

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИ СРЕЗЕ

Л. М. СЕДОКОВ, Г. Д. ДЕЛЬ

(Рекомендована к печати научным семинаром кафедры
сопротивления материалов)

Под срезом понимается сдвиг одной части материала относительно другой силами, приложенными в непосредственной близости от поверхности разделения. Такого вида деформации подвергается материал при ряде штамповочных операций, при испытаниях на срез. На срез работают многочисленные крепежные детали.

Процесс среза принято делить на три стадии: 1) упругая и начало пластической деформации, 2) развитая пластическая деформация, 3) появление трещин и разрушение. Напряженно-деформированное состояние на первой стадии достаточно хорошо исследовано оптическим методом [1, 2]. Деформированное состояние в области глубоких пластических деформаций при вырубке-пробивке исследовалось В. Д. Головлевым [3].

Ниже приводятся результаты исследования напряженно-деформированного состояния при двойном срезе на стадии развитой пластической деформации, предшествующей разрушению. Исследование выполнено методами измерения твердости и делительных сеток. Твердость измерялась алмазной пирамидой при нагрузке 20 кг. База делительной сетки составляла 0,208 мм.

Наблюдения за деформацией делительной сетки в процессе внедрения пуансона в образец показали, что по всей линии разделения за исключением незначительной по размерам (около 5 % толщины) возмущенной зоны, примыкающей непосредственно к вершинам пуансона и матрицы, отсутствует поворот направлений главных деформаций. Главные направления независимо от толщины образца и величины внедрения пуансона сохраняются постоянными и образуют углы в 45° с линией разделения. Отсюда следует, что линия разделения практически совпадает со скалывающей линией скольжения.

Указанное обстоятельство значительно упрощает исследование напряженного состояния вдоль линии разделения измерением твердости. Как известно, напряженное состояние при плоской деформации характеризуется наложением гидростатического давления на касательное напряжение чистого сдвига, равное октаэдрическим касательным напряжениям и направленное вдоль линий скольжения.

Таким образом, при срезе эпюра касательных напряжений вдоль линии разделения совпадает с эпюрой октаэдрических касательных напряжений, которая может быть установлена измерением твердости [4].

В образцы из высокопрочняющей нержавеющей стали 1X18H9T толщиной 5 и шириной 20 мм был внедрен пуансон приспособления для двойного среза до глубины 12 и 15 %. Затем образец разрезался в средней по ширине плоскости. Полученный разрез полировался. Вдоль линии разделения измерялась твердость. По формуле [4]

$$\tau = 0,19 H$$

определялись касательные напряжения.

Полученные эпюры (рис. 1) показывают, что с ростом внедрения эпюры касательных напряжений выравнивается и уже при внедрении около 15 % касательные напряжения распределены по линии разделения практически равномерно. Аналогичные результаты были получены и на образцах другой

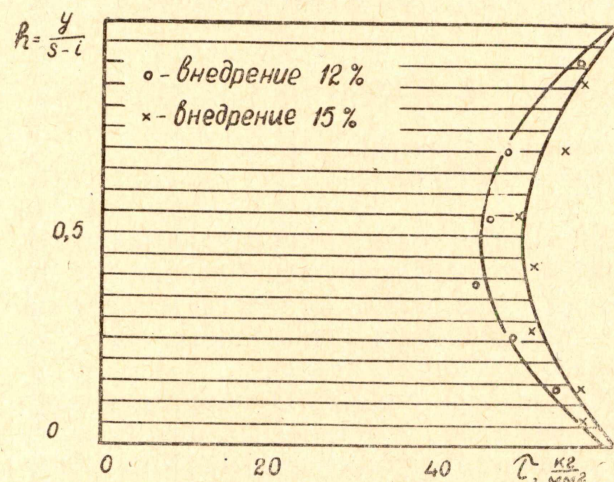


Рис. 1. Эпюры касательных напряжений при срезе.

толщины. У менее упрочняющихся материалов выравнивание эпюр наступает еще раньше.

Отсюда, во-первых, следует, что расчеты на прочность при срезе, основанные на предположении о равномерном распределении касательных напряжений, более условны для хрупких и менее — для пластичных материалов.

Во-вторых, при испытаниях на срез пластичных материалов выявляется предел прочности на сдвиг, что

подтверждается совпадением пределов прочности на срез и на кручение у пластичных материалов [5].

