

ИЗМЕНЕНИЕ МОДУЛЯ НОРМАЛЬНОЙ УПРУГОСТИ С РОСТОМ СТЕПЕНИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Г. А. ДОЩИНСКИЙ, Н. В. ПОГОЖЕВА, А. М. ПОГОЖЕВ

(Представлена научным семинаром кафедры сопротивления материалов)

Теория пластичности рассматривает процесс разгрузки как упругий процесс, поэтому составляющие деформации в пластически деформированном теле определяются через посредство упругих констант материала, которые считаются неизменными и в пластической области.

Но с конца пятидесятих годов в печати появились работы различных исследователей, указывающие на то, что упругие характеристики материалов не остаются постоянными в процессе пластической деформации. В 1958 году на это явление указал А. М. Жуков [1]. В работе по исследованию кривой нейтрального нагружения в качестве побочного результата выяснилось, что предварительная осевая пластическая деформация примерно в 2% вызвала уменьшение модуля сдвига почти на 19%, а предварительная пластическая деформация сдвига около 4% дала уменьшение E почти на 20%.

Этот факт потребовал постановки специального эксперимента, целью которого являлось более тщательное изучение поведения модулей нормальной и касательной упругости в процессе пластической деформации [2]. В первой серии эксперимента изучалось влияние пластического растяжения на модуль сдвига. Максимальное уменьшение G составило 16,5%. Наиболее интенсивное уменьшение происходило вблизи площадки текучести (испытывались стальные образцы). Но определенной закономерности этого уменьшения не было получено.

Другая серия опытов была поставлена для определения влияния пластического сдвига на модули упругости. Максимальное уменьшение E в этом случае составило 8%.

В 1961 г. аналогичный эксперимент был поставлен О. А. Шишмаревым и Е. Я. Кузьминым [3]. Результаты этого эксперимента качественно подтвердили выводы, полученные в работах [1], [2], но степень уменьшения E и G не выходила за пределы 6—8%.

В 1967 г. Ю. А. Сазоновым был поставлен эксперимент по определению изменения модулей упругости никеля и меди в процессе пластической деформации [4]. Эксперимент отличался особой тщательностью. В результате было установлено, что модуль нормальной упругости меди в начале пластической деформации резко падает, а при дальнейшей деформации медленно возрастает. У никеля после резкого падения при 2%-ной пластической деформации дальнейшего уменьшения модуля не происходило. Количественно эти изменения составили около 5%.

Из перечисленных работ становится ясно, что упругие характеристики с ростом пластической деформации могут заметно изменяться, но остается не уточненным вопрос о закономерности их изменения и ее количественных пределах.

В то же время получение такой закономерности имело бы большое значение в теории пластичности при определении компонент пластической деформации. Принятие факта изменчивости упругих констант в процессе деформации, по существу, приводит к необходимости ревизии некоторых положений современной теории пластичности, базирующейся на представлениях об абсолютных константах упругого поведения материала.

В частности, в работе А. А. Ильюшина [5] теоретически показано, что такие следствия постулата Друккера, как положение о совпадении вектора приращения пластической деформации с нормалью к поверхности, текучести и о выпуклости этой поверхности, справедливы только в предположении, что пластическая деформация тела при любом нагружении не сопровождается заметным изменением упругих свойств.

В данной работе излагаются результаты экспериментов, целью которых было: подтвердить (или не подтвердить) факт изменения упругих характеристик при пластическом деформировании; уточнить закономерности этого изменения и установить количественные границы этого явления.

В статье освещаются результаты исследования изменения модуля нормальной упругости E в зависимости от степени предварительной пластической вытяжки.

Сначала эксперимент был поставлен на прессе Гагарина, основное преимущество которого перед другими испытательными машинами в том, что он дает автоматическую запись диаграммы нагружения в крупном масштабе. Была испытана широкая серия материалов: несколько марок сталей, куда входили и малоуглеродистые, высокоуглеродистые, и легированные стали, алюминий, дюралюмин, медь, латунь, бронза, цинк, олово, свинец, кадмий. Всего было испытано 42 образца. Образцы предварительно подвергались рекристаллизационному отжигу. Цикл разгрузка — нагружение повторялся через определенные ступени пластической деформации. Модуль упругости на каждой ступени пластической деформации определялся как угол наклона к прямой разгрузки.

