

9 **Deflecting a Hazardous Near-Earth Object** / D. K. Yeomans [et al.] // 1 IAA Planetary Defense Conference: Protecting Earth from Asteroids, 27–30 April 2009, Granada, Spain.

L. L. SOKOLOV, G. K. KUTEEVA

ON THE TRAJECTORIES OF POSSIBLE COLLISIONS OF ASTEROIDS WITH THE EARTH

The characteristics of possible collisions of asteroids 2007 VK184, 2011 AG5 with the Earth due to resonant returns are presented. We discuss possible collisions of asteroid Apophis too. Main part of the collisions have been found in the Sobolev Astronomical Institute SPbSU, some of them have been presented in NASA papers. The results are in good agreement.

Получено 25.05.2012

**ISSN 2227-1104. Механика. Научные исследования
и учебно-методические разработки. Вып. 6. Гомель, 2012**

УДК 620.178.3

Л. А. СОСНОВСКИЙ, Е. С. ТАРАНОВА

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ УСТАЛОСТИ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрено действие рабочей среды на усталостные свойства циклически деформируемого металла. Разработана схема основных механизмов обратного эффекта, связанных с адсорбционной усталостью. Выполнена систематизация исследований в области прямого и обратного эффекта при коррозионно-механической усталости.

Известно, что любая внешняя среда сложным образом взаимодействует с твёрдым телом [10]. Во многих случаях ее физико-химическое воздействие определяет долговечность и несущую способность материала деталей, вызывает обратимое или необратимое изменение его свойств.

Среды по степени влияния на механические свойства материалов подразделяются:

– на неактивные – спектрально чистые инертные газы, поверхностно-активные вещества (ПАВ), химически неактивные или слабо активные, оказывающие воздействие через адсорбцию;

– коррозионно-агрессивные (некоторые газы, вода, электролиты, расплавы солей и т. п.), вызывающие химическую или электрохимическую коррозию;

– абсорбирующиеся поверхностью материала (например, водород), растворяющие его и образующие с ним твердые растворы, которые могут привести к увеличению прочности и долговечности;

- образующие с конструкционным металлом новые химические соединения (жидкие металлы и химические вещества);
- влияющие на конструкционный материал радиационно, механически (кавитационно и эрозионно) [3].

Влияние среды начинается с адсорбции на поверхности ее активных компонентов, что требует малого времени, тогда как абсорбция – более продолжительный процесс. Адсорбционное влияние среды объясняется эффектом Ребиндера и заключается в понижении прочности и облегчении деформации твердого тела под действием на его поверхности ПАВ. Различают «внешний» и «внутренний» эффекты Ребиндера, которые необходимо учитывать в связи с понижением прочности и долговечности материалов.

Различные жидкие среды по-разному влияют на изменение сопротивления материалов усталости [3–8]. На рисунке 1 представлена корреляционная связь между пределами выносливости (на базе 10^7 циклов) сталей в воде и различных масляных средах (σ_{-1c}). Корреляционная линия соответствует соотношению $\sigma_{-1c} / \sigma_{-1} = 1$, где σ_{-1} – предел выносливости в воздухе.

Из рисунка 1 видно, что сопротивления усталости в воздухе и масляных средах (точки 2) почти совпадают, а предел выносливости в водной среде (точки 1, 3, 4) снижается в 3–4 раза. Таким образом, окружающая среда действует в направлении уменьшения усталостной прочности циклически деформируемого материала [10].

При одновременном воздействии повторно-переменных нагрузок и агрессивной среды происходит процесс постепенного накопления поврежденный металла – коррозионно-механическая усталость (КорМУ). На рисунке 2 представлены характерные кривые усталости стальных образцов в воздухе (1) и в 3%-ном растворе NaCl (2) [11].

