

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РИХТОВКИ ТОНКОЙ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ

¹Ю. Л. Бобарикин, ¹Ю. В. Мартьянов, ²О. Ю. Ходосовская

¹Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого,
г. Гомель, Республика Беларусь

²Открытое акционерное общество «БМЗ — управляющая компания холдинга «БМК»,
г. Жлобин, Республика Беларусь

Одним из самых важных этапов производства проволоки является тонкое волочение. Тонким называют волочение до предельного диаметра 0,1 мм. После тонкого волочения проволока подвергается процессу рихтовки для улучшения технологических свойств. На сегодняшний день механизм работы процесса рихтовки проволоки недостаточно изучен. Более глубокие исследования в этом направлении позволят найти подходы к управлению процессом рихтовки и осмысленной настройке рихтовального устройства для тонкой проволоки.

Ключевые слова: проволока, рихтовка, моделирование, механизм, структура

STUDY OF THE PROCESS OF FINE HIGH-CARBON STEEL WIRE STRAIGHTENING

¹Yu. L. Bobarikin, ¹Yu. V. Martyanov, ²O. Yu. Khodosovskaya

¹Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoi
Gomel, Republic of Belarus

²OJSC «BSW – management company of «BMC» holding»,
Zhlobin, Republic of Belarus

One of the most important steps in wire production is fine drawing. Fine drawing is called drawing up to a maximum diameter of 0.1 mm. After fine drawing, the wire is subjected to a straightening process to improve technological properties. To date, the mechanism of wire straightening process has not been sufficiently studied. Detailed research in this direction will allow us to find approaches to controlle the straightening process and meaningfully adjusting the straightening device for fine wire.

Key words: wire, straightening, modeling, mechanism, structure

e-mail:bobarikin@outlook.com, yourock935@ya.ru; gsp.icm@bmz.gomel.by

Под рихтовкой металлического изделия понимается процесс знакопеременного изгиба в упругопластической области деформации, предназначенный для воздействия на величину и распределение остаточных напряжений в поперечном сечении металла. Механизм работы рихтовки заключается в повышении равномерности остаточных деформаций в металлическом изделии. Равномерность остаточных деформаций достигается дополнительной деформацией менее деформированных слоёв или отдельных слабodeформированных зёрен металла на стадии его технологического формоизменения.

Для исследования механизма работы рихтовального устройства построена комплексная численная модель, состоящая из численной модели волочения проволоки для формирования исходного уровня остаточных напряжений, и численной модели изгиба проволоки в роликах рихтовки. Проволочная из стали 80 класса прочности НТ с диаметром 0,31 мм заготовка условной длиной 150 мм протягивается через волоку с углом рабочей зоны 12° со скоростью 10 м/с до получения проволоки диаметром 0,30 мм. В качестве типа конечного элемента выбран тетраэдр. Количество конечных элементов в проволоке – 48000. Коэффициент контактного трения для упрощения расчёта принят константой и равен 0,15.

Полученные результаты эквивалентных остаточных напряжений в поперечном сечении проволоки представлены на рис. 1.

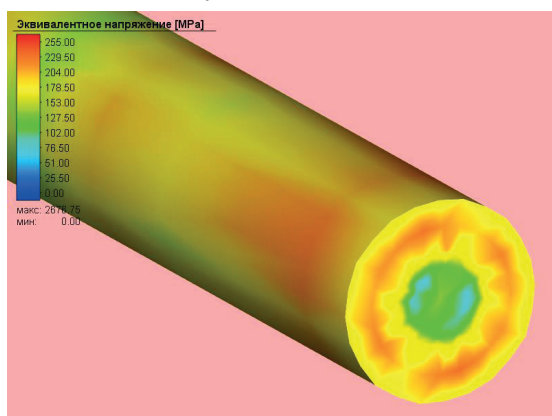


Рис. 1. Распределение и величина эквивалентных остаточных напряжений в поперечном сечении проволоки

Полученные результаты показывают распределение и величину остаточных напряжений в проволоке после волочения. По цветовому распределению видно, что максимальные остаточные напряжения при волочении формируются на поверхности проволоки и в кольцевой зоне с полярной координатой, соответствующей $0,5R$, где R – радиус сечения проволоки. Это соответствует построенным ранее подтвержденным адекватным численным моделям волочения [1, 2]. Такое распределение остаточных напряжений возникает вследствие особенностей схемы деформации, формы очага деформации и условий внутреннего и контактного трения [2].

