

## PROACTIVE REPAIRS IN STEEL INDUSTRY

**Korotkov V.A., Dr. Sci. (Eng.), Professor** (vk@udgz.ru)

**Nizhny Tagil Institute of Technology (Branch) of the Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin** (59, Krasnogvardeiskaya str., Nizhny Tagil, Sverdlovsk Region, 622031, Russia)

**Abstract.** Proactive repairs suggest the measures to slow the formation of defects (cracks, wear), causing their conduct. In this case a post-repair operating time of mechanisms is increased. That reduces significantly repair costs and downtime. The results of the proactive repairs at some of the Ural enterprises are exemplified.

**Keywords:** repair, strengthening, proactive repairs.

### REFERENCES

- Orlov P.I. *Osnovy konstruirovaniya*. Vols. 1–2. Vol. 1. Uchaev P.N. ed. Moscow: Mashinostroenie, 1988. 560 p. (In Russ.).
- Goncharov K.A., Chechulin Yu.B. Simulation of the stress-strain state of the die for forming of large-diameter pipes. *Remont, vosstanovlenie, modernizatsiya*. 2011, no. 7, pp. 33–38. (In Russ.).
- Korotkov V.A., Zotov A.S. Repair welding of press' cross-piece. *Svarka i diagnostika*. 2008, no. 5, pp. 26–27. (In Russ.).
- Korotkov V.A., Chubelov V.A. Design solutions as a means of increasing the effectiveness of the protective surfacing. *Tyazheloe mashinostroenie*. 2000, no. 7, pp. 35–36. (In Russ.).
- Korotkov V.A., Mikhailov I.D., Babailov D.S. The study of welding of CCM rollers. *Svarochnoe proizvodstvo*. 2007, no. 1, pp. 30–31. (In Russ.).
- Shekurov A.V., Vinogradov S.V. Improving of repairs of degassers. *Remont, vosstanovlenie, modernizatsiya*. 2005, no. 10, pp. 14–17. (In Russ.).
- Korotkov V.A., Mikhailov I.D., Agafonov E.Zh. *Provoloka dlya naplavki* [Wire for facing]. Patent RF no. 2293640. *Otkrytiya. Izobreneniya*. 2007, no. 5. (In Russ.).
- Korotkov V.A., Agafonov E.Zh., Mikhailov I.D. *Uzel krepleniya plunzhera v nasose vysokogo davleniya* [Attachment of fitting plunger in high-pressure pump]. Patent RF no. 78272. *Poleznye modeli*. 2008, no. 32. (In Russ.).
- Korotkov V.A., Mikhailov I.D., Vesnin A.M., Zotov A.S. *In: Tekhnologii remonta, vosstanovleniya i uprochneniya detalei mashin, mekhanizmov, oborudovaniya, instrumenta i tekhnologicheskoi osnastki: materialy 10-i Mezhdunarodnoi nauch.-prakt. konf.* [Technology of repairs, restoration and strengthening of machine parts, machinery, equipment, tools and tooling: Proceedings of the 10th International scientific-practical conf.]. Part.1. St. Petersburg: Izdvo politekhn. un-ta, 2008, pp. 184–192. (In Russ.).
- Agafonov E.Zh., Korotkov V.A., Shekurov A.V., Yachmenev E.V. Recovery of heavy rolls by electrospark alloying. *Gornyi zhurnal*. 2006, no. 2, p. 59–61. (In Russ.).
- Korotkov V.A., Shekurov A.V. Investigations into plasma quenching. *Welding International*. 2008. Vol. 22, no. 7, pp. 475–479.
- Anan'ev S.P., Korotkov V.A. Study of wear resistance of materials of crane rails and wheels. *Vestnik mashinostroeniya*. 2011, no. 8, pp. 35–37. (In Russ.).
- Korotkov V.A., Mikhailov I.D., Agafonov E.Zh. Increasing resistance of stamps by plasma quenching. *Kuznechno-shtampovoe proizvodstvo. Obrabotka metallov davleniem*. 2009, no. 1, pp. 40–45. (In Russ.).
- Korotkov V.A. Plasma quenching of gear and slotted couplings. *Russian Engineering Research*. 2009. Vol. 29, no. 8, pp. 813–816.
- Korotkov V.A. 10-year anniversary of the use of manual plasma quenching. *Tyazheloe mashinostroenie*. 2012, no. 1, pp. 2–5. (In Russ.).
- Korotkov V.A. Experience of the semiautomatic welding machines in Ural's enterprises. *Svarochnoe proizvodstvo*. 2004, no. 3, pp. 32–36. (In Russ.).
- Korotkov V.A., Mikhailov I.D. Experience with repair welding of mining and metallurgical equipment. *Welding International*. 2012. Vol. 26, no. 11, pp. 895–900.

