



УДК 669.168
DOI: 10.21122/1683-6065-2018-4-97-102

Поступила 12.11.2018
Received 12.11.2018

ОПЫТ МОДЕРНИЗАЦИИ СТАНОВ МОКРОГО ВОЛОЧЕНИЯ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ МЕТАЛЛОКОРДА

А. В. ДЕМИДОВ, И. А. МУРАВЕЙКО, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»,
г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37.
E-mail: mn.icm@bmz.gomel.by, texh.nic@bmz.gomel.by

В течение последних лет наблюдается тенденция использования ведущими мировыми производителями шин металлокорда проволок малого диаметра (0,175–0,20 мм) с более высокой прочностью, что требует применения повышенных суммарных вытяжек на мокром волочении. Возможность наращивания обжатий может быть ограничена не только пластичностью обрабатываемого металла, но и конструкцией имеющихся волочильных станков, в частности, недостаточной суммарной паспортной кинематической вытяжкой. Рассмотрены результаты модернизаций станков разных типов, включающие увеличение числа переходов волочения до 28 со снижением частных и повышением суммарных паспортных вытяжек за счет установки дополнительных волочильных шайб малого диаметра и дополнительных волок. Результаты работы показывают, что положительный эффект от улучшения одних технологических параметров может нивелироваться ухудшением других факторов. Показано, что станы с тремя парами волочильных конусов имеют большие возможности для проведения данной модернизации, чем аналогичные станы, но с двумя парами конусов. Предложен критерий оценки влияния размеров волочильных шайб на пластические свойства проволоки для металлокорда, основанный на опыте эксплуатации станков с разным построением кинематики.

Ключевые слова. Модернизация волочильных станков, мокрое волочение, паспортные кинематические вытяжки, суммарное обжатие, проволока для металлокорда, скольжение проволоки, технологичность свивки, скорость волочения, изгиб, диаметр волочильных шайб, число переходов волочения, волочильные конуса.

Для цитирования. Демидов, А. В. Опыт модернизации станков мокрого волочения проволоки для металлокорда / А. В. Демидов, И. А. Муравейко // Литье и металлургия. 2018. № 4. С. 97–102. DOI: 10.21122/1683-6065-2018-4-97-102.

THE EXPERIENCE OF MODERNIZATION OF MILLS OF WET WIRE DRAWING FOR THE METAL WIRE CORD

A. V. DEMIDOV, I. A. MURAVEIKO, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC»,
Zhlobin City, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: mn.icm@bmz.gomel.by,
texh.nic@bmz.gomel.by

There is a tendency in recent years to use by the world's leading manufacturers of tires metal wires of small diameter (0,175–0,20 mm) with higher strength, which requires the use of increased total number of extracts on wet drawing. The possibility of increasing the compression can be limited not only by the ductility of the processed metal, but also by the design of the existing drawing mills, in particular, by the insufficient total passport kinematic drawing and, as a consequence, to the excessive sliding of the wire relative to the drawing washers. Results of modernization of mills of different types including increase in number of transitions of drawing to 28 with decrease in private and increase in total passport extracts at the expense of installation of additional drawing washers of small diameter and additional reducing dies are considered. The results show that the positive effect of the improvement of some technological parameters can be offset by the deterioration of other factors. It is shown that the mills with three pairs of drawing cones have more opportunities for this modernization than similar mills, but with two pairs of cones. The criterion of estimation of influence of sizes of drawing washers on plastic properties of a wire for a metal cord based on experience of operation of mills with different construction of kinematics is offered.

Keywords. Modernization of the drawing mills, wet drawing, passport kinematic extraction, total drafting, wire for steel cord, wire slip, twisting technology, speed drawing, bending, diameter of the washers, the number of crossings of a drawing, the cone drawings.

