

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ С ДЕФЕКТОМ ФОРМЫ «РОМБИЧНОСТЬ»

Смирнов Е.Н. Скляр В.А.

(ГВУЗ «Донецький національний технічний університет», г. Донецьк)

Рассмотрена методика физического моделирования процесса прокатки непрерывнолитой заготовки с дефектом формы «ромбичность» в ящичных калибрах. Представлены результаты комплексного исследования по оценке влияния деформационных параметров процесса на результирующее формоизменение и формирующееся напряженно-деформированное состояние.

Одним из наиболее часто встречающихся дефектов формы непрерывнолитой заготовки, следует считать искажение формы её поперечного сечения от исходной квадратной к ромбичной, вызванное как неравномерным теплоотводом в кристаллизаторе, так и в зоне вторичного охлаждения[1].

В большинстве случаев для характеристики данного дефекта формы поперечного сечения (рисунок 1) используют следующие критерии

1) Величину разности диагоналей[2]:

$$\Delta D = D_1 - D_2$$

где D_1 , и D_2 - соответственно большая и меньшая диагональ поперечного сечения непрерывнолитого слитка;

2) Взаимную неперпендикулярность сторон[3]:

$$\Delta C = (C_{\max} - C_{\min}) / C_{\min}$$

где C_{\max} , и C_{\min} - соответственно большая и меньшая сторона поперечного сечения непрерывнолитого слитка;

3) Величину угол α , характеризующего отклонение от 90° угла между смежными гранями[4]

4) Коэффициент ромбичности, определяемый как соотношение:

$$K_p = D_2 / D_1$$

При традиционной схеме прокатки такой непрерывнолитой заготовки в обжимных клетях в большинстве случаев наблюдается нестабиль-

ность геометрических размеров и искажение формы подката для чистовой группы клетей, что, в свою очередь, является причиной потери его устойчивости, большего износа валков и раскрытия угловых трещин [1].

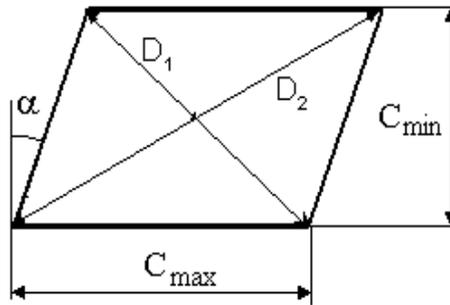


Рисунок 1 - Схема к определению параметров формы поперечного сечения непрерывнолитой заготовки

Особенную актуальность вопросы прокатки непрерывнолитой заготовки с дефектом формы «ромбичность» приобрели в связи с наметившимися тенденциями повышения скорости разлива на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), а также последующей состыковкой их с прокатным станом [5]. В этом случае резко ограничивается возможность для управления формой полупродукта (заготовки) на стыке технологических агрегатов: МНЛЗ – обжимная клеть (группа) сортового стана.

С учетом вышеизложенного, развитие методов устранения дефекта формы «ромбичность» непосредственно в технологической линии прокатного стана имеют особенную актуальность. Так, в работе [4] рассматривается проблема бескалиберной прокатки непрерывнолитой заготовки с дефектом формы «ромбичность» в обжимных клетях проволочных станов. С этой целью предложено устройство, которое обеспечивает как задачу заготовки в калибр в требуемом положении, так и поддержание ее в процессе прокатки [6,7]. В то же время, применение подобного подхода затруднительно в условиях предприятий, на которых используются станы устаревшей конструкции с трехвалковыми клетями в обжимной линии. Особенности калибровки валков таких клетей (сопряженные калибры), приводит к необходимости дальнейшего совершенствования процесса обжатия в первых ящичных калибрах, с целью определения как наиболее рациональных параметров деформации, так и конструкции калибров.

Целью данной работы является проведение экспериментальных исследований по изучению особенностей деформирования непрерывнолитой заготовки с дефектом формы «ромбичность» в ящичных калибрах.

Для исследования особенностей прокатки непрерывнолитой заготовки с дефектом формы «ромбичность» выполнен планируемый эксперимент. В качестве управляющих факторов были приняты: величина относи-

тельного обжатия ε , степень заземления, а также коэффициент ромбичности K_p .

Уровни и интервалы варьирования факторов представлены в таблице 1. Определение интервала варьирования фактора «Коэффициент ромбичности K_p » было выполнено на основании данных промышленного исследования геометрических параметров непрерывнолитой и горячекатаной заготовки различных производителей[8].

