

PACS: 61.66.-f, 62.20.-x

Е.Г. Пашинская¹, В.Н. Варюхин¹, А.А. Максакова¹, А.И. Максаков²,
А.А. Толпа², А.В. Макарова³

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЛОЧЕНИЯ СО СДВИГОМ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ ПРОВОЛОКИ

¹Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины
ул. Р. Люксембург, 72, г. Донецк, 83114, Украина

²НПО «Доникс», г. Донецк

³Донецкий национальный университет
ул. Университетская, 24, г. Донецк, 83001, Украина

Статья поступила в редакцию 23 января 2014 года

Разработана технология волочения со сдвигом для повышения технологической пластичности низкоуглеродистых сталей без применения термической обработки. Такая технология обеспечивает падение прочности и рост относительного сужения, а также позволяет уменьшить пористость в проволоке малых диаметров.

Ключевые слова: волочение, сдвиг, проволока, низкоуглеродистые стали, зерно феррита, коэффициент вытяжки

Розроблено технологію волочіння зі зсувом для підвищення технологічної пластичності низьковуглецевих сталей без застосування термічної обробки. Така технологія забезпечує падіння міцності та зростання відносного звуження, а також дозволяє зменшити пористість у дроті малих діаметрів.

Ключові слова: волочіння, зсув, дріт, низьковуглецеві сталі, зерно фериту, коефіцієнт витяжки

Для получения материалов с ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой используются различные методы интенсивной пластической деформации (ИПД) со сдвигом как в горячем, так и в холодном состоянии: равноканальное угловое прессование, винтовая экструзия, а также комбинации этих методов с последующей прокаткой, осадкой, волочением и др. Применение этих методов позволяет значительно повысить прочность материала при сохранении определенного запаса пластичности.

Однако указанные комбинации методов нельзя реализовать для волочильных производств, тогда как последние весьма заинтересованы в получении новых технологических и эксплуатационных характеристик в длинномерных проволочных изделиях [1,2]. Одним из ограничений при изготов-

лении проволоки с УМЗ-структурой является то, что объемы материалов, полученные с помощью вышеперечисленных методов ИПД, исчисляются десятками килограммов и тоннами, в то время как требуемая производительность волочильного производства составляет сотни тысяч тонн.

Решение проблемы для проволочных длинномерных изделий может заключаться в использовании волочения со сдвигом. Для катанки и проволоки повышение запаса пластичности предположительно позволит удешевить и упростить технологию производства за счет упразднения процесса промежуточного отжига.

В работах [1–9] описаны различные методы интенсивной пластической деформации для металлических длинномерных изделий различных конфигураций. Наибольший интерес для нас представляют работы [5,6,9].

Так, авторы [5] рассматривают применение знакопеременного изгиба на холоднотянутой арматуре без дополнительного нагрева. Основными преимуществами такого метода являются его непрерывность и возможность использовать для получения длинномерных изделий с повышенными механическими свойствами. В работе [6] описан способ пластического структурообразования материала длинномерных заготовок и представлено устройство для его реализации, основанное на знакопеременной деформации в пересекающихся каналах. Очаг деформации заготовки при этом образуется за счет смещения осей симметрии каналов с одноосным растяжением. Данный способ прерывный, позволяет изготавливать длинномерные изделия с конечной длиной порядка нескольких метров. Его преимуществом является формирование мелкозернистой структуры. Однако деформирующий блок конструктивно еще более сложный, чем в случае [5]. Оба способа [5,6] не позволяют изготавливать проволоку малых диаметров.

Способ получения УМЗ-структуры на длинномерных изделиях, основанный на волочении, описан в работе [9]. Главное его преимущество – непрерывность процесса и возможность применения для массового волочильного производства. Недостатком способа является трудоемкость процесса волочения, так как используется сложный технический узел, требующий при смене волок демонтажа и новой сборки.

Цель данной статьи – представить разработанную технологию волочения со сдвигом для повышения технологической пластичности низкоуглеродистых сталей без применения термической обработки. Такая технология должна обеспечивать определенные физико-механические свойства проволоки, а также быть дешевой, простой и надежной при эксплуатации.

