

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Г. В. КАРПЕНКО

О ПРЕДЕЛЕ КОРРОЗИОННОЙ УСТАЛОСТИ*

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 15 IX 1952)

Наибольшее напряжение, выдерживаемое металлом без разрушения неопределенно большое число раз при циклическом нагружении, называется, как известно, пределом усталости (выносливости). Оно имеет важное значение в технике, так как позволяет при расчете устанавливать безопасные напряжения. Определяется предел усталости как ордината той части кривой усталости (построенной в координатах: напряжение σ — число циклов напряжений N или время), в которой она становится параллельной оси абсцисс (оси N). У черных металлов при обычной и адсорбционной усталости (в неактивной и поверхностно-активных средах) кривая усталости делается параллельной оси абсцисс между 1—6 млн. циклов нагружений. В коррозионно-агрессивных средах о поведении кривой усталости нет достаточных данных и нет единого мнения, существует ли предел коррозионной усталости.

Некоторые авторы (^{1,2}) указывают на непрерывное снижение усталостной прочности с увеличением времени пребывания в агрессивной среде или числа циклов нагружений в ней, другие (^{3,4}), признавая значительное снижение усталостной прочности с увеличением числа циклов нагружений, считают все же, что для стали между 10—50 млн. циклов нагружений это снижение прекращается.

Первая точка зрения основывается на том, что с увеличением длительности пребывания металла в агрессивной среде при любом напряжении, даже очень незначительном, наступает разрушение; нет предельного напряжения, соответствующего истинному пределу усталости, т. е. при коррозионной усталости всегда имеют дело с ограниченной выносливостью стали.

Вторая точка зрения исходит из предположения, что снижение усталостной прочности в коррозионных средах происходит под влиянием образования коррозионных трещин, подобных острым надрезам, действующим как концентраторы напряжений (⁵). Известно (⁶), что даже при самых острых надresaх на стальных деталях в неактивной среде не удается снизить предел усталости ниже 8 кг/мм². Исходя из этого, предполагают, что в коррозионно-агрессивных средах возможно получить при достаточно длительном испытании истинный предел усталости, ограниченный величиной, одинаковой для большинства сталей (независимо от их химического состава и термообработки), равной примерно 15 кг/мм². Последнее утверждение опровергается данными испытаний различных сталей в различных коррозионных средах. Так,

* Экспериментальная часть работы выполнена в Институте строительной механики Академии наук УССР.

Ю. Р. Эванс (2) приводит сводную таблицу испытаний различных сталей в пресной и соленой воде при базе $N = 50 \cdot 10^6$ циклов нагружений, согласно которой предел коррозионной усталости, в зависимости от среды, снижался для некоторых сталей до значения $10-6 \text{ кг/мм}^2$. Опыты А. В. Рябченкова (7) со сталью 50 в 0,1 N растворе KCl дали предел усталости, равный 6 кг/мм^2 , а в 3% растворе NaCl — 10 кг/мм^2 . Отсюда видно, что предел коррозионной усталости может быть ниже вышеуказанного значения 15 кг/мм^2 и зависит как от свойств стали, так и от состава коррозионной среды.

