

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ НА КОНТАКТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ НА САМОУСТАНАВЛИВАЮЩЕЙСЯ ОПРАВКЕ

А.В. Выдрин^{1,2}, К.Ю. Яковлева¹

¹ ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (ОАО «РосНИТИ»), г. Челябинск, Россия,

² Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия,

Приведены результаты одного из этапов численного исследования напряженного состояния при волочении труб на самоустанавливающейся оправке. В частности, проанализировано условие равновесного положения самоустанавливающейся оправки в очаге деформации. Оригинальность данного исследования обусловлена использованием математической модели, учитывающей реальный характер упрочнения металла и различие граничных условий на контактной поверхности трубы с волокой и оправкой. Анализ полученных результатов показал, что диапазон допускаемого изменения граничных условий на контактной поверхности может быть существенно увеличен по сравнению с принимаемым в настоящее время. С целью оценки применимости на практике полученной информации приведены результаты исследования скоростной зависимости изменения коэффициента трения для различных смазочных материалов, используемых при оправочном волочении труб. Подтверждена возможность обеспечения установленных при моделировании граничных условий на контактной поверхности с волокой и оправкой. Приведены рекомендации по применению рассмотренных смазочных материалов в зависимости от скоростного режима волочения труб.

Ключевые слова: холоднодеформированные трубы, волочение труб, самоустанавливающаяся оправка, условия равновесия, граничные условия на контактной поверхности, коэффициент трения, смазочный материал, скорость волочения.

Одним из способов интенсификации производства является рациональное использование высокоэффективных смазочных материалов. Для процессов волочения труб выбор высокоэффективных смазочных материалов является первостепенной актуальной задачей, так как определяет скорость процесса, износ инструмента и качество продукции. Наряду с этим для процесса волочения на самоустанавливающейся оправке условия трения на контактной поверхности с инструментом определенным образом влияют и на стабильность работы оправки, а именно условия ее равновесного положения в очаге деформации [1–6].

В работе [3] условие равновесного положения самоустанавливающейся оправки предлагается определять в соответствии со следующим неравенством

$$P^H \leq P^K, \quad (1)$$

где P^H , P^K – величины давления, действующие на цилиндрический и конический участки самоустанавливающейся оправки соответственно.

При этом зачастую с использованием условия (1) равновесное положение оправки оценивается только в зависимости от угла конусности оправки $\alpha_{оп}$ и коэффициента трения на контактной поверхности трубы с оправкой $f_{оп}$ [4, 7, 8].

В настоящей статье приведены результаты численного исследования условия (1) с применением математической модели, представленной в работе [9]. Применение этой математической модели обусловлено возможностью осуществления численного исследования процесса волочения с учетом реального характера упрочнения металла и уточненных граничных условий на контактной поверхности трубы с волокой и оправкой. Численное исследование реализовывали при следующих параметрах процесса волочения на самоустанавливающейся оправке:

1. Анализируемый маршрут волочения и соответствующие ему параметры деформации представлены в табл. 1.

2. Материал трубы – сталь марки 10, реологические коэффициенты которой приняты

Таблица 1

Анализируемый маршрут и параметры деформации при волочении стальных труб на самоустанавливающейся оправке

Размеры трубы, мм				Абсолютное обжатие, мм		Коэффициент вытяжки	Степень деформации, %
до деформации		после деформации		по наружному диаметру	по толщине стенки		
D_z	S_z	D_m	S_m	ΔD	ΔS	μ	ε
9,5	0,61	7,0	0,50	2,5	0,11	1,61	37,9

Таблица 2

Граничные значения коэффициентов трения на контактной поверхности трубы с волокой и самоустанавливающейся оправкой

Коэффициент трения $f_{оп}$	Коэффициент трения f_b											
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12
При разности углов $\alpha_b - \alpha_{оп} = 1^\circ$												
0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,04	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
0,05	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
0,06	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
0,07	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
0,08	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
0,09	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
0,10	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
0,11	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
0,12	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+
При разности углов $\alpha_b - \alpha_{оп} = 3^\circ$												
0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+
0,04	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
0,05	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
0,06	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
0,07	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
0,08	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
0,09	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
0,10	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
0,11	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
0,12	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Примечание. Знак «-» обозначает, что условие (1) не выполняется; знак «+» – условие (1) выполняется.

согласно данным [10], а сопротивление пластической деформации определяется выражением

$$\sigma_s = 294 + 28,91\varepsilon^{0,64} \text{ Н/мм}^2.$$

3. Параметры профилировки технологического инструмента задавали при условии обеспечения разности углов волоки и оправки $\alpha_b - \alpha_{оп}$ от 1° до 3° .

