

В.Н. Данченко¹, д-р.техн.наук, А.Н. Тумко², канд.техн.наук, О.А. Ярошенко², Ф.А. Голубицкий²
 1 - НМетАУ, г. Днепропетровск, Украина
 2 - ОАО «Днепроспецсталь», г. Запорожье, Украина

ПРОКАТКА КРУГЛЫХ ПРОФИЛЕЙ СПЕЦИАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ НА БЛЮМИНГЕ

Розроблена і випробувана в умовах ВАТ «Дніпрспецсталь» (м. Запоріжжя) технологія прокатки круглих профілів діаметром 265, 285, 300 і 330 мм із спеціальних сталей на блюмінгах 950 (до реконструкції) і 1050 (після реконструкції). Досліджено вплив режимів деформації на відбраковування прокату по осьовій пористості злитку, яка не заварилася при деформації. Досліджено стійкість розкатів з овальним і прямокутним перетином під час прокатки у круглому калібрі валків блюмінга. Розроблено рекомендації з калібрування валків і технологічних параметрах прокатки круглих профілів із конструкційних і корозійностійких сталей на обтисковому стані.

At JSC Dneprospetsstal, Zaporozhye, Ukraine, the rolling technology for special steel round bars 265, 285, 300 and 330 mm in diameter has been developed and tested on blooming mills #950 (before overhaul) and #1050 (after overhaul). The influence of hot working conditions on rejection of rolled stock due to axial porosity remained after hot working has been studied. The stability of the feed with oval or rectangular section during rolling in round roll-passes of the blooming mill has been investigated. The recommendations on roll-pass design and technological parameters for rolling of structural and corrosion resistant steel round bars on a breakdown mill have been developed.

В общей технологической цепи большинства металлургических предприятий блюминги всё ещё остаются основными агрегатами, связывающими сталеплавильные цехи с заготовочными и сортовыми станами. Они определяют производительность завода в целом. Однако для производства сортового проката на новых металлургических предприятиях блюминги не предусмотрены. В этом случае звеньями, связывающими сталеплавильные и прокатные цехи, становятся машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), которые обеспечивают увеличение выхода годного для легированных сталей на 10 – 15 %.

Реконструкция сталеплавильных цехов наряду с внедрением внепечных процессов, как правило, включает установку МНЛЗ, что освобождает мощности обжимных станов. Поэтому возникает необходимость загрузить освободившиеся мощности блюминга производством соответствующих видов продукции, в частности прокаткой круглых профилей большого диаметра взаменковки на прессах.

В ОАО «Днепроспецсталь» (г. Запорожье) на заготовочной клети 950 обжимно-заготовочного стана 1050/950 освоено производство крупных профилей диаметром до 275мм из углеродистых и легированных конструкционных сталей и до круга диаметром 230мм из труднодеформируемых сталей аустенитного класса [1-3]. Производство проката диаметром свыше 275мм из конструкционных сталей и диаметром свыше 230мм из нержавеющей хромоникелевых сталей на клети 950 не представляется возможным по прочностным и энергосиловым параметрам для клети. Данный вид металлопродукции традиционно производят ковкой на прессах, чем обуславливается его высокая себестоимость. Ковка – низкопроизводительный энергоёмкий процесс с большими потерями металла в окалину, кусковые отходы и стружку.

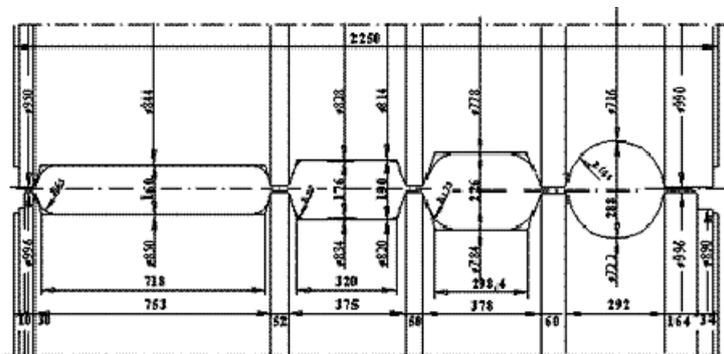


Рис. 1. Калибровка валков блюминга 950 для прокатки круга 285мм

Целью данной работы является замена дорогостоящей операцииковки круглых профилей специальных сталей на прессах прокаткой на блюминге в условиях ОАО «Днепроспецсталь» для уменьшения себестоимости и повышения конкурентоспособности металлопродукции.

