

PACS: 81.40.Vw

Я.Е. Бейгельзимер¹, О.В. Михайлов², А.С. Сынков¹, М.Б. Штерн²

ВИНТОВАЯ ЭКСТРУЗИЯ ПОРОШКОВЫХ ЗАГОТОВОК. II. ЭКСПЕРИМЕНТ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

¹Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины
ул. Р. Люксембург, 72, г. Донецк, 83114, Украина

²Институт проблем материаловедения НАН Украины
ул. Кржижановского, 3, г. Киев, 03142, Украина

Статья поступила в редакцию 18 июля 2008 года

Исследуется деформация порошковых материалов методом винтовой экструзии (ВЭ). Экспериментальные исследования выполнены на образцах порошковой меди. Показано, что ВЭ с противодавлением приводит к интенсивному и достаточно однородному уплотнению порошковых материалов. В частности, относительная плотность заготовок из порошковой меди, деформированных одним проходом ВЭ с противодавлением 200 МПа при комнатной температуре, составила 95% в центре сечения и 98% – на ее периферии. Эти данные хорошо соответствуют теоретическому расчету, выполненному в первой части работы, в результате которого были получены следующие значения плотности: 86–88% для центральной области и 98–99% – для периферии.

Введение

Винтовая экструзия – метод интенсивных пластических деформаций (ИПД), который используется для создания в материалах субмикроструктурных структур [1–3]. Как правило, с этой целью обрабатывают монолитные заготовки, в которых при ИПД происходит образование фрагментов субмикронных размеров с большими углами разориентации. Дополнительные и очень широкие возможности открывает обработка порошковых заготовок. Однако при неоспоримых достоинствах ВЭ порошковых заготовок сопряжена с целым рядом вопросов и проблем, осложняющих ее реализацию. Прежде всего речь идет о возможности эффективного уплотнения порошка. Исследования показывают [4], что при ВЭ материалы, склонные к локализации деформации, слабо деформируются в приосевой зоне. По этой причине порошковые материалы, в которых при малом уровне давления происходит локализация сдвигового течения [5], при ВЭ могут плохо уплотняться, если уровень противодавления недостаточен для исключения локализации.

В первой части статьи [5] осуществлена постановка задачи численного исследования ВЭ порошковых заготовок на основе теории необратимой деформации порошковых тел; выполнен конечно-элементный анализ напряженно-деформированного состояния заготовки и распределения пористости в ней. Показано, что при достаточно высоком уровне противодействия (порядка предела текучести частиц порошка) ВЭ является эффективным методом уплотнения материала.

Во второй части представлены и проанализированы результаты экспериментальных исследований ВЭ заготовок порошковой меди.

Цель работы – экспериментальное изучение степени неравномерности уплотнения порошкового материала по объему заготовки при ВЭ. Идея эксперимента состояла в применении слоистой порошковой заготовки и оценке степени уплотнения каждого слоя в отдельности.

В работе показано, что при высоком уровне противодействия винтовая экструзия приводит к достаточно однородному уплотнению по объему заготовки.

Методика экспериментальных исследований

Исходным материалом для исследований служила порошковая медь марки МОБ с размером частиц 0.2–0.3 мкм (рис. 1). Порошок был получен путем распыления расплава с последующей быстрой кристаллизацией.

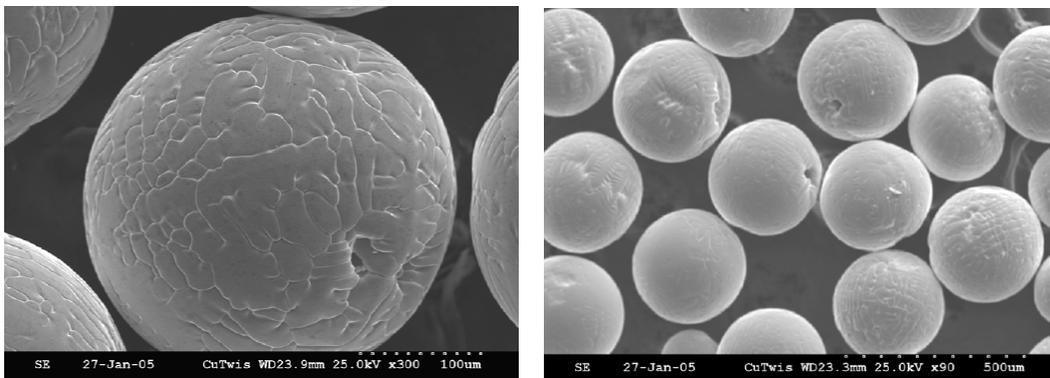


Рис. 1. Общий вид порошинок меди марки МОБ

Заготовки для ВЭ подготавливали по методике, описанной ниже. Порошок предварительно разделили на три порции, две из которых окрасили в черный и белый цвета, и упаковали в алюминиевые оболочки таким образом, чтобы сформировать концентрические слои разных цветов. Схема упаковки порошка слоями показана на рис. 2. Стакан 1 для упаковки порошка был выполнен с концентрическими проточками в донной части. Для того чтобы при упаковке разделить порошок на слои разного цвета, использовали тонкостенные трубки 5, которые вставляли в проточки в донной части стакана. В результате между трубками образовывались полости, имеющие вид концентрических цилиндров.

