

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ СЕРДЕЧНИКА НА СЦЕПЛЯЕМОСТЬ С ОБОЛОЧКОЙ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ СТАЛЕМЕДНОЙ ПРОВОЛОКИ

Огарков Н.Н.<sup>1</sup>, Платов С.И.<sup>1</sup>, Шеметова Е.С.<sup>1</sup>, Некит В.А.<sup>1</sup>, Шувет Б.М., Д.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

<sup>2</sup> Технологический институт, Университет Жана Моне, Франция

**Аннотация.** Разработан теоретический метод описания опорной кривой по всей толщине шероховатого слоя. Принимая во внимание, что степень участия микронеровностей в формировании результирующей микрогеометрии контактной поверхности оболочка – сердечник неодинакова при различных величинах сближения, в расчетах рекомендовано использовать усредненное значение опорной поверхности по всей высоте шероховатого слоя. Обработкой профилограмм получены параметры микрогеометрии сердечника после ультразвуковой и электролитоплазменной очистки. Исследовано изменение высотных и шаговых параметров шероховатости сердечника и получены зависимости, позволяющие рассчитать их значения по переходам при волочении сталемедной проволоки. Установлено, что изменение шаговых параметров шероховатого слоя сердечника по переходам при волочении сталемедной проволоки происходит менее интенсивно по сравнению с изменением высотных параметров. Рассмотрены условия заполнения микронеровностей на контактной поверхности сталемедной проволоки. Установлены ограничения на выбор способа формирования микрорельефа поверхности сердечника перед волочением с целью полного затекания материала оболочки в его микровпадины и обеспечения надежного сцепления контактных поверхностей компонентов биметаллической проволоки.

**Ключевые слова:** сталемедная проволока, шероховатость, сердечник, оболочка, контактная поверхность, сцепление компонентов проволоки, формирование микрорельефа.

### Введение

В мировой практике все большее внимание уделяется применению изделий из композитных материалов. Частным случаем является биметаллическая проволока, а также проволока с многослойными покрытиями, которая позволяет сочетать высокие механические свойства сердечника с высокой электропроводностью, коррозионной стойкостью, жаростойкостью, адгезионной способностью, декоративной привлекательностью и другими специальными характеристиками материала оболочки [10, 14]. Требования к качеству поверхности, физико-механическим свойствам и прочности сцепления плоскости компонентов, а также к точности продукции постоянно ужесточаются [4, 12–14]. Выполнение этих требований требует совершенно новых инженерных решений. В этой связи разработка математических соотношений между условиями волочения биметаллической проволоки и ее качественными показателями сцепления оболочки и сердечника является актуальной задачей.

### Материалы и методы исследования

Исследования выполнены с использованием образцов сталемедной проволоки:

- материал сердечника и оболочки – сталь Ст 3 и медь М1;
- исходный и минимальный диаметр сердечника – 6 и 1 мм;
- исходная и минимальная толщина оболочки – 0,5 и 0,04 мм.

Очистка поверхности сердечника проведена на предприятии ООО «ЗМИ-ПРОФИТ» комбинированным методом, включающим ультразвуковую и электролитоплазменную обработки перед обворачиванием медной лентой и с последующим обжатием в волоке для плотного прилегания оболочки с сердечником. Образцы для исследования вырезались из бунтов после 1,4,7,10 и 18 переходов с последующим исследованием шероховатости поверхности сердечника. Шероховатость измерялась на продольных (**рис. 1, а**) и поперечных (**рис. 1, б**) сечениях биметаллических образцов с помощью инструментального микроскопа БМИ, а также на образцах прибором «Селисерф-4» фирмы «Ренк Тейлор Госон» (Англия) сердечника со снятой оболочкой с записью профилограмм.

