

УДК 621.774.2

РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КРОМОК ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ ПО ОДНОРАДИУСНЫМ СХЕМАМ ПО СПОСОБУ JSOE

Самусев С.В., д.т.н., профессор кафедры технологии и оборудования трубного производства
Жигулев Г.П., к.т.н., доцент, эксперт кафедры технологии и оборудования трубного производства
Фадеев В.А., инженер (fdv_viktor@mail.ru)

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
(119049, Россия, Москва, Ленинский пр., 4)

Аннотация. Для процесса формовки сварных прямошовных труб большого диаметра на линии ТЭСА 1420 предложены методики расчета геометрических параметров кромки заготовки и профиля деформирующего инструмента. Представлен сравнительный анализ геометрии кромки при подгибке на кромкогибочном прессе с использованием рабочих поверхностей инструмента, выполненных по эвольвентной и однорадиусной схемам. Однорадиусная схема позволяет получить геометрию кромки, удовлетворяющую требованиям качественной формовки. Для участка кромкогибочного пресса представлена методика расчета, которая позволяет вычислить геометрические параметры кромки при нагрузке и разгрузке. Определены высота подогнутой кромки, остаточные радиусы кривизны, координаты точек нагрузки и разгрузки наружного и внутреннего контура кромки трубной заготовки. В работе определены координаты кромки, сформированной инструментом, с профилем, выполненным по эвольвенте. Эвольвентный профиль инструмента является универсальным при переходе с одного типоразмера трубы на другой из унификационной группы труб. Далее в расчетах выполнен переход от профиля контура кромки, полученного по эвольвенте, к профилю, полученному по многорадиусной схеме, после чего определены фиксированные координаты точек заготовки после распружинивания. По полученным координатам проведена оценка выходных геометрических параметров кромки. Для унификационной группы 1220 – 1420 мм рассчитаны продольные деформации кромки для типоразмера 1220×10 мм и показано, что унификационные принципы гораздо проще реализуются при однорадиусном профиле инструмента. По участку кромкогибочных прессов разработана и опробована в промышленных условиях методика расчета параметров кромки трубной заготовки при использовании инструмента с контактным профилем, выполненным по эвольвенте. Предложена однорадиусная калибровка профиля кромкогибочного инструмента, обеспечивающая фиксированные координаты кромки, которая аналогична координатам при эвольвентном профиле пуансона. Расчетное значение средневзвешенного радиуса кривизны заготовки обеспечивает максимальное приближение координат профиля заготовки в фиксированных точках по обеим калибровкам (максимальное расхождение значений координат по предложенным схемам не превышает 6 – 7 %).

Ключевые слова: кромка, пресс, формовка, большой диаметр, сварная труба, очаг деформации, эвольвента.

DOI: 10.17073/0368-0797-2017-5-369-373

Сотрудниками кафедры ОМД НИТУ «МИСиС» в 2008 – 2014 гг. проведены экспериментальные исследования процесса производства сварных газонефтепроводных труб большого диаметра по способу JSOE на трубных заводах России. Особый интерес представляли исследования по определению геометрических параметров труб и энергосиловых параметров оборудования при производстве сварных труб на участках кромкогибочного пресса, пресса шаговой формовки, сборочно-сварочного стана и участке экспандирования [1 – 4].

Одновременно с этим проводились работы по разработке методик расчета режимов формоизменения заготовки по всем основным деформационным участкам линии ТЭСА-1420, отладке методик расчета и проверке результатов в производственных условиях [5 – 11].

В ряде работ приведены вычисления параметров кромки при нагрузке и разгрузке на участке кромкогибочного пресса [12 – 15], в частности высоты подогнутой кромки, остаточных радиусов кривизны, координат равномерно расположенных по ширине кромки фиксированных точек заготовки при нагрузке и разгрузке.

Координаты профиля заготовки при нагрузке определялись по кривой профиля инструмента, выполненной по эвольвенте. В расчетах выполнялся переход от эвольвенты к многорадиусной схеме, после чего определяли фиксированные координаты точек заготовки после распружинивания. По полученным координатам оценивали выходные параметры: величину подогнутой кромки Y , ширину плоского участка A и ширину участка постоянного радиуса по шаблону $B_{ш}$, ширину подогнутой кромки L_{ϕ} .

