

PACS: 81.40.-z

Я.Е. Бейгельзимер, А.В. Решетов, С.Г. Сынков

УШИРЯЮЩАЯ ЭКСТРУЗИЯ КАК МЕТОД УСТРАНЕНИЯ НЕРАВНОМЕРНОСТИ СВОЙСТВ ПО СЕЧЕНИЮ ЗАГОТОВКИ

Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины
ул. Р. Люксембург, 72, г. Донецк, 83114, Украина

Статья поступила в редакцию 23 мая 2006 года

Исследовано пластическое течение металла при винтовой (ВЭ) и уширяющей (УЭ) экструзии. Показано, что комбинирование ВЭ и УЭ приводит к перемешиванию металла в плоскости поперечного сечения образца.

Введение

Напряженно-деформированное состояние образца в процессах интенсивной пластической деформации (ИПД), как правило, неоднородно. Это приводит к неравномерной проработке материала по его сечению и, следовательно, к негомогенности структуры и свойств по объему.

При ВЭ [1,2], помимо интенсивного простого сдвига (simple shear), происходит еще и перетекание металла в пределах поперечного сечения образца. Это вызывает дополнительную деформацию и выравнивание его свойств по сечению. В настоящей работе экспериментально изучается данный эффект. Кроме того, мы показываем, что применение нового процесса УЭ существенно интенсифицирует перемешивание металла.

Метод уширяющей экструзии

Так как идея метода ВЭ была неоднократно описана в предыдущих работах [1–4], остановимся на описании только лишь процесса УЭ, предложенного Я.Е. Бейгельзимером [2]. Суть УЭ поясняет рис. 1, на котором в качестве примера показаны последовательные (вдоль оси экструзии) сечения матрицы для УЭ (возможны сечения и другой формы).

Обычно при экструзии все размеры поперечного сечения заготовки уменьшаются. В случае УЭ размеры в некоторых направлениях увеличиваются, откуда и следует название процесса. При УЭ после цикла деформации не происходит удлинения и изменения поперечного сечения профиля. Эта особенность позволяет многократно пропускать заготовку через матрицу, накапливая деформацию, а также комбинировать винтовую и уширяющую

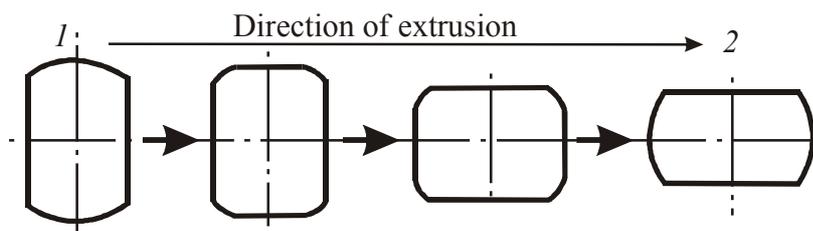


Рис. 1. Последовательные сечения матрицы для УЭ: 1 и 2 – соответственно начальное и конечное сечения матрицы

экструзию. При УЭ исходная призматическая заготовка имеет сечение 1, перпендикулярное оси экструзии (рис. 1). По мере продвижения через матрицу заготовка изменяет форму своего сечения, при этом его площадь остается постоянной. В конце матрицы заготовка приобретает сечение 2, форма и размеры которого совпадают с исходными. Возможен и вариант УЭ, когда площадь сечения матрицы постепенно уменьшается вдоль оси экструзии. В этом случае необходимо иметь несколько матриц для УЭ.

При отсутствии вытяжки УЭ реализует чистый сдвиг металла, в отличие от винтовой, осуществляющей в основном простой сдвиг. Для того чтобы металл полностью заполнял матрицу при УЭ без вытяжки, экструзию необходимо выполнять с противодавлением. Схема канала и половина матрицы с образцом для УЭ показаны на рис. 2.

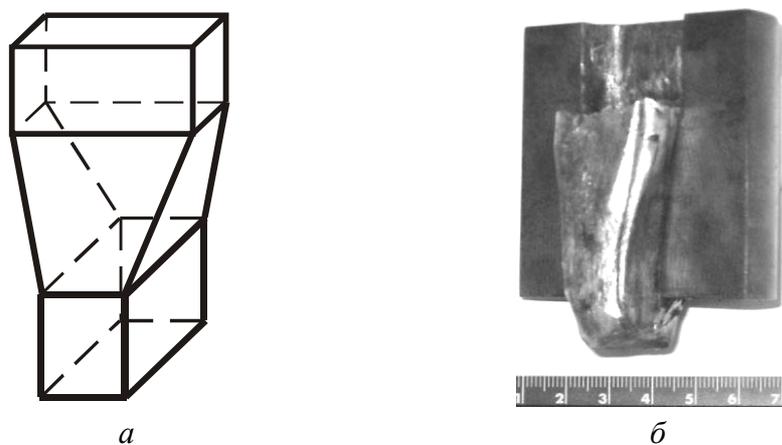


Рис. 2. Матрица для УЭ: *a* – схема внутреннего канала уширяющей матрицы, *б* – половина уширяющей матрицы с частично экструдированной заготовкой