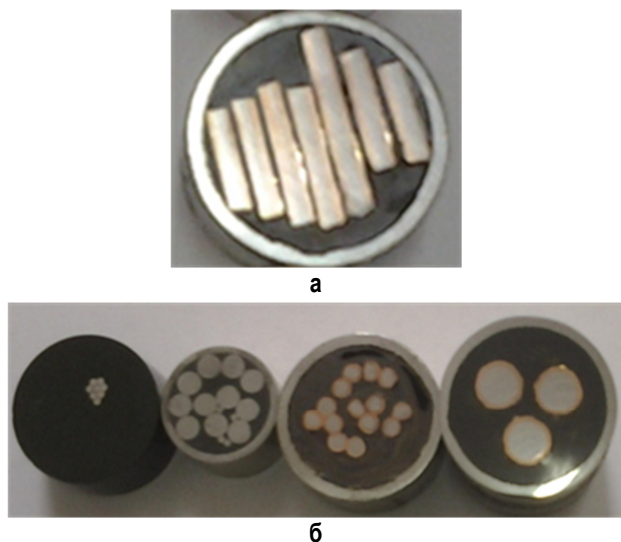


Рис. 1. Вид образцов для измерения шероховатостей сердечника и оболочки: а – в продольном сечении, б – в поперечном сечении

### Основная часть

К теоретическим и практическим задачам определения микрогеометрии шероховатых поверхностей относится задача по изменению параметров шероховатости контактных поверхностей по технологическим переходам при волочении и влияния их на сцепляемость компонентов биметаллической проволоки [3, 6, 8]. Экспериментальное определение изменения шероховатости по переходам является трудоемким исследованием. Поэтому теоретическое решение этой задачи позволит оценить изменение характера сцепляемости поверхностей оболочки и сердечника в процессе волочения без проведения трудоемких экспериментов.

Распределение материала в шероховатом слое регламентируется опорной кривой микропрофиля поверхностного слоя по ГОСТ 2789-73 и играет важную роль при расчетах фактической площади контакта в процессах обработки металлов давлением. Начальный участок этой кривой обычно удовлетворительно описывается уравнением [1, 2, 9]:

$$t_p' = b\eta^v. \quad (1)$$

Здесь  $\eta$  – относительной сближение, определяемое расстоянием от линии выступов до сечения профиля, отнесенным к  $R_{max}$ ;  $R_{max}$  – расстояние между линией впадин и линией выступов профиля поверхности;  $b$ ,  $v$  – параметры микрогеометрии поверхности.

Применительно к процессу волочения биметаллов закономерность изменения опорной кри-

вой микропрофиля сохраняется до тех пор, пока уровень низкого выступа оболочки не пройдет через вершину самого низкого выступа поверхности сердечника. Это означает, что все микровыступы находятся в контакте.

С целью описания опорной кривой во всем диапазоне изменения относительного сближения предлагается описывать опорную кривую уравнением (1) не по средней линии, а до значения  $\eta_c$  уравнением [9]

$$t_p'' = 1 - c(1 - \eta)^v \quad (2)$$

в области  $\eta_c < \eta \leq 1$ .

Здесь  $\eta_c$  и  $c$  – относительный уровень и коэффициент пропорциональности, соответствующие точке сопряжения кривых, построенных по уравнениям (1) и (2).

С использованием условий неразрывности  $t_p' = t_p''$  и плавности сопряжения  $dt_p'/d\eta = dt_p''/d\eta$ , при значении  $\eta = \eta_c$ , выражения для определения величин  $\eta_c$  и  $c$  примут вид:

$$\eta_c = (1/b)^{1/(v-1)}; \quad (3)$$

$$c = \left[1 - (1/b)^{1/(v-1)}\right]^{v-1}. \quad (4)$$

С учетом полученного уравнение (2) преобразуется к виду

$$t_p'' = 1 - \left[1 - (1/b)^{1/(v-1)}\right]^{v-1} (1 - \eta)^v. \quad (5)$$

Отметим, что положение точки сопряжения однозначно определяется сочетанием параметров  $b$  и  $v$  по уравнению (3).

