

УДК 621.778

Харитонов В.А., Усанов М.Ю.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ КРУГЛОЙ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ ПРОВОЛОКИ В ОВАЛЬНОЙ МОНОЛИТНОЙ ВОЛОКЕ

Аннотация. Волочение в монолитных волокнах является основным и часто безальтернативным способом обработки металла давлением (ОМД), применяемым при изготовлении проволоки различного назначения как у нас в стране, так и за рубежом. Одним из недостатков этого способа является сложность и часто невозможность получения равномерной деформации по сечению проволоки. Одним из вариантов решения этого вопроса является применение овальных монолитных волокон. Однако этот вопрос является малоизученным. С применением математического моделирования проведен сравнительный анализ деформированного состояния и усилия волочения проволоки в круглых и овальных монолитных волокнах. Для этого было смоделировано два маршрута волочения. В первом заготовка круглого сечения диаметром 16,00 мм была протянута через традиционные круглые монолитные волокна. Во втором маршруте волочения круглая заготовка диаметром 16,0 мм протягивалась в овальной монолитной волоке, а затем в круглой. Равенство вытяжек в рассматриваемых маршрутах было обеспечено через равные площади по проходам. Конечный диаметр в обоих маршрутах составил 12,80 мм. Показано, что при волочении круглой проволоки в овальной волоке по сравнению с традиционной круглой происходит интенсивная проработка центральных слоев проволоки, что снижает неравномерность деформации по сечению проволоки. Усилие волочения при этом растет.

Ключевые слова: проволока, волочение, монолитная волока, моделирование, накопленная степень деформации, овальная и круглая монолитная волока, усилие волочения, сравнение.

Введение

Высокоуглеродистая проволока массово применяется в промышленности при изготовлении металлокорда, канатов, пружин, арматуры для предварительнонапряженного железобетона и т.д.

Качество проволоки характеризуют следующие основные показатели: геометрические размеры и предельно допустимые отклонения от номинальных значений; механические свойства (предел прочности, предел текучести, относительное удлинение и сужение, ударная вязкость, твердость, изменение механических характеристик по сечению и длине); структура металла (форма и величина (балл) зерна, однородность структуры); учитываемыми особенностями работы проволоки в изделии (число гибов, число скручиваний, релаксационная стойкость, сцепление с бетоном); определяемыми особыми условиями эксплуатации (усталостная прочность, коррозионная стойкость, порог хладноломкости) [1].

Основной операцией при производстве проволоки является волочение проволоки в монолитной волоке, характеризующееся значительной неравномерностью деформации по сечению и склонностью проволоки к разрушению, особенно в ее центральной части [2, 3]. Из практики хорошо известно, что с увеличением диаметра холоднотянутой проволоки комплекс ее механических свойств заметно понижается. Возникает так называемый масштабный эффект [4, 5], проявляющийся в уменьшении ее прочностных свойств и снижении технологичности с увеличением характерного размера, подразумеваемая под технологичностью уровень пластических свойств металла и стабильность деформирования при высоких суммарных обжатиях [6].

Увеличение единичного обжатия и уменьшение значения рабочего угла волоки снижает вероятность разрушения. Но при этом повышаются энергозатраты и снижается устойчивость процесса волочения. Кроме того, неравномерность деформации растет с увеличением скорости волочения и контактного трения. Таким образом, этот вопрос является актуальным для теории и практики производства проволоки волочением.

Одним из вариантов решения этого вопроса является оригинальный способ последовательной протяжки круглой проволоки в монолитных волокнах с овальным поперечным сечением и традиционных круглых [7]. На основе оценки структуры и механических свойств проволоки было показано, что данная технология может быть полезна при производстве проволоки с высокой пластичностью (на кручение) и с большей прочностью без дополнительного легирования и термообработки по сравнению с обычным волочением.

Однако при этом не были исследованы особенности деформированного состояния и усилия волочения проволоки, полученной новым способом, что затрудняет оценку его эффективности.

Целью данной работы является сравнительная оценка деформированного состояния и усилия волочения проволоки в круглых и овальных монолитных волокнах на основе математического моделирования.

Моделирование

Моделирование проводилось в программном комплексе Deform-3d. Исходная заготовка из стали марки 80 (упругопластическая модель) диаметром 16,00 мм и длиной 50 мм протягивалась с обжатиями, значения которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Режимы обжатий

Сечение, мм		
Исходная заготовка	1-я протяжка (обжатие 20%)	2-я протяжка (обжатие 20%)
Круг 16,00	Круг 14,31	Круг 12,80
Круг 16,00	Овал 16,50×12,40	Круг 12,80

При волочении по схеме «круг-овал-круг» отношение главных осей овала принято равным 1,33. Исходная заготовка разбивалась на 72340 конечных элемента. Скорость волочения 1 м/с, коэффициент трения принят по закону Кулона равным 0,08. Рабочий угол монолитных волок составляет 12 град.

