



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-3-112-117>
УДК 621.771.29

Поступила 07.08.2019
Received 07.08.2019

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ СДВОЕННОЙ ЧИСТОВОЙ ВОЛОКИ НА ПЛАСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛЬНОЙ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ ПРОВОЛОКИ

В. А. ЕВДОНИЧ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: va.evdonich@bmz.iron,
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, you_rock@tut.by,
Т. А. АХМЕТОВ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: metiz.to@bmz.gomel.by

В статье рассмотрена возможность применения сдвоенной чистой проволоки на стадии тонкого волочения при изготовлении металлокорда 2х0,30SHT. В результате выполненных исследований разработана численная конечно-элементная модель волочения проволоки в серийной чистой одинарной проволоке и опытной сдвоенной чистой проволоке. Полученное распределение эффективной пластической деформации в проволоке при волочении показывает, что при волочении в сдвоенной проволоке имеет место более высокая равномерность деформации в направлении радиуса проволоки по поперечному сечению, расположенному на выходе из волоки. Выполненные опытные испытания на волочильном стане НТ 12.4 в СтПЦ-1 показали, что использование сдвоенной проволоки позволило повысить пластические свойства проволоки 0,30SHT, проявленные в технологических испытаниях, через увеличение количества реверсивных скручиваний проволоки с 7 до 78 и снижение отношения предела текучести к пределу прочности с 95 до 91.

Ключевые слова. Стальная высокоуглеродистая проволока, пластические свойства, сдвоенная проволока, деформация, напряжение, отношение предела текучести к пределу прочности, реверсивные скручивания.

Для цитирования. Евдонич, В. А. Исследование влияния применения сдвоенной чистой проволоки на пластические свойства стальной высокоуглеродистой проволоки / В. А. Евдонич, Ю. Л. Бобарикин, Ю. В. Мартьянов, Т. А. Ахметов // Литейная металлургия. 2019. № 3. С. 112–117. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-3-112-117>.

STUDY OF THE EFFECT OF THE APPLICATION OF THE DOUBLE FINISH DRAWING DIE ON THE PLASTIC PROPERTIES OF STEEL HIGH CARBON WIRE

V. A. EVDONICH, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin City, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: va.evdonich@bmz.iron,
Yu. L. BOBARIKIN, Yu. V. MARTIANOV, Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoi, Gomel, Belarus, 48, October ave. E-mail: bobarikin@tut.by,
T. A. AKHMETOV, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin City, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: metiz.to@bmz.gomel.by

The possibility of application of the double finishing drawing die at the stage of fine-drawing in the manufacture of steel metal cord 2x0 30SHT is contemplated. As a result of the performed studies, a numerical finite element model of wire drawing in a serial finishing single fiber and in an experimental double finishing fiber has been developed. The obtained distribution of effective plastic deformation in the wire during drawing shows that when drawing in a double fiber, there is a higher uniformity of deformation in the direction of the radius of the wire along the cross section located at the outlet of the die. The distribution of effective stresses in the wire when drawing shows that when drawing in a double fiber, there is a more uniform distribution of effective stresses in the direction of the radius of the wire along the cross section located at the outlet of the die.

Further experimental tests performed at the drawing mill NT 12.4 in StPC-1 showed that the use of double dies allowed to increase the plastic properties of the wire 0.30 SHT, manifested in technological tests by increasing the number of reversible twists of the wire from 7 to 78 and reducing the ratio of yield strength to tensile strength decreased from 95 to 91.

Keywords. High-carbon steel wire, plastic properties, double die, deformation, stress, the ratio of yield strength to ultimate strength, reversible twisting.

For citation. Evdonich V. A., Bobarikin Yu. L., Martianov Yu. V., Akhmetov T. A. Study of the effect of the application of the double finish drawing die on the plastic properties of steel high carbon wire. Foundry production and metallurgy, 2019, no. 3, pp. 112–117. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-3-112-117>.

Одним из основных направлений развития выпускаемой проволоки и металлокорда на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» является повышение их прочности. Производителей шин привлекает в металлокорде с повышенной прочностью возможность уменьшения массы и диаметра корда и соответственно количества резиновой смеси в шинах и их массы [1]. Повышение прочности металлокорда и проволоки, используемой для его свивки, неизбежно приводит к снижению производительности оборудования, которое обусловлено необходимостью обеспечения качественных характеристик готовой продукции. Одной из наиболее острых является проблема сохранения производительности станов тонкого волочения с одновременным сохранением качественных характеристик тонкой проволоки, используемой для свивки металлокорда.