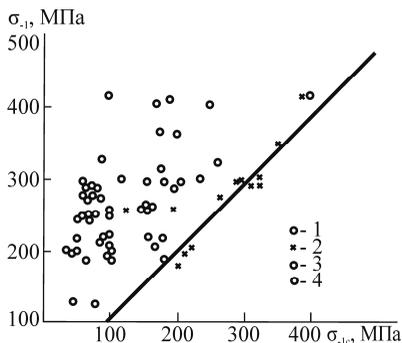


Рисунок 1 – Корреляционная связь между пределами выносливости стальных образцов в воздухе и в различных средах: 1, 3, 4 – вода соответственно пресная, соленая, высокой очистки; 2 – разные масла

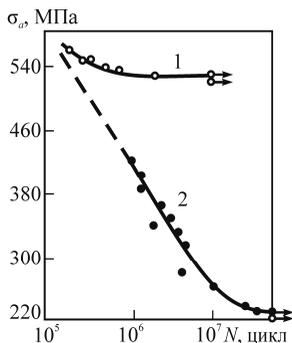


Рисунок 2 – Кривые усталости образцов стали X17H2 в воздухе и в 3%-ном растворе NaCl

Сравнивая их, получаем следующие выводы:

- при КорМУ физический предел выносливости не достигается, поэтому в этом случае используется условный предел усталости;
- КорМУ – ярко выраженный временной процесс: снижение характеристик сопротивления усталости тем больше, чем длительнее идут испытания;
- предел выносливости в воздухе выше, чем в коррозионной среде, в 2–4 и более раз, если долговечность превышает 10^7 циклов [10].

В коррозионной среде наблюдается непрерывное (во времени) снижение усталостной прочности металлов, поддающихся электрохимической коррозии, называемое коррозионной усталостью, которую обуславливают в основном коррозионный и механические факторы. Коррозионная усталость является частичным случаем коррозии под напряжением и наблюдается в

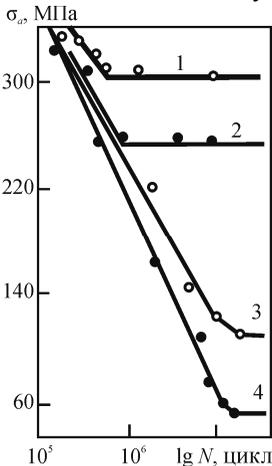


Рисунок 3 – Кривые усталости стали 45 в воздухе (1), при адсорбционной (2), водородной (3) и коррозионной (4) усталости

воде, водных растворах солей, кислот, щелочей и других электролитах и тем сильнее проявляется, чем агрессивнее среда. В большей степени ей подвержены более прочные металлы (структуры) [3].

Кривая усталости в коррозионной среде непрерывно с увеличением числа циклов нагружения, асимптотически приближается к оси абсцисс (рисунок 3, кривая 4) и не имеет истинного предела выносливости. При коррозионной усталости на поверхности металла зарождаются трещины, перпендикулярные к направлению растягивающих напряжений. Излом многолопастный, так как образуется из многих очагов разрушения. На поверхности разрушения наблюдаются две зоны: хрупкого разрушения и долома.

На рисунке 4 представлено уменьшение выносливости стальных образцов в коррозионной среде, состоящее из снижения под действием адсорбционной, водородной и собственно коррозионной усталости. Линия *ab* (рисунок 4, *a* и *b*) показывает уровень предела выносливости стали 45 на воздухе, а кривая ГАБВ – условные пределы усталости той же стали в 3%-ном водном растворе NaCl в зависимости от плотности катодного и анодного токов при поляризации испытуемых образцов от внешнего источника тока. Левая ветвь кривой (ГА) показывает снижение условного предела коррозионной усталости при анодной поляризации. При катодной идет повышение с некоторым максимумом условного предела усталости до точки Б, а затем поляризация вызывает снижение кривой, что объясняется наложением на коррозионно-усталостный процесс водородной усталости (кривая БВ) [2].