Received December 6, 2012

УДК 621.73

## ШТАМПОВКА ПОКОВКИ «КРЕСТОВИНА» ИЗ ШАРОВОЙ ЗАГОТОВКИ

**Филиппова М.В., к.т.н., доцент** (filippova\_mv@mail.ru)

**Перетягко В.Н., д.т.н., профессор**

**Федоров А.А., к.т.н., доцент**

**Климов А.С., аспирант**

**Сибирский государственный индустриальный университет**

(654007, Россия, Новокузнецк, Кемеровская обл., ул. Кирова, д. 42)

**Аннотация.** Разработана новая технология штамповки выдавливания поковок «крестовина» из шаровой заготовки при двухстороннем приложении силы. Проведено исследование напряженно-деформированного состояния металла. Изготовлена хорошего качества опытная партия поковок «крестовина» карданного вала грузовой автомашины.

**Ключевые слова:** штамповка, выдавливание, шаровая заготовка, напряжение, деформация, среднее нормальное напряжение, качество поковки.

Горячая штамповка крестовины из цилиндрической заготовки в открытых штампах производится следующим образом. После нагрева металла до ковочной

температуры цилиндрическую заготовку подают для штамповки на молоте или прессе. На первом переходе происходит осадка цилиндрической заготовки, а на

втором – окончательная штамповка в открытом штампе. Излишек металла вытекает в облой. Значительный расход металла, высокие энергетические затраты, связанные с деформацией тонкостенного облоя, получение штампованных поковок с неблагоприятной структурой являются недостатками штамповки в открытых штампах.

Более экономичным способом производства крестовин является горячая штамповка из цилиндрической или квадратной заготовки способом выдавливания в закрытых штампах с односторонним приложением нагрузки [1].

К недостаткам этого способа следует отнести: необходимость точной резки исходной заготовки с таким расчетом, чтобы ее объем (масса) был равен объему (массе) готовой поковки; необходимость удаления окалины после нагрева заготовки; трудности центрирования заготовки в штампе для выдавливания; течение металла по донной поверхности нижней матрицы, что вызывает большую неравномерность деформации.

Разработана энергосберегающая технология штамповки поковок «крестовина». Предлагаемый способ заключается в том, что заготовку помещают в штамп с горизонтальным разъемом матриц. После смыкания матриц производится выдавливание металла в отростки одновременно двумя пуансонами. В результате одновременного двухстороннего течения металла в радиальные полости из обеих половинок штампа уменьшаются усилия штамповки и исключаются возникновения дефектов [2].

В настоящей работе предлагается новый технологический процесс штамповки крестовины выдавливанием с использованием шаровой заготовки и деформации металла при температурах полугорячей штамповки. Такая технология наиболее перспективна для массового производства поковок типа тел вращения [3 – 5]. Шаровую заготовку получают прокаткой прутка на шаропрокатном стане. Работающие в настоящее время

станы поперечно-винтовой прокатки производят шары (шаровую заготовку) диам. от 20 до 125 мм, или массой до 8 кг [6]. Ранее проведенные исследования показали, что шаровая заготовка обладает стабильной массой и ее с успехом можно использовать для безоблойной штамповки осесимметричных поковок. При осадке шара и штамповке осесимметричных поковок из шаровой заготовки текстура металла слабо зависит от расположения оси полюсов перед осадкой или штамповкой, и шаровую заготовку можно штамповать с любым расположением осей полюсов. Шаровая заготовка хорошо центрируется в штампе [7]. По производительности один прокатный стан заменяет 10 пресс-ножниц.

