



УДК 621.778.073  
DOI: 10.21122/1683-6065-2019-1-73-77

Поступила 18.10.2018  
Received 18.10.2018

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ГРУБОГО ВОЛОЧЕНИЯ СТАЛЬНОЙ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ ПРОВОЛОКИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ПО СЕЧЕНИЮ ПРОВОЛОКИ

Ю. Л. БОБАРИКИН, Ю. В. МАРТЬЯНОВ, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, г. Гомель, Беларусь, пр. Октября, 48. E-mail: bobarikin@tut.by

*Рассмотрены параметры производства проволоки, влияющие на распределение остаточных напряжений и деформаций по сечению проволоки. Определено, что режимы грубого волочения могут влиять на комплекс механических свойств тонкой проволоки вследствие неравномерности распределения эквивалентных напряжений и деформаций. Исследуемым параметром выбрана скорость грубого волочения.*

*Исследовано влияние скорости грубого волочения стальной высокоуглеродистой проволоки на распределение эквивалентных остаточных напряжений и деформаций по сечению проволоки с помощью численного моделирования волочения проволоки на различных скоростях методом конечных элементов. Определены значения эквивалентных остаточных напряжений для выбранного маршрута волочения по зонам поперечного сечения проволоки. Проведен анализ распределения эквивалентных напряжений по сечению проволоки.*

*Показано, что увеличение скорости грубого волочения повышает равномерность распределения эквивалентных остаточных напряжений, не оказывает негативного влияния на деформированное состояние проволоки, увеличивает абсолютные значения эквивалентных остаточных напряжений, незначительно снижает абсолютные значения остаточных деформаций.*

**Ключевые слова.** Проволока, волочение, напряжения, моделирование, скорость волочения, распределение напряжений в проволоке.

**Для цитирования.** Бобарикин, Ю. Л. Исследование влияния скорости грубого волочения стальной высокоуглеродистой проволоки на распределение напряжений и деформаций по сечению проволоки / Ю. Л. Бобарикин, Ю. В. Мартьянов // Литье и металлургия. 2019. № 1. С. 73–77. DOI: 10.21122/1683-6065-2019-1-93-4-73-77.

## RESEARCH OF THE INFLUENCE OF HIGH-CARBON STEEL WIRE DRAWING SPEED ON STRESSES AND DEFORMATIONS ON WIRE CROSS SECTION

YU. L. BOBARIKIN, YU. V. MARTYANOV, Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoi, Gomel, Belarus, 48, Oktyabrya ave. E-mail: bobarikin@tut.by

*The parameters of wire production affecting the distribution of residual stresses and strains on the wire cross section are considered. It is determined that the modes of coarse drawing can affect the complex of mechanical properties of thin wire due to the uneven distribution of equivalent stresses and strains. The rough drawing speed is chosen as the investigated parameter.*

*The effect of the coarse drawing rate of high-carbon steel wire on the distribution of equivalent residual stresses and strains over the wire cross section is studied by numerical simulation of wire drawing at different speeds by the finite element method. The values of equivalent residual stresses for the selected drawing route along the wire cross-section zones are determined. The analysis of the equivalent stress distribution over the wire cross section is made.*

*It is shown that the increase in the speed of coarse drawing increases the uniformity of the distribution of equivalent residual stresses, does not have a negative effect on the deformed state of the wire, increases the absolute values of equivalent residual stresses, slightly reduces the absolute values of residual deformations.*

**Keywords.** Wire, drawing, stress, modeling, drawing speed, stress distribution in the wire.

**For citation.** Bobarikin Yu. L., Martyanov Yu. V. Research of the influence of highcarbon steel wire drawing speed on stresses and deformations on wire cross section. Foundry production and metallurgy, 2019, no. 1, pp. 73–77. DOI: 10.21122/1683-6065-2019-1-73-77.

Грубое волочение – этап волочения металлической проволоки, при котором осуществляется протяжка через волоки исходной заготовки-катанки для уменьшения диаметра до 1–3 мм. Получаемая прово-

лока может использоваться как готовый вид изделий или служить полуфабрикатом для дальнейшей обработки тонким волочением [1]. Грубое волочение имеет собственные технологические режимы, которые влияют на комплекс и распределение механических свойств. После грубого (или среднегрубого) волочения перед тонким волочением производится промежуточная термообработка для снижения эффекта упрочнения металла. На комплекс механических свойств проволоки после грубого волочения существенно влияет степень неравномерности распределения напряжений и деформаций по сечению проволоки, вызывающая остаточные деформации проволоки после обработки [2]. Термообработка не полностью решает проблему неравномерности распределения механических свойств, напряжений и деформаций по сечению проволочной заготовки вследствие малого сечения обрабатываемого металла. Таким образом, режимы грубого волочения могут влиять на комплекс механических свойств и тонкой проволоки. Основным технологическим параметром, влияющим на производительность процесса грубого волочения, – это скорость волочения. Влияние скорости грубого волочения на неравномерность распределения напряжений и деформаций по сечению проволоки не изучено.