Основная проблема, сдерживающая решение этой важной задачи, заключается в высокой степени падения пластических свойств тонкой стальной высокоуглеродистой проволоки при тонком волочении, что влечет за собой рост обрывности металлокорда при его свивке из этой проволоки.

Объект выполненных исследований – технология тонкого волочения проволоки 0,30SHT из стали 80. Предмет исследования – пластические свойства тонкой проволоки, оцениваемые влиянием режимов волочения, технологическими испытаниями готовой проволоки. Метод исследований – разработка и анализ численной модели процесса волочения, опытные испытания на волочильном и испытательном производственном оборудовании.

Использование численного моделирования для исследования тонкого волочения известно [2], но моделирование сдвоенных волок в тонком волочении еще не применялось.

Цель исследований – определить влияние использования сдвоенной чистовой волоки в тонком волочении на напряженное, деформированное и температурное состояния проволоки, влияющие на пластичность металла проволоки и обрывность проволоки при ее дальнейшей свивке в металлокорд.

В результате выполненных исследований разработана численная конечно-элементная модель волочения проволоки в серийной чистовой одинарной волоке (рис. 1, а) и опытной сдвоенной чистовой волоке (рис. 1, б). При моделировании приняты все условия волочения, максимально приближенные к реальным условиям волочения в последующих опытных испытаниях на действующем волочильном оборудовании.

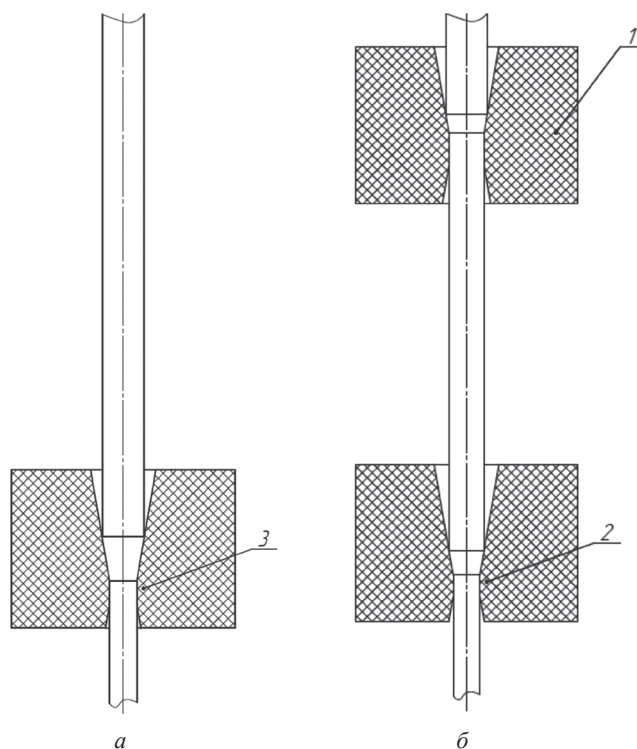


Рис. 1. Схема чистовых волок: 1 – первая волока сдвоенной чистовой волоки; 2 – последняя волока сдвоенной чистовой волоки; 3 – одинарная чистовая волока; а – одинарная чистовая волока; б – сдвоенная чистовая волока

