

УДК 621.771

Кривцова О. Н.
Кузьмина Н. Ю.
Михеев С. С.
Цыганова В. М.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ПОЛОСЫ В ИСПОЛЬЗУЕМЫХ И РЕКОМЕНДУЕМЫХ КАЛИБРАХ В УСЛОВИЯХ СОРТОПРОКАТНОГО СТАНА АО «АРСЕЛОРМИТТАЛ ТЕМИРТАУ»

В настоящее время АО «АрселорМиттал Темиртау» особое внимание уделяет вопросу увеличения производства арматурного проката, пользующегося повышенным спросом на рынке Казахстана. Нарращивание производства продукции путем эффективного использования действующих мощностей, что позволит изготавливать качественную продукцию в минимальные сроки и с минимальными затратами, одна из задач АО «АрселорМиттал Темиртау». Одним из способов увеличения мощности является увеличение размеров исходной заготовки, что позволит с минимальными потерями по сравнению с заготовкой меньшим сечением увеличить производительность и уменьшить расходный коэффициент без изменения качества готовой арматуры. Преимущество производства арматурного проката из заготовок большего сечения состоит в увеличении суммарной вытяжки, что способствует лучшей прорабатываемости структуры металла [1].

Основным элементом технологии производства сортового проката является калибровка валков, от правильной разработки которой зависят технико-экономические и качественные показатели процесса прокатки. Не существует критериев правильности выбора калибровки того или иного профиля. Бесконечное множество вариантов калибровки обеспечивает получение требуемого профиля проката из заданной заготовки [2]. В качестве критериев оптимизации используют минимум энергозатрат, максимальный коэффициент эффективности калибровки, минимальный износ валков или другие показатели. Решение подобных задач оптимизации из-за отсутствия научно обоснованных методов расчета калибровки валков не представлялось возможным, т.к. работа калибровщика базировалась на практическом, а не на методическом опыте. В настоящее время имеющийся разрыв между теорией и комплексом знаний в обработке металлов давлением по разработке калибровки постепенно сокращается [2].

В условиях сортопрокатного производства АО «АрселорМиттал Темиртау» функционирует непрерывный стан 320, имеющий в своем составе 16 клетей. Исходным материалом для сортопрокатного стана является квадратная заготовка сечением 130×130 мм из спокойных и полуспокойных марок сталей [3]. В связи с переходом на заготовку увеличенного сечения 150×150 мм для производства арматурной стали определение эффективности рекомендуемых систем вытяжных калибров необходимо и актуально.

При прокатке арматурных профилей применяют различные вытяжные калибры, образующие системы: ромб-квадрат, овал-квадрат, овал-ребровой овал, овал-круг [4–6]. Деформация металла в каждом калибре неравномерна по его ширине, а максимальная величина коэффициента вытяжки и эффективность деформации обусловлена соотношением размеров и формой заготовки и калибра. Вместе с тем максимальные величины обжатия и коэффициента вытяжки обусловлены, помимо иных факторов, величиной уширения, необходимой для полного заполнения калибра по ширине. При этом чем меньше величина физического уширения металла, тем эффективнее процесс прокатки металла [7].

С целью изучения эффективности формоизменения полосы в используемых и рекомендуемых калибрах исследовали эффективность деформации металла в вытяжных калибрах при прокатке арматурного профиля различных номеров в условиях СПЦ АО «АрселорМиттал Темиртау».

При производстве арматурных профилей №10, 20, 32 из заготовки 130×130мм применяются следующие виды калибров (табл. 1) [3].