С этой целью разработана и опробована технология прокатки на блюминге сортовых прутков круглого профиля из специальных сталей: на блюминге 950 была опробована прокатка прутков диаметром 285, на блюминге

1050 (после реконструкции обжимной клетки 950) - прутков диаметром 330, 300 и 265мм из конструкционных и аустенитных коррозионностойких сталей [4].

Для прокатки круга диаметром 285мм для валков обжимной клетки 950 была разработана специальная калибровка (рис. 1) и схема прокатки (табл. 1), предусматривающая 17 проходов.

Таблица 1

Схема прокатки круга 285мм из конструкционных сталей (масса слитка 7,4т)

Калибр	Номер прохода	Высота Н,мм	Ширина В,мм	Угол захвата α ,рад	Н/Дк	$(\alpha(6,88+\alpha))/4$	$(\alpha(6,88+\alpha))/4 - Н/Дк$	
I		720	720					
	1	655	725	0,392	0,853	0,714	-0,14	
	2	595	730	0,377	0,776	0,684	-0,09	
	Кантовка							
	3	660	610	0,407	0,865	0,742	-0,12	
	4	590	620	0,407	0,782	0,742	-0,04	
	5	520	630	0,407	0,699	0,742	0,04	
	6	450	640	0,407	0,616	0,742	0,13	
	7	385	650	0,392	0,533	0,714	0,18	
	8	325	660	0,377	0,456	0,684	0,23	
Кантовка								
II	9	570	340	0,470	0,811	0,864	0,05	
	10	480	350	0,470	0,700	0,864	0,16	
Кантовка								
I	11	320	490	0,267	0,415	0,476	0,06	
	12	холостой						
Кантовка								
II	13	410	335	0,443	0,602	0,812	0,21	
	14	330	350	0,443	0,504	0,812	0,31	
	15	холостой						
овал	16	282	360	0,351	0,424	0,635	0,21	
Кантовка								
круг	17	288	288	0,448	0,503	0,822	0,32	
						Сумма	1,51	
						Среднее	0,09	

На сортовые прутки было прокатано 8 плавков стали 18Г и по одной плавке сталей 20 и 45, разлитых в слитки массой 7,4т. Коэффициент вытяжки в подприбыльной части составил 7,3, а донной части – 5,2. Единичные обжатия на гладкой бочке составили 50-70мм, в ящичном калибре – 40-55мм, в многоугольном (овальном) – 38мм и в круглом – 67мм.

После обточки круглого проката на 30мм по диаметру получили удовлетворительное качество поверхности, но при УЗК 4,8 % донных штанг и 41,5 % подприбыльных штанг имели осевую пористость слитка, не заварившуюся при деформации (рис. 2).

Анализ опытной схемы прокатки (см. табл. 1) показал, что при прокатке в калибрах и в последних пяти проходах на гладкой части бочки валка, осевая зона деформируется при всестороннем сжатии и внутренние несплошности должны интенсивно завариваться. Анализ режима деформации проводили по формуле

$$\frac{H}{D_K} \leq \frac{\alpha(6,88 + \alpha)}{4}, \quad (1)$$

где H – начальная высота полосы, мм;
 D_к – катающий диаметр валка, мм;
 α – угол захвата, рад.

Условие (1) получено преобразованием формулы В.М. Клименко для полосы с отношением начальной ширины к начальной высоте в пределах от 0,8 до 1,6 [5].

$$\frac{\alpha(6,88 + \alpha)}{4} - \frac{H}{D_K}. \quad (2)$$

Чем больше положительное значение разницы тем лучше «проработка» металла по сечению и меньше вероятность получения внутренних дефектов в готовом профиле (см. табл. 1). Для сравнения, по этой же методике, проведена оценка обжатий при прокатке слитков массой 7,4т на круг 300 мм в обжимной клети 1050 (табл. 2).

