

для переката из сталей, содержание углерода в которых составляет 0,08–0,16%, и в частности судовых марок стали категории А32 (Д32) по ГОСТ 5521-93. Однако, для получения требуемого качества готового проката ответственного назначения, и в частности, полосульбовых профилей для судостроения, необходимо более пристальное внимание к формирующемуся в процессе непрерывной разливки структурному состоянию блюма и изменяющимся по сечению свойствам металла. В качестве базовой может стать технологическая схема, предусматривающая разливку стали в непрерывнолитые блюмы большого сечения (335×400 мм) с последующей их перекаткой в сортовую заготовку.

### Список литературы

1. Влияние конструкции калибров на формирование дефектов на поверхности сортового проката / В.А.Юзов, И.Е.Назаров, П.Ф.Жаров и др. // Сталь, 1999. — № 12. — С. 35–37.
2. Кан Ю.Е., Кугушин А.А. Проблемы производства сортового проката из непрерывнолитых заготовок // Труды второго конгресса прокатчиков. — М.: Черметинформация, 1998. — С. 304.
3. Курандо И.Г., Афанасьев С.И., Нестеров С.Д. Технологические аспекты совмещения МНЛЗ с сортовыми прокатными станами // Сталь, 1996. — № 7. — С. 31–33.
4. Виннер Г.А., Якоби Х., Вюнненберг К. Влияние структуры кристаллизации и скорости литья на осевую пористость непрерывнолитых заготовок из различных марок стали // Черные металлы, 1995. — С. 56.
5. Зовка Э., Андре Б., Бертрам Р., Рженчик Х. Модернизация установки непрерывного литья блюмов на заводе фирмы Тесен Шталь в Дуйсбурге // Черные металлы, 1995. — С. 33–36.
6. **Manufacture, Testing and Certification of Materials.** Lloyd's Register of Shipping. Part 2, Chapter 3, July 1999.
7. **Rules for Classification of Ships. Materials and welding.** Part 2, chapter 2. Det Norske Veritas Classification A.S., January 1993.
8. **Rules for Classification and Construction.** Germanischer Lloyd. Material and Welding Technology. Part 1. Chapter 2. Edition 1998.
9. Нестеров Д.К. Производство и качество рельсовой стали. — Харьков: Основа, 1997. — 210 с.
10. **Металловедение** и термическая обработка стали. В 3-х т / Под ред. Бернштейна М.Л., Рахштадта А.Г. — Т. 1. Методы испытаний и исследований. В 2-х кн. Кн. 2. — М.: Металлургия, 1991. — 462 с.
11. Золотаревский В.С. Механические свойства металлов. — М.: МИСИС, 1998. — 400 с.

© Лубенец А.Н., Смирнов Е.Н., Щербачев В.В., Несвет В.В., 2001

ЯКОВЧЕНКО А.В. (ДОНГТУ), НОВОХАТНИЙ В.А. (ОАО «НТЗ»), ЛОСКУТОВ А.Ю. (ДОНГТУ), ИВАЩЕНКО И.М. (ОАО «НТЗ»)

### ОСВОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЛОКОМОТИВНЫХ БАНДАЖЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОДНОГО ПРОКАТНОГО СТАНА

*Разработана и освоена в условиях промышленного производства технология прокатки локомотивных бандажей на одном стане вместо традиционно использовавшихся двух. Представлен сравнительный анализ объемов брака по прокату при производстве промышленных партий бандажей по новой и существовавшей технологии в условиях прессопрокатной линии кольцебандажного цеха ОАО «Нижнеднепровский трубопрокатный завод» (ОАО «НТЗ»).*

Кольцебандажный цех ОАО «НТЗ» предназначен для производства железнодорожных бандажей, а также прямоугольных и фасонных в сечении колец широкого сортамента. В состав оборудования цеха входят участки подготовки заготовок, прессопрокатный и термический, отделки и приемки изделий. Прессопрокатный участок содержит две кольцевые печи; прессы для осадки (усилие 20 МН), формовки (40/20 МН) и

прошивки (8 МН) заготовок; два кольцепрокатных стана радиально-осевого типа (черновой и чистовой) и формовочный пресс (60 МН), расположенный между ними.

