

Влияние технологических параметров на процесс волочения проволоки. Сообщение 2

Выполнены исследования условий трения при изменении технологических параметров (противонатяжения, вибронатяжения, технологической смазки), в том числе и типа волочильного инструмента при волочении проволоки. Предложено обобщающее выражение для расчета характеристик трения и напряжения волочения. Ил. 3. Табл. 2. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: волока, угол, конус, трение, протягивание, проволока, инструмент, напряжение волочения

Cone of dragging instrument and other technological parameters (preliminary pulls, vibroladening, technological greasing), including type of wire-drawing instrument are researched; summarizing formula for the descriptions of friction and tension calculation is offered.

Keywords: cone, friction, reaching, wire, dragging instrument, tension of drag

В ряде исследований приводятся формулы для расчета напряжения волочения в зависимости от прочностных свойств металла, температурно-скоростных условий, параметров деформации, наличия заднего натяжения, геометрии волочильного инструмента, условий трения и кинематики процесса [1-4 и др.]. Часто точное определение тех или иных параметров или их влияния на силовые условия волочения является затруднительным. Это касается вопросов трения, состояния и вида технологической смазки, конструкции волок, истинной геометрии очага деформации, вибронатяжения и т. д.

В такой ситуации, даже имея формулу, которая хорошо себя зарекомендовала при ее использовании в расчетах силы волочения, рациональным может оказаться применение соответствующих поправочных коэффициентов, которые учитывали бы отношение экспериментальных значений напряжения волочения в специфических условиях реализации процесса к соответствующей расчетной величине. При этом предполагается, что указанные факторы можно принять как взаимно независимые.

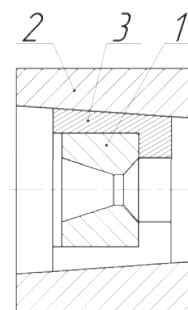
Целью данной части работы стало получение необходимых технологических коэффициентов, учитывающих влияние на напряжение волочения различных факторов.

Влияние противонатяжения и вибрации оценили при волочении проволоки со скоростью $v = 0,33$ м/с на опытной установке, схема которой представлена на рис. 1 работы [5]. Противонатяжение создавалось первой (по ходу последовательной протяжки проволоки) волокой

на входе во вторую волоку (чистовую) В источнике [5] представлены также условия проведения опытов.

Для создания колебаний (вибраций) проволоки на входе во вторую волоку использовали ролик (поз. 3 на рис. 1 работы [5]) диаметром 100 мм с продольными гранями длиной (по окружности ролика) 3,2; 6,0 и 10,0 мм и шагом соответственно 6,0; 10 и 14 мм. Таким образом, на поверхности этого ролика плоские грани чередуются с цилиндрическими участками. Такое исполнение ролика обеспечивало вертикальное перемещение проволоки, находящейся в контакте с ним, в процессе волочения через обе волоки в пределах 0,3-1,6 мм.

В опытах выяснили, что сила волочения во второй волоке изменялась по мере протяжки металла (рис. 2 работы [5]). При наличии противонатяжения от первой волоки P_1 сила волочения P_2 в чистовой волоке несколько меньше,

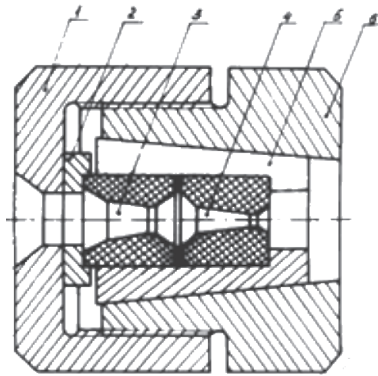


Тип 1

Рис. 1. Одинарная волока конструкции Н. М. Чиглакова:

- 1 – твердосплавный вкладыш (волока);
- 2 – стальной корпус; 3 – зажимная цапговая втулка

чем при отсутствии противонатяжения (P_3). Исследованиями установлено, что в момент выхода заднего конца проволоки из первой волокни силы волочения P_3 во второй волоке возрастала в 1,05-1,12 раз. То есть в данных условиях деформации противонатяжение от первой волокни снижает силу волочения в последующей волоке на 5-12 % и, в первом приближении, можно принять, что коэффициент, учитывающий влияние противонатяжения проволоки k_{Π} равен 0,9-0,95.



