

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЗОТА ПРИ ЛИТЬЕ ДВУХСЛОЙНЫХ ЛИСТПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

Применение азота для легирования чугуна двухслойных листопрокатных валков позволяет уменьшить транскристалличность структуры их рабочего слоя, повысить его термостойкость и износостойкость, обеспечить снижение в нем содержание дорогостоящего и дефицитного никеля, а так же уменьшить расход чугуна на «промывку» литейной формы двухслойного валка.

Застосування азоту для легування чавуну двошарових листопрокатних валків дозволяє зменшити транскристалічність структури їх робочого шару, підвищити його термостійкість і зносостійкість, забезпечити зниження в ньому вміст дорогого і дефіцитного нікелю, а так само зменшити витрату чавуну «промивання» ливарної форми двошарового валка.

Application of nitrogen for alloying of cast-iron of double-layer listoprokatnykh rollers allows to decrease the transkristallichnost' structures of their worker sloya, to promote his heat-resistance and wearproofness, provide a decline in him maintenance of expensive and scarce nickel, and similarly to decrease the expense of cast-iron on «washing» casting form of double-layer roller.

Постановка и анализ проблемы

Вальцелитейное производство как поставщик наиболее ответственных деталей металлургического оборудования, имеет значительные достижения в усовершенствовании технологии разливки, повышения качества и освоении новых типов хромоникелевых чугунных прокатных валков. Однако, в связи с интенсификацией технологических процессов в листопрокатном производстве, стойкость двухслойных валков серийного производства не всегда удовлетворяет требованиям высокопроизводительной работы непрерывных листопрокатных станов. Это предопределяет целесообразность проведения исследований, направленных на дальнейшее повышение служебных свойств двухслойных валков при снижении их себестоимости и металлоемкости в условиях рыночных отношений.

Двухслойные листопрокатные валки исполнения ЛПХНд с рабочим слоем из отбеленного легированного чугуна с твердостью 71 – 86 HSh, отливаемые на Лутугинском Государственном научно-производственном валковом комбинате (Украина) и ОАО «Кушвинский завод прокатных валков» (Российская федерация), являются основным типом валков для чистовых клетей непрерывных тонколистовых станов горячей прокатки. Их отливают как в стационарные, так и в центробежные формы. Поскольку объем производства двухслойных валков, отлитых центробежным способом, невелик, актуальным является усовершенствование процесса заливки, повышение качества и служебных свойств стационарнолитых двухслойных валков. Их отливают в комбинированные литейные формы методом «промывки» (рис.1), заключающейся в последовательной заливке через сифонную тан-

генциальную литниковую систему сначала легированного хромоникелевого чугуна, затвердевающего отбеленным, затем через эту же литниковую систему заливают нелегированный чугун с 1,0...1,5 % Si, количество которого составляет 30...50% от массы заливаемого валка и зависит от размеров валка, а также от степени легирования чугуна рабочего слоя [1]. При этом избыток чугуна сливается через специальное отверстие из формы в приемную мульту. Перед заливкой нелегированного чугуна, называемого «промывкой», делается выдержка, обеспечивающее затвердевание износостойкого рабочего слоя необходимой толщины (рис. 2). Высокий уровень износостойкости и прочности рабочего слоя валка обеспечивается за счет легирования чугуна хромом (0,50 – 0,75 %) и никелем (3,5 – 4,2 %), что позволяет получать в нем игольчатые структурные составляющие (преимущественно бейнит), количество которых возрастает по мере увеличения содержания никеля. Однако никель является дорогостоящим и дефицитным легирующим элементом, поэтому были проведены исследования по снижению содержания никеля в чугуне рабочего слоя валков.

Цель работы

Целью настоящего исследования являлось изучение возможности эффективной замены части никеля азотом в чугуне рабочего слоя валков и разработка ресурсосберегающего технологического процесса отливки двухслойных валков.