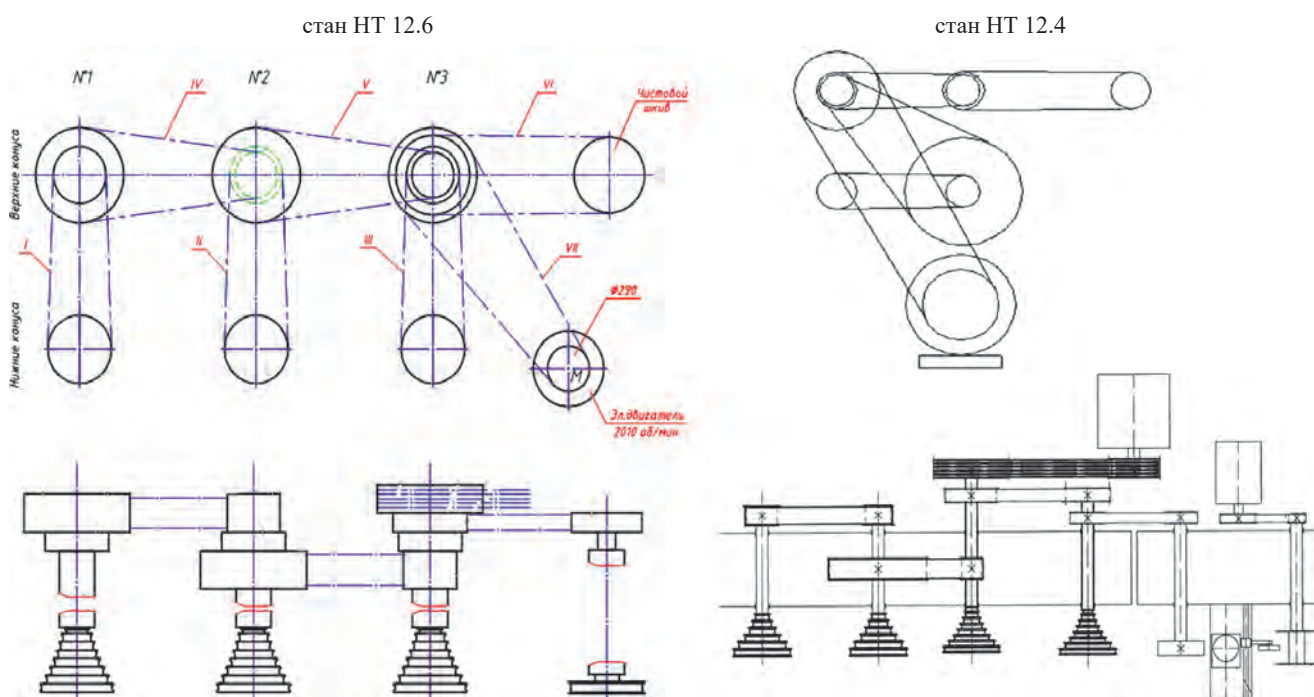
For citation. Demidov A. V., Muraveiko I. A. The experience of modernization of mills of wet wire drawing for the metal wire cord. Foundry production and metallurgy, 2018, no.4, pp. 97–102. DOI: 10.21122/1683-6065-2018-4-97-102.

Заключительный этап изготовления проволоки перед свивкой металлокорда на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» осуществляется на станах мокрого волочения со скольжением со ступенчатым расположением шайб (с волочильными конусами). Основу парка сталепроволочного цеха № 1 составляют станы «Niehoff» типа НТ 12.4 с двумя парами горизонтально расположенных конусов с 21 и 23 переходами волочения и суммарной паспортной кинематической вытяжкой на уровне $\mu_{\text{пс}}^{\text{сумм}} \approx 24,1\text{--}24,3$. В сталепроволочном цехе № 2 основным типом являются станы «Herborn» типа НТ 12.6 с тремя парами расположенных по вертикали волочильных конусов, 22 переходами волочения и суммарной паспортной вытяжкой $\mu_{\text{пс}}^{\text{сумм}} \approx 28,4$.

Имеющийся парк станов мокрого волочения позволяет протягивать тонкую проволоку для большинства серийных конструкций металлокорда нормальной и повышенной прочности с удовлетворительной технологичностью последующей свивки. Тем не менее, актуальной остается задача снижения обрывности при свивке металлокорда, в том числе за счет совершенствования конструкции станов с учетом конкретных технологических параметров и требований к готовой проволоке.

Одной из основных причин обрывности проволоки являются нарушения сплошности поверхности из-за абразивных истираний, локального разогрева поверхности при волочении. Такие обрывы проволоки при металлографическом исследовании классифицируются в основном как «обрывы по причине поверхностных дефектов тонкого волочения». Подобному механизму разрушения поверхностного слоя способствует увеличение скорости проволоки относительно шайб (скольжения) из-за тепловыделения от повышенного трения с витками проволоки [1]. Улучшения качества поверхности и пластических свойств проволоки можно достичь при максимальном использовании допустимого числа переходов и за счет уменьшения скольжения по волочильным шайбам. Для этого необходимо использовать рациональный выбор диаметров проволоки по переходам [2].