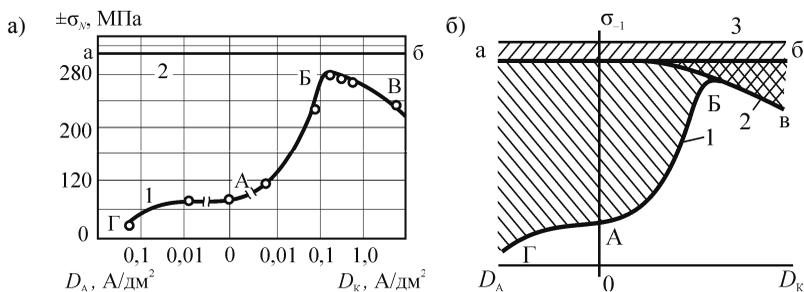


Рисунок 4 – Кривая выносливости стали 45 в 3%-ном растворе NaCl: точка А – выносливость в электролите без поляризации; Б – точка А – максимальная выносливость в электролите при катодной поляризации (а) и схема снижения выносливости: от коррозионной (1); водородной (2); от адсорбционной (3) усталости (б)

Водородная усталость наблюдается в электролитах под влиянием окклюзии металлом водорода и вызывает снижение долговечности у материалов, подверженных водородной хрупкости. В чистом виде она может проявляться при циклическом нагружении металлических образцов в электролите и поляризации от внешнего источника тока с достаточно большой плотностью. Кривые усталости при водородной и коррозионной усталости подобны, у них отсутствует истинный предел выносливости (см. рисунок 3, кривая 3).

Адсорбционная усталость всегда дает снижение условного предела коррозионной усталости (см. рисунок 4, б) и зависит от частоты нагружения. Кривая адсорбционной усталости подобна кривой усталости, полученной в нейтральных средах. Здесь наблюдается горизонтальный участок, позволяющий определить предел выносливости (см. рисунок 3, кривая 2), который могут повысить поверхностно-активные среды в зависимости от их охлаждающей способности. Изменение выносливости при этом происходит благодаря эффекту Ребиндера [3, 10].

Согласно основам трибофатики [10, 11] в условиях КорМУ наблюдаются прямой (влияние коррозионной среды на снижение характеристик сопротивления усталости металлов) и обратный эффекты (механическая активация физико-химических процессов коррозии и изменение свойств среды при ее длительном взаимодействии с механически возбужденной поверхностью металла) [10]. На рисунке 5 показано влияние циклических напряжений на скорость коррозии (обратный эффект).

Результаты испытания железа в 0,1 н. растворе KCl показали, что чем выше уровень циклических напряжений (меньших, чем предел выносливости в воздухе), тем больше скорость коррозии железа. Следовательно, одинаковые коррозионные потери достигаются по времени тем раньше, чем больше величина амплитуды напряжений.

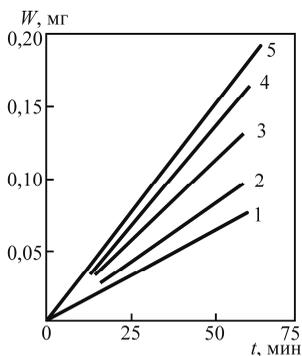


Рисунок 5 – Зависимость коррозионных потерь W от времени t для железа: 1 – ненапряженный металл; 2–5 – металл, испытываемый на усталость при σ_a 194, 233, 271, 310 МПа соответственно

Согласно коррозионно-механической гипотезе процесс коррозионного растрескивания имеет следующие основные стадии:

- возникновение и развитие первичных коррозионных углублений;
 - образование трещин;
 - механическое разрушение металла по оставшемуся живому сечению вследствие превышения действующими напряжениями предела прочности [10, 12].
- Особую роль механического фактора можно объяснить по данным рисунка 2.

Если $\sigma_a \geq \sigma_{-1}$ ($\sigma_a > 530$ МПа) (см. рисунок 2) долговечность образцов определяется уровнем амплитуды напряжений и смещение кривой 2 по отношению к кривой 1 обусловлено прямым эффектом.

