

УДК 620.178.539.43

## УСКОРЕННЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗА ПАРАМЕТРОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ ЧАСТОТЫ ЦИКЛИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ

Мыльников В.В., Шетулов Д.И.

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

В работе представлен ускоренный метод прогноза параметров сопротивления усталости металлических материалов с учетом частоты циклического нагружения. Обоснована применимость новых характеристик поверхностных эффектов для прогноза прочности и долговечности деталей машин и конструкций.

**Ключевые слова:** частота циклического нагружения, повреждаемость поверхности, сопротивление усталости, прочность, долговечность, предел выносливости

## THE ACCELERATED METHOD OF FORECASTING PARAMETERS OF FATIGUE RESISTANCE OF METALLIC MATERIALS TAKING INTO ACCOUNT THE FREQUENCY OF CYCLIC LOADING

Mylnikov V.V., Shetulov D.I.

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

This paper presents an accelerated method of forecast parameters of fatigue resistance of metallic materials taking into account the frequency of cyclic loading. It also proves applicability of new characteristics of surface effects to forecasting the durability and longevity of machines and constructions parts.

**Keywords:** frequency of loading cycles, surface damaging, fatigue resistance, strength, durability, endurance limit

Эффективное проектирование и обеспечение безопасной эксплуатации различных технических объектов требует точного знания величины показателей сопротивления усталости материалов для назначения допустимых эксплуатационных нагрузок и объективной оценки остаточного ресурса [1-3]. В то же время высокая чувствительность показателей сопротивления усталости к действующим факторам, одним из которых является частота циклического нагружения ( $\omega$ ), делает задачу прогнозирования поведения материала при циклическом нагружении значительно более сложной, чем, например, в случае действия постоянной нагрузки [3-9].

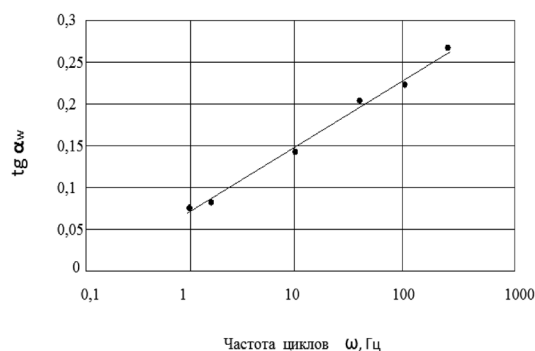
Поэтому, целью представленной работы является разработка ускоренного метода прогноза параметров сопротивления усталости металлических материалов с учетом частоты циклического нагружения, на основе ранее полученных нами экспериментальных данных.

За показатели сопротивления усталости были приняты наклон левой ветви кривой усталости ( $\text{tg} \alpha_w$ ) и количественное значение повреждаемости поверхности ( $\Phi$ ) материалов [10-11].

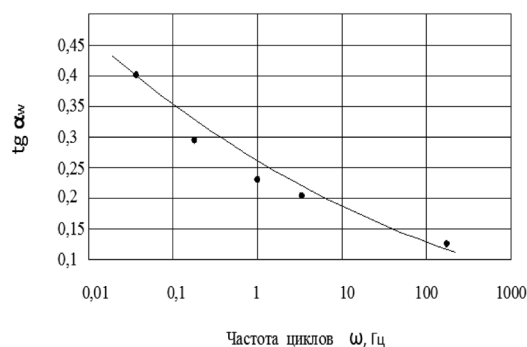
В ряде случаев частота циклов нагружения ( $\omega$ ) оказывает существенное влияние на показатели сопротивления усталости [12-20]. Установлено, что увеличение частоты циклов нагружения и в дополнение к этому смягчение схемы напряженного состояния (деформация изгиба вращающихся образцов) приводит к заметному уменьшению наклона левой ветви кривой усталости (параметра  $\text{tg} \alpha_w$ ), то есть к улучшению сопротивления усталости. Улучшение параметра сопротивления усталости ( $\text{tg} \alpha_w$ ) связано с повышением упрочняемости материала поверхностных слоев образцов (деталей), что снижает усталостную повреждаемость собственно поверхности ( $\Phi$ ) [21-24].

Проведенные исследования позволили получить новые характеристики, определяющие прочность и долговечность образцов (деталей) [25-30]. Экспериментальные данные обрабатывались таким образом, что при  $\omega = \text{const}$  определялись средние значения  $\text{tg} \alpha_w$ , затем строились зависимости  $\text{tg} \alpha_w = f(\omega)$ . Компьютерная обработка результатов показала, что данные по первой группе укладываются на прямую (рис. 1, а), а по второй – описываются некоторой кривой (рис. 1, б).

