

УДК 621.77.043

Сынков Ю. С.  
Сынков А. С.  
Бейгельзимер Я. Е.

## ПОЛУЧЕНИЕ ПРОВОЛОКИ ИЗ СТРУЖКИ МЕТОДОМ ЭКСТРУЗИИ

Стружечные отходы цветных металлов, в частности магниевые, загрязняют окружающую среду и занимают полезные производственные площади. Они могут быть полезны для металлургической промышленности в процессах десульфурации [1], раскисления, легирования и т. д. Использование вторичных цветных металлов значительно снижает производственные затраты, а также решает проблему сбережения ресурсов. Для применения в металлургии стружка должна быть переработана в гранулы или проволоку. Традиционная переработка отходов методом переплава является очень энергоемким процессом и неприемлем для такого материала как магниевая стружка, которая сгорает при температурах ниже температуры плавления. В настоящей работе представлен альтернативный процесс переработки стружки для изготовления металлургических реагентов. Процесс разработан на основе метода экструзии.

Экструзия распространена в порошковой металлургии как один из методов уплотнения металлических порошковых материалов. Винтовая экструзия (ВЭ) является одним из эффективных методов уплотнения и консолидации, так как позволяет воздействовать на материал высокими сдвиговыми деформациями под давлением [2–4].

Одним из важнейших аспектов при создании технологии производства изделий для металлургии является производительность процесса. При повышении производительности экструзии за счет увеличения размеров рабочих элементов установки (контейнера, матрицы и т. д.), растет нагрузка на инструмент. Одним из способов снижения нагрузки на инструмент является применение многоканальных матриц [5].

Целью работы является исследование многоканальной экструзии магниевой стружки для создания технологии производства проволоки для металлургии. Применение проволоки в металлургии предполагает разрезание ее на мерные фрагменты, при этом проволока не должна расслаиваться. Это требование определило методику исследования.

Экспериментальная работа выполнена на установке теплой многоканальной экструзии, собранной на базе гидравлического пресса силой 6300 кН. Магниевую стружку сплава AZ91 с размерами частиц  $10 \times 0,5$  мм игловидной формы экструдировали через матрицу с 64 каналами. Из стружки получали проволоку с диаметром поперечного сечения 3 мм, которую разрезали на фрагменты длиной 50–70 мм на гильотинных ножницах.

Полученные образцы проволоки (рис. 1, а), не удовлетворяли поставленным выше требованиям. Поверхности срезов были не ровными, наблюдались расслоения и трещины. Поэтому было принято решение экструдировать порезанную проволоку повторно. Таким образом, была проведена двойная обработка магниевой стружки экструзией с коэффициентом вытяжки 9 при температуре 300 °С. Обработку проводили в полунепрерывном режиме, нагрев осуществляли в контейнере установки.

Образцы после повторной экструзии (рис. 1, б) значительно отличались от предыдущих. Они не имели расслоений и не рассыпались, что свидетельствует о наличии прочных связей между частицами по всему объему образцов.

Полученный результат доказывает эффективность повторного этапа деформационной обработки.

Для объяснения полученного эффекта необходимо учесть особенности свойств магния при деформировании. Магний при комнатной температуре является хрупким материалом и важным условием для его деформирования является высокая температура. В процессе многоканальной экструзии объем деформируемого материала разделяется на потоки, соответствующие каждому каналу матрицы. На границах этих потоков, вследствие деформаци-

онного разогрева повышается пластичность материала. Слои материала с повышенной пластичностью хорошо деформируются, что обеспечивает консолидацию частиц стружки в этих слоях. Остальной материал остается хрупким. В его объеме могут устраняться поры за счет взаимного перемещения частиц, но не происходит образования связей между ними, т. к. отсутствует необходимая для консолидации деформация. Поэтому в результате первой обработки консолидация наблюдается только на поверхности проволоки, а внутри заготовок отсутствуют связи между частицами. При повторной обработке этот поверхностный слой играет важную роль. Материал в поверхностных слоях заготовок уже достаточно пластичный и хорошо деформируется даже при не высокой температуре. Он является связующим компонентом между частицами стружки, а также создает дополнительное давление при деформировании, что очень важно для консолидации.

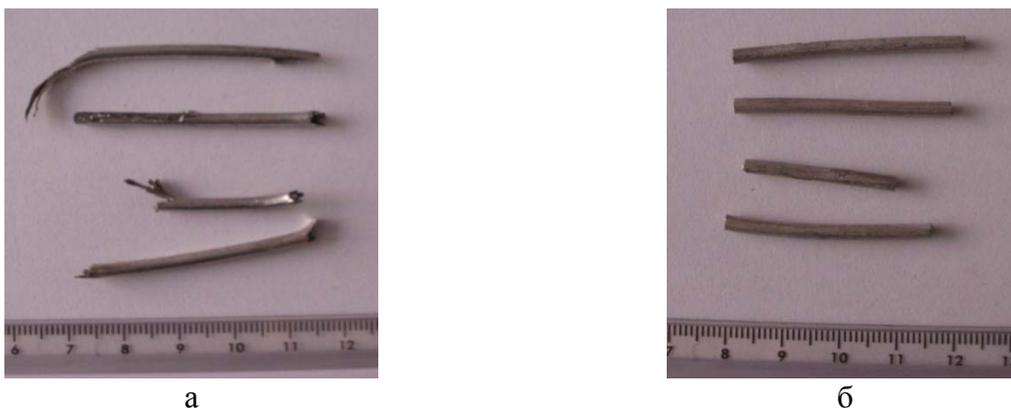


Рис. 1. Образцы проволоки после многоканальной экструзии:  
а – после одного прохода экструзии; б – после двух проходов экструзии

