

М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук;
С.Е. Бельский, доц., канд. техн. наук;
Ф.Ф. Царук, доц., канд. техн. наук;
А.М. Лось, ст. преп. (БГТУ, г. Минск)

ПОВЫШЕНИЕ УСТАЛОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ ПОВЕРХНОСТНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ

Для изготовления изделий, работающих в условиях циклических нагрузок, а также термосмен обычно используются стали типа 5ХНМ. Стойкость подобной оснастки во многом определяется комплексом механических свойств, особенно усталостными характеристиками материала. Определение таких характеристик необходимо также для выбора рациональных параметров термической и химико-термической обработки таких изделий. Однако используемые в настоящее время методики низкочастотных испытаний являются весьма длительными и энергоемкими, особенно при наработке большого числа циклов нагружения (10⁶–10⁷ циклов). Поэтому рассмотрена возможность использования высоких частот нагружения (18,0 кГц) для реализации усталостных испытаний штамповой стали.

Для определения влияния частоты нагружения на характеристики усталости материалов, а также характера изменений их физико-механических свойств были использовано испытательное оборудование, позволяющее нагружать образцы для испытаний механическими колебаниями со следующими частотами: 0,15; 3; 9; 18 кГц.

Проведенные исследования кинетики физико–механических характеристик при проведении усталостных испытаний стали 5ХНМ показали, что наиболее интенсивно изменения структурно-чувствительных характеристик для выбранных уровней переменных напряжений происходят при циклическом нагружении до 10⁷ циклов. Так, например, увеличение микротвердости штамповой стали 5 ХНМ отмечалось уже после 10⁵ циклов нагружения.

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.

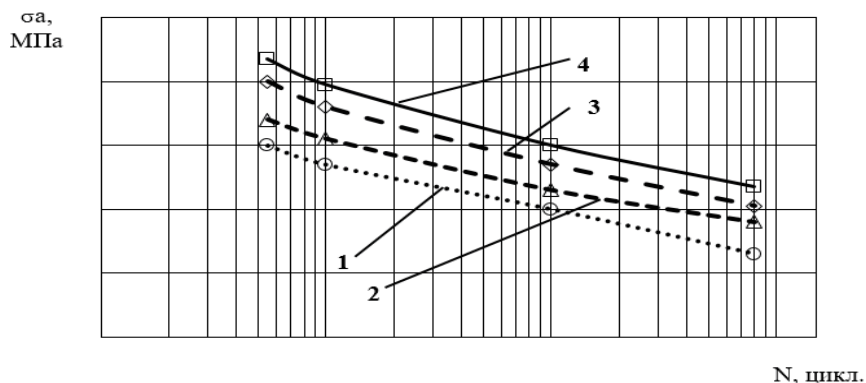
В трансформации физико-механических характеристик материалов просматриваются определенные закономерности. При циклическом деформировании происходит упрочнение материалов на началь-

ных этапах нагружения, что находит свое отражение в повышении микротвердости, увеличении плотности дислокаций и микронапряжений. Затем наступает стадия насыщения, сменяемая на больших базах испытаний стадией разупрочнения, характеризующейся падением значений вышеперечисленных характеристик. При достижении определенного числа циклов нагружения происходит насыщение материала вакансиями, которые эффективно взаимодействуя с движущимися дислокациями обуславливают их закрепление и исчезновение. При дальнейшем увеличении числа циклов нагружения происходит образование группы вакансий с большой энергией активации. Кроме того, повышение микротвердости связано с интенсивным пластическим деформированием микрообъемов материала. При этом в стенках дислокационных ячеек происходит зарождение и развитие субмикротрещин. 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. Кроме того, с повышением частоты увеличивается и количество вакансий, и возникает их исключительно высокая концентрация, в результате чего происходит конденсация их в диски, параллельные наиболее плотно упакованным плоскостям. При достижении некоторого критического размера диска его стороны сплюсываются и соединяются вместе, образуя дислокационную петлю. Все это приводит к упрочнению, в результате чего повышается плотность дислокаций и микротвердости.

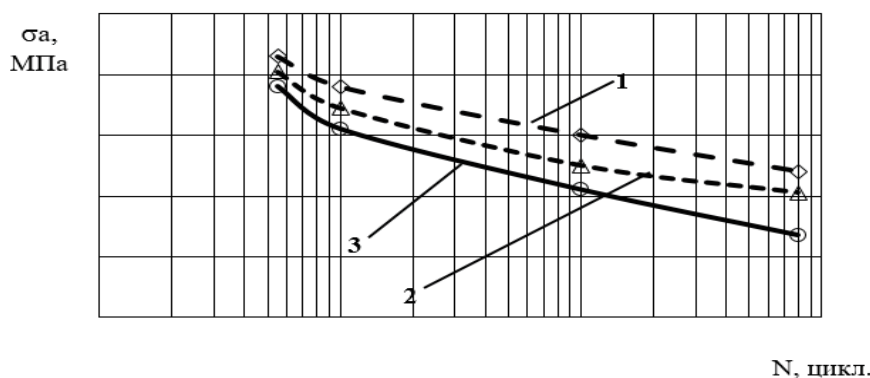
Следует отметить, что подобные зависимости характерны и для повышенных температур испытаний стали 5ХНМ. Повышение температуры способствует более раннему протеканию процессов упрочнения-разупрочнения в связи с активацией взаимодействия дислокаций и точечных дефектов, а также передвижения дислокаций.

Результаты усталостных испытаний также показали, что форма кривых усталости с увеличением частоты не изменяется (рисунок 1). Кривые усталости для разных частот располагаются практически эквидистантно. Можно отметить монотонное увеличение усталостной долговечности с ростом частоты нагружения. Аналогичные данные были получены при различных температурах (рисунок 2).



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

Рисунок 1 – Усталостные кривые для стали 5ХНМ при испытаниях на различных частотах нагружения



1 – 20 °С; 2 – 200 °С; 3 – 250 °С

Рисунок 2 – Усталостные кривые для стали 5ХНМ при различных температурах испытаний (частота нагружения 18,0 кГц)

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 температур и, следовательно, принципиальную возможность реализации ускоренных усталостных испытаний с использованием высоких частот нагружения.