

УДК 621.774.2:531.7

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ПОДГИБКЕ КРОМОК В ЛИНИИ ТЭСА 1420

*Самусев С.В., д.т.н., профессор кафедры технологии и оборудования
трубного производства (sergei18.52@mail.ru)*

Товмасын М.А., аспирант кафедры технологии и оборудования трубного производства

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

Аннотация. Представлен анализ результатов численных и экспериментальных исследований на участке подгибки кромок линии 1420. В результате анализа установлено влияние прикромочной зоны заготовки на качество сварных готовых труб. Установлено, что геометрия кромок заготовки в дальнейшем влияет на параметры заготовки на формовочном участке прессов, сборочно-сварочного стана и механического экспандера. Определены контактные и неконтактные участки прикромочной области заготовки и инструмента прессы подгибки кромок. Выявлено, что отклонения по геометрии кромки в дальнейшем влияют на качество сварного соединения и геометрию прикромочной зоны после сборки и сварки. Данные отклонения в дальнейшем приводят к таким дефектам в прикромочной зоне, как смещение продольных кромок и отклонение от теоретической окружности. Проведен ряд математических и экспериментальных исследований по геометрическим параметрам трубной заготовки при подгибке кромок, где утверждается о том, что прикромочная область трубной заготовки при нагрузке имеет форму верхнего деформирующего инструмента, так как трубная заготовка при нагрузке облегает ее. Деформирующий инструмент прессы подгибки кромок имеет эвольвентный профиль, т. е. подогнутая часть кромки в момент нагрузки в области контакта должна иметь профиль эвольвенты. Для выявления характера распределения кривизны трубной заготовки были проведены исследования формоизменения трубной заготовки с использованием современных компьютерных систем на участке подгибки кромок. По результатам проведенных исследований определили область контакта деформирующего инструмента и трубной заготовки, а также координаты контура по всей ширине трубной заготовки. Областью контакта заготовки и деформирующего инструмента является прикромочная зона трубной заготовки, которая контактирует с нижним деформирующим инструментом – матрицей и верхним деформирующим инструментом – пуансоном. По результатам исследований выявлено, что прикромочная область трубной заготовки не полностью облегает верхний деформирующий инструмент и имеет как контактные, так и неконтактные участки. Следовательно характер распределения кривизны кромки трубной заготовки и профиля пуансона различный, а известные методики расчета требуют доработки. Определены основные параметры трубной заготовки при подгибке кромок. Проведен сравнительный анализ результатов измерений геометрии кромки экспериментальными и расчетными методами.

Ключевые слова: электросварные трубы большого диаметра, подгибка кромок, трубная заготовка, метод фотограмметрии, аналитический метод.

DOI: 10.17073/0368-0797-2017-3-187-191

При подгибке кромок листовой заготовки основное изменение претерпевает прикромочная зона с левой и правой сторон. На рис. 1 представлен очаг деформации прикромочной области трубной заготовки с правой стороны [1, 2].

В процессе формоизменения исходной трубной заготовки участок кромки меняет кривизну при подгибке кромок, при пошаговой формовке (в зависимости от типоразмера трубы), сборке и экспандировании [3 – 6]. Отклонение по геометрии кромки трубной заготовки после первого деформационного процесса заметно сказывается на геометрии прикромочной зоны после последующих процессов. Отклонения по геометрии кромки влияют на качество сварного соединения и геометрию прикромочной зоны после сборки и сварки [7 – 9]. Данные отклонения в дальнейшем приводят к таким дефектам в прикромочной зоне, как смещение продольных кромок, отклонение от теоретической окружности и т. п.

Проведен ряд математических и экспериментальных исследований по определению геометрических пара-

метров трубной заготовки при подгибке кромок. Установлено, что прикромочная область трубной заготовки при нагрузке имеет форму верхнего деформирующего инструмента, так как трубная заготовка при нагрузке облегает ее. Деформирующий инструмент прессы подгибки кромок (ППК) имеет эвольвентный профиль, т. е. подогнутая часть кромки в момент нагрузки в области контакта должна иметь профиль эвольвенты [10 – 14].