**Цель** – исследовать влияние скорости грубого волочения стальной высокоуглеродистой проволоки на распределение напряжений и деформаций по сечению проволоки.

**Метод исследования** – численное моделирование грубого волочения.

Основополагающими с точки зрения моделирования процессов являются первый и последний переход волочения, так как на первом переходе имеет место большое сечение металла проволоки, а на последнем переходе осуществляется получение окончательных размеров для текущего этапа волочения.

Важным параметром результатов моделирования является распределение эквивалентных напряжений и деформаций в металле после волочения.

Для моделирования был рассчитан маршрут волочения, состоящий из десяти переходов. Скоростной режим выбран произвольно для последнего перехода и рассчитан для всех остальных переходов в зависимости от вытяжки согласно закону постоянства секундных объемов [3].

Геометрия волоки построена по следующим рекомендациям: полуугол наклона деформирующей зоны волоки равен  $6^\circ$ ; длина калибрующей зоны волоки равна половине диаметра проволоки в текущем переходе волочения, коэффициент трения выбран с учетом смазки.

После моделирования выбранного маршрута волочения было произведено моделирование отдельно первого и последнего переходов волочения с учетом увеличения скорости. Выходные параметры модели для анализа: распределение эффективных напряжений и эффективных пластических деформаций.

Значения напряжений, полученные из моделирования, на различных расстояниях от центра сечения проволоки приведены в табл. 1.

Таблица 1. Значения напряжений на различных расстояниях от центра сечения проволоки после волочения

Диаметр проволоки, мм	Значение напряжений, МПа				
	центр	0,25R	0,5R	0,75R	поверхность
4,95	172	483	383	483	587
4,95 (увеличение скорости)	333	434	333	536	536
4,35	264	363	461	560	658
3,83	322	322	221	322	522
3,39	573	467	360	573	680
3,01	107	229	107	352	474
2,68	190	301	413	525	636
2,39	242	242	458	566	674
2,15	238	238	451	665	772
1,95	420	420	533	307	420
1,77	484	484	484	684	384
1,77(увеличение скорости)	490	490	490	589	390

Значения напряжений для базового маршрута волочения по зонам показаны на рис. 1, а значения эквивалентных остаточных напряжений для сравнения первого и последнего перехода волочения при повышенных скоростях по зонам – на рис. 2.

Анализ распределения эквивалентных напряжений по сечению проволоки показывает наличие их неравномерности. Неравномерность распределения напряжений по сечению свидетельствует о наличии зон локального упрочнения металла по сечению проволоки. Повышение скорости волочения увеличивает

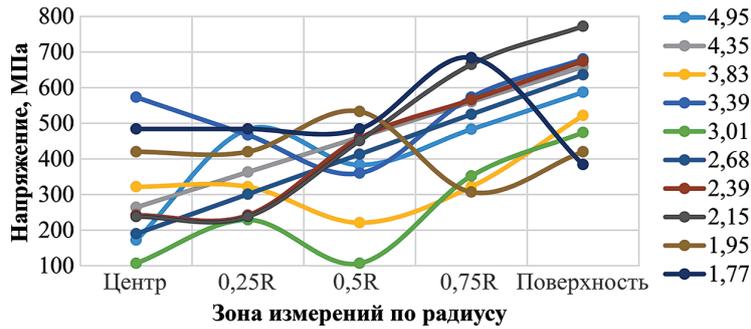


Рис. 1. Значения эквивалентных остаточных напряжений для базового маршрута волочения по зонам проволоки

