

## Формирование структуры в процессе радиально-сдвиговой протяжки проволоки

Харитонов В.А.<sup>1</sup>, Усанов М.Ю.<sup>2,†</sup>

<sup>†</sup>barracuda\_m@mail.ru

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова, пр. Ленина 38, 455000, Магнитогорск

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова, филиал в г. Белорецк, Косоротова 6, 453500, Белорецк

Рассмотрены основные методы получения металлов и сплавов с ультрамелкозернистой структурой. Проведены экспериментальные исследования и моделирование в Deform 3d формирования структуры при производстве проволоки радиально-сдвиговой протяжкой.

**Ключевые слова:** проволока, структура, моделирование, радиально-сдвиговая протяжка.

## Forming structure wire in the process of radial displacement broach

V.A. Kharitonov<sup>1</sup>, M.Yu. Usanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Beloretsk Branch of G.I. Nosov Magnitogorsk State Technical University, Lenina 38, 455000, Magnitogorsk

<sup>2</sup> Beloretsk Branch of G.I. Nosov Magnitogorsk State Technical University, Kosorotov 6, 453500, Beloretsk

The main methods of obtaining metals and alloys with ultra-fine structure is regarded in the article. Experimental studies and modeling conducted in the Deform 3d the forming structure in the production of wire radial displacement broach.

**Keywords:** wire, structure, modeling, radial shear broaching.

### 1. Введение

Проволока находит самое широкое применение во всех отраслях промышленности. Она применяется в виде как готовых изделий, так и полуфабрикатов для производства целого ряда метизов: стальные канаты, сварные и тканые сетки, гвозди, шурупы, детали машин, проводочно-кабельные изделия и др.

При волочении заготовка вытягивается в одном направлении - вдоль продольной оси, и в этом случае поворот главной оси тензора деформации относительно этого направления незначителен, что позволяет отнести этот процесс к квазимонотонному [1].

Для получения субмикро- и нанокристаллической структур обязательно необходимо сочетание двух факторов – высокой интенсивности и существенной немонотонности деформации, осуществляемой при температурах не выше температуры протекания процессов возврата.

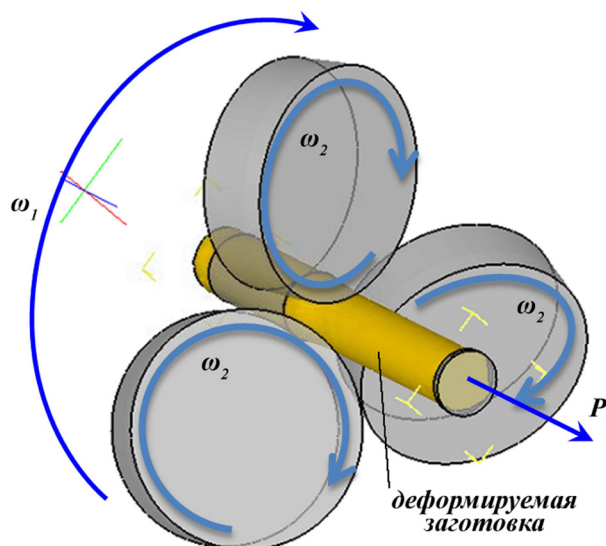
К немонотонным и существенно немонотонным относят такие процессы, в которых угол между направлениями деформирования в двух последовательных проходах меняется соответственно на 90° и 180°.

На сегодняшний день ни один из методов ИПД не позволяет получить изделия, приемлемые, по форме и габаритным размерам, для широкого практического конструирования. В первую очередь это касается возможности структурирования металла в длинномерных изделиях, таких как прутки и проволока.

На наш взгляд всем требованиям к формированию ультрамелкозернистой структуры отвечает радиально-сдвиговая прокатка (РСП) [2]. РСП определяется как частный случай винтовой прокатки с повышенными углами подачи и совмещает деформации формоизменения и сдвига кручением [3]. Однако в данном способе происходит кручение заготовки, что делает невозможным его применение для обработки длинномерных изделий.

### 2. Описание процесса РСПр

На кафедре машиностроительных и металлургических технологий МГТУ им Г.И. Носова предложен метод получивший название радиально-сдвиговая протяжка (РСПр) [4]. РСПр основана на методе РСП с тем отличием, что не происходит кручение заготовки и деформация осуществляется в холодном состоянии.



