

**Бейгельзимер<sup>1</sup> Я.Е., Гусар<sup>2</sup> Ю.В., Иванцова<sup>3</sup> Е.А., Прилепо<sup>4</sup> Д.В.**

<sup>1</sup> - Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины, г. Донецк, Украина, д.т.н., главный научный сотрудник, e-mail: yanbeygel@gmail.com

<sup>2</sup> - Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины, г. Донецк, Украина, ведущий инженер, e-mail: engineerdonfti@gmail.com

<sup>3</sup> - Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина, магистр, e-mail: mimmarso@mail.ru

<sup>4</sup> - Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины, г. Донецк, Украина, младший научный сотрудник

## **ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВИНТОВОЙ ЭКСТРУЗИИ ЧЕРЕЗ МАТРИЦЫ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ**

**Beygelzimer<sup>1</sup> Y.E., Gusar<sup>2</sup> U.V., Ivantsova<sup>3</sup> E.A., Prilepo<sup>4</sup> D.V.**

<sup>1</sup> - Donetsk institute for physics and engineering named after O.O. Galkin, National Academy of Sciences of Ukraine, Donetsk, Ukraine, research fellow in chief, yanbeygel@gmail.com

<sup>2</sup> - Donetsk institute for physics and engineering named after O.O. Galkin, National Academy of Sciences of Ukraine, Donetsk, Ukraine, senior engineer, engineerdonfti@gmail.com

<sup>3</sup> - Donetsk national technical university, Donetsk, Ukraine, master, mimmarso@mail.ru

<sup>4</sup> - Donetsk institute for physics and engineering named after O.O. Galkin, National Academy of Sciences of Ukraine, Donetsk, Ukraine, junior research fellow

## **PHYSICAL MODELING OF TWIST EXTRUSION THROUGH A DIE OF CIRCULAR CROSS SECTION**

*Проанализирован метод винтовой экструзии, как один из наиболее перспективных процессов ИПД, позволяющий получать материалы с субмикроструктурной структурой и повышенным уровнем свойств. Представлены результаты физического моделирования деформирования пластилиновых заготовок с маркерами через матрицы круглого сечения. Показана реальная возможность осуществления винтовой экструзии через матрицы со смещенной осью. Деформирование заготовок круглого сечения существенно расширяет возможности винтовой экструзии.*

**Ключевые слова:** заготовка с маркерами, винтовая экструзия, круглое сечение, простой сдвиг, моделирование, матрицы со смещенной осью

### **Введение**

В последние годы получили развитие процессы интенсивной пластической деформации (ИПД), позволяющие получать материалы с субмикроструктурной структурой и повышенным уровнем свойств [1]. В целом ряде методов ИПД, таких как кручение под высоким давлением [2], равно-

канальное угловое прессование (РКУП) [3, 4], винтовая экструзия (ВЭ) [5], сдвиговая экструзия [6], торсионная экструзия [7] реализуется простой сдвиг, как основной вид деформации. Такой вид сдвига весьма важен для формирования микроструктуры [8-10].

Наряду с другими популярными методами ИПД процесс ВЭ в последние годы обращает на себя все больше внимание, что нашло отражение в появлении новых методов ИПД, основанных на ее концепции [11-13]. Интерес к процессу ВЭ объясняется относительно большими размерами заготовки и своеобразным потоком металла, который может быть использован для управления микроструктурой в различных масштабах [14-18]. Одним из сдерживающих факторов практического внедрения ВЭ является прямоугольная форма профиля поперечного сечения заготовок, т.к. наиболее широко применяемый в заготовительном производстве является профиль круглого сечения. Хотя идея обработки заготовок круглого сечения, основанная на смещении оси винтовой поверхности матрицы относительно оси симметрии заготовки, была высказана 10 лет назад (см., напр., [18]), до настоящего времени она не была реализована.

В работе [12] предложен и исследован процесс обработки круглых прутков путем их экструзии через матрицу, содержащую винтовой участок с эллиптическим поперечным сечением. Перед этим участком и после него в канале матрицы осуществляется переход соответственно от круглого к эллиптическому сечению и наоборот. В результате за один цикл обработки заготовка подвергается ВЭ и уширяющей экструзии. Такой вид деформации существенно отличается от простого сдвига и не реализует его особенности, отмеченные в целом ряде публикаций [4, 7-9]. По этой причине, представляет интерес обработка круглых заготовок именно винтовой экструзией, которая обеспечивает простой сдвиг в плоскости, перпендикулярной оси заготовки [16].