Методика эксперимента

Эксперимент был проведен на заготовке из стали Св-08Г2С (табл. 1). Волочение осуществляли на стане АЗТМ 7000/1 по разработанной (экспериментальной) технологии (со сдвиговыми волоками) и классической (со стандартными круглыми волоками). Маршруты волочения для обоих видов технологии приведены в табл. 2.

Таблица 1

Химический состав проволоки из стали Св-08Г2С, %

| | | | | | | | | |
|---------|---------|----------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
| C | Mn | Si | S | P | Cr | Ni | Cu | N |
| 0.071 | 1.98 | 0.84 | 0.015 | 0.018 | 0.015 | 0.009 | 0.016 | 0.0055 |
| Ti | As | B | Al | V | Mo | W | Co | |
| < 0.005 | < 0.005 | < 0.0005 | 0.005 | 0.006 | < 0.01 | 0.024 | 0.01 | |

Таблица 2

Маршруты волочения проволоки, полученной по экспериментальной и классической технологиям

| Технология | Диаметр волок, mm | | | | | | | | | |
|--------------|-------------------|------|-----|------|-----|------|------|-----|------|------|
| | Экспериментальная | 6.15 | 5.4 | 5.2* | 5.0 | 4.30 | 3.90 | 3.5 | 3.06 | 2.70 |
| Классическая | 5.30 | | | | | | | | | |

Примечание. * – волокна со сдвигом

На полученных образцах диаметром от 6.15 до 3.90 mm измеряли механические свойства, в частности предел прочности и относительное сужение (рис. 1).

Микроструктуру отожженного и деформированных образцов изучали при увеличениях 100–1000 на приборе «Neophot-32» после многократной полировки и травления на границы зерен (состав травителя: 4% азотной кислоты, 97% спирта). Фотографирование осуществляли на оптическом микроскопе Axiovert 40 MAT. На образцах в поперечном и продольном направлениях

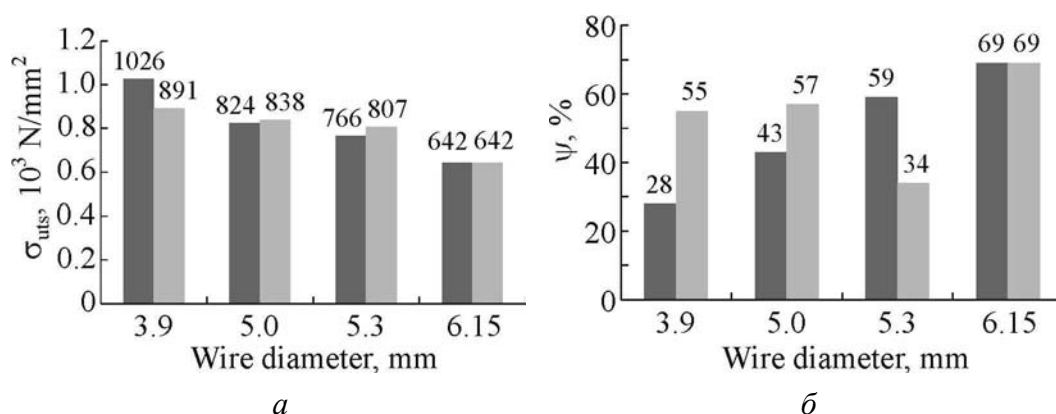


Рис. 1. Механические свойства проволоки из стали Св-08Г2С, полученной по классической (■) и экспериментальной (▒) технологиям: а – предел прочности σ_{uts} , б – относительное сужение ψ

Таблица 3

Коэффициент вытяжки k для проволоки Св-08Г2С

| Технология | k | | |
|-------------------|------|------|------|
| | Ø6.5 | Ø5.0 | Ø3.9 |
| Экспериментальная | 1 | 0.35 | 0.19 |
| Классическая | | 0.21 | 0.10 |

проводили количественную оценку размеров зерен и их фрагментов. По каждой фотографии выполнено 100 измерений. Коэффициент вытяжки рассчитывали по формуле

$$k = D_1/D_2, \quad (1)$$

где D_1 , D_2 – длина зерна соответственно по направлению вытяжки зерен и перпендикулярно ей в продольном сечении образца, μm .