Принимая во внимание, что степень участия микронеровностей в формировании результирующей микрогеометрии контактной поверхности оболочка – сердечник неодинакова [5,7,11] при различных величинах сближения, в расчетах целесообразно использовать усредненное значение опорной поверхности по всей высоте шероховатого слоя. С этой целью интегрируем уравнение (1) в пределах от 0 до  $\eta_c$  и (5) от  $\eta_c$  до 1:

$$t_{p\text{cp}} = \int_0^{\eta_c} b\eta^v d\eta + \int_{\eta_c}^1 \left\{1 - \left[1 - (1/b)^{1/(v-1)}\right]^{v-1} (1 - \eta)^v\right\} d\eta. \quad (6)$$

В результате интегрирования получаем

$$t_{pc} = 1 - (1/b)^{\frac{1}{v-1}} - \frac{1}{v+1} \left[ 1 - 2(1/b)^{\frac{1}{v-1}} \right]. \quad (7)$$

Величина  $t_{pc}$  соответствует относительному количеству материала в шероховатом слое, сформированном технологией обработки поверхности сердечника при подготовке к волочению.

Обработка профилограмм поверхностей сердечника после ультразвуковой и электролитоплазменной обработки позволила построить опорные кривые шероховатого слоя (рис. 2) и по ним определить параметры микрогеометрии  $b$  и  $v$ .

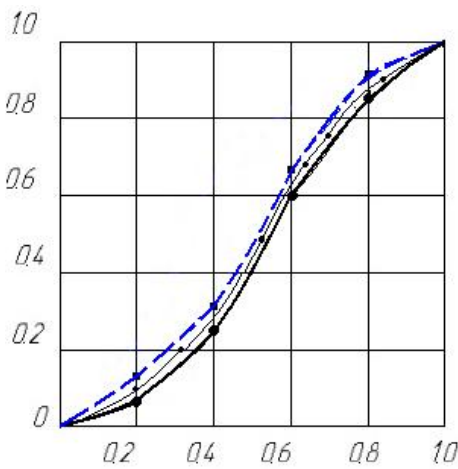


Рис. 2. Опорные кривые шероховатого слоя сердечника  
 ————— – поперечное сечение;  
 - - - - - – продольное сечение;  
 - · - · - - – усредненное значение

Ввиду незначительного различия в параметрах микрогеометрии в поперечном и продольном сечениях (см. рис. 2) возможно использование усредненных значений показателей опорной кривой:  $b=1,9$ ;  $v=1,9$ ;  $t_{pc} = 0,503$ . Здесь  $t_{pc}$  – усредненное значение опорной кривой шероховатого слоя сердечника, характеризующее относительное количество материала в шероховатом слое сердечника.

Исследование образцов после различного числа переходов свидетельствует о существенном изменении параметров шероховатости сердечника с увеличением суммарной вытяжки проволоки.

Графическое изображение изменения параметра шероховатости сердечника по шкале  $R_z$  после каждого перехода волочения сталемедной проволоки приведено на рис. 3. По мере увели-

чения переходов шероховатость сердечника монотонно уменьшается.

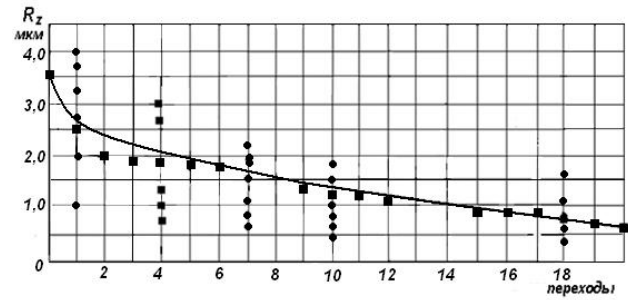


Рис. 3. Изменение шероховатости поверхности сердечника по переходам сталемедной проволоки при волочении с ультразвуковой и электролитоплазменной очисткой:  
 ————— – расчетные значения;  
 ■ – средние экспериментальные значения

Обработка экспериментальных данных позволила установить зависимость между высотными параметрами шероховатости, вытяжкой и усредненным значением опорной кривой шероховатого слоя, которая описывается выражением

$$R_z = \frac{R_{zu}}{1 + 2\sqrt{\mu_c t_p}}, \quad (8)$$

где  $R_{zu}$  – исходный параметр шероховатости поверхности сердечника по шкале  $R_z$ ;  $\mu_c$  – суммарная вытяжка за  $n$  переходов;  $\mu_c = \mu_i n$ ;  $n$  – количество переходов;  $\mu_i$  – единичная вытяжка за  $i$ -й переход;  $t_p$  – среднеинтегральное значение функции опорной кривой шероховатого слоя сердечника.