Анализ условия (1) с использованием раз-

работанной математической модели показал, что диапазон допустимого изменения граничных условий на контактной поверхности может быть существенно увеличен по сравнению с принимаемым в настоящее время. Уточненные граничные значения коэффициентов трения на контактной поверхности трубы с волокой и самоустанавливающейся оправкой представлены в табл. 2.

Анализ результатов данного численного исследования показал, что для принятых исходных данных с увеличением разности углов $\alpha_B - \alpha_{оп}$ диапазон допускаемых значений коэффициента трения увеличивается. Также установлено, что при перемещении самоустанавливающейся оправки от крайнего заднего к крайнему переднему положению очага деформации диапазон допускаемых значений коэффициента трения сужается.

Дальнейшее численное исследование энергосиловых параметров процесса волочения с использованием разработанной математической модели [9] проводилось на основе полученных результатов. Учитывая, что профилировка самоустанавливающейся оправки позволяет создать гидродинамические условия трения, исследование проводилось при отношении $f_B/f_{оп} \geq 1,0$. Полученные результаты позволили, в частности, определить зависимости изменения продольного напряжения и давлений, действующих на волоку и оправку, как функций от отношения коэффициентов трения и разности углов (рис. 1). Результаты приведены для участка начала контакта трубы с оправкой как сечения очага деформации наиболее чувствительного к изменениям напряженного состояния.

Обобщая результаты численного исследования влияния коэффициента трения на напряженное состояние при волочении на самоустанавливающейся оправке, можно сделать вывод, что обеспечение значений отношения $f_B/f_{оп}$ от 1,0 до 1,3 является рациональным с

точки зрения снижения энергосиловых параметров.

С целью оценки применимости на практике полученной информации выполнен сравнительный анализ различных смазочных материалов, используемых в технологии волочения: смазка реактивная жидкая [13], мыло, пальмовое масло, эмульсия. Исследование указанных смазочных материалов осуществляли по характеру изменения коэффициента трения от скорости волочения. Известно, что для процессов холодной деформации коэффициент трения при использовании соответствующего смазочного материала уменьшается с увеличением скорости скольжения [11, 12]. Принимая во внимание этот факт, исследование осуществляли для реальных условий работы трубоволочильных станков – при скорости волочения от 10 до 120 м/мин.

Скоростные зависимости изменения коэффициента трения для смазочных материалов, таких как мыло, пальмовое масло, эмульсия принимались согласно данным, представленным в работах [12, 14]. Для жидкого реактивного смазочного материала использовалась скоростная зависимость изменения коэффициента трения, полученная по результатам экспериментального исследования на трибометре ОАО «РосНИТИ» [15].

Результаты выполненного анализа представлены на рис. 2 в виде зависимостей изменения коэффициента трения от скорости волочения для рассматриваемых смазочных материалов.

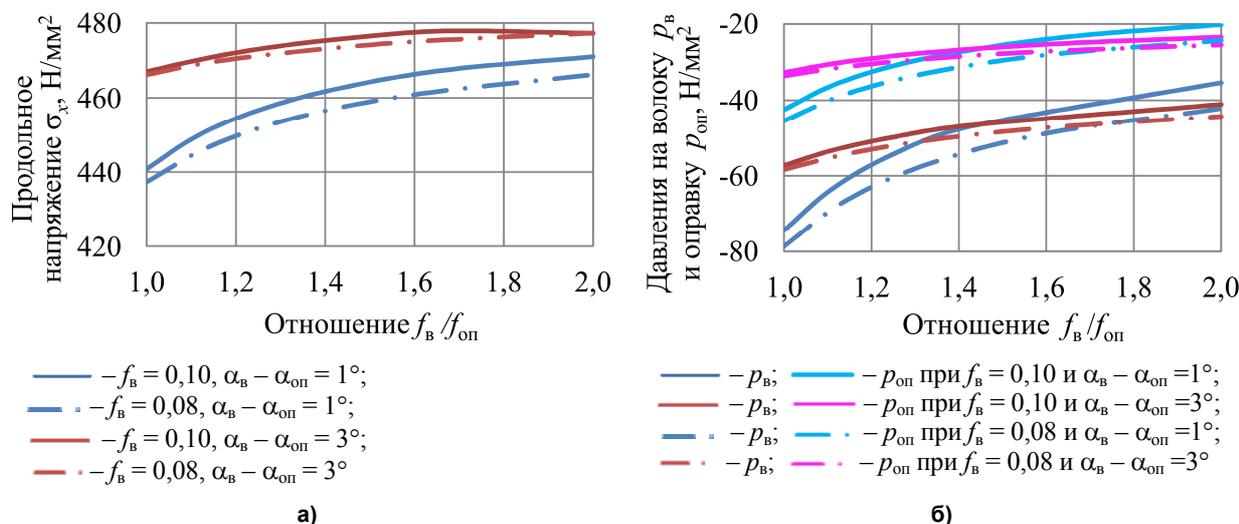


Рис. 1. Зависимости изменения силовых параметров при волочении от отношения $f_B/f_{оп}$ для участка начала контакта трубы с оправкой: а – продольное напряжение; б – давления, действующие на волоку и оправку

