

кой частоте с целью определения низкочастотного порогового напряжения $\sigma_{\text{пн}}$. По завершению высокочастотных испытаний определяется величина $\Delta\sigma$ – разность между ограниченным пределом выносливости на высокой частоте $\sigma_{\text{лв}}$ и величиной порогового циклического напряжения $\sigma_{\text{пв}}$. Затем с помощью величины $\Delta\sigma$ находится искомый предел низкочастотной выносливости как $\sigma_{\text{лн}} = \sigma_{\text{пн}} + \Delta\sigma$. На рисунке в качестве примера приведены экспериментальные данные по изменению пороговых напряжений и пределов выносливости сплава АМг2 в условиях комнатных температур на базе 10^7 циклов.

Дальнейшая экспериментальная проверка данной методики прогнозирования на разных материалах показала ее достаточную точность при значительном сокращении длительности и трудоемкости определения усталостных характеристик [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Усталостные испытания на высоких частотах нагружения/ Под ред. В.А. Кузьменко. – Киев: Наук. думка, 1979.
2. Dovgyallo I., Tsaruck F., Dolbin N., Dovgyallo A. Estimation of influence of frequency of flexural vibrations of structural sensitive characteristics of 20x13 steel // The 4 Th. International Symposium on Creep and Coupled Processes. – Bialostok. 1992. - P. 57-63.
3. Довгялло И.Г., Царук Ф.Ф., Новицкий А.В., Рудченко Д.Н. Влияние высокочастотных колебаний на изменение усталостных характеристик сплава АМг2 в условиях повышенных температур. // Труды БГТУ, Вып. 7.- Минск: БГТУ, 1999. - С. 145-148.
4. F. Tsaruck, A. Novitskiy. 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, Hunan University Press, China, P. 193-195.

УДК 539.434

И.Г. Довгялло, доцент; С.Е. Бельский, доцент; А.Г. Капсаров, инженер

ВЛИЯНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ ТРУБОПРОВОДОВ

Results of investigation of physical and mechanical properties of tubular specimens from the steel 10, D16 aluminium alloy and M1 copper in the range frequency 0,15-18,0 kHz of cyclic bending are given.

Многие операции в технологии лесозаготовок выполняются специальными машинами, рабочие органы которых приводятся в движение с помощью гидроприводов. При эксплуатации такой техники неизбежно возникает сочетание статических нагрузок с вибрацией различной интенсивности и

частоты. Обеспечение надежности и долговечности гидросистем требует проведения большого количества усталостных испытаний, а также изучения влияния параметров нагружения на процесс развития циклической повреждаемости материалов трубопроводов.

Проведенные ранее усталостные испытания [1,2] дополнены исследованиями физико-механических характеристик (ФМХ) материалов (стали 10, алюминиевого сплава Д16, меди М1). Основные ФМХ материалов (микротвердость H_{μ} , плотность дислокаций ρ и микронапряжения σ_{II}) определялись в условиях продольных механических колебаний частотой 0,15; 3; 9 и 18 кГц симметричного и асимметричного циклов. Асимметрия цикла создавалась с помощью гидростенда с комплексом акустогидравлических устройств [3] и определялась по величине эквивалентных статических напряжений $\sigma_{\Sigma}^{ст}$.

Результаты исследований кинетики микротвердости (рис. 1) позволяют сделать вывод о том, что изменения этой величины характеризуются сочетанием процессов упрочнения-разупрочнения с наличием на кривых максимумов, которые сдвигаются с увеличением частоты вправо вдоль оси числа циклов. При $\sigma_{\Sigma}^{ст} = 0$ микротвердость образцов из стали 10 (рис. 1, а) в начальный период нагружения возрастает с увеличением числа циклов на каждой частоте, достигая максимальных значений на базах $4 \cdot 10^3$ при частоте 0,15 кГц, $4 \cdot 10^4$ – при 9 кГц и $6 \cdot 10^5$ при 18 кГц. После достижения максимальных значений микротвердости следовало разупрочнение, завершившееся на базах приблизительно соответствующих разрушению образцов.

