

characteristics of 20x13 steel// The 4Th. International Symposium on Creep and Coupled Processes. Bialostok, 1992.- P.57-63.

УДК 621.185.532

И.Г.Довгялло, доц.;

С.Е.Бельский, асс.;

Ф.Ф.Царук, асс.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА УСКОРЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК УСТАЛОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ И ЕГО ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

The results of experimental and theoretical study of the amplitude frequency parameters influence on the fatigue durability characteristics of the M1 copper, D16 aluminium alloy and 20X13 steel samples are represented.

Для разработки и создания высоконадежных машин и конструкций лесозаготовительного и деревообрабатывающего оборудования, зачастую работающего в условиях вибрационных нагрузок, необходимо знать влияние технологическо-конструктивных и эксплуатационных факторов на характеристики циклической прочности материалов их деталей. Существующие низкочастотные методы усталостных испытаний требуют значительных затрат времени, трудо- и энергоресурсов, поэтому актуальной задачей является применение ускоренных методов испытаний, основанных на использовании высоких частот. В связи с отличием характеристик усталости, получаемых при высоко- и низкочастотных нагружениях, представляется необходимым установление закономерностей поведения материалов при циклических воздействиях широкого диапазона частот, разработка физической модели влияния частотного фактора на кинетику изменения структурно-чувствительных свойств и развитие процесса усталостной повреждаемости, и создание научнообоснованной методики прогнозирования низкочастотной усталостной долговечности по результатам высокочастотных испытаний.

В работе на созданном комплексе испытательного оборудования с необходимым приборным обеспечением проведено исследование моделей из сталей 20X13, 10 и 40X, алюминиевых сплавов Д16 и АМг2Н, меди М1 при нагружении как изгибными, так и продольными колебаниями в диапазоне частот 0,2-18 кГц. Установлено, что при соблюдении идентичности условий проведения испытаний на вы-

соких и низких частотах повышение частоты нагружения приводит к монотонному росту пределов усталостной долговечности. Для более полной физической интерпретации полученных результатов были проведены комплексные исследования кинетики изменения таких структурно-чувствительных характеристик, как величина блоков, плотность дислокаций, электропроводность, величина микронапряжений и микротвердость.

Полученные результаты, а также литературные данные [1-4] позволили сделать вывод, что основные признаки усталостного процесса при рассматриваемой вариации частоты в основном сохраняются. Так, остается неизменной форма усталостной кривой в координатах σ - N , оказываются сопоставимыми значения ограниченных пределов выносливости, особенно при одинаковом общем времени действия максимальных напряжений цикла. Остается неизменной в исследуемом диапазоне частот нагружения ориентация зарождающихся и распространяющихся усталостных трещин по отношению к направлению действия максимальных нормальных и касательных напряжений [1]. Частота оказывает качественно одинаковое влияние на амплитудно-временные зависимости рассеяния энергии, микротвердость, кинетику дислокационной структуры, электросопротивление, микродеформацию и др. Таким образом, можно утверждать о существовании единой физической природы усталостной повреждаемости при действии высоких и низких частот.

Для выявления причин количественного различия характеристик усталости, полученных при разных частотах нагружения и определения пределов низкочастотной выносливости по результатам высокочастотных испытаний, нами предпринята попытка теоретического анализа частотной зависимости эволюции дислокационной структуры на первом этапе развития процесса усталостной повреждаемости. В работе введено понятие "пороговые напряжения" σ_p^n , представляющие собой такие циклические напряжения, ниже которых не обнаруживаются необратимых изменений структурно-чувствительных свойств.

Классическая модель Франка-Рида адаптирована к рассматриваемому в данной работе знакопеременному нагружению, в основу чего положена "струнная" модель Келера, описывающая динамику дислокационного сегмента и учитывающая инерционные свойства движущейся дислокации, динамическую вязкость среды и реакцию

самодействия дислокации на собственное удлинение и изгиб. Таким образом, движение сегмента дислокации может быть представлено в виде

$$A \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} + B \frac{\partial \xi}{\partial t} - C \frac{\partial \xi}{\partial y^2} = b \sigma \sin \omega t,$$

где $A = \rho b^2 / \pi$ - масса дислокации, приведенная к единице длины; ρ - плотность материала; b - вектор Бюргерса; B - коэффициент вязкого трения; ξ - смещение дислокации из положения равновесия; t - время; y - текущая координата дислокации; σ - амплитуда упругих напряжений; ω - частота знакопеременного нагружения; $C = 2Gb^2 / \pi(1-\nu)$ - коэффициент эффективного натяжения выгнутой дислокации, учитывающий кривизну дислокационной линии; G - модуль упругости материала; ν - коэффициент Пуассона.