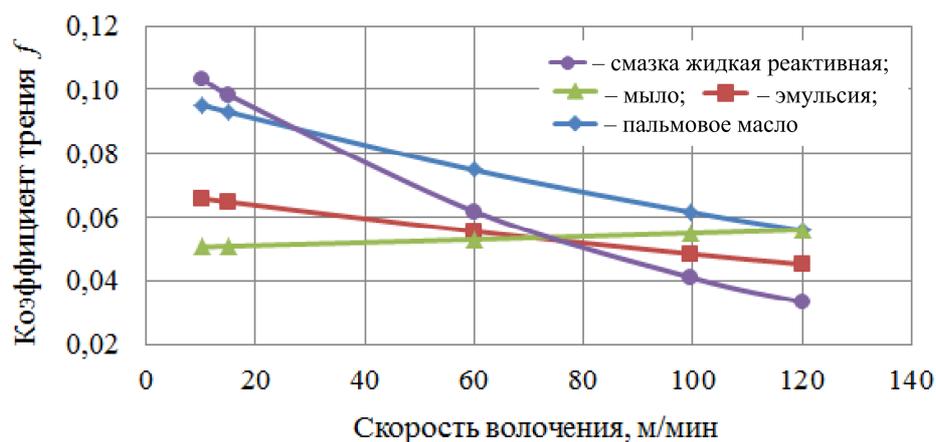


Рис. 2. Скоростные зависимости изменения коэффициента трения для смазочных материалов, используемых при волочении

Анализ данных, представленных на рис. 2, показал, что обеспечение установленных при моделировании граничных условий на контактной поверхности с волокой и оправкой (для комплекта инструмента, обеспечивающего разность углов $\alpha_b - \alpha_{оп}$ от 1 до 3°) при использовании рассматриваемых смазочных материалов вполне возможно. При этом выявлено, что применение жидкого смазочного материала эффективно с точки зрения уменьшения энергосиловых параметров при скоростях волочения более 70 м/мин. Однако при скоростях более 100 м/мин условия равновесного положения самоустанавливающейся оправки могут быть нарушены. Для труб общего назначения (без специальных требований к качеству поверхности) в качестве альтернативы жидкого смазочного материала при скоростях более 70 м/мин рационально использовать эмульсию. При менее интенсивном скоростном режиме волочения наиболее эффективным смазочным материалом является мыло.

Выводы

1. Для стабильного осуществления процесса волочения на самоустанавливающейся оправке целесообразно обеспечивать разность между углами конусности волоки и оправки от 1 до 3°.

2. Рациональные значения энергосиловых параметров (продольных растягивающих напряжений и давлений, действующих на волоку и оправку) обеспечиваются при отношении коэффициентов трения на контактной поверхности трубы с волокой и оправкой, лежащем в диапазоне от 1,0 до 1,3.

3. При волочении труб со скоростями более 70 м/мин в качестве смазочных материалов целесообразно использовать жидкие смазки или эмульсию.

4. При волочении труб со скоростями менее 70 м/мин в качестве смазочного материала целесообразно использовать мыло.

Литература

1. Шапиро, В.Я. Бухтовое волочение труб / В.Я. Шапиро, В.И. Уральский. – М.: Металлургия, 1972. – 264 с.
2. Савин, Г.А. Волочение труб / Г.А. Савин. – М.: Металлургия, 1993. – 336 с.
3. Биск, М.Б. Волочение труб на самоустанавливающейся оправке / М.Б. Биск, В.В. Швейкин. – М.: Металлургиздат, 1963. – 128 с.
4. Антимонов, А.М. Создание, исследование и внедрение новых процессов и машин для бухтового волочения труб из стали и цветных металлов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.03.05/ Антимонов Алексей Михайлович. – Екатеринбург, 1996. – 48 с.
5. Богатов, А.А. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением / А.А. Богатов, О.И. Мижирецкий, С.В. Смирнов. – М.: Металлургия, 1984. – 144 с.
6. Малевич, Н.А. Исследование моделей напряженно-деформированного состояния металла при волочении труб и разработка методики определения силовых параметров волочения на самоустанавливающейся оправке: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.05 / Малевич Николай Александрович. – М., 2007. – 201 с.
7. Шапиро, В.Я. Некоторые вопросы теории и исследования процесса волочения труб из цветных металлов и сплавов на само-

устанавливающейся оправке: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13 / Шапиро Вадим Яковлевич. – М., 1963. – 33 с.