**Рис. 1.** Принципиальная схема РСПр.

$\omega_1$  – скорость вращения кассеты;  
 $\omega_2$  – скорость вращения роликов;  
 $P$  – усилие протяжки.

Радиально-сдвиговая протяжка основана на принципах радиально-сдвиговой прокатки.

РСПр осуществляется приложением к проволоке (катанке) переднего тянущего усилия без ее скручивания (рис.1).

Установка радиально-сдвиговой протяжки представляет собой кассету с 3-мя неприводными роликами, расположенными под углом 120° друг к другу, с углами подачи  $\beta > 16^\circ$ . Каждый ролик имеет рабочий конус и калибрующий поясик. Отличительной особенностью процесса РСПр является то, что его можно осуществлять на действующих волочильных машинах, устанавливая

вместо волокодержателя кассету радиально-сдвиговой протяжки.

Для изучения процесса РСПр была спроектирована и изготовлена рабочая кассета. Образцы изготовлены из стали марки 20 диаметром 9,2 и 10,4 мм.

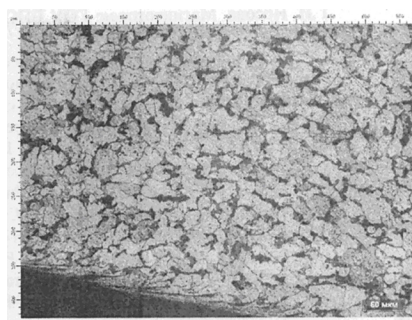
### 3. Исследование структуры

Образование спиральной макроструктуры при радиально-сдвиговой прокатке вызвано силовыми и кинематическими условиями воздействия технологического инструмента на заготовку. Картина движения различных слоев металла с различным шагом и углом подъема винтовых линий наглядно доказывает, что в процессе радиально-сдвиговой прокатки, помимо кардинального измельчения всей структуры литых заготовок, происходит послойное ориентирование новой измельченной структуры. Элементы измельченной структуры при деформировании прутка в очаге деформации имеют траекторию движения, свойственную только одному конкретному слою прутка бесконечно малой толщины [5].

Микроструктура по сечению исходной заготовки и деформированных образцов исследовалась с помощью металлографического микроскопа Meiji Techno с применением системы компьютерного анализа изображений Thixomet Pro (рис.2-4). Методика определения величины зерна разработана в соответствии с ГОСТ 5639-82 «Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна».

Проведенные исследования, показали, что в поверхностном слое заготовки происходит значительное измельчение структуры.

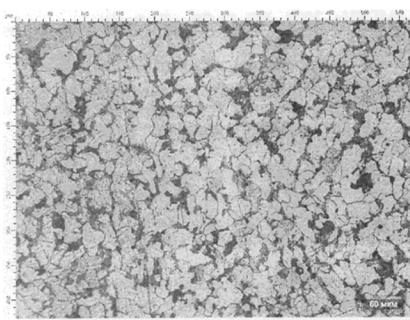
Для изучения структурообразования при РСПр было проведено моделирование в программном комплексе Deform 3D. Моделирование проводилось с не-



**а**

**б**

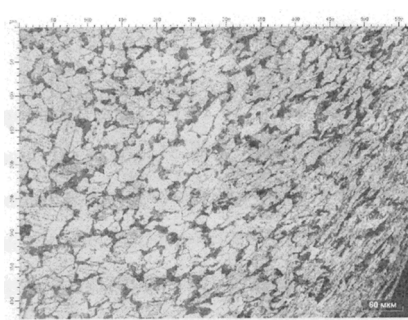
**Рис. 2.** Микроструктура исходной заготовки на поверхности (а) и в центре (б) образца стали марки 20, x200.



**а**

**б**

**Рис. 3.** Микроструктура на поверхности (а) и в центре (б) образца стали марки 20 после радиально-сдвиговой протяжки (диам. 9,2мм,  $\epsilon=4,30\%$ ), x200.



**а**

**б**

**Рис. 4.** Микроструктура на поверхности (а) и в центре (б) образца стали марки 20 после радиально-сдвиговой протяжки (диам. 10,4 мм,  $\epsilon=25,11\%$ ), x200.