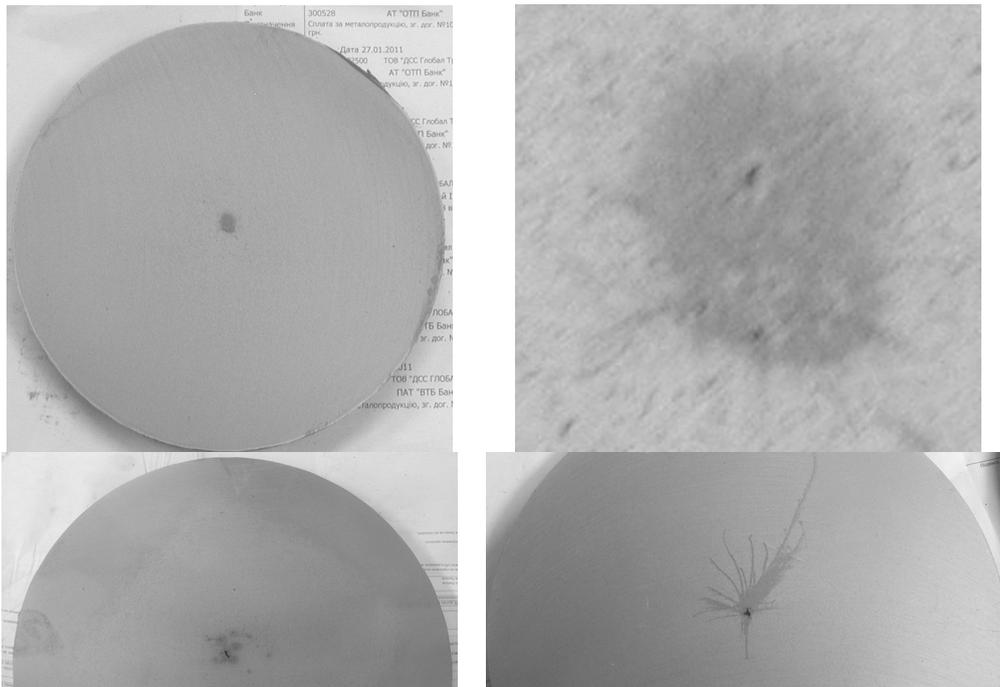


Рис. 2. Осевая пористость слитка, не заварившаяся при деформации, в крупносортном прокате

Как показал сравнительный анализ опытных схем прокатки (см. табл. 1 и 2), обе они обеспечивают распространение сжимающих напряжений в осевую зону раската для получения плотной макроструктуры. При этом прутки диаметром 300 мм имеют меньшую отбраковку по осевой пористости слитка (3,4 %), несмотря на то, что общий коэффициент вытяжки меньше на 11%. Уменьшение количества внутренних дефектов с увеличением диаметра профиля объясняется повышением единичных обжатий, увеличением катающего диаметра и уменьшением скорости прокатки. Кроме того, сумма разностей, вычисляемых по формуле (2), и среднее значение разницы за один проход для круга диаметром 300 мм больше, чем для круга диаметром 285 мм (см. табл. 1 и 2).

Также была опробована прокатка слитков массой 3,6 т ледебуритной стали X12МФ на прутки диаметром 285 мм. Из-за высокого сопротивления деформации и низкой технологической пластичности [6] при прокатке на гладкой части бочки валка и в ящичных калибрах единичные обжатия составляли 30-35 мм, прокатку овального профиля (плоского овала) в круглом калибре производили за два прохода [1, 6]. При этом овальный раскат в круглом калибре деформировался устойчиво, не сваливался.

После реконструкции обжимно-заготовочного стана с заменой обжимной клети 950 на клеть с диаметром валков 1050мм и увеличения мощности двигателя на 42 %, была опробована технология прокатки на блюминге круглых профилей диаметром 300 и 330мм из углеродистых и низколегированных сталей и диаметром 265 и 300мм из коррозионностойких хромоникелевых сталей.

Для прокатки кругов диаметром 300 и 330мм на блюминге 1050 была разработана калибровка валков (рис. 3) и схема прокатки (табл. 2), предусматривающие получение профиля в четырёх калибрах: гладкая бочка, ящичный калибр, плоский овал и круг. Плоские овальные калибры (рис. 4) построены по соотношениям, приведённым в табл. 3. Размеры гладкой бочки и второго ящичного калибров соответствовали калибровке для прокатки блюмов.

Прокатка на блюминге 1050 кругов диаметром 300 и 330 мм из конструкционных и нержавеющей сталей проходила удовлетворительно, овальный раскат в круглом калибре, удерживаемый только линейками манипулятора, вел себя устойчиво. Обжатия в овальном калибре составляли 38÷56мм, в круглом - 57÷67мм.