а



б



Зависимость показателя сопротивления усталости  $\text{tg } \alpha_w$  от частоты циклов нагружения ( $\omega$ ):  
а – первой группы материалов; б – второй группы материалов

В первом случае наблюдается ухудшение сопротивления усталости с увеличением параметра  $\omega$ , а во втором случае – его улучшение. Однако, надо иметь в виду, что параметр  $\text{tg } \alpha_w$  напрямую связан с повреждаемостью поверхности ( $\Phi$ ), и в обеих группах чистых металлов и сплавов рост показателя ( $\Phi$ ) приводит к увеличению  $\text{tg } \alpha_w$  [11 – 12]. Были получены математические зависимости вида:

$\text{tg } \alpha_w = 0,0356 \ln \omega + 0,065$  по первой группе материалов;

$\text{tg } \alpha_w = 0,262 \omega^{-0,1301}$  по второй группе материалов.

На основе полученных экспериментальных данных разработан метод прогнозирования прочности и долговечности конструкционных материалов. Зная частоту циклического нагружения, по рис. 1. определяем показатель сопротивления усталости  $\text{tg } \alpha_w$ . В результате получаем два значения параметра  $\text{tg } \alpha_w$  для 1-й и 2-й группы материалов. Используя значения  $\text{tg } \alpha_w$  и зависимость этого показателя от параметра  $\chi$ , полученную при экспериментальных исследованиях, снимаем два значения параметра

$$\chi = \frac{\sigma_{N=10^6}}{\sigma_s},$$

где  $\sigma_{N=10^6}$  – напряжение, соответствующее долговечности  $N=10^6$  циклов.

Данные на однократный разрыв образцов дают возможность знать предел прочности ( $\sigma_b$ ) и уточнить показатели  $\chi$  и  $\sigma_{N=10^6}$ . Используя графические зависимости  $\text{tg } \alpha_w - \sigma_{N=10^6}$  можно построить левую ветвь прогнозируемой кривой усталости. Далее находим точку излома прогнозируемой кривой усталости, воспользовавшись работой [4].

Таким образом, получаем экспресс-метод ускоренного построения кривой усталости

образцов конструкционного материала, когда есть величина частоты циклического нагружения ( $\omega$ ) и предела прочности материала ( $\sigma_b$ ). Подобным образом можем спрогнозировать кривую усталости требуемой детали и тем самым значительно сэкономить время и стоимость их производства, а особо ответственные детали испытывать с учетом этого прогноза.

#### Список литературы

1. 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.
2. R.W.K. Honeycombe. The Plastic Deformation of Metals. London: Edward Arnold Ltd., 1984.
3. Мак-Ивили А. Дж. Анализ аварийных разрушений / пер. с англ. Э.М. Лазарева, И.Ю. Шкадиной; под ред. Л.Р. Ботвиной. – М.: Техносфера, 2010. – 416 с.
4. Мыльников 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.
5. Мыльников В.В., Чернышов Е.А., Шетулов Д.И. Прогнозирование прочности и долговечности материалов, деталей машин и конструкций с учетом влияния частоты циклов нагружения // Труды XIV Нижегородской сессии молодых ученых (технические науки). – Н. Новгород, 2009, С. 68.
6. Мыльников В.В., Чернышов Е.А., Шетулов Д.И. Прогноз долговечности конструкционных материалов по параметрам их структуры // Труды III Международной конференции «Deformation & fracture of materials and nanomaterials», М: ИМЕТ РАН, 2009, т. II, С. 180-181.
7. Мыльников В.В. Прогнозирование кривой усталости рычага взлетно-посадочного устройства самолета // Труды VIII Международной молодежной научно-технической конференции «Будущее технической науки», НГТУ, Н.Новгород, 2009, С. 234-235.
8. Мыльников В.В. Прогнозирование параметров усталости рычага шасси самолета / В.В. Мыльников, Д.И. Шетулов, Е.А. Чернышов, И.И. Рожков, А.Д. Романов // Труды VIII Международной молодежной научно-технической конференции «Будущее технической науки», НГТУ, Н.Новгород, 2013, С. 92-93.