8. Уральский, В.И. Механика очага деформации и динамика оборудования при комплексной интенсификации процессов волочения и гидропрессования: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.183/ Уральский Виктор Иванович. – М., 1970. – 45 с.

9. Выдрин, А.В. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния при волочении труб на самоустанавливающейся оправке на основе совместного применения проекционного метода и метода конечных элементов / А.В. Выдрин, К.Ю. Яковлева // Производство проката. – 2016. – № 1. – С. 26–33.

10. Третьяков, А.В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке металлов давлением / А.В. Третьяков, В.И. Зюзин. – М.: Металлургия, 1973. – 224 с.

11. Чертавских, А.К. Трение и технологическая смазка при обработке металлов дав-

лением / А.К. Чертавских, В.К. Белосевич. – М.: Металлургия, 1968. – 364 с.

12. Грудев, А.П. Трение и смазки при обработке металлов давлением. Справочник / А.П. Грудев, Ю.В. Зильберг, В.Т. Тилик. – М.: Металлургия, 1982. – 312 с.

13. Пат. 2524298 Российская Федерация, МПК С 23 С 22/05, С 23 С 22/73. Способ химической обработки труб из углеродистых и низколегированных марок стали перед волочением / А.И. Грехов, В.С. Гончаров, А.В. Дегтярев [и др.]. – № 2012124310/02; заявл. 13.06.2012; опубл. 27.07.2014, Бюл. № 21.

14. Грудев, А.П. Внешнее трение при прокатке / А.П. Грудев. – М.: Металлургия, 1973. – 288 с.

15. Выдрин, А.В. Интенсификация процесса волочения за счет расширения диапазона применимости смазочного материала / А.В. Выдрин, В.И. Кузнецов, К.Ю. Яковлева // Механическое оборудование металлургических заводов. – 2016. – № 2 (7). – С. 34–40.

Выдрин Александр Владимирович, д-р техн. наук, заместитель генерального директора по научной работе, ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (ОАО «РосНИТИ»); профессор кафедры процессов и машин обработки металлов давлением, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; vydrinav@rosniti.ru.

Яковлева Ксения Юрьевна, научный сотрудник, ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (ОАО «РосНИТИ»), г. Челябинск; yakovleva@rosniti.ru.

Поступила в редакцию 14 сентября 2017 г.

DOI: 10.14529/met170407

INVESTIGATION OF BOUNDARY CONDITIONS ON THE CONTACT SURFACE WHEN DRAWING ON FREE FLOATING-PLUG

A.V. Vydrin^{1,2}, vydrinav@susu.ru,

K.Yu. Yakovleva¹, yakovleva@rosniti.ru

¹ JSC “Russian Research Institute for the Tube and Pipe Industries” (JSC “RosNITI”), Chelyabinsk, Russian Federation,

² South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The article presents results of a numerical study of the stress state in the drawing of tubes on free floating-plug. In particular, the condition of the balance position of free floating-plug in the deformation zone is analyzed. For this study, used a mathematical model that takes into account the real

nature of the hardening of metal and the distinction in boundary conditions on the contact surface of the pipe with a die and a plug. An analysis of the results obtained showed that the range of boundary conditions on the contact surface can be significantly expanded in comparison with what is currently being accepted. The estimation of applicability in practice of the received information is given. For this purpose, the dependence of the change in friction coefficient on the drawing speed for various lubricants has been studied. The results confirmed the possibility of implementation the boundary conditions established at modeling. Recommendations are given on the use of the lubricants considered, depending on the speed drawing of pipe.

Keywords: cold pipe, drawing pipe, free floating-plug, condition of the balance, boundary conditions on the contact surface, friction coefficient, lubricant, speed of drawing.

