

УДК 674.023

С.Е. Бельский, доц., канд. техн. наук;
Ф.Ф. Царук, доц., канд. техн. наук;
А.В. Блохин, доц., канд. техн. наук;
М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);
Adel Abdel Basset Rashid
(Beirut Arab University, Lebanon, Tyre)

АНАЛИЗ КИНЕТИКИ ФИЗИКО–МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ПРОВЕДЕНИИ УСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ

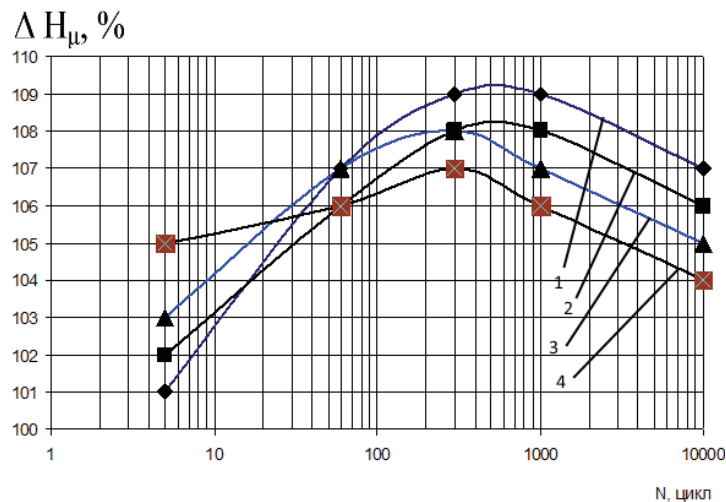
Эксплуатация технологической оснастки часто характеризуется значительными циклическими нагрузками. Такие условия требуют обеспечения высоких усталостных характеристик материалов для их изготовления. Однако, имеющиеся в литературе сведения по влиянию амплитудно–частотных параметров нагружения на усталостные характеристики и физико–механические свойства инструментальных сталей недостаточно систематизированы. В этой связи повышение точности и достоверности определения усталостных характеристик сталей, а также разработка методики проведения испытаний является актуальной задачей. Для решения данной задачи необходимо определить влияние частоты испытаний как на усталостные характеристики исследуемых сталей, так и на их структурно-чувствительные свойства.

Исследования влияния амплитудно-частотных и временных параметров нагружения на протекание процессов усталостного повреждения инструментальной стали 5ХНМ осуществлялись путем анализа изменений таких структурно–чувствительных свойств материалов как микротвердость и плотность дислокаций. Использование изгибных колебаний не только имитирует режим эксплуатационных нагрузок, но значительно повышает точность исследований ФМХ благодаря наличию циклических напряжений различной величины, закономерно расположенных вдоль оси образца.

Изучение влияния частоты на кинетику процессов упрочнения–разупрочнения металлов и сплавов осуществлялось путем определения изменений микротвердости исследуемых материалов в процессе циклического нагружения с различными амплитудами напряжений. Для этого предварительно определялась величина исходной микротвердости (H_u) перед испытанием, а затем проводились измерения H_u в зоне действия циклических напряжений выбранной величины по истечении времени вылеживания.

Из полученных результатов по влиянию амплитудно–частотных и временных параметров нагружения на кинетику физико–механических свойств стали видно, что наиболее интенсивно изменения структурно–чувствительных характеристик для выбранных уровней переменных напряжений происходят при циклическом нагружении до 10^7 циклов. Так, например, увеличение микротвердости штамповой стали 5 ХНМ прошедшей упрочнение боросилицированием (температура процесса $920\text{ }^\circ\text{C}$, время 2, 5 часа) менялась уже после 10^5 циклов нагружения (рисунок 1). Однако, при испытании стали прошедшей поверхностное упрочнение уровень возрастания микротвердости ниже, а разброс экспериментальных значений значительно больше чем при использовании однородных образцов, что связано с особенностями структуры поверхностных слоев, прошедших диффузионное насыщение.

Для тонкой структуры исследованных материалов также характерно наиболее существенное изменение относительной плотности дислокаций в течение первых циклов нагружения. В дальнейшем, с наработкой циклов наступает насыщение, сменяющееся на стадии развития микротрещин постепенным переходом через экстремум (рисунок 2).

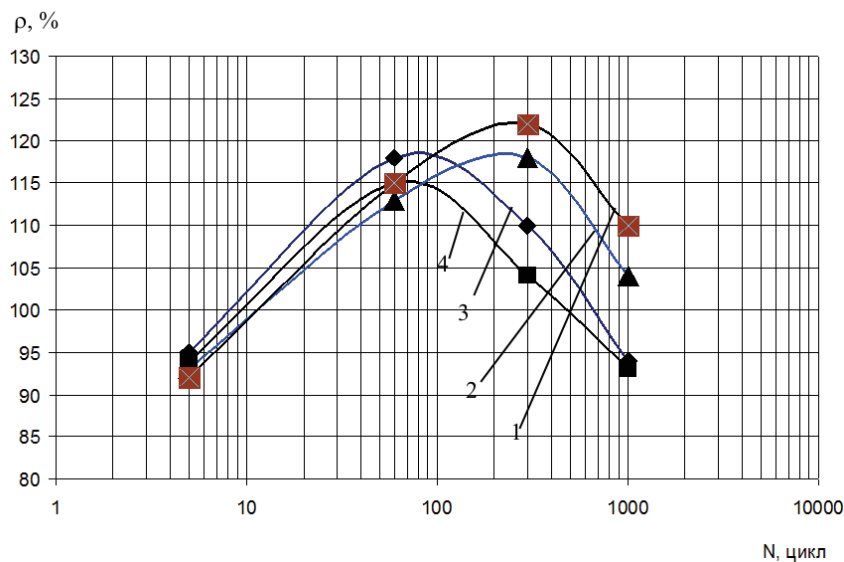


1 – 0,3 кГц; 2 – 3,0 кГц; 3 – 9,0 кГц; 4 – 18,0 кГц

Рисунок 1 – Влияние частоты знакопеременного изгиба на кинетику микротвердости стали 5ХНМ