В течение последних лет наблюдается устойчивая тенденция использования ведущими мировыми производителями шин металлокорда проволок малого диаметра (0,175–0,20 мм) с более высокой прочностью, что обусловлено стремлением улучшить эксплуатационные характеристики шин, снизить их металлоемкость. Повышение прочности проволоки металлокорда достигается за счет увеличения суммарной вытяжки патентированно-латунированной заготовки и содержания углерода стали. Особенностью производства сверхвысокопрочной проволоки тонких диаметров являются высокие суммарные вытяжки на мокром волочении, составляющие $\mu_{\text{факт}}^{\text{сумм}} = 57,8$ для проволоки сверхвысокой группы прочности ST диаметром 0,175 мм и $\mu_{\text{факт}}^{\text{сумм}} = 48,4$ для проволоки диаметром 0,25 мм. Возможность наращивания обжатия при волочении может быть ограничена не только пластичностью обрабатываемого металла, но и конструкцией имеющихся волочильных станов, в частности, недостаточной суммарной паспортной



Кинематические схемы станов мокрого волочения

кинематической вытяжкой, которая приводит к завышенному скольжению проволоки относительно волочильных шайб.

Тепло, выделяемое за счет трения проволоки о шайбу, пропорционально разнице окружных скоростей волочильных шайб и протягиваемой проволоки [3]:

$$Q_{\text{тр}} = (P_{\text{в}} - P_{\text{пр}})(v_{\text{ш}} - v_{\text{пр}}) = (P_{\text{в}} - P_{\text{пр}})v_{\text{ск}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{в}}$, $P_{\text{пр}}$ – усилия волочения и противонапряжения соответственно; $v_{\text{ш}}$ – окружная скорость волочильных шайб; $v_{\text{пр}}$ – скорость волочения; $v_{\text{ск}}$ – скорость скольжения проволоки по волочильной шайбе.

При очень малых скольжениях высока вероятность обрыва проволоки, а при больших – повышенный износ поверхностей тяговых шайб и рост тепловыделения от повышенного трения с витками проволоки [1]. Как показала практика, волочение на маршрутах с недостаточным запасом величины скольжения по переходам приводит к увеличению времени настройки прямолинейности проволоки конечных диаметров, ухудшению прямолинейности во время работы. В ходе анализа установлено, что это связано с изменением величины противонапряжения в результате одновременного износа последних волок. Для устранения указанного недостатка необходимо задавать определенную небольшую величину минимального скольжения проволоки в зависимости от ее диаметра на предчистовой волочильной шайбе [4]. В работах последних лет, в частности [5, 6], предлагается использовать примерно постоянную величину коэффициента опережения на каждом переходе:

$$\tau^i = \mu_{\text{факт}}^i / \mu_{\text{пс}}^i = 1,015 - 1,060, \quad \tau^i = 1,02 - 1,08, \quad (2)$$

где $\mu_{\text{факт}}^i$ и $\mu_{\text{пс}}^i$ – фактическая и паспортная вытяжка i -го перехода стана.

По опыту специалистов исследовательского центра – отраслевой лаборатории технологий металлургического и сталепроволочного производства оптимальная величина среднего по маршруту коэффициента опережения при волочении сверх- и ультравысокопрочной проволоки составляет $\tau^i < 1,015$ [2].

В рамках освоения производства сверхвысокопрочной проволоки малых диаметров ранее была проведена модернизация группы станов НТ 12.6, включающая в себя увеличение числа переходов волочения с 22 до 28, со снижением частных и повышением суммарной кинематической вытяжки с 28,35 до 36,82. Данная модернизация позволила протягивать проволоку СТ диаметром 0,175 мм со средним временным сопротивлением разрыву около 3500 Н/мм² при скорости намотки 15 м/с с сохранением удовлетворительной технологичности и качества свивки металлокорда.

С учетом положительного опыта эксплуатации модернизированных станов НТ 12.6 и увеличением объемов производства тонкой проволоки малых диаметров была проработана техническая возможность и целесообразность модернизации стана НТ 12.4 СтПЦ-1 до 28 переходов с построением частных кинематических вытяжек по аналогии с модернизированными станами НТ 12.6. В табл. 1 приведено сравнение расчетных параметров скольжения проволоки СТ относительно шайб по маршруту волочения с диаметра 1,33 до 0,175 мм на станах разных модификаций.