Недостатком метода повторной экструзии является его трудоемкость. Кроме наличия второго передела, удваивающего затраты труда и энергии, существует необходимость порезки заготовок, без которой повторную обработку осуществить невозможно. Поэтому совершенствованием предложенной технологии может быть замена второго передела на процесс предварительного уплотнения, совмещенный в одну операцию с многоканальной экструзией. Опираясь на приведенные выше работы по обработке некомпактных материалов методом ВЭ, можно разработать высокопроизводительную технологию переработки магниевой стружки, основанную на комбинации методов ВЭ и многоканальной прямой экструзии в одной операции.

Идея комбинированной многоканальной экструзии заключается в последовательном продавливании стружки через последовательно установленные винтовую и многоканальную плоскую матрицы. Пример установки комбинированной многоканальной экструзии представлен на рис. 2. Винтовой канал обеспечивает сдвиговую деформацию и, как следствие, высокую степень уплотнения пористого материала и образование связей между частицами. Плоская многоканальная матрица обеспечивает противодействие в винтовом канале и выполняет последующее формообразование материала. В результате выпрессовываются сразу несколько заготовок, количество которых зависит от требуемого размера продукции, от усилия прессы и от коэффициента вытяжки требуемого для создания необходимой величины противодействия.

Традиционно используемая в процессах винтовой экструзии прямоугольная форма сечения канала имеет ряд недостатков:

1) Прочность инструмента: требуется применение пуансона с прямоугольным сечением, который менее устойчив, чем пуансон с круглой формой сечения; углы канала являются концентраторами напряжений, вызывают образование трещин и поломку.

2) Конструкция инструмента: при замене прямоугольного сечения пуансона на круглое, потребуется переменное сечение в контейнере или матрице, что усложнит их конструкцию; сложность центровки требует дополнительных операций при сборке установки.

3) Расположение каналов на рабочей плоскости многоканальной матрицы в форме прямоугольника повышает неравномерность деформации, что, в свою очередь, приводит к нестабильности процесса.

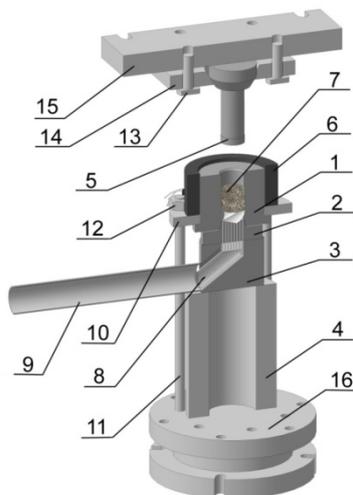


Рис. 2. Установка комбинированной многоканальной экструзии магниевой стружки:

1 – контейнер с винтовым участком; 2 – плоская многоканальная матрица; 3 – подставка с угловым каналом; 4 – цилиндрическая подставка; 5 – пуансон; 6 – нагреватель; 7 – магниевая стружка; 8 – экструдированная проволока; 9 – направляющая втулка; 10 – фланец контейнера; 11 – шпилька; 12 – гайка; 13 – болт; 14 – фланец пуансона; 15 – верхняя плита; 16 – нижняя плита

Переход к винтовой матрице с круглым сечением канала решит вышеперечисленные проблемы [6]. Винтовой канал с круглым сечением образуется благодаря смещению оси вращения. Схема комбинированной многоканальной экструзии стружки с применением винтовой матрицы с круглым сечением канала приведена рис. 3.

Особенностью многоканальной экструзии является неравномерное истечение металла через каналы матрицы, что обусловлено наличием сил трения и неравномерным нагревом металла. При прессовании пористого материала неравномерность усугубляется разной степенью уплотнения материала по объему контейнера. Обработка винтовой экструзией способна полностью устранить пористость и тем самым сделать истечение более равномерным.

