

# ПРИМЕНЕНИЕ РАДИАЛЬНО-СДВИГОВОЙ ПРОТЯЖКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КРУГЛОЙ ПРОВОЛОКИ

## USING RADIAL-DISPLACEMENT DRAWING FOR PRODUCING ROUND-WIRE

Харитонов Вениамин Александрович  
Усанов Михаил Юрьевич

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет» им. Г.И. Носова  
Филиал ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет» им. Г.И. Носова в  
г. Белорецке, usanov.mail@gmail.com

### Abstract

This article presents the results that shows the comparative modeling character of flow at drawing in a monolithic dies and drawing the die radial-displacement deformation. It is shown that the radial-displacement drawing provides due to helicoidal flux increasing the accumulated degree of deformation, and thereby conduce to the grinding of the structure. It is shown the design of dies radial-displacement deformation and the results of experimental studies.

Проволока находит самое широкое применение по всех отраслях промышленности, сельском хозяйстве и других сферах жизни и деятельности человека. Применяется она в виде как готовых изделий (электрические и телеграфные провода, проволока для армирования железобетонных конструкций промышленного и гражданского назначения, обвязочный и упаковочный материал и пр.), так и полуфабриката для производства целого ряда метизов: стальные канаты, сварные и тканые сетки, гвозди, шурупы, детали машин, проволочно-кабельные изделия и др. Проволоку изготавливают в широком ассортименте из самых различных черных и цветных металлов и сплавов, с разными механическими и физико-химическими свойствами. Для каждого вида и размера проволоки требуется определенная технология изготовления и соответствующее оборудование [1].

Основным способом ОМД, применяемым в современных технологических процессах изготовления проволоки, является волочение в монолитных волоках.

С точки зрения технологии при волочении решаются две задачи: получение заданных форм и размеров на готовой проволоке и формирование требуемого комплекса физико-механических свойств, определяющих потребительские свойства проволоки и проволочных изделий [2].

Первая задача решается рациональным выбором размеров исходной заготовки — катанки, размеров передельных заготовок и расчета переходов при волочении внутри каждого передела.

Вторая задача сводится к определению марки стали и оптимальных величин суммарных и частных обжатий для достижения на готовом размере заданных физико-механических свойств, нормируемых соответствующими государственными стандартами и техническими условиями.

Однако, получить ультрамелкозернистую структуру, обеспечивающую высокие физико-

механические свойства проволоки волочением в монолитной волоке невозможно из-за квазимонотонного характера деформации [3].

В последнее время значительный интерес и широкое применение получили методы интенсивной пластической деформации (ИПД), используемые для получения субмикро- и нанокристаллических полуфабрикатов. Металлы и сплавы с такой ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой проявляют необычно высокие и полезные физико-механические свойства. Методы ИПД, такие как равноканальное угловое прессование, кручение под высоким квазигидростатическом давлении, всесторонняяковка и другие - это немонотонные процессы деформирования. В этих методах инструментом активно задается переменная по величине и направлению скорость деформирования, соответственно, изменяется направление вытяжки материала и положение следа тензора деформации по отношению к системе координат, связанной с заготовкой. Течение материала в этих условиях приобретает ротационный («вихревой») характер. Перемена направления деформирования ведет к преимущественному по сравнению с квазимонотонными процессами формированию зерен, а не субзерен [4].

Однако применить эти методы для получения длинномерной заготовки в промышленных условиях практически невозможно. Одним из методов способствующих решению этой задачи, является радиально-сдвиговая прокатка - эффективный способ обеспечивающий высоконемонотонную равномерную деформацию [5]. Кроме того, радиально-сдвиговая прокатка, является одним из самых эффективных способов ОМД, обеспечивающих высокое качество изделий и низкие затраты на их изготовление. Образование спиральной макроструктуры при радиально-сдвиговой прокатке вызвано силовыми и кинематическими условиями воздействия технологического инструмента на заготовку. Картина движения траекторий различных слоев

металла с разным шагом и углом подъема винтовых линий наглядно доказывает, что в процессе радиально-сдвиговой прокатки, помимо кардинального измельчения всей структуры, происходит послойное, отличное друг от друга, ориентирование полученной определенным образом новой измельченной структуры, которая состоит в том, что элементы измельченной структуры каждого слоя, бесконечно малой толщины, приобретают свою траекторию движения (шаг и угол подъема винтовой линии), свойственную только одному, конкретному слою [6].