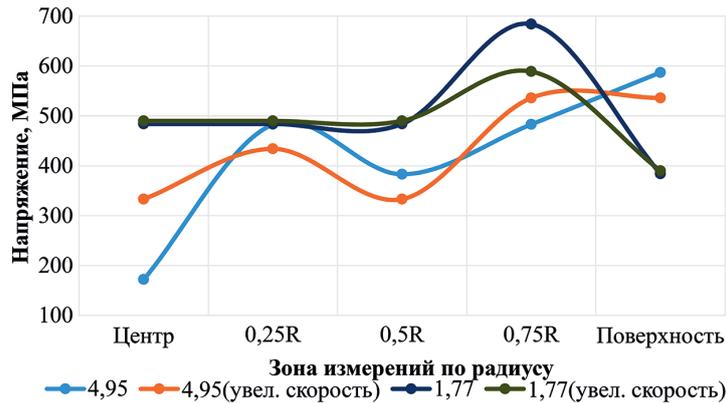


Рис. 2. Значения эквивалентных напряжений для сравнения первого и последнего перехода волочения при повышенных скоростях по зонам

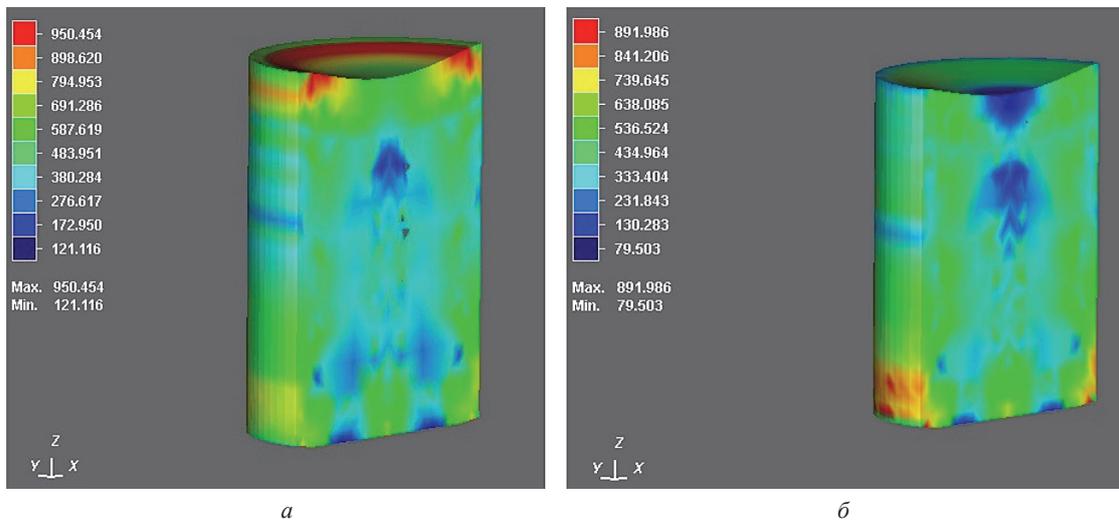


Рис. 3. Картина распределения напряжений по сечению проволоки в начале маршрута волочения: *a* – без увеличения скорости; *б* – с увеличением скорости

ет скорость деформации металла, что ведет к более интенсивному упрочнению и увеличению значений остаточных напряжений по сечению.

Согласно исследованиям, увеличение скорости волочения приводит к снижению контактного трения [4], которое уменьшает тепловыделение и силы контактного трения и выравнивает пластическую деформацию по сечению проволоки. Это повышает равномерность распределения напряжений и деформаций по сечению проволоки.

Увеличение скорости волочения приводит к увеличению равномерности распределения напряжений по сечению проволоки [5]. На этапе патентирования величина этих напряжений может быть снижена до безопасного уровня.

Результаты моделирования представлены на рис. 3–6.

С увеличением скорости волочения в начале маршрута на большом сечении проволоки наблюдается изменение распределения напряжений. Увеличение скорости приводит к повышению равномерности