Таблица 1 – Уровень и интервалы варьирования факторов

Управляющий фактор	Интервал варьирования	Уровень		
		Верхний	Основной	Нижний
Относительное обжатие ε	0,1	0,3	0,2	0,1
Степень заземления a	0,03	1,07	1,04	1,01
Коэффициент ромбичности K_p	0,02	1,05	1,03	1,01

Для проведения эксперимента были изготовлены свинцовые физические модели по следующей технологии. Отлитые свинцовые слитки прокатывались до необходимой высоты. Полученные подкаты фрезеровались до формы физической модели, характеризуемой величиной коэффициента K_p . В дальнейшем, на боковую и контактную поверхность наносилась координатная сетка.

Для прокатки физических моделей был изготовлен специальный комплект валков, калибровка которого в масштабе 1:5 соответствовала калибровке валков обжимной клетки стана 500/370 ОАО «Донецкий металлопрокатный завод».

Прокатку физических моделей вели с получением недокатов. Изменение координат узлов сетки фиксировалось при помощи цифрового фотоаппарата. Внешний вид физической модели после прокатки представлен на рисунке 2.

Для оценки влияния управляющих факторов на формоизменение образцов, и в первую очередь на результирующую величину ромбичности после прокатки, использовали предложенный критерий ΔK_p , представляющий собой величину относительного изменения ромбичности, и определяемый с помощью следующего выражения:

$$\Delta K_p = \frac{K_p - K'_p}{K_p}$$

где K_p и K'_p – величина коэффициента ромбичности заготовки до и после пропуса.

При таком подходе, положительные значения данного критерия свидетельствуют о сокращении разности диагоналей, а отрицательное – об их увеличении. Кроме того, в том случае, когда происходит выполнение условия $\Delta K_p = K_p - 1$, будет наблюдаться полное исправление исходной ромбичности. При дальнейшем росте значений выражения происходит искажение формы сечения раската в другую сторону.

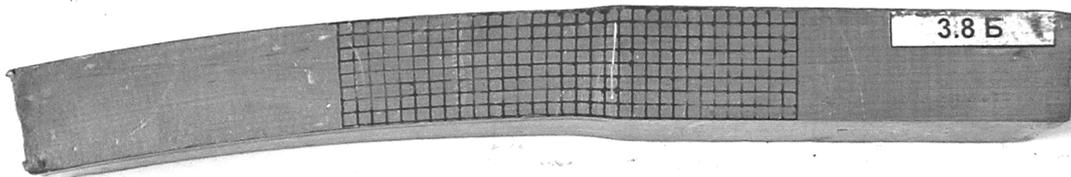


Рисунок 2 – Внешний вид свинцовой физической модели после прокатки

Динамика изменения критерия ΔK_p от величины управляющего фактора «Относительное обжатие ϵ » приведена на рисунке 3. В целом можно утверждать, что увеличение величины ϵ приводит к росту величины ромбичности (ΔK_p смещается в отрицательную область) для всех значений степени защемления. Однако, как следует из рисунка 3, в исследованном интервале изменения значений ромбичности существует область значений ϵ , при которых наблюдается исправление этого дефекта (отмечена двумя горизонтальными линиями). Численно она соответствует величине $\epsilon = 10 - 20\%$. Следует также отметить, что при минимальном значении коэффициента ромбичности ($K_p=1,01$) рациональные значения относительного обжатия лежат в пределах $\epsilon = 21 \div 29\%$.