Для прокатки круга $\varnothing 265$ мм коррозионностойких хромоникелевых сталей, учитывая опыт освоения кругов $\varnothing 300$ и 330 мм, был сконструирован плоский овал с аналогичными соотношениями сторон (см. рис. 4, табл. 3). Прокатка слитков из конструкционных сталей на круг $\varnothing 265$ мм прошла удовлетворительно, однако при прокатке нержавеющей сталей происходило сваливание овального раската в круглом калибре, что приводило к дополнительной обрезки годного металла, а также к созданию аварийной ситуации на клети 1050.

Таблица 2

Схема прокатки круга 300мм из конструкционных сталей (масса слитка 7,4т)

Калибр	Номер прохода	Высота Н, мм	Ширина В, мм	α , рад	H/Dк	$(\alpha(6,88+\alpha))/4$	$(\alpha(6,88+\alpha))/4 - H/Dк$	
I		720	720					
	1	655	725	0,381	0,805	0,692	-0,11	
	2	595	730	0,366	0,733	0,664	-0,07	
	Кантовка							
	3	660	610	0,396	0,817	0,720	-0,10	
	4	590	620	0,396	0,738	0,720	-0,02	
	5	520	630	0,396	0,660	0,720	0,06	
	6	455	640	0,381	0,582	0,692	0,11	
II	7	390	650	0,381	0,509	0,692	0,18	
	8	325	660	0,381	0,436	0,692	0,26	
Кантовка								
II	9	550	345	0,505	0,764	0,932	0,17	
	10	445	365	0,493	0,637	0,909	0,27	
Кантовка								
I	11	320	455	0,317	0,408	0,571	0,16	
	12							
Кантовка								
II	13	350	340	0,493	0,527	0,909	0,38	
	14					холостой		
Кантовка								
овал	15	297	360	0,322	0,411	0,580	0,17	
	16					холостой		
Кантовка								
круг	17	303	303	0,390	0,479	0,708	0,23	
							Сумма	1,70
							Среднее	0,121

Для предотвращения сваливания овальной полосы в круглом калибре были опробованы различные варианты повышения устойчивости раската:

- прокатка ковanej заготовки сечением 550x550 мм, считая, что металл теряет устойчивость из-за большой длины овального раската;
- изменение размеров овального калибра (глубины, ширины, радиусов закруглений, профиля дна калибра).

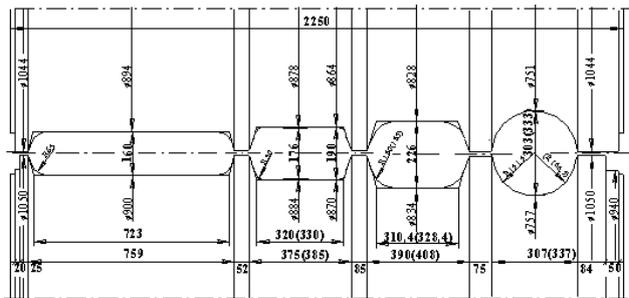
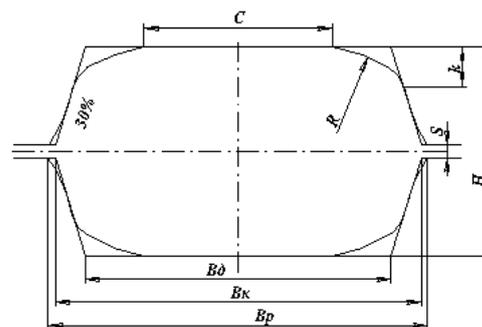
Рис. 3. Калибровка валков блюмига 1050 для прокатки круга $\varnothing 300$ мм ($\varnothing 330$ мм)

Рис. 4. Плоский овал для прокатки кругов

Таблица 3

Соотношения для построения плоских овалов (см. рис. 4)

Вк	Вр	Вдн	С	R	к
$(1,2\div 1,3)\times D$	V_k+16	$(1,0\div 1,04)\times D$	$(0,6\div 0,7)\times D$	$(0,5\div 0,6)\times D$	$(0,09\div 0,1)\times D$

Однако вышеперечисленные мероприятия не привели к положительному результату. При прокатке нержавеющей стали аустенитного класса овальный раскат сваливался в круглом калибре.

Для решения данной проблемы была разработана специальная калибровка валков (рис. 5), две схемы прокатки и ряд мероприятий, направленных на стабилизацию процесса прокатки. Принципиально был изменен ящичный калибр №2:

- дно калибра выполнено без выпуклости;
- увеличена высота калибра со 190 до 254 мм;
- радиус закруглений дна калибра увеличен с 35 до 140 мм.