Для выявления характера распределения кривизны трубной заготовки проведены исследования формоизменения трубной заготовки с использованием современных компьютерных систем на участке подгибки кромок [15 – 18].

По результатам проведенных исследований определена область контакта деформирующего инструмента и трубной заготовки, а также координаты контура по всей ширине трубной заготовки [19 – 21].

Областью контакта заготовки и деформирующего инструмента является прикромочная зона трубной заготовки, представленная на рис. 1, которая контактирует

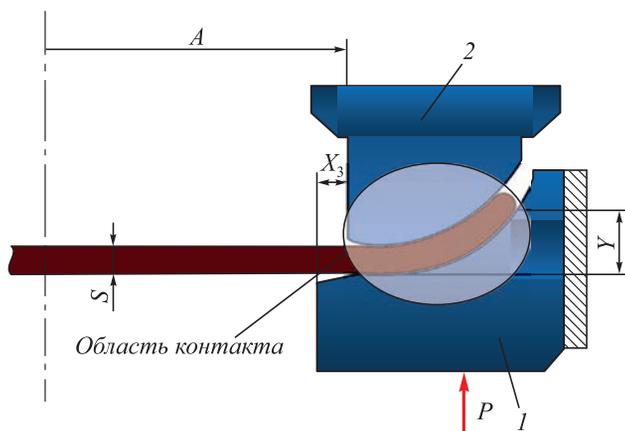


Рис. 1. Схема настройки рабочего инструмента ППК:
1 – матрица; 2 – пуансон

Fig. 1. Configuration scheme of the working tool:
1 – matrix; 2 – punch

с нижним деформирующим инструментом (матрица) и верхним деформирующим инструментом (пуансон).

По результатам исследований выявлено, что прикромочная область трубной заготовки не полностью облегает верхний деформирующий инструмент и имеет как контактные, так и неконтактные участки. Следовательно характер распределения кривизны кромки трубной заготовки и профиля пуансона различный, а методики расчета, представленные в работах [3, 4], требуют доработки.

На рис. 2 представлены контактные участки прикромочной области трубной заготовки и пуансона, полученные в результате математического моделирования методом конечных элементов в программном комплексе Deform 2D.

Результаты математического моделирования процесса подгибки кромок были подтверждены экспериментально [5].

По результатам проведенных исследований ширину кромки трубной заготовки разделили на шесть участков.

На участке 1 – 2 форма профиля пуансона плоская, на данном участке кромка трубной заготовки не деформируется. Участок 2 – 3 заготовки контактирует с пуансоном и имеет форму эвольвенты. На участке 3 – 4 происходит отставание заготовки от пуансона, следовательно радиус кромки меньше радиуса пуансона. Участок 4 – 5 является переходным от неконтактного к контактному и имеет форму, близкую к профилю пуансона. Участок 5 – 6 заготовки контактирует с пуансоном и имеет форму эвольвенты. Участок 6 – 7 не контактирует с пуансоном и имеет прямолинейную форму, ширина которой равна толщине стенки S .

Длина каждого участка зависит от общей ширины кромки. Определение ширины кромки возможно при известной ширине исходного листа, геометрии и расположения инструментов относительно центра деформируемой заготовки.