Изложение основного материала исследования

Выбор азота в качестве легирующей добавки обосновывается тем, что он является подобно никелю элементом, повышающим устойчивость аустенита. Поскольку азот является аналогом никеля, то содержание последнего можно снизить на определенную величину, обеспечивающую получение бейнитной структуры и высокую износостойкость чугуна. Для легирования азотом чугуна мартеновской плавки применяли азотированный феррохром (6,2 – 6,4 % N), использование которого обеспечивает усвоение азота 66 – 69%, а также азотированный силикомарганец (7,0 – 7,2 % N), обеспечивающий усвоение азота 62 – 72 %. На основании исследования структуры и свойств валков было установлено, что в связи с карбидоотбеливающим действием азота в рабочем слое валков уменьшается количество мелких графитных включений («графита отжига»), характерных для структуры этого типа валков (рис. 3). Под влиянием азота происходит измельчение структуры, уменьшаются размеры дендритов избыточного аустенита и увеличивается степень из разветвленности, что, очевидно, связано с образованием нитридов, способных выполнять роль дополнительных центров кристаллизации. Такое изменение структуры сопровождается повышением термостойкости (в среднем на 22,5 %) и износостойкости (в среднем на 34,0%). Промышленные сопоставительные опытно-промышленной партии валков на стане «2000» ОАО «Северсталь» (Российская Федерация) показа-

ли, что эксплуатационная стойкость валков из чугуна с азотом на 25,0 ... 26,5% выше, чем у валков, отлитых без азота.

Электронно-микроскопический анализ участков рабочей поверхности двухслойных валков после эксплуатации показал, что структура поверхности валков состоит из участков матрицы и раздробленных карбидов различной степени дисперсности и формы. В средней части валков карбиды более раздроблены, чем у края, что связано с различием энергосиловых параметров очага трения по длине вала. В средней части наблюдается большее количество разомкнутых микротрещин различного происхождения (рис. 4 а - г). Часть из них сформировалась на стыке матрице – карбид (рис. 4 б, в), другие в виде полос скольжения (рис. 4 г), третьи (рис. 4 б) – на границах бывших графитных включений. Указанные микротрещины под воздействием сил трения развиваются в макро- и магистральные трещины, приводящие к выкрошкам. Измельчение структуры по влиянием азота значительно тормозит превращение зародившихся микротрещин в макротрещины, выкрошки и отслоения, что приводит к более высокой эксплуатационной стойкости валков, легированных азотом. В дальнейшем, при отливке опытно-промышленных партий валков было установлено, что при применении азота обеспечивается сокращение брака по волосовидным трещинам, а также снижение расхода остродефицитного и дорогого никеля на 0,2 – 0,3 % без снижения эксплуатационной прочности валков.

Исследования показали, что азот в чугуне действует, как бейнитообразующий элемент примерно в 15 раз сильнее никеля и для обеспечения бейнитной структуры металлической матрицы чугуна рабочего слоя валков содержание этих элементов должно быть связано следующей зависимостью:

$$Ni_{p.c.} = 4.0 - (10 \div 20)N_{p.c.}, \quad (1)$$

где $Ni_{p.c.}$ и $N_{p.c.}$ – соответственно содержание никеля и азота в рабочем слое валков, в масс. %

При содержании азота в чугуне менее 0,01 масс. % не обеспечивается подавление графитизации в удаленных от литой поверхности бочки валков участках рабочего слоя и возрастает спад твердости по его глубине, а также снижается износостойкость чугуна в связи с уменьшением степени дисперсности продуктов эвтектоидного превращения аустенита. В тоже время при концентрации азота в чугуне более 0,04 – 0,05 % имеют место случаи появления дефектов в рабочем слое в виде «азотной пористости», а при его содержании более 0,06 – 0,07% возникновение этого вида дефекта приобретает массовый характер. С внедрением в практику вальцелитейного производства отливки двухслойных валков из чугунов, дополнительно легированных 0,2 – 0,5% ванадия было установлено, что комплексное легирование азотом и ванадием позволяет расширить пределы эффективного использования азота для легирования чугуна валков до 0,07% [2].