В настоящей работе исследован процесс ВЭ круглых прутков. Показано, что применение винтовых матриц со смещенной осью позволяет не только осуществить ВЭ круглых прутков, но и практически полностью выровнять распределение деформации по их сечению.

### **Цель**

Целью работы является выявление возможности осуществления винтовой экструзии через матрицы круглого сечения с помощью физического моделирования.

### **Винтовые матрицы со смещенной осью**

На рис. 1 приведено устройство винтовой матрицы круглого поперечного сечения со смещенной осью. Поверхность ее канала состоит из двух цилиндров и винтового участка между ними. Последний образован окружностью, совершающей одновременно поступательное и вращатель-

ное движение вдоль некоторой прямой  $OO_1$ , перпендикулярной плоскости окружности и расположенной на расстоянии  $Co$  от ее центра. Окружность является образующей винтовой поверхности, а прямая  $OO_1$  – ее осью. Винтовой участок однозначно определяется длиной  $H$ , величиной шага винтовой поверхности  $h$  (величиной поступательного перемещения окружности при ее повороте вокруг оси на угол  $2\pi$ ), радиусом окружности  $r$  и расстоянием  $C$  ее центра от оси  $OO_1$ .

Если  $0 < c/r < 1$ , то ось винтовой поверхности матрицы проходит внутри ее поперечного сечения. Ось винтовой поверхности является особой линией в поле скоростей ВЭ. Вокруг этой оси возникает вихрь, а деформация вблизи нее имеет наименьшее значение [16].

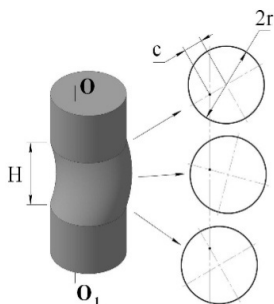


Рис. 1. Схема канала винтовой матрицы круглого сечения со смещенной осью, при  $0 < c/r < 1$

### Физическое моделирование

Для физического моделирования была разработана и изготовлена из плексигласа установка ВЭ с матрицей круглого сечения со смещенным центром. На рис.2а показана установка в собранном виде, в разобранном виде установку можно увидеть на рис.2б: 1 – блок матрицы с входным цилиндрическим участком; 2 – блок матрицы с винтовым участком, 3 – блок матрицы с выходным цилиндрическим участком и устройством для создания противодавления; 4 – кондуктор для ввода цветных маркеров в образец.

Параметры винтового участка матрицы следующие: длина – 25 мм,  $2r = 25$  мм,  $c = 6,3$  мм,  $h = 100$  мм. В нижней части матрицы расположен блок для создания противодавления, необходимого для того, чтобы заготовка полностью заполняла винтовой канал.

Образцы с маркерами для выдавливания изготавливали из пластилина. Маркеры с цветом, отличным от цвета образца, вводятся в образец с помощью направляющего кондуктора и тонкостенной металлической трубки (позиция 4, рис. 2б). Внутренний диаметр трубки 5 мм, толщина стенки – 0,2 мм. Технология введения маркеров следующая. Исходный образец устанавлива-

ется в цилиндрический контейнер (позиция 1, рис. 9b), который после этого закрывается кондуктором с четырьмя направляющими каналами (позиция 4, рис. 9b). В один из каналов кондуктора вводится металлическая трубка, которая пронизывает образец насквозь, вырезая в нем канал для маркера. После чего трубка извлекается из кондуктора. Пластилин образца, попавший при вырезании канала в трубку, выдавливается из нее с помощью поршня, диаметром 4,9 mm. Затем в полость трубки вводится маркер. Трубка с маркером вставляется в кондуктор, и маркер выдавливается в полость образца. Таким образом, в образец вводятся все маркеры.

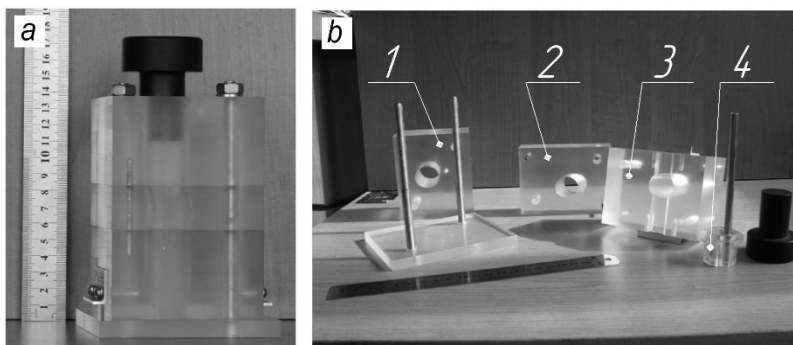


Рис. 2. Фотография плексигласовой матрицы для винтовой экструзии пластилиновых заготовок круглого сечения

В начале эксперимента винтовой и нижний цилиндрический участки канала матрицы заполняются вспомогательным пластилином для создания противодействия. Заготовка с маркерами устанавливается в верхний цилиндрический канал. Матрица устанавливается на нижней плите пресса, после чего осуществляется процесс винтовой экструзии (рис. 3).

