

УДК 620.178.4/6

Абрамова Е. А.
Гусар Ю. В.
Прилепо Д. В.

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИИ СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ РАЗНЫХ ВИДАХ НАГРУЖЕНИЙ

Субмикрокристаллические (СМК) материалы, полученные методами интенсивной пластической деформации (ИПД) [1, 2], проявляют существенные особенности при последующих испытаниях. По этой причине, ИПД представляет собой способ получения новых материалов без какого-либо изменения химического состава уже имеющихся материалов.

Целью работы является демонстрация особенностей деформации СМК материалов при разных видах нагружений.

В работе рассмотрены особенности деформации СМК материалов, полученных винтовой экструзией (ВЭ). Сопоставление производится с материалами того же химического состава после рекристаллизационного отжига и гидроэкструзии (ГЭ). В качестве методов испытаний использованы кручение, растяжение и сжатие, а также сдвиг под давлением. Обнаружены различия в изменении поверхности образцов при испытаниях, а также в механических характеристиках. Среди них особое внимание уделено предельной пластичности, которая до настоящего времени изучена недостаточно.

В качестве исследуемого материала выбрана медь марки М3. Этот материал хорошо изучен и имеется большое количество литературных данных по исследованию свойств меди после различных обработок давлением.

Исходный горячекатаный прутки диаметром 50 мм, с целью экономии материала, подвергался ковке до сечения 19×29 мм. Полученный материал разрезался на мерные длины и доводился до необходимого сечения 18×28 мм. Далее материал подвергался термической обработке в печи при $t = 550$ °С в течение 1 часа, для снятия остаточных напряжений. После чего заготовки подвергались деформации методом винтовой экструзии [2].

Из деформированных заготовок изготовили образцы для испытаний на кручение и растяжение в соответствии с ГОСТ 3565-80 «Металлы. Метод испытания на кручение» и ГОСТ 1497-84 «Методы исследований на растяжение». Из одной заготовки, обработанной методом ВЭ, получали два образца. Во время механической обработки и электроискрового резания не допускали нагрев образцов выше 100 °С.

Исследования проводились при комнатной температуре на специальном оборудовании. Деформация кручением выполнялась на экспериментальном комплексе, разработанном в ДонФТИ НАНУ в 2010 году [3]. Измерение выполняется в соответствии с ГОСТ 3565-80.

Испытания на растяжение проводилось, на универсальной гидравлической испытательной машине марки МУП-50, максимальным усилием 50 kN. Деформировали образцы до разрушения. Результаты испытаний обрабатывали по стандартной методике, описанной в [4]. По полученным данным строили зависимость $\sigma_u = \sigma(\varepsilon)$

Испытания на сжатие проводили на Instron 5569 усилием 40kN. Для исключения перекосов образца при сжатии его помещали в специальную оснастку.

При осадке для уменьшения воздействия трения была использована медная фольга $15 \times 15 \times 0,1$ мм, покрытая графито-масляной смазкой, которая помещалась на торцы образцов, так чтобы смазка находилась между испытуемым образцом и фольгой. В ходе пластической деформации образца, графитовая смазка и медная подложка позволяют практически свободно осаживать материал, предотвращая появление бочки. Высота образцов на сжатие составляла 12 мм, диаметр – 8 мм.

На рис. 1 представлены результаты испытаний на кручение. Из графика видно, что материал подвергнутый различным видам деформации ведет себя по-разному, а именно:

отожженный образец упрочняется на всем диапазоне, а образцы обработанные ГЭ и ВЭ имеют большой предел текучести и упрочняются слабо. Следует отметить повышенную пластичность образцов, обработанных ВЭ (более подробно об этом будет сказано ниже).

На рис. 2 представлены результаты испытаний на сжатие. Материалы показывают подобное же поведение. Следует отметить, что при сжатии образцы не разрушались. На рис. 3 представлены результаты испытаний на растяжение.