Тип II

Рис. 2. Сборная волока конструкции В. Л. Колмогорова и др.:

- 1 - зажимная гайка; 2 - шайба; 3 - напорная волока;
- 4 - рабочая волока; 5 - цанговая (разрезная) втулка;
- 6 - корпус

Также установлено, что при волочении через две волокни со скоростью во второй волоке $v_2 = 1,5$ м/с, амплитудой $a = 1,0$ мм колебаний проволоки на ролике, маршруте волочения $1,91 \rightarrow 1,85 \rightarrow 1,72$ мм суммарная сила волочения в двух волокнах равнялась $P_{\Sigma} = P_1 + P_2 = 202 + 240 = 442$ Н. При этом напряжения волочения оказались равными в первой волоке $\sigma_1 = 74,8$ Н/мм², а во второй - $\sigma_2 = 103,5$ Н/мм².

При волочении только через одну (вторую) волоку по маршруту $1,91 \rightarrow 1,72$ мм имеем силу, равную $P_2 = 483$ Н, что больше суммы $P_{\Sigma} = P_1 + P_2$ на 9,2 %, а напряжение волочения оказалась равным 208 Н/мм², что в два раза больше напряжения волочения σ_2 в волоке 2 при одновременном волочении через две волокни.

Вероятно, уменьшение силы волочения во второй волоке при наличии противонатяжения обусловлено снижением напряжений во внеконтактной зоне, улучшением захвата технологической смазки, возникновением растягивающих (продольных) напряжений в очаге деформации и снижении, в связи с этим, уровня контактного трения.

Опыты показали, что приложение к проволоке колебаний способствует снижению силы волочения как в первой, так и во второй по ходу волочения волокнах. Степень уменьше-

ния силы волочения с вибронатяжением составила соответственно $n_1 = P_1/P_{01} = 0,58-0,80$, и $n_2 = P_2/P_{02} = 0,57-0,88$ (P_{01} и P_{02} - силы волочения без вибронатяжений). Параметры n_1 и n_2 изменяются по зависимостям с минимумом при $a = 0,6-1,0$ мм. Меньшее влияние вибронатяжений оказывается при волочении проволоки с меньшей скоростью и с большим диаметром. При волочении с $d_0 = 2,15$ мм на диаметр $d_2 = 1,91$ мм при $v = 0,33$ м/с рациональной является амплитуда колебаний $a = 0,6$ мм. При волочении на диаметр $d_2 = 1,69-1,72$ мм, $v = 1,5$ м/с и более жесткими условиями трения рациональны величины $a = 1,0$ мм.

Необходимо отметить, что значения n_1 и n_2 «вобрала в себя» снижающее влияние как вибронатяжения, так и заднего натяжения. Поэтому, в первом приближении, коэффициент $k_{ВН}$, учитывающий влияние на силу волочения только вибронатяжения, может быть оценен по выражению: $k_{ВН} = n/k_{\Pi} \approx 0,63-0,87$.

Производственные испытания показывают, что использование устройств для создания вибронатяжений проволоки обеспечивает снижение энергосиловых параметров, повышение износостойкости инструмента, повышение эффективности процесса. Для реализации способа на станах со скольжением проволоки тяговые шайбы могут быть изготовлены с продольными (по оси) гранями на поверхности. На станах без скольжения перед волокнами можно устанавливать тянущие устройства с эксцентричными роликами, обеспечивающими противонатяжение и виброколебания проволоки [2, 6].

При оценке влияния типа волочильного инструмента провели сопоставление силовых условий волочения через волокни разных конструкций (рис. 1-3) [2, 7].

Инструмент с одной волокой (рис. 1) применяют обычно при калибровке стальных круглых и фасонных профилей из высокоуглеродистых и легированных марок сталей. Волоку помещают в цанговую втулку, которую запрессовывают в стальную обойму. Используют также непосредственную запрессовку твердосплавной волокни в обойму, что создает в ней сжимающие радиальные напряжения, предохраняющие ее от разрушения. В процессе волочения используют жидкие или сухие технологические смазки.