Для всестороннего исследования предлагаемой технологии проведено компьютерное моделирование полугорячей штамповки поковок «крестовина» из шаровой заготовки с применением штампа [8].

При моделировании технологического процесса выдавливания использовали сталь марки 20Х; температура штамповки составляла 850 °С; коэффициент трения при смазке графитом 0,1; материал штампа – сталь 5ХНМ; температура штампа 200 °С; оборудованием для штамповки служил кривошипный пресс; приложение нагрузки – двухстороннее. В качестве исходной заготовки был взят шар диам. 60 мм, диаметр боковых отростков 20 мм.

На рис. 1 показаны последовательные этапы выдавливания поковки «крестовина» из шаровой заготовки с двухсторонним приложением силы. Процесс формоизменения металла при штамповке с боковым выдавливанием отростков можно разбить на три стадии: осадка заготовки, свободное выдавливание в боковые полости и заполнение углов боковых полостей [9]. На рис. 1, *а* показано исходное положение штампа, пуансонов и шаровой заготовки перед выдавливанием крестовины. При встречном движении пуансонов происходит осадка шаровой заготовки, и ее форма приближается к цилиндрической. На рис. 1, *б* видны наметки для

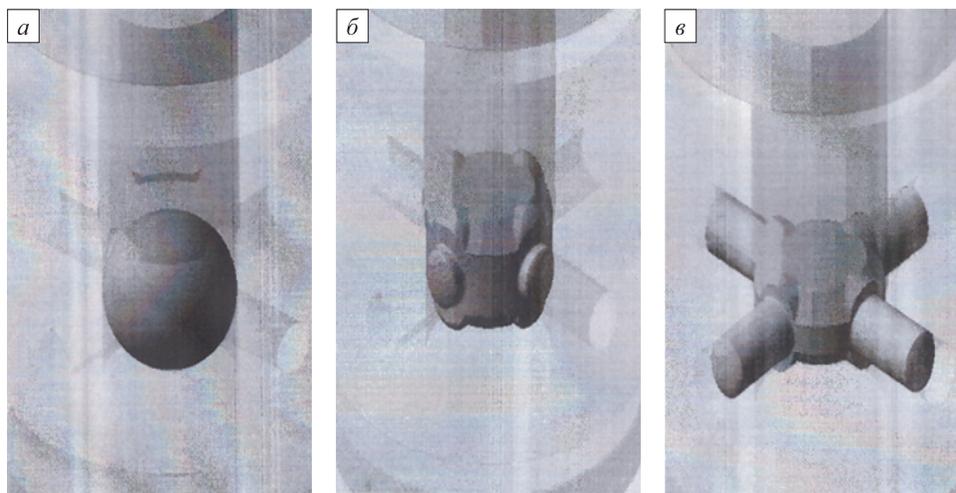


Рис. 1. Последовательные этапы выдавливания крестовины: *а* – исходное положение; *б* – осадка шара; *в* – заполнение отростков

последующего выдавливания отрошков. Сверху можно увидеть отпечатки верхнего пуансона. В дальнейшем происходит уменьшение высоты центральной части поковки (ступицы) и вытеснение металла в боковые отрожки. В результате этого формируются центральная часть поковки и горизонтальные отрожки крестовины (рис. 1, в). Эта стадия процесса наиболее продолжительна по времени. При двухстороннем приложении силы боковые отрожки в средней части штампа уже сформированы и дальнейшее их формирование будет происходить только за счет осадки металла верхней и нижней частей ступицы. На третьей стадии происходит заполнение торцевых частей отрошков.

