

Ф. П. РЫБАЛКО и В. К. ФАРАФОНОВ

## РАЗРУШАЮЩИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ КРУЧЕНИЕМ ИЗОТРОПНОГО МАТЕРИАЛА

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 19 X 1953)

При макроскопическом описании поведения металлов под нагрузкой обычно различают два типа разрушения: 1) разрушение путем отрыва и 2) разрушение путем среза (<sup>1</sup>). При этом считается, что разрушение отрыва происходит под действием нормальных (растягивающих) напряжений, а разрушение среза — под действием касательных (срезающих) напряжений. Такое разделение разрушения на два типа (применимое к поликристаллам) позволяет хорошо классифицировать изломы материалов при основных способах нагружения. Следовательно, принимается, что разрушающими напряжениями (в зависимости от состояния материала и способа нагружения) могут быть как нормальные, так и касательные.

Иная точка зрения, высказанная М. В. Якутовичем (<sup>2</sup>) и поддерживаемая другими исследователями (<sup>3, 4</sup>), сводится к утверждению, что всякое разрушение обусловлено действием только нормальных напряжений, т. е. всякое разрушение микроскопически должно сводиться к отрыву. Согласно этой точке зрения, скалывающие напряжения ответственны за деформацию и подготовку материала к разрушению.

Экспериментальным подтверждением ответственности нормальных напряжений за всякое механическое разрушение послужили опыты В. А. Павлова (<sup>3</sup>) и М. В. Якутовича (<sup>5</sup>) по исследованию разрушения поликристаллического алюминия и плексигласа. Ими было показано, что начальные трещины разрушения при растяжении всегда ориентированы или перпендикулярно растягивающему усилию, или перпендикулярно его нормальной составляющей к плоскости скольжения.

Однако выбор одноосного растяжения в качестве способа приложения нагрузки для определения разрушающих напряжений нельзя считать удачным. Дело в том, что при одноосном растяжении максимальные нормальные напряжения по абсолютному значению в два раза превосходят наибольшие касательные напряжения. Такое соотношение между нормальными и скалывающими напряжениями явно способствует возникновению трещин под действием нормальных напряжений, что авторами и было установлено. Касательные же напряжения в этом случае не проявились даже в ориентировке макроповерхности разрушения.

Учитывая это, мы считали, что установление характера разрушающих напряжений можно получить при исследовании начальной стадии разрушения изотропного материала, подвергая его сдвиговым деформациям, приводящим к макроскопически срезovому разрушению.

Для осуществления сдвиговых деформаций было выбрано кручение. При выборе способа нагружения мы исходили из следующих соображений:

1) При кручении максимальные деформации и напряжения раньше всего достигаются на поверхности образца. Это позволяет вести наблюдения за разрушением на более ранней стадии его развития.

2) В случае деформирования кручением нет преобладания нормальных напряжений над касательными.

3) При кручении на поверхности образца создаются условия деформации, приближающиеся к чистому сдвигу. Это позволяет получить в наиболее чистом виде макроскопическое разрушение путем среза.

4) Локализация деформации при кручении не изменяет формы образца и деформированного состояния так сильно, как это имеет место при растяжении (в результате образования шейки).

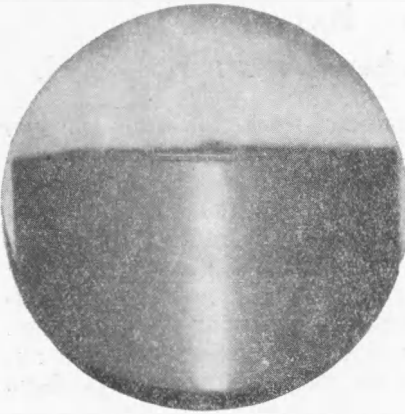


Рис. 1. Фотография конца одной из половинок образца, разрушенного кручением;  $\times 8,3$

В качестве изотропного материала нами был выбран плексиглас, позволяющий вести наблюдения в процессе деформации за изменениями, происходящими по всему объему образца. Из плексигласа на токарном станке вытачивались образцы, рабочая часть которых представляла собой полые цилиндры диаметром 6 мм и длиной 20 мм. Поверхность рабочей силы образцов тщательно полировалась. Полировка производилась (окисью магния) до тех пор, пока на полируемой поверхности не было заметно под микроскопом при увеличении в 50 раз никаких рисок. Диаметр образцов по длине выдерживался с точностью до 0,01 мм.

Шлифовка, полировка и испытание образцов производились на точном токарном станке марки 1612В-491. На-

блюдение за поверхностью образцов в процессе деформации производилось в бинокулярную лупу при 45-кратном увеличении.

Учитывая, что плексиглас, в зависимости от скорости и температуры деформирования, может дать макроскопическое разрушение или отрыва или среза, испытания производились при различных скоростях деформирования, изменяющихся в 60 раз (от 1 до 60 об/час), и при различных температурах. Различные температуры испытания достигались путем деформирования образцов в водяной ванне, температуру которой можно было изменять (от комнатной до  $100^{\circ}$ ) путем регулирования тока в обмотке электронагревателя. Температура контролировалась ртутным термометром.

В результате опытов установлено, что макроскопически срезовое разрушение получается при скорости деформирования 1 об/час в области температур от  $50$  до  $65^{\circ}$ . При более высоких температурах очень высокая пластичность плексигласа не обеспечивает устойчивости образцов, они сильно изгибаются в процессе деформирования. При других скоростях деформирования среза не получается при любых температурах, а получают разрушения отрыва.