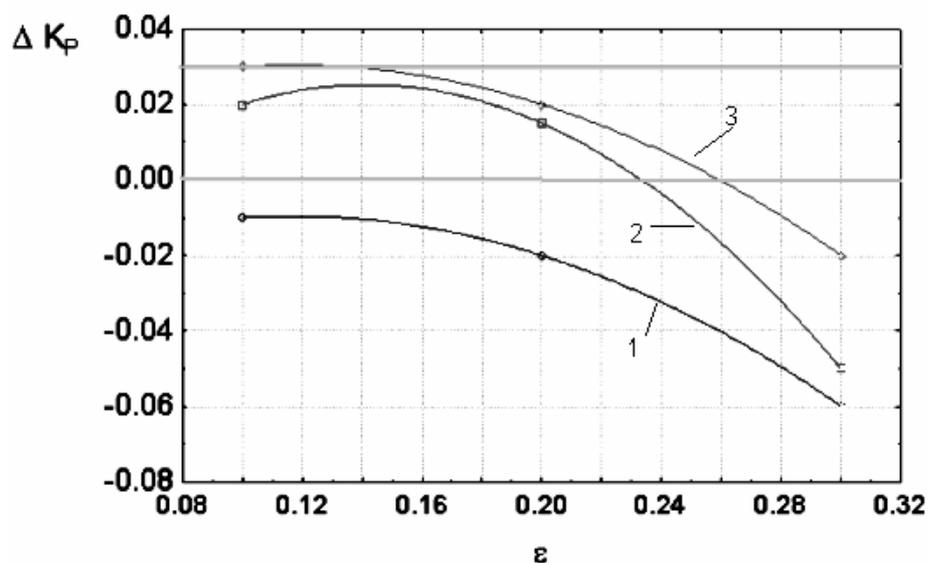


Рисунок 3 - Динамика изменения критерия ΔK_p от управляющего фактора «Относительное обжатие ϵ » при $K_p=1,03$ и степенях защемления:
1 – $a = 1,01$; 2 – $a = 1,03$; 3 – $a = 1,07$

Анализ зависимости параметра ΔK_p от управляющего фактора «Степень защемления a » (рисунок 4) также свидетельствует о том, что наибольшее исправление дефекта ромбичности наблюдается при максимальных степенях защемления $a = 1,04 - 1,07$.

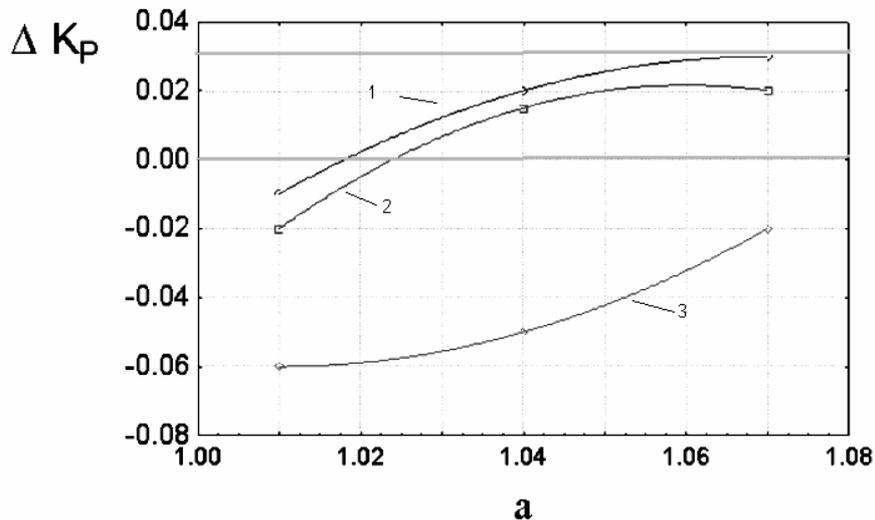


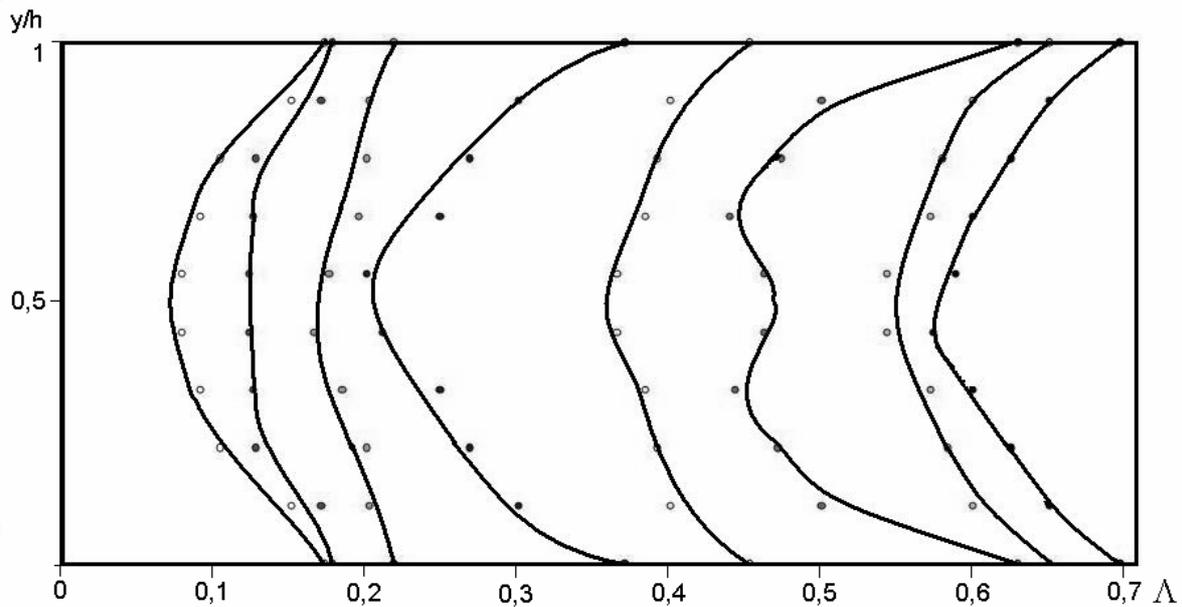
Рисунок 4 – Динамика изменения критерия ΔK_p от управляющего фактора «Степень защемления a » при $K_p=1,03$ и относительных обжатий:

1 - $\epsilon = 0,10$; 2 - $\epsilon = 0,20$ 3 - $\epsilon = 0,30$

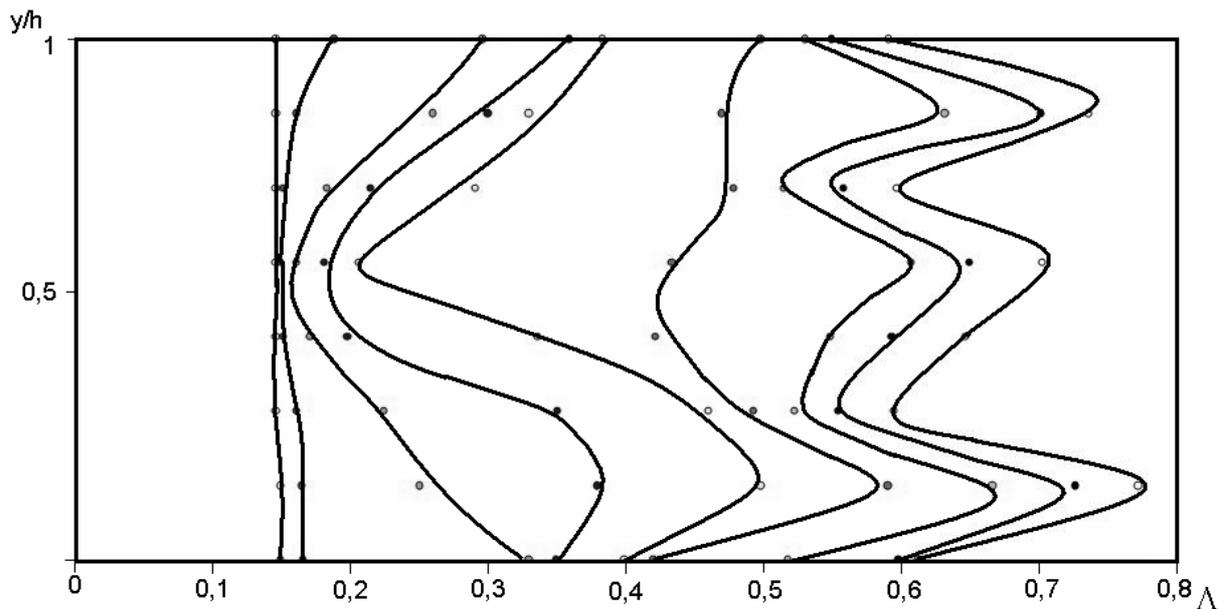
Полученные технологически рациональные значения управляющих факторов в дальнейшем использовались при корректировке режимов прокатки опытной партии непрерывнолитой заготовки на среднесортном стане линейного типа.

Для оценки возникающего на боковой и контактной поверхности напряженно-деформированного состояния непрерывнолитой заготовки с дефектом «ромбичность» в качестве функции отклика выбрана величина накопленной степени деформации Λ . Данный показатель позволяет спрогнозировать возможность появления поверхностных дефектов в результате исчерпания ресурса пластичности. Следует отметить, что величина Λ является интегральным показателем и включает в себя несколько составляющих. Наибольший удельный вес имеет высотная деформация, которая определяется величиной относительного обжатия. Остальные составляющие вносятся за счет деформации от уширения, смятия углов заготовки, а также ее изгиба и скручивания.

Обработка экспериментальной информации, полученной после обмера деформированной сетки на боковой поверхности образцов, производилась с использованием метода Е. Зибеля. В результате обработки экспериментальных данных было получено распределение Λ на боковой поверхности физической модели по длине фактического очага деформации (рисунок 5).