Технология производства локомотивных бандажей, которые занимают основную долю в сортаменте кольцебандажного цеха, изложена в работе [1]. Освоение такой технологии в 1989 году позволило стабилизировать процесс прокатки, улучшить качество готовой продукции. Следует отметить, что возможности в части совершенствования существующей технологии с использованием двух прокатных станков, направленные на снижение брака готовой продукции, в настоящий момент ограничены.

Дальнейшие усилия разработчиков были направлены на освоение новых видов продукции. В работе [2] представлены основные профили, освоенные за период с 1989 года. Одновременно с этим велись исследования, направленные на разработку новых принципов расчета калибровок валков и инструмента деформации прессов. Была доказана возможность производства указанных изделий с использованием только одного кольцебандажного стана и перехода к варианту новой энерго- и ресурсосберегающей технологии с возможностью снижения брака прокатного производства.

По новой технологии заготовка с пресса усилием 40 МН с предварительно подготовленным гребнем задается в чистовой калибр. Формирование готового профиля достигается прокаткой на одном стане. Практическую реализацию такого способа определяет разработка технологии для каждого из осваиваемых бандажей.

На первом этапе проектирования определяется величина суммарного осевого обжатия, которое складывается из обжатий верхним и нижним наклонными валками. Эту величину возможно определить, исходя из условия бездефектной прокатки кольцевых изделий, согласно которому увеличения диаметра заготовки вследствие обжатия металла в радиальном и осевом направлении принимаются равными [3]:

$$\Delta D_o = \Delta D_p. \quad (1)$$

При этом равенство (1) должно выполняться как для всего процесса прокатки (равенство суммарных приращений диаметров), так и для каждого оборота заготовки в процессе его прокатки [4]:

$$\Delta D_{oi} = \Delta D_{pi}. \quad (2)$$

Необходимо найти величины суммарных осевого и радиального обжатий ( $\Delta h_o$  и  $\Delta h_p$  соответственно), а также закон распределения этих обжатий по оборотам в процессе прокатки, которые удовлетворяют условиям (1) и (2), обеспечивают стабильность процесса и отсутствие брака изделий типа утяжка и коробление профиля.

В работе [5] представлена система уравнений, определяющих параметры исходных заготовок. Решение этой системы дает величину суммарных обжатий в радиальном и осевом направлениях, удовлетворяющих условию (1) с учетом уширения металла в осевом направлении вследствие обжатия в радиальной клети и уширения металла в радиальном направлении вследствие обжатия в клети наклонных валков. Используем также решение [4], в котором учтено (2), позволяющее определить закон распределения этих обжатий на каждом обороте кольцевого изделия в процессе раскатки. Это решение основано на соблюдении условия постоянства скорости роста диаметра бандажа на основном этапе его раскатки:

$$v_D = const. \quad (3)$$

Зная величину суммарного осевого обжатия  $\Delta h_o$ , найдем высоту заготовки  $L$ . Она будет равна  $L = s + \Delta h_o$  (здесь  $s$  — высота бандажа).

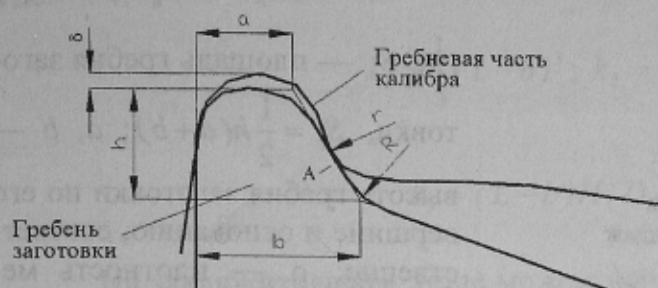


Рис. 1. Определение размеров гребневой части заготовок

после определения высоты заготовки необходимо найти размеры гребня заготовки. Их определяли из условия его захода в гребневую часть калибра (рис. 1). Заход гребня не должен приводить к такому дефекту как закат. Размеры гребня должны быть (с учетом этого условия) максимально возможными. Величины  $a$ ,  $b$  и  $h$  определяли из построения. При этом необходимо выполнить следующие условия. Во-первых, для исключения образования заката в зоне перехода гребневой части бандажа в кольцевую необходимо, чтобы гребень заготовки в первый момент касания калибра не доходил до дна его гребневой части на величину  $\delta$ , равную  $5 \div 10$  мм. Во-вторых, дуга у основания гребня бандажа, образованная радиусом  $r$  должна плавно переходить в дугу у основания гребня заготовки, образованную радиусом  $R$ .