Значения параметров шага микронеровностей иллюстрированы рис. 4. Сопоставление графиков на рис. 2, 3 и 4 свидетельствует о том, что шаговые параметры с увеличением количества переходов уменьшаются подобно высотным параметрам, но менее интенсивно. Обработка экспериментальных данных показала, что изменение шаговых параметров с увеличением количества переходов удовлетворительно описывается зависимостью

$$S = \left( \frac{S_{исх}}{1 + 2\sqrt{\mu_c t_p}} \right)^{0,33}, \quad (9)$$

где  $S_{исх}$  – исходный шаговый параметр шероховатости поверхности сердечника;  $\mu_c$  – суммарная вытяжка за  $n$  переходов;  $\mu_c = \mu_i n$ ;  $n$  – количество переходов;  $\mu_i$  – единичная

вытяжка за  $i$ -й переход;  $t_p$  – среднеинтегральное значение функции опорной кривой шероховатого слоя сердечника.

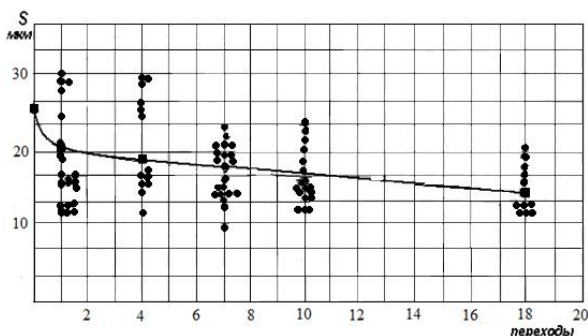


Рис. 4. Изменение шаговых параметров поверхности сердечника по переходам сталемедной проволоки при волочении с ультразвуковой и электролитоплазменной очисткой:  
 ———— – расчетные значения; ■ – средние экспериментальные значения

Аналогичный характер изменения высотных и шаговых параметров подтверждается также аналогичными опорными кривыми (см. рис. 2), построенными по профилограммам шероховатости, замеренных в продольном и в поперечном сечениях биметаллической проволоки. Расхождение между расчетными и средними значениями экспериментальных данных параметров шероховатости не превышает 4% (см. рис. 2-4).

Значение параметров шероховатости поверхности сердечника позволяет оценить их влияние на условие затекания более мягкого материала в микровпадины более твердой компоненты биметаллической проволоки с обеспечением сцепляемости оболочки и сердечника.

Рассмотрим условие заполнения микровпадины на контактной поверхности сталемедной проволоки. Материал оболочки, являясь более мягкой компонентой, затекает в микровпадины более твердой компоненты сердечника в процессе волочения.

Для упрощения анализа напряженно-деформированного состояния при затекании материала оболочки в микровпадины сердечника смоделируем шероховатость сердечника микровыступами и микровпадинами прямоугольной формы (рис. 5).

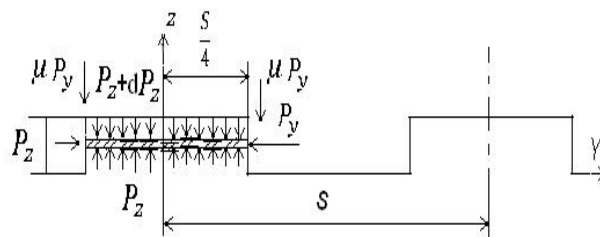


Рис. 5. Схема шероховатости сердечника микровыступами и микровпадинами прямоугольной формы

Безразмерное давление, необходимое для затекания материала оболочки в микровпадину сердечника до ее дна, определим по решению Ю. Бочарова [15], преобразованному применительно к смоделированному микрорельефу:

$$\frac{P}{\bar{\sigma}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \left( e^{\frac{8fR_z}{S}} - 1 \right), \quad (10)$$

где  $R_z$  и  $S$  – соответственно высоты и шаг микронеровностей;  $P_1$  – давление сопротивления затеканию материала оболочки в микровпадину, определяемое трением о ее стенки;  $\bar{\sigma}$  – эффективное напряжение течения материала оболочки;  $f$  – коэффициент трения оболочки о сердечник.