Следует отметить, что ванадий оказывает собственное влияние на структуру чугуна валков во многом сходное с влиянием азота. Легирование

чугуна до 0,4 – 0,5% ванадия повышает дисперсность продуктов эвтектоидного распада, увеличивает разветвленность дендритов избыточного аустенита и уменьшает карбидные прослойки между их ветвями. Такое влияние ванадия на структуру чугуна валков связано с тем, что он повышает растворимость углерода в расплаве и с увеличением его содержания в чугуне аустенит обогащается углеродом, рост зерна при высоких температурах существенно задерживается, а цементит выделяется с меньшим инкубационным периодом. Азот в свою очередь обеспечивает уменьшение размеров зерна и увеличение удельной протяженности межфазных границ. Поэтому особенностью влияния комплексного легирования ванадием и азотом на структуру валков является уменьшение транскристалличности в их рабочем слое и, как следствие, снижение анизотропии механических свойств в тангенциальном и радиальном направлениях на 38 – 45%. По-видимому, азот усиливает влияние ванадия на характер кристаллизации дендритов избыточного аустенита, с выделения которого начинается затвердевание доэвтектических валковых чугунов, создавая перед фронтом затвердевания дополнительные центры кристаллизации в виде нитридов. Это увеличивает количество одновременно растущих дендритов, которые не успевают вырасти до больших размеров в направлении параллельном преимущественному теплоотводу при затвердевании.

Измельчение зерна при дополнительном легировании белого хромоникелиевого чугуна азотом и ванадием позволяет увеличить в нем содержание марганца с 0,6 – 0,8% до 1,3 – 1,4%, ограничение которого в валках ЛПХНд связано с повышением под его влиянием транскристалличности структуры. Поскольку марганец является аналогом никеля по влиянию на образование продуктов эвтектоидного превращения аустенита, то при таком изменении химического состава обеспечивается экономия последнего на 0,4 – 0,6%.

В процессе совершенствования технологии получения двухслойных прокатных валков из чугуна дополнительно легированного азотом было установлено, что целенаправленное регулирование нитридообразованием позволяет не только улучшать структуру и свойства рабочего слоя, но и совершенствовать сам способ получения двухслойных отливок при заливке их стационарным способом методом «промывки». Основным недостатком этого способа отливки является большой расход металла для формирования сердцевины и шеек, что предопределяет высокие затраты на «промывку», а также повышенный расход легирующих элементов, часть которых вымывается из литейной формы с промывочным металлом и не участвует в формировании структуры рабочего слоя. Следствием этого такой способ характеризуется высокой себестоимостью литья и низкой рентабельностью производства.

Большое количество промывочного чугуна является и причиной недостаточного уровня прочности нижних по заливке (приводных при эксплуатации) шеек. Это связано с тем, что он вносит при промывании литейной

формы в ее часть, выполняющую нижнюю шейку (через нее проходит весь металл, заливаемый в форму) большое количество тепла и разогревает ее. Это приводит к увеличению продолжительности затвердевания в ней расплава и, как следствие, ухудшению структуры и снижению прочности. В связи с замедлением процессов кристаллизации в эвтектоидном интервале температур в микроструктуре шеек происходит рост длинных (до 300 – 400 мкм) и тонких графитных включений со значительной степенью разветвленности, а также образование в металлической матрице крупнодисперсных продуктов эвтектоидного распада аустенита (Пд 1,4 – 1,6) согласно ГОСТ 3443-87. Кроме того, в связи с интенсификацией в последние годы режимов прокатки, ростом доли листового проката из новых, труднодеформируемых марок сталей значительно возросли динамические нагрузки изгиба и кручения на валки, что привело к увеличению числа случаев преждевременного выхода их из строя по причине поперечных поломок, отлома шеек и трещин. Критериальная оценка служебных свойств валков текущего производства показала, что они характеризуются малым критерием прочности K_n , определяемым по формуле [3]:

$$K_n = \sigma_B / HB, \quad (2)$$

где σ_B – предел прочности образцов от шеек валков, МПа;

HB – твердость шеек по Бринеллю в месте испытания на прочность.