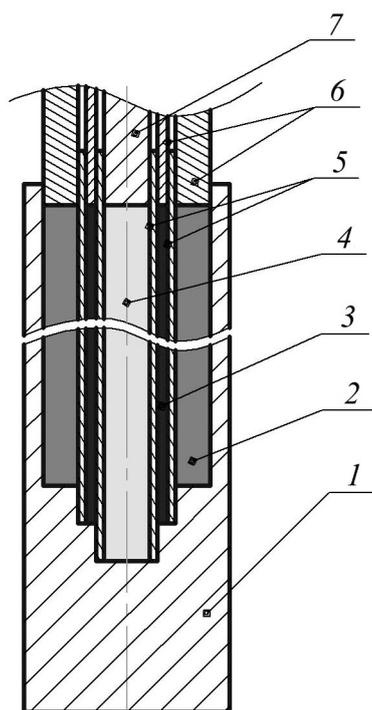


Рис. 2. Схема упаковки порошка слоями

Окрашенный порошок взвешивали на электронных весах. Масса слоя белого цвета составила 18.9 г, черного – 25.9 г, красного – 79.1 г. В порошок, перемешивая, добавляли 5%-ный раствор силикатного клея в воде до тех пор, пока смесь не достигала консистенции густой пасты. Затем полости заполняли смесями 2, 3 и 4 соответствующего цвета, после чего осуществляли подпрессовку смесей стальными втулками 6 и пуансоном 7. Не снимая нагрузку, тонкостенные трубки извлекали, и стакан со слоистым материалом помещали на 15 min в сушильный шкаф, предварительно разогретый до температуры 150°C. Затем стакан плотно запечатывали заглушкой цилиндрической формы и закатывали роликом на токарном станке. Операцию закатки производили для того, чтобы герметизировать заготовку. Относительная плотность порошка перед экструзией составляла 63–65%. Ее определяли по формуле:

$$\rho = (\rho' / \rho_{Cu}) \cdot 100, \quad (1)$$

$$\rho' = M / Sh, \quad (2)$$

где ρ' и ρ – соответственно плотность (g/cm^3) и относительная плотность (%) порошка; ρ_{Cu} – теоретическая плотность меди, g/cm^3 ; M , S , h – соответственно масса (g), площадь сечения (cm^2) и высота (cm) порошкового слоя.

Таким образом, было подготовлено 2 заготовки, которые имели одинаковые размеры и вес. Высота заготовок составляла 110 mm, наружный диаметр – 27 mm, масса – 230 g.

На первом этапе заготовки подвергали деформации прямой экструзией через профильную коническую матрицу с каналом, начальное сечение которого представляло собой круг диаметром 27 mm, а конечное сечение – профиль, показанный на рис. 3.

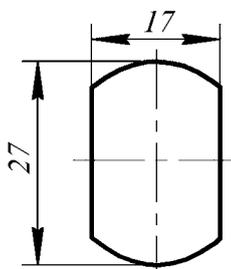


Рис. 3. Сечение профильной конической матрицы

После прямой экструзии длина заготовок составила 120 mm. От одной из заготовок с торцов отрезали по 20 mm, что гарантировало удаление нестационарных участков. Об этом свидетельствовали идентичные картины слоев в верхнем и нижнем торцах заготовки (рис. 4,а). Порошок с отрезанных участков заготовки собирали и взвешивали. Это позволило определить вес порошка в оставшейся части заготовки, который составил 101 g.

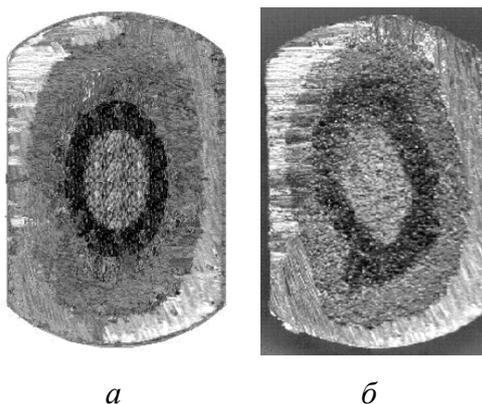


Рис. 4. Поперечное сечение слоистого образца после прямой экструзии (а) и после ВЭ (б)

В исходной заготовке плотность всех слоев порошка была практически одинаковой, что обеспечивалось технологией их уплотнения. Так как высота слоев одинакова, то массы порошка в слоях относятся как площади их сечения в исходной заготовке, т.е.:

$$M_0^w : M_0^b : M_0^r = \lambda_w : \lambda_b : \lambda_r, \quad (3)$$

где M_0^w , M_0^b , M_0^r – исходная масса соответственно белого, черного и красного слоев; λ_w , λ_b , λ_r – удельная площадь (отнесенная к площади сечения заготовки) соответствующих слоев порошка.

В нашем случае: $\lambda_w = 0.15$, $\lambda_b = 0.22$, $\lambda_r = 0.63$.

