

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Г. В. КАРПЕНКО

**ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ
НА ВЫНОСЛИВОСТЬ СТАЛИ ПРИ ЕЕ РАБОТЕ В ПОВЕРХНОСТНО-
АКТИВНЫХ И КОРРОЗИОННО-АКТИВНЫХ СРЕДАХ**

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 18 IX 1952)

В современных машинах наибольшие по амплитуде основные частоты циклических нагружений деталей связаны с числом оборотов машин и лежат в пределах до 1000 гц. В этой области частот в неактивной воздушной среде при отсутствии концентраторов напряжений выносливость стали не зависит от частоты. Возрастание частоты выше 1000 гц несколько повышает предел усталости (^{1,2}). Влияние частоты на выносливость стали при ее работе в поверхностно- и коррозионно-активных средах не выяснено, и нет никаких данных о влиянии частоты на течение процессов адсорбционной и коррозионной усталости.

Наши исследования влияния частоты на выносливость стали в активных средах проводились на усталостных машинах, работающих на чистый изгиб при симметричном цикле. Цилиндрические образцы диаметром 7,62 мм из различных сталей испытывались в ванне с соответствующей средой при частотах от 300 до 10 000 цикл/мин. В качестве поверхностно-активных сред были взяты: неполярный растворитель с поверхностно-активным веществом (масло МС + 2% олеиновой кислоты), полярный растворитель с поверхностно-активным веществом (вода + 2% изоамилового спирта); в качестве коррозионной среды — азрированная вода.

Критерием влияния среды на усталостную прочность стали было принято отношение предела усталости стали в данной среде к пределу усталости стали в воздухе: $\beta = \frac{\sigma_{-1 \text{ среда}}}{\sigma_{-1 \text{ воздух}}} \cdot 100\%$.

Наши предыдущие исследования (³) показали, что усталостные кривые, полученные в поверхностно-активной среде (названные нами «кривыми адсорбционной усталости»), похожи по виду на кривые, полученные в неактивной среде (например в воздухе, вазелиновом масле, гептане и т. п.), но лежат всегда ниже. В коррозионно-активных средах усталостные кривые имеют хорошо известный своеобразный вид; с увеличением числа циклов нагружений усталостная прочность непрерывно снижается, и кривая не имеет участков, параллельных оси абсцисс. В наших опытах добавка 2% изоамилового спирта — химически нейтрального поверхностно-активного вещества — к такой коррозионно-активной среде, как вода, приводила к получению усталостных кривых, подобных кривым, получаемым в поверхностно-активных неагрессивных средах. Это нами объясняется адсорбционно-пассивирующим действием изоамилового спирта (³), который не допускает

развития коррозионных процессов внутри ультрамикротрещин, раскрывшихся под совместным действием нагрузки и адсорбционного эффекта Ребиндера. Таким образом, активная среда, составленная из воды с добавкой 2% изо-С₅Н₁₁ОН, позволяет исследовать влияние частоты нагружения на выносливость стали, причем полученные в этой среде усталостные кривые являются кривыми адсорбционной усталости.

Наши опыты показали, что в исследуемых поверхностно-активных средах снижение предела усталости под влиянием адсорбции тем больше, чем ниже частота. На рис. 1 показано влияние частоты на предел усталости стали в указанных средах в координатах $\beta - n$, где n — число циклов в минуту. По оси ординат мы откладывали коэффициент β , что позволяет избежать влияния индивидуальных особенностей испытательных машин одинакового типа.

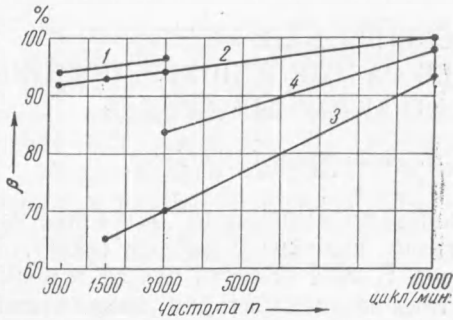


Рис. 1. Влияние частоты изменения напряжения на предел усталости стали 20X в поверхностно-активной среде. 1 — среда масло МС; образцы шлифованные (9-й класс чистоты поверхности); 2 — среда масло МС + 2% С₁₇Н₃₃СООН; 3 — среда Н₂О + 2% С₅Н₁₁ОН; 4 — среда та же, что 3, но образцы токарно обработанные (4-й класс чистоты поверхности)