Для уменьшения количества промывочного металла можно повысить его склонность к графитизации за счет увеличения в нем содержания кремния до 2,5 – 3,5%. Но такой способ не решает проблемы повышения критерия прочности K_n , так как приводит к увеличению в структуре шеек и сердцевины валков размеров разветвленного графита и количества феррита (при более 2,0% Si), а главное – делает весьма затруднительным использование в шихте главного ее компонента – вышедших из эксплуатации валков. Поэтому для усиления склонности к графитизации и повышения механических свойств шеек использовали легирование чугуна азотом и инокулирование его нитридами путем ввода в него бора и бария, имеющих высокое химическое сродство с азотом. Было установлено, что необходимое количество бора и бария для образования нитридов (подложек для выделения графита) в промывном чугуне соответствует следующей зависимости [4]:

$$K = M [N_{p.c.} (m_1 - m_2) + N_{np} m_3] / 14m_3, \text{ масс. \%} \quad (3)$$

где M – молекулярная масса вводимого нитридообразующего химического элемента;

$N_{p.c.}$ – содержание азота в рабочем слое, масс. %;

N_{np} – содержание азота в чугуне для промывки, масс. %;

m_1 – масса отбеленного хромоникелиевого чугуна с низким содержанием кремния, кг;

m_2 – масса рабочего слоя валка, кг;

m_3 – масса чугуна для промывки, кг.

При вводе в промывочный чугун бора при помощи различных боридосодержащих материалов было установлено, что наиболее целесообразно использование октабората натрия. Этот материал значительно дешевле других исследованных боридосодержащих материалов (ферробора, карбидобора, борного ангидрида, буры, борной кислоты), технологичен при хранении и транспортировке, хорошо усваивается металлом, обеспечивает точность дозировки. Степень усвоения бора из октабората натрия при обработке мартековского чугуна в ковше ($T = 1350 - 1400$ оС) составляет 55 – 60 %. При вводе его в чугун он, взаимодействуя с азотом, образует тугоплавкие нитриды бора, которые вследствие своего практически полного структурного и размерного соответствия графиту являются идеальными подложками для его зарождения и роста. Для ввода в чугун бария использовали ФС53Ba32 (30,0 – 35,0 % Ва), который обеспечивает образование в чугуне мелкодисперсного нитрида бария (Ba_2N_3). Однако, учитывая высокое химическое сродство бария к кислороду и сере, количество вводимого бария увеличивали сверх расчетного по формуле (3) на 0,02 – 0,03 %. В связи с повышением в чугуне количества активных центров графитизации, такое модифицирование [5] позволяет при содержании кремния в чугуне 1,5 – 1,8 % получать в структуре нижних шеек малоразветвленный графит, тонко дифференцированный перлит и незначительное количество феррита. В структуре верхних шеек резко снижается количество цементита, что свидетельствует о возможности снижения расхода металла на промывку сердцевины и шеек (таблица).

Приведенные данные свидетельствуют о том, что при снижении количества заливаемого в литейную форму модифицированного промывочного чугуна (уменьшении количества вносимого в нее тепла) до соотношения его с заливной массой валка 1 : 4,5, то есть до 20% обеспечивается повышение критерия эксплуатационной прочности нижних (приводных при эксплуатации) шеек в среднем на 30 - 40 %. При дальнейшем снижении количества промывочного чугуна не достигается достаточная промывка верхних шеек и за счет смешивания легированного и промывочного чугунов содержание хрома повышается до концентраций, предопределяющих выделение хрупкого цементита.