Таблица 1

Применяемые типы калибров при производстве арматурных профилей №10, 20, 32 из заготовок сечением 130×130мм и 150×150мм

Номер клетки	Арматурный профиль		
	№10	№20	№32
1	Ящичный		
2	Ящичный		
3	Овал		
4	Квадрат		
5	Овал		
6	Квадрат		
7	Овал		
8	Квадрат		
9	Овал		
10	Квадрат		Круг/-
11	Гладкая бочка	Овал	-/Гладкая бочка
12	Прямоугольный	Квадрат	-/Квадрат
13	Овал	Гладкая бочка	-/Овал
14	Круг	Круг/Квадрат	-/Круг
15	Овал	-/Овал	-/-
16	Круг	-/Круг	-/-

Примечание: Числитель – заготовка 130х130мм, знаменатель –150х150 мм

Характеристика данных систем калибров приведена в табл. 2[8].

Таблица 2

Характеристика вытяжных систем калибров

Название и форма калибра	Особенности системы
Овал-квадрат	Высокие вытяжки, систематическое обновление углов прокатываемой полосы, устойчивое положение полосы в калибрах, неравномерная деформация по ширине калибра. Вытяжки в овальных калибрах превышают вытяжки в квадратных калибрах.
Овал-круг	Плавное формоизменение, чистая поверхность прокатываемых полос, малые вытяжки и необходимость удержания овальной полосы в круглых калибрах.

При прокатке арматурных профилей номеров №10, 20, 32 из заготовки увеличенного сечения, т.е. 150×150 мм, возникла необходимость перераспределения обжатий и задействования в работе клетей, неиспользуемых ранее при прокатке арматурных профилей из заготовки 130×130 мм. Ввиду увеличения общей суммарной вытяжки и нагрузки на электродвигатели результаты предварительных расчетов показали, что данное решение возможно реализовать только при прокатке арматурных профилей №20 и 32.

При прокатке арматурного профиля №10 из обоих размеров заготовок задействованы все клетки. При прокатке арматурного профиля №20 из заготовки 150×150мм количество задействованных клетей увеличилось с 14 до 16. При прокатке арматурного профиля №32 из заготовки 150×150 мм количество задействованных клетей увеличилось с 10 до 14.

Возможные типы калибров, задействованных при производстве арматурных профилей №10, 20, 32 из заготовки 150×150 мм представлены в табл. 1.

Для оценки эффективности формоизменения полосы в выбранных калибрах воспользовались методикой, приведенной авторами работы [8]:

$$k_3 = \frac{1}{1 + C_f \cdot \frac{B_{cp}}{l_d} \left(1 + \frac{tg\varphi}{f_b} \right)} \quad (1)$$

где C_f – коэффициент, отражающий отношение сопротивлений течению металла на контакте в поперечном и продольном направлениях ($C_f = \frac{f_b}{f}$; f – коэффициент трения в продольном направлении);

B_{cp} – средняя величина контактной поверхности в очаге деформации калибра;

l_d – средневзвешенная длина дуги контакта;

$tg\varphi$ – средний угол наклона стенки калибра;

f_b – коэффициент сопротивления течению металла на контактной поверхности в поперечном направлении.

Из выражения (1) следует, что коэффициент эффективности формирования полосы в калибре возрастает с увеличением отношения $\frac{B_{cp}}{l_d}$, угла φ наклона стенки калибра и коэффициента C_f .

После выбора методики расчета ставилась задача оценить эффективность калибров используемых сейчас и рекомендуемых для производства арматурного проката из заготовок обоих размеров сечения в условиях АО «АрселорМиттал Темиртау».

Оценка эффективности рекомендуемых вытяжных калибров для НМС320 необходима в связи с переходом на увеличенное сечение исходной заготовки с 130×130мм на 150×150мм. Арматурные профили №10, 20, 32 в условиях СПЦ прокатывали из стали марки Ст5сп.

Для проведения оценки эффективности металла в вытяжных калибрах при прокатке арматурного проката №10,20,32 собиралась информация в период с 02.2013г. по 07.2013г. Для расчета эффективности калибров использовались следующие параметры: высота h и ширина b полосы, ее обжатие Δh и уширение Δb , диаметр бочки вала D_b , катающий диаметр вала D_k , мм. Исходные данные для расчета перечисленных выше величин приведены в табл. 3 на примере производства профиля №10 [3].