а



б

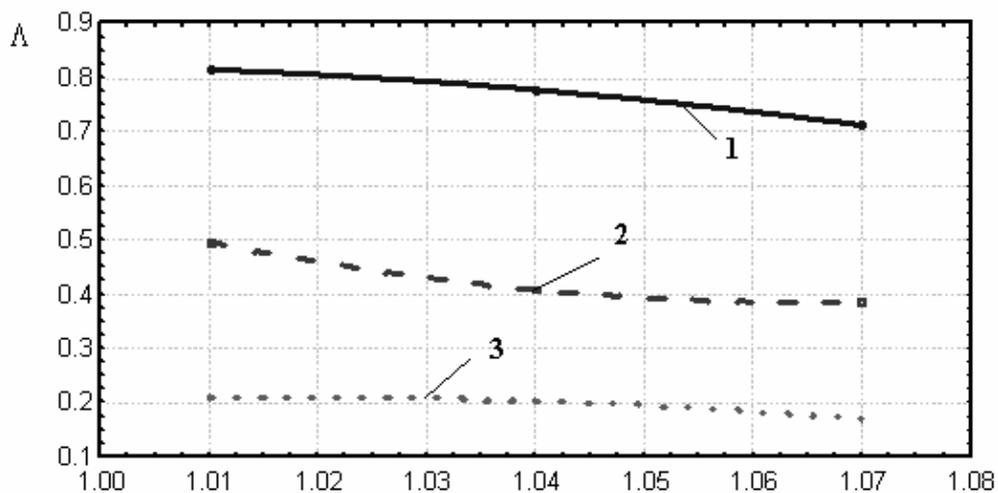
Рисунок 5 – Распределение накопленной деформации по высоте очага деформации при изгибе заготовки (б) и его отсутствии (а)

В общем случае, полученная величина накопленной деформации лежит в пределах $\Lambda = 0,17 \div 0,81$. При этом с точки зрения последующей оценки ресурса пластичности Ψ наибольший интерес представляет информация об областях максимальных значений Λ . Результаты обработки данных показали, что максимальная степень накопленной деформации Λ наблюдается в приконтактных слоях (рисунок 5а).

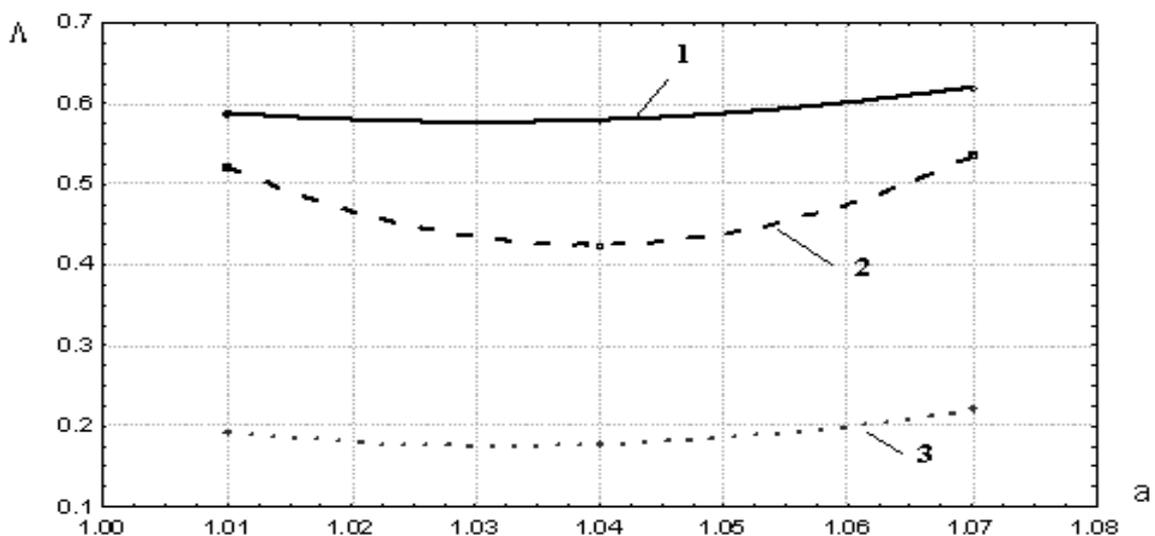
В месте с тем, в случае если происходит скручивание или изгиб заготовки, максимум степени накопленной деформации Λ может смещаться к центральной области по высоте раската (рисунок 5б). В случае же потери устойчивости раската, максимальная накопленная деформация наблюдается в угловых частях физической модели.