По мнению специалистов SMS MEER, для эвольвентного профиля основным преимуществом является универсальность. При переходе с одного типоразмера трубы на другой необходимо изменить длину подгибаемой кромки без замены инструмента, что положительно влияет на производительности агрегата. Недостаток этого способа нагружения заключается в сложности изготовления инструмента и расчета параметров распружинивания кромок трубной заготовки.

Эвольвенту рассчитывают по формулам:

$$Z = R \cos \varphi + R \varphi \sin \varphi; \quad (1)$$

$$K = R \sin \varphi - R \varphi \cos \varphi, \quad (2)$$

где φ – угол эвольвенты.

В системе координат ZO_1K невозможно определить параметры кромки до распушинивания и после него. Переход в систему координат XOY осуществляется по формулам

$$Y_i = (K_i - K_0) \cos \varphi_0 - (Z_i - Z_0) \sin \varphi_0; \quad (3)$$

$$X_i = (K_i - K_0) \sin \varphi_0 + (Z_i - Z_0) \cos \varphi_0. \quad (4)$$

Для упрощения моделирования процесса распушинивания кромки трубной заготовки с координатами эвольвентной кривой кромки, профиль заменяли на многорадиусную кривую, в которой соседние участки были выполнены однорадиусными и сопрягались друг с другом. Число сопрягаемых однорадиусных участков назначали в пределах 5 – 10 (рис. 1).

Для определения геометрических параметров кромки во время нагружения необходимо методом подбора вычислить радиус каждого участка R во время нагрузки:

$$\begin{aligned} \arccos\left(\frac{b}{R}\right) + \arccos\left(\frac{c}{R}\right) + (\gamma - \alpha) &= \pi; \\ b &= 0,5\sqrt{(X_1 - X_0)^2 + (Y_1 - Y_0)^2}; \\ c &= 0,5\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}; \\ \gamma &= \arcsin\left[\frac{Y_2 - Y_1}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}}\right]; \\ \alpha &= \arcsin\left[\frac{Y_1 - Y_0}{\sqrt{(X_1 - X_0)^2 + (Y_1 - Y_0)^2}}\right], \end{aligned} \quad (5)$$

где X_0, X_1, \dots, X_5 и Y_0, Y_1, \dots, Y_5 – вычисленные координаты точек концов участка по оси X и оси Y соответственно. Считаем, что радиусы первого и второго участков равны.

Предлагается вариант однорадиусного профиля кромкогибочного инструмента, что упростит расчет геометрических параметров кромки в момент нагрузки и распушинивания. В процессе исследования изучались вопросы унификации сменного технологического инструмента как для многорадиусных, так и для однорадиусных схем [16 – 20]. Наибольшие возможности для унификации представляет однорадиусная калибровка на участке открытого профиля, где суммарный угол формовки не превышает значения диапазона углов в 180 – 200 град, что применимо к суммарным углам

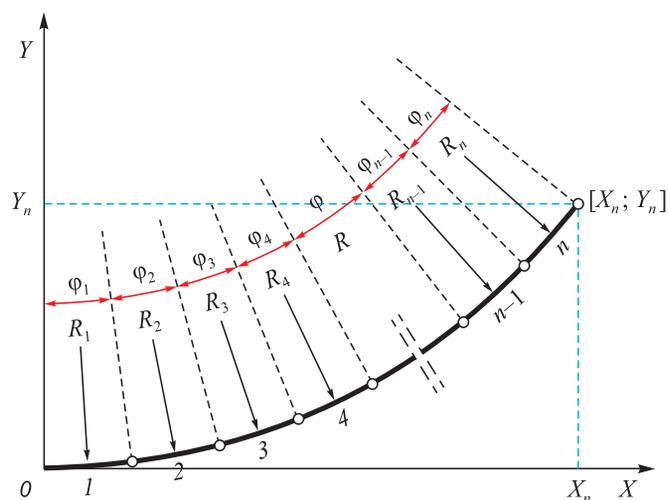


Рис. 1. Схема профиля многорадиусной кромки, построенной из сопряженных однорадиусных участков

Fig. 1. The profile scheme of a multi-radial edge constructed from conjugated single-radial sections

формовки кромки заготовки на участке кромкогибочных прессов линии ТЭСА 1420 [16, 19].