Исследование условий прокатки на стане показали, что масса и размеры заготовок, поступающих на прессопрокатную линию, могут колебаться в определенных пределах. Максимальная толщина кольцевой части заготовки (рис. 2) находится из условия равенства масс гребневых частей заготовки и бандажа:

$$M_{cp} = (1,0 \div 1,03) m - m_k, \quad (4)$$

где  $M_{cp}$  — масса гребневой части заготовки;  $m$  — масса бандажа;  $m_k$  — масса кольцевой части бандажа.

Физическая сущность коэффициента  $K = 1,0 \div 1,03$  в выражении (4) заключается в том, что масса гребневой части заготовки, из которой формируется гребневая часть бандажа, не должна быть меньше последней. Важно и то, что это формирование выполняется из металла, соответствующего гребневой части заготовки, и кольцевая часть бандажа выполняется из металла, соответствующего кольцевой части заготовки. Введение предложенного коэффициента позволяет нейтрализовать негативное влияние на качество бандажей расхождения в массе и размерах заготовок, поступающих на прессопрокатную линию. Коэффициент  $K = 1$  может быть использован, например, при прокатке заготовок из непрерывнолитого металла, масса которых стабильна, поскольку стабилен и диаметр таких заготовок. Коэффициент, больший единицы может быть использован при прокатке заготовок из слитков, полученных из изложниц с различной степенью износа.

После этого контур заготовки необходимо расположить относительно контура бандажа так, как это показано на рис. 2. Точки скелетов заготовки и бандажа в зоне перехода гребней в кольцевые части должны находиться на одной вертикальной прямой, разделяющей гребневые и кольцевые части бандажа и заготовки.

Радиальное обжатие  $\Delta h_p$  находим из условия отдельной прокатки гребневой части бандажа из гребневой части заготовки и, соответственно, кольцевой части бандажа из кольцевой части заготовки. Масса гребневой части заготовки равна:

$$M_{cp} = M_g + M_n, \quad (5)$$

где  $M_g$  — масса гребня заготовки;  $M_n$  — масса прямоугольной части заготовки шириной  $b$ , расположенной под гребнем.

Массу гребня найдем по известной формуле:

