



УДК 621.7.043

Поступила 10.01.2018

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ФЛАНЦА С МИНИМАЛЬНОЙ ПРОТЯЖЕННОСТЬЮ ПЕРЕХОДНОЙ ТОРООБРАЗНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

М. И. СИДОРЕНКО, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: denisrodman@tut.by

Предложена технология пластического формообразования широких фланцев в трубных заготовках с прогнозируемой протяженностью переходного торообразного участка между внешней плоскостью фланца и внутренней полостью трубы. Приведена методика расчета протяженности этого участка. С целью устранения торообразного участка во фланце, образующегося в процессе отбортовки трубы, предложено производить его пластическое формоизменение за счет осадки цилиндрической части заготовки. Получены уравнения для расчета протяженности свободной поверхности на торообразном участке заготовки при его формоизменении в зависимости от коэффициента контактного трения и наличия радиального подпора фланца. Предложен вариант формоизменения во фланце торообразного участка в штампе с компенсационной полостью. Приведены уравнения для расчета усилия деформирования и протяженности свободной поверхности.

Ключевые слова. Широкий фланец, отбортовка, трубная заготовка, раздача, осадка, торообразный участок, площадка свободной поверхности, усилие деформирования.

KINEMATICAL FEATURES OF FORMATION OF A FLANGE WITH MINIMUM TENSION OF A TRANSIENT TOROIDAL SURFACE

M. I. SIDORENKO, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: denisrodman@tut.by

The technology of plastic forming of wide flanges in tube billets with the predicted length of the transitional toroidal section between the outer plane of the flange and the internal cavity of the pipe is proposed. The procedure for calculating the length of this section is given. In order to eliminate the toroidal portion in the flange formed during the flanging of the pipe, it is proposed to perform its plastic shaping by depositing the cylindrical part of the workpiece. Equations for calculating the extent of the free surface on the toroidal part of the workpiece when it is shaped, depending on the coefficient of contact friction and the presence of a radial support of the flange are obtained. The variant of forming in the flange the toroidal section in the stamp with the compensation cavity is proposed. Equations for calculating the deformation force and the extent of the free surface are given.

Keywords. Wide flange, flanging, pipe blank, distribution, draft, toroidal section, free surface area, deformation force.

Процесс формообразования методом пластического деформирования фланцев в трубных заготовках является разновидностью процесса раздачи концов этих заготовок жестким инструментом [1–12]. При этом конец трубной заготовки подвергается раздаче под прямым или близким к нему углом.

Для осуществления процесса раздачи по данной схеме в деформирующем инструменте необходимо иметь плавный переход от цилиндрической части к плоскости в виде торообразной поверхности (рис. 1). Такая поверхность естественно копируется и в раздаваемой части заготовки, что в ряде случаев не допускается конструкцией получаемой детали.

С целью исправления указанного недостатка и обеспечения острой кромки между цилиндрическим отверстием и фланцевой частью толщину стенки заготовки заранее выбирают увеличенной. После этого за счет удаления избытка металла обработкой резанием получают деталь с острой кромкой в зоне перехода от фланца к цилиндрической полости заготовки. Однако при этом около 40% металла уходит в стружку, что существенно снижает коэффициент его использования и приводит к повышению себестоимости изготовления деталей.

В связи с этим было предложено техническое решение, суть которого заключается в том, что после отбортовки по описанной выше схеме производят пластическое формоизменение торообразного участка заготовки за счет осадки ее цилиндрической части (рис. 1) [13–17]. Для этого полученную трубную заготовку 3 с фланцем, перпендикулярным ее оси, содержащую торообразный участок между цилиндрическим отверстием и фланцевой частью, устанавливают в подпружиненную матрицу 4. Нижним торцом заготовка опирается на плиту 5. При движении пуансона 1 вниз происходит формоизменение торообразного участка заготовки в результате заполнения полости, образующейся над этим участком.