Процесс УЭ легко реализуется на установке для ВЭ, на которой вместо винтовой устанавливается уширяющая матрица, имеющая те же габариты.

Методика эксперимента

Для исследования картины течения металла при ВЭ и УЭ был выполнен эксперимент по деформированию заготовок с метками. Использовали призматические заготовки размерами $17.5 \times 27.5 \times 60$ mm из меди марки М1. Сечение образца приведено на рис. 3.

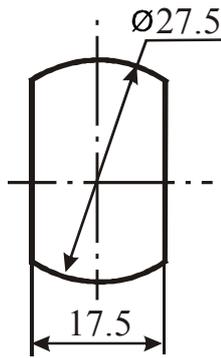


Рис. 3. Поперечное сечение образца для винтовой экструзии

Параллельно оси образца фиксировали координатную сетку. Каждому волокну в теле заготовки присваивали индивидуальный номер. Всего в заготовку было введено 9 алюминиевых волокон.

Винтовую и уширяющую экструзию медных заготовок с алюминиевыми волокнами осуществляли при комнатной температуре и противодавлении 200 МПа. Использовали винтовую матрицу с углом наклона винтовой линии 60° , высотой винтовой части 17 мм и матрицу для УЭ с деформирующим участком длиной 40 мм. После того как образец заполнял деформирующую часть матрицы, а также ее калибрующий участок, процесс прессования останавливали, установку вместе с деформирующей матрицей разбирали и заготовку извлекали.

Исходную информацию получали в плоскостях реза, перпендикулярных продольной оси, по следам меток на поверхности образца. Вскрытие меток осуществляли с шагом 1 мм путем шлифовки торца заготовки на плоскошлифовальном станке. Затем снимали и записывали координаты x , y каждой метки для данного сечения. Для этого сошлифованную торцевую поверхность заготовки оцифровывали при помощи сканирующего устройства, в пакете AutoCAD определяли центр массы каждой деформированной метки и записывали его координаты.

Таким образом, была получена информация с 35 поперечных сечений каждой заготовки и восстановлены траектории течения материала при ВЭ и УЭ в 9 характерных точках образца.

Методика исследования перетекания металла в пределах поперечного сечения образца при многопроходной деформации

Описанная выше методика позволяет определить координаты нескольких материальных точек в сечении образца после одного прохода ВЭ и УЭ. Для того чтобы изучить перетекание металла при многопроходной деформации, мы рассматриваем каждый i -й проход указанных процессов как точечное преобразование – математическую операцию, переводящую всякую точку сечения образца до этого прохода в некоторую точку его конечного сечения после этого прохода. Точечное преобразование задается соотношениями:

$$x_i = f(x_{i-1}, y_{i-1}), \quad y_i = g(x_{i-1}, y_{i-1}), \quad (1)$$

где x_{i-1} , y_{i-1} и x_i , y_i – координаты точки в сечении образца соответственно до i -го прохода и после него.

Функции $f(x, y)$ и $g(x, y)$ определяются путем аппроксимации кубическими сплайнами экспериментальных данных, полученных по методике, указанной в предыдущем подразделе.

Результаты исследований и их обсуждение

На рис. 4 приведено положение меток в различных последовательных сечениях образца при ВЭ. Хорошо видно, что в плоскости поперечного сечения образца наблюдается перетекание материала, которое можно описать как отставание перемещения характерных точек профиля от винтового движения контура поперечного сечения заготовки.

Некоторые характерные положения меток при УЭ показаны на рис. 5. Как видим, движение меток соответствует изменению контура поперечного сечения заготовки: следы волокон движутся в направлении роста меньшей стороны профиля и вытягиваются по этой оси.

На рис. 6 представлено изменение положения меток поперечного сечения в результате последовательных проходов ВЭ и УЭ. Из рисунка следует, что использование уширяющей экструзии между циклами винтовой позволяет интенсифицировать перетекание материала в плоскости поперечного сечения заготовки.