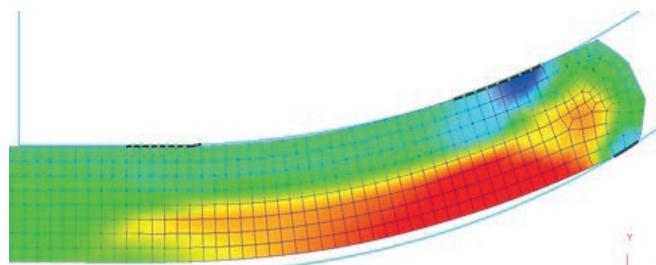


Рис. 2. Очаг деформации кромки трубной заготовки

Fig. 2. Deformation zone of pipe billet edge

Первоначально определили ширину листа $B_{л}$, необходимую для получения готовой трубы с заданным диаметром с учетом величины остаточной деформации $\epsilon_{ост}$ по формуле

$$B_{л} = \frac{\pi(D_{г.г.} - S_{т})}{1 + \epsilon_{ост}}$$

Далее определили ширину кромки $B_{кр}$ с учетом настройки инструмента ППК:

$$B_{кр} = \frac{B_{л} - A}{2} - X_{п} - S,$$

где A – расстояние между верхними инструментами (пуансонами) ППК; $X_{п}$ – плоский участок верхнего инструмента (1 – 2).

Для определения геометрии прикромочной области трубной заготовки необходимо назначить систему координат и определить координаты точек верхнего инструмента.

Начало системы координат следует вводить в зависимости от цели решаемой задачи. Если поставлена цель – определить геометрические параметры прикромочной зоны с учетом отклонений по расположению исходной листовой заготовки по ширине и длине, то начало системы координат будет в середине листовой заготовки в точке O , без учета – в точке O_1 .

Для аналитического исследования геометрических параметров трубной заготовки при подгибке кромок введем декартовую систему координат с взаимно перпендикулярными осями для первого случая OX и OY , для второго – O_1X_1 и O_1Y_1 .

$$O_1X_1 = OX + A + X_{п};$$

$$O_1Y_1 = OY + S.$$

Как отмечалось ранее, матрица и пуансон прессы подгибки кромок имеют профиль эвольвенты, следовательно для расчета профиля пуансона необходимо определить координаты точек эвольвенты в системе $X_1O_1Y_1$.

На рис. 3 представлены координаты точек профиля кромки в системах координат ZOY_0 и $X_1O_1Y_1$.

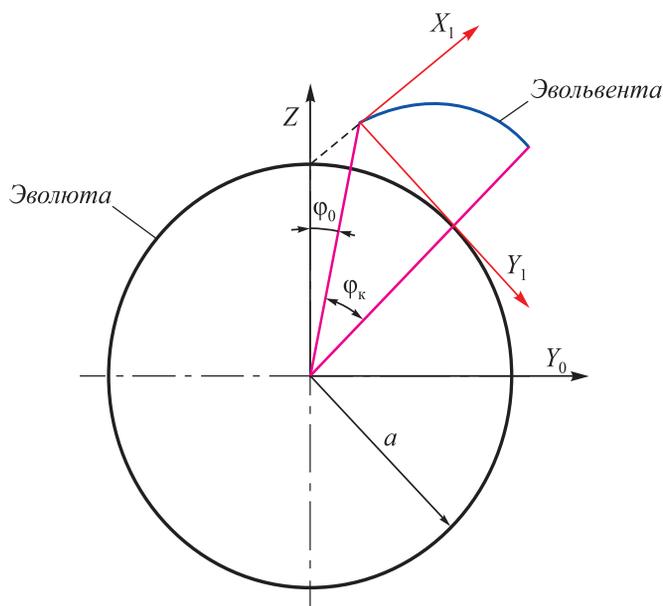


Рис. 3. Координаты точек профиля пуансона в системах координат ZOY₀ и X₁O₁Y₁:
 a – радиус эволюты (окружности);
 φ₀ = 43° – начальный угол эвольвенты; φ_к = 88° – конечный угол эвольвенты

Fig. 3. Coordinates of punch profile points in coordinate systems ZOY₀ and X₁O₁Y₁:
 a – radius of the evolute (circle);
 φ₀ = 43° – initial angle of the involute; φ_к = 88° – final angle of the involute