Предчистовой плоский овал практически не изменяли, такой овал был ранее опробован. Также изменили конструкцию круглого калибра:

- высота круга (280 мм) была сделана больше ширины (273 мм);
- по дну калибра в секторе 74° были нарезаны треугольные канавки глубиной 2,5 мм, через каждые 8 мм (рис. 6).

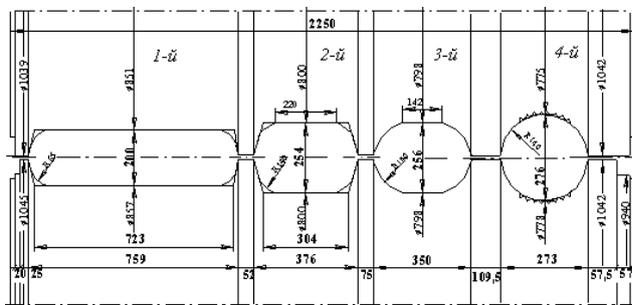


Рис. 5. Калибровка валков для прокатки круга диаметром 265мм

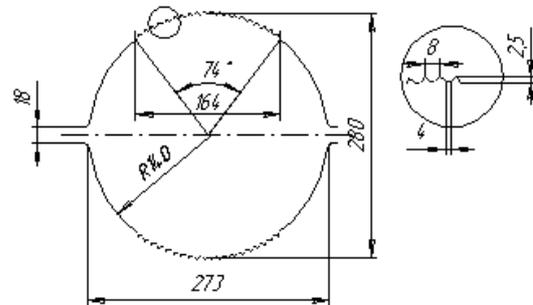


Рис. 6. Круглый калибр для прокатки прутков Ø265мм

Вытянутый по высоте круг и наличие канавок по дну калибра, предположительно, должны были повысить устойчивость овального раската в круглом калибре, исключить сваливание раската.

Первая схема предполагала прокатку по уже отработанной схеме: гладкая бочка→ящичный→плоский овал→круг. Размер задаваемого овала в круг 254×340 мм. По второй схеме прокатки планировалось в круг задать раскат со второго ящичного калибра: гладкая бочка→ящичный →круг. Размеры раската с ящичного калибра 260×300 мм.

Для проверки устойчивости входящей полосы в круглый калибр теоретически были проанализированы опробованные схемы прокатки кругов диаметром 300 и 265мм (рис. 7, а, б), а также планируемые схемы прокаток (рис. 7, в, г).

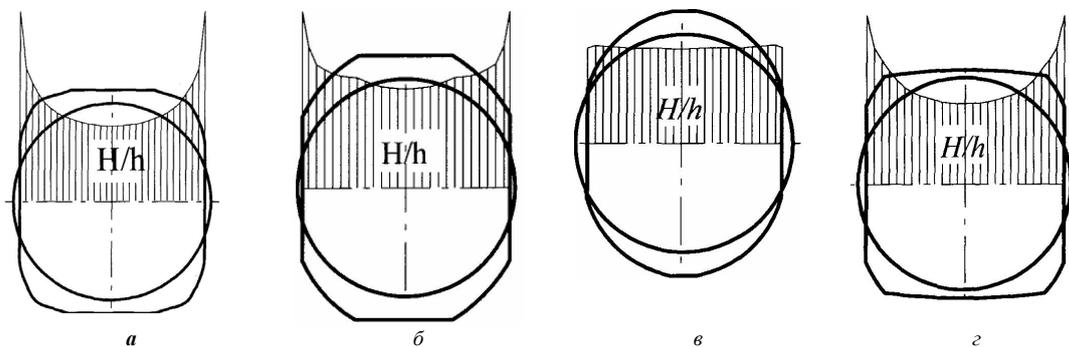


Рис. 7. Обжатие полос с овальными сечениями в круглом калибре

Проверку устойчивости овальной полосы в круглом калибре производили по двум показателям:

- 1) по форме энорпы распределения коэффициента высотной деформации $\eta=H/h$ (рис. 6, а, б, в, г);
- 2) по показателю формоизменения С, предложенным Мерекиным Б.В. [7]

$$C = \frac{H}{B} \eta \beta$$

где H, B - высота и ширина полосы до прокатки, мм
 η - коэффициент высотной деформации,
 β - коэффициент уширения.
 В данном рассматриваемом случае, при $h = b$, можно записать

$$C = \frac{H}{B} \frac{H}{h} \frac{b}{B} = \frac{H^2}{B^2}.$$

Результаты экспериментальных прокаток овальных полос в круглом калибре по различным схемам (рис. 7) приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты экспериментальных прокаток различных овальных полос в круглом калибре на блюминге