Очевидно,

$$M_1^w : M_1^b : M_1^r = M_0^w : M_0^b : M_0^r = \lambda_w : \lambda_b : \lambda_r, \quad (4)$$

где M_1^w , M_1^b , M_1^r – масса соответственно белого, черного и красного слоев после прямой экструзии.

Таким образом, нам удалось определить массу каждого слоя отдельно после прямой экструзии: $M_1^w = 15.15$ g; $M_1^b = 22.22$ g; $M_1^r = 63.63$ g.

Плотность порошка в отдельных слоях заготовки после прямой экструзии оценивали по формуле:

$$\rho_l = M_l / S_l h_l, \quad (5)$$

где ρ_l , M_l , S_l , h_l – соответственно плотность, масса, площадь поперечного сечения и высота порошкового слоя.

Относительная плотность центрального и среднего слоев составила 81%, периферийного – 83%.

Таким образом, исследования показали, что разработанная нами методика позволяет получить слоистые заготовки с плотностью слоев $\sim 82 \pm 1\%$.

Эти данные были использованы при обработке результатов экспериментов по деформации второй заготовки методом ВЭ.

Вторую заготовку деформировали методом ВЭ через винтовую матрицу с углом наклона образующей винтовой линии к оси деформации $\beta = 60^\circ$. Противодавление составило 200 МПа, температура – 20°C.

Так же как и после прямой экструзии, после ВЭ от торцов заготовки отрезали по 20 mm материала для исключения областей нестационарной деформации.

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 4,б показано поперечное сечение слоистой заготовки после ВЭ. Плотность слоев, вычисленная так же, как в предыдущем разделе, составила: 98% для наружного и среднего слоев и 95% – для центрального.

Значение средней плотности по сечению заготовки после ВЭ составило 96.6%. Это показывает, что при ВЭ процесс уплотнения металлического порошкового материала протекает весьма интенсивно. Однако следует отметить, что полная консолидация с образованием металлических связей между частицами материала не произошла. Порошинки не образовали между собой прочной связи. Отсутствие схватывания частиц материала связано с тем, что экструзию проводили при комнатной температуре. В работе [6] показано, что консолидация данного материала происходила при деформации ВЭ при температуре 200°C.

Выводы

Теоретические и экспериментальные исследования показали, что ВЭ с противодавлением приводит к интенсивному и достаточно однородному уплотнению порошковых материалов. В частности, относительная плотность заготовок из порошковой меди, деформированных одним проходом ВЭ с противодавлением 200 МПа при комнатной температуре, составила 95% в центре сечения и 98% – на ее периферии. Эти данные неплохо соответствуют выполненному в первой части работы теоретическому расчету, в результате которого были получены следующие значения плотности: 86–88% для центральной области и 98–99% – для периферии.

1. Я.Е. Бейгельзимер, В.Н. Варюхин, Д.В. Орлов, С.Г. Сынков, Винтовая экструзия – процесс накопления деформаций, ТЕАН, Донецк (2003).
2. Я.Е. Бейгельзимер, С.Г. Сынков, Д.В. Орлов, А.В. Решетов, КШП № 6, 15 (2004).
3. В.В. Столяров, Х.Ш. Салимгареев, Е.П. Сошникова, Я.Е. Бейгельзимер, Д.В. Орлов, С.Г. Сынков, А.В. Решетов, ФТВД 13, № 1, 54 (2003).
4. Я.Е. Бейгельзимер, А.В. Решетов, С.Г. Сынков, Д.В. Орлов, Р.Ю. Кулагин, Н.С. Кулаков, в сб.: Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении, Краматорск (2005), с. 39–44.
5. Я.Е. Бейгельзимер, О.В. Михайлов, А.С. Сынков, М.Б. Штерн, Е. Олевский, ФТВД 18, № 1, 69 (2008).
6. Я.Е. Бейгельзимер, А.С. Сынков, Т.Т. Мороз, Т.П. Заика, Н.Н. Белоусов, А.А. Коваленко, Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті, Т. 8. Пластична деформація металів. Системні технології, Дніпропетровськ (2005), с. 508–510.

Ya.E. Beygelzimer, O.V. Mikhailov, A.S. Synkov, M.B. Shtern

TWIST EXTRUSION OF POWDER BILLETS.

II. EXPERIMENT AND DISCUSSION

Deformation of powder materials is studied by the method of twist extrusion (TE). Powder copper samples have been experimentally studied. It is shown that the TE with back-pressure results in intensive and uniform enough compaction of powder materials. In particular, the relative density of powder copper billets deformed in one TE pass with back-pressure of 200 MPa, under the room temperature conditions, was equal to 95% in central part of the cross-section and 98% at the periphery. The results are in a good correspondence with theoretical calculation done in the 1st part of the paper: 86–88% density in the central part and 98–99% for the periphery.

Fig. 1. General view of MO6-type copper powder particles

Fig. 2. Scheme of powder packing in layers

Fig. 3. Cross-section of shaping conical die

Fig. 4. Cross-section of layered sample after direct extrusion (*a*) and TE (*b*)