Таблица 3

Фрагмент исходных данных по арматурному профилю №10 из заготовки 130 × 130мм

№ клетки	Название клетки	h, мм	b, мм	Δh , мм	Δb , мм	Диаметр бочки вала, D_b , мм	Диаметр катающий, D_k , мм
0	Заготовка	130,00	130,00	-	-	-	-
1	Ящичный	96,00	157,30	34,00	27,30	510,00	472,50
2	Ящичный	95,00	110,00	62,30	14,00	510,00	447,50
3	Овал	60,50	118,50	49,50	23,50	510,00	479,75
4	Квадрат	78,00	80,00	40,50	19,50	510,00	463,00
5	Овал	40,50	94,00	39,50	16,00	510,00	483,25
6	Квадрат	54,00	56,00	40,00	15,50	510,00	474,00
7	Овал	29,00	63,00	27,00	9,00	415,00	392,50
8	Квадрат	33,00	35,00	30,00	6,00	415,00	385,50
9	Овал	22,70	43,00	12,30	10,00	415,00	397,10
10	Квадрат	27,24	28,00	15,76	5,30	415,00	390,50

Продолжение табл. 3

11	Гладкая бочка	14,60	40,00	13,40	12,76	415,00	404,30
12	Прямоугольник	31,50	15,20	8,50	0,60	415,00	385,25
13	Овал	13,80	33,10	1,40	1,60	415,00	401,75
14	Круг	12,10	40,50	1,70	7,40	415,00	400,35
15	Овал	7,50	15,50	4,60	2,00	320,00	310,00
16	Круг	10,00	10,00	5,50	2,50	320,00	306,75

Также были определены необходимые для расчета значения высоты и ширины вреза калибра в валки. Аналогично были рассчитаны значения вытяжек и коэффициентов деформации и для арматурных профилей №20, 32 при использовании заготовок обоих размеров сечения.

По результатам расчетов построены гистограммы зависимостей коэффициентов эффективности деформации в вытяжных калибрах при прокатке арматурных профилей от номера клетки (рис. 1–3).