С использованием граничных условий, учитывающих отсутствие смещения дислокации из положения равновесия в точках ее закрепления и применением интегрального преобразования Лапласа, получены в общем виде зависимости смещения дислокационного сегмента и значения амплитуды упругих напряжений σ_a^n , приводящих к срабатыванию источника Франка-Рида. Выражение для значений σ_a^n представлено в виде быстросходящегося ряда, ограниченного двумя членами:

$$\sigma_a^n = \frac{Gb}{l} \left(1 + \frac{B^2 \omega^2}{4G^2} \frac{\pi(1-\nu)^2}{b^2} l^4 \right),$$

где l - длина дислокационного сегмента.

Как следует из данного выражения, значение σ_a^n сводится к классическому виду критических напряжений в теории Франка-Рида при устремлении частоты знакопеременного нагружения к нулю, что свидетельствует о корректности физических посылок, лежащих в основе рассмотренной динамической модели работы источника Франка-Рида. Для подтверждения справедливости использованного подхода были сопоставлены значения пороговых напряжений, определенных экспериментально методами микротвердости, рентгеноструктурного и микроструктурного анализов в исследуемом диапазоне частот с величинами σ_a^n , найденными теоретически. Установлено, что расчетные зависимости качественно достаточно близки к экспериментальным, а некоторое несовпадение по абсолютной величине кривых

обусловлено коллективными эффектами взаимодействия дислокаций и вакансий, которые в данной статье не рассматриваются. Полученные зависимости позволяют физически обосновано по результатам высокочастотных испытаний рассчитывать пороговые значения для низких частот нагружения, а следовательно, и прогнозировать значения низкочастотной усталостной долговечности по результатам высокочастотных испытаний.

