

УДК 621.785.554

**Ф. Ф. Царук**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);  
**С. Е. Бельский**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ);  
**А. В. Блохин**, кандидат технических наук, ассистент (БГТУ)

### ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРАФИТИЗИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ НА УСТАЛОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОМ НАГРУЖЕНИИ

Показано использование высокочастотного циклического нагружения для определения характера влияния состава графитизированных сталей на изменение усталостных свойств. Установлена степень влияния содержания углерода, кремния и меди на ограниченный предел выносливости данных сталей.

The article dwells upon the application of high-frequency cycle loading for determination of graphitized steels chemical composition influence on fatigue characteristics changes. The degree of influence of carbon, silicon and copper content on the restricted limit of the given steels fatigue.

**Введение.** В последнее время весьма актуальным становится вопрос рационального применения графитизированных сталей. Комплекс свойств данной категории конструкционных материалов позволяет успешно использовать их в различных областях машиностроения. Однако из-за недостаточной изученности влияния химсостава на служебные свойства и вредного влияния неизбежно присутствующих различного рода примесей в данных сталях их характеристики могут значительно отличаться от требуемых, причем не в лучшую сторону.

Для достижения нужных свойств необходимы исследования влияния различного рода добавок, технологии переработки и структуры на характеристики данных сплавов. Одним из важнейших свойств таких сталей является сопротивление усталостному разрушению под действием циклических нагрузок, определение величины которого наталкивается на значительные трудности.

Для снижения трудоемкости и сокращения времени проведения усталостных испытаний, особенно при больших (до  $10^8$  циклов) базах, весьма перспективным является использование высоких частот механических колебаний, позволяющих за приемлемый промежуток времени обеспечить наработку значительного числа циклов. Так, для проведения испытаний на частоте 50 Гц и базе  $10^8$  цикл. необходимо затратить 555 ч непрерывной работы (23 сут) испытательной установки, а проведение этих же испытаний на частоте 20 кГц – всего 1,3 ч, т. е. в 400 раз меньше времени. Особенно эффективным является использование данного метода исследований при проведении сравнительных испытаний [1].

**Основная часть.** Объектом исследований являлись плоские балочные образцы толщиной 2,0 мм из данных сталей с различным содержанием углерода, кремния и меди. Всего было исследовано 15 серий по 10 образцов с содер-

жением углерода от 0,48 до 1,97%, кремния – от 0,62 до 2,55%, меди – 0,02 до 3,95%. Содержание других элементов: 0,5–0,7% Mn; 0,20–0,25% Al; 0,02–0,04% S; 0,01–0,03% P. Все варианты сталей были модифицированы СК30 из расчета перехода в сплав 0,2% Са. Разливка производилась в песчано-глинистые формы при  $t = 1550^\circ \text{C}$ . Термообработка – закалка с  $500^\circ \text{C}$ . Нагружение образцов производилось на исследовательской установке, работавшей с резонансной частотой колебаний  $f_{\text{рез}} = 18 \text{ кГц}$  [2].

Образцы колебались на второй собственной форме колебаний. Размеры и форма образцов были выбраны такими, чтобы усталостное разрушение происходило в месте максимальных циклических напряжений, расположенных примерно посередине прямолинейного участка, что позволяло удобно исследовать изменение свойств материала и развитие усталостной трещины.

Кинетику повреждения образца оценивали по падению резонансной частоты колебаний с развитием усталостной трещины. Гистограмма распределения усталостных трещин по длине образцов представлена на рис. 1.

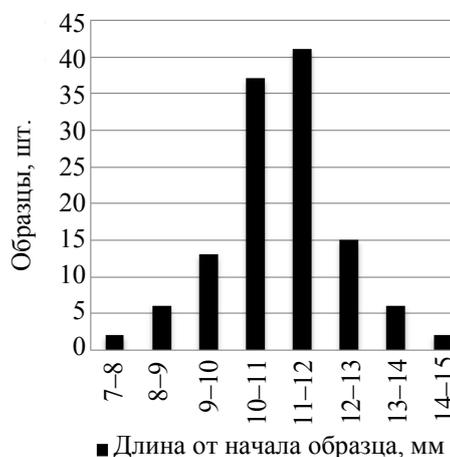


Рис. 1. Распределение усталостных трещин по длине образцов

Из диаграммы распределения непосредственно видно хорошее совпадение места появления усталостной трещины с местоположением максимума расчетной величины циклических напряжений для данной формы колебаний, что в дальнейшем позволяет с минимальными погрешностями исследовать кинетику изменений структурно-чувствительных свойств конструкционных материалов.