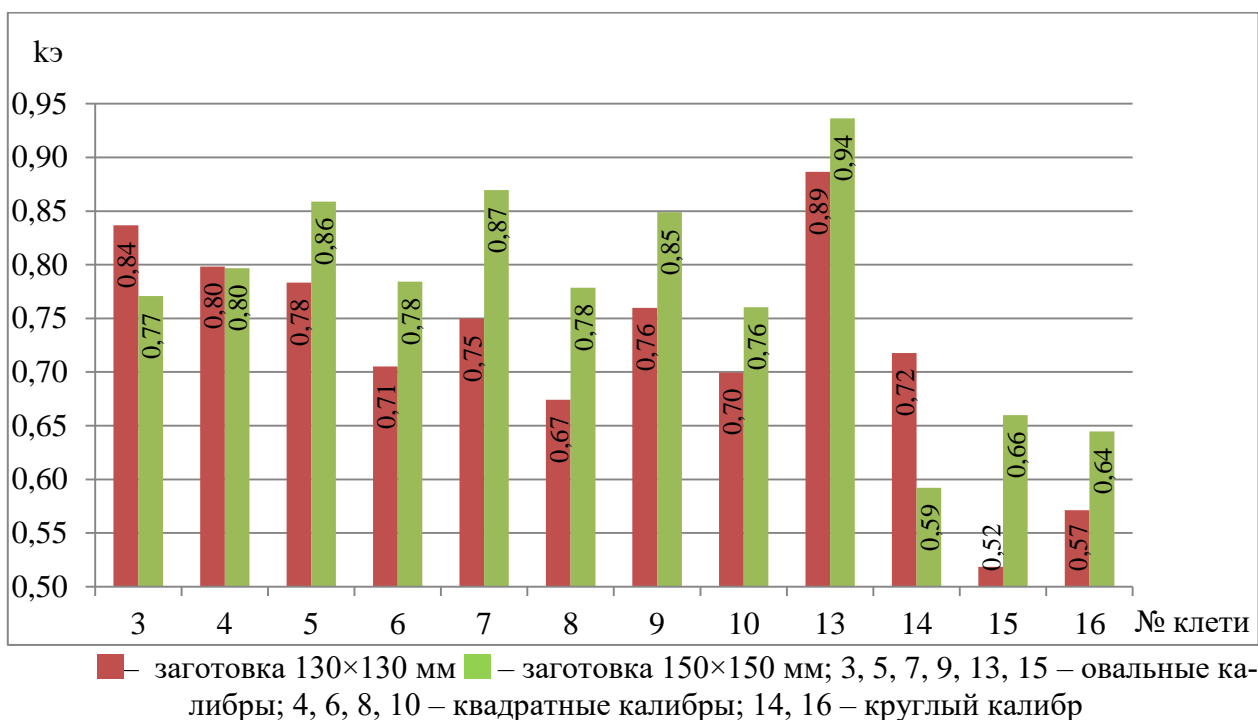


Рис. 1. Коэффициенты эффективности деформации в вытяжных калибрах при прокатке арматурного профиля № 10

Для проведения исследования и анализа результатов расчетов выделили максимальные, минимальные и средние значения коэффициентов эффективности деформации (рисунок 1 – 3). Для удобства результаты расчетов сведены в табл. 4.

Таблица 4

Значения коэффициентов эффективности деформации при прокатке арматурных профилей №10, 20, 32 из заготовок обоих типов размеров

Арматурный профиль	№10		№20		№32	
	130×130	150×150	130×130	150×150	130×130	150×150
k_d						
max	0,89	0,94	0,87	0,90	0,84	0,90
min	0,52	0,59	0,63	0,65	0,65	0,72
cp	0,73	0,78	0,75	0,79	0,77	0,83

