

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Ф. П. РЫБАЛКО

**ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ И РАЗРУШЕНИЕ  
ПРИ КРУЧЕНИИ**

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 27 IX 1953)

В настоящее время считается, что в процессе пластического деформирования в металле возникают и развиваются микроочаги разрушения, переходящие впоследствии в макротрещины разрушения. Непосредственно наблюдать за началом возникновения и за ходом развития этих элементарных актов разрушения не представляется возможным.

Однако некоторые данные о связи между процессом пластической деформации и процессом разрушения можно получить путем исследования соотношений между пластичностью и признаками разрушения на более поздних стадиях, протекающих до появления видимых макротрещин разрушения.

Указание на такую возможность нами было сделано при определении устойчивости локализации деформации при кручении в работе (1), где было указано, что за устойчивость локальной деформации ответственно «физическое разупрочнение», т. е. местное разрыхление, проявляющееся в отсутствии резкой зависимости деформирующего напряжения от температуры (в материале, не претерпеваемом фазовых превращений). При этом подразумевалось, что начало локализации деформации при кручении совпадает с началом появления процесса физического разупрочнения.

Оставался невыясненным вопрос о связи между началом появления физического разупрочнения и началом появления видимых макротрещин разрушения. Этому вопросу и посвящены были проведенные нами исследования. Для изучения соотношения между пластичностью металлов и появлением макропризнаков разрушения были проделаны опыты, позволяющие уточнить представление о процессе пластической деформации при кручении под нагрузками, доводящими до полного разрушения.

Из стали марки 45 ХНМФА были приготовлены образцы для испытания на кручение (диаметром 5 мм, длиной 50 мм) с постоянством диаметра по длине до 0,02—0,04%. Для получения образцов с различной пластичностью последние после закалки в масле с температуры нагрева 900° отпускались по сериям при температурах: 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600 и 650°.

Для исключения влияния местных несовершенств поверхности и более полного выявления пластичности (2) рабочая часть образцов подвергалась тщательной полировке. Определение пластичности производилось в процессе деформирования при помощи микроскопа, укрепленного на неподвижном захвате машины, и на микроскопе УИМ-21 (при 50-кратном увеличении).

Применение химического окрашивания трещин на полированной поверхности позволяло обнаруживать трещины толщиной 1—1,5 и протяженностью 5—10  $\mu$ . Испытания механических свойств производились на машине для кручения, оборудованной специальными захватами с кольца-

ми кардановского типа, позволяющими осуществлять автоматическую центровку образца. Запись диаграмм осуществлялась при помощи динамометров: с автозаписью (3) и простого упругого со стрелочным индикатором часового типа (4).

Проведенные нами опыты показали, что малопластичные (не отпущенные) образцы деформируются равномерно по всей длине вплоть до разрушения. С появлением первой поперечной трещины деформация быстро оканчивается и крутящий момент падает до нуля.

Наблюдения над поверхностью в процессе деформирования более пластичных образцов (отпуск при 100, 150, 200, 250 и 300°) показали, что

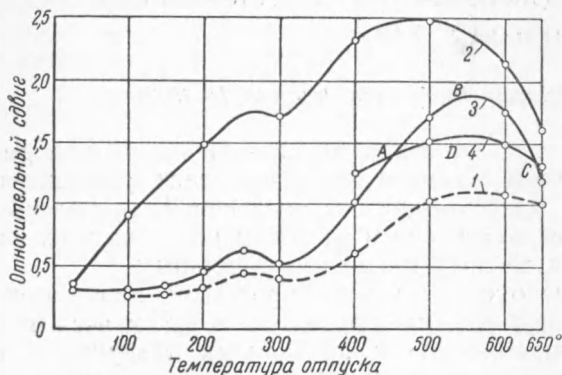


Рис. 1. 1 — сдвиги к началу появления локализации деформации; 2 — истинные максимальные сдвиги в зоне локализации деформации после разрушения; 3 — средние (условные) сдвиги к моменту разрушения без учета локализации деформации; 4 — сдвиги к началу появления в зоне локализации деформации первых видимых трещин

начиная с некоторого, вполне определенного для каждой серии образцов, момента продольная риска закручивается неравномерно, но никакого спада крутящего момента не наблюдается. На поверхности образцов до самого разрушения никаких трещин не обнаружено даже при увеличениях более 100.

