

## Возможности применения винтовой протяжки при производстве проволоки из высокоуглеродистой стали с мелкодисперсной структурой

Некрасова Е.О.<sup>1,†</sup>, Харитонов В.А.<sup>2</sup>

†zheka86.86@mail.com

<sup>1</sup>ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», ул. Кирова 93, 455000 Магнитогорск

<sup>2</sup>Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, ул. Ленина 38, 455000, Магнитогорск

Структура и напряженное состояние формируются в изделии применяемым в технологии способом ОМД, который должен обеспечить равномерную, высокоинтенсивную, существенно немонотонную деформацию при высоком уровне гидростатического давления. Исследуется возможность применения способа винтовой протяжки при его реализации для производства длинномерных изделий с мелкодисперсной структурой.

**Ключевые слова:** немонотонная деформация, проволока, винтовая протяжка.

## Opportunities of application the screw passing in the production the high-carbon wire with the fine-grained structure

E.O. Nekrasova<sup>1</sup>, V.A. Haritonov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Magnitogorsk Iron & Steel Works, Kirova St. 93, 455000, Magnitogorsk

<sup>2</sup>Magnitogorsk State Technical University, Lenina St. 38, 455000, Magnitogorsk

The structure and stress condition formed in the product by process of metal by pressure, which should provide uniform, high-intensive, nonmonotonic deformation at high level of hydrostatic pressure. We investigate the opportunity of application the method of screw passing for production long products with the fine-grained structure.

**Keywords:** nonmonotonic deformation, wire, screw passing.

Разработка материалов с ультрамелкодисперсной структурой в последние годы становится одной из актуальнейших задач, поскольку открывает перспективы улучшения существующих и создания новых конструкционных и функциональных материалов.

В металлургической области конкурентоспособность любого вида продукта определяется показателями качества и, прежде всего, механическими свойствами. Последние зависят от состава структуры и напряжений в готовом изделии. Структура и напряженное состояние формируются в изделии применяемым в технологии способом ОМД, который должен обеспечить равномерную, высокоинтенсивную, существенно немонотонную деформацию при высоком уровне гидростатического давления.

Эти требования не могут быть реализованы путем использования традиционных методов обработки металлов давлением. В частности одним из основных способов получения проволоки остается волочение. Данный метод является квазимонотонным, поскольку заготовка вытягивается в одном направлении – вдоль продольной оси, и в этом случае повороты главной оси

тензора деформации относительно этого направления незначительны.

Указанные требования могут быть реализованы при использовании методов ИПД (интенсивной пластической деформации), которые являются комбинацией традиционных процессов ОМД с наложением простого сдвига.

В работе [1] в качестве метода ИПД предложен метод, который состоит в том что, призматический образец продавливают через матрицу с каналом, содержащим два призматических участка, разделенных участком винтовой формы.

В ходе обработки материал испытывает интенсивный сдвиг, при сохранении идентичности начального и конечного сечений образца, что позволяет осуществлять деформацию многократно. Процесс деформации при такой схеме нагружения осуществляется при высоком уровне гидростатического давления в очаге деформации.

В работе [2] приведен развитый математический аппарат, позволяющий определить напряженно-деформированное состояние, характерное для процесса винто-

вой протяжки, а также поле скоростей течения металла и усилие винтовой протяжки. Учитывая сложный характер движения материальных частиц (имеет место быть движение поперечного сечения заготовки как целого и «перетекание» или движение внутри каждого сечения), интенсивность деформации для исследуемого процесса определяется из соотношения:

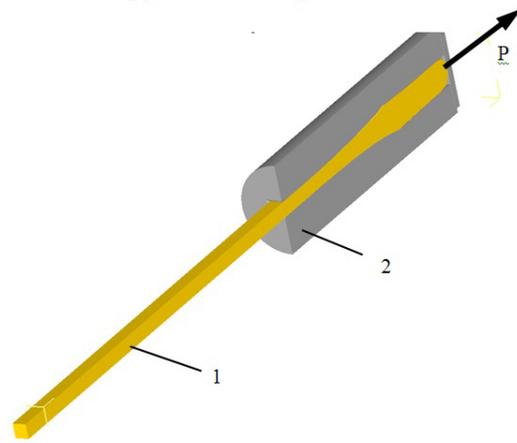
$$\varepsilon_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{r}{R} \operatorname{tg} \beta_{\max} \quad (1)$$

$r$  – расстояние до материальной частицы от оси матрицы;  
 $R$  – расстояние до края поперечного сечения заготовки;  
 $\beta_{\max}$  – максимальное значение наклона винтовой линии канала к оси экструзии.