В общем случае уравнение эвольвенты окружности в форме имеет вид:

$$Z(\varphi) = a \cos \varphi + a \varphi \sin \varphi;$$

$$Y_0(\varphi) = \varphi \sin \varphi + a \varphi \cos \varphi.$$

Для того, чтобы в дальнейшем определить параметры кромки при нагрузке, перейдем в систему координат XOY:

$$X_i = (YO_0 - YO_i) \sin \varphi - (Z_0 - ZO_i) \cos \varphi;$$

$$Y_i = (YO_0 - YO_i) \cos \varphi + (Z_0 - ZO_i) \sin \varphi.$$

Координаты точек прикромочной зоны трубной заготовки

Coordinates of about-edge zone points of the pipe billet

Точка	Эксперимент			Численный метод расчета			Аналитический метод расчета					
	метод фотограмметрии			программный комплекс Deform 2D/3D			метод 1			метод 2		
	X	Y	R	X	Y	R	X	Y	R	X	Y	R
2	0	0	–	0	0	–	0	0	–	0	0	–
3	48,93	0,13	429,75	48,70	0,15	428,35	48,0	0,16	435,75	48,0	0,16	428,75
4	97,75	5,86	410,02	97,20	5,85	410,39	95,7	5,60	420,80	97,2	5,95	410,42
5	145,53	17,39	408,19	145,30	17,46	408,35	143,7	16,80	413,00	145,0	17,52	407,00
6	180,55	29,88	–	180,45	30,02	–	178,1	28,70	–	180,5	30,25	–

Далее рассчитаем координаты, радиусы и углы профиля пуансона и прикромочной области трубной заготовки.

Основными геометрическими параметрами после подгибки кромок являются радиус и высота подогнутой кромки.

Радиус подогнутой кромки для каждого участка определяем по отдельности. Участки 1–2 и 6–7 при определении среднего радиуса не учитывались, так как остаются плоскими. Участки 2–3 и 5–6 имеют профиль пуансона, следовательно для расчета среднего радиуса необходимо определить ширину каждого участка.

Ширину участков 2–3 B₂₋₃ и 5–6 B₅₋₆ установили экспериментально, определив длину дуги изношенных участков пуансона, а так же методом конечных элементов, измерив длину контактных зон:

$$B_{2-3} = (0,15 \div 0,20)B_{кр}; B_{5-6} = (0,20 \div 0,30)B_{кр}.$$

Следовательно ширина участка 3–5 B₃₋₅ = (0,50 ÷ 0,65)B_{кр}.

На участке 3–4 радиус кромки в каждой точке равен R₃₋₄ⁱ = R_{top}ⁱ – (0,50 ÷ 0,85), где R_{top}ⁱ – радиус пуансона в i-ой точке.

Средний радиус рассматриваемых участков определили по координатам трех точек.

В таблице представлены координаты точек прикромочной зоны трубной заготовки, полученные экспериментальным и расчетным путем. Расчет произведен численным и аналитическим методами.

Выводы. Представлен анализ результатов исследования формоизменения трубной заготовки в прикромочной зоне экспериментальными и математическими методами и определены контактные и неконтактные участки прикромочной области трубной заготовки с верхним деформирующим инструментом.

На основе проведенного анализа разработана методика расчета геометрических параметров трубной заготовки, учитывающая особенности исследуемого процесса.

Результаты расчета показывают возможность применения данного метода для оценки влияния отклоне-

ния по форме и свойствам исходной заготовки на геометрию трубной заготовки после подгибки кромок, что в дальнейшем позволит внести корректировки по режимам формоизменения.

