поверхностного слоя  $a$  опасного сечения образца [1].

Таким образом, в исследовании установлено, что в образцах из стали ВНС40 после шлифования в поверхностном слое впадин надрезов возникают небольшие растягивающие остаточные напряжения, после точения – сжимающие напряжения. Упрочнение стальными микрошариками создаёт в поверхностном слое толщиной 120 мкм остаточные напряжения сжатия до 1400 МПа с максимумом на поверхности. Азотирование приводит к созданию значительных сжимающих остаточных напряжений, имеющих второй максимум на расстоянии 150–160 мкм от поверхности, что позволяет существенно (в 2,8 раза) повысить предел выносливости. Термоэкспозиция азотированных образцов в вакууме при  $T = 600^\circ\text{C}$  в течение двух часов незначительно изменяет величину и характер распределения остаточных напряжений, а после выдержки на воздухе при  $T = 600^\circ\text{C}$  в течение 590 часов остаточные напряжения уменьшаются до трёх раз.

#### 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.

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