

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 669.721:539.89

<https://doi.org/10.18503/1995-2732-2019-17-3-31-37>

МЕТОД СОЗДАНИЯ И РАСЧЕТ ПРОТИВОДАВЛЕНИЯ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ ПО ХОЛОДНОМУ ОБРАТНОМУ ВЫДАВЛИВАНИЮ МАГНИЯ

Каменецкий Б.И., Комкова Д.А.

Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Аннотация. Магний и его сплавы являются перспективными материалами для различных практических приложений. Однако из-за низкой пластичности при низких температурах применение данных материалов во многом ограничено. По сравнению с «горячими» методами обработки, «холодная» деформация при комнатной температуре или ниже способствует формированию мелкозернистой структуры и улучшению механических свойств. Всё чаще разрабатываются новые методы холодной деформации магния и совершенствуются уже известные. Одним из таких методов является метод обратного выдавливания. В данной работе предложен оригинальный метод создания противодействия в процессе обратного выдавливания с целью предотвращения растрескивания магния и успешной деформации металла при комнатной температуре. В эксперименте магниевая заготовка помещается в стальной контейнер, на торец заготовки устанавливается медная трубка. При опускании пуансона сначала происходит дорнование медной трубки, затем пуансон внедряется в материал заготовки и происходит формирование стенок стаканчика. Медная трубка прижимается пуансоном к контейнеру, возникающая при этом сила трения обеспечивает противодействие растущей в процессе деформации стенки стаканчика. Использование медной трубки приводит к созданию дополнительных сжимающих напряжений, что препятствует растрескиванию материала. В работе также приведена оценка величины противодействия. Результаты расчёта подтверждены экспериментально. В результате деформации методом обратного выдавливания с противодействием при комнатной температуре из магния и его сплавов удалось получить стаканы с цельной стенкой толщиной от 1 до 4 мм в зависимости от толщины медной трубки. Средний размер зерна магния после такой деформации 5 мкм. Предложенный метод обратного выдавливания с противодействием представляет научный и практический интерес, поскольку может быть использован для изготовления тонкостенных магниевых трубок, листов и фольг с мелкозернистой структурой.

Ключевые слова: магний, обратное выдавливание, противодействие, интенсивная пластическая деформация, структура.

Введение

Одним из основных путей улучшения свойств металлов и сплавов является формирование ультрамелкозернистой (УМЗ) и нанокристаллической (НК) структуры. По сравнению с обычными крупнокристаллическими материалами, такие материалы демонстрируют высокую прочность в сочетании с хорошей пластичностью, обладают повышенной коррозионной стойкостью [1]. Для получения объёмных УМЗ материалов активно применяются методы интенсивной пластической деформации (ИПД), например равноканальное угловое прессование (РКУП) [2] или кручение под высоким давлением [3].

Методы ИПД могут применяться для обработки различных, в том числе малопластичных,

материалов, таких как магниевые сплавы [4, 5]. Магний и его сплавы демонстрируют хорошее сочетание высокой прочности и малой плотности, что является несомненным преимуществом для широкого использования в различных областях науки и техники. Тем не менее применение магния и его сплавов ограничено по причине низкой пластичности этого металла при комнатной температуре. Магний обладает ГПУ-решёткой, поэтому его деформация при комнатной температуре осуществляется в основном за счёт скольжения по плоскостям базиса (0001) [6]. Для активации дополнительных систем скольжения требуются повышенные температуры деформирования. Однако горячая пластическая деформация приводит к дополнительным затратам энергии на нагрев заготовок, увеличению длительности технологического цикла,

окислению поверхности полуфабрикатов и необходимости удаления окисленного слоя с использованием механической обработки. Обработка магния методами ИПД при температурах ниже 150°C зачастую приводит к разрушению образцов [7]. Разработка новых методов деформации, которые позволили бы осуществлять деформацию магния при комнатной температуре, является интересной и непростой задачей.