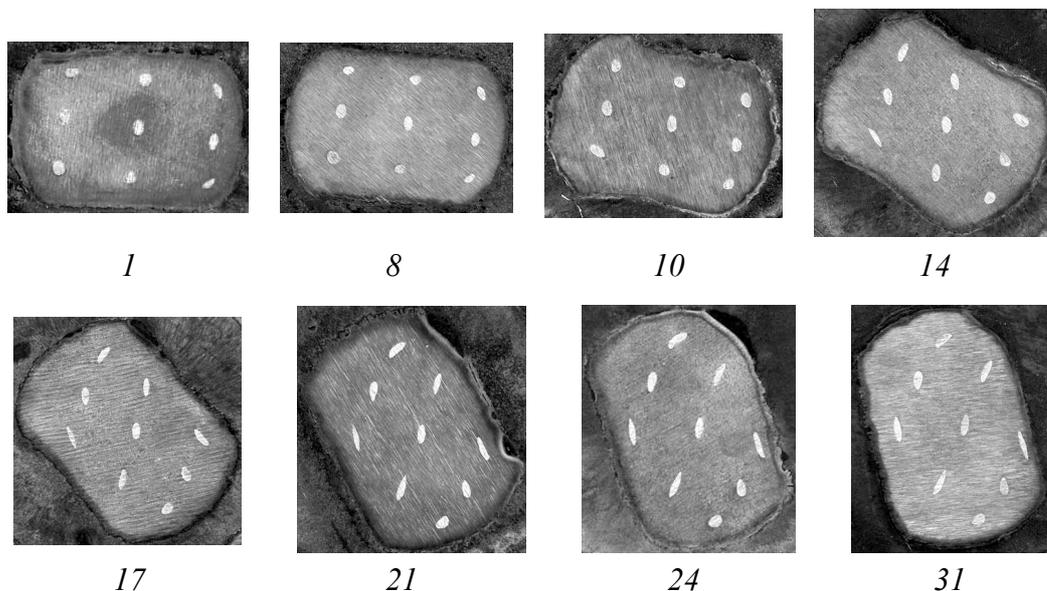


Рис. 4. Поперечные сечения (№ 1, 8, 10, 14, 17, 21, 24, 31) образца со следами меток при ВЭ

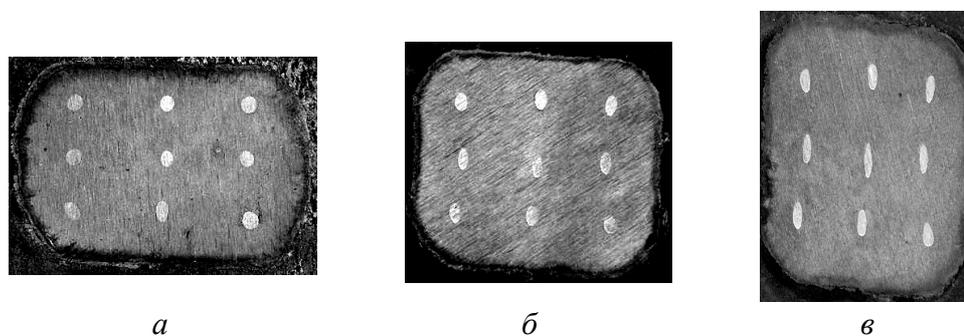


Рис. 5. Поперечные сечения образца со следами меток при УЭ: *а* – начальное сечение, *б* – середина матрицы, *в* – конечное сечение