Чем выше σ_a , тем меньше долговечность и слабее влияние коррозионного фактора. При $\sigma_a \ll \sigma_{-1}$ ($\sigma_a = 300$ МПа) наблюдается иная ситуация. Циклические напряжения интенсифицируют местное коррозионное повреждение (обратный эффект), а последнее, в свою очередь, инициирует усталостное разрушение (прямой эффект). Таким образом, участок кривой КорМУ, лежащий ниже предела выносливости стали в воздухе, в значительной мере обусловлен обратным эффектом. После долговечности $\sim 10^7$ циклов на кривой 2 обнаруживается перелом – интенсивность КорМУ резко снижается. По-видимому, это связано с тем, что напряжение, $\sigma_a < 260$ МПа принадлежит к тому интервалу, где существует пороговая амплитуда напряжений, которой соответствует минимальная скорость в данных условиях, а сам процесс коррозии становится преимущественно равномерным. В этом случае роль механического фактора в КорМУ ослабевает [10].

Основные механизмы обратного эффекта, связанные с коррозионной и водородной усталостью, разработаны и представлены в работах [9, 11]. По аналогии с ними была разработана и адсорбционная модель (рисунок 6).

На рисунке 6 представлены основные механизмы обратного эффекта при адсорбционной усталости. Модель «адсорбционная диффузия + деформирование» связывает развитие повреждений с механическим разрывом защитной пленки, за которым следует проникновение трещины в металл путем его растворения по незащищенным поверхностям. Циклическое деформирование металла и процесс адсорбции ПАВ компонентов среды приводят к трем основным эффектам. Адсорбционное влияние (позиция 1) на механические свойства твердого тела связано, прежде всего, со снижением уровня поверхностной энергии последнего (позиция 2), что облегчает (у кристаллических

тел) выход и разрядку на поверхности дислокаций. Снижение поверхностной энергии термодинамически обуславливает адсорбционную миграцию элементов адсорбата по поверхности адсорбента и проникновение его во многие дефекты поверхности типа щелей и их расклинивания (позиция 3). Эти элементы (атомы, молекулы или ионы) в процессе разрушения твердого тела проникают в зону предразрушения и включаются во взаимодействие с атомами (молекулами) твердого тела в момент разрыва или перестройки их связей у конца трещины, облегчая протекание процесса разрушения [3].



Рисунок 6 – Механизмы обратного эффекта, связанные с адсорбционной усталостью

На рисунке 7 представлена известная схема расположения адсорбированных молекул на поверхности твердого тела [1].

Адсорбируясь на поверхности, молекулы ориентируются относительно ее в зависимости от того, где расположен активный центр – полярная группа. Если молекула большой длины имеет полярную группу на конце, то она располагается перпендикулярно поверхности (см. рисунок 7, а). Противоположные концы (хвосты) этих молекул совершают ротационное движение, которое при увеличении температуры усиливается, и адсорбированные слои разрушаются. При наличии полярных групп на обоих концах (см. ри-

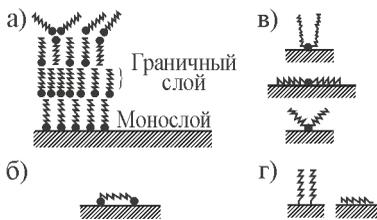


Рисунок 7 – Схема расположения адсорбированных молекул на поверхности твердого тела

сунок 7, б) молекулы располагаются параллельно поверхности твердого тела. Если полярная группа размещена посередине молекулы (см. рисунок 7, в), а также в случае адсорбции молекул неполярного вещества (см. рисунок 7, г) возможно как вертикальное, так и «лежачее» расположение молекул. Процесс адсорбции протекает постепенно до тех пор, пока не достигается насыщение граничного слоя молекулами адсорбата [1].

Из рисунков 3, 4, 6 и 7 видно, что время (число циклов до разрушения) и уровень циклических напряжений являются весьма "сильными" параметрами, которые управляют процессами водородной, адсорбционной и особенно коррозионной усталостей [10].

