

## МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ ПЛАСТИЧНОСТИ МЕТАЛЛОВ

Кожевникова Г.В.

Государственное научное учреждение “Физико-технический институт  
Национальной академии наук Беларуси”,  
Минск, Республика Беларусь, *fti@tut.by*

**Abstract:** Traditional and new metals and alloys plasticity testing methods are considered. Formulae for the calculation of the ultimate strain accumulated before failure are suggested.

Пластичность металла – это его способность изменять свою форму под действием внешних сил без разрушения [1-4]. Количественно пластичность оценивается степенью деформации сдвига, которая зависит [3] от температуры нагрева заготовки, двух параметров напряженного состояния: среднего напряжения и параметра третьего инварианта девиатора напряжений, показателя нелинейности накопления повреждаемости, показателя увеличения пластичности при немонотонном деформировании и для конструкционных сталей в меньшей степени от скорости деформации.

В литературе предложено несколько методик определения пластичности в зависимости от напряженного состояния. В.Л.Колмогоров предложил использовать несколько видов испытаний металлов для построения диаграммы пластичности. Им была разработана методика расчета показателя напряженного состояния и степени деформации сдвига в момент образования макроскопической трещины при испытании на растяжение, скручивание, изгиб и осадку [1]. А.А.Богатов обратил внимание на то, что при использовании этой методики для ряда сталей и сплавов результаты опытов на скручивание, осадку и изгиб образцов с различным отношением ширины к толщине отклоняются от диаграммы пластичности, полученной в опытах на растяжение на установках высокого давления [2].

Для построения диаграмм пластичности проводят специальные испытания. Методы испытания должны полностью или частично отвечать следующим требованиям:

1. Напряженное состояние не должно изменяться в ходе конкретного испытания.
2. Напряженное состояние возможно изменять от одного испытания к другому в широком диапазоне.
3. Момент разрушения должен точно фиксироваться.
4. Деформации должны быть устойчивыми, т.е. не локализоваться в ограниченном объеме, когда они не могут быть точно измерены.
5. Температурно-скоростные параметры деформации должны быть постоянными в ходе эксперимента.

В настоящее время нет такой методики испытаний, которая бы удовлетворяла всем перечисленным выше условиям. Поэтому для построения диаграммы пластичности, как правило, используют несколько методов испытаний [1]. Обычно [1-4] испытания производят растяжением или осадкой цилиндрического образца, кручением цилиндрического образца или трубы. Для расширения диапазона исследуемых напряжений при растяжении цилиндрического образца на нем могут быть выполнены концентраторы, увеличивающие растягивающие напряжения. Перечисленные способы обладают существенным недостатком: они не позволяют определить пластичность локально, например на оси заготовки при поперечной прокатке (ПП) и поперечно-клиновой прокатке. Нами наряду с общепринятым методом для испытания деформируемости металлов были привлечены методы ПП [4, 5] и равноканального углового прессования [6].

Широкое распространение метода испытания пластичности металлов растяжением цилиндрических образцов обусловлено его простотой, возможностью точно определять накопленную деформацию к моменту разрушения, хорошо отработанной методикой нагрева и испытания образцов при постоянной температуре, универсальностью испытательного оборудования.

Известны два вида испытаний кручением: кручение цельного цилиндрического образца и кручение тонкостенной трубы. Предпочтение следует отдавать второму виду, так как при кручении цилиндрического образца накопленная деформация в отдельных участках заготовки пропорциональна расстоянию от оси: на оси она равна нулю, на поверхности максимальна. Разрушение начинается в поверхностном слое, и определить момент начала разрушения практически; трудно.

В ФТИ НАН Беларуси разработан метод определения пластичности прокаткой [4, 5]. Сущность метода заключается в ПП цилиндрического образца определенной формы между двумя подвижными плитами с параллельными закрытыми калибрами. При этом он приобретает характерную форму, которая сохраняется постоянной в ходе эксперимента, чем обеспечивается стационарность процесса пластического течения в очаге деформации [5]. Отличительной особенностью пластического течения в данном случае является то, что частицы металла за один оборот образца дважды проходят очаг деформации и жесткие области, и в процессе их движения изменяется как напряженное состояние, так и деформируемое. Исключение составляют частицы металла в осевой области образца: они движутся в окрестности оси и не выходят из очага деформации. При этом напряженное состояние остается постоянным, а накопленные деформации пропорциональны количеству оборотов образца. Осевая область характеризуется также и экстремальными условиями: здесь действуют наибольшие по величине растягивающие напряжения, а накопленные деформации достигают значительных величин. Под воздействием экстремальных условий после определенного количества оборотов образца в его центральной части происходит разрушение металла. Эта особенность и была положена в основу разработанного метода: образец прокатывают между плитами до вскрытия осевой полости, при этом фиксируют количество циклов нагружения образца. С тем чтобы было возможным визуальное наблюдение момента вскрытия полости, толщину образца выбирают в пределах 0,2-0,5 его диаметра, так как этим обеспечивается начало разрушения образца от торцевой поверхности [5].