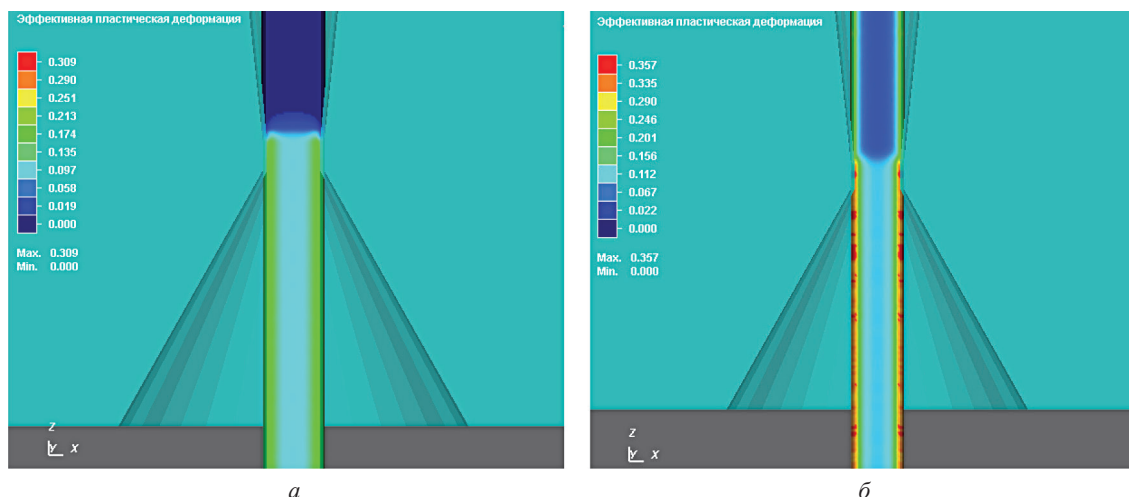


Рис. 2. Распределение эффективной пластической деформации в проволоке при волочении: *а* – в одинарной чистой проволоке; *б* – в двойной чистой проволоке на последнем переходе

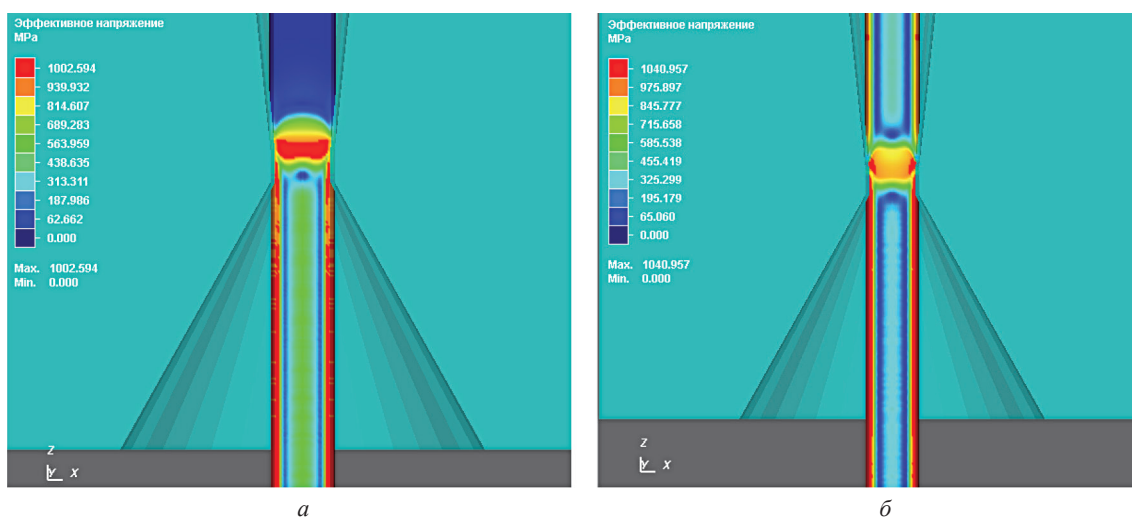


Рис. 3. Распределение эффективных напряжений в проволоке при волочении: *а* – в одинарной чистой проволоке; *б* – в двойной чистой проволоке на последнем переходе

Полученное распределение эффективной пластической деформации в проволоке при волочении (рис. 2) показывает, что при волочении в двойной проволоке имеет место более высокая равномерность деформации в направлении радиуса проволоки по поперечному сечению, расположенному на выходе из проволоки. Рост равномерности деформации при прочих равных условиях всегда сопровождается ростом пластических свойств обрабатываемого металла [4].

Распределение эффективных напряжений в проволоке при волочении (рис. 3) показывает, что при волочении в двойной проволоке имеет место более равномерное распределение эффективных напряжений в направлении радиуса проволоки по поперечному сечению, расположенному на выходе из проволоки. Рост равномерности распределения напряжений в обрабатываемом металле повышает его пластичность и снижает уровень концентраторов напряжений, вызывающих образование и рост трещин в обрабатываемом металле.

Анализ распределения эквивалентной упругой деформации проволоки (рис. 4) показывает значительный рост равномерности этого распределения для двойной чистой проволоки по сравнению с одинарной. Рост равномерности упругой деформации сопровождается ростом равномерности последующей пластической деформации при последующей свивке проволоки в металлокорд. Рост равномерности пластической деформации повышает уровень пластичности металла [4].

Сравнительный анализ распределения температуры в проволоке (рис. 5) также показывает более равномерное распределение этого параметра по поперечному сечению проволоки для двойной проволоки.