В ходе процесса вспомогательный пластилин выдавливается через поперечный паз блока 3 (рис. 2b), создавая противодействие для образца. На выходах из паза имеются заслонки из алюминия, с помощью которых можно регулировать величину противодействия.

На рис. 4 представлены фотографии и схемы сечений образца до и после винтовой экструзии. Положение маркеров в выходном сечении образца указывает на то, что в первом приближении все плоские сечения заготовки, ортогональные ее оси, движутся поступательно, как целое, в направлении экструзии, одновременно поворачиваясь так, чтобы согласовывать свое движение со стенками матрицы. Это означает, что в случае применения матриц со смещенным центром, течение в винтовом участке канала матрицы близко к винтовому.



Рис.3. Установка для винтовой экструзии пластилиновых образцов через плексигласовую матрицу

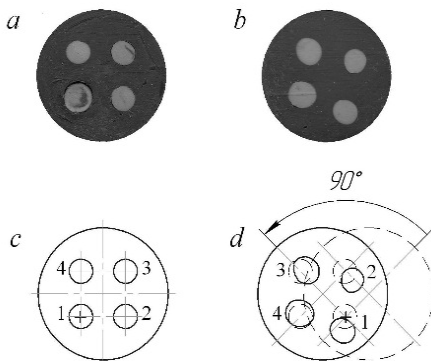


Рис. 4. Фотографии (a,b) и схемы (c,d) сечений образца до (a,c), и после (b,d) винтовой экструзии

Цифры соответствуют номерам маркеров. Крестик показывает положение оси винтовой поверхности.

### Выводы

Физическим моделированием показана реальная возможность осуществления процесса ВЭ заготовок круглого сечения через матрицы со смещенной осью, что существенно расширяют возможности винтовой экструзии.

### ЛИТЕРАТУРА

1. R.Z. Valiev, I. Sabirov, A.P. Zhilyaev, T.G. Langdon: JOM, 2012, vol. 64, pp. 1134 – 42.
2. A.P. Zhilyaev and T.G. Langdon: Prog. Mater. Sci., 2008, vol. 53, pp. 893 – 979.
3. V.M. Segal: Mater. Sci. Eng. A, 2004, vol. 386, pp. 269 – 76.
4. R.Z. Valiev and T.G. Langdon: Prog. Mater. Sci., 2006, vol. 51, pp. 881 – 981.
5. Y. Beygelzimer, D. Orlov, and V. Varyukhin: Ultrafine Grained Materials II, The Minerals, Metals & Materials Society, Warrendale, PA, 2002, pp. 297 – 304.
6. V.M. Segal: US patent #7,096,705, 2006.
7. Y. Beygelzimer: Mater. Sci. Forum, 2011, vol. 683, pp. 213 – 24.
8. P.W. Bridgman: Studies in large plastic flow and fracture, with special emphasis on the effects of hydrostatic pressure, McGraw-Hill, New York, NY, 1952, 362 p.
9. V.M. Segal: Mater. Sci. Eng. A, 2002, vol. 338, pp. 331 – 44.
10. N. Pardis and R. Ebrahimi: Mater. Sci. Eng. A, 2010, vol. 527, pp. 6153 – 56.
11. Y. Beygelzimer, D. Prilepo, R. Kulagin, V. Grishaev, O. Abramova, V. Varyukhin, and M. Kulakov: J. Mater. Process. Technol., 2011, vol. 211, pp. 522 – 529.
12. C. Wang, F. Li, Q. Li, and L. Wang: Mater. Sci. Eng. A, 2012, vol. 548, pp. 19 – 26.
13. U. MohammedIqbal and V.S. Senthilkumar: Int. J. Mechanical Mater. Eng., 2012, vol. 548, pp. 24 – 30.
14. S.A.A. Akbari Mousavi, S.R. Bahadori: Mater. Sci. Eng. A, 2011, vol. 528, pp. 1242 – 46.
15. S.R. Bahadori, S.A.A. Akbari Mousavi: Mater. Sci. Eng. A, 2011, vol. 528, pp. 6527 – 34.
16. Y. Beygelzimer, V. Varyukhin, S. Synkov and D. Orlov: Mater. Sci. Eng. A, 2009, 503, pp. 14 – 17.
17. M. Berta, D. Orlov, P.B. Prangnell: Int. J. Mater. Res., 2007, vol. 98, pp. 200 – 204.

