

УДК 621.771.01

Руденко Е. А.  
Фролова М. О.**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ СЛЯБОВ  
ПОСЛЕ МНОГОКРАТНОГО ОБЖАТИЯ В ГЛАДКИХ И КАЛИБРОВАННЫХ  
ВЕРТИКАЛЬНЫХ ВАЛКАХ**

Процесс обжатия высоких и сверхвысоких слэбов в вертикальных валках редуцирующей клетки широкополосного стана характеризуется неустановившимися стадиями на участках переднего и заднего концов. В результате, после обжатия слэба в вертикальных валках (ВВ) форма раската в плане получает утянутый по ширине с вогнутым торцом передний конец, и задний конец с вогнутым торцом. Форма поперечного сечения раската изменяется от прямоугольной на торцах до вогнутой с локальными наплывами металла в области боковых кромок на основной части длины слэба. Основные потери металла при реализации процесса редуцирования на широкополосных станах горячей прокатки приходится на концевую обрезь, которая определяется искажением формы поперечного сечения слэба и концов раската в плане.

В ряде работ представлены результаты исследования параметров формоизменения раскатов при малых разовых обжатиях узких [1] и широких [2] слэбов при прокатке в гладких вертикальных валках. В работе [3] нами были получены данные по влиянию разовых обжатий на параметры формоизменения поперечного сечения слэбов и концов раскатов в плане при прокатке в калиброванных ВВ. Однако в литературе нет сведений по влиянию многократных обжатий в калиброванных ВВ на формоизменение слэбов при их редуцировании.

Целью работы является исследование влияния многократной деформации в вертикальных валках с ящичными калибрами на параметры формоизменения слэбов при их редуцировании.

Экспериментальные исследования формоизменения раскатов при многократной деформации в ВВ выполняли методом физического моделирования на лабораторном стане 100. Масштаб моделирования 1:30, моделирующий материал – свинец. Моделировали процесс редуцирования слэбов толщиной  $H = 240$  мм, шириной 1350, 1800 и 2250 мм в вертикальных валках диаметром 1500 мм с гладкой бочкой и с тремя ящичными калибрами с шириной дна ручья  $B_d = 240$  мм, шириной у развеса  $B_p = 340, 320, 300$  мм и глубиной  $H_p = 150, 195, 250$  мм.

При исследовании влияния многократного обжатия в ВВ на формоизменение раската три группы образцов толщиной 8 мм и шириной 40,3–48,2 мм, 56,5–62,5 мм, 70,3–75,8 мм обжимали в гладких и калиброванных вертикальных валках за один, два и три последовательных прохода с обжатием 1,5 мм. Часть образцов в каждой группе обжимали на гладкой бочке и в калибрах разово примерно на 1,5, 3 и 4,5 мм. После обжатия измеряли параметры формоизменения поперечного сечения образцов и концов раската в плане.

Параметры формоизменения поперечного сечения раската после обжатия в гладких ВВ (а) и концов раската в плане после обжатия в гладких или калиброванных ВВ (б) показаны на рис. 1.

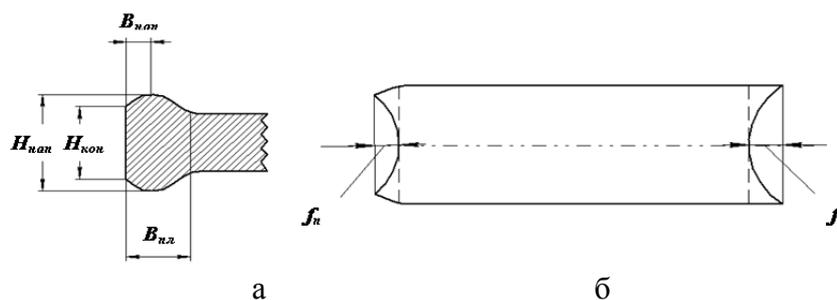


Рис. 1. Параметры формоизменения поперечного сечения и концов раската в плане

В качестве параметров формы поперечного сечения и концов раската в плане (рис. 1) приняли:  $f_n, f_z$  – стрелы вогнутости переднего и заднего торцов раската;  $B_{пл}$  – глубина проникновения деформации по ширине;  $H_{кон}, H_{нап}$  – толщина раската на контакте и толщина наплыва;  $B_{нап}$  – расстояние от боковой кромки до вершины наплыва;  $K_{зан}$  – показатель заполнения ручья калибра металлом ( $K_{зан} = H_{зан}/H_p$ , где  $H_{зан}$  – глубина заполнения) [3].