Повышение частоты с 0,15 до 18 кГц привело к возрастанию промежутка числа циклов между максимальной микротвердостью и ее минимальным значением, соответствующим разупрочнению, приблизительно в 360 раз, что еще раз подтвердило отмеченное ранее [1] увеличение усталостной долговечности с ростом частоты. Аналогичные зависимости получены и для других исследованных нами материалов.

Дополнительная статическая нагрузка качественно не изменяет влияние частоты на кинетику ФМХ материалов. Так, для стали 10 с увеличением $\sigma_{\Sigma}^{ст}$ до 68 МПа во всем исследованном частотном диапазоне координаты максимумов H_{μ} практически не смещаются, однако существенно уменьшается база нагружения до начала разупрочнения. Дополнительное статическое нагружение ускоряет протекание процесса разупрочнения и обеспечивает повышение максимальной микротвердости и на остальных исследованных материалах.

Изучение характера кинетики тонкой структуры материалов позволяет приблизиться к объяснению физической сущности процессов усталостного разрушения.

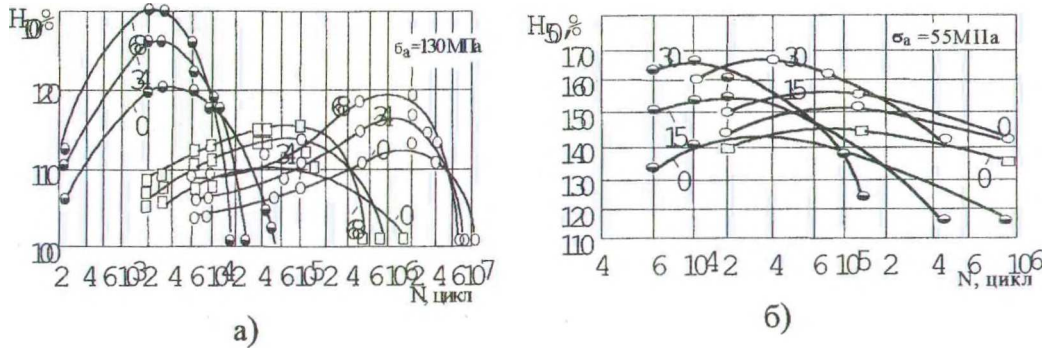


Рис. 1. Кинетика микротвердости стали 10 (а) и меди М1 (б) при разных частотах (О-18; □-9; ○-0.15 кГц) и величинах σ_a^{cm} , обозначенных цифрами в МПа

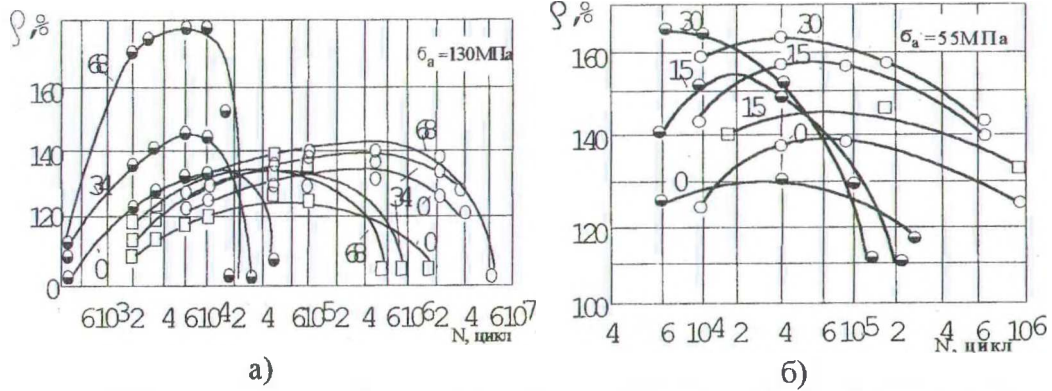


Рис. 2. Кинетика плотности дислокаций стали 10 (а) и меди М1 (б) при разных частотах (О-18; □-9; ○-0.15 кГц) и величинах σ_a^{cm} , обозначенных цифрами в МПа