Как правило [8, 9], деформация в условиях высоких сжимающих напряжений предотвращает появление и развитие трещин в образце. Дополнительные сжимающие напряжения могут быть созданы сжатой жидкостью, пластичным твердым телом и механическим воздействием на деформируемое изделие. Например, в работах [10, 11] показано, что использование металлической оболочки при холодной осадке магния создаёт боковой подпор, приводя к дополнительному обжатю, что способствует увеличению степени деформации без разрушения образца.

В последние годы появился ряд работ, посвящённых деформации магния методом обратного выдавливания с использованием различных технических усовершенствований, к примеру, метод накопительного обратного выдавливания. В данном методе используется два пуансона: один – внутренний – для внедрения в образец и формирования стенки стаканчика, а второй – внешний – для вдавливания стенки обратно [12]. Многократное применение такой процедуры обработки позволило достичь больших степеней деформации и сформировать мелкозернистую структуру в образцах. Однако и в этом случае деформационная обработка проводилась при повышенных температурах от 80 до 380°C [13].

В работах [14, 15] в качестве способа деформации металла с ГПУ-решёткой на примере бериллия описан метод обратного выдавливания с реализацией противодействия. Эта технология позволила деформировать бериллий при комнатной температуре. Процесс осуществляли на гидравлическом прессе с двумя независимыми concentричными ползунами. От внутреннего ползуна усилие передается пуансону для выдавливания, а от наружного ползуна – кольцевому пуансону для создания противодействия на стенку полого изделия. Однако в работе [15] нет информации о величинах противодействия и удельных давлениях на пуансоне в конце процесса обратного выдавливания.

Целью данной работы является разработка методик создания и расчета противодействия для проведения экспериментов по холодному обратному выдавливанию полых образцов из магния марки Mg 90.

1. Материалы и методы

Предлагается усовершенствованный метод холодного обратного выдавливания магния и его сплавов с применением противодействия. Нами было разработано устройство для холодного обратного выдавливания с противодействием полых изделий из магния. Схема устройства представлена на рис. 1, где 1 – верхняя плита; 2 – пуансон; 3 – контейнер; 4 – трубка для создания противодействия; 5 – заготовка; 6 – выталкиватель; 7 – нижняя плита; 8 – деформированная трубка; 9 – полая изделие.

Для осуществления метода обратного холодного выдавливания с противодействием заготовку 5 из магния покрывают смазкой и помещают на выталкиватель 6. На торец заготовки устанавливают медную трубку 4 для создания противодействия. В нашем случае использовали трубку из технической меди диаметром 30 мм, толщиной стенки 2,8 мм и высотой 15 мм. Наружная и внутренняя поверхности трубки покрыты смазкой.

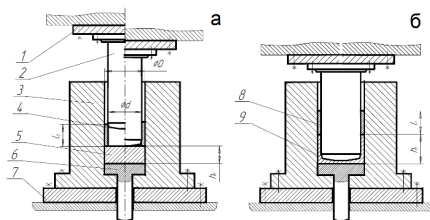


Рис. 1. Схема устройства для холодного обратного выдавливания с противодействием: а – в позициях до деформации и при дорновании трубки; б – после окончания процесса деформации

Процесс дорнования трубки 4 и последующего обратного выдавливания заготовки 5 выполняют за один цикл деформирования. В процессе дорнования наружная поверхность трубки плотно прижимается к стенке контейнера 3, а её внутренняя поверхность плотно зажата пуансоном 2. При дорновании стенка трубки утоняется до толщины 2,5 мм, длина трубки увеличивается до 16,6 мм, а предел текучести меди возрастает со 100 до 200 МПа. По окончании дорнования пуансон 2 внедряется в заготовку 5, и начинается следующая стадия: процесс обратного холодного выдавливания с противодействием, при котором стенка полого магниевого образца перемещает деформированную трубку 8 (рис. 1, б). На рис. 1, б показана схема обратного выдавливания с полученным в результате деформации полым

образцом магния со степенью деформации 81%.

После окончания процесса деформации пуансон 2 поднимают в верхнюю позицию. Затем включают выталкиватель прессы, который удаляет из канала контейнера 3 полое изделие 9 и деформированную трубку 8. В конце эксперимента выталкиватель опускают в нижнее положение, тем самым подготавливая устройство к следующему циклу деформирования.

