

**Сынков Ю.С.**

Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины,  
г. Донецк, Украина, аспирант.

## **ПРЯМАЯ ЭКСТРУЗИЯ МАГНИЕВОЙ СТРУЖКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МНОГОКАНАЛЬНЫХ МАТРИЦ**

**Synkov Y.S.**

Donetsk Institute for Physics and Engineering named after O.O. Galkin, National Academy  
of Sciences of Ukraine, Donetsk, Ukraine, e-mail: yurasynkov@mail.ru

### **DIRECT EXTRUSION OF MAGNESIUM CHIPS USING MULTI-CHANNEL DIES**

*Проведены эксперименты по обработке магниевой стружки прямой экструзией с применением матриц разных видов – одноканальной и многоканальных, обеспечивающих разный коэффициент вытяжки. Получены заготовки в виде магниевой проволоки диаметром 3 мм. Проведена многоканальная экструзия стружки в полунепрерывном режиме, при которой получена проволока длиной более 3 м. Выявлены особенности процесса многоканальной экструзии стружки. Произведено сравнение образцов, полученных одноканальной и многоканальной экструзией. Выявлены закономерности образования дефектов на поверхности экструдированной проволоки. Продемонстрированы преимущества применения многоканальных матриц в процессе экструзии магниевой стружки.*

**Ключевые слова:** *экструзия, магниевая стружка, многоканальная матрица, поверхность заготовок, проволока, дефекты.*

#### **Введение**

В настоящее время на металлургических и машиностроительных предприятиях Украины скапливается большое количество стружечных отходов магниевых сплавов. Эти материалы представляют проблемы, связанные с загромождением полезных рабочих площадей. Магниевые сплавы в виде стружки являются пожароопасным материалом, т.к. имеют низкую температуру воспламенения и требуют особых условий безопасного хранения. В то же время металлургическая промышленность Украины потребляет большое количество магния в виде гранул и проволоки при производстве чугуна и стали. Существующие методы переработки магниевой стружки являются энергоемкими, т.к. предусматривают процесс плавления металла, при этом большая часть его теряется при сгорании.

В работах [1,2] предложен процесс консолидации стружечных материалов с применением метода пластической деформации – экструзии. Данный процесс позволил получить объемные заготовки с высоким уровнем

нем физико-механических свойств без расплавления металла. Однако использованная лабораторная методика изготовления заготовок не обеспечивает необходимой производительности. Кроме того, не были проведены исследования технологических параметров процесса.

Важным параметром при обработке магниевой стружки методами пластической деформации является температура. В работах посвященных экструзии магниевой стружки, температуру обработки выбирали в интервале 300-400°C [3-5], что обеспечило получение заготовок с высокими физико-механическими свойствами. В работе [6] были проведены исследования механических свойств магниевого сплава AZ91 при повышенных температурах. Испытания образцов показали, что наибольшие пластические свойства достигаются при температуре 300°C, при которой резко падает прочность.

Экспериментальное оборудование, использованное в вышеуказанных работах, не обеспечивает высокой производительности. Необходимо увеличение рабочих размеров инструмента для экструзии, что приведет к значительному повышению давления. Этого можно избежать применением многоканальных матриц [7], позволяющих выдавливать сразу несколько заготовок. В таком случае увеличение размеров контейнера и остального инструмента, а также объема загружаемого в контейнер материала гарантирует повышение производительности и не приведет к критическим нагрузкам для инструмента.

### **Цель**

Целью работы является экспериментальное исследование обработки магниевой стружки методом многоканальной экструзии и выявление факторов, влияющих на эффективность процесса и качество заготовок.

### **Методика исследования**

В качестве экспериментального материала использована магниевая стружка сплава AZ91, образовавшаяся при обработке деталей на механических станках. Частицы стружки имели форму волокон и чешуек с размерами, не превышающими 2мм. Стружка была частично отчищена от загрязняющих примесей.