В работе оценивали тот факт, что эвольвентный профиль наиболее эффективен при подборе и расчете параметров унификационных групп труб. Унификационные принципы гораздо проще реализуются при однорадиусном профиле инструмента, что убедительно показано практическими исследованиями в этой области. В этих работах предложена методика определения границ диапазона унификационной группы труб по максимально допустимой продольной деформации кромок заготовки. В таблице представлены результаты расчета параметров для двух унифицированных групп, для толщин по диаметру 1220 и 1420 мм.

Для унификационной группы 1220 – 1420 мм был проведен расчет деформации кромки для типоразмера 1220×10 мм, который показал, что полученные значения деформации растяжения кромки попадают в область упругих деформаций ($\epsilon_{кр} = 0,0025$ при $\epsilon_t = 0,00275$).

Для оценки эффективности процесса унификации подгибки кромок рассмотрена методика с применением однорадиусного пуансона взамен профиля пуансона, выполненного по эвольвенте. По условию начального проектирования инструмента, новый однорадиусный профиль должен обеспечить заданную высоту подъема распушиненной кромки с величиной Y'' и кривизну по ширине кромки, при этом данные параметры должны обеспечиваться на всем диапазоне сортамента (см. таблицу). Для этого предлагаются варианты выбора однорадиусного профиля пуансона.

При расчете деформаций при однорадиусной подгибке кромки для диаметра 1420 мм определен унификационный радиус, равный 600 мм, для диам. 1220 мм – радиус, равный 586 мм. Деформации для обоих вариантов находятся в области упругих деформаций

Геометрические параметры трубной заготовки процесса подгибки кромки

Geometrical parameters of the edge hem process

Толщина трубной заготовки, h , мм	Длина кромки, $L_{кр}$, мм	Высота подгибки кромки по технической карте завода, $Y''_{завод}$, мм	Высота подгибки кромки расчетная, $Y''_{расчет}$, мм	Высота подгибки кромки, сформованной по однорадиусной схеме, $Y''_{однорад}$, мм	Средневзвешенный радиус нагрузки, $R_{нагр.сред}$, мм	Радиус нагрузки для унификационной группы, $R_{нагр.однорад.}$, мм
диаметр 1220 мм						
10,0	340	42 ±5	37,5	37,8	579	586
14,0	325	42 ±5	43,6	45,8	586	
16,5	320	42 ±5	45,7	48,5	589	
17,8	320	45 ±5	47,4	50,0	589	
диаметр 1420 мм						
15,7	315	42 ±5	46,7	43,0	592	600
16,8	310	37 ±5	41,0	42,0	594	
18,7	308	37 ±5	42,0	42,0	595	
19,2	303	35 ±5	39,0	39,0	598	
19,5	299	35 ±5	40,0	38,0	600	
21,6	288	33 ±5	38,5	38,0	606	

($\epsilon_{кр} = 0,0021$ при $\epsilon_t = 0,00275$), а геометрические параметры кромок заготовки близки (рис. 2).

Как видно из рис. 2, геометрические параметры кромки заготовки после распружинивания, представленные по трем вариантам калибровок, отличаются незначительно.

Выводы. В результате проведенных теоретических исследований выявлены особенности формоизменения трубной заготовки на производственном участке подгибки кромок линии ТЭСА 1420 и разработаны

расчетные методики определения геометрических параметров кромки при формовке по различным калибровкам пуансона.

Методики позволяют оценить геометрические параметры кромки заготовки при формоизменении, прогнозировать безопасные режимы деформации через проектирование профильного деформирующего инструмента.