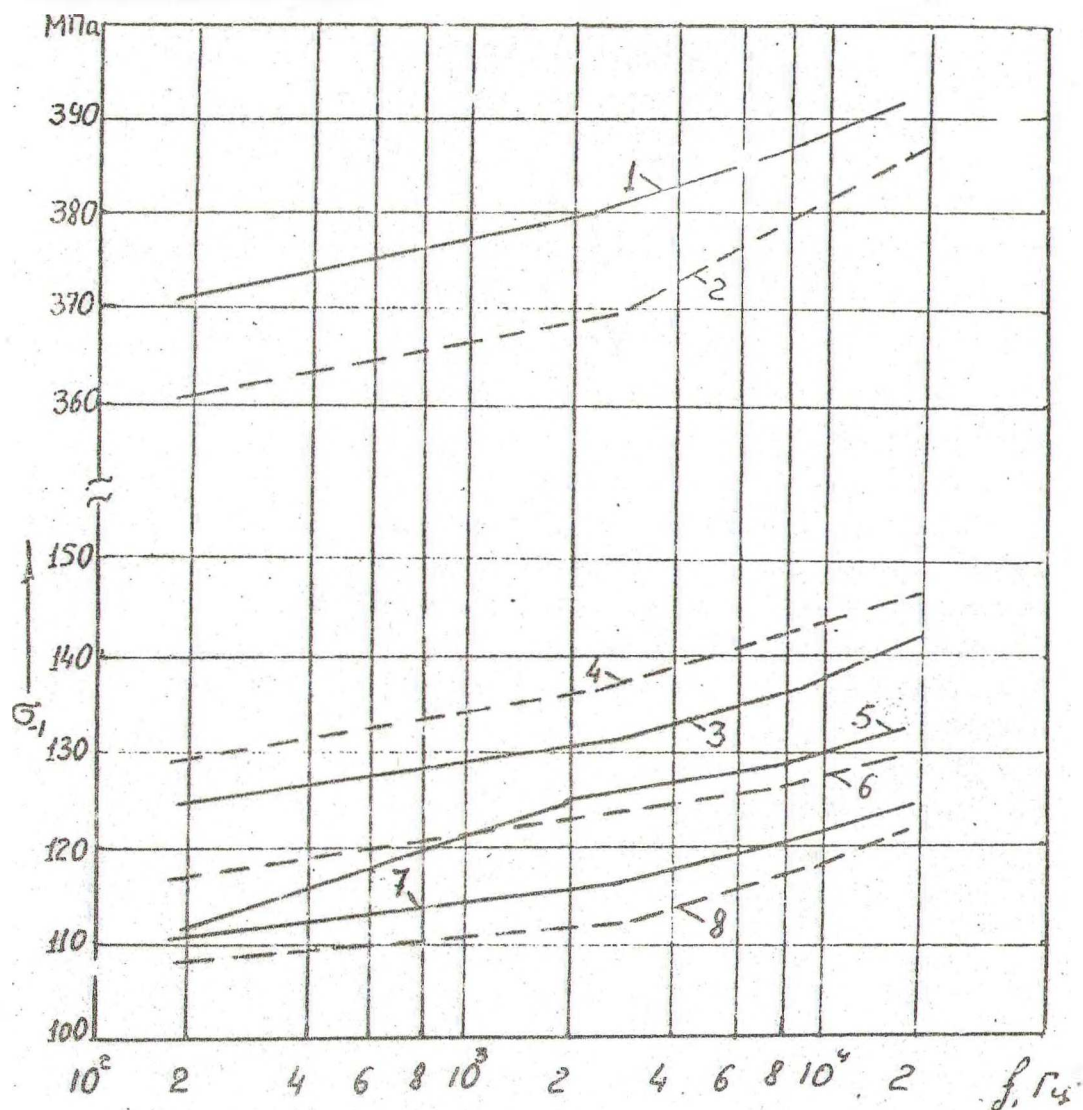


Рис.1 Экспериментальные (—) и прогнозируемые (- - -) пределы выносливости:
1,2 - сталь 20X13, 3,4 - медь М1, 5,6 - сплав АМг2Н,
7,8 - сплав Д16.

Методика прогнозирования представляется следующей. Проводятся усталостные испытания материала на возможно более высокой частоте с соблюдением ограничений по температуре саморазогрева и одновременно определяется величина высокочастотного порогового напряжения $\sigma_a^{пв}$ каким-либо достаточно чувствительным и доступным методом (например, используя данные по изменению микротвердости).

Параллельно высокочастотным усталостным испытаниям подвергаются низкочастотному нагружению образцы для определения низкочастотного порогового циклического напряжения $\sigma_a^{пн}$. После завершения высокочастотных усталостных испытаний определяется $\Delta\sigma$ - разность между пределом выносливости $\sigma_{-1}^в$ на высокой частоте и величиной порогового напряжения $\sigma_a^{пв}$ для той же частоты.

Используя эту разность, можно определить предел низкочастотной выносливости $\sigma_{-1}^н$ как

$$\sigma_{-1}^н = \sigma_a^{пв} + \Delta\sigma.$$

Сравнительные значения экспериментальных и прогнозируемых пределов выносливости приведены на рис.1. Как видно из графиков, опытные и теоретические кривые на различной частоте нагружения близки по величине. Относительная ошибка прогноза данной методики находится в пределах обычных ошибок экспериментального определения пределов выносливости.

Таким образом, решена задача научного обоснования возможности использования высокочастотного нагружения для проведения ускоренных усталостных испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Писаренко Г.С., Степаненко В.А., Маковецкая И.А. Разрушение сплавов ОТЧ-1 и Д16Т при циклическом нагружении в широком диапазоне частот // Проблемы прочности. - 1974. - №3. - С.8-13.
2. Смирнов Б.И. Дислокационная структура и упрочнение металлов. - Л.: Наука, 1981.
3. Иванова В.С., Терентьев В.Ф. Природа усталости металлов. - М.: Металлургия, 1976.
4. Почтенный Е.К. Прогнозирование долговечности и диагностика усталости машин. - Мн.: Наука и техника, 1983.