Таким образом, в данной работе выполнена систематизация исследований в области прямого и обратного эффекта при коррозионно-механической усталости. Показано влияние внешней среды на усталостную прочность циклически деформируемого металла. Кроме того, разработана схема основных механизмов обратного эффекта, связанных с адсорбционной усталостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Богданович, П. Н.** Трение и износ в машинах: учеб. для вузов / П. Н. Богданович, В. Я. Прушак. – Минск: Выш. шк., 1999. – 374 с.
- 2 **Гликман, Л. А.** Коррозионно-механическая прочность металлов / Л. А. Гликман. – М.: Машгиз, 1955. – 230 с.
- 3 **Карпенко, Г. В.** Влияние среды на прочность и долговечность металлов / Г. В. Карпенко. – Киев: Наукова думка, 1976. – 128 с.
- 4 **Олейник, Д. В.** Сопротивление усталости материалов и деталей машин в коррозионных средах / Д. В. Олейников, А. М. Магденко, С. П. Скляр. – Киев: Наукова думка, 1987. – 200 с.
- 5 **Пахмурский, В. И.** Коррозионная усталость металлов / В. И. Пахмурский. – М.: Металлургия, 1989. – 206 с.
- 6 **Романив, О. Н.** Механика коррозионного разрушения конструкционных сплавов / О. Н. Романив, Г. Н. Никифорчин. – М.: Металлургия, 1986. – 293 с.
- 7 **Романов, В. В.** Влияние коррозионной среды на циклическую прочность металлов / В. В. Романов. – М.: Наука, 1969. – 219 с.
- 8 **Рябченков, А. В.** Коррозионно-усталостная прочность стали / А. В. Рябченков, под ред. Г. В. Акимова. – М.: Машгиз, 1953. – 179 с.
- 9 **Сосновский, Л. А.** О механической активации коррозионных процессов при циклическом нагружении // Повышение надежности и долговечности машин и сооружений / Л. А. Сосновский. – Киев: ИПП АН УССР, 1991. С. 83–84.
- 10 **Сосновский, Л. А.** Трибофатика: износоусталостные повреждения в проблемах ресурса и безопасности машин / Л. А. Сосновский, Н. А. Махутов. – Москва-Гомель: ФЦНТИ "Безопасность" – НПО "Трибофатика", 2000. – 304 с.

11 **Сосновский, Л. А.** Трибофатика: проблемы и перспективы: доклад на тематической выставке АН СССР "Математика и механика – народному хозяйству" / Л.А. Сосновский. – Гомель: БелИИЖТ, 1989. – 65 с.

12 **Corrosion fatigue** / edited by O. Devereus [et al.]. – Houston. Texas: National Ass. of Corrosion Eng, 1972. – 172 p.

L. A. SOSNOVSKY, E. S. TARANOVA

INFLUENCE OF ENVIRONMENT ON RESISTANCE OF FATIGUE

Action of a working environment on fatigue properties of cyclically deformable metal is shown. The circuit of the basic mechanisms of the back effect connected with adsorptional fatigue is developed. Ordering of researches is executed in the field of direct and a back effect at corrosion-mechanical fatigue.

Получено 21.02.2012

**ISSN 2227-1104. Механика. Научные исследования
и учебно-методические разработки. Вып. 6. Гомель, 2012**

УДК 620.178.3

Е. С. ТАРАНОВА

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель

С. А. ТЮРИН

ПО «ГОМСЕЛЬМАШ», г. Гомель

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСКОРЕННАЯ ОЦЕНКА СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ

В работе представлен анализ ряда методов, с помощью которых определяют характеристики сопротивления усталости. Впервые для высокопрочного чугуна с шаровидным графитом марки ВЧТГ проведены ускоренные испытания на механическую усталость, в результате которых получены основные характеристики сопротивления усталости. Выполнено определение несущей способности и ресурса по изгибной прочности для высокопрочной стали и высокопрочного чугуна. Сравнительный анализ полученных результатов показал, что по данным критериям свойства чугуна ВЧТГ близки по значениям к высокопрочной стали (различие составляет 16–19 %). Это позволяет сделать заключение о том, что высокопрочный чугун с шаровидным графитом марки ВЧТГ может быть применен для изготовления зубчатых колес.

В настоящее время существует много практических примеров того, что аустенитно-бейнитные чугуны с шаровидным графитом (АБЧШГ) могут быть успешно применены взамен стальных кованых деталей [1–7]. Учеными ООО «НПО Трибофатика» совместно со специалистами ПО «Гомсельмаш»