

## Влияние коррозии на усталостную прочность легированных сталей

Д. В. Сыздыков, Р. Р. Абдрахманова, О.Ю. Бургонова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия*

*Аннотация.* Рассмотрено влияние коррозии и ее продуктов на усталостную прочность легированных сталей.

*Ключевые слова:* коррозия, предел прочности, фреттинг-усталость, концентратор напряжения, предел выносливости.

В ходе одновременного воздействия коррозионной среды (например, влажного воздуха, пресной или морской воды) на металл детали и циклических напряжений или температуры наблюдается резкое падение предела выносливости, которое называется коррозионной усталостью (усталостным разрушением). Подобное явление наблюдается и в образцах в процессе усталостных испытаний при совместном воздействии коррозионно-активной среды. При этом в поверхностных слоях металла появляются усталостные трещины, в основном внутрикристаллитные. Около небольших локальных коррозионных повреждений поверхности, образующихся вначале, возникает поле напряжений, достигающее максимальных значений на дне коррозионной полости. Это приводит к интенсивному развитию коррозии и к постепенному углублению коррозионно-усталостной трещины.

Чем больше время нахождения детали в коррозионно-агрессивной среде и чем больше количество циклов переменных нагрузок в условиях коррозии, тем глубже будут трещины коррозионной усталости, тем ниже будет сопротивление усталости. В связи с этим кривая коррозионной усталости все время снижается, и предела выносливости, в обычном смысле слова, не существует. В качестве примера на рис. 1 показаны кривые коррозионной усталости трех марок сталей, из которых следует, что при количестве циклов до  $10^9$  наблюдается падение кривой усталости. Поэтому под пределом выносливости понимается ограниченный предел выносливости, соответствующий определенному количеству циклов. Из рисунка видно, что с увеличением базы испытаний с  $10^7$  до  $10^9$  циклов предел выносливости отполированных образцов из стали 20ГСА снижается на 27 %, из стали 0Х12НДЛ – на 42 % и из стали 00Х12НЗД – на 18 %.