Вывод

Применение азота для легирования чугуна двухслойных листопрокатных валков позволило не только уменьшить транскристалличность структуры их рабочего слоя, повысить термостойкость и служебные свойства валков и обеспечить снижение в нем содержания дорогостоящего и дефицитного никеля. При дополнительном микролегировании промывочного чугуна боридо- и барийсодержащими материалами снижается его расход на промывку формы без уменьшения критерия эксплуатационной прочности.

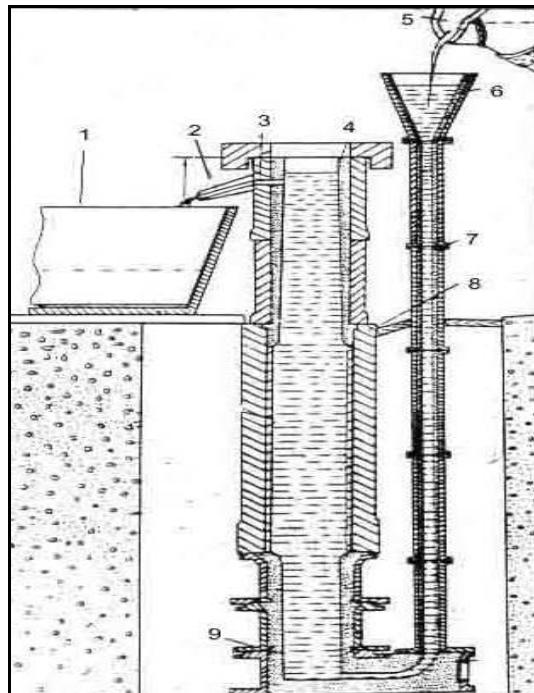


Рисунок 1 - Схема литейной формы двухслойного валка: 1 – приемная мутьда; 2 – желоб; 3 – сливная летка; 4 – форма верхней шейки; 5 – ковш; 6 – воронка; 7 – стояк; 8 – кокиль; 9 – форма нижней шейки

