

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Г. В. КАРПЕНКО

К ВОПРОСУ ОБ ОБРАЗОВАНИИ МИКРОТРЕЩИН УСТАЛОСТИ

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 23 VI 1950)

Теория адсорбционного облегчения деформации и разрушения твердого тела, разработанная академиком П. А. Ребиндером и его сотрудниками ⁽¹⁾, дает нам возможность подойти к объяснению образования микротрещин усталости.

Впервые динамику процесса развития усталостных трещин в поликристаллических телах наблюдал в 1944 г. Н. Н. Афанасьев ⁽²⁾, при помощи остроумного приспособления зафиксировавший после нескольких тысяч циклов нагружения появление в отдельных зернах испытуемого стального образца линий сдвигов, обычно наблюдаемых при пластических деформациях в наиболее слабых местах кристаллической решетки. Постепенно, с увеличением числа циклов, число сдвигов увеличивалось, а ширина их росла до тех пор, пока в некоторый момент одна из линий сдвигов не превращалась в микротрещину, развитие которой происходило в ускоренном темпе.

Опыты П. А. Ребиндера, В. И. Лихтмана и их сотрудников ⁽¹⁾ над облегчением деформации монокристаллов в адсорбционно-активной среде показали, что число сдвигов в процессе деформации получалось при этом значительно большим, чем в инактивной среде, что соответствовало значительному измельчению пачек скольжения. Это объясняется увеличением числа развивающихся при деформации ультрамикротрещин*, появление которых на основе слабых мест в решетке поверхностных зерен металла облегчается вследствие понижения поверхностной энергии тела в результате адсорбции.

Поверхностная энергия твердого тела и ее распределение по поверхности являются важными факторами, влияющими на появление сдвигов с последующим образованием трещин усталости. Чем выше поверхностная энергия твердого тела, тем труднее образовать новую поверхность микротрещины и тем выше должен быть предел усталости. Это подтверждается исследованиями усталости в среде поверхностно-активных веществ ⁽³⁻⁵⁾, снижающих поверхностную энергию тела и тем самым облегчающих образование и развитие трещин усталости и снижающих предел усталости.

Наглядным подтверждением сказанного является рис. 1, показывающий снижение предела усталости для стальных образцов (сталь 20Х), испытываемых при знакопеременном изгибе в активных средах (неактивное вазелиновое масло с добавкой 2% изоамилового спирта или олеиновой кислоты).

Известно, что распределение поверхностной энергии по поверхности кристалла неравномерно. Различные его грани, ребра и углы имеют

* Обратимые микрощели (ультрамикрощели), рассматриваемые в работах П. А. Ребиндера и его сотрудников, мы называем ультрамикротрещинами в отличие от обычных микротрещин, обнаруживаемых микроскопическими исследованиями.

различную поверхностную энергию. Значительно сложнее обстоит дело с поликристаллическими телами, например с техническими металлами. Произвольная ориентировка зерен приводит к их выводу на поверхность различными гранями, ребрами и углами с различной концентрацией поверхностной энергии. Это усугубляется ультрамикронеровностью поверхности, приводящей к концентрации поверхностной энергии на выступах и к снижению ее во впадинах.

Образование сдвигов, а затем микротрещин усталости происходит преимущественно на участках с минимумом поверхностной энергии. Такими местами являются ультрамикротрещины, возникающие на основе дефектов кристаллической решетки и также под влиянием напряже-