Для исключения влияния побочных факторов проводилось относительное сопоставление угловых коэффициентов разгрузочных прямых. Определение модуля упругости в каждом цикле проводилось с учетом изменяющихся геометрических размеров образцов.

Но в результате исследования выяснилось, что эксперимент такого рода, т. е. определение модуля нормальной упругости, в принципе не может быть поставлен на прессе Гагарина. Причина заключается в том, что обмятие головок образцов, которое включается в общую деформацию образца и отражается на диаграмме, может исказить истинную картину деформирования. На это обстоятельство было указано А. М. Жуковым. Поскольку определить влияние головок и отделить его от общей деформации практически невозможно, то и результаты, полученные нами на прессе Гагарина, оказались сомнительными, хотя и указывали на возможность различных законов изменения E у разных металлов.

Поэтому было решено провести серию опытов с той же целью на универсальных испытательных машинах. Были использованы круглые образцы диаметром 15 и длиной 320 мм из стали марки ст. 3 и нескольких цветных металлов: меди, латуни и бронзы. Всего было испытано 14 образцов. Образцы предварительно подвергались рекристаллизационному отжигу. Усилия замерялись по шкале машины. Упругие деформа-

ций — механическими тензотрами, пластические — системой индикаторов. Цикл разгрузка-нагрузка также повторялся через определенные ступени пластической деформации. Модуль упругости для каждой ступени определялся как угловой коэффициент нагрузочной прямой, и для исключения влияния побочных факторов проводилось их относительное сопоставление. На рис. 1 представлены кривые изменения модуля нормальной упругости для испытанных образцов. Определение модулей проводилось как с учетом изменяющихся геометрических размеров образцов, так и без него. Для образцов из стали 3 кривые из-

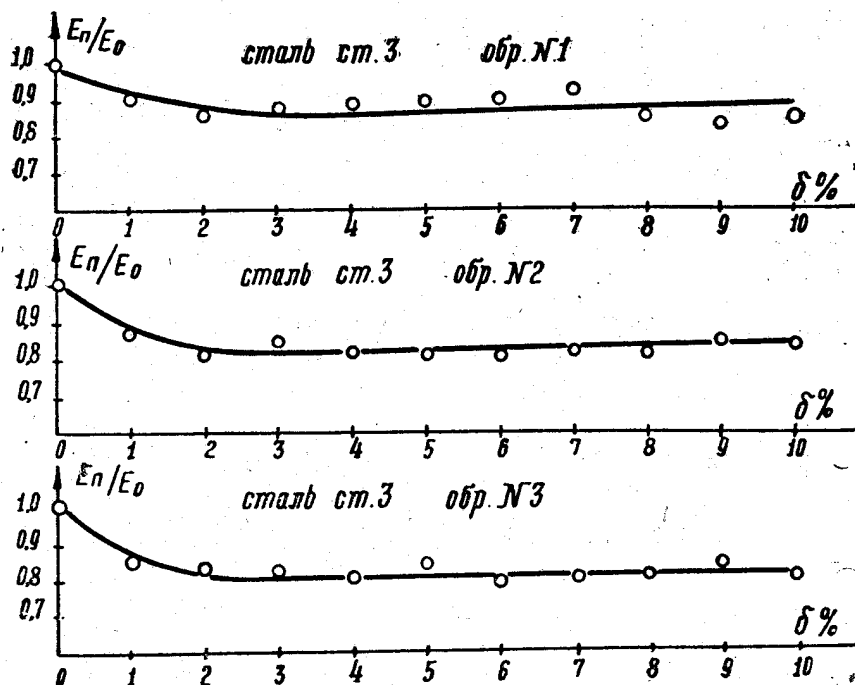


Рис. 1

менения E построены с учетом изменяющейся площади сечения. Кривые, которые определялись без учета влияния геометрических размеров, качественно не отличаются от первых, они проходят лишь несколько ниже и не показаны на рисунке, то есть для стальных образцов физические изменения, происходящие с ростом пластической деформации, преобладают над геометрическим влиянием, поэтому последнее не вносит качественно иной картины в закономерность изменения E . Как видно из рис. 1, модуль нормальной упругости для стали 3 резко падает в начале пластической деформации на 12—18%, а с дальнейшим ростом деформации — заметно стабилизируется.