Сборная волока. Одним из способов повышения износостойкости волочильного инструмента является гидродинамическая подача технологической смазки в очаг деформации, которая обеспечивает увеличение толщины ее слоя. В определенных условиях толщина смазочного слоя может превышать суммарную высоту шероховатостей деформируемого металла и ин-

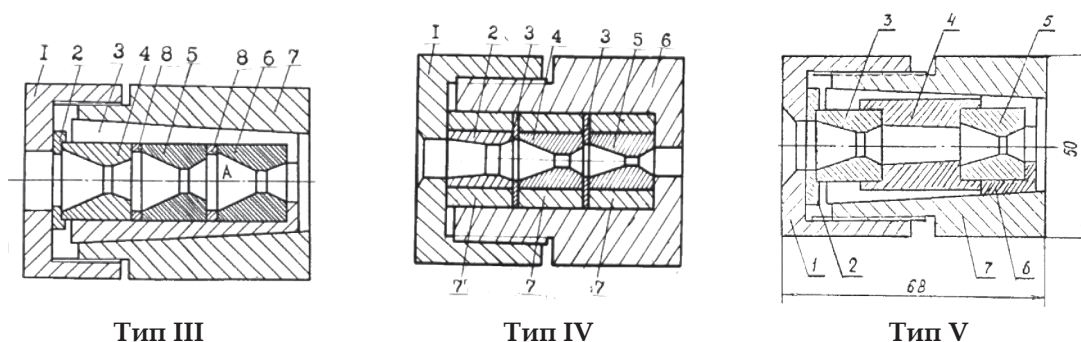


Рис. 3. Сборный инструмент с двумя рабочими волокнами:

- Тип III:** 1 – гайка; 2 – шайба; 3 – зажимная (цанговая) втулка; 4 – напорная втулка; 5 – первая рабочая волокна; 6 – вторая рабочая волокна; 7 – корпус; 8 – шайбы;
- Тип IV:** 1 – зажимная гайка; 2 – напорная волокна; 3 – шайба; 4 – первая рабочая волокна; 5 – вторая рабочая волокна; 6 – корпус; 7 – стальные обоймы;
- Тип V:** 1 – зажимная гайка; 2 – шайба; 3 – напорная волокна; 4 – напорная втулка (насадка); 5 – рабочая волокна; 6 – цанговая втулка; 7 – корпус

струмента, что обеспечивает гидродинамический режим трения.

Одна из подобных конструкций, предложенная В. Л. Колмогоровым и др. [2, 7], представлена на рис. 2. В таком инструменте технологическая смазка (порошок мыла или вязкая смазочная жидкость) нагнетается в полость перед рабочей волокной и создает давление, достаточное для принудительной подачи ее в очаг деформации. По данным промышленных испытаний волочение в такой волокне по сравнению с волочением тонкой проволоки в одинарной волокне позволяет снизить расход электроэнергии на 20-25 %, повысить износостойкость инструмента в 2,5-6 раз, а производительность станов на 30-50 %.

В процессе эксплуатации сборных волок по рис. 2 выявлен ряд недостатков, которые стимулировали усовершенствование сборного волочильного инструмента, направленное на достижение герметизации предочаговой зоны, повышение гидродинамического давления смазки и устранение дефектов сборки волок, разработка и испытания которого выполнено под руководством автора статьи (рис. 3) [2, 7].

Испытания волочильного инструмента III-V типов (см. рис. 3) в различных условиях, включая промышленные, позволили установить, что по сравнению с I и II типами (см. рис. 1 и 2), они обеспечивают значительное повышение эксплуатационной стойкости твердосплавных волок (ВК6).

Так инструмент с двумя рабочими волокнами (см. рис. 3-III) применяли при протягивании круглой заготовки $d_0 = 6,5$ мм из сталей Св08, БСтОМ, Св08ГМ на волочильных станах 2-6/550 ряда заводов. Сила волочения при этом была на 5,3-31,8 % меньше, чем при использовании серийных сборных волок по рис. 2.

Более совершенным для первых двух блоков волочильных станов оказался инструмент, представленный на рис. 3-IV, в котором напорную и две рабочие волокны предварительно запрессовывают в стальные обоймы, а затем устанавливают в корпусе. При этом между наружным диаметром обойм и корпусом обеспечивается зазор в 0,2-0,3 мм, что исключает несоосность волок в процессе протягивания. При грубо-среднем многократном волочении стальной проволоки применение этого инструмента обеспечило повышение износостойкости волок почти в 1,8 раза и уменьшение количества случаев их хрупкого разрушения до 7 раз.

Недостатком волок конструкции по рис. 3-III и 3-IV является удлинение инструмента и необходимость острения конца проволоки на большую длину (на ~20 мм).