В ходе экспериментов стружку экструдировали, применяя матрицы с разным количеством каналов. Общая схема экструзии представлена на рис.1. Магниевую стружку загружали в нагретый до 300°C контейнер и продавливали пуансоном через матрицу. В первом эксперименте применяли коническую матрицу с одним каналом, коэффициент вытяжки при этом составлял 87. Далее были проведены эксперименты с использованием многоканальных матриц (рис. 2) с количеством каналов 3, 16 и 64. Коэффициенты вытяжки для этих матриц были равны 78, 16 и 9 соответственно. Производили измерения рабочего давления экструзии, величина которого составила 1520 МПа для одноканальной экструзии и соответственно 1312, 1125 и 860МПа для экспериментов с применением многоканальных матриц.

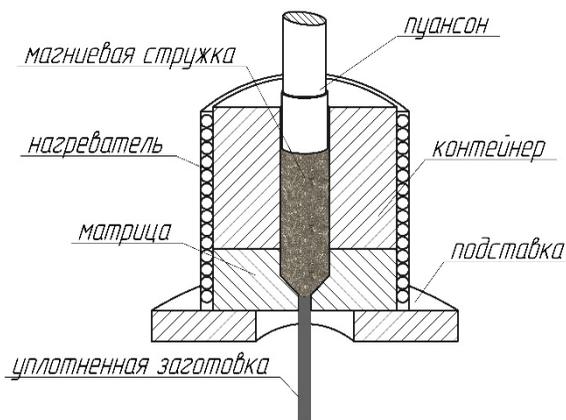


Рис. 1. Схема экструзии магниевой стружки



Рис. 2. Многоканальные матрицы

### Результаты исследований

В ходе экспериментов были получены уплотненные заготовки в виде проволоки диаметром 3мм. Величина давления в экспериментах снижалась при использовании матриц с большим количеством каналов и меньшей вытяжкой.

Образцы, полученные в первом эксперименте, ломались, выходя из матрицы. На поверхности образцов были обнаружены дефекты в виде поперечных трещин. Образцы, полученные после экструзии через трехканальную матрицу и матрицу с 16 каналами, имели меньше дефектов на поверхности. В эксперименте с применением матрицы с 64 каналами длина экструдированных заготовок превышала 3м, что фактически позволяет говорить о возможности изготовления магниевых прутков неограниченной длины благодаря полунепрерывному режиму экструзии.

Достичь хорошего схватывания частиц внутри заготовок не удалось ни в одном из экспериментов. Экструдированные прутки рассыпались на изломе, явно было заметно отсутствие связи между частицами в центре заготовок. По периферии же наблюдалась хорошая консолидация материала, который сформировал своеобразную капсулу, содержащую в себе частицы пористого магния. Такой эффект происходит при экструзии некомпактных материалов вследствие действия сил трения по краям формирующейся заготовки и отсутствие какого-либо «подпора» в центре.

Снижение количества поверхностных дефектов позволило получить длинные заготовки при экструзии через матрицу с 64 каналами. Дефекты на поверхности экструдированной проволоки возникают из-за неравномерного истечения металла в центре заготовок и на периферии. Чем выше скорость деформации, тем больше разница между скоростями течения слоев заготовок и, следовательно, больше дефектов в виде трещин на поверхности. Эти дефекты являются причиной того, что заготовки ломаются при выдавливании из матрицы. Высокий коэффициент вытяжки, как в эксперименте с использованием одноканальной матрицы, обеспечивает высокую скорость и большое количество поверхностных дефектов в виде расслоений и трещин (рис. 3а). Поэтому снижение величины коэффициента вытяжки вызвало уменьшение количества дефектов (рис. 3б) и снизило возможность разлома экструдированной проволоки.