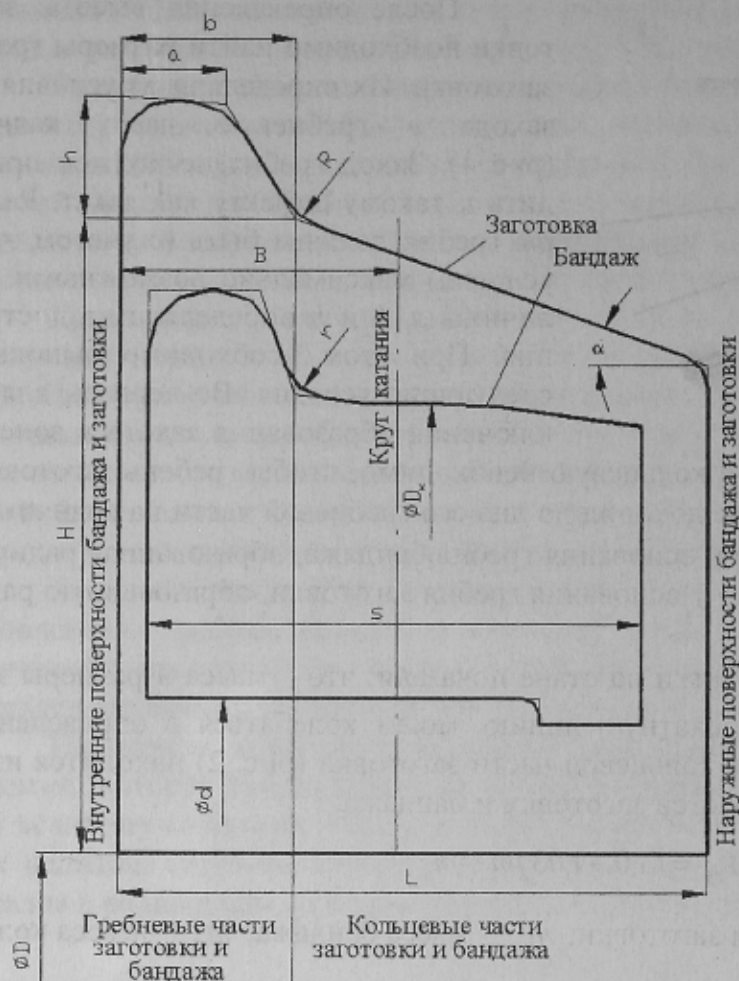


Рис. 2. Определение размеров заготовки

$$M_z = 2\pi R_y S_z \rho, \quad (6)$$

где  $S_z$  — площадь гребня заготовки,  $S_z = \frac{1}{2}h(a+b)$ ;  $a, b$  — высота гребня заготовки по его вершине и основанию, соответственно;  $\rho$  — плотность металла в горячем состоянии;  $R_y$  — радиус, проведенный в центр тяжести гребня.

Здесь:

$$R_y = \frac{1}{2}D + H + y_y, \quad (7)$$

где  $y_y$  — ордината центра тяжести гребня,  $y_y = \frac{h(2a+b)}{3(a+b)}$ ;  $D$  — внутренний диаметр заготовки.

Аналогично, масса  $M_n$  равна:

$$M_n = \pi(D+H)Hb\rho. \quad (8)$$

Подставляя выражения (6) и (8) в (5), получаем:

$$M_{zp} = \pi\rho \left[ 2 \left( \frac{1}{2}D + H + y_y \right) S_z + (D+H)Hb \right]. \quad (9)$$

Подставляя (9) в условие (4), находим величину  $H$ :

$$H = \frac{1}{2b} \left\{ -2S_z - Db + \sqrt{(2S_z + Db)^2 - 4b \left[ S_z(D + 2y_y) - \frac{(1,0 \div 1,03)m - m_k}{\pi\rho} \right]} \right\}. \quad (10)$$

Теперь можем найти массу кольцевой части заготовки исходя из условия, что массы заготовки и бандажа равны:

$$M_k = m - M_{zp}. \quad (11)$$

С другой стороны можем записать:

$$M_k = \pi\rho \left[ \left( H - \frac{2}{3}(L-b)\operatorname{tg}\alpha + \frac{D}{2} \right) (L-b)^2 \operatorname{tg}\alpha + [D+H - (L-b)\operatorname{tg}\alpha] (L-b)(H - (L-b)\operatorname{tg}\alpha) \right]. \quad (12)$$

Находим угол наклона кольцевой части заготовки  $\alpha$ :

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left( \frac{-k_2 - \sqrt{k_2^2 - 4k_1k_3}}{2k_1} \right), \quad (13)$$

где:

$$k_1 = \frac{1}{3}(L-b)^3; k_2 = -(L-b)^2\left(\frac{D}{2} + H\right);$$

$$k_3 = (L-b)H(D+H) - \frac{m - M_{\text{пр}}}{\pi\rho}.$$

На заключительном этапе можем найти величину радиального обжатия как разность толщины заготовки и бандажа по кругу катания:

$$\Delta h_p = H - (B-b)\text{tg}\alpha - \frac{1}{2}(D_k - d), \quad (14)$$

где  $H$  — наибольшая толщина кольцевой части заготовки;  $B$  — расстояние от внутренней поверхности заготовки до круга катания;  $\alpha$  — угол наклона кольцевой части заготовки;  $D_k$  — диаметр бандажа по кругу катания;  $d$  — диаметр бандажа по внутренней цилиндрической поверхности.