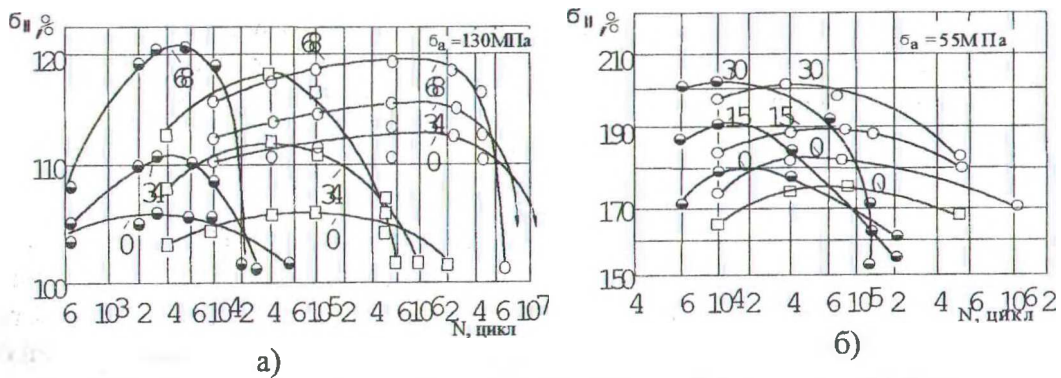


Рис. 3. Кинетика напряжений второго рода сталей 10 (а) и меди М1 (б) при разных частотах (О-18; □-9; ○-0.15 кГц) и величинах σ_a^{cm} , обозначенных цифрами в МПа

Из приведенных результатов (рис. 2, 3) видно, что действие циклических напряжений при разных схемах нагружения приводит к интенсивным изменениям тонкой структуры уже при первых циклах, причем для всех исследуемых материалов начало трансформации дислокационной структуры характеризуется увеличением ρ и σ_{II} . После достижения уровня «насыщения» при дальнейшем циклическом деформировании наблюдался максимальный уровень плотности дефектов структуры (дислокаций и вакансий), вызывающий торможение их дальнейшего продвижения под действием циклических напряжений. Возрастание величины σ_{II} приводит к межзеренной повреждаемости, предшествующей возникновению микротрещин. Этот процесс, протекающий параллельно с разупрочнением, вызывает снижение значений ρ и σ_{II} . Увеличение частоты сказывается также на значительном сдвиге кинетических кривых вправо вдоль оси числа циклов.

Трансформация тонкой структуры существенно зависит и от величины статических нагрузок. Возрастание $\sigma_0^{ст}$ приводит к ускорению темпа накопления усталостной повреждаемости при заметном сдвиге области насыщения к началу числа циклов деформирования с увеличением максимальных уровней ρ и σ_{II} .

Выявление предшествующих началу усталостного разрушения изменений ФМХ открывает возможности как прогнозирования этого процесса, так и его предотвращения путем проведения на этой стадии дополнительной обработки.

Следует отметить, что для всех исследованных материалов в диапазоне частот 0,15-18 кГц симметричного и асимметричного знакопеременного нагружения кривые всех исследуемых характеристик имели качественно одинаковый характер и различались только величиной максимумов и положением относительно оси числа циклов. Это свидетельствует о единой физической природе усталостной повреждаемости в рассматриваемом диапазоне режимов нагружения и предопределяет возможности разработки методик ускоренного определения низкочастотной усталости по результатам высокочастотных испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Капсаров А.Г., Довгялло И.Г., Бельский С.Е., Горновский Д.А. Влияние частоты механических колебаний на циклическую прочность элементов трубопроводов дополнительно нагруженных внутренним гидростатическим давлением // Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. Вып. II. – Мн., 1994. С.155-157.
2. Довгялло И.Г., Царук Ф.Ф., Бельский С.Е., Капсаров А.Г. Влияние частоты механических колебаний на циклическую прочность деталей машин при различных схемах напряженного состояния //Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. Вып. VII.–Мн., 1999. С.149-153.
3. А.с. 1486870 СССР,МКИ G 01 3/32. Устройство для усталостных испытаний