Для цветных металлов на рис. 2 сплошными линиями показаны кривые изменения E с учетом меняющейся площади сечения, пунктирными — кривые без учета изменения геометрии. Если для стальных образцов не было качественного различия между двумя такими подходами к определению E , то в цветных металлах, очевидно, физические явления, происходящие в процессе пластической деформации, не столь ярко выражены, и поэтому поправка на изменяющуюся площадь сечения значительно изменяет характер кривой. Если принимать постоянными геометрические размеры образцов, то модуль нормальной упругости остается приблизительно постоянным и лишь при больших степенях деформации несколько снижается. Если вводить поправку на изменение

размеров сечения, то определенный подобным образом модуль возрастает постепенно у латуни и бронзы с начала деформации, а у меди — после незначительного уменьшения в начальной стадии деформирования.

В результате проведенных исследований удалось проследить закономерности изменения этой упругой характеристики для испытанных материалов при степенях пластической деформации до 10%. Эти за-

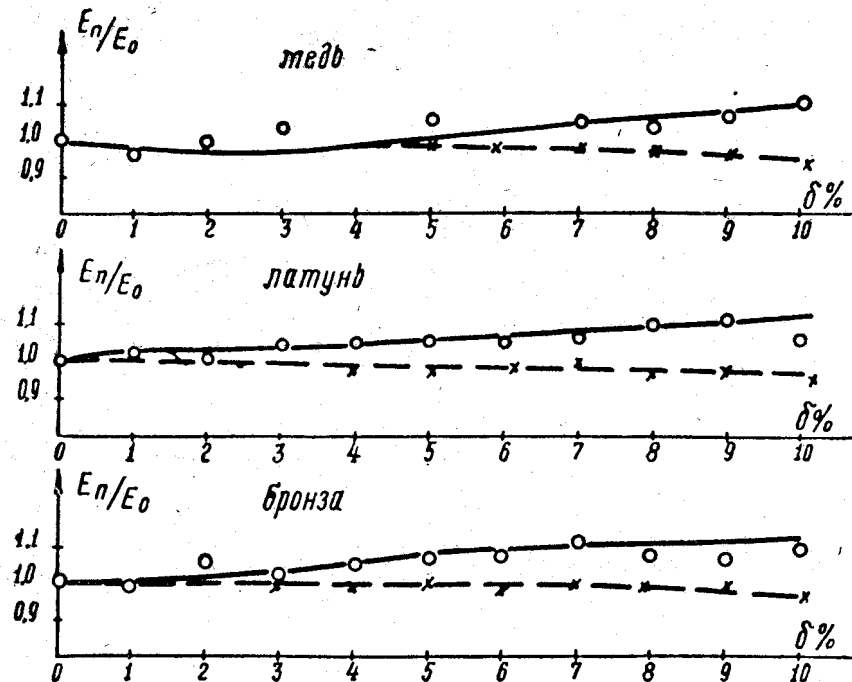


Рис. 2

кономерности количественно и качественно различны для каждого материала и, по-видимому, предопределены структурными особенностями металла.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Жуков. Некоторые особенности кривой нейтрального нагружения. Изв. АН СССР, ОТН, № 8, 1958.
2. А. М. Жуков. Упругие свойства пластически деформированного металла и сложное нагружение. Инженерный сборник. Изд. АН СССР, т. 30, 1960.
3. О. А. Шиймарев, Е. Я. Кузьмин. О зависимости упругих постоянных металла от пластической деформации. Изв. АН СССР, ОТН, «Механика и машиностроение», № 3, 1961.
4. Ю. А. Сазонов. Об изменении модулей упругости меди и никеля в процессе пластической деформации. Труды ДИИХ, № 278, Л., 1967.
5. А. А. Ильюшин. О приращении пластической деформации и поверхности текучести. Прикладная математика и механика. Изд. АН СССР, т. XXIV, вып. 4, 1960.