

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА РЕСУРС ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ ГОРНЫХ МАШИН

Ивашенко Е. П., Марченко А. Ю., Юдкин Б. Ю., Марченко М. Ю.,  
Салтанов С. Н., Баринов И. М., Викулов Е. А.

В статье рассмотрены вопросы учета низких отрицательных температур окружающей среды на работоспособность деталей и узлов горных машин. Получена зависимость изменения предела выносливости материала деталей и узлов от температуры окружающей среды. Приведен пример расчета ресурса вала вентилятора, учитывающего температурный фактор. Сделан вывод о необходимости учета температуры окружающего воздуха при комиссионных обследованиях горных машин.

*Ключевые слова:* детали; узлы горных машин; работоспособность; температура окружающей среды.

Рассматривая работоспособность горных машин и оборудования в регионах с низкими климатическими температурами, можно отметить, что поток отказов ряда деталей, узлов машин и металлоконструкций увеличивается здесь в 2–3 раза, а наработка на отказ уменьшается в 3 и более раза.

При низких температурах изменяются физико-механические характеристики сталей: прочностные характеристики возрастают с одновременным уменьшением показателей их пластических свойств. Начинают проявляться свойства низкотемпературной хрупкости и хладноломкости. Причем хрупкие разрушения преобладают в деталях, испытывающих динамические нагрузки и уже имеющих повреждения – трещины. Кроме того, при низких температурах наблюдается существенное снижение исходного предела выносливости элемента конструкции с концентратором напряжений, которым, как правило, является сварочный шов или зародыш трещины.

При снижении температуры изменяется сопротивление металла начальной пластической деформации, в зонах концентрации повышаются максимальные напряжения, увеличивается размах упругой и уменьшается размах пластической и полной деформации. Этот фактор необходимо учитывать при оценке хладостойкости элементов, так как экспериментально установлено, что при понижении температуры повышается чувствительность металлов к действию concentra-

ции напряжений.

Данные испытаний металлических образцов в режиме циклического нагружения показывают, что в условиях значительных нагрузок ( $N = 10^4 - 10^5$  циклов) снижение температуры, как правило, сопровождается уменьшением прочности образцов с надрезом. Одной из причин снижения усталостной прочности образцов при низкой температуре является рост концентрации напряжений вследствие повышения сопротивления металла начальной пластической деформации. Циклические перегрузки вызывают в местах резкого изменения формы элемента напряжения, величина которых превышает предел текучести. С понижением температуры пластичность металла падает, увеличивается величина предела текучести, и перегрузки вызывают резкий рост уровня максимальных напряжений.

Таким образом, при низких температурах величина максимального перенапряжения  $\sigma_{\text{пер}}$  увеличивается в большей степени, чем предел текучести  $\sigma_{0,2}$ , что приводит к опасности разрушения элемента металлоконструкции в местах концентрации напряжений. Отрицательное воздействие данного фактора может существенно усилиться при неправильном выборе термического режима сварки, приводящего к снижению пластичности.

В условиях низких температур трещиностойкость металла снижается из-за значительного уменьшения критических размеров трещины и трещинообразующих дефектов,

при достижении которых конструкция теряет несущую способность.

При низкой отрицательной температуре сокращается протяженность зоны пластической деформации стали.

В работе В. М. Миронова «Механические свойства сплавов на основе железа после облучения в гелий-водородной плазме» [1] наглядно показаны изменения прочности и пластичности сплавов на основе железа (рис.).

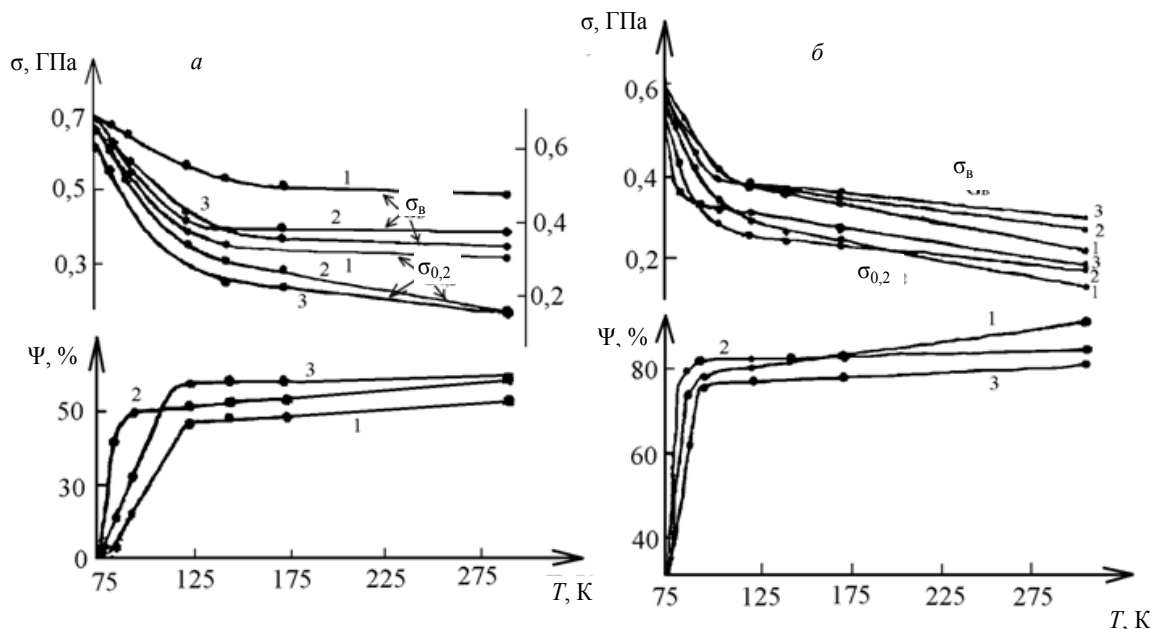


Рис. Температурные зависимости характеристик прочности и пластичности облученных сплавов: а – Fe – 0,06 % и б – Fe – 0,21% (Ψ – относительное сужение, %)