В качестве исходного материала для экспериментов по обратному выдавливанию был взят слиток крупнозернистого магния марки Mg90 (чистота 99,90%). Из слитка были вырезаны образцы цилиндрической формы диаметром 30 мм и высотой 12 мм. Образцы помещались в устройство для холодного обратного выдавливания. Устройство устанавливается на гидравлический пресс марки ДБ 2240 усилием 10 МН. Все эксперименты по деформации магния осуществлялись при комнатной температуре.

2. Экспериментальные результаты и их обсуждение

2.1. Холодное обратное выдавливание магния без противодействия

Первые эксперименты по обратному холодному выдавливанию магния были выполнены без использования противодействия. Процесс обратного холодного выдавливания осуществлялся с непрерывным ростом усилия, в конечной стадии оно достигло значения 260 кН, а удельное давление на пуансоне составило 530 МПа. В результате такой деформации у полого образца на верхней части стенки высотой ~ 20 мм наблюдались мелкие трещины небольшой глубины. В нижней части стенки трещин не было. Из этого, в целом, неудачного эксперимента можно заключить, что при перемещении стенки на длину более 20 мм за счет сил трения создается противодействие, величина которого достаточна для предотвращения растрескивания. Был сделан вывод, что для получения образцов без трещин обратное холодное выдавливание необходимо выполнять только с использованием противодействия, что позволит избежать растрескивания за счет все возрастающих сил трения.

2.2. Холодное обратное выдавливание магния с противодействием

На **рис. 2** представлены полые образцы, полученные в результате деформации магния методом холодного обратного выдавливания с противодействием. Процесс обратного холодного выдавливания с противодействием осуществ-

лялся с непрерывным ростом усилия, в конечной стадии оно достигло значения 390 кН.



Рис. 2. Полые образцы со стенкой разной толщины – стаканы, полученные в результате деформации магния методом обратного выдавливания с противодействием при комнатной температуре

При этом удельное давление на пуансоне составило 800 МПа, что соответствует примерно 7 значениям предела прочности литой заготовки (113 МПа) и 4 значениям предела прочности деформированного магния (196 МПа) [16]. Следовательно, процесс обратного холодного выдавливания литых заготовок магния марки Mg 90 выполняется при высоком уровне сжимающих напряжений, благодаря чему предотвращается возникновение пор и микротрещин, а также обеспечивается пластическое течение магния при пониженных температурах.

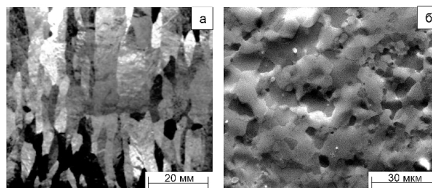


Рис. 3. Структура магния: а – исходная структура (до деформации); б – микроструктура магния, сформированная в результате деформации методом обратного выдавливания с противодействием при комнатной температуре

В результате обратного выдавливания с противодействием при комнатной температуре происходит существенное измельчение структуры исходной крупнозернистой заготовки магния. На **рис. 3** представлена структура магния до и после деформации. В исходном состоянии магниевая заготовка имела столбчатую структуру с зёрнами вытянутой формы длиной до 30 мм и шири-

ной до 5 мм (рис. 3, а). После обратного выдавливания формируется бимодальная структура со средним размером зерна 5 мкм (рис. 3, б). Подробное изучение структуры, текстуры и механических свойств полученных стенок является предметом текущих исследований.

2.3. Расчет величины противодействия при обратном холодном выдавливании

Для расчета величины противодействия в процессе холодного обратного выдавливания необходимо вычислить усилие перемещения деформированной трубки $P_{\text{пер}}$. На рис. 4 показана схема напряжений и сил трения, возникающих при перемещении деформированной трубки в промежуточной стадии процесса обратного холодного выдавливания. После окончания дорнования наружная поверхность трубки плотно прижимается к стенке контейнера, а её внутренняя поверхность плотно зажата пуансоном, поэтому на поверхностях действуют радиальные напряжения σ_{rr} . При перемещении деформированной трубки на наружную поверхность возникает сила трения f_1 , а на внутренней поверхности сила трения f_2 . Силы трения f_1 и f_2 действуют на единицах длины поверхностей.