При подготовке заготовки толщина ее кольцевой части в зоне стыковки с гребнем  $H$  выполняется в соответствии с величиной, которую дает соотношение (10). Угол наклона кольцевой части заготовки  $\alpha$  выполняют в соответствии с соотношением (13). После прошивки заготовки она прокатывается на одном кольцебандажном стане. При этом нормируют радиальное обжатие в зоне круга катания между приводным наружным валком и холостым внутренним валком. Процесс прокатки заканчивается после достижения уже на одном стане требуемых диаметров  $D_k$  — по кругу катания и  $d$  — по внутренней цилиндрической поверхности, а также высоты бандажа  $s$ , которую обеспечивают реализацией осевого обжатия  $\Delta h_o$  верхним и нижним наклонными валками.

На заключительном этапе проектирования подготавливается информация, необходимая для проведения прокатки. Локальная система управления кольцепрокатным станом устроена таким образом, что реализация процесса возможна только путем задачи на пульте значений сил прокатки в радиальной клети и клети наклонных валков. Инженерные зависимости для расчета указанных величин получены путем статистической обработки результатов замеров параметров процесса прокатки, выполненных в промышленных условиях. Они определены по методике [6] и представлены в виде:

$$P_{pi} = \sigma_{pi} \left( 425 \frac{h_{i-1}}{h_i} - 2305,8 \frac{L_{dpi}}{h_{cpi}} + 28,3 \frac{h_{cpi}}{d_i} - 645,8 \left( \frac{L_{dpi}}{h_{cpi}} \right)^2 - 147,3 \left( \frac{L_{dpi}}{h_{cpi}} \right) \left( \frac{h_{cpi}}{d_i} \right) - 444,2 \left( \frac{h_{i-1}}{h_i} \right)^2 + 2540 \left( \frac{h_{i-1}}{h_i} \right) \left( \frac{L_{dpi}}{h_{cpi}} \right) \right), \quad (15)$$

$$P_{oi} = \sigma_{oi} \left( 115,4 \frac{b_{i-1}}{b_i} - 898,3 \frac{L_{doi}}{b_{cpi}} - 26,8 \frac{b_{cpi}}{d_i} - 75,5 \left( \frac{L_{doi}}{b_{cpi}} \right)^2 + 1,4 \left( \frac{L_{doi}}{b_{cpi}} \right) \left( \frac{b_{cpi}}{d_i} \right) - 115,1 \left( \frac{b_{i-1}}{b_i} \right)^2 + 907,3 \left( \frac{b_{i-1}}{b_i} \right) \left( \frac{L_{doi}}{b_{cpi}} \right) \right), \quad (16)$$

где  $P_{pi}$  и  $P_{oi}$  — давление прокатки в радиальном и осевом очаге соответственно;  $h_{i-1}$  и  $h_i$  — ширина сечения заготовки на входе и выходе радиального очага,  $b_{i-1}$  и  $b_i$  — высо-

та заготовки на входе и выходе осевого очага,  $L_{dpi}$  и  $L_{doi}$  — длина радиального и осевого очагов,  $b_{cpi}$  — средняя высота заготовки в осевом очаге,  $h_{cpi}$  — средняя ширина сечения заготовки в радиальном очаге,  $d_i$  — внутренний диаметр заготовки,  $\sigma_{pi}$  и  $\sigma_{oi}$  — сопротивление деформации металла в радиальном и осевом очагах,  $i$  — номер оборота кольца.

Значения сил прокатки были определены через давления  $p_{pi}$  и  $p_{oi}$  по формулам [6].

На рис. 3 представлены профили бандажа  $\varnothing 890 \times 143$  мм и заготовки, рассчитанной по представленной выше методике, которая необходима для его прокатки на одном стане. Графики сил на основном этапе прокатки бандажа (до 97% внутреннего диаметра готового изделия) представлены на рис. 4. Аналогичные расчеты были выполнены также для бандажей  $\varnothing 886$  мм.

