

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Л. А. ГЛИКМАН и В. П. ТЭХТ

К ВОПРОСУ О ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЕ ПРОЦЕССА
УСТАЛОСТИ

(Представлено академиком И. П. Бардиным 5 VIII 1952)

Углубление существующих представлений о физической природе процесса усталости имеет большое значение для установления новых путей повышения усталостной прочности и определения признаков степени усталости.

При изучении физической природы процесса усталости были использованы механические и рентгеновские методы исследования. Изучалось изменение усталостной прочности и рентгенографической картины на различных стадиях предварительного циклического воздействия, при напряжениях ниже и выше предела усталости. Эти изменения изучались непосредственно после циклического воздействия, а также после старения и высокого отпуска.

Оценка изменений усталостной прочности производилась на основании полных усталостных испытаний с построением кривых усталости.

Усталостные испытания производились при изгибе вращающихся консольных образцов.

Рентгенографические исследования производились с кобальтовыми и хромовыми лучами. Образцы устанавливались в специальной камере, позволявшей точно координировать место съемки и получать на одной пленке интерференционные линии от плоскостей (310) и (220), по которым производилась оценка степени искажений атомной решетки (остаточных напряжений 3-го рода) по методу, предложенному В. И. Ивероновой и Т. П. Костецкой⁽¹⁾.

Дополнительный отпуск образцов непосредственно после их изготовления, а также старение и промежуточный отпуск в процессе циклического воздействия производились в вакуумной печи.

Все испытания производились на углеродистой стали 35 и нержавеющей стали типа Ж-2. Пределы усталости исследованных сталей имели следующие значения: углеродистая сталь $\sigma_{-1} = 23$ кг/мм² и сталь Ж-2 $\sigma_{-1} = 33$ кг/мм².

В работе были установлены некоторые новые экспериментальные факты, позволившие внести уточнения в существующие представления о физической природе процесса усталости.

1. Предел усталости непосредственно после циклического перенапряжения вначале несколько повышается, а затем понижается. Промежуточное старение при циклическом перенапряжении повышает предел усталости.

Промежуточный высокий отпуск при кратковременном циклическом перенапряжении практически не изменяет предела усталости. Тот же от-

пуск снижает усталостную прочность при длительном перенапряжении (рис. 1).

2. Подтверждено возникновение искажений атомной решетки (остаточных напряжений 3-го рода) в процессе устания (^{2, 3}) и дано уточнение характера нарастания этих искажений (рис. 2). Степень искажений зависит от материала и предельного напряжения цикла и растет с увеличением последнего.

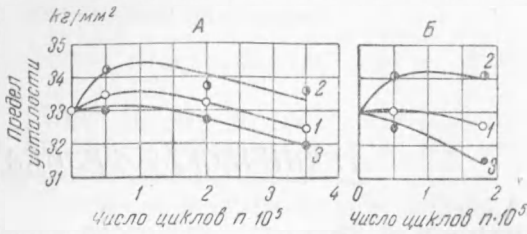


Рис. 1. Изменение предела усталости нержавеющей стали (Ж-2) в зависимости от предварительного циклического воздействия при напряжениях выше предела усталости. А — перенапряжение 10%, Б — перенапряжение 20%. 1 — непосредственно после циклического воздействия; 2 — после циклического воздействия и старения при температуре 250°; 3 — после циклического воздействия и отпуска при температуре 650°

3. Установлено, что промежуточный высокий отпуск полностью снимает искажения в атомной решетке, возникшие на любой стадии процесса устания (рис. 2).

Обнаружено после циклического перенапряжения и промежуточного отпуска некоторое увеличение скорости нарастания искажений атомной решетки в процессе устания может служить косвенным признаком по-