Т а б л и ц а 1. Сравнение параметров скольжения сверхвысокопрочной проволоки СТ по маршруту волочения диаметром 1,33–0,175 мм на станах разных модификаций

Параметр	НТ 12.6		НТ 12.4		
	22 перехода	28 переходов	21 переход	23 перехода	28 переходов
Суммарная паспортная вытяжка стана $\mu_{\text{пс}}^{\text{сумм}}$	28,35	36,8	24,1	24,3	35,9
Суммарная вытяжка проволоки $\mu_{\text{факт}}^{\text{сумм}}$	57,76				
Суммарное относительное скольжение $C_{\text{отн}}^{\Sigma}, \%$	50,9	36,2	58,3	58,0	37,9
Среднее скольжение по переходам $C_{\text{отн}}^{\text{ср}}, \%$	2,31	1,29	2,78	2,52	1,36

Из таблицы видно, что модернизация станов до 28 переходов с увеличением суммарного кинематического соотношения позволяет приблизительно в 2 раза снизить среднюю величину относительного скольжения по переходам волочения сверхвысокопрочной проволоки диаметром 0,175 мм.

Суммарные паспортные вытяжки волочильных станов со скольжением $\mu_{\text{пс}}^{\text{сумм}}$ определяются как произведение соотношений частот вращения волочильных конусов и соотношений минимальных и макси-

мальных диаметров каждой пары волочильных шайб. Максимальный диаметр волочильных шайб данных станов составляет 200 мм, поэтому увеличения суммарных паспортных вытяжек и кратности волочения при модернизации можно достичь только установкой дополнительных волочильных шайб малого диаметра и дополнительных волок. Так как станы НТ 12.4 в отличие от НТ 12.6 имеют только две пары конусов (в нижней и верхней эмульсионной ванне, рисунок), для достижения равных паспортных вытяжек станы НТ 12.4 требуют более значительного в сравнении с НТ 12.6 снижения минимального диаметра волочильных шайб. При разработке проекта модернизации опытного стана на волочильные конуса верхней ванны были добавлены волочильные шайбы диаметром 31,0 и 40,19 мм и установлена дополнительная волока между парами конусов нижней и верхней ванны (табл. 2).

Таблица 2. Сравнение минимальных диаметров вытяжных шайб волочильных конусов станов ТВ разных модификаций

Параметр		НТ 12.6		НТ 12.4		
		22 перехода	28 переходов	21 переход	23 перехода	28 переходов
Минимальный размер вытяжных волочильных шайб, мм	Первая пара конусов	78,16	67,18	57,1	57,1	52,16
	Вторая пара конусов	78,16	67,18	57,1	52,16	31,00
	Третья пара конусов	78,16	67,18	–		
Суммарное паспортное кинематическое соотношение стана $\mu_{\text{ПС}}^{\text{СУММ}}$		28,35	36,8	24,1	24,3	35,9

Важным условием стабильного процесса многократного волочения со скольжением является правильное соотношение между диаметром навиваемой на тяговую шайбу проволоки ($d_{\text{пр}}$) и диаметром самой шайбы ($D_{\text{ш}}$). Снижение диаметра шайб в 2 раза приводит к соответствующему росту контактного давления с поверхностью проволоки, способствующего износу шайб и истиранию проволоки, а также влияет на величину деформации изгиба и напряженное состояние проволоки в процессе волочения и, в конечном счете, на пластические свойства готовой проволоки. С уменьшением $D_{\text{ш}}/d_{\text{пр}}$ напряжения в поперечных сечениях витка от его изгиба будут увеличиваться и вместе с растягивающими напряжениями волочения могут привести к разрушению витка проволоки, в которых напряжения от изгиба имеют одинаковые направления с напряжениями волочения [7].

Допустимые величины $D_{\text{ш}}/d_{\text{пр}}$ зависят от пластичности (относительного удлинения) протягиваемого металла. Так, для волоченой меди с $\delta > 20\%$ рекомендуемые пределы составляют $50 < D_{\text{ш}}/d_{\text{пр}} < 1000$, для металлов большей пластичностью отношение $D_{\text{ш}}/d_{\text{пр}}$ может быть уменьшено, а для металлов с меньшей пластичностью – увеличено [7]. Так как запас пластичности патентированно-латунированной заготовки (параметры удлинения) в процессе волочения снижается в разы, допустимые величины изгиба $D_{\text{ш}}/d_{\text{пр}}$ проволоки на входе в стан (при изгибе на первом конусе) и на вытяжном конусе второй пары будут отличаться.