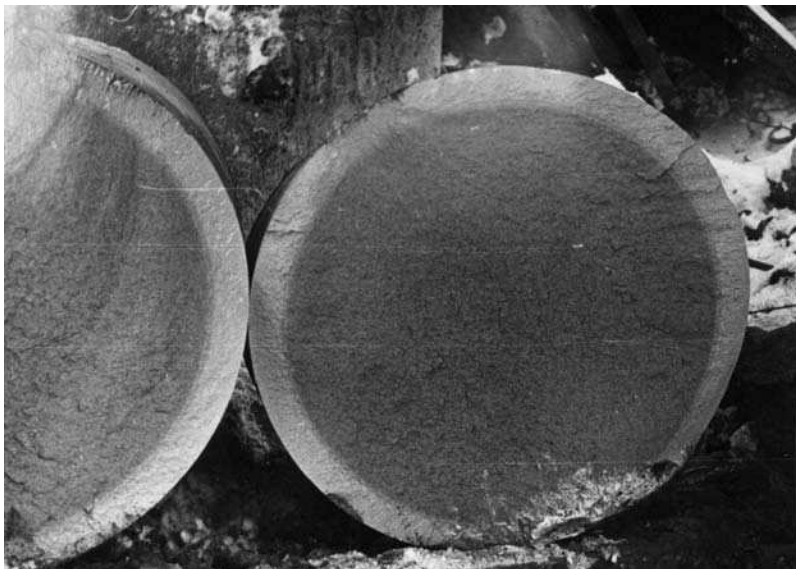


Рисунок 2 - Макроструктура излома двухслойного валка размером 700x1700 мм

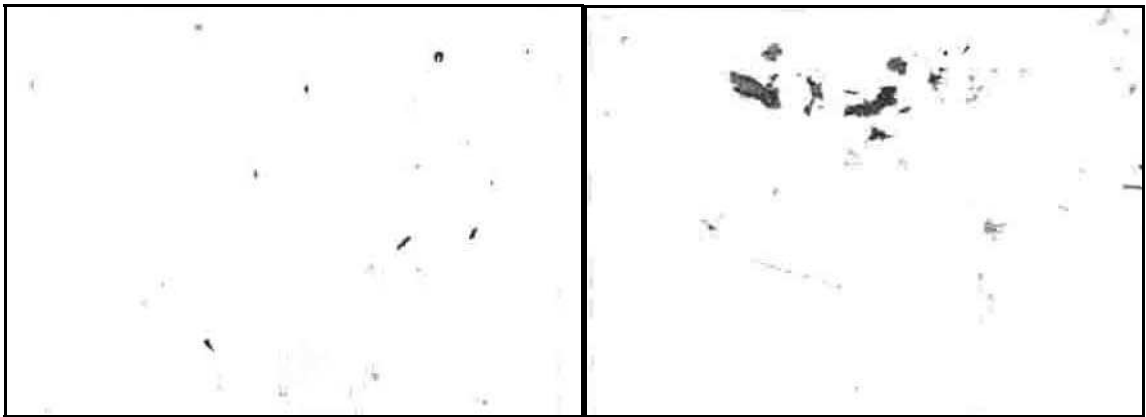


Рисунок 3 - Структура рабочего слоя исходного валка (а) и легированного азотом (б), x100