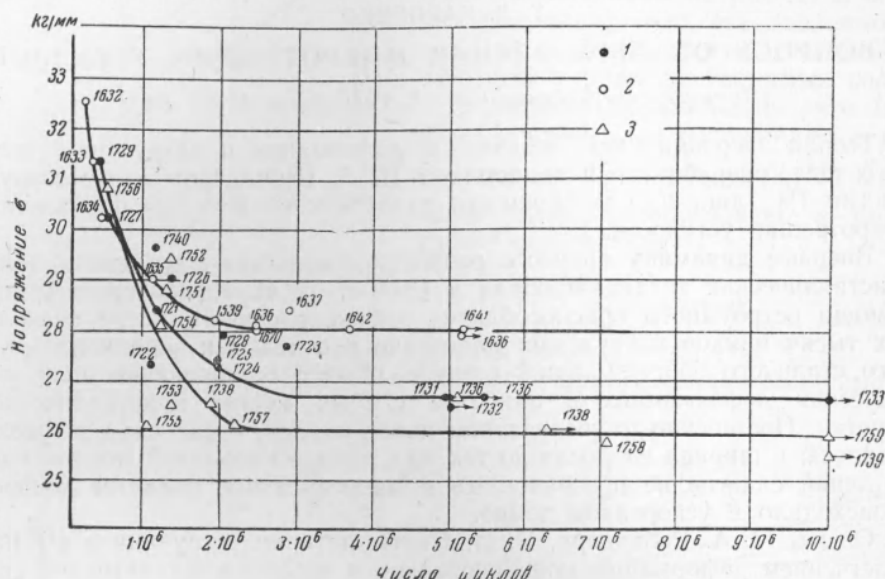


Рис. 1. Влияние поверхностно-активных веществ на σ_{-1} . Сталь 20Х; феррит + перлит; обработка — шлифовка; частота нагружений 1500 мин.⁻¹. 1—Вазелиновое масло + 2% $C_6H_{11}OH$, 2—воздух, 3—вазелиновое масло + 2% $C_{17}H_{33}COOH$

ний, вызванных более плотной упаковкой атомов в поверхностном слое (6). При напряженном состоянии тела в инактивной среде эти ультрамикротрещины могут самопроизвольно залечиваться под влиянием молекулярных сил сцепления (1) и снова возникать, не представляя опасности (вследствие малых размеров) в отношении концентрации напряжений. Дальнейшее их развитие в микротрещины усталости возможно только при переходе предела циклической текучести для данного места твердого тела.

В поверхностно-активной среде, под влиянием адсорбционного эффекта Ребиндера, ультрамикротрещины развиваются более интенсивно, раздвигаясь адсорбционными слоями, и дают начало многочисленным сдвигам, которые при механических воздействиях, более слабых, чем в инактивной среде, превращаются в микротрещины усталости. Концентрация напряжений около этих микротрещин интенсивно содействует их росту.

Другими «опасными» местами оказываются всевозможные поверхностные повреждения (микротрещины, надрывы металла и т. п.), появляющиеся, например, при механической и термической обработке металлов. Эти места являются наиболее благоприятными для образования и роста трещин усталости, так как в тупиковых частях микротрещин поверхностная энергия достигает своего минимума и около них будет наблюдаться концентрация напряжений, значительно содействующая

росту трещин, причем в тупиковых частях этих дефектов должен иметь место адсорбционный эффект Ребиндера.

Из сказанного явствует, что различная обработка твердого тела, характеризующаяся ультрамикроеметрией поверхности, вызывает различное распределение поверхностной энергии по ней, а стало быть, и различие условий образования микротрещин усталости и влияния на этот процесс поверхностно-активных веществ.

Рис. 2 показывает снижение предела усталости углеродистой стали ($\sigma_B = 49$ кГ/мм²) под влиянием поверхностно-активных веществ при различной обработке образца*. Как видно из рис. 2, поверхностно-активные вещества снизили предел усталости шлифованного образца (8-й класс чистоты поверхности) на 25%, тогда как у токарно-обработанного образца (6-й класс чистоты) — только на 15%, причем предел усталости для обоих типов образцов стал почти равным.

Аналогичные результаты получены и на других сталях и при другой чистоте поверхности. Например, для закаленной стали 40X (сорбитная структура) в воде с добавкой 2% изоамилового спирта предел усталости снизился для образцов с полированной поверхностью (10-й класс чистоты поверхности) на 54%, а для образцов с токарно-обработанной поверхностью всего на 44%, причем предел усталости полированных образцов сделался ниже предела усталости токарно-обработанных образцов.