Модель процесса волочения в овальной монолитной волоке показана рис. 1.

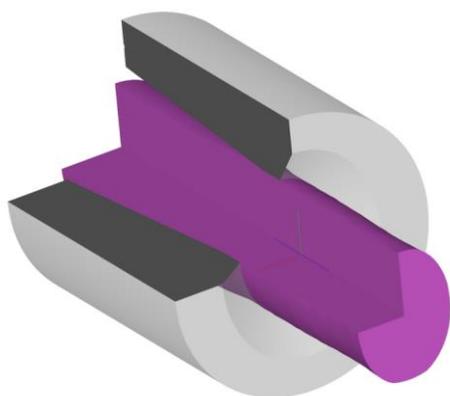
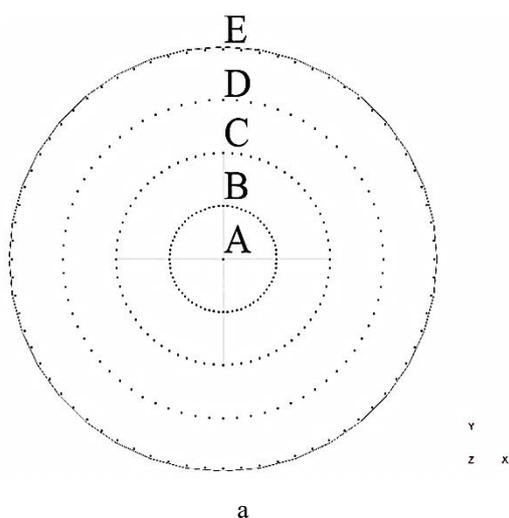


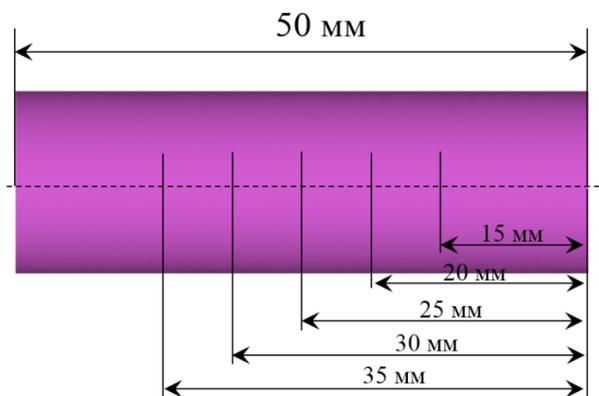
Рис. 1. Модель процесса волочения в овальной монолитной волоке

Анализ результатов

В результате моделирования было исследовано изменение накопленной степени деформации по сечению проволоки.



а



б

Рис. 2. Схема нанесения точек в поперечном сечении (а) и по длине заготовки (б)

Для этого на исходную заготовку в поперечном сечении на радиусах 0, 2, 4, 6 и 7,9 мм наносилось 360 точек, что соответствовало 1 град (рис. 2, а). Для большей точности данные точки были нанесены в пяти разных сечениях по длине заготовки (рис. 2, б).

Затем определялась величина значения накопленной степени деформации для каждой точки как среднее из пяти значений и были построены графики (рис. 3). Графики представляют из себя развертки с шагом в 1 град.