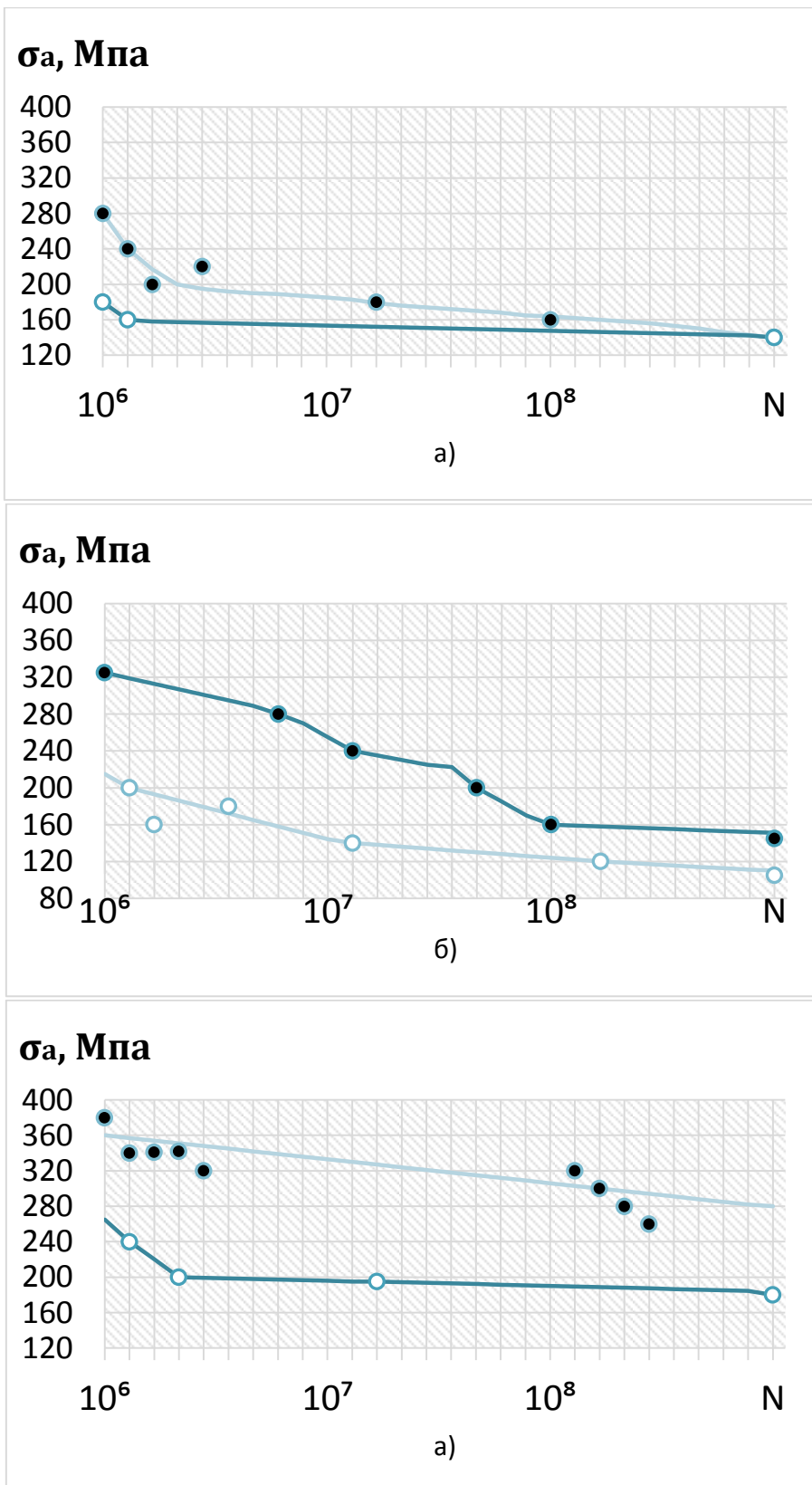


Рисунок 1 – Кривые коррозионной усталости образцов из сталей 20ГСА (а), 0Х12НДЛ (б) и 00Х12НЗД (в) без концентрации напряжений (темные точки) и с надрезом (светлые точки).

С повышением предела прочности стали резко увеличивается отрицательное влияние коррозии на сопротивление усталости, что связано с более высокой чувствительностью высокопрочных сталей к концентрации напряжений, возникающей у коррозионных трещин. В результате с увеличением предела прочности стали пределы коррозионной выносливости не увеличиваются, сохраняясь на том же уровне, что и у сталей малой прочности.

Влияние коррозии при расчете можно учесть коэффициентом  $\beta_k$ , представляющим отношение предела выносливости  $\sigma_{-1}^k$ , к пределу выносливости  $\sigma_{-1}$  полированного образца, т. е.  $\beta_k = \sigma_{-1}^k / \sigma_{-1}$  [3].

Причиной резкого уменьшения выносливости вследствие коррозии являются коррозионные повреждения поверхностного слоя, вызывающие значительную концентрацию напряжений, а так же ослабление сопротивления образованию трещин.

Снизить влияние состояния поверхностного слоя на усталость можно соответствующими технологическими методами обработки, приводящим к увеличению прочности поверхностных слоев. К числу таких методов относятся: наклеп поверхностного слоя, обработка дробью и т. п.; химико-термические методы – азотирование, цементация, цианирование, цинкование; термические – поверхностная закалка токами высокой частоты или газовым пламенем. Эти методы обработки приводят к повышению прочности поверхностного слоя и образованию в нем значительных сжимающих остаточных напряжений, затрудняющих появление усталостных трещин, а потому влияющих на повышение предела выносливости [1].

Дополнительным фактором, вызывающим усталостное растрескивание являются повреждения, возникающие под действием фреттинга. Механизм фреттинга по своим характерным признакам относится к наиболее сложным по своей природе процессам. Он, с одной стороны, включает физико-химические процессы, протекающие на молекулярном уровне, вследствие чего в зоне реального контакта образуются окислы металлов сопряженных деталей (фреттинг-коррозия). С другой стороны, он включает механические процессы разрушения и абразивного износа в зоне контакта в субмикроскопических и макроскопических объемах поверхностного слоя деталей. Эти процессы тесно связаны между собой, а преобладание того или иного механизма на различных этапах и при разных соотношениях параметров процесса, как правило, изменяется и по-разному влияет на сопротивление усталости (фреттинг-усталость).

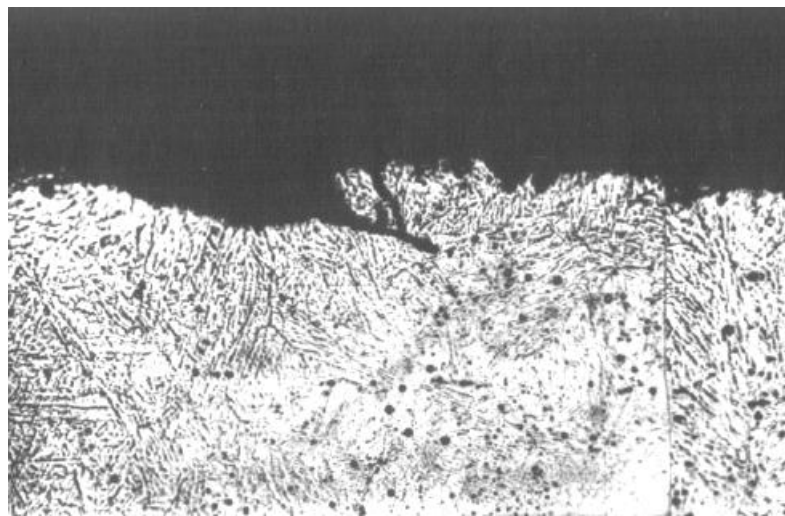
Отделяющиеся при фреттинге мельчайшие частицы материала обладают очень высокой энергией, поэтому для появления окислов достаточно наличие следов кислорода. В большинстве случаев твердость образующихся окислов существенно превышает твердость основных материалов [2].