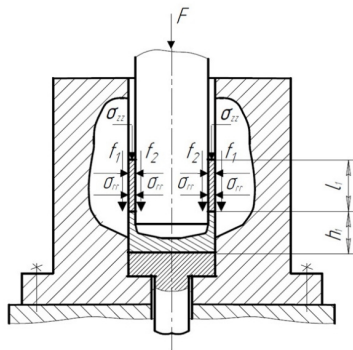


Рис. 4. Схема напряжений и сил трения, возникающих при перемещении деформированной трубки в процессе обратного холодного выдавливания

В литературе [17] приводятся формулы для расчёта усилия выталкивания стержневых деталей после высадки. Основными факторами, от которых зависит усилие выталкивания, являются: схема деформации, материал и размеры заготовки, коэффициент трения между отштампованной заготовкой и стенками матрицы и давление, действующее со стороны отштампованной

заготовки на стенки матрицы. Усилие выталкивания $P_{\text{выт}}$ рассчитывается по формуле

$$P_{\text{выт}} = p\mu\pi dl, \quad (1)$$

где p – давление, действующее со стороны отштампованной заготовки на стенки матрицы, определяется как $p = (0,8 - 1,0)\sigma_m$, σ_m – предел текучести материала деформированной заготовки, μ – коэффициент трения между отштампованной заготовкой и стенками матрицы, d – диаметр стержня отштампованной заготовки, l – длина стержня отштампованной заготовки.

Используя формулу (1) [17], рассчитаем усилие перемещения деформированной медной трубки $P_{\text{пер}}$. При выполнении расчёта примем допущение, что коэффициент трения μ имеет одинаковые значения на наружной и внутренней поверхностях при перемещении деформированной трубки. Усилие перемещения деформированной трубки определяется по формуле

$$P_{\text{пер}} = F_1 + F_2, \quad (2)$$

где F_1 – сила трения, возникающая при перемещении наружной поверхности деформированной трубки по стенке контейнера, F_2 – сила трения, возникающая при перемещении внутренней поверхности деформированной трубки по пуансону. Сила трения F_1 определяется по формуле

$$F_1 = \sigma_{rr}\mu\pi D l, \quad (3)$$

где σ_{rr} – напряжение, действующее со стороны стенки контейнера на наружную поверхность деформированной трубки, $\sigma_{rr} = (0,8 - 1,0)\sigma_m$, σ_m – предел текучести технической меди, деформированной со степенью 10% ($\sigma_m = 200$ МПа) [18]; μ – коэффициент трения, $\mu = 0,1$; D – внешний диаметр медной трубки, $D = 30$ мм; l – длина трубки, $l = 16,6$ мм.

Аналогичным образом рассчитывается сила трения F_2 , возникающая при перемещении внутренней поверхности деформированной трубки по пуансону. В этом случае σ_{rr} – это напряжение, действующее со стороны пуансона на внутреннюю поверхность деформированной трубки, а внутренний диаметр трубки d равен 25 мм.

$$F_2 = \sigma_{rr}\mu\pi d l. \quad (4)$$

Подставляя (3) и (4) в (2), получаем, что формула для определения усилия перемещения деформированной трубки $P_{\text{пер}}$

$$P_{\text{пер}} = \sigma_{rr}\mu\pi l(D + d). \quad (5)$$

Используя (5), находим, что усилие перемещения деформированной медной трубки со степенью деформации при дорновании 10% равно 57 336,4 Н.

Величина противодавления, которое создается в стенке полого изделия при обратном выдавливании, определяется как напряжение σ_{Σ} :

$$\sigma_{\Sigma} = \frac{P_{\text{пер}}}{S}. \quad (6)$$

где S – площадь поперечного сечения стенки медной трубки, $S = \frac{\pi}{4} D^2 - d^2 = 215,9 \text{ мм}^2$.