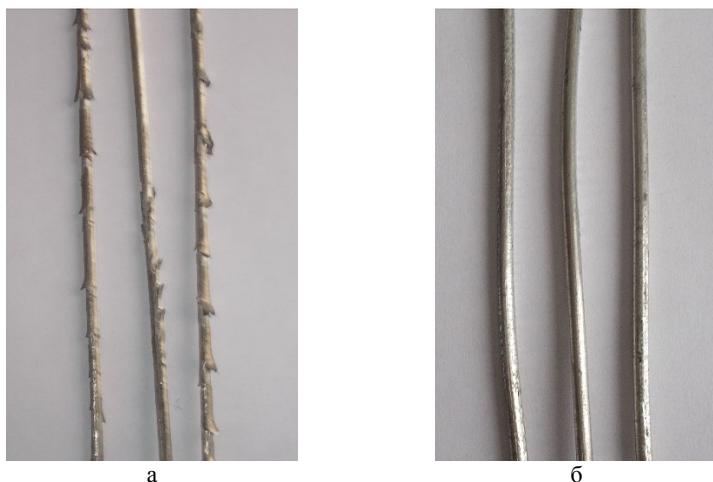


Рис. 3. Образцы проволоки, полученные одноканальной экструзией – а и многоканальной экструзией с применением матрицы с 64 каналами – б

Важной проблемой многоканальной экструзии является неравномерное истечение заготовок из каналов матрицы. Причиной этого является не-

равные объемы пластических зон металла, соответствующих каждому каналу матрицы. Это, в свою очередь, может быть обусловлено геометрией матрицы (расположение каналов на рабочем торце матрицы), наличием трения заготовки со стенкой контейнера, неравномерный нагрев заготовки, неравномерное уплотнение по объему некомпактной заготовки. Данная проблема может быть решена расчетом и корректировкой геометрии матрицы. Влияние неравномерности уплотнения материала в некомпактных заготовках подлежит дальнейшему изучению.

Нерешенной является задача консолидации частиц стружки. Прямая теплая экструзия не обеспечивает условия для появления прочных связей в экструдированных заготовках. В основном механическая связь между частицами стружки является причиной низких механических свойств заготовок, что исключает возможность их практического применения. Для консолидации магниевой стружки необходимо устранение пористости и обеспечение деформации частиц. Пористость устраняется путем перемещения частиц относительно друг друга, т.е. перемешивания под высоким давлением. Для того чтобы хрупкие магниевые частицы могли деформироваться нужно поднять уровень пластичности благодаря внешнему и деформационному нагреву. Перспективным методом для реализации поставленной задачи является винтовая экструзия, о чем свидетельствуют работы, приведенные во введении. В дальнейших исследованиях возможно применение комбинации винтовой и многоканальной экструзии в одном технологическом процессе. Также задачу консолидации и улучшения свойств заготовок может решить экструзия проволоки в несколько проходов.

## **Выводы**

Проведена экструзия магниевой стружки с применением одноканальной и многоканальных матриц. Ни в одном из экспериментов не удалось консолидировать стружку и устранить пористость. Заготовки расслаивались на изломе и имели дефекты на поверхности.

Обнаружена тенденция на уменьшение поверхностных дефектов на заготовках при снижении коэффициента вытяжки экструзии, что позволило получить проволоку длиной более 3 м при экструзии через матрицу с 64 каналами в полунепрерывном режиме. Понижение коэффициента вытяжки влечет уменьшение скорости деформации, а, следовательно, уменьшает разницу между скоростями истечения наружных и внутренних слоев металла при формировании проволоки. Поэтому при многоканальной экструзии с низким коэффициентом вытяжки проволока не ломалась в отличие от одноканальной экструзии, где вытяжка была значительно выше. Так как давление экструзии при уменьшении коэффициента вытяжки тоже понижается, применение многоканальных матриц является рациональным при разработке промышленной установки для переработки магниевой стружки и способствует повышению производительности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. 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.
3. Wu Shu-Yan. Microstructure and mechanical properties of AZ31B magnesium alloy prepared by solid-state recycling process from chips / Wu Shu-Yan, Ji Ze-Sheng, Rong-Shou-Fan, Hu Mao-Liang // Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2010.- №20. – P. 783-788.
4. Hu Mao-Liang. Effect of extrusion ratio on microstructure and mechanical properties of AZ91D magnesium alloy recycled from scraps by hot extrusion / Hu Mao-liang, Ji Ze-Sheng, Cheng Xiao-Yu // Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2010.- № 20. – P. 987-991.
5. Mabuchi M. New Recycling Process by Extrusion for Machined Chips of AZ91 Magnesium and Mechanical Properties of Extruded Bars / M. Mabuchi, K. Kubota, K. Higashi // Materials Transactions, 1995. – Vol. 36, № 10 – P. 1249-1254.
6. Čížek L. Mechanical properties of magnesium alloy AZ91 at elevated temperature / L. Čížek, M. Greger, L.A. Dobrzański, I. Juříčka, R. Kocich, L. Pawlica, T. Tański // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 2006. - № 18. – P. 203-206.
7. Перлин И. Л. Теория прессования металлов / И. Л. Перлин – М.: Металлургия, 1964. – 344 с.