На рис. 3-V представлен вариант конструкции улучшенного волочильного инструмента с дополнительной напорной втулкой и укороченной цанговой втулкой. Измерения параметров волочения на сборной волокне по рис. 3-V на стане шестикратного волочения по сравнению с инструментом по рис. 2 выявило увеличение износостойкости инструмента в 1,25-1,55 раза, уменьшение разрушения волок в 1,2-1,3 раза, уменьшение обрывности проволоки в 1,3-1,6 раза при увеличении количества смазки на проволоке в 1,55-2 раза.

Представленные и другие, полученные при участии автора, результаты позволили численно, посредством коэффициента $k_{ин}$, оценить уменьшение напряжений волочения в разных типах волок по сравнению с инструментом на рис. 1 (табл. 1).

Влияние скорости волочения. Известно, что увеличение скорости волочения сопровождается ростом температуры металла [1]. Это вызывает

снижение толщины слоя смазки (за счет уменьшения ее вязкости), но в то же время способствует снижению сопротивления контактных слоев металла сдвиговым деформациям при его формоизменении. Первый фактор обуславливает увеличение коэффициента трения и, как следствие, напряжения волочения, а второй способствует уменьшению необходимой тяговой силы.

Таблица 1

Влияние типа инструмента на напряжение волочения стальной проволоки (смазка - порошок натриевого мыла)

№ рис.	Тип инструмента	Напряжение волочения $\sigma_{ВЛ}$, Н/мм ²	Коэффициент $k_{и}$
1	I	256	1,0
2	II	226	0,88
3	III	196	0,76
	IV	188	0,72
	V	200	0,78

В связи с этим при волочении с сухой или высоковязкой смазкой сила (напряжение) волочения и коэффициент трения в зависимости от скорости изменяются по кривой с минимумом при $v \approx 2,0$ м/с.

В работах [2, 8] приведены результаты исследований и выполнена оценка влияния скорости на напряжение волочения коэффициентом $k_v = \sigma_{ВЛ} / \sigma_T$. В результате обобщения данных исследований, получены выражения, которые могут быть использованы при расчете величины k_v :

$$\text{при } v < 2 \text{ м/с } \quad k_v = 1,35 - 0,18v; \quad (1)$$

$$\text{при } v > 2-11 \text{ м/с } \quad k_v = 1 + 0,075(v - 2). \quad (2)$$

Для повышения эффективности процесса волочения круглых профилей волоке можно сообщать вращательное движение в плоскости, перпендикулярной оси канала. Это обеспечивают специальным приводом. В работах [3, 4] теоретически и экспериментально доказано, что при рациональном соотношении скоростей волочения и вращения напряжение волочения снижается на 12-15 %, а коэффициент, учитывающий влияние вращения волоки на напряжение волочения, равен $k_{вр} \approx 0,9$.

Для оценки влияния технологической смазки на силовые условия учли, что в процессе волочения в качестве смазки используют порошок натриевого мыла, минеральные, натуральные масла и их эмульсии. В частности, для грубого, среднего и тонкого волочения проволоки из стали, меди, никрома и ряда других металлов (диаметром $d > 1$ мм) применяют сухой порошок на-

триевого мыла, а при протягивании прутков из стали и алюминиевой проволоки – вязкое минеральное масло. При тончайшем и микронном волочении в качестве смазки используют маловязкие масла с функциональными присадками и эмульсии масел [2, 8]. В связи с недостаточностью в технической литературе необходимых данных, при участии автора были проведены исследования по влиянию вида смазки на тяговое напряжение [2, 8] и определению соответствующего коэффициента эффективности смазок $k_{см} = \sigma_{ВЛн} / \sigma_{ВЛ}$ (где $\sigma_{ВЛн}$ – напряжение волочения при любой смазке; $\sigma_{ВЛ}$ – напряжение волочения с мыльным порошком) в широком диапазоне условий волочения проволоки.

В табл. 2 представлены экспериментальные значения силы волочения (кН) и соответствующие величины коэффициента $k_{см}$ для различных условий волочения, полученные протяжкой через одинарные волокна на универсальной разрывной машине с $v = 0,1$ м/мин и на промышленных станах со скоростью более 38 м/мин.