Безразмерное межслойное давление в очаге деформации при волочении определяется зависимостью [16]

$$\frac{P}{\bar{\sigma}} = \left[ 1 - \frac{1}{2}(2 - ac)(q + 1,6D) + (1 + ac) \ln \mu \right], \quad (11)$$

где  $P$  – нормальное давление по длине очага деформации;  $q$  – коэффициент противонапряжения, равный  $\sigma_q/P$  (здесь  $\sigma_q$  – напряжение противонапряжения, определяемое как отношение силы противонапряжения  $Q$  к исходной площади поперечного сечения проволоки);  $a = f \operatorname{ctg} \alpha$ ;  $c = 1 - q$  – параметр противонапряжения.

Приравняв уравнения (10) и (11) и решая относительно соотношения параметров шероховатости  $\frac{R_z}{S}$ , получим:

$$\frac{R_z}{S} = \frac{1}{8\mu} \ln \left\{ 1 + \frac{2}{\sqrt{3}} \left[ 1 - \frac{1}{2}(2 - ac)(q + 1,6D) + (1 + ac) \ln \mu \right] \right\}. \quad (12)$$

Здесь  $R_z$  и  $S$  – текущие значения высотных и шаговых параметров шероховатости сердечника по переходам.

С учетом формул (8) и (9) уравнение (12) преобразуется к виду

$$\frac{R_{zu}}{S_u} = \frac{1}{8\mu} \left( \frac{1 + 2\sqrt{\mu_c t_p}}{S_u} \right)^{0,66} \ln \left\{ 1 + \frac{2}{\sqrt{3}} \left[ 1 - \frac{1}{2}(2 - ac)(q + 1,6D) + (1 + ac) \ln \mu \right] \right\}. \quad (13)$$

Полученное уравнение позволяет учесть ограничения, накладываемые на выбор способа формирования и параметров исходного микро-рельефа  $R_{zu}$  и  $S_u$  поверхности сердечника, с целью полного затекания материала оболочки в его микровпадины и обеспечения надежного сцепления контактных поверхностей оболочки и сердечника.

#### Список литературы

1. Контактное трение в процессах обработки металлов давлением / А.Н. Леванов, В.Л. Колмогоров, С.П. Буркин и др. М.: Металлургия, 1976. 416 с.
2. Справочник по триботехнике / под ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. Т.1. Теоретические основы. М.: Машиностроение, 1989. 400 с.
3. Огарков Н.Н., Шеметова Е.С. Влияние параметров шероховатости на сцепление оболочки и сердечника при волочении биметаллической проволоки // Современные методы конструирования и технологии металлургического машиностроения: междунар. сб. науч. трудов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. С. 15–17.
4. Аркулис Г.Э., Махнеева Е.К. Влияние дробности деформации при волочении на механические свойства биметаллической проволоки // Сталь. 1971. №7. С. 669–670.
5. Соколов А.А., Распопова Т.Н., Костокрызов И.Д. Влияние шероховатости поверхности на эксплуатационные характеристики проволоки и технологические факторы ее изготовления. Магнитогорск: ВНИИМетиз, 1984. 22 с. Деп. В Черметинформации 19.02.85, № 2801 чм – 85.
6. Эффективный способ подготовки поверхности проволоки под покрытие / А.А. Мамыкина, Ю.П. Балаков, А.И. Чувашов и др. // Производство металлоизделий с защитными покрытиями. М., 1984. С. 44–46.
7. Николаев В.А., Коваленко Л.А., Васильев А.Г. Параметры волочения при различной шероховатости заготовки // Изв. вузов. Черная металлургия. 1987. № 9. С. 45–46.
8. Мазур В.Л., Гончаров Ю.В. Особенности развития микро-рельефа поверхности металла при волочении // Металлы. 1991. №6. С. 59–66.
9. Огарков Н.Н. Расчет степени переноса микро-рельефа поверхности вала на прокатываемую полосу. Магнитогорск, 1995. 10 с. Деп. в ВИНТИ 10.01.95, №2 – В 1995.
10. Montmitonnet P., Delamare F7 Calcul de l'épaisseur d'un revêtement métallique au cours d'un formage multipasse // Revue de Métallurgie. 1986. № 7/8. P. 347–354.
11. Ogarkov N.N., Nalimova M.V. The analytical method of defining the influence of machining the surface of the wire upon the minimum thickness of the coating of the wire at drawing. Journal for technology of plasticity. Novi Sad, Yugoslavia. 1997. Vol. 22, №1–2. 23–29.
12. Огарков Н.Н., Шеметова Е.С. Условие контакта между сердечником и оболочкой при волочении биметаллической проволоки // Сталь. 2010. № 12. С. 48–49.
13. Огарков Н.Н., Шеметова Е.С. Оценка устойчивости пластической деформации оболочки при волочении биметаллической проволоки // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2008. №1. С. 31–34.
14. Огарков Н.Н., Тулупов О.Н., Корчунов А.Г. Определение упругой деформации волюки при протягивании заготовки в очаге деформации гиперболической формы // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Носова. 2012. №2. С. 90–92.
15. Bocharov Y., Kobayashi S. and Tomsen E.G. «The Effect of Vibration on Plastic Flow in Coining», Trans. ASME, Series B.I. Eng. Ind. 84. 1962. P. 502–508.
16. Производство метизов / Шахпазов Х.С., Недовизий И.Н., Орничев В.И. и др. М.: Металлургия, 1977. 392 с.