В качестве независимых переменных формоизменения поперечного сечения и концов раската в плане сляба приняли: отношение ширины к толщине сляба  $B/H$  – показатель поперечного сечения сляба;  $\Sigma\Delta B_i/B_0$  – возрастающее относительное обжатие по проходам при редуцировании;  $\Sigma\Delta B_i/B_{cp}$  – условный показатель суммарного обжатия (количество проходов при равномерном обжатии);  $K_{кал}$  – показатель размера ящичного калибра [4].

Диапазоны изменения независимых переменных составили:  $B/H = 5,1-9,44$ ;  $\Sigma\Delta B_i/B_0 = 0,02-0,13$ ;  $\Sigma\Delta B_i/B_{cp} = 2-3$ ;  $K_{кал} = 1,14-1,46$ .

На рис. 2–6 показано влияние переменных на параметры формоизменения поперечного сечения и концов раската в плане слябов после разового и многократного обжатия в ВВ.

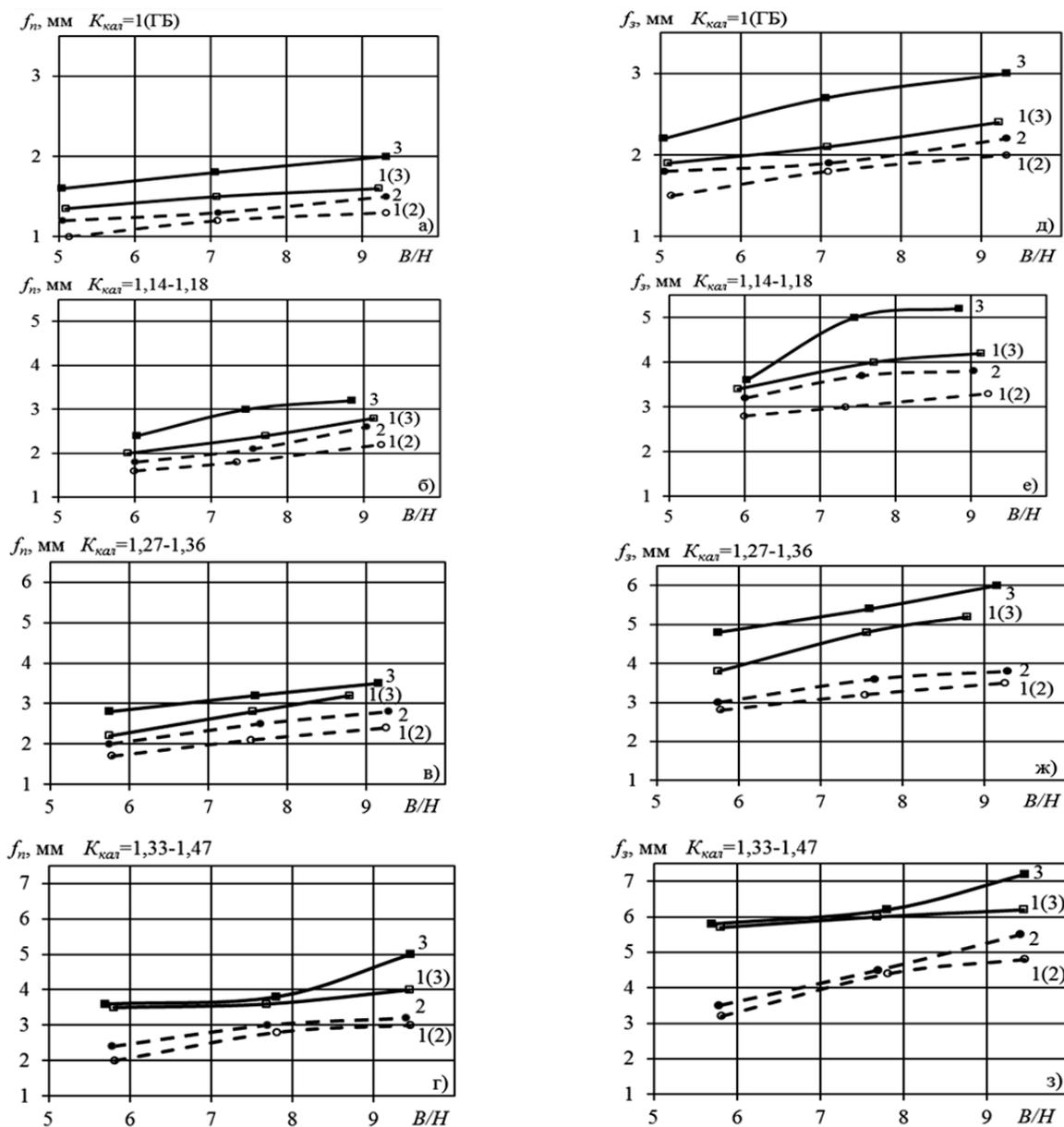


Рис. 2. Зависимость вогнутости переднего  $f_n$  (а, б, в, г) и заднего  $f_z$  (д, е, ж, з) концов раската после разового и многократного обжатия образцов (модели) в калибрах и на гладкой бочке от критериев  $B/H$  и  $K_{кал}$

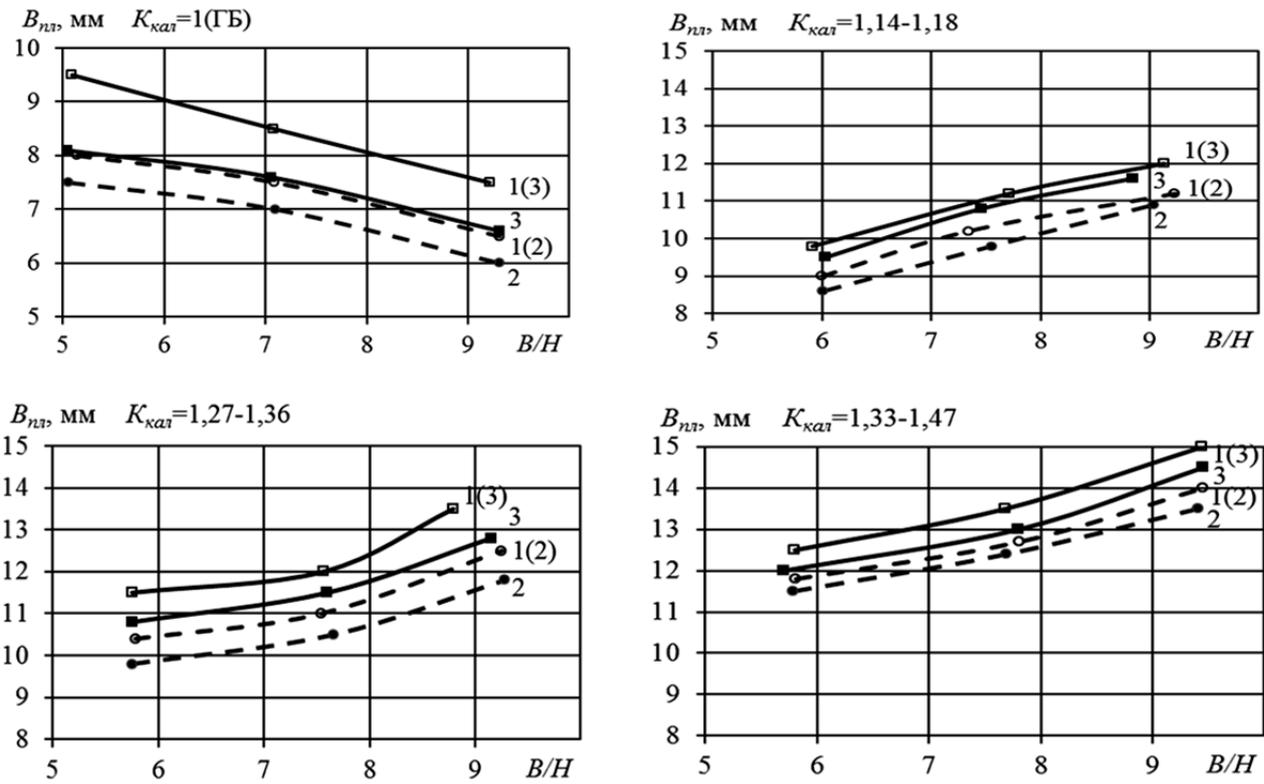


Рис. 3. Зависимость глубины проникновения деформации  $B_{пл}$  после разового и многократного обжатия образцов (модели) в калибрах и на гладкой бочке от критериев  $V/H$  и  $K_{кал}$