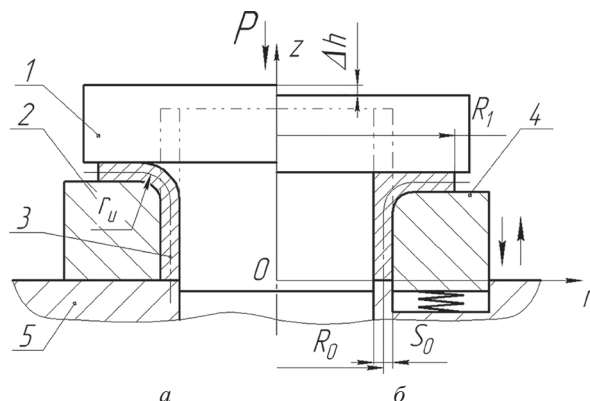


Рис. 1. Схема раздачи (а) и осадки (б) трубной заготовки: 1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – заготовка; 4 – матрица подвижная; 5 – плита

Интенсифицировать процесс заполнения металлом свободной полости штампа над этим участком возможно и за счет конструктивного исполнения самой этой полости [18–20]. Например, на торце большей части ступенчатого пуансона может быть выполнено углубление в виде кольцеобразного конуса (рис. 1). Это необходимо сделать и по той причине, что при наличии упорного буртика в матрице требуется очень точно выдерживать величину объема фланцевой части заготовки. Однако реализовать данное условие технически достаточно сложно.

Поскольку угол наклона образующей конуса к торцу $\beta = \text{arctg } f$, где f – коэффициент контактного трения [21, 22], то, очевидно, угол $\alpha = \pi/4 - \beta/2$. Тогда $a_z = \cos(\pi/4 - \beta/2)$, $a_r = \sin(\pi/4 - \beta/2)$ и в соответствии с равенством, приведенным в [4], можно записать

$$\sigma_n = \sigma_r a_r + \sigma_z a_z, \quad (1)$$

$$\sigma_n = \sigma_z \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\beta}{2}\right) + \sigma_r \cos\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\beta}{2}\right). \quad (2)$$

Подставив в (1), (2) значения σ_r и σ_z соответственно из выражений [4], получим

$$\sigma_n = \sigma_T \left[\cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\beta}{2}\right) + \sqrt{2} \cos\frac{\beta}{2} \left(1,1 \ln \frac{D}{d_1} + \frac{0,5d_1 - r}{h} \right) \right].$$

Анализируя полученное выражение, нетрудно заметить, что значение σ_n зависит от переменной r , которая изменяется в пределах $d_0/2 \leq r \leq d_1/2$. При $r = d_1/2$ величина σ_n будет минимальной, а при $r = d_0/2$ она станет максимальной. Учитывая это, очевидно, справедливо будет воспользоваться некоторым средним значением σ_n , т. е. отвечающим значению переменной $r = 1/4(d_1 + d_0)$. Тогда последнее уравнение примет вид

$$\sigma_{n_{\text{cp}}} = \sigma_T \left[\cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\beta}{2}\right) + \sqrt{2} \cos\frac{\beta}{2} \left(1,1 \ln \frac{D}{d_1} + \frac{d_1 - d_0}{4h} \right) \right]. \quad (3)$$

Для определения величины пластического формоизменения торообразного участка заготовки воспользуемся известным [20] решением о заполнении металлом углубления в деформирующем инструменте, приведенным для случая плоской деформации. Согласно рис. 2, его можно записать в виде

$$\sigma_{n_y} = \beta \sigma_T \left(1 + \frac{1}{\delta} \right) \left[\left(\frac{B}{B_c} \right)^\delta - 1 \right]. \quad (4)$$

Здесь $\delta = f / \text{tg } \alpha = f / \text{tg}(\pi/4 - \beta/2)$, где f – коэффициент контактного трения. Параметр Луде в нашем случае можно принять $\beta_1 \approx 1$, а в соответствии с рис. 2 величина $B = h / \cos(\pi/4 - \beta/2)$, так как $h = d_1 - d_0$.