Для анализа влияния различных элементов на усталостные свойства представленных сплавов был исследован характер поведения ограниченного предела выносливости для выбранной базы испытаний  $N = 10^6$  цикл. (рис. 2–4).

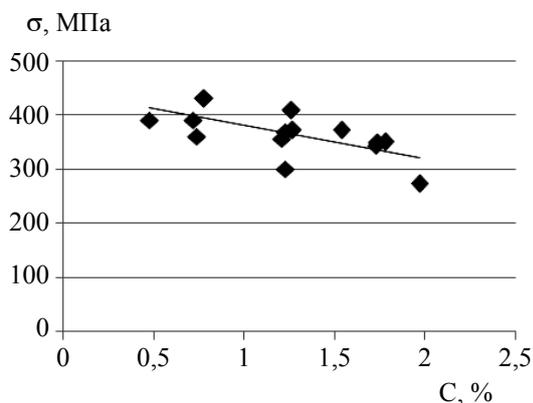


Рис. 2. Влияние углерода на предел выносливости

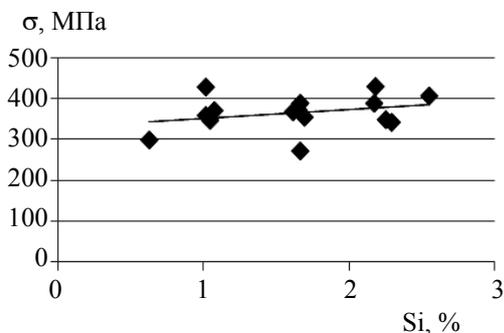


Рис. 3. Влияние кремния на предел выносливости

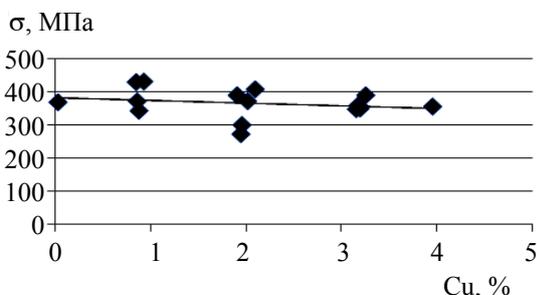


Рис. 4. Влияние меди на предел выносливости

Как видно из полученных кривых, для данных сплавов в заданном диапазоне концентраций все исследованные элементы оказывают существенное влияние на характер поведения усталостных характеристик. Можно отметить, что при сравнимой величине разброса значений ограниченного предела выносливости рост концентрации углерода закономерно приводит к снижению данной характеристики. В то же время увеличение концентрации кремния закономерно привело к росту ограниченного предела выносливости для выбранной базы сравнения. Для меди наблюдалась обратная тенденция, т. е. рост содержания Cu вел к снижению данной характеристики.

Таким образом, можно отметить, что углерод и медь в графитизированных сталях монотонно снижают усталостные свойства данных сплавов, в то время как кремний в исследованном диапазоне концентраций выступает в роли антагониста данных элементов и способствует росту высокочастотной циклической прочности образцов.

**Выводы.** Использование высокочастотного нагружения позволяет проводить сравнительные испытания различных конструкционных материалов с существенным ускорением процесса исследований и с повышенной достоверностью результатов за счет большего количества испытанных объектов при приемлемом уровне трудозатрат и экономии энергоресурсов.

Экспериментально установлен характер влияния величины процентного содержания углерода, кремния и меди в исследованных сталях с точки зрения повышенного уровня усталостных свойств данных металлических сплавов.

Очевидно, что использованные в работе установка и метод исследований могут быть рекомендованы для оптимизации уровня усталостных характеристик конструкционных материалов путем проведения массовых сравнительных испытаний.

### Литература

1. Tsaruck, F. Method of the accelerated prediction of fatigue properties of metals at normal and heightened temperatures by results of high-frequency tests, Proceedings of III international symposium on tribo-fatigue ISTF 2000 / F. Tsaruck, A. Novitskiy. – China: Hunan University Press, 2000. – P. 193–195.

2. Estimation of influence of frequency of flexural vibrations of structural sensitive characteristics of 20X13 steel / I. Dovgyallo [et al.] // The 4Th. International Symposium on Creep and Coupled Processes. – Bialostok, 1992. – P. 57–63.

Поступила 01.04.2013