

УДК 620.178.539.43

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ ЦИКЛИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ НА СУММАРНУЮ ПЛАСТИЧЕСКУЮ ДЕФОРМАЦИЮ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Мыльников В.В., Чернышов Е.А., Шетулов Д.И.

ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,
Нижегород, e-mail: mrmynikov@mail.ru

Рассмотрены физические процессы влияния частоты циклического нагружения на суммарную пластическую деформацию с позиций повреждаемости поверхности металлов на сопротивление усталости. Определены параметры влияющие на суммарную деформацию при изменении частоты циклов.

Ключевые слова: частота циклического нагружения, повреждаемость поверхности, сопротивление усталости, гомологическая температура, суммарная деформация

EFFECT FREQUENCY CYCLIC LOADING AT THE SUM OF PLASTIC DEFORMATION CONSTRUCTION MATERIALS

Mylnikov V.V., Chernyshov E.A., Shetulov D.I.

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod,
e-mail: mrmynikov@mail.ru

The physical processes influence the frequency of cyclic loading on the total plastic strain in terms of damage to the surface of the metal to resist fatigue. The parameters of influence on the total strain at the frequency of cycles.

Keywords: frequency of loading cycles, surface damaging, fatigue resistance, homologous temperature, the total strain

Анализ опубликованных в научной литературе исследований, как российских, так и зарубежных авторов, о влиянии частоты циклического нагружения на прочность и долговечность деталей машин и конструкций не дает исчерпывающей информации. Существует мнение, что изменение частоты не оказывает значительного влияния на сопротивление усталости материалов, хотя признается некоторая тенденция к увеличению сопротивления усталости материалов при увеличении частоты нагружения [5-6]. Недостаточность фундаментальных знаний о факторе частоты циклов объясняется в первую очередь сложностью физических

процессов [1], происходящих в поверхностном слое металлов, и длительностью эксперимента. Требуется более детальное изучение этого вопроса, поскольку при циклическом нагружении речь идет о пластической деформации в поверхностных слоях.

С поверхностными эффектами это согласуется следующим образом. Поверхностный слой деформируется раньше массива твердого тела [4]. Чем легче деформируется поверхностный слой, тем сильнее повреждается поверхность материала, т.е. тем больше повреждаемость Ф. Повреждаемость активного слоя и собственно поверхности описывается выражением вида [1-4]:

$$U_{nc} = \frac{\tau \cdot B_{\partial.y.} - U_n \cdot K_j}{K_j} \left[\frac{\tau \cdot B_{\partial.y.}}{\tau \cdot B_{\partial.y.} - U_n \cdot K_j} - e^{-K_{Ay} \cdot K_j \cdot j} \right], \quad (1)$$

где τ – напряжение действующее на петлю дислокации; $B_{\partial.y.}$ – площадь дефекта упаковки; U_n – энергетический порог повреждаемости собственно поверхности;

$K_j = \left(\frac{1}{\text{мм}} \right)$ – параметр, связанный обрат-

ной зависимостью с поперечным размером (толщиной) поверхностного слоя j ; K_{Ay} – параметр, определяющий сопротивление среды прохождению физического процесса пластической деформации, параметр упрочнения материала поверхностного слоя.

Целью представленной работы является изучение влияния частоты циклического нагружения на сопротивление пластической деформации в поверхностных слоях металлических материалов.

Достаточно сложные явления, протекающие в поверхностных слоях образцов (деталей) при изменении частоты циклического нагружения, можно соотнести с представлением о суммарной деформации ε_{ω} , которая накапливается при усталостных испытаниях в поверхностных слоях глубиной j (формула (1)). Она связывается с количе-

ством циклов N и определяется углом наклона левой ветви кривой усталости α_ω . Эта связь в первом приближении может быть представлена как изменение суммарного накопления усталостных дефектов или повреждений решётки dZ :

$$dZ = dZ_1 - dZ_2, \quad (2)$$

где dZ_1 – увеличение плотности (количества) дефектов вследствие накопления суммарной деформации ϵ_ω ; dZ_2 – уменьшение плотности дефектов вследствие релаксации.

