

Соппротивление деформации металла при сложной траектории нагружения

д.т.н., проф. Калпин Ю.Г., к.т.н., доц. Рябов В.А., Анюхин А.С.
МГТУ «МАМИ»

В процессе формоизменения при обработке давлением, по мере заполнения полостей штампа, у некоторых областей заготовки изменяется траектория деформации. Металл после упрочнения в процессе деформации, после изменения направления деформирования продолжает упрочнение, но характер сопротивления деформации изменяется. Особенно заметно уменьшение напряжений начала пластической деформации при изменении направления действия усилия на обратное, это явление называется эффектом Баушингера.

Для объяснения эффекта Баушингера были предложены механизмы, учитывающие образование скоплений дислокаций вблизи препятствий и задержку дислокаций на особо плотных участках дислокаций. Дислокации останавливаются перед рядом препятствий с большой плотностью; при изменении направления напряжения на противоположное они движутся назад и останавливаются у ближайшего ряда с такой же плотностью. Предполагается, что плотность концентрации дислокаций, пронизывающих плоскость скольжения, будет увеличиваться перед движущимися дислокациями, при изменении направления деформирования движущиеся назад дислокации будут на начальной стадии движения встречать на своем пути меньше препятствий. При дальнейшем деформировании будет снова возникать анизотропия препятствий в обратном направлении. Деформация, которая связана с остановкой скользящих дислокаций в местах высокой плотности дислокаций, может быть порядка нескольких процентов.

Чаще всего исследования эффекта Баушингера проводят путем сравнения результатов испытаний на сжатие со сжатием образцов, изготовленных из растянутого материала. При этом производится сравнение напряжения течения в момент перехода образца в пластическое состояние при сжатии с напряжением течения при растяжении перед разгрузкой, т.е. в тот момент, пока образец еще испытывает напряжения растяжения.

Недостаток такой методики заключается в возможном влиянии на результат изменения вида напряженного состояния и среднего нормального напряжения. В соответствии с условием пластичности считается, что напряжение течения не зависит ни от того, ни от другого. Однако исследования П. Бриджмена [1] показывают, что слабое влияние гидростатического давления на напряжение течения все же имеет место и лучше его избежать.

Те же недостатки свойственны и методике, разработанной и примененной самим автором эффекта Баушингером, когда образец попеременно растягивается и сжимается путем реверсирования движения рабочего органа испытательной машины.

Для того, чтобы избежать погрешностей, применена следующая методика. Из отожженной стали 45 было изготовлено по 3 цилиндрических образца на точку для испытаний на растяжение с диаметром рабочей части 10 и длиной 100 мм.

Затем эти образцы были подвергнуты растяжению до различных значений деформации: 0,05; 0,1; 0,15. Далее из каждого образца вытаскивали по четыре образца для испытаний на сжатие с размерами $\varnothing 8,5 \times 12$ мм: по два образца из недеформированных головок и из рабочей части, подвергнутой растяжению (рис 1), которые затем подвергали испытанию. Сравнение проводили по результатам испытаний этих двух пар образцов.

Таким образом, исключено влияние на результат материала образцов, схемы напряженного состояния и среднего нормального напряжения.

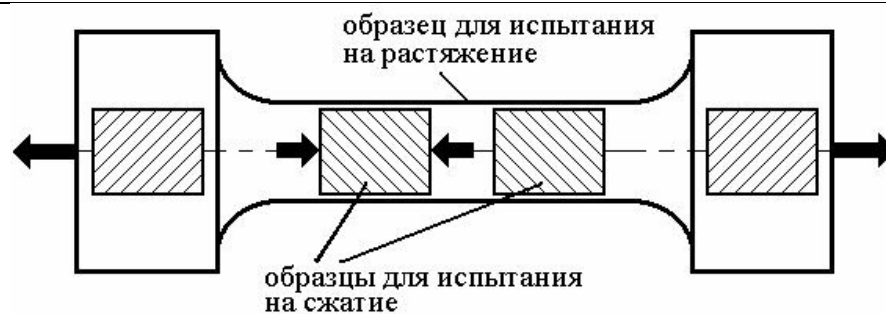


Рисунок 1 - Схема изготовления образцов

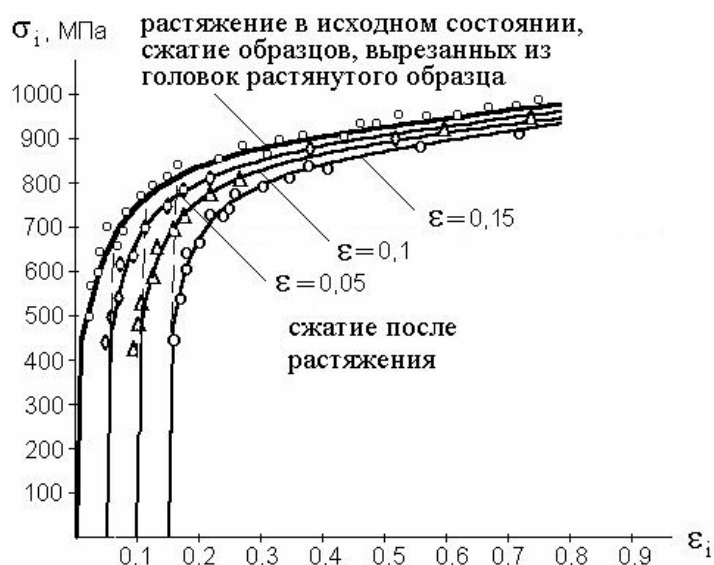


Рисунок 2 - Кривые упрочнения стали 45 при изменении направления деформации

На рис.2 приведены результаты обработки полученных данных. Можно сделать следующие выводы:

- Эффект Баушингера зависит от величины предварительной деформации: с возрастанием предварительной деформации эффект увеличивается.

- Снижение напряжения течения в результате действия эффекта Баушингера сохраняется на всем протяжении кривой упрочнения, по крайней мере в пределах полученных значений деформаций.

- Величина эффекта Баушингера на исследованной стали такова, что кривая упрочнения после перемены знака как бы повторяет кривую упрочнения исходного металла, т.е. величина эффекта Баушингера приблизительно равна предварительному упрочнению, полученному металлом на первом этапе деформации.

Литература

1. Бриджмен П. Исследования больших пластических деформаций и разрыва. Влияние высокого гидростатического давления на свойства материалов. Пер. с англ. под ред. Верещагина А.И. М., изд. Иностранная литература, 1955. - 444 с.
2. Коттрелл А.Х. Дислокации и пластические течения в кристаллах. М., Metallurgizdat, 1958. - 288 с.
3. Макклиток Ф., Аргон А. Деформация и разрушение материалов - М.- изд. «Мир» - 1970.- С. 152 - 163.