Как видно из рис. 1, наибольшее снижение предела усталости было получено при наименьших из применявшихся нами частотах. В активированном масле снижение предела усталости для стали 20X достигало 8%; в воде + 2% С₅Н₁₁ОН для шлифованных образцов 35%. При высших частотах, применявшихся в наших опытах ($n = 10\,000$ цикл/мин), адсорбционного снижения предела усталости в активированном масле зафиксировано не было, а в воде с изоамиловым спиртом понижение для шлифованных образцов уменьшилось до 7,5%. Аналогичное явление наблюдалось и для грубо обработанных образцов (токарно-обработанные образцы 4-го класса чистоты поверхности), однако общий эффект снижения выносливости под влиянием среды был меньше.

Влияние частоты на ограниченную выносливость стали в пределах исследованных частот относительно невелико. Нами было установлено, что активная среда, как правило, несколько расширяет зону ограниченной выносливости стали. В начальной части усталостной кривой ограниченная выносливость в активных средах оказывалась иногда даже несколько больше, чем в воздухе, что объясняется, как мы показали (4), охлаждающим действием среды: в этом случае охлаждение, повышающее выносливость стали, преобладает над физико-химическим воздействием среды.

Наши исследования влияния частоты на выносливость стали в коррозионно-агрессивной среде проводились над сталью 20X перлит-ферритной структуры в воде (рН 6) при частотах от 2000 до 10 000 цикл/мин. Критерием влияния коррозионной среды на выносливость стали мы

брали коэффициент $\beta_N = \frac{\sigma_N \text{ среда}}{\sigma_N \text{ воздух}} \cdot 100\%$, представляющий собой отно-

шение напряжений, показывающих выносливость при данном числе циклов N .

На рис. 2 дана зависимость β_N от N . Как видно, с увеличением числа циклов нагружений выносливость стали в коррозионной среде снижается, причем это снижение, от числа циклов $5 - 6 \cdot 10^6$ до $20 \cdot 10^6$, протекает линейно с почти постоянным углом наклона для различных частот. Чем выше частота, тем меньше снижение выносли-

ности стали под влиянием коррозионной среды. Такое же явление мы наблюдали под влиянием поверхностно-активных сред.

Если данные тех же испытаний построить в координатной системе $\beta_N - \tau$, где τ — время пребывания стального образца в коррозионной среде под нагрузкой, то получают кривые, приведенные на рис. 3; характерными тут являются различные углы наклона кривых изменения выносливости в зависимости от времени. Чем выше частота, тем больше угол наклона кривой, т. е. тем выше скорость снижения выносливости*.

Объяснение полученных результатов возможно, если учесть, что при данной амплитуде от частоты изменения напряжения будет зависеть скорость

периодической деформации, протекающей при циклическом нагружении. Исследования В. И. Лихтмана, П. А. Ребиндера и Л. П. Яновой⁽⁵⁾ показали, что адсорбционное понижение прочности зависит от скорости деформации и температуры и может наблюдаться для данной

температуры только в определенной области скоростей деформации. Это объясняется тем, что проникновение в устья ультрамикротрещин поверхностно-активных веществ протекает во времени и зависит от скорости деформации. Если скорость деформации очень велика, то адсорбционный эффект Ребиндера может не успеть произойти за время деформации: мигри-

рующие из окружающей среды поверхностно-активные молекулы не успеют покрыть стенок раскрывающихся ультрамикротрещин, и их развитие будет протекать так же, как в неактивной среде. Кроме того, молекулы поверхностно-активных веществ, проникающие в ультрамикротрещины, которые раскрываются при деформации, затрудняют их смыкание под влиянием сил молекулярного сцепления, т. е. тормозят процесс отдыха. Все же при малых скоростях деформации смыкание ультрамикротрещин, происходящее при отдыхе, успевает ликвидировать адсорбционное облегчение деформации.

Повышение температуры увеличивает интенсивность отдыха, снижает адсорбцию, а также, улучшая подвижность поверхностно-активных молекул, облегчает выдавливание их из ультрамикротрещин.

На рис. 3 сплошные линии представляют зависимость β_N от τ , полученную опытным путем. Пунктирные линии — предположительное течение этой зависимости.