Также осуществляли измерение твердости по Виккерсу HV (нагрузка 200 г) и микротвердости H_{μ} (нагрузка 100 г). Погрешность измерений составляла $\pm 5\%$. Измерения плотности образцов проводили методом гидростатического взвешивания. Испытания на прочность выполняли на машине УММ-50 при температуре 293 К и скорости нагружения 10 mm/min согласно ГОСТу 25.601–80.

Результаты эксперимента

Исследования показали, что с уменьшением диаметра образца при экспериментальной и классической технологиях предел прочности находится примерно на одном уровне (рис. 1,а), а относительное сужение при экспериментальной технологии остается на более высоком уровне по сравнению с классическим волочением (рис. 1,б).

Исходя из усредненных значений видно, что с уменьшением диаметра образца при классической технологии предел прочности повышается на 380 N/mm^2 , при экспериментальной – на 240 N/mm^2 .

При классической технологии существенно падает значение относительного сужения – с 69 до 28%, в то время как при экспериментальной технологии – с 69 до 55%.

Одним из отличительных признаков экспериментальной технологии является уменьшение структурной анизотропии на продольных образцах. Подтверждением этого служит увеличение коэффициента вытяжки (табл. 3). Фотографии микроструктур подтверждают полученные расчетные данные (рис. 2).

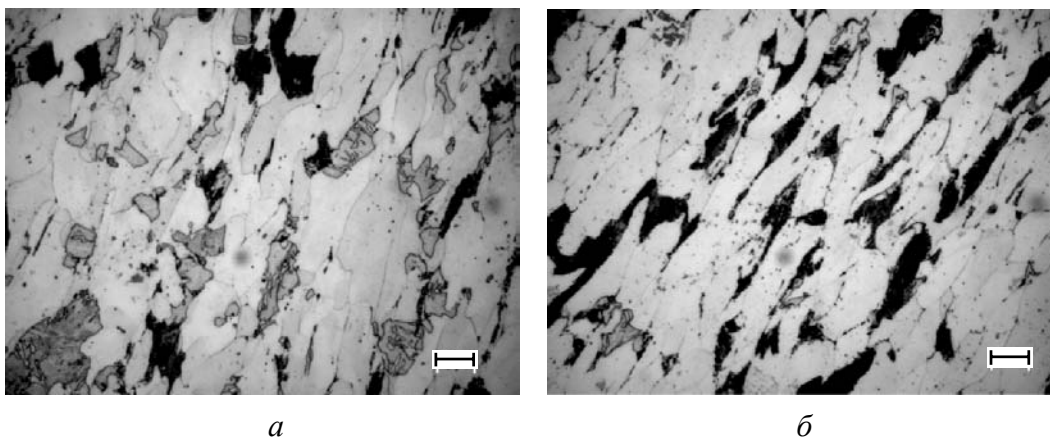


Рис. 2. Микроструктура образцов из проволоки Св-08Г2С $\varnothing 5.0$, полученной по экспериментальной (а) и классической (б) технологиям, $\times 100$. Масштаб $\text{I} \text{---}$ соответствует $10 \mu\text{m}$

Анализ структур позволил увидеть следующие основные структурные особенности.

1. Травимость перлитных колоний при классической технологии выше, чем при экспериментальной, что связано с неравновесностью перлита после волочения. В продольном сечении анизотропия по сечению при классической технологии больше, чем при экспериментальной.

2. Установлено, что экспериментальная технология приводит к уменьшенной анизотропии зерен, а размеры зерна в целом уменьшаются с повышением степени деформации. Однако на некоторых этапах наблюдается поочередное уменьшение–увеличение размера зерна, что предположительно связано с развитием конкурирующих процессов фрагментации и динамической полигонизации. Например, в экспериментальных образцах $\varnothing 5.2$ и $\varnothing 5.0$ в поперечном сечении структура укрупняется: увеличивается зерно феррита и размер перлитных колоний по сравнению с образцом $\varnothing 6.15$. В экспериментальном образце в поперечном сечении структура более крупная в сравнении с образцом, полученным традиционной технологией. Структура последнего образца содержит большее количество перлитной фазы.

3. В поперечном сечении образцов $\varnothing 3.9$, полученных по классической технологии, формируется поверхностная зона порядка 200–300 μm , которая отличается травимостью. При экспериментальной технологии этот эффект не выражен, металл однородный, зерно феррита крупнее, размер и количество перлита существенно меньше, чем при классической технологии.