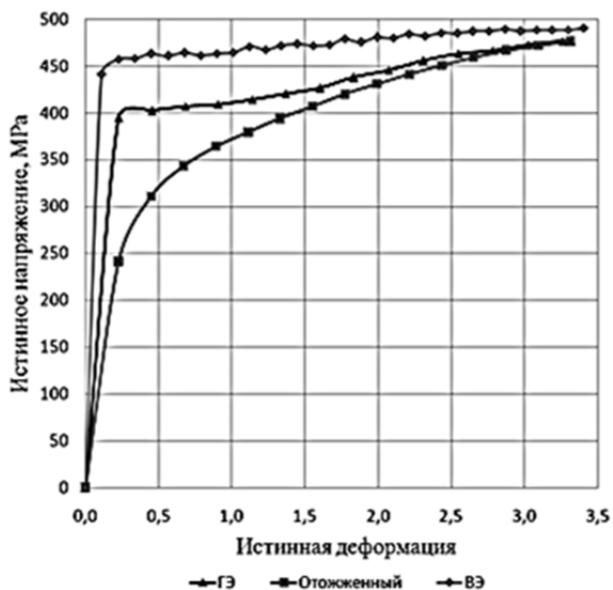


Рис. 1. Результаты испытаний на кручение

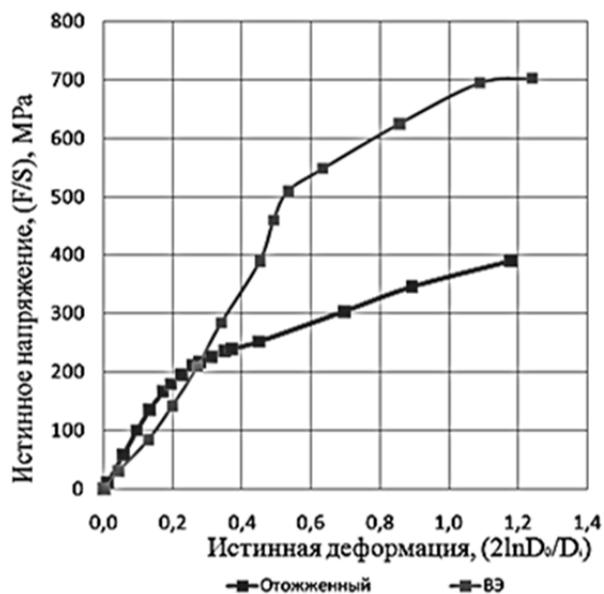


Рис. 2. Результаты испытаний на растяжение

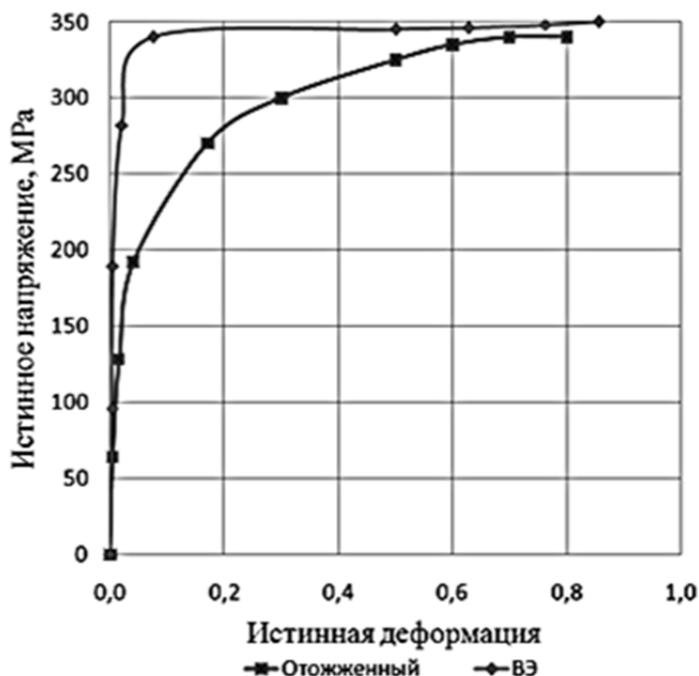


Рис. 3. Результаты испытаний на осадку

Представленные выше графики демонстрируют повышенные прочностные характеристики СМК меди. Для анализа пластичности исследованных материалов были построены диаграммы предельной пластичности. Так как материалы не разрушались при сжатии, то для указанной кривой принималось соотношение из работы Г. Д. Деля [5]:

$$e_{np} = \frac{e_{кр}}{1 + \eta} \exp(-\eta), \quad (1)$$

где $e_{кр}$ – предельная пластичность при кручении;

η – показатель жесткости напряженного состояния.

В табл. 1 приведены экспериментально определенные значения предельной пластичности СМК и КК материалов при растяжении и кручении.

Таблица 1

Данные результаты предельной пластичности по трем видам нагружения

Испытание	$e_{пр}$, СМК медь	$e_{пр}$, КК медь
Растяжение	1,5	1
Кручение	4,4	3,5

На рис. 4 показаны диаграммы предельной пластичности, построенные по формуле (1). КК (1) и с СМК структурой (2). Точки, полученные экспериментально при кручении для меди с СМК (а) и КК (б) при кручении и при растяжении (в) и (г) соответственно. Там же приведены экспериментальные значения предельной пластичности при растяжении, которые хорошо укладываются на эти диаграммы. Это свидетельствует об адекватности соотношения (1).

Диаграмма показывает, что пластичность СМК меди выше, чем у крупнокристаллической во всем изученном диапазоне показателей жесткости напряженного состояния.