Полученную проволоку диаметром 0,30 мм заправляют в рихтовальное устройство. Количество роликов – 7. Верхний ряд роликов подвижный. Диаметр роликов 16 мм. Диаметр по дну V-образной канавки ролика 13 мм. Расстояние между роликами (шаг) составляет 14 мм. Модель двухстадийная: 1 стадия – верхний ряд роликов опускается на 2,5 мм вниз, изгибая проволоку; 2 стадия – изогнутая проволока протягивается через ролики рихтовального устройства, осуществляя знакопеременный изгиб.

Результаты моделирования процесса рихтовки представлены на рис. 2. Так как рихтовка проволоки должна осуществляться в упругопластической области деформации, то наибольший интерес представляет максимальная величина пластической деформации.

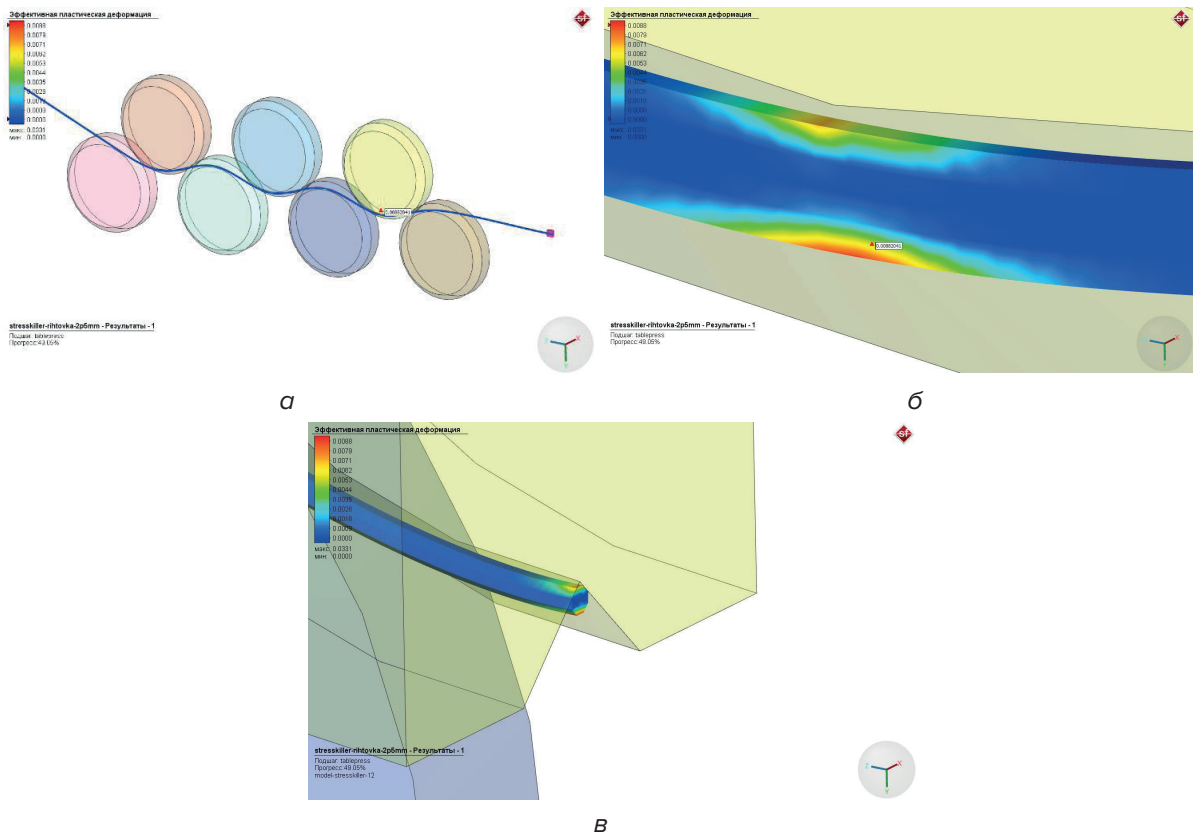


Рис. 2. Результаты моделирования рихтовки проволоки:

- а – общий вид модели рихтовки с разрезом в продольном сечении;
- б – увеличенный фрагмент модели с наибольшей пластической деформацией проволоки в продольном сечении;
- в – увеличенный фрагмент модели с наибольшей пластической деформацией проволоки в поперечном сечении

По результатам моделирования определено, что наибольшая степень чистой пластической деформации (без учёта упругой) составляет 0,88 % и локализуется в зоне растяжения металла при последнем знакопеременном изгибе проволоки в рихтовальном устройстве. При этом глубина деформации составляет не более половины площади поперечного сечения и не достигает центра проволоки. Это означает, что повышение равномерности распределения осуществляется за счёт интенсивной пластической деформации поверхности проволоки с уменьшением интенсивности деформации к напряжённым участкам в результате процесса волочения. Таким образом формируется равномерная зона высоких остаточных напряжений от поверхности до $0,5R$, которые впоследствии равномерно уравновешенно релаксируют, не создавая зон неравномерной релаксации. Это означает, что технологические свойства проволоки не будут ухудшаться вследствие неравномерной релаксации остаточных напряжений.