Для получения длинномерных изделий методом радиально-сдвиговой прокатки необходимо использовать планетарные клетки, что трудно реализуемо при производстве проволоки. На кафедре машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова» был разработан и исследован способ получения круглой проволоки радиально-сдвиговой протяжкой (РСП) [7]. Она осуществляется приложением к проволоке (катанке) переднего тянущего усилия и без скручивания обрабатываемой проволоки. При этом вращается роликовая волока.

Для изучения процесса РСП было проведено моделирование в программном комплексе Deform 3D. В качестве исходной заготовки принималась круглая заготовка диаметром 16,00 мм, диаметр проволоки на выходе 14,25 мм.

Моделирование проводилось с некоторыми 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.

Для лучшего понимания и анализа процесса РСП одновременно с ним был смоделирован процесс волочения в монолитной волоке. Волочение проводилось со следующими параметрами: заготовка диаметром 16,00 мм на диаметр 14,25 мм; полуугол волок 4 градуса; температура постоянная 20 °C; трение по закону Кулона.

Для изучения характера течения металла при моделировании по середине заготовки наносилась лагранжева сетка с размером ячеек 1х1 мм рис.1 а.

После протяжки сетка в процессе волочения вытянулась в продольном направлении и уменьшилась в поперечном рис. 1 б. В процессе РСП сетка закрутилась на угол 67 градусов и так же как при волочении вытянулась в продольном направлении и уменьшилась в поперечном рис. 1 в.

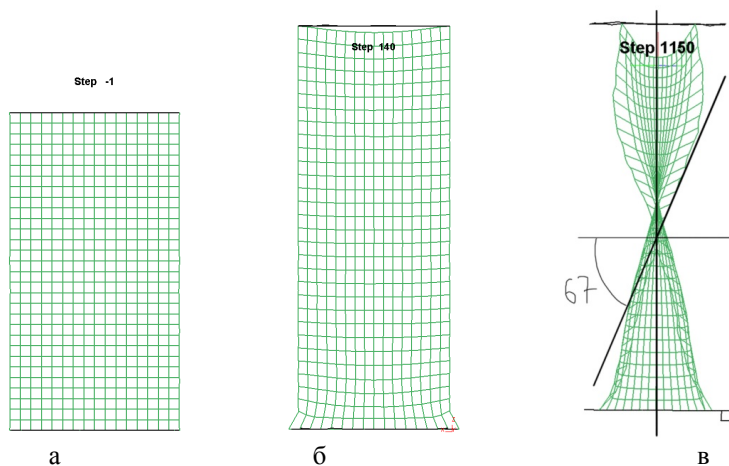


Рис. 1. Изменение исходной сетки (а) при волочении (б) и радиально сдвиговой протяжке (в)

Если в исходную заготовку вставить круглые штифты и проволочить, то штифты увеличатся в продольном размере и уменьшаться в поперечном, сохранив круглую форму (рис. 2 а).

Если такие же штифты вставить в заготовку для РСП и протянуть, то штифты

приобретут форму "пружинок". Причем, плотность закручивания будет выше у штифта ближе к поверхности, в то время как центральный штифт будет "навиваться" вокруг собственной оси (рис. 2 б).

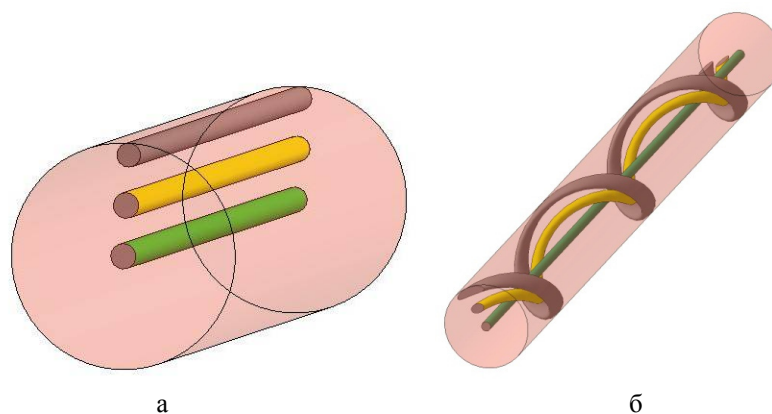


Рис. 2. Имитация характера течения металла при волочении (а) и радиально-сдвиговой протяжке (б)

Размеры ячеек после деформации практически совпадают. Однако в случае РСП измерялись их проекции, что говорит о том, что при одинаковой вытяжке и обжатии будет происходить интенсивное измельчение структуры за счет геликоидального течения. При РСП внешние слои получают большее удлинение, в отличие от процесса волочения в монолитных волокнах.