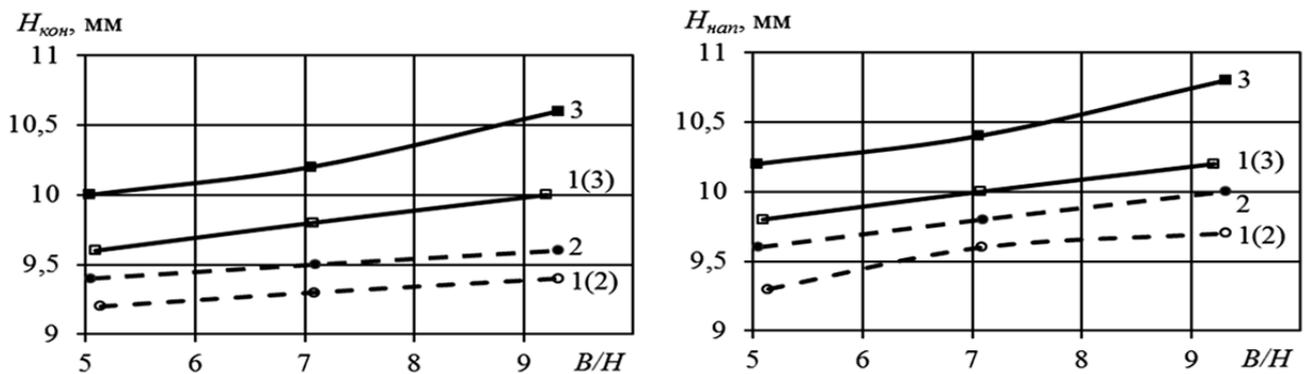


Рис. 4. Зависимость толщины образца на контакте  $H_{кон}$  и толщины наплыва  $H_{нап}$  после разового и многократного обжатия образцов (модели) на гладкой бочке от критерия  $V/H$

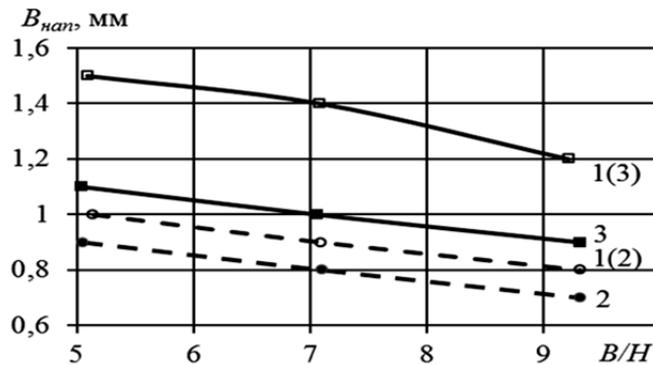


Рис. 5. Зависимость расстояния от боковой кромки до вершины наплыва  $B_{нап}$  после разового и многократного обжатия образцов (модели) на гладкой бочке от критерия  $V/H$