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. Samusev S.V., Tovmasyan M.A., Hlybov O.S. Shaping of pipe blanks in the edge-bending press of the TESA 1420 pipe-electro-welding line // Steel in Translation. 2014. No. 8. P. 329 – 332.
3. Мошнин Е.Н. Исследование пластического изгиба: Сб. тр. ЦНИИТМАШ, кн. 62. – М.: Машгиз, 1954. – 458 с.
4. Мошнин Е.Н. Гибка и правка на ротационных машинах. – М.: Машиностроение, 1967. – 272 с.
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.
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. Томленов А.Д. Механика процессов обработки металлов давлением. – М.: Машгиз, 1963. – 236 с.
8. Avitzur B. Metal forming: processes and analysis. – New York: McGraw-Hill, 1968. – 500 p.
9. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1971. – 424 с.
10. 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 (In Chin.).
11. 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.
12. Матвеев Ю.М. Теоретические основы производства сварных труб. – М.: Металлургия, 1967. – 167 с.
13. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. – М.: Машиностроение, 1968. – 399 с.
14. Palumbo G., Tricarico L. Effect of forming and calibration operations on the final shape of large diameter welded tubes // Journal of Materials Processing Technology. 2005. Vol. 164 – 165(5). P. 1098.
15. Raffo J., Toscano R.G., Mantovano L., Dvorkin E.N. Numerical model of UOE steel pipe: forming process and structural behavior // Mecanica Computacional. 2007. Vol. 26. No. 10. P. 317 – 333.
16. 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.
17. Shiro Kobayashi, Soo-ik Oh, Taylan Altan. Metal forming and the finite-element method. – New York: Oxford University Press, 1989. P. 145 – 151.
18. Ильюшин А.А. Труды. Т. 2. Пластичность / Составители: Е.А. Ильюшина, М.Р. Короткина. – М.: Физматлит, 2004. – 480 с.
19. Феодосьев В.И. Сопrotивление материалов: Учебник для вузов. – 11-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 592 с.
20. 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. Vol. 3(6). P. 80 – 84.
21. 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 Sciences. 2007. Vol. 49(5). P. 533 – 553.

Поступила 30 декабря 2015 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2017. VOL. 60. No. 3, pp. 187–191.

DEVELOPMENT OF DETERMINING METHODS FOR THE PARAMETERS OF BILLETS AT EDGE BENDING ON THE TESA 1420 LINE

S.V. Samusev, M.A. Tovmasyan

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

Abstract. The results analysis of numerical and experimental studies on edge bending at the 1420 line was performed. It determined the influence of about-edge zone of the billet on the quality of finished welded pipe. It was found that the geometry of the billet’s edges effects further on the billet’s parameters on preform zone of molding presses, assembly and welding mill and mechanical expander. The contact and non-contact areas of about-edge zone of the billet and the tool of edge bending press were determined. It was revealed that the deviation in the edge geometry effects further also on the quality of weld joint geometry and about-edge zone after welding and assemblage. These deviations later lead to such defects in the about-edge zone like longitudinal edges of mixing and deviation from the theoretical circle. A number of mathematical and experimental studies was performed on the geometric parameters of billets at edge-bending and it was stated that the about-edge zone of pipe billet under loading has form of the deforming tool, as pipe billet at loading covers it. Deforming tool of the edge-bending press has involute profile, i.e., bent part of the edge in the contact area should have involute profile during loading. To identify the nature of the distribution of pipe billet curvature the authors have investigated the pipe billets deformation using modern computer systems at the area of edge-bending. The results of the studies have

shown: the contact area of the deforming tool and pipe billet, coordinates of the loop across the pipe billet width. Contact area the billet and deforming tool is about-edge zone of pipe billet which is in contacts with the lower deforming tool – the die and the upper deforming tool – the punch. According to the research it was found that the about-edge zone of the pipe billet does not completely cover the upper deforming tool and has both contact and non-contact portions, therefore, the curvature distribution pattern of the billet edge and the punch profile differ, and known calculation methods need to be improved. The main parameters of billets at edge-bending were determined. A comparative analysis of the measurements results of edge geometry was made using experimental and computational methods.

Keywords: electric-welded pipes of large diameter, crimping forming, billet, photogrammetry, analytical method.