Исследование деформаций вдоль линии разделения на образцах толщиной от 5 до 15 мм показало, что эпюры сдвигов образцов разной толщины совпадают по всей высоте за исключением возмущенной зоны. Что касается возмущенной зоны, то деформации в ней в значительной степени зависят от толщины образца — при одинаковых относительных внедрениях пуансона сдвиги тем больше, чем больше толщина. Этим, в частности, объясняется некоторое уменьшение относительного внедрения и средних касательных напряжений в момент появления скалывающих трещин с увеличением толщины.

Зависимость ширины деформированного слоя от глубины внедрения была исследована на образцах толщиной 3 мм В. Д. Головлевым.

Нами дополнительно была исследована зависимость указанной ширины от толщины образца. Было установлено, что эта зависимость не является линейной — с ростом толщины интенсивность нарастания ширины деформированного слоя убывает.

На рис. 2 представлена зависимость сдвигов от относительного внедрения и безразмерной координаты

$$h = \frac{y}{s - i},$$

где s — толщина образца, i — внедрение (образца 10×10 мм). Эта фигура показывает, что максимальный сдвиг вдоль линии разделения находится в линейной зависимости от относительного внедрения:

$$g = \kappa(h) \frac{i}{s}.$$

Следовательно, скорость деформации

$$\frac{de}{dt} = \frac{\kappa(h)}{2s} \cdot \frac{di}{dt} = \frac{\kappa(h)}{2} \frac{v}{s}, \quad (1)$$

где v — скорость движения пуансона. Из (1) следует, что скорость деформации при срезе пропорциональна относительной скорости перемещения пуансона и изменяется по высоте (рис. 2).

Угловые коэффициенты $\kappa(h)$ в возмущенной зоне зависят от толщины образца. Поэтому эпюры скоростей деформации образцов разной толщины при равных относительно скоростях перемещения пуан-

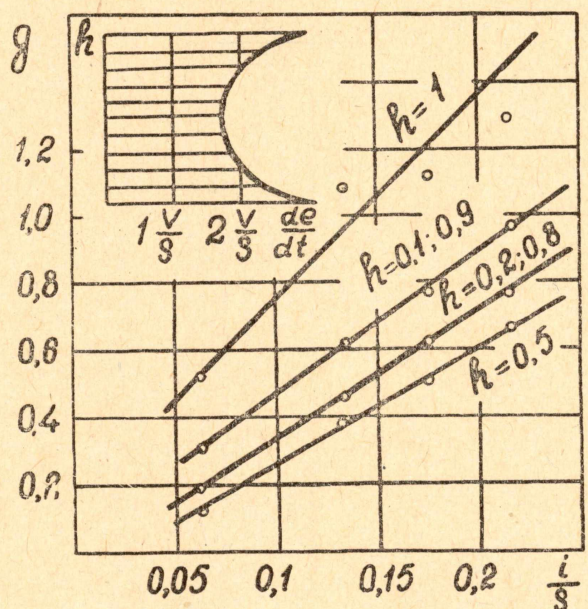


Рис. 2. Сдвиги и скорость деформации при срезе.

сона в крайних точках несколько расходятся. Однако это расхождение незначительное и им в некотором приближении можно пренебречь.

Из рис. 2 имеем

$$\frac{de}{dt} = (1,7 \div 3) \frac{v}{s}.$$

Отсюда, например, следует, что при пробивке штампом, движущимся со скоростью 150 мм/сек, листа толщиной 1 мм скорость деформации составит 250—450 1/сек. При такой скорости деформации механические свойства претерпевают существенные изменения. Например, твердость мягких сталей при этом увеличивается на 10—15% [6].

Исследования, выполненные на различных металлах, показали, что деформированное состояние при срезе практически не зависит от свойств материала.

По рис. 2 при заданных толщине s и внедрении i можно построить эпюру сдвигов. По диаграмме сдвига данного материала можно построить соответствующую эпюру касательных напряжений и, проинтегрировав ее, получить величину деформирующей силы. Таким образом можно связать диаграмму кручения с диаграммой среза на

участке значительных внедрений. Проверка на стали 1X18H9T и меди показала, что в области от 7 до 21 % внедрения отклонения диаграммы, построенной таким образом, от фактической, полученной осциллографированием, не превышает 12 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Я. Н. Гаркави. Инженерный сборник. Том III, № 1, 1946.
 2. N. Iosipescu. Revue de Mécanique Appliquée. Tome VIII. № 1, 1963.
 3. В. Д. Головлев. Сборник "Технология штамповки". Машгиз, 1953.
 4. А. М. Розенберг и Л. А. Хворостухин. ЖТФ, том XXV, вып. 2. 1957.
 5. С. И. Ратнер. Прочность и пластичность металлов, Оборонгиз, 1949.
 6. Я. Б. Фридман. Механические свойства металлов, Оборонгиз, 1952.
-