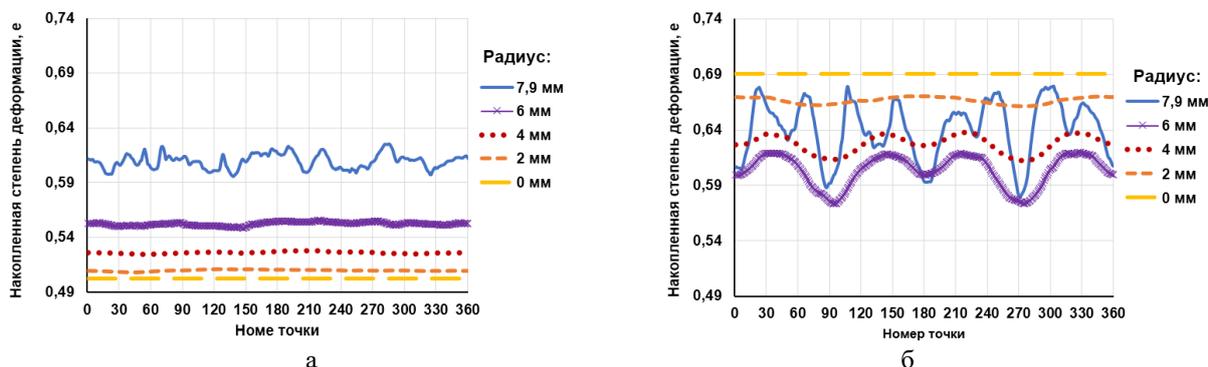
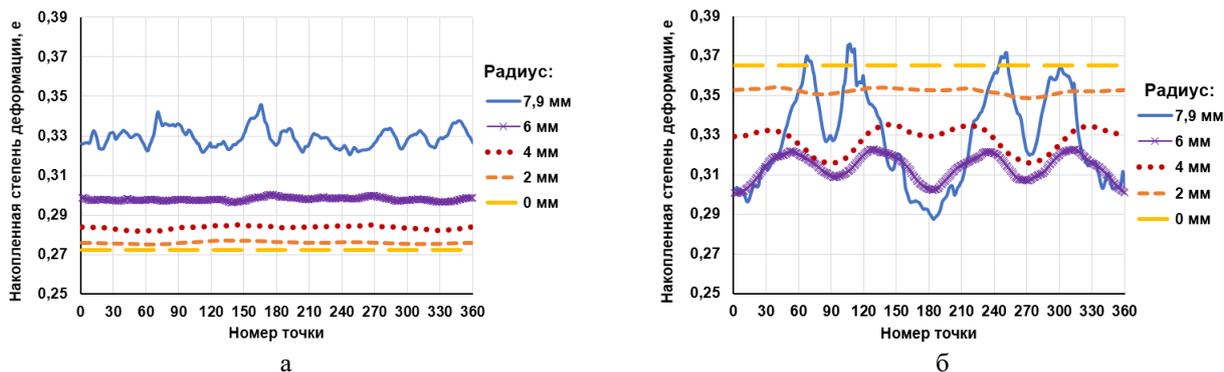
На графиках значение 0 и 180 град соответствуют малой оси овала, а 90 и 270 град – большой оси овала.

Видно, что при волочении в классической монолитной волоке накопленная степень деформации распределяется по концентрическим окружностям с минимальным значением на оси и максимальным на поверхности.

При волочении в овальной монолитной волоке также наблюдается неравномерное распределение накопленной степени деформации. Но в отличие от круглой монолитной волоки, в овальной идет более интенсивная проработка металла на оси проволоки, о чем говорит высокое значение накопленной деформации. На радиусе 2 мм также наблюдается равномерное распределение. С радиуса 4 мм и до поверхности проявляется явно выраженная неравномерность. Так, по малой оси овала (90 и 127 град) наблюдается максимальное значение накопленной степени деформации, а на большой оси (0 и 180 град) – минимальное.

Затем моделировали волочение данной заготовки в круглой монолитной волоке на диаметр 12,80 мм. Распределение накопленной степени деформации по сечению приведено на рис. 4.

Из рис. 4, а видно, что при волочении в монолитной волоке характер распределения накопленной степени деформации сохраняется, при этом увеличиваются значения ее величины.



После обжатия овала в круглой монолитной проволоке максимальное значение накопленной степени деформации сохраняется на оси заготовки. На радиусах 2, 4 и 6 мм отчетливо проявляется неравномерность, определяемая овальным сечением проволоки, с минимумом в точках 0 и 180. В отличие от волочения в круглой монолитной проволоке значение накопленной деформации в поверхности имеет меньшую величину, чем на оси заготовки.

Результаты оценки изменения усилия волочения в рассмотренных способах приведены на рис. 5.

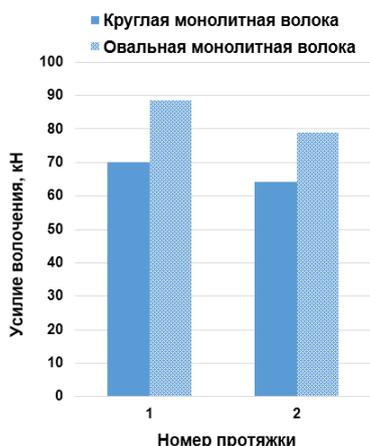


Рис. 5. Изменение усилия волочения

Как видно из рис. 5, при волочении в круглой монолитной проволоке, усилие волочения ниже, чем при волочении в овальной монолитной проволоке, а затем овальной заготовки в круглой проволоке.