Рассматривая процесс фреттинга с точки зрения механики деформируемого твердого тела, можно считать его одним из видов контактного взаимодействия тел, например, как частный случай контакта полусфер или полуцилиндров при наличии нормальной и касательных составляющих.

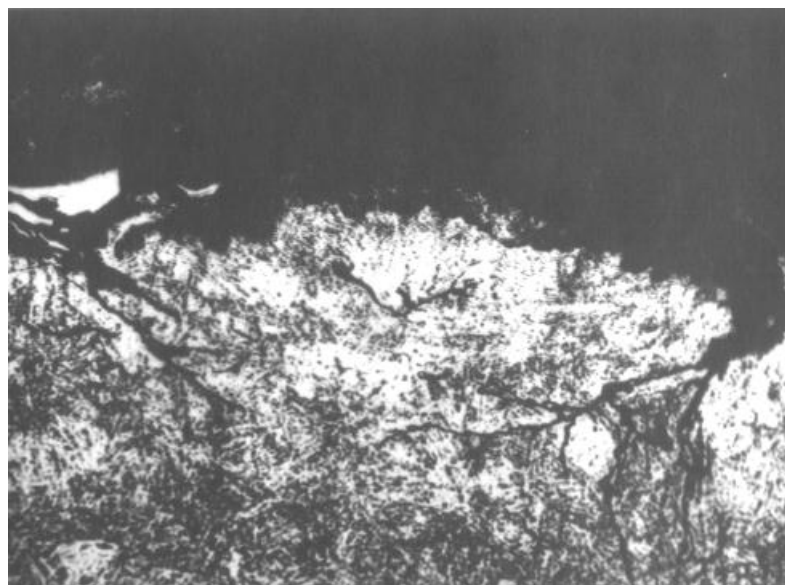
Возникающее в контактах напряженное состояние является сложным, где действуют одновременно составляющие от нормальных напряжений сжатия и от сил трения, способствующих образованию знакопеременных касательных напряжений.

Таким образом, элементарный объем материала в зоне контакта находится в условиях трехосного напряженного состояния и подвергается циклическому деформированию. При этом возникает градиент напряжений по глубине слоя.

Возникающие повреждения в поверхностном слое играют роль концентраторов напряжений или начальных трещин (рис. 2), дальнейшее развитие которых может в отдельных случаях прогнозироваться по законам линейной механики разрушения.



*a*



*б*

Рисунок 2 – Образование усталостных трещин и повреждений при фреттинг-коррозии: а – поверхностные трещины; б – поверхностные и подповерхностные трещины усталости

Предел выносливости при фреттинге в зависимости от материала контактирующих пар, условий в зоне контакта (наличия покрытий, упрочнения и т.д.) вида нагружения и величины нагрузок может достигать значений  $(0,60 \dots 0,15) \sigma_{-1}$  – предела выносливости обычной многоциклового усталости.

Силовое воздействие в контакте поверхностей (локальные участки при реальном контакте), находящихся, как правило, в трёхмерном напряжённом состоянии и в условиях возвратно колебательных перемещений, способствует возникновению микро- и макротрещин, которые становятся очагами разрушения от фреттинг-усталости при воздействии на детали даже умеренных по величине переменных напряжений. Твёрдые частицы окислов, взаимодействуя с поверхностью контакта сопряжённых деталей, могут образовать на них каверны.

Положительный эффект, понижающий восприимчивость к фреттинг-усталостному разрушению, даёт применение коррозионно-устойчивых сталей, а также нанесение покрытий. Так, азотирование с дополнительным нанесением порошка дисульфида молибдена, гальваническое хромирование, обработка поверхности пескоструйным методом с последующим нанесением металлической пыли свинцовистой бронзы, покрытие из неметаллических материалов дают возможность успешно бороться усталостным растрескиванием [4].

#### Библиографический список

1. Воробьева Г.Я. Коррозионная стойкость материалов / Г.Я. Воробьева – 2-е изд., переработ. и доп. – М.: Химия, 1975. – 815 с.
2. Голего Н.Л. Фреттинг-коррозия металлов / Н.Л. Голего, А.Я. Алябьев, В.В. Шевеля. – Киев, изд-во «Техника», 1974, 272 с.
3. Карпенко Г.В. Прочность стали в коррозионной среде / Г.В. Карпенко – М.; МАШГИЗ, 1963. – 187 с.
4. Петухов А.Н. Фреттинг и фреттинг-усталость конструкционных материалов и деталей. Вопросы авиационной науки и техники. – серия: Авиационное двигателестроение. – М.: ЦИАМ 2006. Вып.4 (1328), с.29-58