

Исследование влияния регулируемого охлаждения на микроструктуру сортопрокатного валка из отбеленного чугуна

V. E. Khrychikov /Dr. Sci. (Tech.), A. P. Belyi,
L. H. Ivanova /Dr. Sci. (Tech.), I. A. Osypenko

National Metallurgical Academy of Ukraine

Research influence of regulation cooling on the microstructure of rolling from chilled iron

Цель. Анализ влияния замедленного охлаждения бочки сортопрокатного валка на его структуру.

Методика. Структуру чугунов исследовали с помощью метода металлографического анализа по ГОСТ 3443-87.

Результаты. Представлены результаты исследования структуры сортопрокатного валка исполнения СПХН-60 с размерами бочки $\varnothing 460 \times 1016$ мм по серийной и опытной технологии производства. Установлено незначительное уменьшение количества цементита в рабочем слое валка и повышение прочностных свойств его осевой зоны за счет теплоизоляции формы от окружающей среды.

Научная новизна. Впервые показано влияние замедления охлаждения чугунопрокатного валка после кристаллизации рабочего слоя на структуру и прочность по глубине бочки сортопрокатного валка.

Практическая значимость. Достижение высокой прочности для создания новых перспективных технологий изготовления литых чугунных прокатных валков является одной из проблем вальцелитейного производства. Эта проблема может быть решена за счет управления структурой валков при кристаллизации. (Ил. 3. Табл. 2. Библиогр.: 6 назв.)

Ключевые слова: прокатный валок, чугун, регулируемое охлаждение, микроструктура, цементит, прочность.

Введение. Чугунные валки являются основным сменным оборудованием прокатных станков [1]. Высокие механические и эксплуатационные свойства валков определяют во многом качество и экономическую эффективность современного производства проката. Однако при затвердевании и охлаждении валков в комбинированных кокильно-песчаных формах возникают литейные напряжения, величина которых равна сумме внутренних напряжений трех видов: механических, термических и фазовых [2]. Превышение этих напряжений прочности сплава обуславливает образование горячих и холодных трещин в отливках [3].

Механические (усадочные) напряжения формируются в результате торможения усадки формой, например, литыми калибрами или стержнем. Термические напряжения зарождаются из-за разницы скоростей охлаждения отдельных частей отливки: бочка валка охлаждается в кокиле, а шейки – в песчано-глинистой форме. Фазовые напряжения формируются в результате неодновременного протекания фазовых превращений в сплаве. Так, из-за неравно-

мерного охлаждения бочки валка в кокиле рабочий слой имеет температуру ниже линии эвтектоидного превращения, а осевая зона в этот момент времени имеет температуру значительно более высокую [4; 5]. Поэтому в зоне температурного интервала эвтектоидного превращения (≈ 723 °С) происходит перестроение кристаллической решетки. Аустенит, как высокотемпературная гранцентрированная модификация железа с объемно-центрированной кубической кристаллической решеткой, переходит, например, в феррит, который имеет объемно-центрированную кубическую кристаллическую решетку. В этот момент времени при перестроении атомов прочность структуры металла уменьшается, что обуславливает формирование напряжений и холодных трещин. Причем перестроения кристаллической решетки в сплаве могут протекать с уменьшением или увеличением объема в различных частях отливки.

Напряжения могут быть временными и остаточными. Временные напряжения существуют до тех пор, пока действуют внешние силы. Остаточные напряжения существуют в отсутствие

внешних сил и уравниваются в объеме отливки. Так, из-за наличия остаточных напряжений отливки чугунных прокатных валков перед эксплуатацией должны проходить естественное старение (вылеживаться) от 3 до 6 месяцев в зависимости от размера.

Для уменьшения остаточных напряжений отливки подвергают термической обработке (отпуск) или воздействуют вибрацией определенной частоты и амплитуды. В [6] установлена зависимость величины остаточных напряжений в литых прокатных валках от формы графитных включений в структуре чугуна, наличия в составе валковых чугунов легирующих элементов, типа модифицирующего элемента, твердости чугуна рабочего слоя валков и их исполнения. Разработаны температурно-временные режимы термообработки различных типов валков, которые позволяют уменьшить остаточные напряжения и исключить этап естественного старения. Затраты на регулируемый нагрев и охлаждение валков в термических печах увеличивают себестоимость продукции.

Однако экономически целесообразным является производство литых валков с уменьшенными остаточными напряжениями за счет регулирования режима охлаждения его в литейной форме. Анализ патентно-лицензионной литературы показал отсутствие исследований в этом направлении, так что поставленная проблема является актуальной, а ее решение имеет важное прикладное значение.