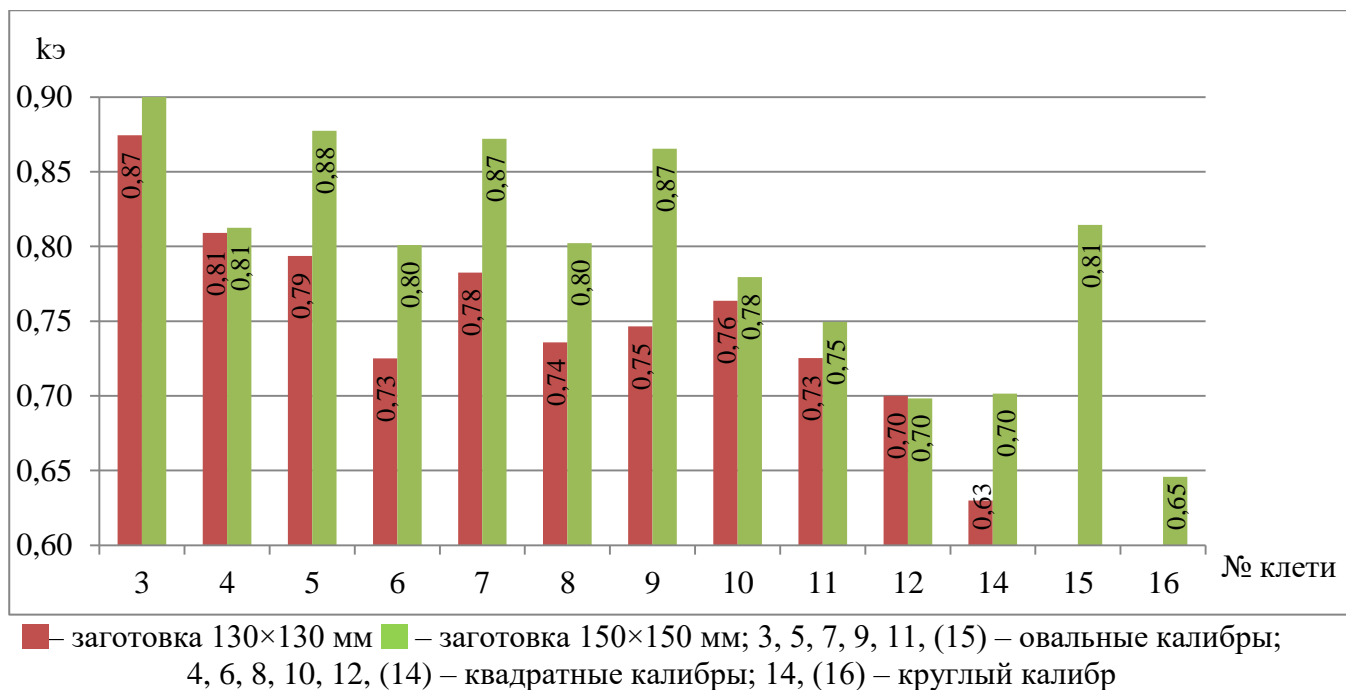


Рис. 2. Коэффициенты эффективности деформации в вытяжных калибрах при прокатке арматурного профиля № 20

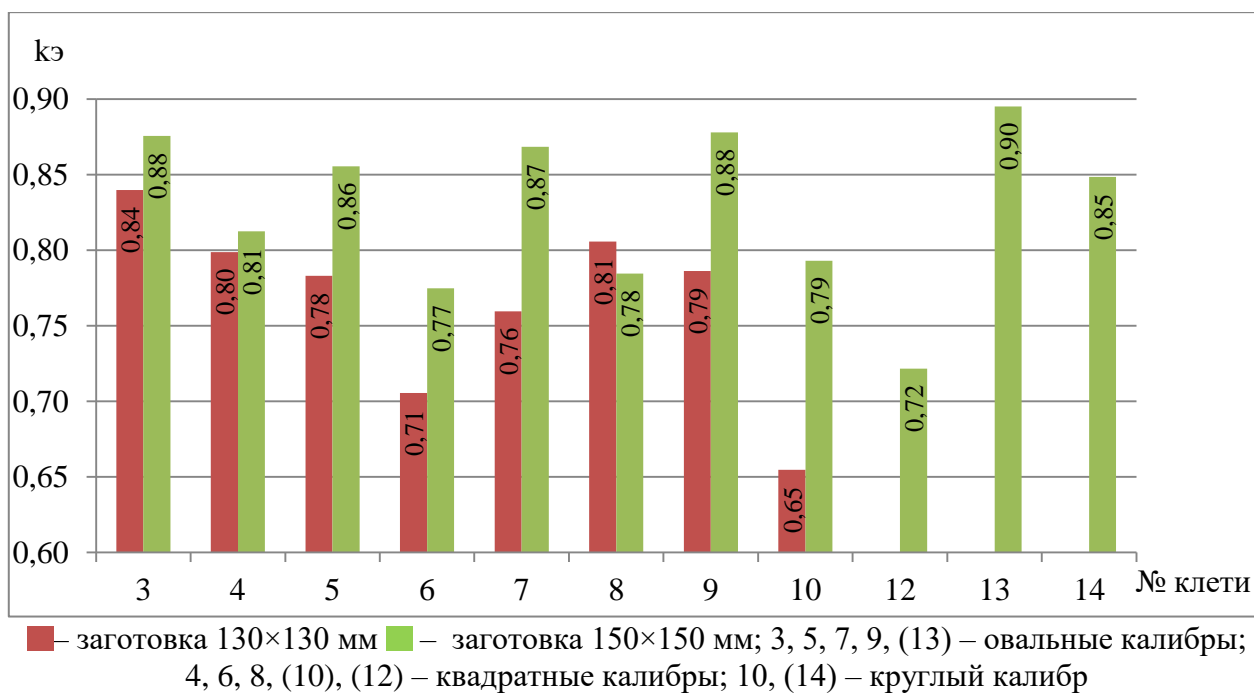


Рис. 3. Коэффициенты эффективности деформации в вытяжных калибрах при прокатке арматурного профиля №32