## REFERENCES

1. R.Z. Valiev, I. Sabirov, A.P. Zhilyaev, T.G. Langdon: JOM, 2012, vol.64, pp. 1134 – 42.
2. A.P. Zhilyaev and T.G. Langdon: Prog. Mater. Sci., 2008, vol. 53, pp. 893–979.
3. V.M. Segal: Mater. Sci. Eng. A, 2004, vol. 386, pp. 269 – 76.
4. R.Z. Valiev and T.G. Langdon: Prog. Mater. Sci., 2006, vol. 51, pp. 881–981.
5. Y. Beygelzimer, D. Orlov, and V. Varyukhin: Ultrafine Grained Materials II, The Minerals, Metals & Materials Society, Warrendale, PA, 2002, pp. 297–304.
6. V.M. Segal: US patent #7,096,705, 2006.
7. Y. Beygelzimer: Mater. Sci. Forum, 2011, vol. 683, pp. 213–24.
8. P.W. Bridgman: Studies in large plastic flow and fracture, with special emphasis on the effects of hydrostatic pressure, McGraw-Hill, New York, NY, 1952, 362 p.
9. V.M. Segal: Mater. Sci. Eng. A, 2002, vol. 338, pp. 331–44.
10. N. Pardis and R. Ebrahimi: Mater. Sci. Eng. A, 2010, vol. 527, pp. 6153–56.
11. Y. Beygelzimer, D. Prilepo, R. Kulagin, V. Grishaev, O. Abramova, V. Varyukhin, and M. Kulakov: J. Mater. Process. Technol., 2011, vol. 211, pp. 522–529.
12. C. Wang, F. Li, Q. Li, and L. Wang: Mater. Sci. Eng. A, 2012, vol. 548, pp. 19–26.
13. U. MohammedIqbal and V.S. Senthilkumar: Int. J. Mechanical Mater. Eng., 2012, vol. 548, pp. 2430.
14. S.A.A. Akbari Mousavi, S.R. Bahadori: Mater. Sci. Eng. A, 2011, vol.528, pp. 1242–46.
15. S.R. Bahadori, S.A.A. Akbari Mousavi: Mater. Sci. Eng. A, 2011, vol. 528, pp. 6527–34.
16. Y. Beygelzimer, V. Varyukhin, S. Synkov, and D. Orlov: Mater. Sci. Eng. A, 2009, 503, pp. 14–17.
17. M. Berta, D. Orlov, P.B. Prangnell: Int. J. Mater. Res., 2007, vol. 98, pp. 200–204.

***Бейгельзімер Я.Ю., Гусар Ю.В., Іванцова Є.А., Прилепо Д.В. Фізичне моделювання процесу гвинтової екструзії через матриці круглого перерізу.***

*Проаналізовано метод гвинтової екструзії, як один з найбільш перспективних процесів ППД, що дозволяє отримувати матеріали із субмікрокристалічною структурою і підвищеним рівнем властивостей. Представлені результати фізичного моделювання деформування пластилинових заготовок з маркерами через матриці круглого перетину. Показана реальна можливість здійснення гвинтової екструзії через матриці зі зміщеною віссю. Деформування заготовок круглого перерізу істотно розширює можливості гвинтової екструзії.*

***Ключові слова :*** заготовка з маркерами, гвинтова екструзія, круглий перетин, простий зсув, моделювання, матриці зі зміщеною віссю.

***Beygelzimer Y.E., Gusar U.V., Ivantsova E.A., Prilepo D.V. Physical modeling of twist extrusion through a die of circular cross section***

*The method of twist extrusion, as one of the most promising SPD methods, which allows obtaining of materials with ultrafinegrained structure and high level of properties has been analysed. The results of the physical modeling of deformation of plasticine billets with markers through a dies of circular cross section were presented. It was shown a real possibility of twist extrusion through a matrix with an off-axis dies. Deformation of billets with circular cross section substantially extends the possibilities twist extrusion.*

***Keywords:*** billet with markers, twist extrusion, circular cross section, simple shear, modeling, off-axis dies.