С целью детализации выполненного выше анализа проведен дополнительный анализ распределений температуры вдоль радиуса проволоки на выходе из последней проволоки (рис. 6). Влияние температуры волочения на свойства стальной высокоуглеродистой проволоки достаточно велико [4].

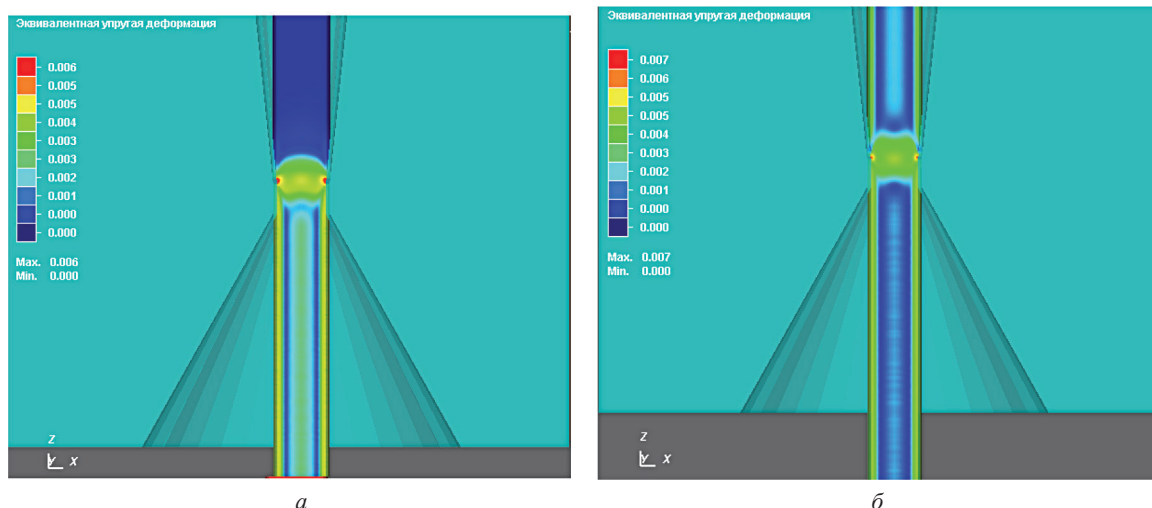


Рис. 4. Распределение эквивалентной упругой деформации в проволоке при волочении: *а* – в одинарной чистой проволоке; *б* – в двоянной чистой проволоке на последнем переходе

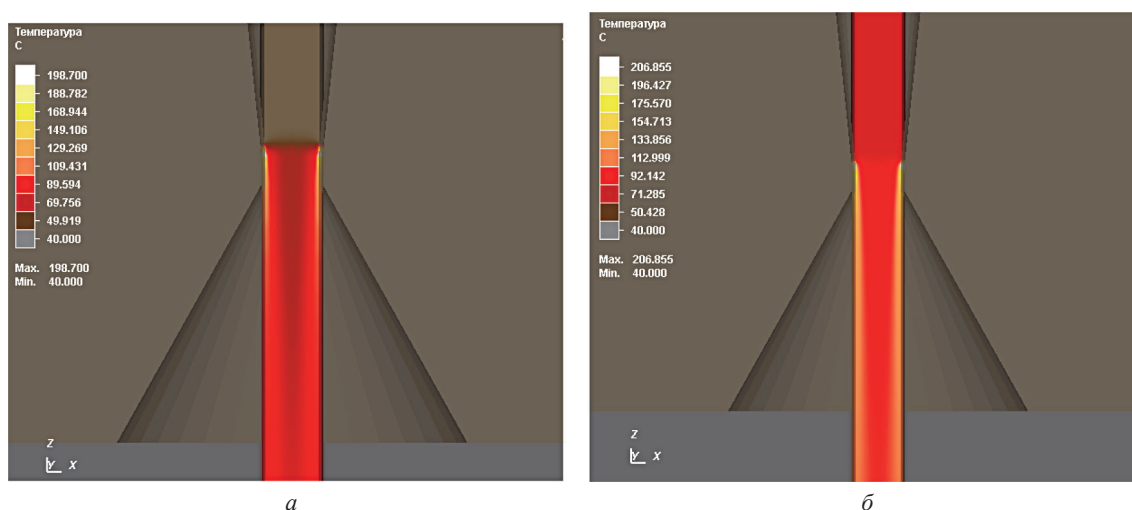


Рис. 5. Распределение температуры в проволоке при волочении: *а* – в одинарной чистой проволоке; *б* – в двоянной чистой проволоке на последнем переходе

