

**ЗАЛЕЧИВАНИЕ МИКРОТРЕЩИН  
В ПРОЦЕССЕ ПНЕВМОДИНАМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ  
ГАЛТЕЛЕЙ ШЕЕК КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ**

**С. Э. ЗАВИСТОВСКИЙ, В. Э. ЗАВИСТОВСКИЙ, А. С. КИРИЕНКО**  
*Полоцкий государственный университет, Беларусь*

*Наклеп на поверхности галтелей, образующийся при пневмодинамической обработке позволяет снизить вредное влияние начальных микротрещин усталости на прочность металла, замедляя или даже приостанавливая их развитие.*

Усталостное разрушение коленчатых валов в большинстве случаев начинается с зарождения трещины усталости в галтелях шатунных шеек в плоскости кривошипа. Зарождение трещины происходит в поверхностных слоях материала галтели. Этому способствуют:

- высокая концентрация напряжений в галтелях. Напряжения в галтелях могут в три, а иногда и в десять раз превышать номинальные напряжения в шейках коленчатого вала;

- наличие структурных концентраторов напряжений, вызванных механической обработкой поверхностных слоев металла, и исходное состояние материала (факторы, снижающие сопротивление усталости коленчатых валов на 20...30 %);

- остаточные напряжения в поверхностных слоях, вызванных технологическими рихтовками и закалкой шеек ТВЧ.

Дефектная структура твердых тел формируется уже на этапе получения самого материала. В процессе изготовления из него изделий и при эксплуатации готовых изделий она может существенно трансформироваться. При определенных условиях трещины в металле способны залечиваться (уменьшать свой объем), что приводит к улучшению эксплуатационных характеристик материала.

Трещины являются стоками для точечных дефектов и микропор в твердом теле. Процесс залечивания (разрастания) связан с потоком микропор (вакансий) от трещины (к трещине). Ранее установлено [1], что концентрация вакансий у поверхности малых трещин (пор) выше, чем у больших, и следовательно, появляется поток вакансий от малых трещин к

большим. Происходит залечивание малых трещин. Поток микропор на поверхность единицы длины трещины  $f$  рассчитывается по формуле:

$$f = \frac{\gamma n_1}{R} \sqrt{\frac{D}{n_2}} \frac{K_1(z)}{K_0(z)}, \quad (1)$$

где  $\gamma = \frac{2\alpha\Omega}{kT}$ ;  $z = R\sqrt{\frac{n_2}{D}}$ ;  $R$  – радиус трещины;  $D$  – эффективный коэффициент диффузии для дефектов данного типа;  $n_1, n_2$  – константы;  $\alpha$  – удельная поверхностная энергия;  $\Omega$  – характерный объем одной микропоры (дефекта);  $T$  – абсолютная температура;  $K_i(z)$  – цилиндрические функции Макдональда  $i$ -го порядка.

При оценке процесса залечивания трещины необходимо определить относительное изменение объема трещины (относительную скорость залечивания трещины):  $\varepsilon = \Delta V/V$ .

На рисунке 1 представлены зависимости относительного изменения объема трещины от температуры для различных значений энергии активации диффузии микропор. Известно [2], что в металлах энергия активации для вакансий лежит в интервале 0,9-2,0 эВ.

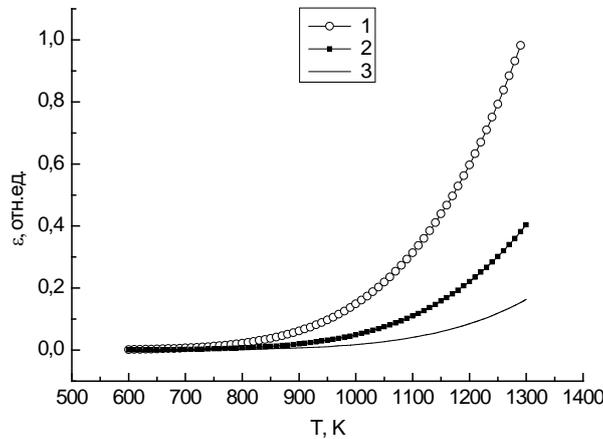


Рис. 1. Зависимость относительного изменения объема трещины от температуры при различных энергиях активации пор, эВ: 1 – 1; 2 – 1,13; 3 – 1,25 ( $D_0=5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ,  $t = 20 \text{ ч}$ )

Как видно из рис.1 изменение энергии активации пор в небольшом интервале 1–1,25 эВ существенным образом влияет на параметр залечивания. Кроме этого, скорость процесса залечивания зависит от температуры.