Известно, что в неактивных средах, например в воздухе, образцы с высокой чистотой поверхности (шлифованные и полированные) имеют более высокий предел усталости, чем образцы с малой чистотой поверхности (токарно-обработанные). Это объясняется концентрацией напряжений в микровпадинах поверхности и характеризуется технологическим коэффициентом концентрации напряжений, который для случая, приведенного на рис. 2, равен $\beta_K = 1,14$.

В поверхностно-активной среде концентрация напряжения в микровпадинах грубо обработанных образцов будет иметь меньшее значение для снижения предела усталости, чем большее влияние адсорбционного эффекта у шлифованных и полированных образцов. Действительно, наиболее адсорбционно-активными являются определенные места кристаллов, выходящих на поверхность стального образца. Тонкая обработка (шлифовка) дает более высокодисперсную поверхность, чем грубая обработка, и увеличивает число активных мест на поверхности образца, в связи с чем адсорбционное действие поверхностно-активной среды сильнее выражено у этих образцов, чем у грубо обработанных.

Высказанная точка зрения подтверждается также нашими опытами

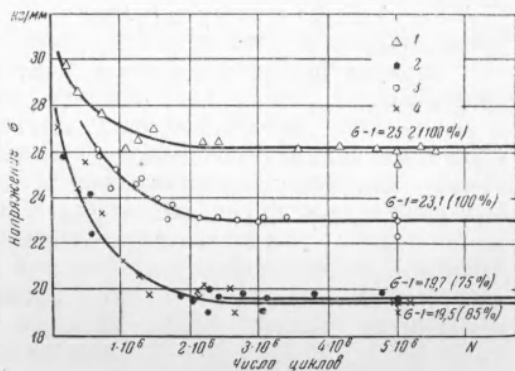


Рис. 2. Влияние поверхностно-активных веществ на σ_{-1} при различной чистоте поверхности. Углеродистая сталь; феррит+перлит; частота нагрузок 10000 мин.⁻¹ Образцы шлифованные 8-го класса чистоты поверхности: 1—в воздухе, 2—в 98% $H_2O + 2\% C_5H_{11}OH$. Образцы токарно-обработанные: 3—в воздухе, 4—в 98% $H_2O + 2\% C_5H_{11}OH$

* В качестве активной среды нами взята дистиллированная вода с добавкой 2% изоамилового спирта. Нами установлено, что поверхностно-активные вещества, прибавленные к коррозионно-активной среде (вода), являются пассиваторами коррозии металла и пренебрегают развитию коррозионной усталости. В таких средах нами получен для различных сталей явно выраженный предел усталости, не зависящий от времени, чего не удается получить в чистой воде.

с мелкозернистыми структурами стали (сорбит) и с крупнозернистыми структурами (перлит + феррит). Первые обнаруживают большее понижение усталостной прочности под влиянием поверхностно-активных веществ, чем вторые.

Большинство деталей машин работает при циклической нагрузке в присутствии поверхностно-активных веществ (в смазке), поэтому высказанные представления о процессе образования микротрещин усталости приводят к выводам о выборе технологии обработки таких деталей.

Институт строительной механики
Академии наук УССР

Поступило
17 VI 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ П. А. Ребиндер, Юбил. сборн. АН СССР, 1, 533 (1947); П. А. Ребиндер и Б. И. Лихтман, ДАН, 56, 723 (1947); В. И. Лихтман, Усп. физ. наук, 39, в. 3 (1949). ² Н. Н. Афанасьев, ЖТФ, 14, в. 10—11, 638 (1944). ³ Ш. Я. Коровский, ДАН, 59, № 8 (1948). ⁴ Г. В. Карпенко, Докл. АН УССР, № 3, 39 (1949); № 6, 58 (1949). ⁵ Д. П. Орлов и Г. И. Логгинов, ДАН, 70, № 2 (1950). ⁶ Н. К. Адам, Физика и химия поверхностей, 1947.