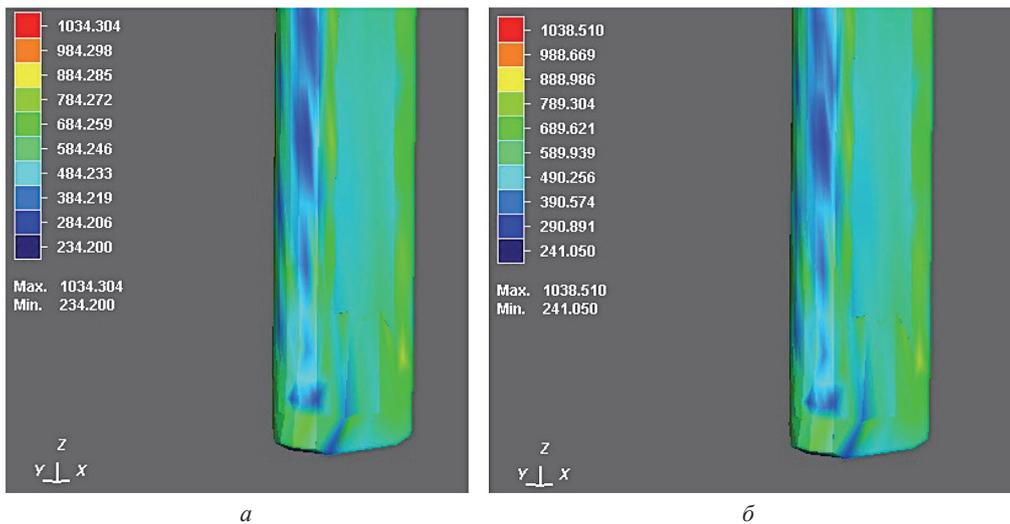


Рис. 4. Картина распределения напряжений по сечению проволоки в конце маршрута волочения: *a* – без увеличения скорости; *б* – с увеличением скорости

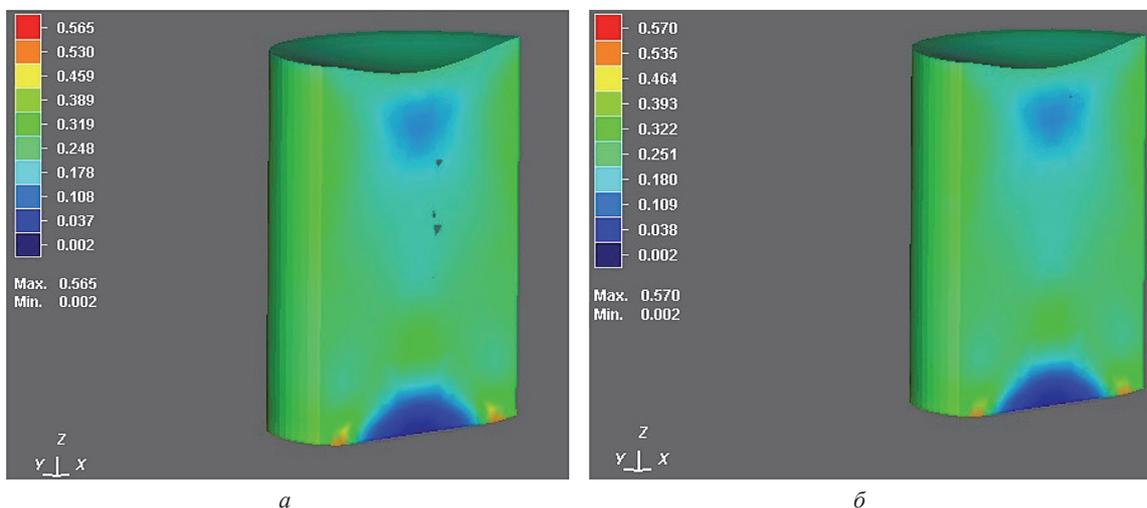


Рис. 5. Картина распределения пластических деформаций по сечению проволоки в начале маршрута волочения: *a* – без увеличения скорости; *б* – с увеличением скорости

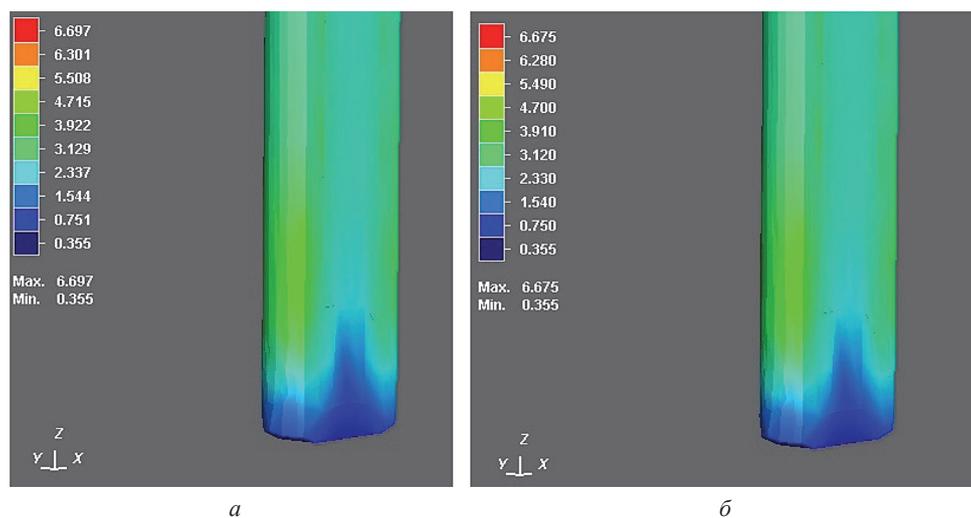


Рис. 6. Картина распределения деформаций по сечению проволоки в конце маршрута волочения: *a* – без увеличения скорости; *б* – с увеличением скорости