Средний размер зерна в равноосной структуре составляет 14 мкм (рис. 3). Принимая структуру равноосной и в продольном направлении средний объём одного зерна составляет 1436 мкм^3 . Принимается тот факт, что в процессе волочения зёрна не дробятся, а только деформируются в направлении волочения. Таким образом, с учётом постоянства объёма, удлинения зерна пропорционально вытяжке при производстве проволоки диаметром 0,30 мм средняя длина зерна составит 719 мкм, а размер зерна в поперечном сечении проволоки составит 1,6 мкм. Коэффициент асимметрии зерна рассчитывается как отношение длины зерна к её диаметру и составляет 450,8. Таким образом, можно

сделать вывод о том, что зерно после волочения вытягивается в значительной степени и приобретает цилиндрическую (игольчатую) форму. Это подтверждается исследованиями микроструктуры тонкой проволоки диаметром 0,30 мм в продольном направлении. Фото микроструктуры представлено на рис. 4.

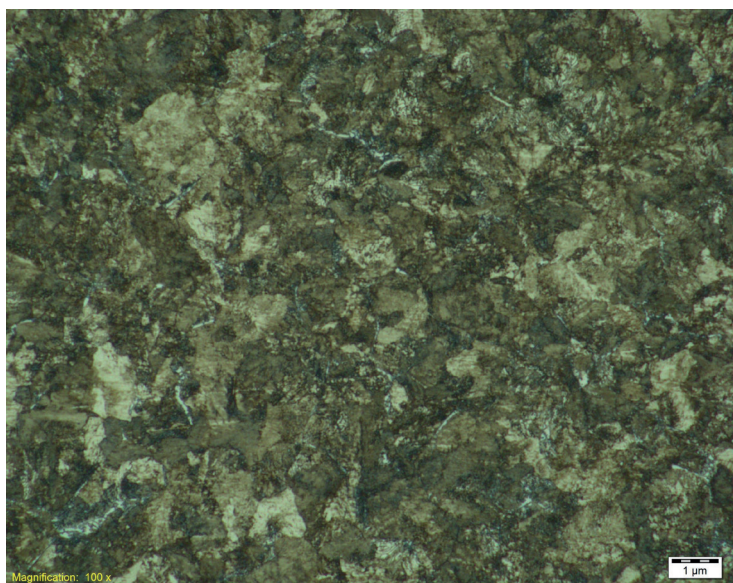


Рис. 3. Равноосная микроструктура в поперечном сечении проволоочной заготовки после термообработки ($\times 1000$)



Рис. 4. Неравноосная микроструктура в продольном сечении проволоки после волочения ($\times 200$)

Принимая условную форму цилиндрической возможно вычислить момент сопротивления сечения изгибу и выразить из условия прочности Сен-Венана [3] усилие, необходимое для пластического деформирования зерна в поперечном направлении. Принимая предел текучести проволоки 2900 МПа, усилие, требуемое на пластическое воздействие отдельно взятого зерна, составляет около $3,2 \cdot 10^{-6}$ Н.

Таким образом поверхностные зёрна проволоки при рихтовке находятся в состоянии пластической деформации. Степень деформации уменьшается при приближении к центру проволоки, что подтверждает результаты расчётов. Различная степень дефор-

мации зёрен вызывает неравномерность остаточных напряжений. Это, в свою очередь, будет вызывать неравномерность релаксации и ухудшение технологических свойств проволоки.

Основным технологическим свойством проволоки является отклонение от прямолинейности. Чем больше релаксация остаточных напряжений, тем больше отклонение от прямолинейности проволоки [4].

Подтверждение результатов моделирования осуществляется экспериментальным методом. Эксперимент состоит в повторении условий моделирования с последующим измерением отклонения от прямолинейности проволоки. Результаты отклонения от прямолинейности проволоки на базе 600 мм представлены в табл. 1.

Табл. 1

Результаты отклонения от прямолинейности проволоки на базе 600 мм с перекрытием роликов рихтовки 2,5 мм

Номер образца	0 суток	1 сутки	3 суток	7 суток
1	60	55	55	30
2	25	35	30	40
3	30	40	35	30
4	35	40	46	30
5	38	35	40	40
Среднее	38	41	41	34

Аналогичные испытания были проведены для различного положения роликов рихтовки. Обобщённые результаты представлены на рис. 5.