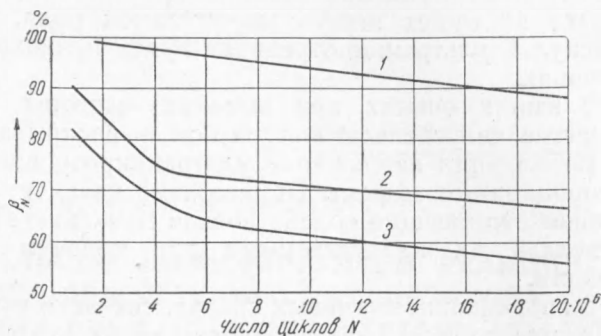


Рис. 2. Влияние частоты (n цикл/мин) изменения напряжения на выносливость стали 20X при ее работе в коррозионной среде в зависимости от числа циклов. 1 — $n = 10\,000$; 2 — $n = 3000$; 3 — $n = 2000$

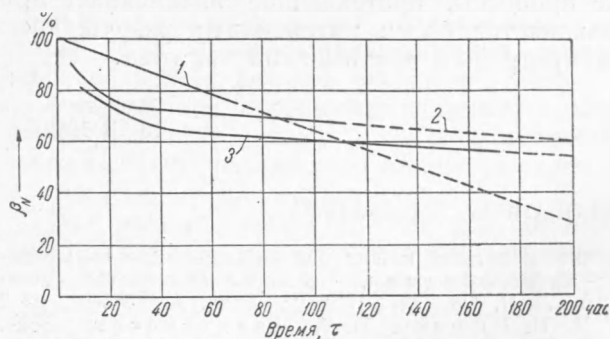


Рис. 3. Влияние частоты изменения напряжения на выносливость стали 20X при ее работе в коррозионной среде в зависимости от времени. 1 — $n = 10\,000$; 2 — $n = 3000$; 3 — $n = 2000$

Таким образом, с повышением температуры адсорбционное облегчение деформации уменьшается и начинает сказываться только при скоростях более высоких, чем при низких температурах.

При данной температуре адсорбционное облегчение деформации достигает максимума при таких скоростях деформации, когда процесс отдыха не будет играть значительной роли, а внедрение активных молекул в ультрамикротрещины будет происходить при оптимальных условиях.

В наших опытах при высоких частотах поверхностно-активные вещества не успевали внедриться в раскрывающиеся под влиянием растягивающих напряжений ультрамикротрещины и произвести в них адсорбционный эффект. Приходящие на смену растягивающим напряжениям сжимающие содействовали смыканию этих ультрамикротрещин и делали их недостижимыми для молекул поверхностно-активных веществ.

В коррозионно-активных средах, согласно нашим представлениям⁽⁶⁾, снижение усталостной прочности происходит под влиянием адсорбционного эффекта, а затем под влиянием электрохимического коррозионного процесса, протекающего внутри ультрамикротрещин, раскрывающихся под действием внешних напряжений и сил эффекта Ребиндера. Таким образом, сказанное о влиянии частоты на адсорбционную усталость имеет место и при не очень длительном пребывании в агрессивной среде. При длительном пребывании в коррозионной среде возможно получить большее снижение выносливости при больших частотах, чем при малых, за счет большей скорости понижения выносливости во времени (см. рис. 3). Основное значение при этом приобретают коррозионные процессы, протекающие интенсивнее при высоких частотах. Это объясняется более интенсивным разрушением оксидной пленки внутри микротрещин при высоких частотах.

Отдел дисперсных систем
Института физической химии
Академии наук СССР

Поступило
16 III 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. В. Серенсен, О прочности деталей машин при действии переменных нагрузок, изд. АН СССР, 1938. ² Я. Б. Фридман, Механические свойства металлов, 1946. ³ Г. В. Карпенко, ДАН, 73, № 6 (1950); Докл. АН УССР, № 2 (1951). ⁴ Г. В. Карпенко, И. И. Ищенко, П. А. Малиновская, Докл. АН УССР, № 5 (1952). ⁵ В. И. Лихтман, П. А. Ребиндер, Л. П. Янова, ДАН, 56, № 8 (1947). ⁶ Г. В. Карпенко, ДАН, 77, № 5 (1951); 79, № 2 (1951).