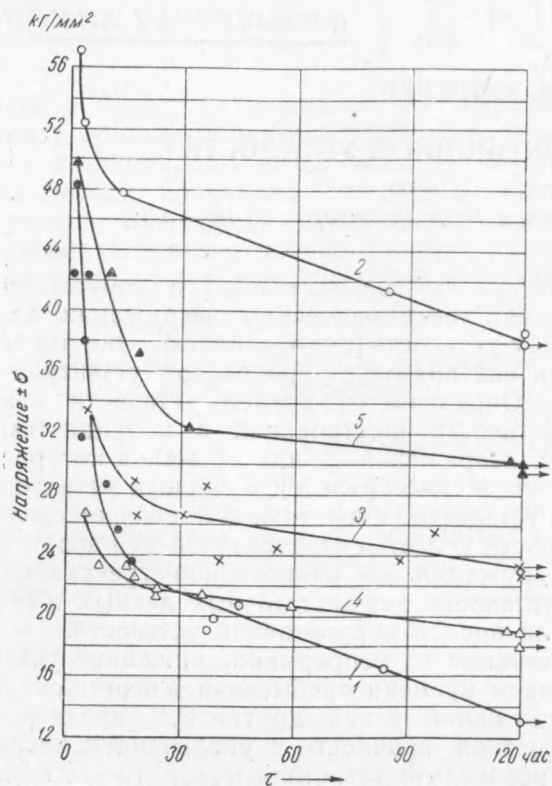


Рис. 1. Влияние коррозионной среды на форму кривых усталости. 1—сталь 40X мартенсит, $\beta = 17$; 2—сталь 40X троостит, $\beta = 44$; 3—сталь 40X сорбит, $\beta = 46$; 4—сталь 20X перлит-феррит, $\beta = 66$; 5—сталь ШХ15 мартенсит, $\beta = 34$

Наши опыты показали, что в более агрессивных растворах электролитов скорость снижения выносливости всегда выше, чем в воде. Скорость эта зависит также от частоты нагружений и от чистоты поверхности образца. Чем выше частота нагружений при одинаковом времени пребывания в агрессивной среде под нагрузкой, тем выше скорость снижения выносливости. Таким образом, время пребывания в среде и частота нагружений являются факторами, определяющими коррозионную выносливость. У шлифованных образцов было отмечено большее снижение выносливости под влиянием коррозионной среды, чем у токарно-обработанных.

* Испытания производились на вращающихся в различных средах и хорошо их перемешивающих стальных образцах на усталостных машинах типа НУ. Машины работали на чистый изгиб при симметричном цикле. Образцы были шлифованные (4 кл. чистоты поверхности) и токарно-обработанные (4 кл. чистоты поверхности)

На рис. 2 приведена кривая коррозионной усталости, полученная для мягкой крупнозернистой стали 20X перлит-ферритной структуры*. До $N = 30 \cdot 10^6$ циклов нагружений наблюдалась весьма высокая скорость снижения выносливости; в дальнейшем снижение выносливости замедлялось, становясь малозаметным.

С целью выявления влияния коррозионной среды на металл нами изготовлялись шлифы из испытуемых образцов. Все шлифы показали хорошо развившиеся коррозионные трещины усталости, идущие перпендикулярно к оси образца. Характерно, что были выявлены трещины как у образцов, сломавшихся при $N = 37 \cdot 10^6$ и $100 \cdot 10^6$, так и у несломавшегося образца, прошедшего $100 \cdot 10^6$ циклов при напряжении, составлявшем $\frac{2}{3}$ от разрушающего. На рис. 3а и б на вклейке представлены шлифы сломавшегося образца А ($N = 37 \cdot 10^6$, рис. 2) и на рис. 3 в и г — несломавшегося образца Б ($N = 10^8$, рис. 2).

Как видно из рис. 3, трещины коррозионной усталости имеют в основном транскристаллитный характер и, очевидно, развивались по сдвигам внутри кристаллитов. Эти трещины также хорошо развиты у неразрушившегося, работавшего при малом циклическом напряжении образца.

Для объяснения полученных результатов необходимо кратко изложить наши представления о механизме коррозионной усталости⁽⁸⁾. Действие коррозионной среды мы рассматриваем на первом этапе

течения коррозионно-усталостного процесса как действие поверхностно-активной среды, снижающей под влиянием адсорбционного эффекта Ребиндера усталостную прочность стали. Следующим этапом развития процесса коррозионной усталости является собственно коррозионный процесс, протекающий в ультрамикротрещинах, раскрывшихся под влиянием внешних напряжений и сил эффекта Ребиндера. Электрохимический коррозионный процесс внутри этих трещин вызывает появление коррозионных сил⁽²⁾, увеличивающихся со временем и способствующих росту ультрамикротрещин.

Интенсивное разрушение при коррозионно-усталостном процессе возможно в случае, если внешние циклически прикладываемые напряжения, совместно с напряжениями адсорбционно-расклинивающего эффекта и коррозионными напряжениями, превзойдут предел циклической текучести для данного микрообъема металла, примыкающего к концу микротрещины, причем это разрушение облегчается концентрацией напряжений около микротрещины. Если же эти напряжения будут меньше предела циклической текучести, то рост трещины значительно замедляется и будет происходить за счет коррозионных