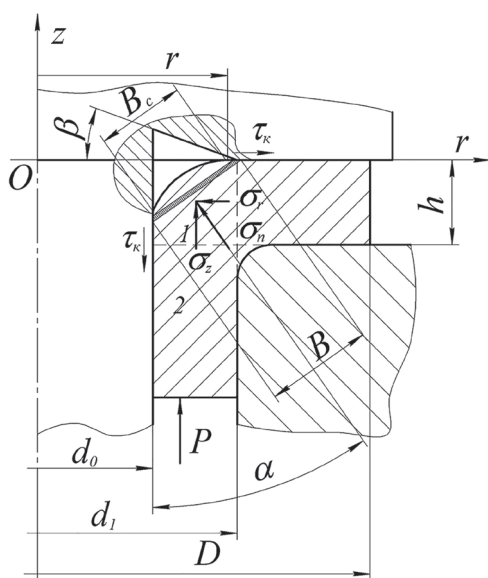


Рис. 2. Схема очага деформации при формоизменении торообразного участка

Теперь будем полагать, что $\sigma_{ny} = \sigma_{ncp}$, т. е. примем равенство между (3) и (4). Искомой величиной в нашем случае является B_c – ширина площадки свободной поверхности:

$$B_c = B \sqrt[1/\delta]{\left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\beta}{2}\right) + \sqrt{2} \cos \frac{\beta}{2} \left(1,1 \ln \frac{D}{d_1} + \frac{d_1 - d_0}{4h}\right)}{1 + 1/\delta} + 1 \right]} \quad (5)$$

По формуле (5) произведен расчет параметра B_c для разных коэффициентов контактного трения при формообразовании фланца внешним диаметром $D = 380$ мм из трубы, имеющей наружный диаметр $d_1 = 286$ мм и внутренний $d_0 = 254$ мм. Результаты расчета приведены в таблице.

Зависимость расчетных величин от коэффициента трения

f	B , мм	B_c , мм	B_x , мм	B_0 , мм
0,3	19,9	6,65	11,1	-4,45
0,4	19,3	7,6	10,4	-2,8
0,5	18,8	8,6	9,7	-1,1

Как видно из таблицы, с уменьшением коэффициента контактного трения протяженность свободной поверхности B_c в зоне перехода от полости трубы к фланцу уменьшается. Однако этого не достаточно, чтобы удовлетворить условию чертежа, согласно которому величина B_c не должна превышать $2\sqrt{2}$ мм, что соответствует фаске в зоне перехода от цилиндрического отверстия к фланцу, равной $2 \times 45^\circ$.

Вместе с тем, анализируя рис. 2, нетрудно убедиться, что металл при формоизменении переходной зоны частично будет затекать в коническую полость на торце пуансона (рис. 3). Эта часть металла в дальнейшем удаляется механической обработкой. В результате протяженность переходной зоны уменьшится на величину B_x , которую найдем по теореме синусов:

$$B_x = (B - B_c) / 2 \sin \alpha \quad (6)$$

Теперь искомой будет величина

$$B_0 = B_c - B_x \quad (7)$$

Результаты расчета по уравнениям (6), (7) соответствующих величин для разных коэффициентов контактного трения приведены в таблице.

Как видно из приведенных данных, выполнение конической полости в торце пуансона обеспечивает возможность формоизменения переходной зоны в соответствии с требованиями чертежа при разных коэффициентах контактного трения. Следовательно, выполняя коническую полость с углом наклона образующей $\beta = \arctg 0,5$, можно заранее обеспечить условия для формообразования в заготовке переходной зоны с заданными геометрическими параметрами без применения подпорного буртика в матрице (рис. 3). В этом случае усилие штамповки может быть рассчитано по [4] при условии, что входящий сюда параметр $x = 0$ из-за отсутствия дополнительного радиального подпора фланца. Для трубы из стали 35 с $\sigma_T = 75$ МПа [23] при температуре штамповки 800°C усилие деформирования составляет 2383 кН, т. е. примерно на 10% меньше, чем в предыдущем варианте формоизменения торовой поверхности фланца. Поэтому, очевидно, целесообразно принять последний вариант формообразования фланца в трубной заготовке с ранее указанными ограничениями на величину переходной зоны от полости трубы к фланцу.

Из представленных данных следует, что для стали 35 при температуре окончанияковки 700°C усилие деформирования составляет порядка 3300 кН. Таким образом, для успешного осуществления описанного процесса требуется пресс усилием не менее 4000 кН.