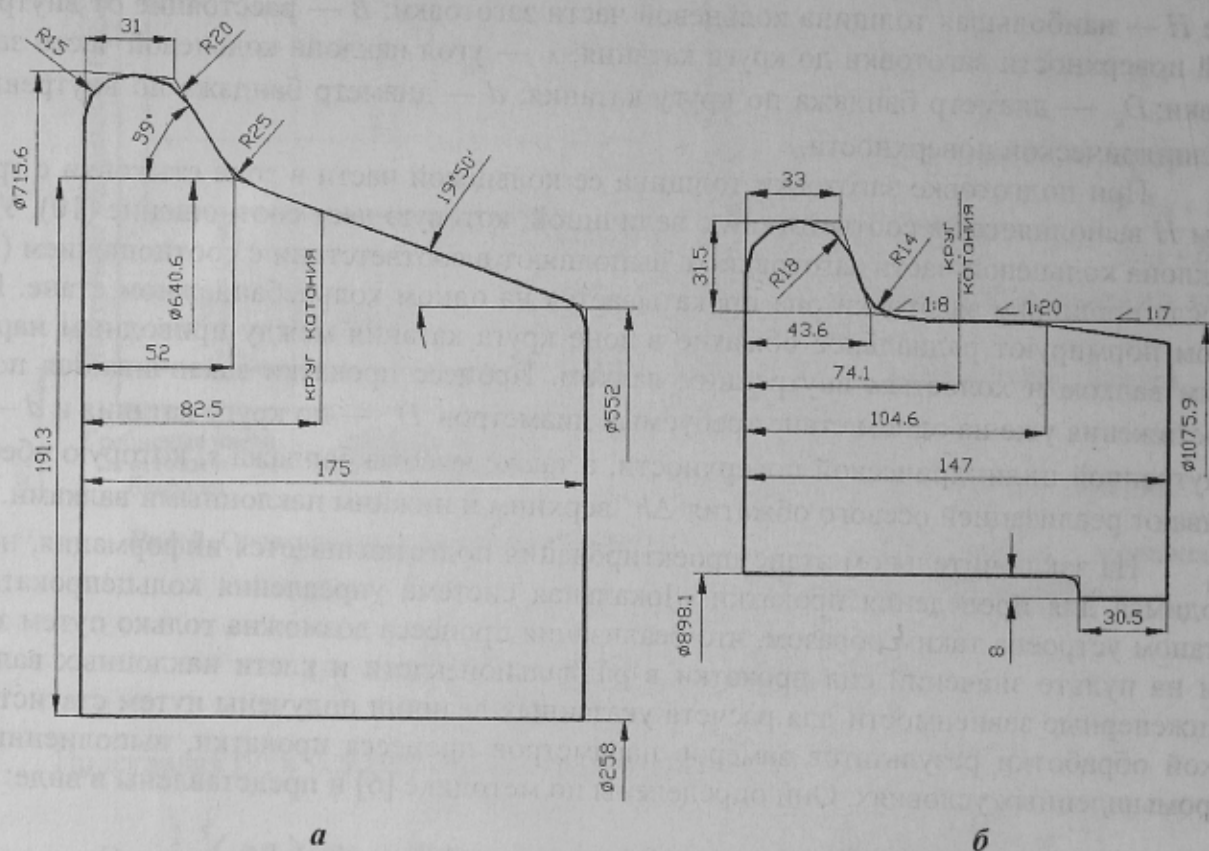


Рис. 3. Профиль заготовки (а) и готового бандажа (б)  $\varnothing 890 \times 143$  мм

Реализация предложенного способа прокатки локомотивных бандажей  $\varnothing 890 \times 143$  мм (ДСТУ 3717-98) для Украины, а также стран СНГ и локомотивных бандажей  $\varnothing 886$  мм для Китая на одном кольцебандажном стане показала, что процент брака по дефектам снижен. В таблице представлен сравнительный анализ брака при прокатке локомотивных бандажей по старой (с использованием двух прокатных станов) и новой технологии.

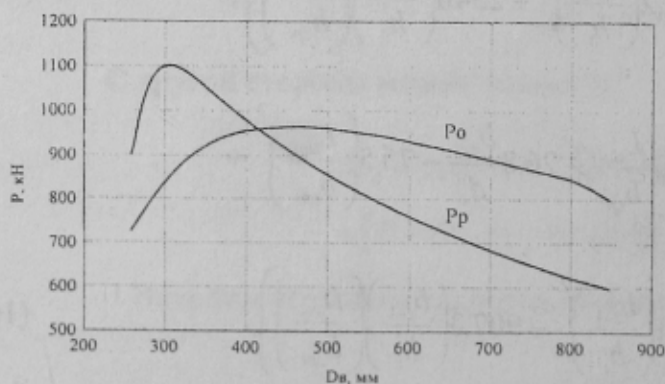


Рис. 4. Графики сил прокатки для бандажа  $\varnothing 890 \times 143$  мм

В таблице представлен сравнительный анализ брака при прокатке локомотивных бандажей по старой (с использованием двух прокатных станов) и новой технологии.