Рассмотрим результаты напряженно-деформированного состояния металла при штамповке поковки «крестовина» с двухсторонним приложением силы. Отметим, что степени деформации  $\epsilon = 70\%$  соответствует полное заполнение гравюры штампа.

Распределение интенсивности деформаций  $\left( e_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \times \sqrt{\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2 + \epsilon_1 \epsilon_2} \right)$  в вертикальной осевой и горизонтальной плоскостях симметрии приведено на рис. 2, а, б. Как видно из рис. 2, а, при штамповке с двухсторонним приложением силы с увеличением степени деформации по ступице интенсивность деформаций возрастает. Так как происходит одновременное перемещение верхнего и нижнего пуансонов, интенсивность деформации распределяется симметрично относительно горизонтальной оси с возрастанием от пуансонов к центральной части ступицы поковки.

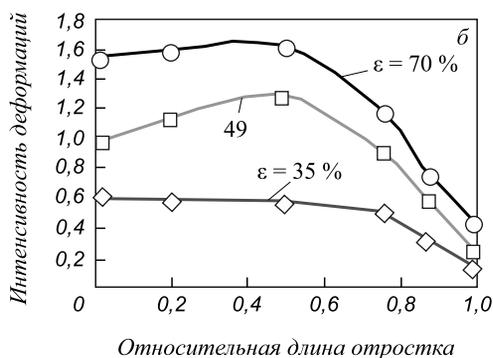
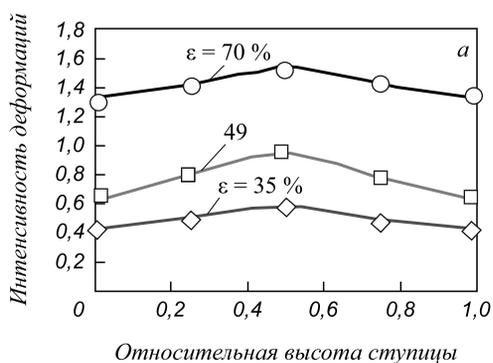


Рис. 2. Изменение интенсивности деформаций по высоте ступицы (а) и по длине отростка (б)

Характер распределения интенсивности деформаций по длине отростка при двухстороннем приложении силы приведен на рис. 2, б. Можно отметить, что интенсивность деформаций по длине отростка уменьшается к его торцу. С увеличением степени деформации по ступице интенсивность деформации возрастает. При относительной длине отростка 0,5 наблюдается небольшой максимум интенсивности деформаций при степенях деформации по ступице 49 и 70 %.

Для количественной оценки формоизменения металла при штамповке введем понятие «неравномерность деформации». Принимаем за величину неравномерности деформации  $Q$  отношение максимального значения интенсивности деформаций  $e_{\max}$  в сечении поковки к величине высотной логарифмической деформации по ступице  $e_{\text{ступ}}$ , т.е.  $Q = e_{\max} / e_{\text{ступ}}$ . Ниже приведены значения неравномерности деформации по сечениям поковки «крестовина»:

Сечение	Значения $Q$ при $\epsilon$ , %, по ступице		
	35	49	70
Ступица	1,35	1,42	1,98
Отросток	1,35	1,89	1,38

Видно, что при формоизменении металла при штамповке крестовины наблюдается большая неравномерность деформации, которая по ступице увеличивается с ростом степени деформации и имеет максимальное значение по длине отростка при  $\epsilon = 49\%$ .

Интенсивность напряжений

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$$

по высоте ступицы при  $\epsilon = 35\%$  и  $\epsilon = 49\%$  несколько увеличивается к горизонтальной оси симметрии поковки или остается постоянной при  $\epsilon = 70\%$ .