С ростом температуры резко возрастает отличие в скорости залечивания в исследуемом интервале энергий.

Предполагается, что поток примесных атомов в процессе залечивания должен быть на порядок меньше вакансионного механизма, поскольку энергия миграции для примесей  $E_a$  лежит в широких пределах от 1 до 5 эВ. Таким образом, основное влияние пор на залечивание трещин связано с низким значением энергии активации диффузии пор.

Учитывая сложную конструкцию коленчатых валов и ограниченный эффект упрочнения галтелей обкаткой роликом на увеличение предела выносливости из-за удлинения натуральных коленчатых валов и их коробления наиболее применительным методом упрочнения представляется местное пневмодинамическое упрочнение галтелей дробью или шариками, что может увеличить их усталостную прочность до 40-50% и тем самым продлить ресурс работы восстановленных деталей.

В качестве специальной оснастки для пневмодинамического упрочнения разработана конструкция устройства [3], показанного на рис.2.

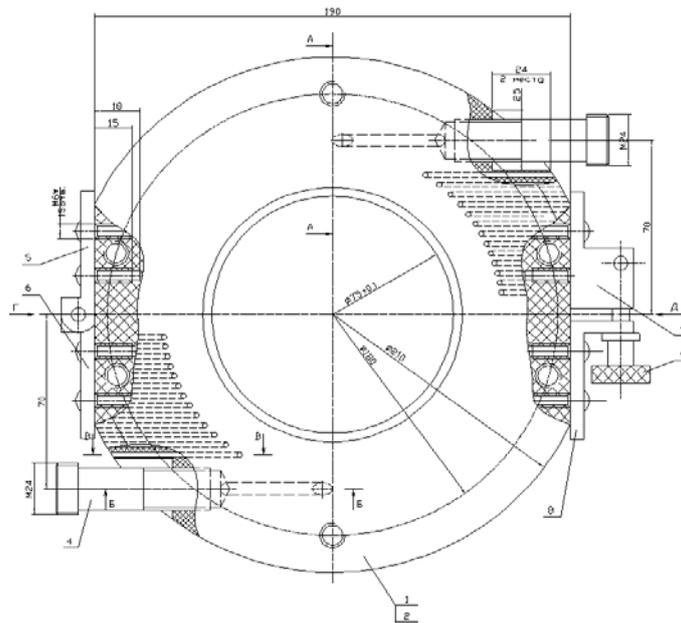


Рис. 2. Конструкция специальной пневмодинамической камеры для упрочнения шеек коленчатых валов: 1 – крышка; 2 – крышка; 3 – сегмент; 4 – резьбовой клапан; 5, 6 – элемент петли; 7 – хомут; 8 – упор; 9 – головка резьбовая; 10, 11 – ось

Работоспособность и надежность конструкции специальной оснастки можно подтвердить с помощью ускоренного метода определения циклической долговечности поверхностно-упрочнённых поверхностей галтелей шеек коленчатых валов с помощью обобщенной номограммы, позволяю-

шей определить циклическую долговечность  $N$  поверхностно-упрочненных деталей. Наличие номограммы позволяет провести сравнительную оценку влияния размеров поперечного сечения, выбранного конструкционного материала, способа и режима поверхностного упрочнения на величину циклической долговечности, сэкономить время для инженерных расчётов долговечности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Zavistovskiy, V. On interaction between cracks and particles in coated materials / V. Zavistovskiy, E. Bogdanova, S. Zavistovskiy // Fracture mechanics and physics of construction materials and structures : materials of II international symposium, 7-10 November 1996, Lviv-Dubliany. – P. 45–48.
2. Фистуль, В.И. Физика и химия твердого тела / В.И. Фистуль. – М. : Metallurgy. – 1995. – 486 с.
3. Завистовский, С.Э. Патент на полезную модель «Пневмодинамическая камера для упрочнения шеек коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания» : № 8054 / С.Э. Завистовский, А.С. Кириенко, Р.И. Бельченков ; дата публ.: 12.09.2011.