которыми упрощениями и допущениями: - протяжку считали холодной (принималась температура заготовки 20°C); - трение по всей поверхности контакта с рабочими роликами подчинено закону трения по Зибелю, при этом коэффициент трения постоянен по всей контактной поверхности; - рабочие ролики рассматривались как абсолютно жесткие тела; - угол подачи роликов 20 градусов; - угол конической части роликов 4 градуса.

После моделирования по середине заготовки наносилась лагранжева сетка рис.5а, 5в.

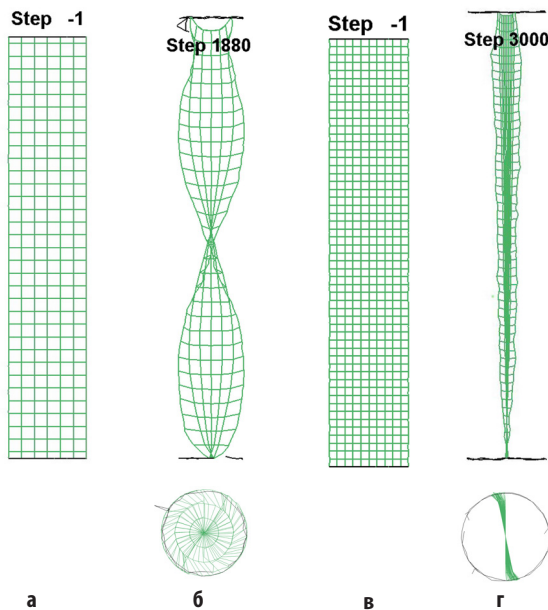


Рис. 5. Лагранжева сетка:

а, в - до РСПр;

б - после РСПр (сталь 20, диам. 10,4 мм,  $\epsilon=25,11\%$ );

г - после РСПр (сталь 20, диам. 9,2мм,  $\epsilon=4,30\%$ ).

Сетка полученная после РСПр выглядит как закрученная спираль (рис.5б и 5г). Из рис.5 видно, что в зависимости от обжатия можно проводить как поверхностную обработку так и глубоко прорабатывать структуру металла.

Полученные результаты хорошо согласуются с результатами, полученными при радиально-сдвиговой прокатке [6].

#### 4. Моделирование процесса РСПр

В качестве исходной заготовки принималась круглая заготовка из стали марки 80 диаметром 16,0 мм. Заготовку протянули на диаметр 10,0 мм по маршруту 16,0-14,25-12,85-11,73-10,8-10,0 мм. После каждой протяжки замерялся угол скручивания заготовки. Угол скручивания ( $\gamma$ ) измеряется между касательной на поверхности и поперечным сечением (рис.6). Если нет скручивания  $\gamma=90^\circ$ , если скручивание есть, то  $\gamma<90^\circ$ . Угол скручивания по проходам имел следующие значения  $67^\circ$ - $63^\circ$ - $57^\circ$ - $54^\circ$ - $52^\circ$  соответственно.

Зная  $\gamma$ , можно определить накопленную степень деформации:  $\epsilon=\ln(d_0^2/d_1^2)+\ln(90/\gamma)$  [7]. Первая часть формулы соответствует деформации вытяжки, т.е.

волочение. Вторая часть формулы учитывает скручивание.

Более высокая степень накопленной деформации при РСПр приводит к интенсивному измельчению структуры и тем самым к упрочнению металла. Это позволяет получить из заданной заготовки проволоку более высокой прочности, или же снизить степень суммарной деформации и тем самым уменьшить энергозатраты на ее производство.

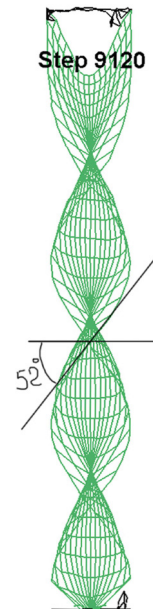


Рис. 6. Угол скручивания  $\gamma$ .

Как показали исследования, угол  $\gamma$  в основном зависит от угла конической части ролика и от вытяжки. В отличие от процесса радиально-сдвиговой прокатки, при РСПр можно сделать фактически любой угол наклона конической части ролика, т.к. при РСПр трение имеет реактивный характер. Кроме того, деформация может осуществляться в двухроликовой кассете.