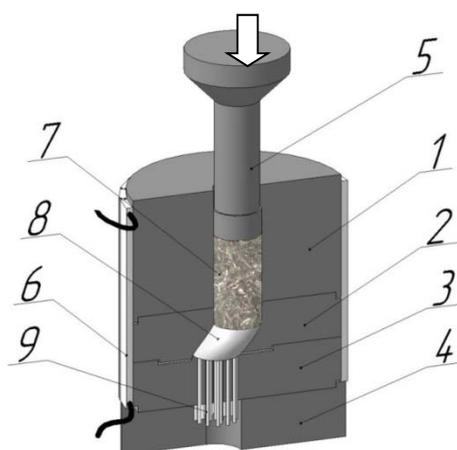


Рис. 3. Комбинированная многоканальная экструзия стружки с применением винтовой матрицы с круглым сечением канала:

1 – контейнер; 2 – винтовая матрица с круглым сечением канала; 3 – плоская многоканальная матрица; 4 – подставка; 5 – пуансон; 6 – нагреватель; 7 – стружка; 8 – участок уплотнения стружки; 9 – экструдированная проволока

## ВЫВОДЫ

На основании проведенных исследований можно сделать вывод об эффективности метода двукратной обработки магниевой стружки прямой экструзией. Образцы, полученные после первого и второго этапа обработки, в значительной степени отличались по качеству. Проволока, изготовленная двукратной обработкой экструзией, удовлетворяет требованиям металлургической промышленности.

Результат, полученный методом двукратной обработки стружки экструзией, может быть достигнут путем замены повторного этапа обработки на предварительный этап винтовой экструзии, осуществляемый за одну операцию вместе с многоканальной экструзией. Это позволит существенно снизить трудоемкость процесса.

Применение винтовой матрицы с круглым сечением канала позволит решить ряд проблем, возникающих при использовании прямоугольного канала.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дюдкин Д. И. Сопоставление эффективности способов десульфурации чугуна / Д. И. Дюдкин, С. Е. Гринберг, С. Н. Маринцев // *Сталь*, 2001. – № 4. – С. 17–19.
2. Бейгельзимер Я. Е. Получение порошковых заготовок с высоким уровнем свойств методом винтовой экструзии / Я. Е. Бейгельзимер, А. С. Сынков // *Обработка материалов давлением : сборник научных трудов*. – Краматорск, 2010. – № 1 (22). – С. 183–187.
3. Сынков Ю. С. Процесс переработки магниевой стружки с использованием метода винтовой экструзии / Ю. С. Сынков, А. С. Сынков // *Обработка материалов давлением : сборник научных трудов*. – Краматорск, 2013. – № 2 (35). – С. 173–176.
4. Сынков А. С. Компактирование магниевой стружки методом комбинированной экструзии / А. С. Сынков, Я. Е. Бейгельзимер. // *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. Тематич. зб. наук. пр.* – Краматорск, 2006. – С. 372–374.
5. Перлин И. Л. Теория прессования металлов / И. Л. Перлин – М. : *Металлургия*, 1964. – 344 с.
6. Бейгельзимер Я. Е. Винтовая экструзия – процесс накопления деформаций / Я. Е. Бейгельзимер, В. Н. Варюхин, Д. В. Орлов, С. Г. Сынков. – *Донецк : ТЕАН*, 2003. – 87 с.

## REFERENCES

1. Djudkin D. I. Sopotavlenie jeffektivnosti sposobov desul'furacii chuguna / D. I. Djudkin, S. E. Grinberg, S. N. Marincev // *Stal'*, 2001. – № 4. – S. 17–19.
2. Bejgel'zimer Ja. E. Poluchenie poroshkovyh zagotovok s vysokim urovnem svojstv metodom vinto-voj jekstruzii / Ja. E. Bejgel'zimer, A. S. Synkov // *Obrabotka materialov davleniem : sbornik nauchnyh trudov*. – Kramatorsk, 2010. – № 1 (22). – S. 183–187.
3. Synkov Ju. S. Process pererabotki magnievoj struzhki s ispol'zovaniem metoda vintovoj jeks-truzii / Ju. S. Synkov, A. S. Synkov // *Obrabotka materialov davleniem : sbornik nauchnyh trudov*. – Kramatorsk, 2013. – № 2 (35). – S. 173–176.
4. Synkov A. S. Kompaktirovanie magnievoj struzhki metodom kombinirovannoj jekstruzii / A. S. Synkov, Ja. E. Bejgel'zimer. // *Udoskonalennja procesiv i obladnannja obrobki tiskom v metalurgii i mashi-nobuduvanni. Tematich. zb. nauk. pr.* – Kramatorsk, 2006. – S. 372–374.
5. Perlin I. L. Teorija pressovanija metallov / I. L. Perlin – M. : *Metallurgija*, 1964. – 344 s.
6. Bejgel'zimer Ja. E. Vintovaja jekstruzija – process nakoplenija deformacij / Ja. E. Bejgel'zimer, V. N. Varjuhin, D. V. Orlov, S. G. Synkov. – *Doneck : TEAN*, 2003. – 87 s.

Сынков Ю. С. – аспирант ДонФТИ  
Сынков А. С. – канд. техн. наук, мл. науч. сотр. ДонФТИ  
Бейгельзимер Я. Е. – д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотр. ДонФТИ

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

E-mail: [yurasynkov@mail.ru](mailto:yurasynkov@mail.ru), [asynkov@mail.ru](mailto:asynkov@mail.ru), [yanbeygel@gmail.com](mailto:yanbeygel@gmail.com)

Статья поступила в редакцию 25.02.2014 г.