Например, для стали 03X13AG19 необходимо, чтобы число циклов нагружения пульсирующей нагрузкой ( $a_n / a_{0,2} = 0,6$ ) при 20 °C за срок службы не превышало  $1,5 \times 10^4$ , а при температуре –160 °C не превышало  $1,9 \times 10^3$  циклов, т. е. срок наработки на отказ сокращается в 8 раз.

На основе обработки данных об изменении прочности и пластичности сплавов на основе железа в зависимости от температуры окружающей среды нами получена приближенная зависимость предела выносливости  $\sigma_{-1} = f(T)$ , которую в обобщенном виде можно записать следующим образом:

$$\sigma_{-1}(T) = 0,053\sigma_{-1}e^{0,01T}, \quad (1)$$

где  $T$  – среднегодовая температура окружающей среды в градусах Кельвина;  $\sigma_{-1}$  – предел выносливости материала детали при изгибе.

Следовательно, показатель  $m$  при симметричном цикле нагружения детали или узла горной машины (например, формула (1) МУ

15-2007 [2]) может быть определен по следующей зависимости

$$m = 14 - 7 \frac{\sigma_{\max, экв}}{K_k \cdot 0,053 \sigma_{-1} e^{0,01T} \cdot 100}, \quad (2)$$

где  $K_k$  – коэффициент коррозии;  $\sigma_{\max, экв}$  – максимальное эквивалентное напряжение нагруженного цикла детали и узла.

Показатель  $m$  при несимметричном цикле нагружения (формула (2) МУ 15-2007 [2]) определится по следующей зависимости:

$$m = 14 - 7 \frac{\sigma_{\max, экв}}{K_k \cdot 0,053 \sigma_{-1} e^{0,01T} \cdot 100} K_{\sigma}, \quad (3)$$

где  $K_{\sigma}$  – коэффициент асимметричности нагруженного цикла детали или узла горной машины (определяется по известным методикам) [3, 4].

В качестве примера был определен показатель  $m$  для вала вентилятора ВЦД-47 «Север» Норильского ГМК при температуре окружающей среды 20 и –20 °C (соответственно 293 и 253 K). Материал вала – сталь

34ХН1М, частота вращения 495 мин<sup>-1</sup>, коэффициент коррозии 0,75, коэффициент симметричности цикла 0,79, максимальное эквивалентное напряжение в сечении вала составило 9126 Н/см<sup>2</sup>. Результаты расчетов показали, что при  $t_{окр} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$   $m = 9,92$ , а при  $t_{окр} = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$   $m = 7,94$ , что свидетельствует о

значительном снижении ресурса деталей и узлов горных машин при их работе в условиях отрицательных температур.

Следовательно, температурный фактор необходимо учитывать при техническом диагностировании горных машин, особенно работающих в северных условиях.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Миронов В. М. Механические свойства сплавов на основе железа после облучения в гелий-водородной плазме // Вестник СамГТУ. Сер. «Физ.-мат. науки». 2003. № 19.
2. Методические указания по определению остаточного ресурса шахтных вентиляторов главного проветривания, работающих с превышением нормативного срока эксплуатации. МУ 15-2007 // Тимухин С. А. [и др.].
3. Шелофаст В. В. Основы проектирования машин. М.: Изд-во АПМ, 2004. 472 с.
4. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность: справ. пособие / под ред. С. В. Серенсена. М.: Машиностроение, 1975. 488 с.

Поступила в редакцию 7 сентября 2015 г.

**Ивашенко Евгений Петрович** – главный инженер, эксперт. 620028, г. Екатеринбург, ул. Татищева, 94, ЗАО Центр диагностики и экспертизы «Цветметналадка». E-mail: diagnos.cmn@gmail.com

**Марченко Андрей Юрьевич** – начальник лаборатории неразрушающего контроля, эксперт. 620028, г. Екатеринбург, ул. Татищева, 94, ЗАО Центр диагностики и экспертизы «Цветметналадка».

**Юдкин Борис Юрьевич** – ведущий инженер, эксперт, 620028, г. Екатеринбург, ул. Татищева, 94, ЗАО центр диагностики и экспертизы «Цветметналадка».

**Марченко Михаил Юрьевич** – ведущий инженер, эксперт. 620028, г. Екатеринбург, ул. Татищева, 94, ЗАО Центр диагностики и экспертизы «Цветметналадка».

**Салтанов Семен Николаевич** – ведущий инженер, эксперт. 620028, г. Екатеринбург, ул. Татищева, 94, ЗАО Центр диагностики и экспертизы «Цветметналадка».

**Баринов Игорь Михайлович** – ведущий инженер, эксперт. 620028, г. Екатеринбург, ул. Татищева, 94, ЗАО Центр диагностики и экспертизы «Цветметналадка».

**Викулов Евгений Александрович** – инженер, эксперт. 620028, г. Екатеринбург, ул. Татищева, 94, ЗАО Центр диагностики и экспертизы «Цветметналадка».