Подставляя в (6) значения $P_{\text{пер}}$ и S , получаем, что величина напряжения противодавления σ_{Σ} составляет 265,6 МПа. Из (5) и (6) видно, что σ_{Σ} линейно зависит от длины деформированной трубки, а также от прочностных характеристик материала трубки.

Таким образом, проведенные выше расчеты позволяют оценить значение величины противодавления, при котором в эксперименте по обратному холодному выдавливанию со степенью деформации 81% удалось предотвратить растрескивание магния. Оказалось, что для этого достаточно создать противодавление $\sigma_{\Sigma} = 266 \text{ МПа}$, равное примерно двум пределам прочности литого магния марки Mg90 [19].

Заключение

В работе предложен усовершенствованный метод холодного обратного выдавливания с использованием противодавления, который позволяет осуществить деформацию магневой заготовки при комнатной температуре. Противодавление создается медной трубкой, которая деформируется в ходе эксперимента и давит на стенки формирующегося магниевого стаканчика. Благодаря созданию противодавления в деформируемом магниевом образце удается реализовать условия всестороннего сжатия, что предотвращает возникновение пор и микротрещин в материале и позволяет получить изделие с цельной стенкой необходимой толщины. Структурное исследование стенки полученного магниевого стаканчика показало, что после одного цикла деформации методом обратного выдавливания с противодавлением происходит существенное измельчение зерна по сравнению с исходной литой заготовкой. Проведенная теоретическая оценка показала, что для предотвращения растрескивания магния в ходе деформации методом обратного выдавливания достаточно создать противодавление, равное 266 МПа. Полученная величина противодавления хорошо соответствует результатам натурных экспериментов по деформации магния без противодавления.

Разработанный метод деформации магниевых сплавов путем обратного выдавливания с

противодавлением при комнатной температуре может найти применение на практике. По сравнению с типовыми технологиями горячего прессования предлагаемый метод позволяет устранить нагрев заготовок, окисление поверхности полых изделий, применение операций по удалению окисленного слоя и сократить срок изготовления продукции. Магниевые стаканчики, получаемые в результате предложенного метода, могут быть использованы в качестве корпусов магневых батареек. Более того, такой стаканчик при отрезании дна может выступать как трубчатая заготовка, пригодная для получения тонкостенных магниевых труб большой длины.

Таким образом, полученные в данной работе результаты представляют как научный, так и практический интерес.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Давление» №АААА-А18-118020190104-3 при частичном финансировании по проекту УрО РАН №18-10-2-24.

Список литературы

1. Yang Cao, Song Ni, Xiaozhou Liao, MinSong, Yuntian Zhu. Structural evolutions of metallic materials processed by severe plastic deformation. Mater. Sci. and Eng. R: Reports. 113, 1–59 (2018). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mser.2018.06.001>
2. Едимова Ю.Ю., Копцева Н.В., Никитенко О.А. Исследование состояния карбидной фазы после наноструктурирования и последующего волочения низкоуглеродистой стали // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. №3 (27). С. 45–48. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12860920>.
3. Структурно-фазовые превращения, происходящие в псевдомонотексталлическом цирконии при тепловой деформации в камере бриджмена / Егорова Л.А., Хлебникова Ю.В., Пацелов А.М., Пилюгин В.П. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2018. Т.16. №3 (16). С. 120–128. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35682097>.
4. F.-D. Dumitru, O.F. Higuera-Cobos, J.M. Cabrera. ZK60 alloy processed by ECAP: Microstructural, physical and mechanical characterization. Mater. Sci. and Eng. A. 594, 32–39 (2014). DOI: 10.1016/j.msea.2013.11.050
5. Satyam Suwas, G. Gottstein, R. Kumara. Evolution of crystallographic texture during equal channel angular extrusion (ECAE) and its effects on secondary processing of magnesium. Mater. Sci. and Eng. A. 471, 1–14 (2007). DOI: 10.1016/j.msea.2007.05.030.
6. M.R. Barnett. Forming of magnesium and its alloys. Fundamentals of magnesium alloy metallurgy. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2013. 357 p. URL: <https://books.google.ru/books?id=55RwAgAAQBAJ&pg=PP1&ots=ed2Aokumvk&dq=%20Forming%20of%20magnesium%20and%20its%20alloys%20Fundamentals%20of%20magnesium%20alloy%20metallurgy&lr=&hl=ru&pg=PA6>