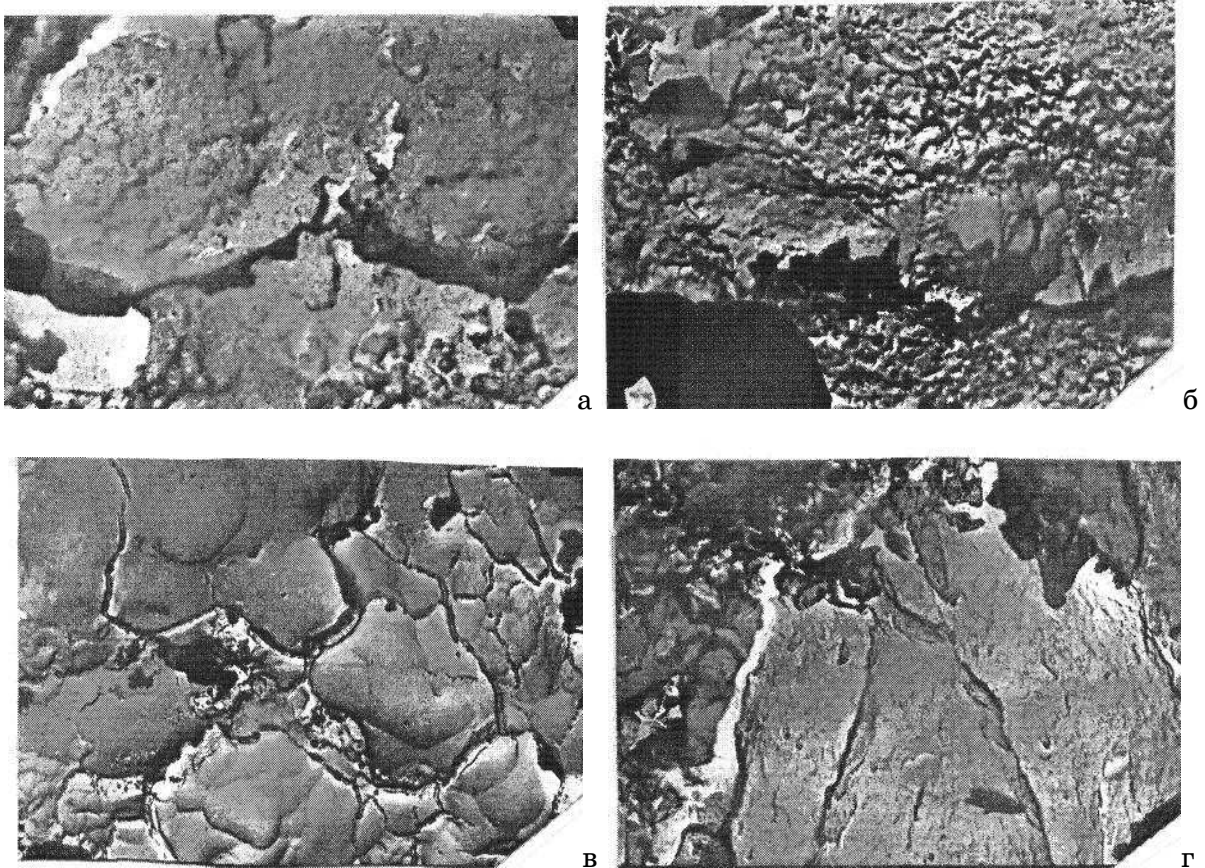


Рисунок 4 - Электроннофрактографическое изображение рабочей поверхности двухслойных валков

Таблиця

Влияния азота, бора и бария на предел прочности, твердость и критерий эксплуатационной прочности шеек двухслойных листопрокатных валков

Содержание N, B, Ba в промывном чугуна, %			Отношение количества промывного металла к заливочной массе	Предел прочности, σ_B , МПа		Твердость по Бринеллю, HB, МПа		Критерий эксплуатационной прочности K_n =	
N	B	Ba		Н.Ш.*	В.Ш.*	Н.Ш.	В.Ш.	Н.Ш.	В.Ш.
-	-	-	1:2,5	420	525	2360	2380	0,173	0,220
0,032	0,010	0,022	1:2,5	435	525	2190	2350	0,198	0,223
0,051	0,031	0,031	1:2,5	445	530	2120	2360	0,209	0,224
0,058	0,028	0,029	1:3,2	455	535	2250	2490	0,202	0,214
0,043	0,022	0,042	1:3,2	455	545	2150	2450	0,211	0,222
0,060	0,029	0,041	1:4,5	540	550	2200	2480	0,245	0,221
0,029	0,022	0,030	1:4,5	485	535	2260	2600	0,215	0,205
0,050	0,031	0,021	1:4,5	510	545	2150	2490	0,237	0,218
0,059	0,033	0,040	1:7,5	540	455	2220	2820	0,243	0,161
0,042	0,041	0,030	1:7,5	510	460	2140	2850	0,238	0,161

* Н.Ш. – нижняя шейка; В.Ш. – верхняя шейка

ЛИТЕРАТУРА

1. Будагьянц Н.А., Карский В.Е. Литые прокатные валки. – М.: Металлургия, 1983. – С. 175.
2. А.с. № 1516505 СССР, МКИ С22С 37/10. Чугун для прокатных валков / Калинин В.Т., Пузырьков-Уваров О.В., Рудницкий Л.С., Рямов В.А., Комляков В.И. – Опубл. 23.10.89, Бюл. № 39.-3 с.
3. Рудницкий Л.С. Критерии оценки служебных свойств чугуновых валков // Сталь, 1978. -№ 5.- С.444-448.
4. А.с. № 1540935 СССР, МКИ В22Д 27/00. Способ получения двухслойных прокатных валков / Комляков В.И., Пузырьков-Уваров О.В., Рямов В.А., Калинин В.Т., Китайгородский В.Д., Денисенко Н.Я. – Опубл. 07.02.90, Бюл. № 5. – С.5.
5. Калинин В.Т., Хрычиков В.Е., Кривошеев В.А. О критериальной оценке эффективности модификаторов при обработке чугунов // Теория и практика металлургии. – 2004. - № 2. – с. 25-29.