Прокатку на двух станях проводили в IV квартале 1999 года, прокатку по новой технологии — в IV квартале 2000 года. Осмотрено равное число (около 30) плавок. Имеет место значительное (более чем в 2,5 раза) снижение брака прокатного производства, а также экономия электроэнергии и снижение

затрат на валки при прокатке на одном стане вместо двух. Предлагаемый способ имеет значение также при выполнении ремонтных работ на одном из двух станов. В этом случае технологический процесс производства не прерывается, в отличие от технологии прокатки на 2-х станах.

**Таблица** — Сравнительный анализ брака по прокату

Виды брака по прокату	Объем брака при прокатке 5772 заготовок на двух станах		Объем брака при прокатке 5255 заготовок на одном стане	
	шт	%	шт	%
Закат	88	1,5	66	1,3
Невыполнение размеров гребня	52	0,9	4	0,1
Утяжки	60	1	6	0,1
Невыполнение высоты бандажа	15	0,3	10	0,2
Коробление и др.	121	2,1	26	0,5
Прочие виды брака*	72	1,2	30	0,6
Всего:	408	7,1	142	2,7

\* В прочие виды брака вынесены невыполнение наружного и внутреннего диаметров бандажа, плены прокатного производства

Таким образом в результате проведенных исследований установлена и реализована возможность энерго- и ресурсосберегающей технологии прокатки локомотивных бандажей  $\varnothing 890 \times 143$  мм и  $\varnothing 886$  мм с использованием одного прокатного стана вместо традиционно использовавшихся двух.

### Список литературы

1. Яковченко А.В., Озимин В.М., Староселецкий М.И. // Сталь, 1990. — № 7. — С. 67–69.
2. Яковченко А.В., Озимин В.М., Горб Е.В. // Сталь, 1996. — № 12. — С. 36–39.
3. А.с. № 1773538 СССР, МКИ В21 Н 1/06. Способ изготовления колец / А.В.Яковченко, В.М.Озимин, Е.А.Безбатченко и др. (СССР). —4883256/27; заявлено 19.10.90; опубл. 07.11.92, бюл. № 31.
4. Яковченко А.В., Лоскутов А.Ю., Ивлева Н.И. Размеры исходных заготовок при прокатке кольцевых изделий // Труды V Междунар. науч.-техн. конф. «Теоретические проблемы прокатного производства». — Днепропетровск, 2000. — С. 86–88.
5. Яковченко А.В., Лоскутов А.Ю., Ивлева Н.И. Распределение радиального и осевого обжатий в процессе прокатки кольцевых изделий // Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении: Сб. научн. тр. — Краматорск, 2000. — С. 292–297.
6. Яковченко А.В., Лоскутов А.Ю. Экспериментально-теоретический метод расчета оптимальной кривой скорости роста диаметра кольца в процессе его прокатки // Научные труды ДонГТУ. Металлургия. Выпуск 18. — Донецк, 2000. — С. 116–123.

© Яковченко А.В., Новохатний В.А., Лоскутов А.Ю., Иващенко И.М., 2001

ПОВАЛЯЕВ В.Д. (ДОНГТУ)

### АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТНОЙ АСИММЕТРИЕЙ РАБОЧИХ ВАЛКОВ В НЕСТАЦИОНАРНОМ ПРОЦЕССЕ ПРОКАТКИ ОТ УВМ

*Впервые поставлена и решена задача стабилизации скоростной асимметрии рабочих валков в условиях нестационарного процесса асимметричной прокатки с использованием разработанной автором математической модели динамических процессов в главном приводе; предложен алгоритм и функциональная схема автоматического управления главным приводом от УВМ.*

Известные способы автоматического управления электроприводом рабочих валков при асимметричной прокатке основаны на поддержании заданной разности скоро-