- 2#v=onepage&q=Forming%20of%20magnesium%20and%20its%20alloys%20Fundamentals%20of%20%20magnesium%20alloy%20metallurgy&f=false
7. N. Bayat Tork, N. Pardis, R. Ebrahimi Investigation on the feasibility of room temperature plastic deformation of pure magnesium by simple shear extrusion process. *Mater. Sci. and Eng. A*. 560, 34–39 (2013). DOI: 10.1016/j.msea.2012.08.085.
 8. Xiao Guang Qiao, Ya Wei Zhao, Wei Min Gan et al. Hardening mechanism of commercially pure Mg processed by high pressure torsion at room temperature. *Mater. Sci. and Eng. A*. 619, 95–106 (2014). DOI: 10.1016/j.msea.2014.09.068.
 9. A.Yu. Volkov, I.V. Kliukin. Improving the mechanical properties of pure magnesium through cold hydrostatic extrusion and low-temperature annealing. *Mater. Sci. and Eng. A*. 624, 56–60 (2015). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2014.12.104>.
 10. Каменецкий Б.И., Логинов Ю.Н., Кругликов Н.А. Влияние условий бокового подпора на пластичность магния при холодной осадке // *Технология легких сплавов*. 2012. №1. С. 86–92. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18772347>.
 11. Каменецкий Б.И., Логинов Ю.Н., Волков А.Ю. Методы и устройства для повышения пластичности хрупких материалов при холодной осадке с боковым подпором // *Заготовительные производства в машиностроении*. 2013. №9. С. 15–22. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20314375>.
 12. S.M. Fatemi-Varzaneh, A. Zarei-Hanzaki. Accumulative back extrusion (ABE) processing as a novel bulk deformation method. *Mater. Sci. and Eng. A*. 504, 104–106 (2009). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2008.10.027>.
 13. S.M. Fatemi-Varzaneh, A. Zarei-Hanzaki, H. Paul. Characterization of ultrafine and nanogained magnesium alloy processed by severe plastic deformation. *Mater. Character.* 87, 27–35 (2014). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2013.10.024>.
 14. Гурьева И.И., Чухрова М.В. Магниево-алюминиевые сплавы. Ч.2.: Технология производства и свойства отливок и деформированных полуфабрикатов. М.: Металлургия, 1978. 296 с.
 15. Механические свойства материалов под высоким давлением: пер. с англ. / ред. Х.Л. Пью. М.: Мир, 1973. 370 с.
 16. Эйдензон М.А. Магний. М.: Металлургия, 1969. 352 с.
 17. Навроцкий Г.А. Холодная объемная штамповка: справ. Т. 3. М.: Машиностроение, 1987. 384 с.
 18. Третьяков А.В., Зюзин В.И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением: справ. М.: Металлургия, 1973. 224 с.
 19. Каменецкий Б.И., Логинов Ю.Н., Кругликов Н.А. Возможности нового метода повышения пластичности магния при холодной осадке // *Известия вузов. Цветная металлургия*. 2017. № 1. С. 53–60. DOI: <https://doi.org/10.17073/0021-3438-2017-1-53-60>.