Еще одной характеристикой является величина максимальной деформации при изгибе латунированной проволоки на волочильных шайбах, которую ориентировочно можно оценить по упрощенной формуле (без учета растягивающего усилия волочения):

$$e = \frac{d_{\text{пр}}}{D_{\text{ш}} + 0,5d_{\text{пр}}} 100\%, \quad (3)$$

где $d_{\text{пр}}$ и $D_{\text{ш}}$ – соответственно диаметры проволоки и ролика, мм.

Напряжение изгиба проволоки на вытяжных шайбах определяем по формуле:

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{d_{\text{пр}}}{D_{\text{ш}} + 0,5d_{\text{пр}}} E \approx \frac{d_{\text{пр}}}{D_{\text{ш}}} E, \quad (4)$$

где E – модуль Юнга, Н/мм².

Исходя из маршрутов волочения и диаметров тяговых шайб, проведен расчет показателей максимальной деформации изгиба проволоки на тяговых шайбах разных станов. Для расчета были взяты маршруты волочения проволоки ST 1,33→0,175 мм и проволоки НТ 1,21→0,175 мм, а также НТ 1,55→0,25 мм (табл. 3).

Таблица 3. Расчет параметров изгиба проволоки при волочении

Диаметры заготовки и готовой проволоки, мм	Тип стана	Число кинематических переходов	Расчет изгиба проволоки на входе во вторую пару конусов			
			диаметр шайбы $D_{ш}$, мм	диаметр проволоки, $d_{пр}$, мм	отношение $D_{ш}/d_{пр}$	максимальная деформация изгиба e , %
1,33→0,175 ST	НТ 12.4	28	31,0	0,519	59,7	1,66
	НТ 12.6	28	67,2	0,653	102,9	0,97
1,55→0,25 НТ	НТ 12.4	21	57,1	0,572	99,8	1,00
		23	52,1	0,505	103,2	0,97
		28	31,0	0,744	41,7	2,37
	НТ 12.6	22	78,2	0,796	98,2	1,01
		28	67,2	0,932	72,1	1,38
1,21→0,175 НТ	НТ 12.4	23	52,1	0,437	119,2	0,835
		28	31,0	0,586	52,9	1,87

Эффективность проведенной модернизации станов будет определяться результирующим действием нескольких технологических факторов, в частности, минимизацией скольжения между поверхностями проволоки и волочильных шайб и увеличением деформации изгиба проволоки на дополнительных шайбах малого диаметра. Из табл. 1, 3 видно, что модернизация стана НТ 12.4 до 28 переходов позволила приблизительно в 2 раза снизить скольжение по переходам с одновременным увеличением в 1,7 раза максимальной деформации изгиба, негативно влияющей на напряженное состояние проволоки в процессе волочения и, в конечном счете, на пластические свойства готовой проволоки. Используя только аналитические методы, сложно оценить влияние принципиально разных технологических факторов на пластические свойства готовой проволоки, поэтому для предварительной оценки целесообразности данного проекта модернизировали один опытный стан.

В результате испытаний опытного стана добиться значительного улучшения скоростей волочения (с 10 до 14 м/с) удалось только при волочении проволоки НТ диаметром 0,175 мм серийной конструкции металлокорда. При волочении заготовки большего диаметра (1,33 мм) удовлетворительные пластические свойства проволоки ST диаметром 0,175 мм и качество свивки достигнуты не были. При волочении проволоки ST диаметром 0,25 мм из заготовки диаметром 1,58 мм была получена проволока с низким числом реверсивных скручиваний и недостаточной прочностью.

Результаты модернизации и проведения испытаний станов с разным построением кинематики позволяют ориентировочно определить нижний предел отношения минимального диаметра вытяжной шайбы к диаметру протягиваемой проволоки $D_{ш}/d_{пр}$, на величину которого необходимо ориентироваться при выборе типа волочильных станов и модернизации имеющегося парка. Запас пластичности проволоки при изгибе можно оценить по параметру относительного удлинения Agt , характеризующего максимальную равномерную деформацию проволоки. В качестве критерия минимально допустимого диаметра шайб можно использовать безразмерный коэффициент K , характеризующий запас пластичности проволоки при изгибе на волочильных шайбах:

$$K = \frac{e}{Agt}, \quad (4)$$

где e – максимальная деформация при изгибе проволоки на волочильных шайбах, %; Agt – относительная полная деформация при максимальном усилии, %.