На участке подгибки кромок установлено, что в количественном соотношении расхождение геометрических параметров кромок при подгибке пуансоном с эвольвентным профилем в сравнении с формовкой пуансоном, у которого рабочий профиль выполнен по однорадиусной схеме, не превышает 6 – 7 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Самусев С.В., Больдт В.В. К расчету механизма гофрообразования трубной заготовки при производстве прямошовных сварных труб // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 11. С. 22 – 24.
2. Самусев С.В., Люскин А.В., Романцов А.И. Разработка методики расчета параметров инструмента для унификации групп сварных труб на участке кромкогибочных прессов // Изв. вуз. Черная металлургия. 2013. № 3. С. 20 – 22.
3. Самусев С.В., Величко А.А., Люскин А.В. и др. Методика расчета параметров формоизменения трубной заготовки в линии ТЭСА-1420 ЗАО «Ижорский трубный завод» // Изв. вуз. Черная металлургия. 2009. № 5. С. 36 – 40.
4. Жигулев Г.П., Самусев С.В., Фадеев В.А. и др. Расчет энергосиловых параметров процесса гибки на участке производства сварных труб для магистральных трубопроводов // Изв. вуз. Черная металлургия. 2014. № 7. С. 39 – 42.
5. Fan Lifeng, Gao Ying, Li Qiang, Xu Hongshen. Quality control on crimping of large diameter welding pipe // Chinese Journal of Mechanical Engineering. 2012. Vol. 25. Issue 6. P. 1264 – 1273.

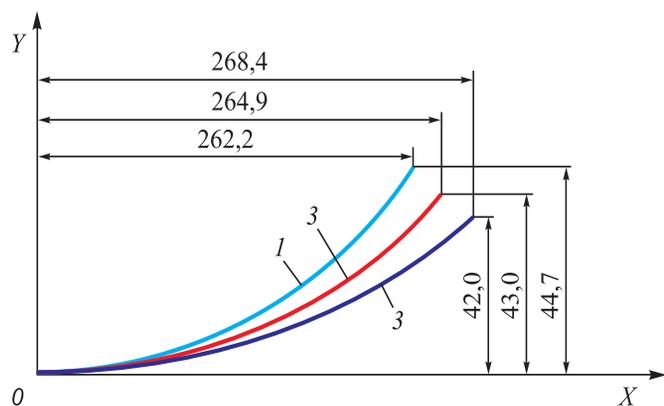


Рис. 2. Геометрические параметры кромки заготовки, сформованной по заводским данным, по однорадиусной и эвольвентной схемам НИТУ «МИСиС»:

1 – эвольвента расчета ТК завода; 2 – однорадиусная кромка по расчету НИТУ «МИСиС»; 3 – эвольвента расчета НИТУ «МИСиС»

Fig. 2. Parameters of the billet's edge formed on factory data, on single-radial scheme of NUST "MISIS" and involute scheme NUST "MISIS": 1 – involute calculation by plant; 2 – one-radial edge on calculation by NUST "MISIS"; 3 – involute calculation by NUST "MISIS"

6. Tsuru E., Akata J., Shinohara K., Uoshida T. Numerical and experimental evaluation of formability and buckling resistance for high strength steel UOE pipe // *Zairyo to Prosesu CAMP ISIJ*. 2010. Vol. 23. No. 1(2). P. 297 – 300.
7. Ren Qiang, Li Dayong, Zhou Tianxia etc. The simulation of UOE pipe forming by three dimensional finite element method // *Journal of Netshape Forming Engineering*. 2011. No. 3(6). P. 80 – 84.
8. Raffo J., Toscano R.G., Mantovano L., Dvorkin E.N. Numerical Model of UOE Steel Pipe: Forming Process and Structural Behavior. In: *Mecanica Computacional*. Elaskar S.A., Pilotta E.A., Torres G.A. eds. 2007. Vol. 26. No. 10. P. 317 – 333.
9. Shiro Kobayashi, Soo-ik Oh, Taylan Altan. *Metal forming and the finite element method*. – New York: Oxford University Press, 1989. – 377 p.
10. Herynk M.D., Kyriakides S., Onoufriou A. etc. Effects of the UOE/ UOC pipe manufacturing processes on pipe collapse pressure // *International Journal of Mechanical Sciences*. 2007. Vol. 49(5). P. 533 – 553.
11. Hillenbrand H.G., Liessem A., Biermann K. etc. “Development and Production of Linepipe Steels in Grade X100 and X120” // *Seminar of X120 Grade High Performance Pipe Steels, Technical Conference, Beijing, 28-29. 2005. P. 1 – 11.*
12. Ильюшин А.А. Труды. Т. 1 (1935 – 1945) / Составители: Е.А. Ильюшина, М.Р. Короткина. – М.: Физматлит, 2003. – 352 с.
13. Феодосьев В.И. Соппротивление материалов: Учебник для вузов. – 11-е изд. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 592 с.
14. Ильюшин А.А. Пластичность. – М.: Гостехиздат, 1948. – 376 с.
15. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. – М.: Машиностроение, 1968. – 399 с.
16. Рымов В. А., Полухин П. И., Потапов И. Н. Совершенствование производства сварных труб. – М.: Металлургия, 1983. – 286 с.
17. Данченко В.Н., Коликов А.П., Романцев Б.А. Технологии трубного производства. – М.: Интернет Инжиниринг, 2002. – 640 с.
18. Матвеев Ю.М. Теоретические основы производства сварных труб. – М.: Металлургия, 1967. – 167 с.
19. Коликов А.П., Романенко В.П. Машины и агрегаты трубного производства: Учебное пособие для вузов. – М.: ИД МИСИС, 1998. – 536 с.
20. Романцев Б.А., Гончарук А.В., Вавилкин Н.М. Трубное производство: Учебник. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ИД МИСИС, 2011. – 970 с.