В работах [3-4] проведены исследования связанные с возможностью получения мелкодисперсной структуры при протяжке сталей с применением традиционных методов ОМД и классических методов ИПД. Реализация таких методов для производства длинномерных изделий вызывает определенные трудности, в частности требует больших энергозатрат.

Также в работах [5-6] имеются данные, подтверждающие возможность создания в обрабатываемых методом винтовой протяжки заготовках высоких сдвиговых деформаций, а также получения мелкодисперсных структур и улучшения механических свойств. Однако результаты исследований носят теоретический характер и предназначены для непромышленного узкоспециализированного применения для обработки небольших образцов, размеры которых сопоставимы с размерами матриц для осуществления протяжки.

Целью данной работы является анализ процесса винтовой протяжки для получения мелкодисперсной структуры с использованием подхода, сочетающего в себе применение накопленных результатов расчетного анализа [4] и методов численного моделирования с использованием комплекса Deform 3D. При этом, основной решаемой задачей является оценка степени накопленной деформации как главного фактора измельчения структуры при реализации изучаемого способа для производства длинномерных изделий с регламентированным комплексом механических свойств. Для этого



1 – заготовка; 2 – рабочий инструмент; P - тянущее усилие  
**Рис. 1.** Схема моделируемого процесса.

моделирование производится на образцах, длина которых в несколько раз превышает длину винтового участка канала матрицы.

В программном комплексе Deform 3D смоделирован процесс протягивания призматической заготовки через матрицу, содержащую винтовой участок. Создана трехмерная модель (рис.1).

- При моделирование введены следующие данные:
- тип заготовки – призматическая;
  - материал заготовки – сталь AISI 1070 (аналог марки сталь 70) – механические характеристика исходного материала были взяты из встроенных библиотек материалов Deform 3D;
  - моделируемый процесс – упруго-пластическая деформация;
  - технологические параметры: скорость поступательного движения заготовки – 0,2 м/с;
  - геометрические размеры заготовки: прямоугольник 2x4 мм, длина – 300 мм;
  - вид разбиения заготовки – тип конечных элементов – тетраэдр; количество элементов – 50 000.
- Варьируемыми параметрами являются: длина винтового участка матрицы и угол между входным и выходным сечением матрицы.

**Таблица 1.**

Влияние параметра геометрии винтового канала на величину накопленной деформации

Номер точки по сечению заготовки	Длина 100			Длина 20	
	60°	90°	110°	45°	110°
1	0.201	0.289	0.500	0.386	0.395
2	0.143	0.244	0.442	0.295	0.301
3	0.080	0.234	0.344	0.266	0.299
4	0.072	0.218	0.287	0.103	0.287
5	0.066	0.127	0.165	0.077	0.265
6	0.040	0.012	0.159	0.067	0.264
7	0.035	0.110	0.152	0.058	0.253
8	0.035	0.105	0.151	0.041	0.224
9	0.031	0.103	0.139	0.038	0.198
10	0.002	0.103	0.165	0.103	0.183
Общая степень накопленной деформации	0.07	0.15	0.25	0.14	0.32

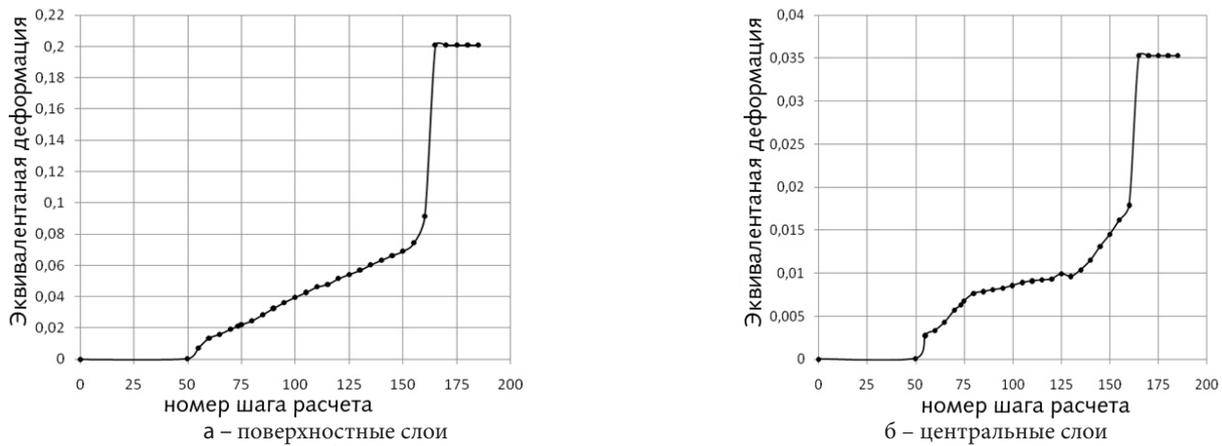


Рис. 2. Распределение накопленной деформации по сечению заготовки в направлении тока металла .