По формуле  $e = \ln(d_0^2/d_1^2)$  была оценена степень накопленной деформации при волочении, которая составила 0,23. В процессе РСП учитывался также поворот слоев  $e = \ln(d_0^2/d_1^2) + \ln(90/\gamma)$ , (где  $\gamma$  - угол скручивания после протяжки). Угол скручивания заготовки после РСП составил 67 градусов и суммарная степень накопленной деформации составила 0,53, т.е. примерно выше в два раза.

Из полученных результатов видно, что после РСП степень накопленной деформации выше

по сравнению с волочением за счет сдвиговой деформации.

Если сравнить процессы волочения и радиально-сдвиговой протяжки проволоки диаметром 10,00 мм из этой же заготовки, то степень накопленной деформации при волочении составит 0,94, а при радиально-сдвиговой протяжке 1,49.

Для осуществления процесса радиально-сдвиговой протяжки совместно с ООО «Спецпроекткомплектация» (г. Магнитогорск) была спроектирована и изготовлена роликовая волока новой конструкции (рис. 3). Было проведено экспериментальное исследование, при котором образцы из стали марки 20 протягивались с различных диаметров на диаметр 9,00 мм. Угол подачи роликов  $\beta = 24^\circ$ , полуугол рабочего ролика  $\alpha = 3$  градуса, толщина ролика 10 мм, длина калибрующей части 3 мм, а диаметр ролика – 32 мм, скорость вращения роликовой волоки 2 об/с.



Рис. 3. Роликовая волока радиально-сдвиговой протяжки

Проведенные исследования, показали, что в поверхностном слое заготовки происходит значительное измельчение структуры [8]. Полученные результаты хорошо согласуются с результатами работы [7].

Таким образом, волочение (протяжка) в роликовых волокнах, обеспечивающих радиально-сдвиговую деформацию, реализует высоконемонотонную равномерную деформацию по системе «круг-круг». Причем радиально-сдвиговая протяжка имеет, как и радиально-сдвиговая прокатка, геликоидальное истечение металла в очаге деформации, что приводит к образованию в металле спиральной ультрамелкозернистой структуры. При этом конструкция волоки значительно проще конструкции классической роликовой волоки, а количество роликов в ней два, максимум три вместо четырех или шести в классической роликовой волоке. Ролики малогабаритные и сравнительно простые по конструкции. Эффективно совмещение радиально-сдвиговой протяжки и волочения в монолитной волоке, что позволяет реализовать преимущества одного способа и уменьшить негативное влияние другого.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Битков В.В. Технология и машины для производства проволоки. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. - 343с.
2. Коковихин Ю.И. Технология сталепроволочного производства. ИСИО. - К., 1995. - 608 с.
3. Харитонов В.А., Радионова Л.В.. Проектирование ресурсосберегающих технологий производства высокопрочной углеродистой проволоки на основе моделирования: Монография. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008.- 171 с.
4. Утяшев Ф. 3. Современные методы интенсивной пластической деформации: учебное пособие / Ф.3. Утяшев; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. - Уфа: УГАТУ, 2008.-313 с.
5. Потапов И.Н., Полухин П.И. Технология винтовой прокатки. М.: Ме-таллургия, 1990. - 344с.
6. Галкин С.П. Траекторное управление структурой металла в стационарных процессах деформирования с геликоидальным истечением. // сборник трудов конференции Павловские чтения 2010: ИМЕТ РАН, (М., 26-27 окт. 2010 г.) С. 500-503.
7. Совершенствование режимов деформации и инструмента при волочении круглой проволоки // Харитонов В. А., Манякин А. Ю., Чукин М. В., Дремин Ю. А., Тикеев М. А., Усанов М. Ю. : монография. Магнитогорск : Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. 174 с.
8. Харитонов В.А., Полякова М.А., Усанов М.Ю. Радиально-сдвиговая протяжка как эффективный способ повышения качества круглой проволоки. // Труды научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития металлургии и машиностроения с использованием завершенных фундаментальных исследований и НИОКР». Т. 2. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. с.521-532.