References

1. Shapiro V.Ya., Ural'skiy V.I. *Bukhtovoe volochenie trub* [Bull-Block Drawing Pipe]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1972. 264 p.
2. Savin G.A. *Volochenie trub* [Drawing Pipe]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1993. 336 p.
3. Bisk M., Shveykin V.V. *Volochenie trub na samoustanavlivayushcheysya opravke* [Drawing Pipe with Floating-Plug] Moscow, Metallurgizdat Publ., 1963. 128 p.
4. Antimonov A.M. *Sozdanie, issledovanie i vnedrenie novykh protsessov i mashin dlya bukhtovogo volocheniya trub iz stali i tsvetnykh metallov* Dokt. Diss. [Creation, Research and Introduction of new Processes and Machines for Bull-Block Drawing of Pipes from Steel and Nonferrous Metals. Doct. Diss.]. Ekaterinburg, 1996. 48p.
5. Bogatov A.A., Mizhiritskii O.I., Smirnov S.V. *Resurs plastichnosti metallov pri obrabotke davleniem* [Resource of Metals Ductility when the Metal Forming]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1984. 144 p.
6. Malevich N.A. *Issledovanie modeley napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya metalla pri volochenii trub i razrabotka metodiki opredeleniya silovykh parametrov volocheniya na samoustanavlivayushcheysya opravke* Kand. Diss. [Reserche of Models of Stress-Strain State of Metal During Pipe Drawing and Development of a Technique for Determining the Force Parameters of Drawing on a Free Floating-Plug. Ph. D. Diss.]. Moscow, 2007. 201 p.
7. Shapiro V.Ya. *Nekotorye voprosy teorii i issledovaniya protsessa volocheniya trub iz tsvetnykh metallov i splavov na samoustanavlivayushcheysya opravke* Kand. Diss. [Some Questions of Theory and Research of Drawing Pipes the Process from Nonferrous Metals and Alloys on a Free-Floating Plug. Ph. D. Diss.] Moscow, 1963. 33 p.
8. Ural'skii V.I. *Mekhanika ochaga deformatsii i dinamika oborudovaniya pri kompleksnoi intensifikatsii protsessov volocheniya i gidroressovaniya*. Dokt. Diss. [Mechanics of Deformation Zone and Equipment Dynamics during Complex Intensification of Dragging and Hydro-Pressing Processes. Doct. Diss.]. Moscow, 1970. 45 p.
9. Vydrin A.V., Yakovleva K.Yu. *Matematicheskoe modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya pri volochenii trub na samoustanavlivayushcheysya opravke na osnove sovmestnogo primeneniya proektsionnogo metoda i metoda konechnykh elementov* [Mathematical Modeling of Stress-Strain State during Process Drawing Pipes on Free Floating-Plug Based the Joint Use of Projection Method and FEM]. *Proizvodstvo prokata*, 2016. no. 1, pp. 26–33.
10. Tret'yakov A.V., Zjuzin V.I. *Mehanicheskie svoystva metallov i splavov pri obrabotke metallov davleniem* [Mechanical Properties of Metals and Alloys in the Metals Forming]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1973. 224 p.
11. Chertavskikh A.K., Belosevich V.K. *Trenie i tehnologicheskaja smazka pri obrabotke metallov davleniem* [Friction and Lubricant for Metal Forming]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1968. 364 p.
12. Grudev A.P., Zil'berg Ju.V., Tilik V.T. *Trenie i smazki pri obrabotke metallov davleniem. Spravochnik* [Friction and Lubricant for Metal Forming]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1982. 312 p.
13. Grehov A.I., Goncharov V.S., Degtjarev A.V. *Sposob himicheskoy obrabotki trub iz uglerodistykh i nizkolegirovannykh marok stali pered volocheniem* [The Method of Chemical Treatment of Pipes from Carbonaceous and Low-Alloyed Steel Grades before Drawing]. Patent PF, no. 2524298, 2012.

14. Grudev A.P. *Vneshnee trenie pri prokatke* [External Friction during Rolling]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1973. 288 p.

15. Vydrin A.V., Kuznecov V.I., Jakovleva K.Ju. *Intensifikacija processa volochenija za schet rasshirenija diapazona primenimosti smazochного материала* *Mehanicheskoe oborudovanie metallurgicheskikh zavodov*. [Intensification of the Drawing Process by Extending the Applicability of the Lubricant]. *Mechanical Equipment of Metallurgical Plants*, 2016, no. 2 (7), pp. 34–40.

Received 14 September 2017

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Выдрин, А.В. Исследование граничных условий на контактной поверхности при волочении на самоустанавливающейся оправке / А.В. Выдрин, К.Ю. Яковлева // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2017. – Т. 17, № 4. – С. 67–73. DOI: 10.14529/met170407

FOR CITATION

Vydrin A.V., Yakovleva K.Yu. Investigation of Boundary Conditions on the Contact Surface when Drawing on Free Floating-Plug. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2017, vol. 17, no. 4, pp. 67–73. (in Russ.) DOI: 10.14529/met170407