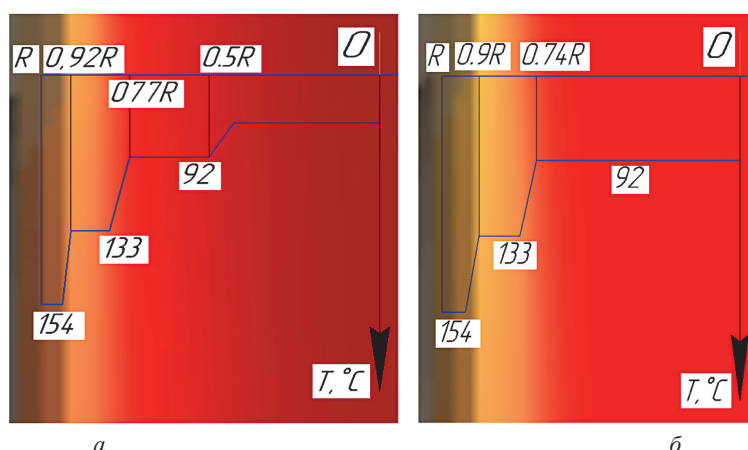


Рис. 6. Градиент значений температуры в сечении проволоки на выходе из одинарной чистой проволоки (*а*); двоянной чистой проволоки на последнем переходе (*б*)

На рисунке центр сечения проволоки обозначен точкой O , поверхность проволоки – точкой R . Уровень распределения температуры в проволоке со значением $92\text{ }^{\circ}\text{C}$ в одинарной проволоке находится в диапазоне от O до $0,5R$ и ниже, а для двоянной проволоки – от O до $0,74R$. Температура со значением $133\text{ }^{\circ}\text{C}$ для одинарной проволоки находится в $0,8R$. Значения температуры проволоки в слоях ближе к поверхности почти одинаковы для одинарной и двоянной проволоки. Это указывает на более равное распределение тем-

пературного поля в сдвоенной волоке. Но абсолютный максимум температур в двух видах чистовых волок почти сохраняется на уровне 154 °С. Это объясняется не достаточным расстоянием между сдвоенными волоками (33 мм), которое не позволяет охладиться проволоке между волоками в сдвоенной волоке до температуры окружающей среды. Тем не менее, более высокая равномерность распределения температуры проволоки после последнего прохода сдвоенной волоки обеспечивает рост равномерности механических свойств в объеме всей проволоки и повышает пластичность.

В результате проведенных теоретических исследований параметров волочения в одинарной и сдвоенной чистовой волоке установлено, что сдвоенная волока обеспечивает более равномерное распределение по сечению проволоки температуры, деформации и напряжений. Как следствие, этот эффект должен привести к росту равномерности механических и в том числе пластических свойств проволоки по объему проволоки и, следовательно, к снижению количества концентраторов, вызывающих образование и рост трещин в проволоке при ее дальнейшей обработке свивкой.

Выполненные далее опытные испытания на волочильном стане НТ 12.4 в СтПЦ-1 показали, что использование сдвоенной волоки позволило повысить пластические свойства проволоки 0,30SHT, проявленные в технологических испытаниях, через увеличение количества реверсивных скручиваний проволоки с 7 до 78, снижение отношения предела текучести к пределу прочности с 95 до 91.

В результате экспериментального волочения на волочильном стане НТ 12.4 была получена проволока с использованием одинарной и сдвоенной волоки. Результаты лабораторных испытаний проволоки приведены в табл. 1, 2.

Т а б л и ц а 1. Результаты лабораторных испытаний тонкой латунированной проволоки 0,30 SHT, полученной с использованием одинарной чистовой волоки

Характеристика проволоки	Количество испытаний	Результаты испытаний			Требования
		среднее	минимальное	максимальное	
Диаметр проволоки, мм	53	0,302	0,301	0,303	0,300 ± 0,010
Временное сопротивление разрыву, Н/мм ²	53	3355	3319	3397	3 400 ± 200
Разрывное усилие, Н	53	240	237	243	
Относительное удлинение, %	53	2,70	2,66	2,76	—
Отношение предела текучести к пределу прочности, %	53	95	95	96	—
Модуль упругости, ГПа	53	177	176	180	
Реверсивные скручивания, кол.	53	7	7	8	—