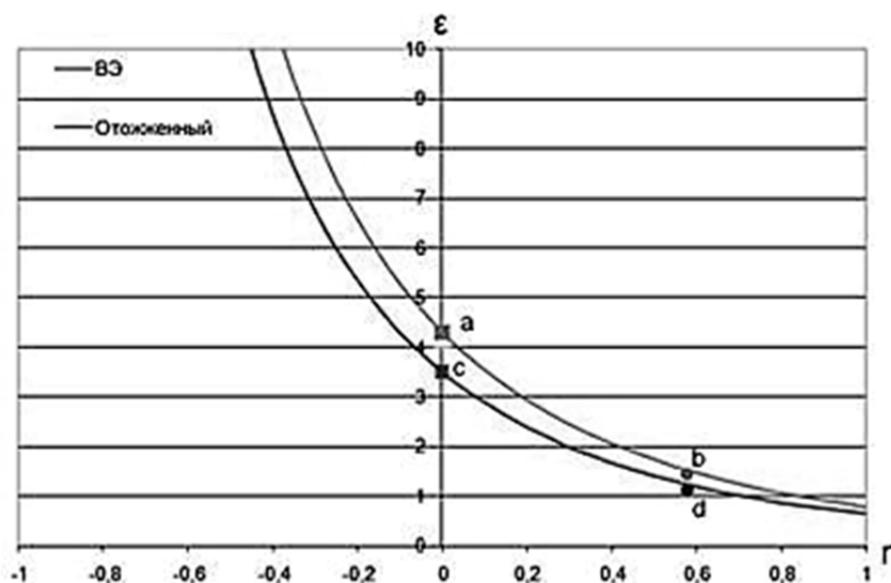


Рис. 4. Диаграмма пластичности

Также нами были проведены исследования данного материала на сдвиг под давлением в специально разработанной оснастке (рис. 5). Для эксперимента были подготовлены образцы сечением 1×1 мм и длиной 2 мм, одна партия была обработана методом ВЭ, другая отожженная. Все образцы были сфотографированы до и после эксперимента. В результате сравнительного анализа, можно прийти к выводу, что предварительная обработка материала положительно отразилась на качестве поверхности образцов (рис. 6). Это имеет большое значение в применении таких материалов при изготовлении деталей малых размеров методами Micro Forging.

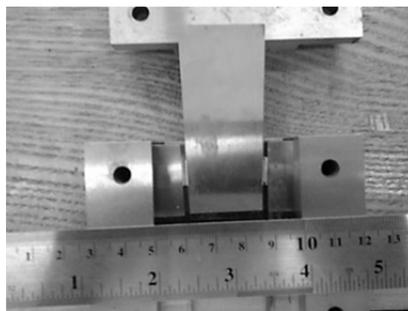
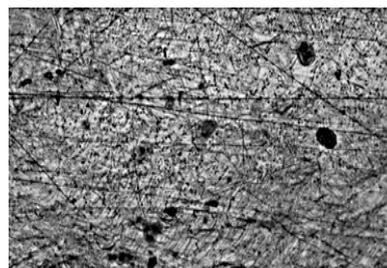


Рис. 5. Оснастка для сдвига под давлением



Отжиг



ВЭ

Рис. 6. Структура образцов после сдвига

ВЫВОДЫ

Показано, что в испытаниях на растяжение в СМК материалах отсутствует стадия равномерного растяжения, что ведет к ошибочному суждению о пластичности СМК материала по относительному удлинению. В данном случае, пластичность нужно оценивать по сужению в шейке.

Пластичность СМК меди выше, чем у крупнокристаллической во всем изученном диапазоне показателей жесткости напряженного состояния.

Показано, что поверхность образцов с СМК структурой, при всех видах испытаний, менее шероховата. Это позволяет использовать такие материалы для изготовления изделий микронных размеров методами Micro Forging.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бейгельзимер Я. Е. Винтовая экструзия – процесс накопления деформации / Я. Е. Бейгельзимер, В. Н. Варюхин, Д. В. Орлов. – Донецк : Фирма ТЕАН, 2003. – 87 с.
2. Валиев Р. З. Наноструктурные материалы, полученные методом интенсивной пластической деформации / Р. З. Валиев, И. В. Александров. – М. : Логос, 2000. – 272 с.
3. Бейгельзимер Я. Е. Исследование Swift-эффекта на алюминиевых и медных сплавах / Я. Е. Бейгельзимер, Ю. В. Гусар, В. Д. Бахмацкий // *Обработка материалов давлением : сб. науч. тр.* – Краматорск : ДГМА, 2010. – № 2 (23). – С. 107–111.
4. Бейгельзимер Я. Е. Пластичность субмикроструктурных материалов / Я. Е. Бейгельзимер, О. В. Прокофьева, Р. Ю. Кулагин // *Обработка материалов давлением : сб. науч. тр.* – Краматорск : ДГМА, 2009. – № 2 (21). – С. 115–118.
5. Дель Г. Д. Технологическая механика / Г. Д. Дель. – М. : Машиностроение, 1978. – 174 с.

Абрамова Е. А. – мл. науч. сотрудник ДонФТИ НАН Украины;
 Гусар Ю. В. – аспирант ДонФТИ НАН Украины;
 Прилепо Д. В. – мл. науч. сотрудник ДонФТИ НАН Украины.

ДонФТИ НАН Украины – Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина Национальной академии наук Украины, г. Донецк.

E-mail: fiztec_la@mail.ru

Статья поступила в редакцию 19.03.2013 г.