Следует отметить, что в связи с более высокой чувствительностью величины плотности дислокаций к действию циклических напряжений, процесс упрочнения отмечается несколько ранее, чем при анализе микротвердости (на базе до 10^6 циклов), и в последующем после $2 \cdot 10^6$ циклов преобладают процессы разупрочнения.

Наблюдаемые эффекты кинетики ряда структурно-чувствительных свойств исследуемых материалов в зависимости от амплитудно-частотных и временных факторов воздействия определяются, в основном, характером распределения и взаимодействия дефектов кристаллической решетки. Плотность дислокаций на первой стадии испытаний возрастает на всех исследованных частотах, что свидетельствует о начале протекания процесса упрочнения материала. В начальной стадии нагружения имеет место лишь колебательное перемещение сегментов закрепленных дислокаций около положения равновесия. Последующее наложение знакопеременных напряжений с высокой частотой полупериода колебаний приводит к активации имеющихся в материале дислокаций, подъему их из энергетических ям, способствует преодолению ими потенциальных барьеров и передвижению через препятствия, вызывая тем самым пластическую деформацию.



1 – 0,3 кГц; 2 – 3,0 кГц; 3 – 9,0 кГц; 4 – 18 кГц

Рисунок 2 – Влияние частоты знакопеременного изгиба на кинетику плотности дислокаций стали 5ХНМ

По мере нарастания пластического деформирования материала развивается процесс разупрочнения, характеризующийся уменьшением плотности дислокаций, снижением уровня микронапряжений и микротвердости. Отсутствие существенных качественных различий в характере развития дислокационной структуры при высоких и низких частотах нагружения приводит к аналогии кинетики изменений рассматриваемых величин в исследованном диапазоне частот.

Очевидно, что с увеличением частоты происходит возрастание скорости деформации металлов при одном и том же числе циклов

нагружения. Тем самым, релаксационные процессы, играющие существенную роль при статическом нагружении, с ростом частоты нагружения замедляются. Пропорционально частоте нагружения увеличивается и количество циклов до начала протекания процесса разупрочнения. Увеличение частоты, приводящее к повышению скорости упругой деформации, способствует и росту скорости движения дислокаций; при этом повышается эффективность их размножения.

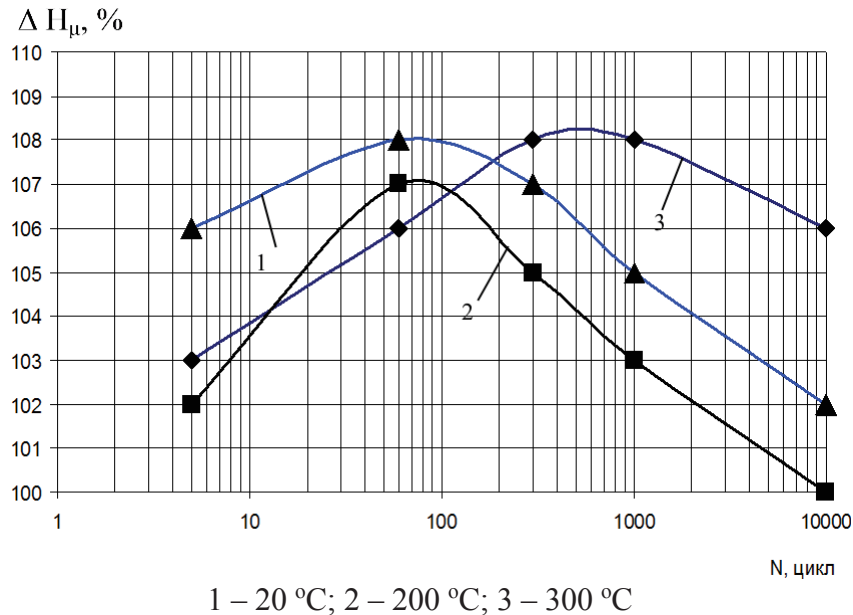


Рисунок 3 – Изменение микротвердости стали 5ХНМ при различных температурах испытаний (частота нагружения 18,0 кГц)

Следует отметить, что подобные зависимости характерны и для повышенных температур испытаний штамповой стали 5ХНМ (рисунок 3). Повышение температуры способствует более раннему протеканию процессов упрочнения–разупрочнения в связи с активацией взаимодействия дислокаций и точечных дефектов, а также передвижения дислокаций.

Приведенные исследования показали, что, несмотря на определенные количественные различия кинетики физико–механических характеристик рассматриваемых материалов, процесс усталостного разрушения у них развивается по одним и тем же закономерностям, характеризуясь сочетанием процессов упрочнения–разупрочнения. Это подтверждает единую физическую природу развития усталостной повреждаемости в рассмотренном диапазоне частот и, следовательно, принципиальную возможность реализации ускоренных усталостных испытаний с использованием высоких частот нагружения.