№ п/п	Схема обжатий	Диаметр круга, мм	Коэффициент устойчивости C	Стали	Поведение раската в круглом калибре
1	Рис.7а	300	1,48	конструкционные нержавеющие	не сваливался не сваливался
2	Рис.7б	265	1,65	конструкционные нержавеющие	не сваливался сваливался
3	Рис.7в	265	1,78	конструкционные нержавеющие	сваливался сваливался
4	Рис.7г	265	1,32	конструкционные нержавеющие	не сваливался не сваливался

Анализ эпюр и коэффициентов формоизменения показал, что наибольший резерв устойчивости деформирования полосы в валках имеет схема прокатки круга диаметром 265 мм, для которой $C=1,32$ (см. рис.7, г), а наименьший - схема прокатки круга диаметром 265 мм, для которой $C=1,78$ (см. рис.7, в).

При опытной прокатке по схеме прокатки с овального калибра (рис.7в) раскат, как из низколегируемых, так и из нержавеющих сталей сваливался.

При опробовании прокатки, предусматривающей получение круга с ящичного калибра №2 (рис.7, г), был получен положительный результат, прокатка круга $\varnothing 265$ мм проходила устойчиво, без сваливания овальной полосы.

По результатам этой и последующих прокаток слитков на круг $\varnothing 265$ мм из нержавеющих сталей (всего прокатано более 120 слитков) можно сделать следующие выводы.

Выводы.

1. При прокатке круглых профилей из специальных сталей на блюминге отношение сторон профиля раската B/H , задаваемого в круглый калибр, не должно превышать 1,15.
2. Форма профиля раската, задаваемого в круглый калибр, должна быть прямоугольной, с радиусом закругления углов по дну калибра, равным $(0,5-0,6)$ диаметра прокатываемого круга.
3. Показатель формоизменения C должен быть минимизирован, эпюра распределения высотной деформации должна иметь максимальные значения по краям.
4. При прокатке предчистового профиля аустенитных коррозионноустойчивых сталей в круглом калибре скорость вращения валков блюминга должна быть в диапазоне от 40 до 60 об/мин., температура прокатки - максимально возможной.
5. Понижение температуры прокатки, снижение скорости вращения валков ниже 40 об/мин способствуют увеличению уширения металла, переполнению круглого калибра, потере устойчивости овального раската и его сваливанию в круглом калибре.

Список литературы

1. Тумко А. Н. Замена операции ковки прокаткой на заводе «Днепроспецсталь» / А. Н. Тумко, С. В. Ревякин, С. С. Казаков и др. // Производство проката. - 2000. - № 5. - С. 2-5.
2. Логозинский И.Н. Расширение профильного и марочного сортамента проката и поковок из коррозионноустойчивых и жаропрочных сталей и сплавов / И. Н. Логозинский, А.Н. Тумко, А. С. Сальников // Сталь. - 2006. - № 11. - С. 128-130.
3. Патент 34073А UA 6 В21 В1/00. Способ производства прутков диаметром 200-275 мм / Тумко А. Н., Лейбензон В. А., Ревякин С. В. и др.; заявитель и патентообладатель ОАО «Днепроспецсталь». - № 99052943; заявл. 27.05.1999.
4. Патент на корисну модель № 44428 UA, В21В 1/00. Спосіб виробництва прутків діаметром більше 270 мм / Серета Б. П., Тумко А. М., Коваленко А. К., Кругляк І. В.; заявитель и патентообладатель Запорожская государственная инженерная академия; Заявл. 20.02. 2009 г.
5. Клименко В.М. Технологические резервы прокатных станков / В. М. Клименко, В. И. Погорельский, В. С. Горелик, Л. В. Коновалов. - М.: Металлургия, 1976. - 240 с.
6. Тумко А. Н. Определение технологической пластичности слитков стали типа X12 и X12МФ с использованием пластометра / А. Н. Тумко, С. В. Ревякин, О. Е. Козлов, Я. И. Спектор // Сталь. - 2002. - № 9. - С. 84-86.
7. Мерекин Б.В. Некоторые вопросы калибровки прокатных валков / Б. В. Мерекин Б. В. - М.: Металлургия, 1964. - 124 с.