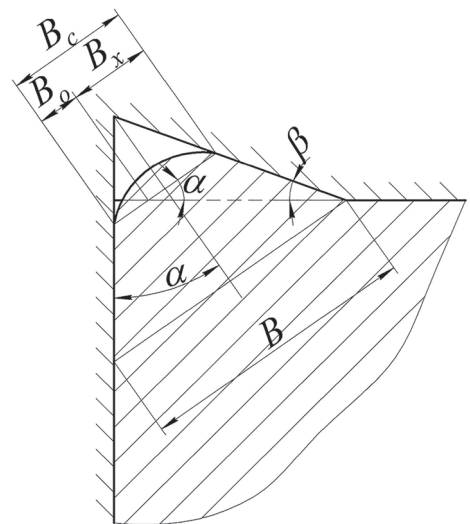


Рис. 3. Схема для расчета глубины заполнения металлом конической полости

Выводы

1. С целью устранения торообразного участка во фланце, образующегося в процессе отбортовки трубы, предложено производить его пластическое формоизменение за счет осадки цилиндрической части заготовки в подвижной матрице.

2. Получены уравнения, позволяющие рассчитывать протяженность свободной поверхности на торообразном участке заготовки при его формоизменении в зависимости от коэффициента контактного трения и наличия радиального подпора фланца, а также рассчитывать усилие деформирования.

3. Предложен вариант формоизменения во фланце торообразного участка в штампе с компенсационной полостью, обеспечивающей снижение технологического усилия. Приведены соответствующие уравнения для расчета усилия деформирования и протяженности свободной поверхности на указанном участке.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Зубцов М. Е.** Листовая штамповка / М. Е. Зубцов. Л.: Машиностроение, 1980. 432 с.
2. **Попов Е. А.** Основы теории листовой штамповки / Е. А. Попов. М.: Машиностроение, 1968. 248 с.
3. **Романовский В. П.** Справочник по холодной штамповке / В. П. Романовский. 6-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1979. 520 с.
4. **Исаевич Л. А.** Расчет усилия деформирования при пластическом формоизменении отбортованного фланца в трубной заготовке / Л. А. Исаевич, М. И. Сидоренко, В. А. Гуринович, А. В. Шиманский // Вестн. БНТУ. 2007. № 3. С. 10–15.
5. **Горбунов М. Н.** Технология заготовительно-штамповочных работ в производстве самолетов / М. Н. Горбунов. М.: Машиностроение, 1981. 224 с.
6. **Абибов А. Л.** Технология самолетостроения / А. Л. Абибов, Н. М. Бирюков, В. В. Бойцов и др. М.: Машиностроение, 1970. 508 с.
7. **Инструмент** для отбортовки концов труб: а. с. 897344 СССР, МКИ В21 D 41/02. / В. А. Каюшин, И. П. Ренне. С. 2.
8. **Пресс** для отбортовки концов труб: а. с. 614848 СССР, МКИ В21 D 19/00. / В. А. Каюшин. С. 3.
9. **Инструмент** для отбортовки концов труб: а. с. 620313 СССР, МКИ В21 D 41/02. / В. А. Каюшин. С. 2.
10. **Инструмент** для отбортовки концов труб: а. с. 770618 СССР, МКИ В21 D 41/02. / В. А. Каюшин. С. 2.
11. **Устройство** для отбортовки труб: а. с. 642049 СССР, МКИ В21 D 19/02. / В. А. Каюшин. С. 3.
12. **Способ** получения плоских фланцев: а. с. 889203 СССР, МКИ В21 D 19/00. / В. А. Каюшин. С. 2.