9. Шетулов Д.И., Мыльников В.В. О корреляции показателей сопротивления усталости однократному разрушению высокопрочных сталей // *Материалы Российской научно-технической конференции «Фундаментальные исследования в области технологий двойного назначения» и Российской конференции «Школа-семинар по методологическому обеспечению и фундаментальным основам технологий двойного назначения», Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2011, С. 219-220.*
10. Мыльников В.В., Чернышов Е.А., Шетулов Д.И. Разработка оценочных критериев прочности и долговечности конструкционных сталей в условиях циклической нагрузки // *Труды Межрегиональной научно-практической конференции «Заготовительные производства и материаловедение» посвященной 100-летию профессора А.А. Рыжикова, НГТУ, Н. Новгород, 2009, С. 90-96.*
11. Мыльников В.В., Шетулов Д.И., Чернышов Е.А. Об оценочных критериях долговечности углеродистых сталей // *Технология металлов, 2010, № 2, С. 19-22.*
12. Мыльников В.В., Чернышов Е.А., Шетулов Д.И. Влияние частоты циклического нагружения на сопротивление усталости высокопрочных конструкционных материалов // *Заготовительные производства в машиностроении, 2009, № 2, С. 33-36.*
13. Мыльников В.В. Частота циклического нагружения как фактор влияющий на изменение прочности и долговечности конструкционных материалов // *Сборник материалов VIII Российской ежегодной конференции молодых научных сотрудников и аспирантов «Физико-химия и технология неорганических материалов», М: ИМЕТ РАН, 2011, С. 87-88.*
14. Myl'nikov V.V., Shetulov D.I., Chernyshov E.A. Variation in factors of fatigue resistance for some pure metals as a function of the frequency of loading cycles // *Russian Journal of Non-ferrous metals, 2010, Vol. 51, No. 3, pp. 237-242.*
15. Мыльников В.В., Чернышов Е.А., Шетулов Д.И. Влияние фактора частоты циклического нагружения на изменение повреждаемости поверхности и наклона кривой усталости при деформации изгиба вращающихся образцов // *Сборник материалов IV Международной конференции «Deformation and Fracture of Materials and Nanomaterials», М: ИМЕТ РАН, 2011, С. 984-985.*
16. Мыльников В.В., Чернышов Е.А., Шетулов Д.И. Влияние частоты циклического нагружения на суммарную пластическую деформацию конструкционных материалов // *Международный журнал экспериментального образования, № 10 (часть 2), 2013, С. 380-381.*
17. Мыльников В.В., Шетулов Д.И., Влияние частоты циклического нагружения на изменение показателей сопротивления усталости титана и меди // *Сборник трудов по: Materiały VII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Perspektywiczne opracowania są nauką i technikami – 2011». Vol. 54. Techniczne nauki.: Przemysł. Nauka i studia – 112 str. С. 16-20.*
18. Мыльников В.В., Рожков И.И., Шетулов Д.И. Повреждение поверхности редкоземельных металлов в условиях циклического нагружения при изменении частоты циклов // *Сборник научных трудов Sworld, 2012, Т. 9, № 4, С. 69-76.*
19. Мыльников В.В. Анализ влияния частоты циклов нагружения на суммарную пластическую деформацию металлических материалов / В.В. Мыльников, Д.И. Шетулов, И.И. Рожков, А.И. Пронин // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, № 10. Ч. 2, 2013, С. 228.*
20. Мыльников 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.*
21. Мыльников В.В., Чернышов Е.А., Шетулов Д.И. Взаимосвязь частоты циклического нагружения и сопротивления усталости некоторых чистых металлов // *Материалы международного симпозиума «Образование, наука, производство: проблемы, достижения и перспективы», Комсомольск-на-Амуре, КнАГТУ, 2010, С. 366-370.*
22. Mylnikov V.V., Rozhkov I.I., Shetulov D.I. Damage to the surface of rare-earth metals under cyclic loading with changes in cycle frequency // *Modern scientific research and their practical application. Vol. J11307, № 4, 2013, pp. 206-213.*
23. Myl'nikov V.V., Shetulov D.I., Chernyshov E.A. Investigation into the Surface Damage of Pure Metals Allowing for the Cyclic Loading Frequency // *Russian Journal of Non Ferrous Metals, 2013, Vol. 54, No. 3, pp. 229-233.*
24. Мыльников В.В., Шетулов Д.И., Рожков И.И. Повреждаемость поверхностных слоев стали 30ХГСН2А в условиях циклического нагружения // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, № 10 (часть 2), 2013, С. 244.*
25. Мыльников В.В. Зависимость сопротивления усталости конструкционных материалов от частоты циклического нагружения / В.В. Мыльников, Д.И. Шетулов, Е.А. Чернышов, А.И. Пронин // *Технология металлов, 2013, № 9, С. 30 – 38.*
26. Мыльников В.В., Шетулов Д.И., Рожков И.И. Связь параметров сопротивления стали 12Х18Н12Т с изменением частоты циклического нагружения // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, № 10 (часть 2), 2013, С. 244.*
27. Мыльников 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.*
28. Шетулов Д.И. Связь сопротивления циклической нагрузке с повреждаемостью поверхности металлов // *Известия Академии Наук, Металлы, 1991, № 5, С. 160.*
29. Мыльников В.В. Связь параметра сопротивления усталости с повреждаемостью поверхности стали 30ХГСН2А // *Сборник трудов Sworld, 2012, Вып. 3, Т. 10, Одесса, С. 56-62.*
30. Мыльников В.В. Связь коэффициента формы повреждений с показателями сопротивления усталости стали 30ХГСН2А / В.В. Мыльников, Д.И. Шетулов, А.И. Пронин, И.И. Рожков // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, № 10 Ч. 2, 2013, С. 229.*