У более пластичных образцов (отпуск при 400, 500, 600 и 650°) в зоне локализации деформации замечено появление поперечных трещинок, не сопровождающееся спадом крутящего момента. Появление этих трещинок происходит спустя значитель-

ное время после образования зоны локальной деформации и задолго до разрушения, наступающего, так же как и в первом случае мгновенно.

При этом было замечено, что одновременно с увеличением деформации в зоне локализации происходит увеличение деформации и вне зоны — в области равномерного закручивания образца. При достижении вне зоны локализации того же угла заворота, при котором появились первые трещинки в зоне локализации, вне зоны также начинают появляться видимые трещины.

На рис. 1 приведено графическое изображение результатов.

Из графика ясно, что локализация деформации при кручении тщательно отполированных образцов становится заметной задолго до появления видимых признаков разрушения и может характеризовать начало процесса физического разупрочнения. Сравнение кривых 1—4 показывает, что чем выше пластические свойства материала, тем позднее наступает процесс физического разупрочнения и тем больше запаздывает появление видимых трещин разрушения.

Опыты показывают, что появление первых видимых трещин не вызывает спада крутящего момента вплоть до их слияния в макротрещину разрушения, и разрушение всегда происходит в зоне локализации деформации и появления первых трещин. Однако к моменту разрушения высокопластичных образцов вся поверхность их рабочей части может быть покрыта трещинами. Эти случаи охватываются областью ABCD на рис. 1.

Суммируя результаты опытов, можно сказать, что:

1. Процесс физического разупрочнения у пластичных материалов

начинает очень рано сопутствовать процессу пластической деформации.

2. Величина относительного сдвига к началу появления зоны локализации может однозначно характеризовать начало развития процесса разрушения и должна рассматриваться для каждого материала как некоторая новая механическая характеристика.

3. При кручении, так же как и при растяжении, появление первых поперечных трещин связано с уменьшением площади поперечного сечения, т. е. с вступлением в действие геометрического фактора, однако это не приводит к спаду нагружающего момента.

4. Несостоятельным оказывается объяснение наблюдаемой нами ранее локализации деформации (<sup>1</sup>) краевым эффектом (<sup>5</sup>) или ослаблением материала за счет появления первых видимых трещин (<sup>6</sup>, <sup>7</sup>).

5. Исследование механических свойств при помощи кручения тщательно отполированных образцов позволяет уточнить современные представления о макромеханизме пластического течения и разрушения.

Уральский государственный университет  
им. А. М. Горького

Поступило  
6 XI 1952

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> М. В. Якутович, Ф. П. Рыбалко, ДАН, **60**, № 2 (1948). <sup>2</sup> Ф. П. Рыбалко, М. В. Якутович, ДАН, **64**, № 5 (1949). <sup>3</sup> Ф. П. Рыбалко, М. В. Якутович, Зав. лабор., **9**, № 8 (1948). <sup>4</sup> Г. Н. Колесников, Ф. П. Рыбалко, М. В. Якутович, Зав. лабор., **8**, № 10 (1947). <sup>5</sup> Я. Б. Фридман, Т. К. Зилова, Зав. лабор., **16**, № 1 (1950). <sup>6</sup> Я. Б. Фридман, Механические свойства металлов, М., 1952, стр. 283. <sup>7</sup> Я. Б. Фридман, Т. К. Зилова, Н. И. Жукова, ДАН, **74**, № 2 (1952).