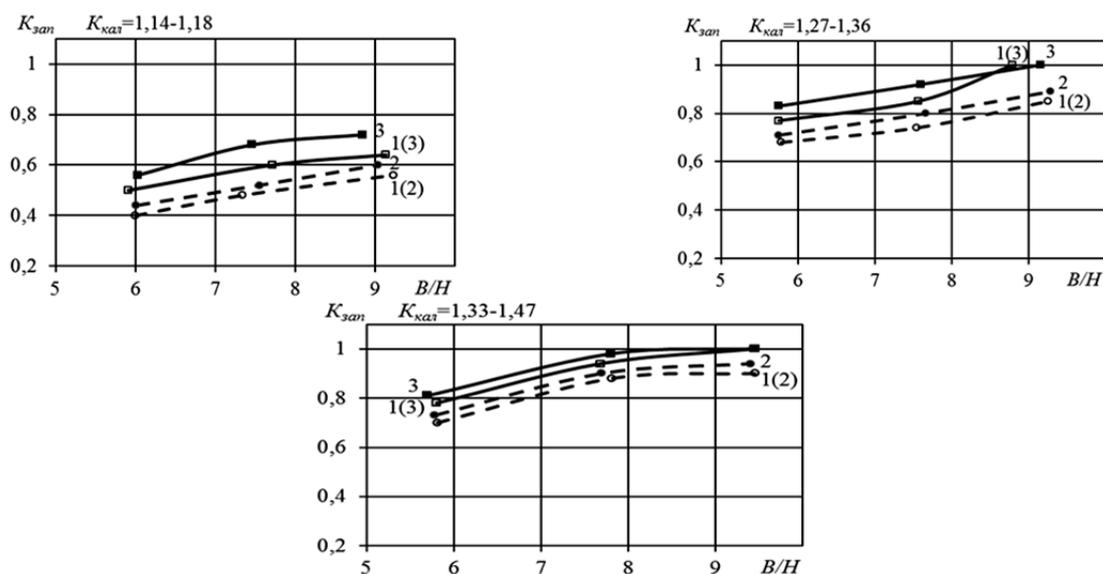


Рис. 6. Зависимость коэффициента заполнения  $K_{зан}$  после разового и многократного обжатия образцов (модели) в калибрах от критериев  $B/H$  и  $K_{кал}$

На рис. 2–6 кривые 3, 2 – обжатие образца за три (два) прохода; 1(3), 1(2) – обжатие образца за один проход с суммарным обжатием как у образца за три (два) прохода

Как видно из графиков при многократном обжатии (2–3 прохода) в гладких и калиброванных ВВ значения параметров формоизменения раскатов  $f_n$ ,  $f_z$ ,  $H_{кон}$ ,  $H_{нап}$ ,  $K_{зан}$  больше, чем при разовом обжатии при равных условиях, а значения параметров  $B_{пл}$  и  $B_{нап}$  меньше.

Увеличение отношения ширины к толщине образца  $B/H$  приводит к росту стрел вогнутости переднего  $f_n$  и заднего  $f_z$  конца, причем, при многократной деформации в гладких и калиброванных ВВ искажение формы концов раската в плане больше, чем при разовой с одинаковым суммарным обжатием. Стрела вогнутости заднего конца раската больше переднего в 1,5–2 раза.

Глубина проникновения деформации  $B_{пл}$  при многократном обжатии в ВВ с ростом отношения  $B/H$  увеличивается при прокатке в калибрах и уменьшается при прокатке на гладкой бочке.

Наименьшие значения параметров формы раската  $f_n$ ,  $f_z$  и  $B_{пл}$  наблюдается при многократном обжатии на гладкой бочке; в калибрах наименьшее значение при  $K_{кал} = 1,14–1,18$ , а наибольшее при  $K_{кал} = 1,33–1,46$ .

Толщина образца на контакте  $H_{кон}$  и толщина образца по локальным прикромочным наплывам  $H_{нап}$  после многократного обжатия на гладкой бочке растет с увеличением отношения  $B/H$ . Расстояние от боковой кромки до вершины наплыва  $B_{нап}$  при прокатке на гладкой бочке с ростом  $B/H$  уменьшается.

Полное заполнение ручья калибра наблюдается при многократной деформации с суммарным обжатием 4,5 мм широких слябов в средних и глубоких узких калибрах с показателем  $K_{кал} = 1,27–1,46$ .

Для определения параметров формы концов раската и поперечного сечения после многократных обжатий слябов в вертикальных валках выбрана регрессионная модель вида:

$$Y/B = f \{ (\sum \Delta B_i / B_0) ; (\sum \Delta B_i / B_{cp}) ; (B/H) ; K_{кал} \}, \quad (1)$$

где  $Y = f_n, f_z, B_{пл}, K_{зан}$ .

После регрессионной обработки данных получены зависимости в виде многочлена:

$$Y/B = B_0 + B_1 (\sum \Delta B_i / B_0) + B_2 (\sum \Delta B_i / B_{cp}) + B_3 (B/H) + B_4 K_{кал}. \quad (2)$$

Значения коэффициентов из зависимости (2) приведены в табл. 1.