В ФТИ НАН Беларуси разработана и запатентована схема деформации, базирующаяся на механике простого сдвига, т.е. по технологии впервые в мире созданной в ФТИ НАН Беларуси (изобретение № 492780 от 11 июня 1973г.) [6]. Эта технология сейчас известна в мире под названием «ЕСАР». Сущность процесса заключается в продавливании заготовки через два сквозных, пересекающихся под прямым углом канала равного поперечного сечения. При отсутствии трения на стенках каналов давление на пресс-штемпелях равно пределу текучести, напряженно-деформированное состояние является однородным и обеспечивается возможность достижения сверхвысоких интенсивностей деформаций без изменения поперечных размеров заготовки за счет многократного циклического деформирования.

Нами разработан новый способ определения локальных пластических свойств металлов и сплавов при немонотонном деформировании. Он позволяет определять локальные пластические свойства металлов и сплавов при немонотонном деформировании в области температур деформации 290÷1570 К, диапазона среднего напряжения  $\sigma/K$  от  $-10,00$  до  $+5,00$  и параметра третьего инварианта девиатора напряжений  $\sqrt[3]{J_3(D_\sigma)}/K$  от  $-0,45$  до  $+0,43$

Схема деформации существенно влияет на величину накопленной до разрушения деформации  $\Lambda$ . Принято различать монотонную и немонотонную деформацию. В литературе приводятся различные определения указанных схем.

В теории обработки металлов давлением имеются несколько определений условия монотонности пластической деформации [1-4]. Вот некоторые из них:

1) главные оси деформаций совпадают по направлению с главными осями напряжений;

2) совпадение главных осей скорости деформации с одними и теми же материальными волокнами частицы металла;

3а) монотонной деформацией называют такую, при которой волокно рассматриваемой частицы, претерпевающее в данной стадии наиболее быстрое

удлинение (укорочение), во всех предшествующих стадиях так же являлась наиболее быстро удлиняющимся (укорачивающимся);

3б) направляющий тензор напряжений был равен направленному тензору деформаций;

4) деформация материальной частицы называется монотонной, если в процессе ее развития все компоненты тензора скорости деформации в сопутствующей системе координат не изменяют своего знака;

5а) соотношения между главными скоростями деформации  $\xi_1 / \xi_2 / \xi_3$  не изменяются в процессе деформации;

5б) направления главных скоростей удлинения связаны с одними и теми же материальными волокнами.

Перечисленные критерии не равноценны – в них присутствуют противоречия. Отметим существенное противоречие данных критериев в отношении потери пластических свойств металла при пластической деформации. Данное обстоятельство дало нам право ввести новую терминологию и определения нелинейности накопления деформации. Деформация называется *однонаправленной*, когда направление (вектор) сдвиговой деформации (для плоско-деформированного состояния – направление линий скольжения) не изменяет своего направления к волокнам деформированного тела.

Все иные деформации по определению относятся к разряду *разнонаправленных*.

Отметим, что введенное нами понятие однонаправленной деформации не противоречит позициям 1), 2), 3), 4), 5) понятия монотонной деформации, при этом обратное утверждение выполняется далеко не всегда.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Колмогоров В.Л. Напряжения, деформации, разрушение. – М.: Металлургия, 1970. – 230 с.
2. Богатов А.А., Мижирицкий О.И., Смирнов С.В. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением. – М.: Металлургия, 1984. – 144 с.
3. Красневский С.М., Макушок Е.М., Щукин В.Я. Разрушение металлов при пластическом деформировании. – Мн.: Наука и техника, 1983. – 173 с.
4. Щукин В.Я. Основы поперечно-клиновой прокатки. – Мн.: Наука и техника, 1986. – 223 с.
5. Цилиндрический образец для определения пластических свойств материала при прокатке: а.с. 538272 СССР, МКИ G 01 N 1/28 / Л.В. Гузевичус, А.С. Дубень, С.М. Красневский, Е.М. Макушок, Л.И. Стенько, В.Я. Щукин. – № 2137996, заявл. 27.05.1975; опубл. 05.12.1976 // Открытия. Изобрет. – 1976. – № 45. – С. 159.
6. Устройство для упрочнения материала давлением: а.с. 492780 СССР, МКИ G 01 N 3/00 / В.М. Сегал, В.Я. Щукин; заявитель ФТИ АН БССР. – № 1924516, заявл. 11.06.1973; опубл. 25.11.1975 // Открытия. Изобрет. – 1975. – № 43. – С. 118.