По всей видимости, такая локализация и является причиной описанного в [1] эффекта раскрытия подповерхностных угловых трещин.

Следует особо подчеркнуть, что зависимость максимальной величины Λ от относительной деформации ε имеет практически линейный вид. В то время как влияние коэффициента ромбичности K_p и степени защемления α носит комплексный характер (рисунок 6).



а



б

Рисунок 6 - Зависимость накопленной деформации Λ от степени защемления при $K_p = 1,01$ (а) и $K_p = 1,05$ (б):

1- $\varepsilon = 0,1$, 2- $\varepsilon = 0,2$, 3- $\varepsilon = 0,3$

Анализ зависимостей показывает, что при минимальной ромбичности ($K_p = 1,01$) максимум накопленной деформации наблюдается при минимальной степени защемления (рис ба). По всей видимости, это связано с низкой устойчивостью раската при прокатке, из-за недостаточного воздействия боковых стенок калибра. В этом случае происходит сваливание раската и его последующий изгиб, что, в свою очередь, приносит дополнительные составляющие в результирующую деформацию и степень накопленной деформации повышается.

В то же время, при наибольшем значении коэффициента ромбичности ($K_p = 1,01$) максимум накопленной деформации наблюдается при максимальной степени защемления (рис бб). В этом случае дополнительная деформация раската происходит из-за повышенной деформации угловых участков.

Также необходимо отметить, что рекомендуемое ранее сочетание управляющих факторов соответствует и минимальным значениям накопленной деформации, что, безусловно, является положительным явлением.

Таким образом, при исследовании процесса прокатки ромбичной непрерывнолитой заготовки в ящичных калибрах с использованием физических моделей установлено что, деформирование заготовок с небольшой ромбовидностью ($K_p=1.01$) в обжимных клетях станов линейного типа необходимо осуществлять с относительным обжатием в пределах $\varepsilon=21\div 29\%$. Деформирование заготовки с повышенной ($K_p=1.03$) и большой ($K_p=1.05$) начальной ромбовидностью необходимо осуществлять в ящичных калибрах с максимальной степенью защемления $a=1.03\div 1.07$. Однако в этом случае необходимо использовать обжатия близкие к $\varepsilon = 0.1\div 0.2$.

Литература

1. С.М. Жучков, А.Б. Стеблов. Применение косвенных методов контроля качества непрерывнолитых заготовок // *Сталь.-2002.-№10.-С.61-63.*
2. ЗТУ 14-518-01-99. Заготовка непрерывнолитая квадратного сечения для изготовления сортового проката и катанки. – Взамен ЗТУ 14-518-01-97; Введ. 13.03.99. – Рыбница, 1999. – 3 с.
3. ТУ 14-97-161-99. Заготовка непрерывнолитая квадратного и круглого сечения опытная партия; Введ. 01.06.99. – Донецк, 1999. – 8 с.
4. С.И. Платов Исследование формы поперечного сечения проката при деформировании заготовки квадратного и ромбического поперечных сечений в гладких валках // *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. -2004. - № 4(8). – с.61 - 64.*
5. И.Г. Курандо, А.И. Афанасьев, Д.К. Нестеров. Технологические аспекты состыковки многоручьевого УНРС с сортовыми прокатными станами / *Материалы первого конгресса прокатчиков. -М. АО «Черметинформация», - 1996. – С. 169-171.*

6. С.И. Платов Аналитические исследования процессов формоизменения при бескалибровой прокатке. Сообщение 1. Сравнительный анализ трехмерного НДС при прокатке заготовок квадратного и ромбического поперечных сечений в гладких валках // Производство проката 2005. - №5. – С. 19-23.

7. С.И. Платов Аналитические исследования процессов формоизменения при бескалибровой прокатке. Сообщение 2. Формоизменение металла и нагрузке при прокатке заготовок ромбического поперечного сечения в гладких валках// Производство проката 2005. - №6. – С. 18-20.

8. К вопросу прокатки непрерывнолитых заготовок в обжимных клетях сортовых станов. Минаев А.А., Григорьев М.В., Зуб В.В. и др. / Машиностроение и техносфера XXI века Сб. тр. междун. науч.-техн. конф. в г. Севастополе 8-14 сентября 2003 г. В 4-х томах. – Донецк: ДонНТУ, 2003. Т. 2 – 327 с. С. 257-262.

© Смирнов Е.Н. Скляр В.А. 2008