Поступила 20.06.19

Принята в печать 23.07.19

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

<https://doi.org/10.18503/1995-2732-2019-17-3-31-37>

CREATING AND CALCULATING BACKPRESSURE DURING EXPERIMENTS IN COLD BACKWARD EXTRUSION OF MAGNESIUM

Boris I. Kamenetskiy – Cand.Sci. (Eng.), Lead ResearcherM.N. Mikheev Institute of Metal Physics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia.
E-mail: kamenetski@imp.uran.ru. ORCID 0000-0001-6306-6590**Daria A. Komkova** – Postgraduate Student, Lead EngineerM.N. Mikheev Institute of Metal Physics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia.
E-mail: komkova_d@imp.uran.ru. ORCID 0000-0001-5252-8913

Abstract. Magnesium and its alloys are of interest because they can potentially have various practical applications. However, due to poor ductility at low temperatures the use of magnesium is largely limited. Unlike “hot” deformation methods, “cold” deformation at room temperature or lower temperatures leads to the formation of a fine-grained structure and improved mechanical properties. Development of new methods for cold deformation of magnesium and optimization of the existing techniques is an increasingly growing trend. Backward extrusion is one of such existing techniques. This paper describes an original method that involves creating a backpressure during backward extrusion to prevent cracking of magnesium and ensure successful deformation of metal at room temperature. As part of the experiment, a magnesium workpiece is placed in a steel container, with a copper tube attached to its end. When the punch goes down, it first burnishes the copper tube and then it penetrates the workpiece material forming cup walls. The

punch presses the copper tube to the container. The resultant friction serves as a backpressure counteracting the growing Mg-wall. The copper tube creates additional compressive stresses which help prevent material cracking. The paper also calculates the level of backpressure, and the calculated data are confirmed through experiment. Depending on the copper tube thickness, cups of magnesium and magnesium alloys were obtained through deformation by backward extrusion with backpressure at room temperature with solid 1 to 4 mm thick walls. After such deformation, the average grain size of magnesium is 5 μm . The described method of back extrusion with backpressure is of scientific and practical interest as it can be used for fabrication of thin-walled magnesium tubes, as well as sheets and foils with a fine-grained structure.

Keywords: Magnesium, backward extrusion, backpressure, severe plastic deformation, structure.

This research was carried out as part of the Governmental Assignment No.AAAA-A18-118020190104-3 entitled "Pressure" and was partially funded under the Project of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences No.18-10-2-24.