#### 5. Перспективы применения РСПр

Одним из промышленных способов получения заготовок с наноструктурой является волочение сорбитизированной заготовки. При волочении в монолитной проволоке межпластиночное расстояние пропорционально отношению диаметров проволоки до и после

$$\text{волочения: } \frac{S}{S_0} = \frac{d}{d_0} \quad [8].$$

Однако для получения готовой проволоки с нанокристаллической структурой из сорбитизированной катанки таким способом необходимо обеспечить получение очень высоких степеней деформации.

Радиально-сдвиговая протяжка, благодаря более благоприятной схеме НДС металла, позволяет накапливать более высокие степени деформации без его разрушения.

При волочении проволоки по выше указанному маршруту с применением монолитных волок из катан-



ки, имеющей сорбитную структуру с размером зерна 180 нм была получена готовая проволока с размером зерна 112 нм. При этом суммарное усилие волочения составило 3550 Н, а накопленная степень деформации 0,94.

При волочении по этому же маршруту с применением РСПр из этой же заготовки была получена проволока с размером зерна 80 нм. При этом степень накопленной деформации составила 1,49.

Кроме того, РСПр можно комбинировать с волочением, прокаткой, протяжкой через роликовые волокни. Основным технологическим преимуществом этого процесса является возможность использования стандартного волочильного оборудования, без его модернизации и реконструкции.

## 6. Заключение

Таким образом, радиально-сдвиговая протяжка является эффективным способом получения проволоки с УМЗ структурой. Она не меняет сути используемого технологического процесса и может быть просто реализована на применяемом сегодня волочильном оборудовании. Одновременное действие двух механизмов (вытяжки и кручения) формирования структуры и возможность управления ими позволяют получать проволоку с требуемой микроструктурой при одновременном снижении затрат на ее изготовление.

## Литература

1. F.Z. Utyashev. Modern methods of severe plastic deformation: the manual. Ufimsk. State. aviation. tehn. Univ. Ufa: USATU. (2008) 313 p. (in Russian) [Ф.З. Утяшев. Современные методы интенсивной пластической деформации: учебное пособие. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа: УГАТУ. 2008. 313 с.]
2. I.N. Potapov, P.I. Polkhin. Technology screw rolling. M.: Metallurgy. (1990) 344 p. (in Russian) [И.Н. Потапов, П.И. Полухин. Технология винтовой прокатки. М.: Metallurgiya. 1990. 344 с.]
3. Progressive metal forming technology. Instructor's Manual. M.: IRIAS. (2009) 600 p. (in Russian) [Прогрессивные технологии ОМД. Учебно-методическое пособие. М.:ИРИАС. 2009. 600 с.]
4. V.A. Kharitonov, A.Yu. Maniakin, M.V. Chukin, Yu.A. Dremin, M.A. Tikeev, M.Yu. Usanov. Improving the deformation modes and tools for drawing round wire. Monograph. Magnitogorsk: MSTU after G.I.Nosova. (2011) 174 p. (in Russian) [В.А. Харитонов, А.Ю. Манякин, М.В. Чукин, Ю.А. Дремин, М.А. Тикеев, М.Ю. Усанов. Совершенствование режимов деформации и инструмента при волочении круглой проволоки. монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. 2011. 174 с.]
5. E.I. Panov. Metallurgist. 4, 69 (2006). (in Russian) [Е.И. Панов. Металлург. 4, 69 (2006).]
6. S.P. Galkin. Proceedings of the conference Pavlov read 2010: The IMET RAS. (2010) 500 p. (in Russian) [С.П. Галкин. Сборник трудов конференции Павловские чтения 2010: ИМЕТ РАН. 2010. 500 с.]
7. M.B. Ivanov, A.V. Penkin, etc. Deformation and fracture of materials. 9, 13 (2010). (in Russian) [М.Б. Иванов, Пенкин А.В., Ю.Р. Колобов и др. Деформация и разрушение материалов. 9, 13 (2010).]
8. V.V. Bitkov. Technology and machinery for the production of wire. Ekaterinburg: Ural Branch of Russian Academy of Sciences. (2004) 343 p. (in Russian) [В.В. Битков. Технология и машины для производства проволоки. Екатеринбург: УрО РАН. 2004. 343 с.]