Оптимальные условия волочения, исключающие разрушение поверхности проволоки из-за изгиба, соответствуют коэффициенту запаса $K \gg 1$. Величина Agt холоднотянутой проволоки может изменяться в достаточно широких пределах в зависимости от обжатия, условий волочения и других параметров и обычно находится в пределах $Agt \approx 1,5\text{--}3,5\%$. Как видно из табл. 3, для модернизированного на 28 переходов стана НТ 12.4 деформация изгиба проволоки при волочении в некоторых случаях может быть сопоставима с ее запасом пластичности. Для латунированной заготовки характерны более высокие значения $Agt \approx 7,0\text{--}8,5\%$, поэтому для первых вытяжных шайб на входе заготовки в стан допустимы меньшие значения отношения $D_{ш}/d_3$.

На практике удобнее пользоваться упрощенным критерием, характеризующим отношение минимального диаметра волочильных шайб к диаметру исходной заготовки ($D_{ш}/d_3$). Так, на станах НТ 12.4 максимальный диаметр заготовки составляет 1,96 мм, что для диаметров волочильных шайб 52,1 и 57,1 мм соответствует минимальной величине $D_{ш}/d_3$ на уровне 26–29.

Результаты работы показывают, что целесообразность модернизации станов мокрого волочения зависит от широкого круга технологических факторов, определяющих технологичность волочения и свойства готовой проволоки. В ряде случаев положительный эффект от улучшения одних технологических параметров может быть частично или полностью нивелироваться негативными последствиями ухудшения других факторов. Показано, что станы с тремя парами волочильных конусов имеют большие возможности для проведения модернизации с повышением суммарных паспортных кинематических вытяжек, чем аналогичные станы, но с двумя парами конусов. Предложен критерий для оценки влияния масштабного фактора от изменения диаметров волочильных шайб на пластические свойства проволоки для металлокорда, основанный на опыте эксплуатации станов с разным построением кинематики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобарикин Ю. Л. Оптимизация тонкого волочения высокоуглеродистой стальной проволоки / Ю. Л. Бобарикин, М. Н. Верещагин. Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2011. 163 с.
2. Желтков А. С., Филиппов В. В., Савенок А. Н. Расчет переходов станов мокрого волочения по принципу минимального скольжения // Сталь. 2000. № 5. С. 60–62.
3. Харитонов В. А., Головизин С. М. Проектирование режимов высокоскоростного волочения проволоки на основе моделирования. Магнитогорск, 2011.
4. Желтков А. С. Разработка технологии производства сверхвысокопрочной латунированной проволоки: Дис. ... канд. техн. наук. Минск, 2000.
5. Коковихин Ю. И. Технология сталепроволочного производства: учеб. для студентов вузов / Ю. И. Коковихин. Киев: Ин-т систем. исслед. образования, 1995. 608 с.
6. Горловский М. Б., Меркачев В. Н. Справочник волочильщика проволоки. М.: Metallurgia, 1993. 336 с.
7. Перлин И. Л., Ерманок М. З. Теория волочения. М.: Metallurgia, 1971. 447 с.

REFERENCES

1. Bobarikin Ju. L., Vereshhagin M. M. *Optimizacija tonkogo volochenija vysokouglerodistoj stal'noj provoloki* [Optimization of fine drawing of high carbon steel wire]. Gomel', GGTU im. P. O. Suhogo Publ., 2011, 163 p.
2. Zheltkov A. S., Filippov V. V., Savenok A. N. Raschet perehodov stanov mokrogo volochenija po principu minimal'nogo skol'zhenija [Calculation of transitions of wet drawing mills on the principle of minimum slip]. *Stal' = Steel*, 2000, no. 5, pp. 60–62.
3. Haritonov V. A., Golovizin S. M. *Proektirovanie rezhimov vysokoskorostnogo volochenija provoloki na osnove modelirovanija* [Designing high-speed wire drawing based on simulation]. Magnitogorsk, 2011.
4. Zheltkov A. S. *Razrabotka tehnologii proizvodstva sverhvysokoprochnoj latunirovannoj provoloki*. Diss. kand. tekhn. nauk [Development of the production technology of ultrahigh-strength brass-plated wire. Thesis for Ph. D]. Minsk, 2000.
5. Kokovihin Ju. I. *Tehnologija staleprovolochnogo proizvodstva* [Steel wire technology]. Kiev, Institut sistem. issled. Obrazovaniya Publ., 1995, p. 608.
6. Gorlovskij M. B., Merkachev V. N. *Spravochnik volochil'shchika provoloki* [Wire Draw Guide]. Moscow, Metallurgija Publ., 1993, 336 p.
7. Perlin I. L., Ermanok M. Z. *Teorija volochenija* [Drag theory]. Moscow, Metallurgija Publ., 1971. 447 p.