4. Образцы $\varnothing 2.39$, полученные по классической технологии, больше травятся, следовательно, степень неравновесности выше. В продольном сечении в «классических» образцах анизотропия выражена больше, зерно феррита мельче, чем в экспериментальных, колонии перлита вытянуты в полоски (рис. 3). В поперечном сечении наблюдается тот же эффект. Кроме того, при экспериментальном волочении наблюдается залечивание пор и микротрещин (сравнить рис. 3, в и г).

Выводы

1. Применение экспериментальных волок позволяет улучшить механические свойства образцов при уменьшении диаметра при волочении: относительное сужение в проволоке снижается незначительно и остается на довольно высоком уровне по сравнению с классической технологией, где относительное сужение падает более чем в два раза.

2. Использование экспериментальной технологии позволяет варьировать размер ферритного зерна (то увеличивая, то уменьшая его) в сравнении с классической технологией, для которой повышение степени деформации приводит к однозначному уменьшению зерна.

3. Применение экспериментальной технологии позволяет залечивать поры на проволоке малых диаметров.

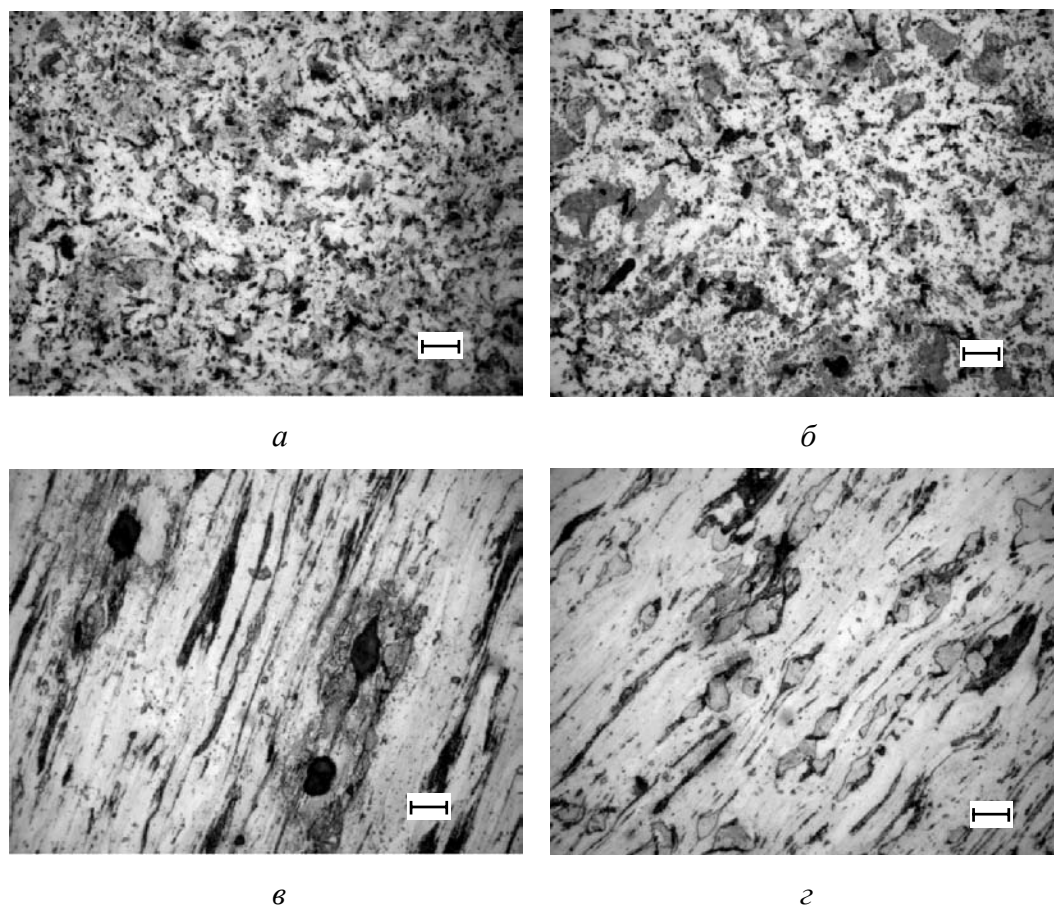


Рис. 3. Микроструктура центральной зоны образцов из проволоки Св-08Г2С Ø2.39, полученной по классической (а, в) и экспериментальной (б, г) технологиям: а, б – поперечное сечение, в, г – продольное, $\times 100$. Масштаб – как на рис. 2