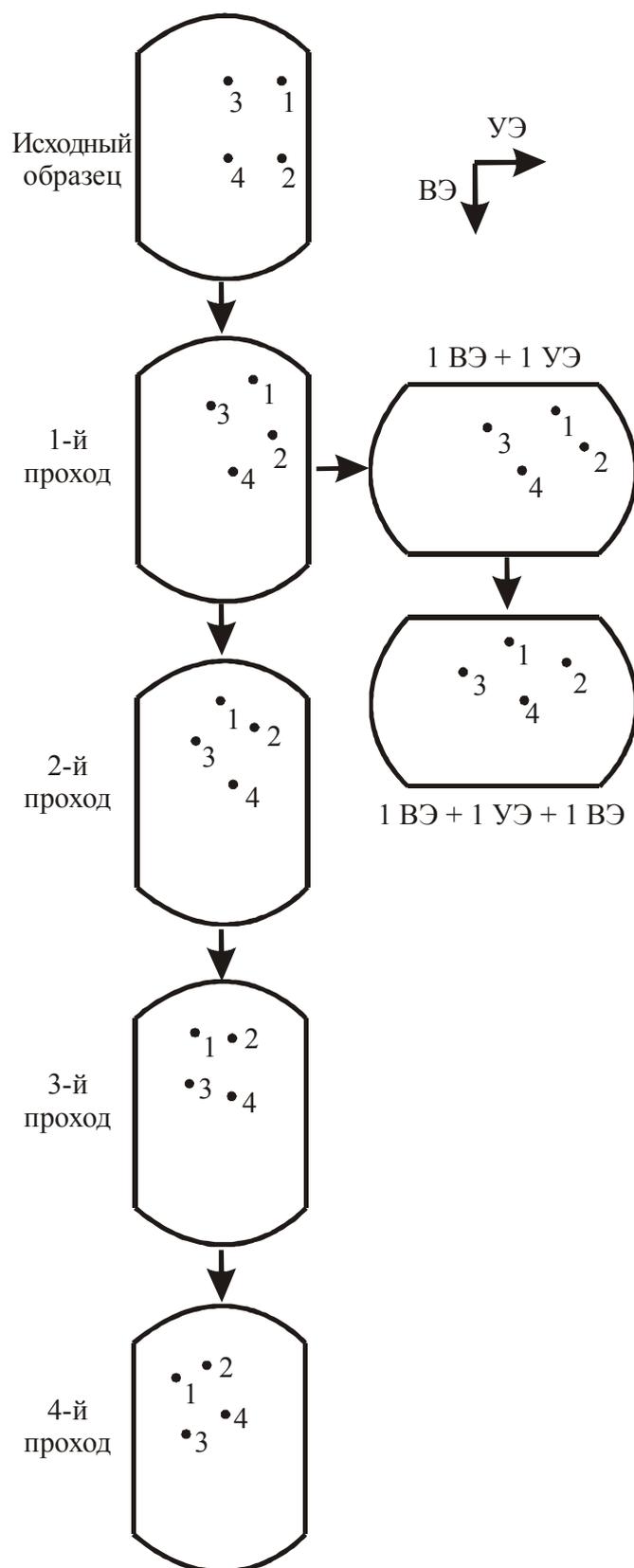


Рис. 6. Изменение положения меток поперечного сечения в результате последовательных проходов ВЭ и УЭ

Выводы

1. Экспериментально показано, что при ВЭ кроме винтового движения наблюдается перетекание материала в плоскости поперечного сечения образца, которое можно описать как некоторое отставание перемещения характерных точек профиля от винтового движения контура поперечного сечения заготовки.

2. Применение УЭ между циклами ВЭ позволяет существенно интенсифицировать перетекание металла в поперечном сечении образца, что способствует выравниванию свойств в этом направлении.

1. Я.Е. Бейгельзимер, С.Г. Сынков, Д.В. Орлов, А.В. Решетов, КШП № 6, 15, (2004).
2. Я.Е. Бейгельзимер, В.Н. Варюхин, Д.В. Орлов, С.Г. Сынков, Винтовая экструзия – процесс накопления деформаций, ТЕАН, Донецк (2003).
3. Я.Е. Бейгельзимер, В.Н. Варюхин, С.Г. Сынков, А.Н. Сапронов, В.Г. Сынков, ФТВД 9 № 3, 109 (1999).
4. D.V. Orlov, V.V. Stolyarov, H.Sh. Salimgareyev, E.P. Soshnikova, A.V. Reshetov, Ya.Ye. Beygelzimer, S.G. Synkov, V.N. Varyukhin, Ultrafine Grained Materials III (TMS) (2004), p. 457.

Ya.E. Beygelzimer, A.V. Reshetov, S.G. Synkov

SPREAD EXTRUSION AS A METHOD OF ELIMINATING A NONUNIFORMITY IN PROPERTIES ACROSS BILLET SECTION

Plastic flow of metal under twist extrusion (TE) and spread extrusion (SE) has been studied. It is shown that a combination of TE and SE results in metal mixing within the specimen.

Fig. 1. Sequential sections of the die for SE: 1 and 2 – initial and final sections of the die, respectively

Fig. 2. Die for SE: *a* – scheme of spreading-die inner channel, *b* – a half of spreading die with partially extruded billet

Fig. 3. Cross-section of specimen for twist extrusion

Fig. 4. Cross-sections (№ 1, 8, 10, 14, 17, 21, 24, 31) of specimen with traces of marks for TE

Fig. 5. Cross-sections of specimen with traces of marks for SE: *a* – initial section, *b* – middle part of the die, *c* – final section

Fig. 6. Changes in position of cross-sectional marks as a result of TE and SE passes