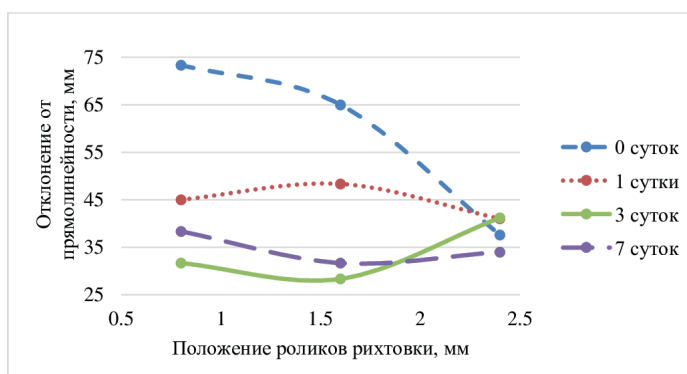


Рис. 5. Зависимости отклонения от прямолинейности проволоки от положения роликов рихтовки

По результатам эксперимента определено, что наименьшим отклонением от прямолинейности обладает проволока, полученная при перекрытии роликов рихтовального устройства, равном 2,3 мм. Ограничением положения роликов рихтовального устройства является невозможность абсолютно точно настроить положение роликов. Поэтому исследуемые точки получены при положениях роликов, соответствующим целому значению оборота регулировочного винта.

Подтверждено, что выравнивание остаточных напряжений путём повышения значений величин остаточных напряжений в поперечном сечении проволоки способствует более равномерной релаксации и оказывает благоприятное влияние на технологические свойства проволоки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа рихтовального устройства на основе знакопеременной деформации сечения проволоки позволяет вызвать дополнительную пластическую деформацию менее деформированных слоёв металла. В результате менее деформированные слои металла получают дополнительное упрочнение, приводящее к выравниванию суммарной деформации всех слоёв металла. Знакопеременная дополнительная нагрузка в рихтовальном устройстве вследствие действия закона Баушингера разупрочняет металл и не приводит к переупрочнению металла проволоки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование влияния степени осевого растяжения тонкой проволоки на прямолинейность металлокорда / Ю. Л. Бобарикин [и др.] // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2016. – № 2. – С. 11–17.
2. Бобарикин, Ю. Л. Тонкое волочение и свивка в металлокорд стальной латунированной проволоки / Ю. Л. Бобарикин, М. Н. Верещагин, Ю. В. Мартьянов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – 304 с.
3. Кувыркин, Г. Н. Принцип Сен-Венана в задачах нелокальной теории упругости / Г. Н. Кувыркин, А. А. Соколов // Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Сер. Естественные науки. – 2023. – № 4 (109). – С. 4–17.
4. Бобарикин, Ю. Л. Способы повышения прямолинейности металлокорда / Ю. Л. Бобарикин, Ю. В. Мартьянов // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. науч. трудов : в 3 кн. / ред.: А. В. Белый (гл. ред) [и др.]. – Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2017. – Кн. 3. Обработка металлов давлением. – С. 77–85.

REFERENCES

1. Bobarikin Yu. L., Vereshchagin M. N., Avseykov S. V., Martyanov Yu. V. *Issledovanie vliyaniya stepeni oseвого rastiazheniya tonkoj provoloki na priamolineynost' metallokorda* [Study of the effect of the degree of axial tension of a thin wire on the straightness of the metal cord]. *Vestnik GGTU im. P. O. Sukhogo* [Vestnik of P.O. Sukhoi State Technical University], 2016, no. 2, pp. 11–17. (in Russian).
2. Bobarikin Yu. L., Vereshchagin M. N., Martyanov Yu. V. *Tonkoe volochenie i svivka v metallokord stal'noj latunirovannoy provoloki* [Thin wire drawing and twisting metal cord from thin steel wire]. Gomel, Sukhoi, State Technical University of Gomel Publ., 2018, 304 p. (in Russian).
3. Kuvyrkin G. N., Sokolov A. A. *Printsip Sen-Venana v zadachakh nelokal'noj teorii uprugosti* [Saint-Venant's principle in problems of nonlocal elasticity theory]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N. E. Baumana. Ser. Estestvennye nauki* [Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Natural Sciences], 2023, № 4(109), pp. 4–17. (in Russian).
4. Bobarikin Yu. L., Martyanov Yu. V. *Sposoby povysheniya priamolineynosti metallokorda* [Methods of increasing metal cord straightness]. *Sovremennye metody i tekhnologii sozdaniya i obrabotki materialov. Obrabotka metallov davleniem* [Advanced Methods and Technologies of Materials Development and Processing. Metal Forming Processes]. Minsk, Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus Publ., 2017, pp. 77–85. (in Russian).

Статья поступила в редакцию 07.06.2024 г.