При этом вносится определённое допущение, связанное с тем, что релаксация напряжений не всегда связана с уменьшением концентрации дефектов. Например, в случае повторяющихся актов поперечного скольжения, возникающие в полосах скольжения интрузии приводит к увеличению вероятности разрушения тем в большей степени, чем больше энергия дефекта упаковки (γ) [1].

Конечное выражение этой зависимости представляется в виде соотношения:

$$Z = Z^*(\epsilon_\omega / \epsilon_\omega^*)^{\beta - \alpha/\omega}, \quad (3)$$

связывающего суммарное повреждение Z с величиной суммарной деформации ϵ_ω и частотой циклов (ω), где $Z^* = Z$, а $\epsilon_\omega^* = \epsilon_\omega$ для одного цикла напряжения; β – зависит от рода вещества; α – видимо, должна возрастать с температурой, но уменьшаться с увеличением энергии дефекта упаковки.

Если считать, что между ϵ_ω и числом циклов до разрушения существует прямая пропорциональность, то, когда для достаточно низких гомологических температур (θ) отношение α/ω стремится к нулю, продолжительность испытаний определяется числом циклов. Напротив, при достаточно высоких θ величина Z обуславливается как ϵ_ω (или N), так и частотой ω , то есть с увеличением температуры величина накопленных напряжений, а следовательно, и продолжительность испытаний всё больше определяется не числом циклов, а временем, причём Z оказывается тем больше (время до разрушения тем меньше), чем больше частота циклов. Из уравнения (3) также следует, что

$$\lg \epsilon_\omega = \frac{\lg \frac{z}{z^*} + \left(\beta - \frac{\alpha}{\omega} \right) \lg \epsilon_\omega^*}{\beta - \frac{\alpha}{\omega}}, \quad (4)$$

то есть увеличение частоты приводит в общем к снижению ϵ_ω (или N).

Выводы

- 1) увеличение частоты снижает суммарную деформацию ϵ_ω ;
- 2) влияние частоты на ϵ_ω с увеличением θ становится слабее.
- 3) снижение суммарной деформации ϵ_ω сопровождается снижением коэффициента K_{Ay} , что в свою очередь снижает энергетический порог $U_{п.с.}$ (формула (1)).
- 4) Повреждаемость поверхностного слоя усиливается, и наклон левой ветви кривой усталости растёт. С увеличением θ K_{Ay} снижается, что в конечном итоге замедляет снижение энергетического порога $U_{п.с.}$ и, естественно, влияние частоты становится менее ощутимо. Это означает, что в случае больших θ снижение ϵ_ω должно быть меньше, чем в случае малых θ , соответственно увеличение частоты в первом случае должно привести к увеличению напряжения и, наоборот, во втором случае увеличение ω может снизить напряжение.

Список литературы

1. Мылъников В.В., Шетулов Д.И., Чернышов Е.А. Исследование повреждаемости поверхности чистых металлов с учетом частоты циклического нагружения // Известия вузов. Цветная металлургия, 2013, № 2, С. 55-60.
2. Мылъников В.В., Шетулов Д.И., Пронин А.И., Чернышов Е.А. Прогнозирование прочности и долговечности материалов деталей машин и конструкций с учетом частоты циклического нагружения // Известия вузов. Черная металлургия, 2012, № 9, С. 32-37.
3. Мылъников, В.В., Чернышов Е.А., Шетулов Д.И. Связь параметров сопротивления усталости ряда конструкционных материалов с изменением частоты циклического нагружения // Заготовительные производства в машиностроении, 2012, № 7, С. 41-45.
4. Шетулов Д.И. Связь сопротивления циклической нагрузке с повреждаемостью поверхности металлов // Известия Академии Наук, Металлы, 1991, № 5, С. 160
5. Готтштайн Г. Физико-химические основы материаловедения; пер. с англ. К.Н. Золотовой, Д.О. Чаркина; под ред. В.П. Зломанова. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 400 с.
6. R.W.K. Honeycombe. The Plastic Deformation of Metals. London: Edward Arnold Ltd., 1984.