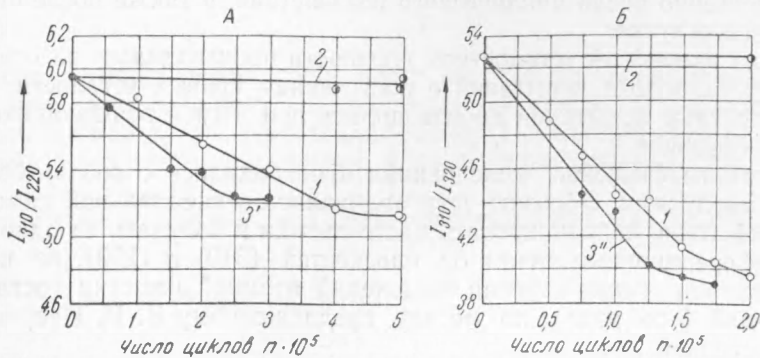


Рис. 2. Изменение относительной интенсивности интерференционных линий от плоскостей (310) и (220) для углеродистой стали 35 в зависимости от циклического воздействия при напряжениях выше предела усталости (перенапряжение 20%). А — углеродистая сталь, Б — нержавеющая сталь Ж-2; 1 — непосредственно после циклического воздействия; 2 — после циклического воздействия и отпуска при температуре 650°; 3 — после 20% перенапряжения при $3 \cdot 10^5$ циклах (3') и $1,5 \cdot 10^5$ циклах (3''), отпуска при температуре 650° и последующего циклического воздействия

явления в металле «разрыхления», которое не снимается отпуском (рис. 2).

4. Установлено, что характер и свойства искажений атомной решетки при пластическом деформировании в условиях статического растяжения качественно одинаковы с искажениями, возникающими в процессе устания. В конечной стадии пластической деформации, так же как и в конечной стадии устания, наблюдается значительное затухание искаже-

ний, а также наблюдается полное снятие искажений путем высокого отпуска на любой стадии пластического деформирования (рис. 3).

При усталости, в отличие от статического деформирования, не обнаружено расширения интерференционных линий.

5. Результаты настоящей работы и их анализ позволили прийти к выводу, что ответственные за упрочнение металла в процессе циклического воздействия искажения атомной решетки (остаточные напряжения 3-го рода) являются обычным признаком пластической деформации, протекающей при усталости в отдельных «ослабленных» зернах, и поэтому по существу эти искажения не являются структурным признаком процесса усталости.

Развитие искажений атомной решетки в процессе циклического воздействия при напряжениях выше предела усталости после достижения критической степени искаженности приводит к разрыву межатомных связей по плоскостям скольжения и к развитию так называемого «разрыхления».

Постепенное развитие «разрыхления» приводит вначале к субмикроскопическим нарушениям сплошности, а затем к зарождению и развитию микро- и макроскопических трещин усталости.

Таким образом, упрочнение является лишь первой подготовительной фазой процесса усталости, и только начиная с определенного числа циклов, различных для разных напряжений выше предела усталости, упрочнение входит во вторую фазу, собственно фазу усталостного разрушения, характеризуемую зарождением и развитием «разрыхления», переходящего в зарождение и развитие трещин усталости.

Таким образом, упрочнение является лишь первой подготовительной фазой процесса усталости, и только начиная с определенного числа циклов, различных для разных напряжений выше предела усталости, упрочнение входит во вторую фазу, собственно фазу усталостного разрушения, характеризуемую зарождением и развитием «разрыхления», переходящего в зарождение и развитие трещин усталости.

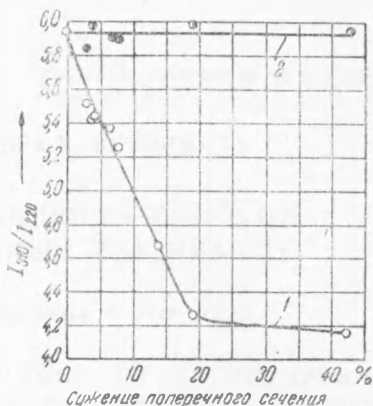


Рис. 3. Изменение относительной интенсивности интерференционных линий от плоскостей (310) и (220) для углеродистой стали 35 в зависимости от степени пластической деформации. 1 — непосредственно после пластической деформации; 2 — после пластической деформации и отпуска при температуре 650°C .

Поступило
29 V 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. И. Иверонова, Т. П. Костецкая, ЖТФ, 10, в. 4 (1940). ² И. В. Виккер, ЖТФ, 10, в. 16 (1940). ³ Ю. С. Терминасов, ЖТФ, 18, в. 4 (1948).