## REFERENCES

1. Synkov, A. S., Bejgel'zimer, Ja. E., 2006. Kompaktirovanie magnievoj struzhki metodom kombinirovannoj ekstruzii, Udoskonalennja procesiv i obladnannja obrobki tiskom v metalurgii i mashinobuduvanni. Tematich. zb. nauk. pr.- Kramatorsk, pp. 372-374.
2. Synkov, Ju. S., Synkov, A. S., 2013. Process pererabotki magnievoj struzhki s ispol'zovaniem metoda vintovoj ekstruzii, Obrabotka materialov davleniem. Sbornik nauchnyh trudov, Kramatorsk, Issue 2 (35), pp. 173-176.
3. Wu Shu-Yan, Ji Ze-Sheng, Rong Shou-Fan, Hu Mao-Liang, 2010. Microstructure and mechanical properties of AZ31B magnesium alloy prepared by solid-state recycling process from chips, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, No 20, pp. 783-788.
4. Hu Mao-Liang, Ji Ze-Sheng, Cheng Xiao-Yu, 2010. Effect of extrusion ratio on microstructure and mechanical properties of AZ91D magnesium alloy recycled from scraps by hot extrusion, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, No 20. – pp. 987-991.
5. Mabuchi, M., Kubota, K., Higashi, K., 1995. New Recycling Process by Extrusion for Machined Chips of AZ91 Magnesium and Mechanical Properties of Extruded Bars, Materials Transactions, Vol. 36, No 10, pp. 1249-1254.
6. Čížek, L., Greger, M., Dobrzański, L.A., Juříčka, I., Kocich, R., Pawlica, L., Tański, T., 2006. Mechanical properties of magnesium alloy AZ91 at elevated temperature Journal of

**Синков Ю.С. Пряма екструзія магнієвої стружки із застосуванням багатоканальних матриць.**

*Проведені експерименти з обробки магнієвої стружки прямою екструзією із застосуванням матриць різних видів - одноканальної і багатоканальних, що забезпечують різний коефіцієнт витяжки. Отримані заготовки у вигляді магнієвого дроту діаметром 3 мм. Проведена багатоканальна екструзія стружки у напівбезперервному режимі, завдяки чому отримано дріт довжиною більше 3 м. Виявлено особливості процесу багатоканальної екструзії стружки. Зроблено порівняння зразків, отриманих одноканальною та багатоканальною екструзією. Виявлені закономірності утворення дефектів на поверхні екструдованого дроту. Продемонстровані переваги застосування багатоканальних матриць в процесі екструзії магнієвої стружки.*

**Ключові слова:** екструзія, магнієва стружка, багатоканальна матриця, поверхня заготовок, дріт, дефекти.

**Synkov Y.S. Direct extrusion of magnesium chips using multi-channel dies.**

*Experimental study of processing magnesium chips by multi-channel extrusion and identification of factors affecting the efficiency of the process and quality of billets have been conducted.*

*Experiments on processing magnesium chips by direct extrusion have been carried out using different types of dies - a single-channel and multi-channel that ensure different elongation ratio. Billets in the form of magnesium wire of 3 mm in diameter have been obtained. The multi-channel extrusion of chips by semicontinuous work has done while a piece of wire more than 3 m in length obtained.*

*The features of the multi-channel extrusion process of magnesium chips have been recognized. A comparative analysis of samples obtained by single-channel and multi-channel extrusion has been provided. The regularities of defects formation on the extruded wire surface determined. The advantages of implementation of multi-channel dies for extrusion of magnesium chips have been demonstrated.*

*Processing of magnesium chips by multi-channel extrusion has been developed and may be a basis of production technology for recycling of magnesium chips.*

**Keywords:** extrusion, magnesium chips, multi-channel dies, surface billets, wire, defects.