Материал поступил в редакцию 22.03.16.

#### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

DOI:10.18503/1995-2732-2016-14-2-38-43

### STUDY OF THE EFFECT OF THE CORE ROUGHNESS PARAMETERS ON ADHESION PERFORMANCE IN A COPPER-CLAD STEEL WIRE DRAWING OPERATION

**Ogarkov Nikolay Nikolaevich** – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: mgtu@magtu.ru.

**Platov Sergey Iosifovich** – D.Sc. (Eng.), Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: psipsi@mail.ru.

**Shemetova Elena Sergeevna** – Teaching Assistant, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: hellensh88@list.ru.

**Nekit Vladimir Afanasievich** – Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: Vladimir@Nekit.info.

**Chouvet Benjamin Marie, Denis** – Student, Mechanical Engineering Faculty of Technology, Jean Monnet University, Saint Etienne, France.

**Abstract.** A theoretical descriptive method to describe the reference curve across the entire thickness of a rough layer has been elaborated. Considering that the role of microroughness in the generation of the resulting microgeometry of a contact surface between a sheath and a core may vary at a different contact, it is recommended to take an average roughness value for the entire height of a rough layer when doing calculations. Processing of the profile graphs helped identify the microgeometry of a wire core after ultrasonic cleaning and plasma electrolytic stripping. The change of the roughness height and spacing parameters of a core was studied and relationships were identified which can be used to calculate the above parameters step by step in a copper-clad steel wire drawing operation. It was established that during a copper-clad steel wire drawing process the change of the spacing parameters of the rough layer is less intense than the change of the height parameters. Conditions were considered for elimination of microroughness at the contact surface of a copper-clad wire. Limitations were identified with regard to the choice of techniques to create the required microrelief on the core surface before drawing. This was done to ensure a complete elimination of microroughness with the help of sheathing and to ensure a tight adhesion between the contact surfaces of a bimetallic wire.

**Keywords:** Copper-clad steel wire, roughness, core, sheath, contact surface, adhesion between components of a wire, generation of a microrelief.