References

- Yang Cao, Song Ni, Xiaozhou Liao, MinSong, Yuntian Zhu. Structural evolutions of metallic materials processed by severe plastic deformation. *Materials Science and Engineering: Reports*. 113, 1–59 (2018). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mser.2018.06.001>
- Efimova Yu.Yu., Koptseva N.V., Nikitenko O.A. Investigation of the state of the carbide phase after nanostructuring and subsequent drawing of low carbon steel. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2009, no. 3 (27), pp. 45–48. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12860920>. (In Russ.)
- Egorova L.A., Khlebnikova Yu.V., Patselov A.M., Pilyugin V.P. Structural phase transformations in zirconium pseudosingle crystals subjected to thermal deformation in the Bridgman chamber. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2018, vol. 16, no.3, pp. 120–128. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35682097>. (In Russ.)
- F.-D. Dumitru, O.F. Higuera-Cobos, J.M. Cabrera. ZK60 alloy processed by ECAP: Microstructural, physical and mechanical characterization. *Materials Science and Engineering: A*. 594, 32–39 (2014). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2013.11.050>
- Satyam Suwas, G. Gottsteina, R. Kumara. Evolution of crystallographic texture during equal channel angular extrusion (ECAE) and its effects on secondary processing of magnesium. *Materials Science and Engineering: A*. 471, 1–14 (2007). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2007.05.030>.
- M.R. Barnett. Forming of magnesium and its alloys. Fundamentals of magnesium alloy metallurgy. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2013. 357 p. URL: <https://books.google.ru/books?id=55RwAgAAQBAJ&pg=P1&ots=ed2Aokumvk&dq=%20Forming%20of%20magnesium%20and%20its%20alloys%20Fundamentals%20of%20%20magnesium%20alloy%20metallurgy&lr&hl=ru&pg=PA62#v=onepage&q=Forming%20of%20magnesium%20and%20its%20alloys%20Fundamentals%20of%20%20magnesium%20alloy%20metallurgy&f=false>
- N. Bayat Tork, N. Pardis, R. Ebrahimi. Investigation on the feasibility of room temperature plastic deformation of pure magnesium by simple shear extrusion process. *Materials Science and Engineering: A*. 560, 34–39 (2013). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2012.08.085>
- Xiao Guang Qiao, Ya Wei Zhao, Wei Min Gan et al. Hardening mechanism of commercially pure Mg processed by high pressure torsion at room temperature. *Materials Science and Engineering: A*. 619, 95–106 (2014). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2014.09.068>.
- A.Yu. Volkov, I.V. Kliukin. Improving the mechanical properties of pure magnesium through cold hydrostatic extrusion and low-temperature annealing. *Materials Science and Engineering: A*. 624, 56–60 (2015). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2014.12.104>.
- Kamenetskiy B.I., Loginov Yu.N., Kruglikov N.A. The effect of lateral backpressure conditions on magnesium plasticity during cold upsetting. *Tekhnologiya legkikh spлавov* [Light alloy technology], 2012, no. 1, pp. 86–92. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18772347>. (In Russ.)
- Kamenetskiy B.I., Loginov Yu.N., Volkov A.Yu. Methods and apparatuses for improving the plasticity of brittle materials under cold upsetting with lateral backpressure. *Zagotovitelnye proizvodstva v mashinostroenii* [Production of blanks in machine building], 2013, no. 9, pp. 15–22. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20314375>. (In Russ.)
- S.M. Fatemi-Varzaneh, A. Zarei-Hanzaki. Accumulative back extrusion (ABE) processing as a novel bulk deformation method. *Materials Science and Engineering: A*. 504, 104–106 (2009). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2008.10.027>.
- S.M. Fatemi-Varzaneh, A. Zarei-Hanzaki, H. Paul. Characterization of ultrafine and nanograin magnesium alloy processed by severe plastic deformation. *Materials Characterization*. 87, 27–35 (2014). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2013.10.024>.
- Gurieva I.I., Chukhrova M.V. *Magniyeve spлавy. Chast 2. Spravochnik: Tekhnologiya proizvodstva i svoystva otlivok i deformirovannykh polufabrikatov* [Magnesium alloys. Part II. Reference book: Production technology and properties of castings and deformed semi-finished products]. Moscow: Metallurgiya, 1978, 296 p. (In Russ.)
- Mekhanicheskie svoystva materialov pod vysokim davleniyem: per. s angl.* [Mechanical properties of materials under high pressure: Translated from English]. Ed. by H.L. Pew. Moscow: Mir, 1973, 370 p. (In Russ.)
- Eydenzon M.A. *Magniy* [Magnesium]. Moscow: Metallurgiya, 1969, 352 p. (In Russ.)
- Navrotsky G.A. *Kholodnaya obiemnaya shtampovka. Spravochnik: tom 3* [Cold forging. Reference book: Volume III]. Moscow: Mashinostroenie, 1987, 384 p. (In Russ.)
- Tretiakov A.V., Zyuzin V.I. *Mekhanicheskiye svoystva metallov i spлавov pri obrabotke davleniyem. Spravochnik* [Mechanical properties of metals and alloys under forming. Reference book]. Moscow: Metallurgiya, 1973, 224 p. (In Russ.)
- Kamenetskiy B.I., Loginov Yu.N., Kruglikov N.A. The capabilities of a new cold upsetting method for magnesium plasticification. *Izvestiya vuzov. Tsvetnaya metallurgiya* [Proceedings of Russian universities. Nonferrous metallurgy], 2017, no. 1, pp. 53–60. DOI: <https://doi.org/10.17073/0021-3438-2017-1-53-60>. (In Russ.)

Received 20/06/19

Accepted 23/07/19

Образец для цитирования

Каменецкий Б.И., Комкова Д.А. Метод создания и расчет противодавления в экспериментах по холодному обратному выдавливанию магния // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2019. Т.17. №3. С. 31–37. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2019-17-3-31-37>

For citation

Kamenetskiy B.I., Komkova D.A. Creating and Calculating Backpressure During Experiments in Cold Backward Extrusion of Magnesium. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2019, vol. 17, no. 3, pp. 31–37. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2019-17-3-31-37>