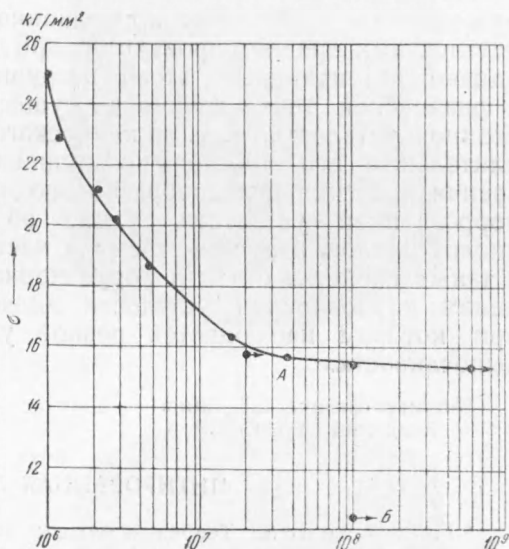


Рис. 2. Кривая коррозионной усталости стали 20X (перлит-феррит)

* Кривая получена на консольной машине конструкции Института строительной механики АН УССР, работающей при симметричном цикле нагружения с частотой 2000 циклов в минуту. Вода подавалась каплями на участок предполагаемого излома образца.

процессов внутри трещины; этому будут содействовать имеющиеся напряжения, недостаточные для пластической деформации металла, но достаточные для разрушения оксидной пленки, замедляющей коррозию.

При малых циклических нагрузках микротрещина, растущая с течением времени под влиянием коррозионного процесса, может достичь неблагоприятно расположенного в отношении деформации зерна и приобрести такие формы и размеры, когда концентрация напряжения около нее позволит действующим напряжениям превзойти предел циклической текучести и вызвать снова пластическую деформацию и интенсивный рост микротрещины.

Предложенная схема объясняет полученные опытные данные. Разрушение под действием коррозионной усталости (рост коррозионно-усталостных трещин) происходит при любом циклическом напряжении, однако интенсивность этого разрушения различна. Таким образом, с физической точки зрения не существует истинного предела коррозионной усталости, т. е. циклического напряжения, при котором при длительном его действии разрушение отсутствует. Однако с точки зрения практики целесообразно вводить понятие об условном пределе коррозионной усталости, помня об его условности и указывая число циклов, а лучше время и частоту, при которых он определен, а также свойства стали и коррозионной среды. Таким условным пределом коррозионной усталости является циклическое напряжение, при котором наблюдается резкое уменьшение скорости снижения выносливости.

Институт физической химии
Академии наук СССР

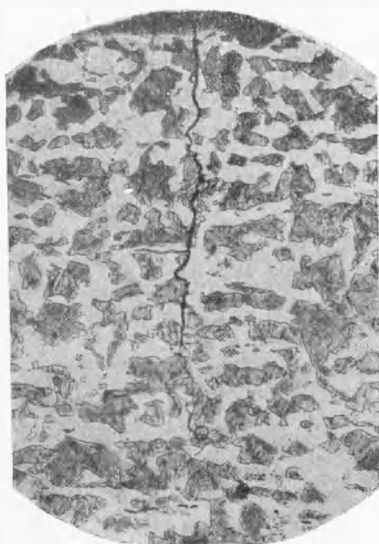
Поступило
16 III 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Г. В. Акимов, Теория и методы исследования коррозии металлов, 1945.
² Ю. Р. Эванс, Коррозия, пассивность и защита металлов, 1941. ³ С. В. Серенсен, Прочность металла и расчет деталей машин, 1937. ⁴ D. J. McAdam, Tr. ASST. 11, № 3, 335 (1927). ⁵ Я. Б. Фридман, Механические свойства металлов, 1946.
⁶ И. А. Одинг, Структурные признаки усталости металлов как средство установления причин аварий машин, 1949. ⁷ А. В. Рябченков, Защита стали от коррозионно-усталостных разрушений, ЦНИИТМАШ, кн. 31, 1949. ⁸ Г. В. Карпенко, ДАН, 77, № 5 (1951); 79, № 2 (1951).



a



б



в



г

Рис. 3. Микротрещины коррозионной усталости. Сталь 20Х (перлит-феррит). *a* — устье трещины, $\times 134$, $N=37 \cdot 10^6$; *б* — средняя часть трещины, $\times 134$, $N=37 \cdot 10^6$; *в* — трещина, $\times 313$, $N=10^8$; *г* — конец трещины, $\times 313$, $N=10^8$