4. Для предупреждения разогрева проволоки и волокни необходимо перейти к экспериментальному волочению через две экспериментальные волокни со сдвигом, но разделенные обычной волокой. Это приведет к повышению технологичности процесса и снижению усилий при волочении.

1. Е.Г. Астафурова, Г.Г. Захарова, Е.В. Найденкин, Г.И. Рааб, П.Д. Одесский, С.В. Добаткин, Письма о материалах **1**, вып. 4, 198 (2011).
2. Е.Г. Астафурова, Г.Г. Захарова, Е.В. Найденкин, С.В. Добаткин, Г.И. Рааб, ФММ **110**, 275 (2010).
3. Н.Г. Колбасников, О.Г. Зотов, В.В. Дураничев, Металлообработка № 4, 25 (2009).
4. С.П. Яковлева, С.Н. Махарова, Изв. Самарского научного центра Российской академии наук **12**, № 1(2), 589 (2010).
5. Е.М. Киреев, М.Н. Шуляк, А.В. Столяров, Сталь № 3, 56 (2009).
6. Патент РФ № 2440865, Способ пластического структурообразования материала длинномерных заготовок и устройство для его реализации, А.С. Матвеев, Р.А. Казаков, Ю.С. Шумкина, В.В. Курганский, Заявка № 2010121631/02, 27.05.2010.

7. *Е.Г. Астафурова, Г.Г. Захарова, Е.В. Найденкин, Г.И. Рааб, С.В. Добаткин*, Физическая мезомеханика **13**, № 4, 91 (2010).
8. *А.А. Закирова, Р.Г. Зарипова, В.И. Семенов*, Вестник УГАТУ, Машиностроение, материаловедение и термическая обработка металлов **11**, № 2 (29), 123 (2008).
9. *Патент РФ № 2347633*, Способ получения ультрамелкозернистых полуфабрикатов волочением со сдвигом, Г.И. Рааб, А.Г. Рааб, Заявка № 2007141899/02, 12.11.2007.

Е.Н. Pashinskaya, V.N. Varyukhin, A.A. Maksakova, A.I. Maksakov, A.A. Tolpa, A.V. Makarova

THE EFFECT OF THE TECHNOLOGY OF DRAWING WITH SHEAR ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE LOW-CARBON WIRE

The technology of drawing with shear is developed. It allows increasing technological plasticity of low carbon steel without heat treatment.

It is found that the use of experimental technology can improve mechanical properties of wire samples with the diameter reduced during drawing: the relative reduction of the wire decreases slightly and remains at high level compared with the classical technology, where the relative reduction in the course of drawing drops more than twice.

It is shown that the use of experimental technology allows varying the size of a ferrite grain (increase or decrease) compared with the classical technology, where increasing of deformation degree results in grain reduction. Furthermore, the experimental technology allows reducing the number of pores in a wire of small diameter.

To prevent heating of the wire and the drawing dies, it is proposed to use experimental drawing through two experimental dies with shear separated by an ordinary die. As a result, the workability of the process will be enhanced and the efforts of drawing will be reduced.

Keywords: drawing, shift, wire, low carbon steel, ferrite grains, the reduction ratio, reducing porosity

Fig. 1. Mechanical properties of the Sv-08G2S steel wire obtained by the traditional technology (■) and the experimental one (▣): a – yield strength σ_{uts} , b – relative reduction ψ

Fig. 2. Microstructure of the samples of the Sv-08G2S wire $\varnothing 5.0$ obtained by the experimental technology (a) and the traditional one (b), $\times 100$. The scale — is 10 μm

Fig. 3. Microstructure of the central zone of the samples of the Sv-08G2S wire $\varnothing 2.39$ obtained by the traditional technology (a, b) and the experimental one (b, c): a, b – cross-section, b, c – longitudinal section, $\times 100$. The scale is as at Fig. 2