13. **Исаевич Л. А.** Расчет величины осадки при пластическом формообразовании фланца в трубной заготовке / Л. А. Исаевич, В. А. Гуринович, М. И. Сидоренко, А. В. Шиманский // Республ. межвед. сб. науч. тр. «Машиностроение». Минск: БНТУ, 2007. Вып. 22. С. 363–366.
14. **Гуринович В. А.** Прогрессивные методы обработки заготовок и восстановления деталей / В. А. Гуринович, Л. М. Кожуро, М. И. Сидоренко, Л. А. Исаевич; под ред. Л. М. Кожуро. Минск: БНТУ, 2007. 208 с.
15. **Гуринович В. А.** Кинематика течения металла при формообразовании фланца в трубчатой заготовке с локализацией очага деформации / В. А. Гуринович, Л. А. Исаевич, М. И. Сидоренко, А. В. Шиманский // Материалы 4-й международ. науч.-техн. конф. «Наука – образованию, производству, экономике». Т. 1. Минск: БНТУ, 2006. С. 193–197.
16. **Исаевич Л. А.** Расчет усилия деформирования при пластическом формообразовании фланца в трубной заготовке / Л. А. Исаевич, М. И. Сидоренко, В. А. Гуринович // Литье и металлургия. 2007. № 1. С. 140–145.
17. **Устройство** для формообразования фланца в трубной заготовке: пат. № 4086 Респ. Беларусь, МПК7 В 21 D 41/00 / В. А. Гуринович, Л. А. Исаевич, М. И. Сидоренко, А. В. Шиманский; заявитель РУП «Минский автомобильный завод». № а20070456; заявл. 22.06.2007; опубл. 30.06.05 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2005. № 2. С. 47.
18. **Исаевич Л. А.** Особенности формообразования переходной зоны в отбортованном фланце трубной заготовки / Л. А. Исаевич, В. А. Гуринович, М. И. Сидоренко, А. В. Шиманский // Машиностроение и техносфера: Сб. тр. XIV Междунар. науч.-техн. конф. Севастополь, 17–22 сентября, 2007. Т. 1. С. 96–99.
19. **Исаевич Л. А.** Определение технологических параметров процесса формообразования фланца в трубных заготовках / Л. А. Исаевич, А. В. Шиманский, В. А. Гуринович, М. И. Сидоренко // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сб. материалов III Междунар. науч.-техн. конф. Минск, 15–17 октября 2008 г. / Белорус. нац. техн. ун-т: редкол.: С. А. Астапчик [и др.]. В 4-х кн., кн. 3. Минск, 2008. С. 117–122.
20. **Степаненко А. В.** Прокатка полос переменного профиля / А. В. Степаненко, В. А. Король, Л. А. Смирнова. Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2001. 180 с.
21. **Семенов Е. И.** Ковка и штамповка: Справ. в 4-х т. М.: Машиностроение, 1985. Т. 1. Материалы и нагревательное оборудование. Ковка. 568 с.
22. **Грудев А. П.** Внешнее трение при прокатке / А. П. Грудев. М.: Металлургия, 1973. 298 с.
23. **Третьяков А. В.** Механические свойства металлов и сплавов при обработке металлов: Справ. / А. В. Третьяков, А. И. Зюзин. М.: Металлургия, 1973. 224 с.