С увеличением степени деформации интенсивность напряжений возрастает (см. таблицу). По длине отростка интенсивность напряжений имеет небольшой мак-

**Интенсивность напряжений при штамповке поковки «крестовина»**

Сечение	$\epsilon$ , %	$\sigma_i \cdot 10^8$ , МПа, при относительной высоте ступицы и относительной длине отростка				
		0	0,25	0,50	0,75	1,00
Ступица	35	1,96	2,10	2,15	2,11	1,97
	49	2,10	2,17	2,20	2,16	2,11
	70	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30
Отросток	35	2,10	2,23	2,25	2,00	1,45
	49	2,20	2,25	2,30	2,10	1,55
	70	2,30	2,58	2,70	2,50	2,20

симум при относительной длине отростка, равной 0,5, при всех степенях деформации по ступице поковки.

Величина среднего нормального напряжения (гидростатического давления)  $\frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$  по высоте ступицы остается отрицательной (сжатие) и возрастает с увеличением степени деформации по ступице. По высоте ступицы среднее нормальное напряжение не изменяется (рис. 3, а). При  $\varepsilon = 70\%$  (полное заполнение штампа) среднее нормальное напряжение резко возрастает.

По длине отростка среднее нормальное напряжение также остается отрицательным, но при  $\varepsilon = 35 - 49\%$  на свободной торцевой поверхности отростка его значение минимально. При полном заполнении отростков среднее нормальное напряжение отрицательно и по величине составляет от  $1 \cdot 10^9$  до  $1,6 \cdot 10^9$  Па. Установлено, что напряженно-деформированное состояние металла при выдавливании происходит при объемном напряженном состоянии сжатия, которое способствует получению поволоков хорошего качества.

По результатам моделирования процесса выдавливания крестовины с двухсторонним приложением нагрузки получена сила на стадии свободного выдавливания  $P_{и}$  и максимальная сила  $P_{м}$  при заполнении углов штампа. При двухстороннем приложении нагрузки с симметричным расположением боковых отростков деформирующая сила на стадии свободного выдавливания остается постоянной или уменьшается. Искажение поперечного сечения боковых отростков отсутствует. Зазора между поверхностями штампа и отростками не наблюдается. Далее силы пересчитывали на удель-

ные усилия и безразмерные относительные удельные усилия:  $p = P/F_k$  и  $q = p/\sigma_T$ ; здесь  $P$  – сила деформирования, Н;  $F_k$  – контактная площадь металла с пуансоном, мм<sup>2</sup>;  $p$  – удельная сила деформирования, МПа;  $\sigma_T$  – предел текучести металла при температуре, степени и скорости деформации реального технологического процесса, МПа.

При штамповке крестовины из стали 20Х получили величину относительного удельного усилия  $q_n = 3,1$ . Величина максимального усилия штамповки зависит от настройки штампа и может изменяться от  $(1,5 - 2,0)q_n$ . В рассматриваемом случае  $q_m = 5,28$ . Сравнивая результаты процесса выдавливания крестовины с односторонним и двухсторонним приложением силы, можно отметить, что при двухстороннем выдавливании на стадии свободного истечения сила меньше на 22 – 25 %, а на стадии заполнения гравюры штампа на 15 – 16 %.

Проверка адекватности компьютерного моделирования и натурных исследований показала хорошее совпадение результатов [4, 10].