Представленные данные дают ориентиры выбора при прогнозировании напряжения волочения при прочих равных условиях деформации. Так, при волочении проволоки из легированных и углеродистых марок сталей наибольшую антифрикционную эффективность проявил порошок графита, для которого $k_{см} = 0,92$, а наименее эффективной смазкой в этих условиях оказалось индустриальное масло И-12А ($k_{см} = 1,37-1,45$). Низкая эффективность смазки И-12А наблюдалась не только в лабораторных ($v = 0,1$ м/мин), но и в промышленных условиях волочения на стане типа П-68 ($v = 38$ м/мин).

Смазка ЭШМ обеспечивает существенное снижение силы тока привода по сравнению со смазкой И-12А и является более эффективной, чем смазка в виде хлорпарафина. При волочении низкоуглеродистой стали с $v = 0,1$ и $v = 90$ м/мин замена сухого порошка натриевого мыла (ПНМ) жидкими смазками И-20 и ПКС увеличивает силу волочения в 1,22-1,23 раза. Эмульсия из ПНМ с концентрацией 4 % является на 10 % менее эффективной, чем смазка ПНМ. Данные табл. 2 для заготовки после ТЖИ (В-2) получены на основании сравнения величин $\sigma_{ВЛ} / \sigma_T$, приведенных к одной скорости волочения.

На основании обобщения представленных данных предлагается метод расчета напряжения волочения, в котором в качестве базовой использована хорошо зарекомендовавшая себя теоретическая формула Кербера-Эйхингера с учетом трения по условию Зибеля [5] и коэффициентов, кото-

Влияние на силу волочения типа смазки и соответствующее значение коэффициента эффективности

Материал проволоки	d_0 , мм	V , м/мин	Подготовка поверхности заготовки	Тип смазки	Сила волочения, кН	k_{CM}
X18H12T	11	0,1	ТС	ПНМ	10,4	1,0
				Графит	9,6	0,92
				И-12А	14,6	1,45
9ХС	8,0	0,1	ТС	ПНМ	12,2	1,0
				ХП	14,1	1,16
				ЭШМ	13,4	1,1
X18H12T	11,2	0,1	ТС	И-12А	20,4	1,45
				ЭШМ	13,4	1,1
Углеродистые и легированные стали	8-14	38	ТЖ	И-12А	85*	1,37
				ЭШМ	75*	1,13
БСт0М	2,17	0,1	ЧО	ПНМ	1,42	1,0
				ЭПНМ-4	1,58	1,1
				Графит	1,38	0,97
БСт0М	2,06	90	ЧО	ПНМ	0,65	1,0
				И-20	0,79	1,22
				ПКС	0,80	1,23
БСт0М	6,5	320	ТЖИ	ПНМ	12,0	1,4
				В-2	8,3	1,0

Примечание. ТС – травление + соление; ТЖ – травление + желтение; ЧО – чистая после отжига; ТЖИ – травление + желтение + известкование; В-2 – после волочения, второй переход; ПНМ – порошок натриевого мыла; ПКС – гидрогенизированное подсолнечное масло; ХП – хлорпарафин; ЭШМ – эмульсол ШМ; ЭПНМ-4 – эмульсия ПНМ с концентрацией 4 %. * Определено по силе тока привода

рые отражают влияние изученных в настоящей работе и в работе [5] технологических факторов:

$$\sigma_{ВЛ} = k_{И} \cdot k_{СМ} \cdot k_{V} \cdot k_{П} \cdot k_{ВН} \cdot k_{ВР} \cdot \sigma_T [(1 + \delta_{П}) \ln \mu + 0,77 \operatorname{tg} \alpha], \quad (3)$$

$$\delta_{П} = f_{П} / \alpha, \quad (4)$$

где σ_T – среднее напряжение течения металла в очаге деформации; μ – коэффициент вытяжки; $k_{И}, k_{СМ}, k_{V}, k_{П}, k_{ВН}, k_{ВР}$ – коэффициенты, учитывающие соответственно тип инструмента, тип смазки, скорость волочения, наличие противонапряжения, виброколебаний и вращения волоки (значения коэффициентов даны по тексту); α – средний угол волоки, определяемый с учетом реального профиля волоки по приближенной формуле [5]

$$\alpha \approx 0,815 \alpha_K, \quad (5)$$

$\alpha_K = \Delta d / 2l_p$ – полуугол рабочего конуса волоки; l_p – длина рабочей зоны волоки; $f_{П}$ – показатель трения при волочении стали в одинарной волоке при $\mu < 1,16$, $d \geq 7,0$ мм можно принимать равным $f_{П} = 0,13$ [5].