REFERENCES

1. **Zubcov M. E.** *Listovaja shtampovka* [Sheet stamping]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1980, 432 p.
2. **Popov E. A.** *Osnovy teorii listovoj shtampovki* [Fundamentals of the theory of sheet punching]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1968, 248 p.
3. **Romanovskij V. P.** *Spravochnik po holodnoj shtampovke* [Cold stamping guide]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1979, 520 p.

4. **Isaevich L. A., Sidorenko M. I., Gurinovich V. A., Shimanskij A. V.** Raschet usilija deformirovaniya pri plasticheskom formoizmenenii otbortovannogo flanca v trubnoj zagotovke [Calculation of the deformation force during the plastic shaping of a flanged flange in a pipe blank]. *Vestnik BNTU = Bulletin of BNTU*, 2007, no. 3, pp. 10–15.
5. **Gorbunov M. N.** *Tehnologija zagotovitel'no-shtampovochnyh rabot v proizvodstve samoletov* [Technology of blanking and stamping works in the production of aircraft]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1981, 224 p.
6. **Abibov A. L.** *Tehnologija samoletostroenija* [Technology of aircraft construction]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1970, 508 p.
7. **Kajushin V. A. e. a.** *Instrument dlja otbortovki koncov trub* [Tool for flanging of pipe ends]. Patent USSR 897344, pp. 2.
8. **Kajushin V. A. e. a.** *Press dlja otbortovki koncov trub* [Press for flanging of pipe ends]. Patent USSR 614848, pp. 3.
9. **Kajushin V. A. e. a.** *Instrument dlja otbortovki koncov trub* [Tool for flanging of pipe ends]. Patent USSR 620313, pp. 2.
10. **Kajushin V. A. e. a.** *Instrument dlja otbortovki koncov trub* [Tool for flanging of pipe ends]. Patent USSR 770618, pp. 2.
11. **Kajushin V. A. e. a.** *Ustrojstvo dlja otbortovki trub* [Pipe Flaring Device]. Patent USSR 642049, pp. 3.
12. **Kajushin V. A. e. a.** *Sposob poluchenija ploskih flancev* [Method for producing flat flanges]. Patent USSR 889203, pp. 2.
13. **Isaevich L. A., Gurinovich V. A., Sidorenko M. I., Shimanskij A. V.** Raschet velichiny osadki pri plasticheskom formoobrazovanii flanca v trubnoj zagotovke [Calculation of the value of the draft during the plastic shaping of the flange in the pipe blank]. *Respublikanskij mezhdomstvennyj sbornik nauchnyh trudov «Mashinostroenie» = The Republican interdepartmental collection of scientific papers «Mechanical Engineering»*, 2007, no. 22, pp. 363–366.
14. **Gurinovich V. A.** *Progressivnye metody obrabotki zagotovok i vosstanovlenija detalej* [Progressive methods of processing blanks and restoring parts]. Minsk, BNTU Publ., 2007, 208 p.
15. **Guringovich V. A., Isaevich L. A., Sidorenko M. I., Shimanskij A. V.** Kinematika techenija metalla pri formoobrazovanii flanca v trubchatoj zagotovke s lokalizaciej ochaga deformacii [Kinematics of metal flow during the formation of a flange in a tubular blank with localization of the deformation center]. *«Nauka – obrazovaniju, proizvodstvu, jekonomike» Materialy IV Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii = «Science – Education, Production, Economics» Materials of the IV International Scientific and Technical Conference*. Minsk, 2006, no. 1, pp. 193–197.
16. **Isaevich L. A., Sidorenko M. I., Gurinovich V. A.** Raschet usilija deformirovaniya pri plasticheskom formoobrazovanii flanca v trubnoj zagotovke [Calculation of the deformation force during the plastic shaping of the flange in the pipe blank]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2007, no. 1, pp. 140–145.
17. **Gurinovich V. A. e. a.** *Ustrojstvo dlja formoobrazovanija flanca v trubnoj zagotovke* [Device for forming a flange in a pipe blank]. Patent RB 4086, 2005, pp. 47.
18. **Isaevich L. A., Guringovich V. A., Sidorenko M. I., Shimanskij A. V.** Osobennosti formoobrazovanija perehodoj zony v otbortovannom flance trubnoj zagotovki [Features of the formation of the transition zone in the flanged tube blank]. *«Mashinostroenie i tehnosfera». Sbornik trudov XIV Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii = «Mechanical engineering and technosphere». Proc. of the XIV International Scientific and Technical Conference*. Sevastopol, 2007, no. 1, pp. 96–99.
19. **Isaevich L. A., Shimanskij A. V., Guringovich V. A., Sidorenko M. I.** Opredelenie tehnologicheskikh parametrov processa formoobrazovanija flanca v trubnyh zagotovkah [Determination of technological parameters of the process of shaping the flange in tube billets]. *«Sovremennye metody i tehnologii sozdaniya i obrabotki materialov». Materialy III Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii = «Modern methods and technologies for the creation and processing of materials». Materials of the III International Scientific and Technical Conference*. Minsk, 2008, no. 3, pp. 117–122.
20. **Stepanenko A. V.** *Prokatka polos peremennogo profilja* [Rolling of strips of variable profile]. Gomel, IMMS NAS of Belarus Publ., 2001, 180 p.
21. **Semenov E. I.** *Kovka i shtampovka: Spravochnik* [Forging and stamping: Directory]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985, no. 1, 568 p.
22. **Grudev A. P.** *Vneshnee trenie pri prokatke* [External friction during rolling]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1973, 298 p.
23. **Tret'jakov A. V.** *Mehanicheskie svojstva metallov i splavov pri obrabotke metallov: Spravochnik* [Mechanical properties of metals and alloys in metal processing: Directory]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1973, 224 p.