**Выводы.** По результатам компьютерного моделирования процесса выдавливания с двухсторонним приложением силы установлено, что напряженно-деформированное состояние металла при выдавливании происходит при объемном напряженном состоянии сжатия, которое способствует получению поволоков без поверхностных дефектов. По результатам опытной штамповки крестовины карданного вала получены поковки хорошего качества. Технология рекомендована к промышленному использованию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Эдуардов М.С. Штамповка в закрытых штампах. – М.: Машиностроение, 1971. – 240 с.
2. Пат. 2165329 РФ, МПК В21К/00. Способ штамповки поволоков типа крестовин / Осколков А.И., Максимов А.А., Поксваткин М.И., Перетяtko В.Н. и др. Оpubл. 20.04.2001, бюл. № 4.
3. Филиппова М.В., Бахаев А.В., Перетяtko В.Н., Федоров А.А. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2011. № 10. С. 24 – 27.
4. Перетяtko В.Н., Бахаев А.В., Филиппова М.В. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 4. С. 27 – 29.
5. Peretyat'ko V.N., Bakhaev A.V., Filippova M.V., Vakhman S.A. // Steel in Translation. 2009. Vol. 39. № 4. Pp. 300, 301.
6. Специальные прокатные станы / Целиков А.И., Барбарин М.В., Васильчиков М.В. и др. – М.: Металлургия, 1971. – 336 с.
7. Перетяtko В.Н., Филиппова М.В., Климов А.С. и др. // Заготовительное производство в машиностроении. 2012. № 3. С. 17 – 19.
8. Пат. на полезную модель РФ, МПК В21К. Штамп для горячей штамповки поволоков типа крестовина из шаровой заготовки / Перетяtko В.Н., Федоров А.А. Оpubл. 20.01.2010; бюл. № 1.
9. Овчинников А.Г. Основы теории штамповки выдавливанием на прессах. – М.: Машиностроение, 1983. – 197 с.
10. Перетяtko В.Н., Бахаев А.В., Филиппова М.В., Вахман С.А. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2009. № 4. С. 21, 22.

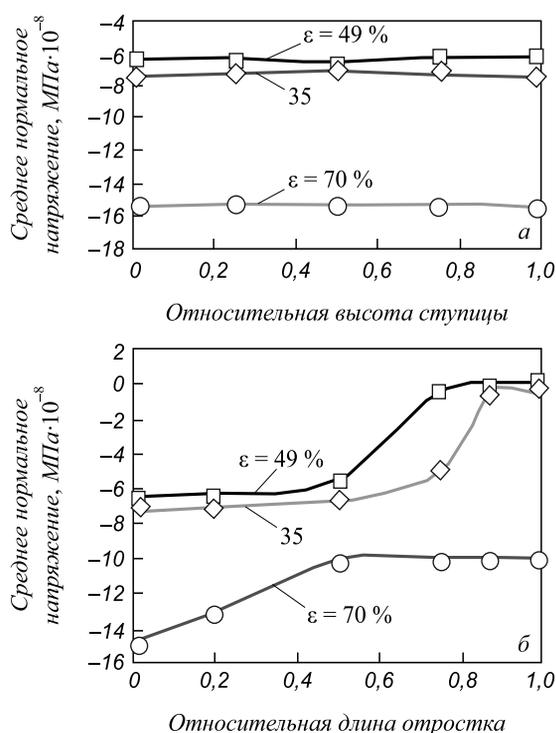


Рис. 3. Изменение среднего нормального напряжения по высоте ступицы (а) и по длине отростка (б)

© 2014 г. Филиппова М.В., Перетяtko В.Н., Федоров А.А., Климов А.С.  
Поступила 1 июля 2014 г.

## PUNCHING FORGINGS «CROSSPIECE» FROM BALL BLANKS

**Filippova M.V.**, Cand. Sci. (Eng.) Assist. Professor

(filippova\_mv@mail.ru)

**Peretyat'ko V.N.**, Dr. Sci. (Eng.), Professor

**Fedorov A.A.**, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor

**Klimov A.S.**, Postgraduate

Siberian State Industrial University (42, Kirova str., Novokuznetsk, Kemerovo Region, 654007, Russia)

**Abstract.** The new extruding technology of forging of «crosspiece» type from a ball blank subjected to two-sided force has been developed. The study of the stress-strain state of the metal has been conducted. The pilot batch of high quality forgings of «crosspiece» type for cardan shaft of the vehicle has been produced.