#### References

1. Levanov A.N., Kolmogorov V.L., Burkin S.P. *Kontaktnoe trenie v protsessakh obrabotki metallov davleniem* [Contact friction in metal forming processes]. M.: Metallurgiya, 1976, 416 p.
2. *Spravochnik po tribotekhnike* [A reference book in triboengineering]. Ed. Hebda M., Chichinadze A.V. V.1. *Teoreticheskie osnovy* [Theoretical basis]. M.: Mashinostroenie, 1989, 400 p.
3. Ogarkov N.N., Shemetova E.S. The effect of roughness on the sheath/core adhesion in a bimetallic wire drawing process. *Sovremennye metody konstruirovaniya i tekhnologii metallurgicheskogo mashinostroeniya* [Advanced engineering techniques and metallurgical engineering technology]. *Mezhdunarodnyi sbornik nauchnykh trudov* [International scientific papers]. Magnitogorsk: Publ. Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2015, pp.15-17.
4. Arkulis G.E., Makhneeva E.K. Effect of fractional deformation on the mechanical properties of a bimetallic wire. *Stal'* [Steel]. 1971, no. 7, pp. 669-670.
5. Sokolov A.A., Raspopova T.N., Kostogryzov I.D. *Vliyanie sherokhatosti poverkhnosti na ekspluatatsionnye kharakteristiki provolokii i tekhnologicheskie faktory ee izgotovleniya* [Effect of surface roughness on wire performance and the wire production technology]. Magnitogorsk: VNIIMetiz, 1984, 22 p. Dep. in Chernometinformatsiya 19.02.85, no. 2801 chm-85.
6. Mamykina A.A., Balakov Yu.P., Chuvashov A.I. et al. An effective wire surface preparation method. *Proizvodstvo metalloizdelii s zashchitnymi pokrytiyami* [Production of steel products with protective coatings]. M., 1984, pp. 44-46.
7. Nikolaev V.A., Kovalenko L.A., Vasilyev A.G. Drawing process parameters for different roughness of a workpiece. *Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya* [Proceedings of Russian Universities. Ferrous metals]. 1987, no. 9, pp. 45-46.
8. Mazur V.L., Goncharov Yu.V. Surface microrelief development in steel drawing. *Metally* [Metals]. 1991, no. 6, pp. 59-66.
9. Ogarkov N.N. *Raschet stepeni perenosa mikrorelyefa poverkhnosti valka na prokatiyaemyu polosuu* [Estimating the degree of roll surface microrelief transfer to the strip surface]. Magnitogorsk, 1995, 10 p. Dep. in VINITI 10.01.95, no. 2.
10. Montmitonnet P., Delamare F7 *Calcul de l'épaisseur d'un revêtement métallique au cours d'un formage multipasse* [Calculating the coating thickness in multi-pass rolling]. *Revue de Métallurgie* [Metallurgy Review]. 1986, no. 7/8, pp. 347-354.
11. Ogarkov N.N., Nalimova M.V. The analytical method of determining the effect of surface machining of a wire on the minimum thickness of the coating in a drawing operation. *Journal for Technology of Plasticity*. Novi Sad, Yugoslavia, 1997, vol. 22, no. 1-2, pp. 23-29.
12. Ogarkov N.N., Shemetova E.S. A condition of contact between a wire core and a sheath in a bimetallic wire drawing operation. *Stal'* [Steel]. No. 12, 2010, pp. 48-49.
13. Ogarkov N.N., Shemetova E.S. Evaluating the stability of a wire sheath forming process in a bimetallic wire drawing operation. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2008, no.1, pp. 31-34.
14. Ogarkov N.N., Tulupov O.N., Korshunov A.G. Estimating a die deformation in a hyperbolic deformation zone during a workpiece drawing operation. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2012, no. 2, pp. 90-92.
15. Bocharov Y., Kobayashi S. and Tomsen E.G. The Effect of Vibration on Plastic Flow in Coining, *Trans. ASME, Series B.I. Eng. Ind.* 84. 1962, pp. 502-508.
16. Shakhpazov Kh.S., Nedovizii I.N., Orinichev V.I. et al. *Proizvodstvo metizov* [Metalware production]. Moscow: Metallurgiya, 1977, 392 p.

Исследование влияния параметров шероховатости сердечника на сцепляемость с оболочкой при волочении сталемедной проволоки / Огарков Н.Н., Платов С.И., Шеметова Е.С., Некит В.А., Шувет Б.М., Д. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т.14. №2. С. 38–43. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-2-38-43

Ogarkov N.N., Platov S.I., Shemetova E.S., Nekit V.A., Chouvet B.M., D. Study of the effect of the core roughness parameters on adhesion performance in a copper-clad steel wire drawing operation. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2016, vol. 14, no. 2, pp. 38–43. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-2-38-43