распределения напряжений: исчезает переходная зона напряжений, формируется выраженная зона высоких напряжений в начале заготовки, вызванная усилием тягового устройства (волочильного барабана), повышается равномерность распределения напряжений на поверхности проволоки. По величине напря-

жения практически идентичны, что указывает на эффект перераспределения напряжений с увеличением скорости волочения.

В конце маршрута волочения увеличение скорости оказывает влияние на распределение напряжений по поверхности и сечению проволоки, а также незначительно на их величину. Абсолютная разница между двумя режимами мала. Это может быть обусловлено небольшим сечением металла и полной проработкой сечения на последнем переходе волочения вследствие малой вытяжки и малого диаметра.

Увеличение скорости волочения не оказывает существенного влияния на распределение зон пластической деформации по сечению проволоки как в начале, так и в конце маршрута волочения. Это обусловлено тем, что наибольшее влияние на проработку сечения проволоки при пластической деформации оказывают геометрия и форма деформирующей зоны волоки, а также условия смазки.

### Выводы

Скоростной режим влияет на равномерность распределения эквивалентных напряжений в проволоке. Неравномерность распределения напряжений указывает на наличие локального переупрочнения металла, что может являться причиной брака проволоки вследствие расслоения.

Увеличение скорости волочения выравнивает и сглаживает распределение напряжений, однако увеличивает их значение.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Белалов Х. Н. Стальная проволока / Х. Н. Белалов, Г. С. Гун, А. А. Клековкин, Н. А. Клековкина. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2011. 689 с.
2. Красильников Л. А., Лысенко А. Г. Волочильщик проволоки: Учеб. пособ. для СПТУ. 3-е изд., перераб. и доп. / Л. А. Красильников, А. Г. Лысенко. М.: Metallurgia, 1987. 320 с.
3. Горловский М. Б., Меркачев В. Н. Справочник волочильщика проволоки / М. Б. Горловский, В. Н. Меркачев. М.: Metallurgia, 1993. 336 с.
4. Бобарикин Ю. Л., Авсейков С. В. Исследование влияния скорости волочения на коэффициент контактного трения // Тез. докл. МНТК «Поликомтриб-2011». Гомель, ИММС НАН Беларуси, 27–30 июня 2011 г. С. 44–45.
5. Методика оценки прогнозной величины обрывности металлокорда 2x0.30HT, 2 + 2x0.30SHT, 3 + 2x0.35UT, 4 + 3x0.35UT. ОАО «БМЗ – УКХ «БМК», г. Жлобин, 2016 г.

### REFERENCES

1. Belalov H. N., Gun G. S., Klekovkin A. A., Klekovkina N. A. *Stal'naja provoloka* [Steel wire]. Magnitogorsk, Izdatel'stvo Magnitogorskogo State. tehn. University named after G. I. Nosov Publ., 2011. 689 p.
2. Krasil'nikov L. A., Lysenko A. G. *Volochil'shnik provoloki* [Wire grinder]. 3-e izd., pererab. i dop. Moscow, Metallurgija Publ., 1987. 320 p.
3. Gorlovskij M. B., Merkachev V. N. *Spravochnik volochil'shika provoloki* [Handbook of the wire-grinder of wire]. Moscow, Metallurgija Publ., 1993. 336 p.
4. Bobarikin Ju. L., Avsejkov S. V. Issledovanie vlijaniya skorosti volochenija na koeficient kontaktnogo trenija [Investigation of the effect of drawing speed on the coefficient of contact friction]. *Tezisy dokladov MNTK «Polikomtrib-2011»*. Gomel [Publikation MNTK], 27–30 June 2011, pp. 44–45.
5. *Metodika ocenki prognoznnoj velichiny obryvnosti metallokorda 2x0.30HT, 2 + 2x0.30SHT, 3 + 2x0.35UT, 4 + 3x0.35UT* [Methodology for estimating the predicted breakage value of steel cord 2x0.30HT, 2 + 2x0.30SHT, 3 + 2x0.35UT, 4 + 3x0.35UT]. OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC». Zhlobin, 2016.