Заключение

Волочение круглой проволоки в овальной монолитной проволоке приводит к изменению распределения накопленной степени деформации по сечению проволоки. Максимальное ее значение наблюдается на оси проволоки, в отличие от волочения в монолитной проволоке, где оно имеет минимальное значение. На малой оси овала (90 и 270 град) наблюдается максимальное значение накопленной степени деформации, а на большой оси (0 и 180 град) – минимальное.

Волочение овальной проволоки в круглой монолитной проволоке сохраняет максимальное значение накопленной деформации на оси и при этом снижает неравномерность, вызванную овальным сечением.

Волочение овальной проволоки приводит к повышению усилия волочения, по сравнению с круглой.

Таким образом, применение в маршруте волочения круглых монолитных волок и овальных монолитных волок дает возможность управлять характером распределения накопленной степени деформации проволоки, повышая тем самым ее качество.

Список литературы

1. Паршин В.С. Основы системного совершенствования процессов и станов холодного волочения. Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1986. 192 с.
2. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Оценка эффективности способов волочения круглой проволоки больших диаметров // Черные металлы. 2021. № 3. С. 28–33.
3. Усанов М.Ю. Совершенствование технологии изготовления углеродистой проволоки на основе повышения эффективности деформационных режимов волочения: автореф. дис. ... канд. техн. наук / М.Ю. Усанов. Магнитогорск, 2018. 16 с.
4. Зубов В.Я., Мальцева Л.А. О масштабном факторе при разрушении стальной проволоки // Термическая обработка и физика металлов. Свердловск: УПИ, 1976. Вып. 2. С. 15–19.
5. Семавина А.Н., Гаврилюк В.Г., Терских С.А. О природе масштабного эффекта в холоднотянутой стальной проволоке // Физико-химическая механика материалов. 1979. № 2. С. 24–28.
6. Производство высокопрочной стальной арматуры для железобетонных шпал нового поколения / под общ. ред. М.В. Чукина. М.: Металлургиздат, 2014. 276 с.
7. Hyun M.B., Sun K.H., Ho S.J., Yong-Taek I., Il-Heon S., Chul M.B. The effect of a non-circular drawing sequence on delamination characteristics of pearlitic steel wire // Materials and Design. October 2014. Vol. 62. P. 137–148.

Сведения об авторах

Харитонов Вениамин Александрович – кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры технологической обработки материалов, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: hva-46@yandex.ru

Усанов Михаил Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры металлургии и стандартизации, Филиал ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», г. Белорецк, Россия. E-mail: barracuda_m@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

RESEARCH OF ROUND HIGH-CARBON WIRE DRAWING IN OVAL ONE-PIECE DRAWING DIE

Kharitonov Veniamin A. – Ph.D. (Eng.), Professor, Department of material processing technology, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: hva-46@yandex.ru

Usanov Mikhail Yu. – Cand. Eng., Associate Professor, Department of metallurgy and standardization, Nosov Magnitogorsk State Technical University - Branch in Beloretsk, Russia. E-mail: barracuda_m@mail.ru

Abstract. Drawing in one-piece drawing dies is the primary and usually single-option method of pressure metal treatment used in manufacturing of various wires both in Russia and abroad. One of the drawbacks of this method is complexity and almost no capability of achieving regular deformation across the wire cross-section. One of the options to solve this issue is using oval one-piece drawing dies. However, this issue is understudied. Mathematical modeling was used for comparative analysis of the deformed state and wire drawing forces in round and oval one-piece drawing dies. Two drawing routes were modeled for this purpose. In the first route, a round workpiece 16.00 mm in diameter was drawn through conventional round one-piece dies. In the second route, a round workpiece 16.00 mm in diameter was first drawn through an oval one-piece die and then through a round one-piece die. The equality of drawings in these routes were ensured over equal areas by passes. The final diameter in both routes was 12.80 mm. It has been shown that as compared to the conventional round die, drawing in a round die results in intensive treatment of central wire layers, which reduces deformation irregularity across the wire cross-section, and in this case the drawing force rises.

Keywords: wire, drawing, one-piece drawing die, modeling, accumulated deformation degree, oval and round one-piece drawing die, drawing force, comparison

Ссылка на статью:

Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Исследование процесса волочения круглой высокоуглеродистой проволоки в овальной монолитной волоке // Теория и технология металлургического производства. 2022. №1(40). С. 37-40.
Kharitonov V.A. Usanov M.Yu. Research of round high-carbon wire drawing in oval one-piece drawing die. *Teoria i tehnologija metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2022, vol. 40, no. 1, pp. 37-40.