Максимальные значения коэффициентов эффективности деформации $kэ = (0,94; 0,90; 0,90)$, в среднем $\sim 0,91$, наблюдаются при прокатке арматурных профилей №10, 20, 32 из заготовки 150×150 мм. Минимальные коэффициенты эффективности деформации $kэ = (0,52; 0,63; 0,65)$, в среднем $\sim 0,6$, наблюдаются при прокатке арматурных профилей №10, 20, 32 из заготовки сечением 130×130 мм.

Максимальное значение коэффициента эффективности деформации равно $k_3=0,94$ соответствует арматурному профилю №10 при прокатке его из заготовки 150×150 мм. Значение данного коэффициента по сравнению с коэффициентом эффективности деформации $k_3=0,89$ при прокатке данного профиля из заготовки 130×130 мм увеличилось на ~6%.

Максимальные значения коэффициента эффективности при прокатке арматурного профиля большего сечения из заготовки 130×130 мм снизились с 0,89 до 0,84. При прокатке из заготовки 150×150 мм арматурных профилей №10,20 величина коэффициента эффективности снизилась (с 0,94 до 0,90). Однако при прокатке арматурного профиля №32 величина коэффициента эффективности осталась неизменной и равной 0,90. Можно предположить, что при прокатке заготовки 150×150 мм максимальный коэффициент эффективности по мере прокатывания профиля большего сечения номеров №10, 20, 32 снижается до значения 0,90 и далее стабилизируется.

Минимальное значение коэффициента эффективности деформации равно $k_3=0,52$ при прокатке арматурного профиля №10 из заготовки сечением 130×130 мм. Значение данного коэффициента по сравнению с коэффициентом эффективности деформации $k_3=0,59$ при прокатке арматурного профиля №10 из заготовки 130×130 мм меньше на ~13%. Минимальные значения коэффициента эффективности при прокатке арматурного профиля №10, 20, 32 из заготовки 130×130 мм увеличились с 0,52 до 0,65. При прокатке арматурных профилей №10,20,32 из заготовки сечением 150×150 мм величина коэффициента эффективности также увеличилась с 0,59 до 0,72.

Таким образом, изменение значений среднего коэффициента эффективности деформации при прокатке арматурного профиля из заготовки 150×150 мм по сравнению с прокаткой из заготовки 130×130 мм $\Delta k_{\varepsilon_{10}} = 6,85\%$; $\Delta k_{\varepsilon_{20}} = 5,33\%$; $\Delta k_{\varepsilon_{32}} = 7,79\%$ подтверждает возможность применения заготовок большего сечения в условиях АО «АрселорМиттал Темиртау» при получении арматурного профиля всех типоразмеров.

ВЫВОДЫ

1. Средний коэффициент эффективности деформации при прокатке арматурного профиля №10,20,32 из заготовки 150×150 мм увеличился в среднем на ~7% (5...8%) по сравнению с заготовкой 130×130 мм. Полученное значение доказывает эффективность деформации заготовки большего сечения при выбранных системах калибров валков.

2. При прокатке заготовки большего размера при максимальном заполнении калибра средний коэффициент эффективности деформации возрастает в среднем при прокатке в овальном калибре на 9%, при прокатке в квадратном калибре на 5%, при прокатке в круглом калибре на 14,5% соответственно.