Таблица 1

## Значения коэффициентов

$Y \setminus B$	$B_0$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$
$f_n/B$	-0,0018	0,2280	0,00468	0,00046	-
$f_3/B$	-0,0010	0,3112	0,00646	0,00085	-
$H_{кон}/B$	0,2882	0,3345	0,00886	-0,02050	-
$H_{нап}/B$	0,3018	0,2370	0,00765	-0,02081	-
$B_{нап}/B$	0,0164	0,2412	-0,00281	-0,00119	-
$B_{пл}/B$	0,2189	0,8583	-0,00639	-0,01744	-
$f_n/B$	-0,0726	0,3921	0,00275	0,00326	0,04323
$f_3/B$	-0,0964	0,6629	0,00391	0,00433	0,05733
$B_{пл}/B$	-0,0229	0,5905	-0,00678	-0,00522	0,17133
$K_{зап}/B$	-2,0492	3,0762	0,02214	0,12053	1,26789

Полученные модели адекватны, средняя ошибка аппроксимации и коэффициент множественной корреляции составили  $\varepsilon = 11\text{--}14\%$  и  $R = 0,94\text{--}0,98$ .

## ВЫВОДЫ

При многократном обжатии (2–3 прохода) в гладких и калиброванных ВВ значения параметров формоизменения раскатов  $f_n, f_3, H_{кон}, H_{нап}, K_{зап}$  больше, чем при разовом обжатии при равных условиях, а значения параметров  $B_{пл}$  и  $B_{нап}$  меньше.

С увеличением отношения ширины к толщине образца  $B/H$  все параметры формоизменения  $f_n, f_3, B_{пл}, K_{зап}, H_{кон}, H_{нап}, B_{нап}$  увеличиваются.

Отношение  $B/H$  при многократном обжатии в калибрах и на гладкой бочке влияет на  $B_{пл}$  и  $B_{нап}$  по-разному: при прокатке в калибрах увеличивается с ростом  $B/H$ , а на гладкой бочке – уменьшается.

Наименьшие значения параметров формы концов  $f_n, f_3$  и  $B_{пл}$  получили при многократном обжатии на гладкой бочке, в калибрах наименьшее при прокатке в мелких пологих калибрах с  $K_{кал} = 1,14\text{--}1,18$ , наибольшее – в глубоких узких калибрах с  $K_{кал} = 1,33\text{--}1,47$ .

Полное заполнение ручья ( $K_{зап} = 1,0$ ) при многократной деформации отмечено в средних и глубоких узких калибрах ( $K_{кал} = 1,27\text{--}1,46$ ) при суммарном обжатии 4,5 мм широких слябов ( $B/H = 9,04\text{--}9,44$ ).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевцов В. К. Некоторые особенности расчета параметров прокатки в универсальной клетке широкополосного стана / В. К. Шевцов, Е. А. Руденко, Ю. В. Коновалов // *Изв. вузов. Черная металлургия*. – 1990. – № 8. – С. 31–34.
2. Тишков В. Я. Особенности расчёта режима обжатий при реверсивной прокатке сляба / В. Я. Тишков, Г. И. Набатов, Ю. А. Ерёмин // *Теория и технология производства толстого листа : темат. сб. науч. тр. (МЧМ УССР)* – М. : Металлургия, 1986. – С. 115–118.
3. Руденко Е. А. Исследование параметров формоизменения слябов после обжатия в гладких и калиброванных вертикальных валках / Е. А. Руденко, Ю. В. Коновалов, М. О. Фролова // *Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2012. – № 3 (32). – С. 160–163.*
4. Корохов В. Г. Осевая вытяжка при редуцировании сляба / В. Г. Корохов, Р. А. Черковер, А. Е. Лонцкий // *Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2008. – № 1 (19). – С. 281–291.*

Руденко Е. А. – д-р техн. наук, проф. ДонНТУ;

Фролова М. О. – аспирант ПГТУ.

ДонНТУ – Донецкий национальный технический университет, г. Донецк.

ПГТУ – Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь.

E-mail: marinafrolova87@gmail.com

Статья поступила в редакцию 16.10.2012 г.