В качестве примера, определим напряжение и силу волочения проволоки из низкоуглеродистой стали диаметром $d_1 = 3,2$ мм из заготовки

$d_0 = 3,84$ мм, $\mu = 1,44$, полуугол $\alpha_K = 5^\circ$ (0,0872 рад.). Скорость волочения $v = 7,0$ м/с, смазка – порошок натриевого мыла, тип инструмента – сборная волока конструкции В. Л. Колмогорова (тип II, см. рис. 2), марка стали – Ст3 (упрочненная). Противонапряжение, вибронатяжение заготовки и вращения волоки отсутствуют.

Согласно приведенным выше данным принимаем следующие значения коэффициентов, которые учитывают условия волочения: $k_{И} = 0,88$; $k_{СМ} = 1,0$; $k_{П} = 1,0$; $k_{ВН} = 1,0$; $k_{ВР} = 1,0$. Далее по формуле (5) определим средний полуугол волоки:

$$\alpha = 0,815 \cdot 0,0872 = 0,071 \text{ рад.}$$

По формуле (15) из работы [5] определим показатель трения при $k_{ПС} = 1,0$ (без подсмазочного слоя)

$$f_{П} = 0,062 + 0,25 \cdot 0,071 = 0,08.$$

По формуле (2) получим:

$$k_V = 1 + 0,075 (7 - 2) = 1,375.$$

По формуле (4) имеем:

$$\delta = 0,08 / 0,071 = 1,13.$$

Учитывая, что для выбранной марки стали $\sigma_T = 500$ Н/мм² [2], окончательно по выражению (3) получим:

$$\sigma_{ВЛ} = 0,88 \cdot 1,0 \cdot 1,375 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 500 [(1 + 1,13) 0,365 + 0,06] = 1,21 \cdot 500 (0,78 + 0,06) \approx 1,0 \cdot 500 = 500 \text{ Н / мм}^2.$$

В результате расчета оказалось, что в этом примере напряжение волочения приближается по величине к напряжению течения металла на выходе из волоки ($\sigma_{T1} = 518 \text{ Н/мм}^2$), а коэффициент запаса прочности лишь немного больше единицы: $\gamma = \sigma_{T1} / \sigma_{ВЛ} = 518 / 500 \cong 1,03$.

При таких условиях протягивания проволоки может случиться на выходе из волоки утяжку или обрыв.

Формула (3) дает ориентиры выбора параметров деформации для обеспечения безобрывного волочения металла: в рассмотренном примере можно для стабилизации процесса волочения уменьшить скорость протягивания или величину коэффициента вытяжки.

Выводы

Экспериментальными исследованиями установлены характер и количественная оценка влияния на напряжение волочения различных технологических параметров (противонатяжения, вибронагружения, вращения волоки, скорости волочения, типа инструмента и технологической смазки). Показано, что по сравнению с волочением в одинарной волоке с мыльным порошком с заданной скоростью применение сборного или составного инструмента с механическим воздействием на очаг деформации позволяет уменьшить силу волочения в сумме до 50 %. Разработан метод расчета напряжения волочения проволоки с учетом влияния основных технологических параметров.

Библиографический список

1. Перлин И. Л., Ерманок М. З. Теория волочения. – М.: Металлургия, 1971. – 448 с.
2. Николаев В. А. Теория и практика волочения металла: Учебное пособие. – Запорожье: ЗГИА, 2004. – 148 с.
3. Николаев В. А., Васильев А. Г. Оценка методов определения коэффициента трения при волочении // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1991. – № 7. – С. 48-50.
4. Должанский А. М., Ключев Д. Ю., Орлянская В. В. Тяговое напряжение при использовании вращающейся волоки // Теория и практика металлургии. – 2001. – № 1. – С. 39-41.
5. Николаев В. А. Влияние технологических параметров на процесс волочения проволоки. Сообщение 1 // Металлург. и горноруд. пром-сть. – 2015. – № 1. – С. 68-72.
6. Николаев В. А., Васильев А. Г. Влияние виброколебаний на напряжение волочения проволоки // Сталь. – 1998. – № 8. – С. 45-47.
7. Николаев В. А., Васильев А. Г. Повышение эффективности волочения стальной проволоки с сухой смазкой // Сталь. – 1997. – № 6. – С. 63-66.
8. Николаев В. А., Васильев А. Г. Влияние технологических параметров на напряжение волочения // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2001. – № 3. – С. 29-32.

Поступила 22.10.2014