**Keywords:** stamping, extrusion, ball storage, stress, strain, average normal stress, quality forgings.

### REFERENCES

1. Eduardov M.S. *Shtampovka v zakrytykh shtampakh* [Closed-die forging]. Moscow: Mashinostroenie, 1971. 240 p. (In Russ.).
2. Oskolkov A.I., Maksimov A.A., Poksevatkin M.I., Peretyat'ko V.N. etc. *Sposob shtampovki pokovok tipa krestovyn* [Forming method of forgings of Crossings type]. Patent RF no. 2165329. *Byul. Izobretnii*, no. 4, 2001. (In Russ.).
3. Filippova M.V., Bakhaev A.V., Peretyat'ko V.N., Fedorov A.A. Ball billet die forming in formed hot modeling. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya – Ferrous Metallurgy*. 2011, no. 10, pp. 24–27. (In Russ.).
4. Peretyat'ko V.N., Bakhaev A.V., Filippova M.V. Modeling of axially symmetric forging die stamp process. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya – Ferrous Metallurgy*. 2010, no. 4, pp. 27–29. (In Russ.).
5. Peretyat'ko V.N., Bakhaev A.V., Filippova M.V., Vakhman S.A. Stamping axisymmetric forgings. *Steel in Translation*. 2009. Vol. 39, no. 4, pp. 300–301.
6. Tselikov A.I., Barbarin M.V., Vasil'chikov M.V. etc. *Spetsial'nye prokatnye stany* [Special mills]. Moscow: Metallurgiya, 1971. 336 p. (In Russ.).
7. Peretyat'ko V.N., Filippova M.V., Klimov A.S. etc. Ball blank. *Zagotovitel'noe proizvodstvo v mashinostroenii*. 2012, no. 3, pp. 17–19. (In Russ.).
8. Peretyat'ko V.N., Fedorov A.A. *Shtamp dlya goryachei shtampovki pokovok tipa krestovina iz sharovoi zagotovki* [Stamp for hot stamping forgings of crossings type from ball blank]. Patent RF na poleznuju model' RF, MPK V21K. *Byul. Izobretii*, no. 1, 2010. (In Russ.).
9. Ovchinnikov A.G. *Osnovy teorii shtampovki vydavlivaniem na pressakh* [The theory fundamentals of extruding presses]. Moscow: Mashinostroenie, 1983. 197 p.
10. Peretyat'ko V.N., Bakhaev A.V., Filippova M.V., Vakhman S.A. Hot forming of axially symmetric forgings. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya – Ferrous Metallurgy*. 2009, no. 4, pp. 21–22. (In Russ.).

Received July 1, 2014

УДК 669.184.125.046.58.001.76

## ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ВИХРЕВЫХ ТЕЧЕНИЙ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ОГНЕУПОРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ФУТЕРОВКУ КОНВЕРТЕРОВ\*

**Фейлер С.В.**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент (feyler@rdtc.ru)

**Протопопов Е.В.**<sup>1</sup>, д.т.н., профессор

**Чернятевич А.Г.**<sup>2</sup>, д.т.н., профессор

**Калиногорский А.Н.**<sup>1</sup>, аспирант

**Багрянцев В.И.**<sup>1</sup>, к.т.н.

<sup>1</sup> Сибирский государственный индустриальный университет  
(654007, Россия, Новокузнецк, Кемеровской обл., ул. Кирова, 42)

<sup>2</sup> Днепропетровский государственный технический университет  
(Украина, Днепропетровск, ул. Днепропетровская, д. 2)

**Аннотация.** С использованием методов физического моделирования изучены режимы истечения вихревых газовых потоков из сопел различного диаметра при различном расходе газа.

**Ключевые слова:** конвертер, стойкость футеровки, раздувка шлака, шлаковый гарнисаж, вихревые потоки.

Эффективная реализация технологии нанесения шлакового гарнисажа на футеровку кислородных конвертеров

предусматривает использование специальных дутьевых устройств и определенного дутьевого режима операции [1, 2]. Новая теоретическая и экспериментальная информация в этом направлении позволяет в промышленных условиях принимать более обоснованные технические решения.

\* Работа выполнена в СибГИУ по государственному заданию Минобрнауки РФ, проект 2556.