Т а б л и ц а 2. Результаты лабораторных испытаний тонкой латунированной проволоки 0,30 SHT, полученной с использованием сдвоенной чистовой волоки

Характеристика проволоки	Количество испытаний	Результаты испытаний			Требования
		среднее	минимальное	максимальное	
Диаметр проволоки, мм	38	0,301	0,300	0,302	0,300 ± 0,010
Временное сопротивление разрыву, Н/мм ²	38	3364	3363	3367	3 400 ± 200
Разрывное усилие, Н	38	239	239	239	
Относительное удлинение, %	38	2,72	2,65	2,79	—
Отношение предела текучести к пределу прочности, %	38	91	90	92	—
Модуль упругости, ГПа	38	175	170	183	
Реверсивные скручивания, кол.	38	78	67	86	—

Из таблиц можно сделать вывод, что использование сдвоенной чистовой волоки позволило повысить пластические свойства тонкой проволоки без снижения прочностных характеристик. Показатель реверсивных скручиваний вырос с 7 до 78. При этом отношение предела текучести к пределу прочности снизилось с 95 до 91. Это говорит о устойчивости тонкой проволоки к крутящим нагрузкам, возникающим при последующей свивке проволоки в металлокорд.

Далее из полученной проволоки по двум вариантам был свит металлокорд 2x0,30SHT. При свивке обрывность металлокорда из проволоки, полученной волочением с одинарной чистовой волокой, составила 5,98 обр/т при производстве около 115 т металлокорда. При свивке обрывность металлокорда из проволоки, полученной волочением со сдвоенной чистовой волокой, составила 4,36 обр/т при производстве около 11 т металлокорда. Снижение относительной обрывности металлокорда с 5,98 до 4,36 обр/т

свидетельствует о росте пластических свойств проволоки, полученной с использованием сдвоенной чистой проволоки.

Таким образом, в результате выполненных теоретических и экспериментальных исследований на примере проволоки 0,30SHT и свиваемого металлокорда 2х0,30SHT показано, что использование сдвоенной чистой проволоки в тонком волочении проволоки 0,30SHT в сравнении с использованием одинарной чистой проволоки позволяет повысить пластические свойства проволоки при повышении скорости на 15-20% и снизить обрывность при свивке проволоки в металлокорд.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савенок А. Н., Веденеев А. В. 20 лет метизному производству Белорусского индустриального гиганта // Литье и металлургия. 2007. № 4. С. 24–28.
2. Бобарикин Ю. Л., Верещагин М. Н., Целуев М. Ю. и др. Исследование численным моделированием влияния формы деформирующей зоны проволоки при волочении стальной высокоуглеродистой проволоки на температурное и напряженно-деформированное состояние в проволоке и проволоке // Литье и металлургия. 2010. № 1, 2. С. 41–45.
3. Пластичность и разрушение / Под ред. В. Л. Колмогорова. М.: Металлургия, 1977. 336 с.
4. Савенок А. Н., Веденеев А. В., Игнатенко О. И. и др. Использование температурного критерия для оптимизации геометрии деформирующей и калибрующей зон канала проволоки // Черная металлургия. 2011. № 3. С. 3–9.

REFERENCES

1. Savenok A. N., Vedeneev A. V. 20 let metiznomu proizvodstvu Belorusskogo industrial'nogo giganta [Hardware production of Belorussian industrial giant is 20 years old]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2007, no. 4, pp. 24–28.
2. Bobarikin Ju. L., Vereshhagin M. N., Celuev M. Ju., Vedeneev A. V., Ignatenko O. I. Issledovanie chislennym modelirovaniem vlijanija formy deformirujushhej zony voloki pri volochenii stal'noj vysokouglerodistoj provoloki na temperaturnoe i naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie v provoloke i voloke [Investigation by numerical modeling of the influence of the shape of the deforming zone of die at wire drawing of steel high-carbon wire on the temperature and mode of deformation i wire and die]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2010, no. 1, 2, pp. 41–45.
3. Savenok A. N., Vedeneev A. V., Ignatenko O. I., Bobarikin Ju. L., Vereshhagin M. N., Celuev M. I. Ispol'zovanie temperatur-nogo kriterija dlja optimizacii geometrii deformirujushhej i kalibrujushhej zon kanala voloki [Using the temperature criterion to optimize the geometry of the deforming and gauging zones of the die channel]. *Chernaja metallurgija = Ferrous metallurgy*, 2011, no. 3, pp. 3–9.