При моделировании приняты допущения:

- рабочий инструмент рассматривается как абсолютно жесткое тело с постоянной температурой (20°C);
- трение между заготовкой и инструментом постоянно на всей поверхности и подчиняется закону Зибеля, коэффициент трения составляет 0,08;
- принимается, что деформация производится при комнатной температуре, теплопередачи между заготовкой и инструментом не происходит.

Обязательным является учет возможности разрушения заготовки при определенных параметрах. Для этого в расчет был введен критерий разрушения Кокрофта-Лейтема, который равен 0,7.

В результате были получены следующие данные: характер распределения напряжений по сечению и на поверхности заготовки, скорость и интенсивность деформации, степень накопленной информации, усилие винтовой протяжки. Полученные данные позволили построить графики распределения накопленной деформации вдоль линии тока материала (рис.2).

В результате экспериментов установлено влияние варьируемых параметров на величину степени накопленной деформации (таблица 1).

Таким образом, увеличением угла между входным и выходным сечением становится возможным увеличить степень накопленной деформации, однако при сохранении неизменной длины винтового участка матрицы (в ходе экспериментов он варьировался от 20 мм до 100мм) увеличение угла до 150 град приводит к разрушению заготовки. При этом само по себе увеличение длины винтового канала снижает эффективность сдвиговых деформаций.

Полученные результаты хорошо согласуются с результатами физического моделирования винтовой экструзии, что позволяет говорить об адекватности разработанной модели и возможности и использования для дальнейших исследований.

Данные, полученные при численном моделировании, могут быть использованы для создания аппроксимированной модели с целью проведения исследований по выбору заданных параметров инструмента для винтовой протяжки с целью получения максимальной степени накопленной деформации и как следствие мелкодисперсной структуры.

## Литература

1. F. Utyashev. Modern methods of intensive plastic deformation. Textbook. Study guide. Ufa. UGATU (2008) 313 p. [Ф.З. Утяшев. Современные методы интенсивной пластической деформации: Учеб. пособие. Уфа. УГАТУ. 2008. 313 с.]
2. Y. Beygelzimer, V. Varyukhin, D. Orlov, S. Sinkov. Twist Extrusion – process of deformation accumulation. Donetsk. TEAN. (2003) 87 p. (in Russian) [Я.Е. Бейгельзимер, В.Н. Варюхин, Д.В. Орлов, С.Г. Сынков. Винтовая экструзия – процесс накопления деформации. Донецк. ТЕАН. 2003. 87 с.]
3. M.V. Chukin, N.V. Korceva, A.G. Korchunov, D.G. Emaleeva, O.A. Nikitenko. Black metals. 25-28, 7 (2011). (in Russian) [М.В. Чукин, Н.В. Копцева, А.Г. Корчунов, Д.Г. Емалеева, О.А. Никитенко. Черные металлы. 25-28, 7 (2011).]
4. G.S. Gun, M.V. Chukin, D.G. Emaleeva, N.V. Korceva, U.U. Efimova, M.P. Barishnikov. Vestnik MGTU im. G.I. Nosova. 84-96, 3 (2007). (in Russian) [Г.С. Гун, М.В. Чукин, Д.Г. Емалеева, Н.В. Копцева, Ю.Ю. Ефимова, М.П. Барышников. Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 84-96, 3 (2007).]
5. Y. Beygelzimer, A. Reshetov, S. Sinkov, D. Orlov, R. Kylagin, N. Kylakov. Experimental and calculation method of determination the deformation state in twist extrusion. Improvement processes and machines for treatment by pressure in metallurgy and mechanical engineering. Thematic collection of scientific works. 39-44, 1 (2005). (in Russian) [Я.Е. Бейгельзимер, А.В. Решетов, С.Г. Сынков, Д.В. Орлов, Р.Ю. Кулагин, Н.С. Кулаков. Экспериментально-расчётный метод определения деформированного состояния при винтовой экструзии. Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении.- Тематич. сб. научн. тр. 39-44, 1 (2005).]
6. Y. Beygelzimer, S. Sinkov, D. Orlov, A. Reshetov. Press-stamping production. 15-22, 6 (2004). (in Russian) [Я.Е. Бейгельзимер, С.Г. Сынков, Д.В. Орлов, А.В. Решетов. Кузнечно-штамповочное производство. 15-22, 6 (2004).]