3. Полученные результаты непосредственно подтверждают эффективность деформации в выбранных системах калибров при прокатке арматурных профилей из заготовок увеличенного сечения в условиях СПЦ АО «АрселорМиттал Темиртау».

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Освоение технологии производства арматурных профилей / Ю. А. Мартыянов, А. В. Телякова, О. Ю. Ефимов [и др.] // *Сталь*. – 2007. – №10. – С. 48.
2. Кинзин Д.И. Оптимизация формы вытяжных калибров / Д.И. Кинзин // *Калибровочное бюро*. – 2013. – №1. – С. 20–24.
3. Технологическая инструкция ТИ СП – 01 – 2010. Производство сортового проката на непрерывном сортовом стане – СПЦ. – Темиртау: АО АрселорМиттал Темиртау, 2010. – 62 с.
4. Чекмарев А.П. Калибровка прокатных валков / А. П. Чекмарев, М. С. Мутьев, Р. А. Машковцев. – М.: *Металлургия*, 1971. – 512 с.

5. Эффективность деформации сортовых профилей / С. А. Тулупов, Г. С. Гун, В. Д. Онискив, В. А. Курдюмова, К. Л. Радюкевич. – М.: Металлургия, 1990. – 280 с.
6. Николаев В.А. Деформация металла при прокатке в калибрах / В. А. Николаев. – Запорожье: ЗГИА, 2006. – 196 с.
7. Николаев В. А. Эффективность деформации металла в вытяжных калибрах / В. А. Николаев // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2011. – №6. – С. 26–28.
8. Николаев В.А. Оценка формул для расчета уширения в калибрах / В. А. Николаев // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2007. – № 1. – С. 43–46.

REFERENCES

1. Osvoenie tehnologii proizvodstva armaturnyh profilej / Ju. A. Mart'janov, A. V. Teljakova, O. Ju. Efimov [i dr.] // *Stal'*. – 2007. – №10. – S. 48.
2. Kinzin D.I. Optimizacija formy vytjazhnyh kalibrov / D.I. Kinzin // *Kalibrovochnoe bjuro*. – 2013. – №1. – S. 20–24.
3. Tehnologicheskaja instrukcija TI SP – 01 – 2010. Proizvodstvo sortovogo prokata na nepreryvnom sortovom stane – SPC. – Temirtau: AO ArselorMittal Temirtau, 2010. – 62 s.
4. Chekmarev A.P. Kalibrovka prokatnyh valkov / A. P. Chekmarev, M. S. Mut'ev, R. A. Mashkovcev. – М.: Metallurgija, 1971. – 512 s.
5. Jeffektivnost' deformacii sortovyh profilej / S. A. Tulupov, G. S. Gun, V. D. Oniskiv, V. A. Kurdjumova, K. L. Radjukevich. – М.: Metallurgija, 1990. – 280 s.
6. Nikolaev V.A. Deformacija metalla pri prokatke v kalibrah / V. A. Nikolaev. – Zaporozh'e: ZGIA, 2006. – 196 s.
7. Nikolaev V. A. Jeffektivnost' deformacii metalla v vytjazhnyh kalibrah / V. A. Nikolaev // *Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost'*. – 2011. – №6. – S. 26–28.
8. Nikolaev V.A. Ocenka formul dlja rascheta ushirenija v kalibrah / V. A. Nikolaev // *Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost'*. – 2007. – № 1. – S. 43–46.

Кривцова О. Н. – канд. техн. наук, доц. каф. ОМД КГИУ
Кузьминова Н. Ю. – преп. каф. ОМД КГИУ
Михеев С. С. – студент каф. ОМД КГИУ
Цыганова В. М. – студент каф. ОМД КГИУ

КГИУ – Карагандинский государственный индустриальный университет, г. Темиртау, Республика Казахстан.

E-mail: krivcova60@mail.ru; sergey_miheev_95@mail.ru; vika_kiss_me@mail.ru

Статья поступила в редакцию 28.02.2017 г.