Поступила 12 ноября 2015 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2017. VOL. 60. NO. 5, pp. 369–373.

“JCOE” CALCULATION OF GEOMETRIC PARAMETERS OF PIPE BILLET’S EDGES BY SINGLE-RADIAL SCHEMES

S.V. Samusev, G.P. Zhigulev., V.A. Fadeev

DOI: 10.17073/0368-0797-2017-5-369-373

National University of Science and Technology “MISIS” (MISIS), Moscow, Russia

REFERENCES

Abstract. Methods for calculating the geometrical parameters of edge of the billet and the profile of the deforming tool are proposed for the process of forming welded large-diameter longitudinal pipes on the TESA 1420 line. A comparative analysis of geometry of the edge at the hem on the edge press was performed using the working surfaces of the tool, made by involute and single-radial schemes. Single-radial scheme allows to get the edge geometry that meets the technical requirements. For the section of an edge press the calculation procedure is presented, which allows to calculate the geometrical parameters of the edge during loading and unloading. Height of the bent edge, the residual radii of curvature, coordinates of the points of loading and unloading of outer and inner contours of the pipe billet edge have been defined. The involute profile of the tool is universal when changing one pipe size to another from a unifying pipe group. Further, in the calculations, a transition was made from profile of edge contour obtained by involute to the profile obtained by the multi-radial scheme, after which the fixed coordinates of the billet’s points were determined after unspringing. From the obtained coordinates, the output geometric parameters of the edge were estimated. For the unification group of 1220 – 1420 mm the longitudinal deformations of the edge for the size 1220×10 mm have been calculated and it was shown that the unification principles are much easier to implement with a single-radial profile of the tool. A technique for calculating the parameters of the edge of a pipe billet was developed and tested in the field of edge-bending presses using an instrument with a contact profile of a tool made by an involute. A one-dimensional calibration of the profile of an edge-bending tool is proposed, which provides fixed coordinates of the edge, similar to the coordinates of the involute profile of the punch. The calculated value of the weighted average radius of billet’s curvature ensures maximum approximation of the profile coordinates of the billet at fixed points for both calibrations (maximum divergence of coordinates according to the proposed schemes does not exceed 6 – 7 %).

Keywords: edge, press forming, large diameter welded pipe, deformation zone, involute.