Наблюдения над изменением поверхности образцов в процессе деформирования показали, что любому несрезовому излому предшествует появление трещин, ориентированных под углом  $\cong 45^{\circ}$  к образующей цилиндра. Макроскопически срезовому разрушению предшествует локализация деформации, в зоне которой оно потом и происходит.

На рис. 1 приведена фотография конца одного из образцов после макроскопически срезового разрушения, снятая при линейном увеличении 8,3.

Опыты показывают, что макроскопически срезовое разрушение, начавшись в зоне локализации деформации, постепенно распространяется от

поверхности к центру, и плоскость среза по направлению совпадает с плоскостью поперечного сечения образца.

На рис. 2 представлена фотография поверхности разрушения, снятая в направлении, перпендикулярном к плоскости поперечного сечения образца (увеличено также в 8,3 раза). Из рис. 2 ясно видно, что плоскость макросреза не является гладкой поверхностью, а представляет собой «розетку», образуемую круговым набором отдельных площадок. Площадки или «лестницы» розетки представляют собой не что иное как плоскости разрушения, образуемые отдельными начальными трещинами разрушения. Измерения ориентации этих площадок показали, что все площадки розетки в ра-

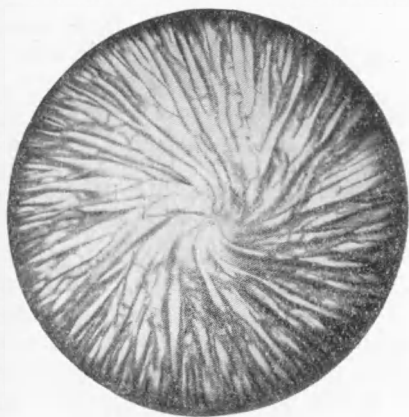


Рис. 2. Фотография поверхности разрушения (плоскости макросреза) при кручении;  $\times 8,3$

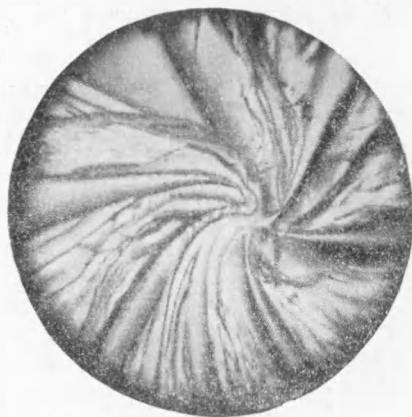


Рис. 3. Фотография поверхности разрушения (плоскости макросреза) образца, имевшего кольцевую выточку;  $\times 8,3$

диальном направлении расположены перпендикулярно к оси образца и пересекают образующие цилиндра под углом  $45^\circ$ . Ориентация уступов между площадками зависит от условий деформации.

Такая картина разрушения показывает, что начальные трещины разрушения ориентируются под углом  $45^\circ$  к образующей цилиндра, т. е. они обязаны своим происхождением действию нормальных растягивающих напряжений.

На рис. 3 представлена фотография поверхности разрушения образца с искусственно заданной локализацией деформации (путем кольцевой поперечной выточки). Картина разрушения получается примерно такая же, как и в случае разрушения образца без выточки, только начальные трещины разрушения значительно крупнее (вследствие несколько других условий локализации деформации), отчего и розетка получается несколько грубее.

Отсюда следует, что понятие «разрушение путем среза» является чисто макроскопическим и не отображает действия разрушающих напряжений, которыми являются нормальные растягивающие напряжения. Поверхность же макросреза представляет собой набор отдельных плоскостей, образуемых в результате протекания начальных трещин.

Можно полагать, что в случае разрушения кручением металлических образцов картина в деталях будет несколько иной, но, в основном, она должна воспроизводить картину разрушения изотропной среды с поправками на кристаллическое строение и анизотропию.

Известно, что при макроскопическом срезом разрушении кручением образцов из высокопрочной стали наблюдаемые трещины ориентированы перпендикулярно образующей цилиндра. Однако в свете полученных результатов можно полагать, что это не начальные трещины, а результиру-

ющая макротрещина, проходящая вдоль зоны локализации деформации, более остро выраженной, чем у плексигласа.

Одному из авторов этой статьи иногда удавалось наблюдать (при увеличении 500—600) начальные трещинки при кручении латуни, дающей макроскопический срез. Ориентированы они были действительно так, что направление их протяженности на поверхности образца составляло с образующей цилиндра угол, близкий к  $45^\circ$ .

Проведенные опыты показывают также, что макроскопически срезовое разрушение обусловлено зональной локализацией деформации, и это, по-видимому, является необходимым элементом механизма разрушения вязких материалов.

Уральский государственный университет  
им. А. М. Горького

Поступило  
6 VII 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Я. Б. Фридман, Механические свойства металлов, М., 1952. <sup>2</sup> М. В. Якутович, Сборн. докл. на Всесоюзн. конфер. по пластической деформации, 1941, стр. 34—35. <sup>3</sup> В. А. Павлов, ДАН, 68, № 4 (1951). <sup>4</sup> Е. М. Шевандин, ЖТФ, 18, в. 6 (1948). <sup>5</sup> В. А. Павлов, М. В. Якутович, ДАН, 68, № 1, (1951).