DOI: 10.17073/0368-0797-2017-3-187-191

REFERENCES

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., Tovmasyan M.A., Hlybov O.S. Shaping of pipe blanks in the edge-bending press of the TESA 1420 pipe-electro-welding line. *Steel in Translation*. 2014, no. 8, pp. 329–332.

3. Moshnin E.N. *Issledovanie plasticheskogo izgiba. Sb. TsNIITmash, kn. 62* [Plastic bending research. Coll. of TSNITmash. Book 62]. Moscow: Mashgiz, 1954, 458 p. (In Russ.).
4. Moshnin E.N. *Gibka i pravka na rotatsionnykh mashinakh* [Bending and straightening on rotary machines]. Moscow: Mashinostroenie, 1967, 272 p. (In Russ.).
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. Tomlenov A.D. *Mekhanika protsessov obrabotki metallov davleniem* [Mechanics of metal forming processes]. Moscow: Mashgiz. 1963, 236 p. (In Russ.).
8. Avitzur B. *Metal forming: processes and analysis*. New York: McGraw-Hill, 1968. 500 p.
9. Storozhev M.V., Popov E.A. *Teoriya obrabotki metallov davleniem. Uchebnik dlya vuzov* [Theory of metal forming: Textbook for universities]. Moscow: Mashinostroenie, 1971, 424 p. (In Russ.).
10. 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.).
11. Samusev S.V., Velichko A.A., Lyuskin A.V., Andreev Yu.P., Vorontsov A.N. Calculating methods for the parameters of deformation of pipe billet on the TESA 1420 line of CJSC “IPM”. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2009, no. 5, pp. 36–40. (In Russ.).
12. Matveev Yu.M. *Teoreticheskie osnovy proizvodstva svarnykh trub* [Theoretical basics of welded pipes production]. Moscow: Metallurgiya, 1967, 167 p. (In Russ.).
13. Malinin N.N. *Prikladnaya teoriya plastichnosti i polzuchesti* [Applied theory of plasticity and creep]. Moscow: Mashinostroenie 1968, 399 p. (In Russ.).
14. Palumbo G., Tricarico L. Effect of forming and calibration operations on the final shape of large diameter welded tubes. *Journal of Materials Processing Technology*. 2005, vol. 164-165(5), pp. 1098.
15. Raffo J., Toscano R. G., Mantovano L., Dvorkin E. N. Numerical model of UOE steel pipe: forming process and structural behavior. *Mecanica Computacional*. 2007, vol. 26, no. 10, pp. 317–333.
16. Zhigulev G.P., Samusev S.V., Fadeev V.A., Faizulaev F.Kh. Calculation of energy-power parameters of bending process in production of welded pipes for gas pipelines. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2014, vol. 57, no. 7, pp. 39–42. (In Russ.).
17. Shiro Kobayashi, Soo-ik Oh, Taylan Altan. *Metal forming and the finite-element method*. New York: Oxford University Press, 1989, pp. 145–151.
18. Il'yushin A.A. *Trudy. T. 2. Plastichnost'* [Proceedings. Vol. 2. Plasticity]. Il'yushina E.A., Korotkina M.R. eds. Moscow: Fizmatlit, 2004, 480 p. (In Russ.).
19. Feodos'ev V.I. *Soprotivlenie materialov: uchebnik dlya vuzov* [Strength of materials: Textbook for universities]. Moscow: Izd-vo MG TU im. N.E. Bauman, 2003, 592 p. (In Russ.).
20. 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, vol. 3(6), pp. 80–84.
21. 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 Sciences*. 2007, vol. 49(5), pp. 533–553.

Information about the authors:

S.V. Samusev, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair “Technology and Equipment for Pipe Production” (sergei18.52@mail.ru)

M.A. Tovmasyan, Postgraduate of the Chair “Technology and Equipment for Pipe Production”

Received December 30, 2015