1. Samusev S.V., Bol’dt V.V. Computation of corrugation mechanism of tube stock at production of longitudinal welded tubes. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2010, no. 11, pp. 22–24. (In Russ.).
2. Samusev S.V., Lyuskin A.V., Romantsov A. I. Calculating tool parameters for standartized welded-pipe groups in edge-bending presses. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2013, no. 3, pp. 20–22. (In Russ.).
3. Samusev S.V., Velichko A.A., Lyuskin A.V., Andreev Y.P., Vorontsov A.N. Methods of calculating the parameters of forming tubular billets in line TESA 1420 CJSC of CJSC “Izhora pipe plant”. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2009, no. 5, pp. 36–40. (In Russ.).
4. Zhigulev G.P., Samusev S.V., Fadeev V.A. Calculation of energy-power parameters of bending process in production of welded pipes for gas pipelines. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2014, no.7, pp. 39–42.
5. Fan Lifeng, Gao Ying, Li Qiang, Xu Hongshen. Quality Control on Crimping of Large Diameter Welding Pipe. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*. 2012, vol. 25, Issue 6, pp. 1264–1273.
6. Tsuru E., Akata J., Shinohara K., Uoshida T. Numerical and experimental evaluation of formability and buckling resistance for high strength steel UOE pipe. *Zairyo to Prosesu = CAMP ISIJ*. 2010, vol. 23, no. 1(2), pp. 297–300.
7. Ren Qiang, Li Dayong, Zhou Tianxia etc. The simulation of UOE pipe forming by three dimensional finite element method. *Journal of Netshape Forming Engineering*. 2011, no. 3(6), pp. 80–84 (in Chin.).
8. Raffo J., Toscano R. G., Mantovano L., Dvorkin E. N. Numerical Model of UOE Steel Pipe: Forming Process and Structural Behavior. In: *Mecanica Computacional*. Elaskar S.A., Pilotta E.A., Torres G.A. eds. 2007, vol. 26, no. 10, pp. 317–333.
9. Shiro Kobayashi, Soo-ik Oh, Taylan Altan. *Metal forming and the finite element method*. New York: Oxford University Press, 1989, 377 p.

10. Herynk M.D., Kyriakides S., Onoufriou A., Yun H.D. Effects of the UOE/UOC pipe manufacturing processes on pipe collapse pressure. *International Journal of Mechanical Science*. 2007, vol. 49(5), pp. 533–553
11. Hillenbrand H.G., Liessem A., Biermann K., Heckmann C.J., Schwinn V. “Development and Production of Linepipe Steels in Grade X100 and X120”. *Seminar of X120 Grade High Performance Pipe Steels, Technical Conference, Beijing, 28-29, 2005*, pp. 1–11.
12. Il'yushin A.A. *Trudy. T. 1* [Proceedings. Vol. 1]. Il'yushina E.A., Korotkina M.R. eds. Moscow: Fizmatlit, 2003, 352 p. (In Russ.).
13. Feodos'ev V.I. *Soprotivlenie materialov: uchebnik dlya vuzov* [Strength of materials: Textbook for universities]. Moscow: Izdatel'stvo MGTU im. N.E. Bauman, 2003, 592 p. (In Russ.).
14. Il'yushin A.A. *Plastichnost'* [Plasticity]. Moscow: Gostekhizdat, 1948, 376 p. (In Russ.).
15. Malinin N.N. *Prikladnaya teoriya plastichnosti i polzuchesti* [Applied theory of plasticity and creep]. Moscow: Mashmnoostroenie, 1968, 399 p. (In Russ.).
16. Rymov V.A., Polukhin P.I., Potapov I.N. *Sovershenstvovanie proizvodstva svarnykh trub* [Strongly production of welded pipes]. Moscow: Metallurgiya, 1983, 286 p. (In Russ.).
17. Danchenko V.N., Kolikov A.P., Romantsev B.A. *Tekhnologii trubnogo proizvodstva* [Technologies of pipe production]. Moscow: Intermet inzhiniring, 2002, 640 p.
18. Matveev Y.M. *Teoreticheskie osnovy proizvodstva svarnykh trub* [Theoretical basis of welded pipes production]. Moscow: Metallurgiya, 1967, 167p. (In Russ.).
19. Kolikov A.P., Romanenko V.P. *Mashiny i agregaty trubnogo proizvodstva: uchebnoe posobie dlya vuzov* [Machinery and pipe production units: Textbook for universities]. Moscow: ID MISiS, 1998, 536 p. (In Russ.).
20. Romantsev B.A., Goncharuk A.V., N.M. Vavilkin A.V. *Trubnoe proizvodstvo: ucheb.* [Pipe production: Textbook]. Moscow: ID MISiS, 2011, 970 p. (In Russ.).

Information about the authors:

S.V. Samusev, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair “Technology and Equipment for Pipe Production”

G.P. Zhigulev, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair “Technology and Equipment for Pipe Production”

V.A. Fadeev, Engineer (fdv_viktor@mail.ru)

Received November 12, 2015