Цель. Провести анализ влияния замедленного охлаждения бочки сортопрокатного валка на его структуру.

Материал и методики. В условиях ПАО «Днепропетровский завод прокатных валков» были отлиты сортопрокатные валки исполнения СПХН-60 с размерами бочки $\text{Ø}460 \times 1016$ мм по серийной и опытной технологии производства. Плавку осуществляли в индукционной печи промышленной частоты ИЧТ-6. В качестве шихтовых материалов применяли: лом прокатных валков, передельные и литейные чугуны, стальной лом, ферросплавы. После доводки металла по химическому составу и отбелу по технологической пробе расплав температурой 1460 ± 5 °С выпускали из печи в литейный ковш емкостью 10 т. После выдержки расплав заливали при температуре 1320 ± 5 °С в две литейные формы через один литниковый стояк. После заливки один валок охлаждался по серийной технологии, а опытный – с использо-

ванием замедленного охлаждения за счет теплоизоляции формы от окружающей среды.

Исследование микроструктуры материала валков серийного производства и опытного проводили на образцах от бочек и шеек, вырезанных из дисков, отобранных при разрезке валков (рис. 1).

Результаты исследований. В рабочем слое серийного валка включения графита имеют пластинчатую форму, у поверхности – в виде небольших розеток, которые вглубь валка укрупнились (рис. 2). Графит можно охарактеризовать следующими баллами: ПГф2-ПГд25-ПГр3-ПГ2 (ГОСТ 3443-87). Количество графитной составляющей с удалением от поверхности бочки валка увеличилось от 0,4 % на расстоянии 10 мм до 12,5 % на расстоянии 190 мм, при этом характеристика графита составила ПГф2-ПГд90-ПГр3-ПГ12 баллов (табл. 1).

Включения графита в рабочем слое опытного валка практически отсутствовали (см. табл. 1). Вглубь от поверхности бочки валка количество графитной составляющей увеличивалось от нуля на глубине 10 мм до 13,1 % на расстоянии 190 мм, при этом характеристика графита составила ПГф2-ПГд180-ПГр3-ПГ12 баллов.

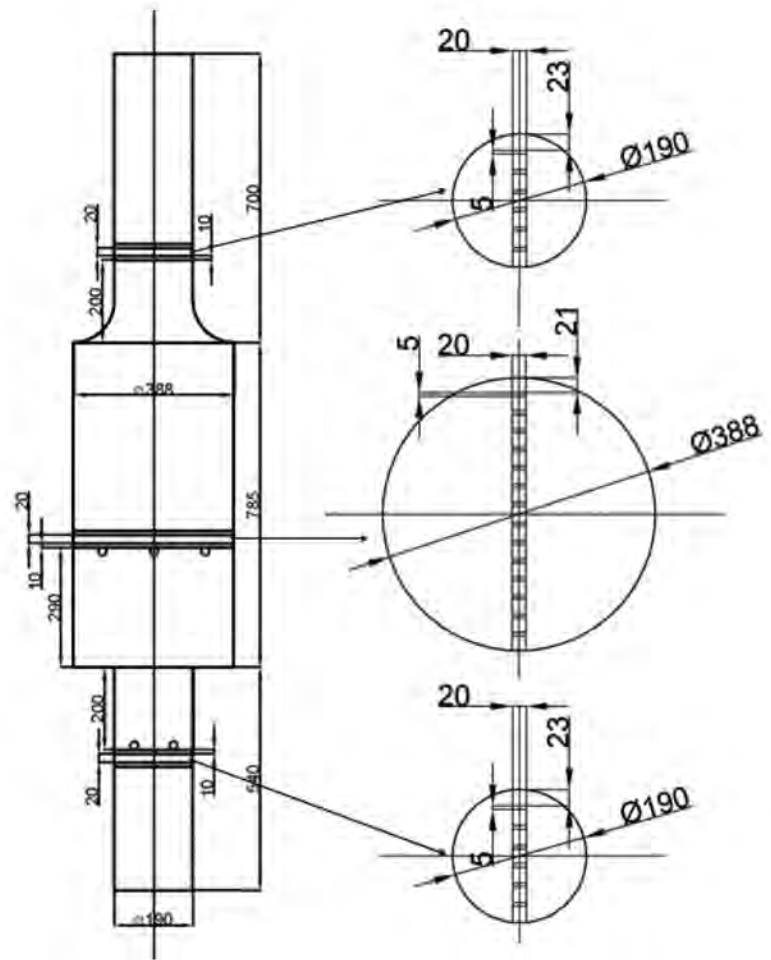


Рис. 1. Схема разрезки и отбора образцов от серийного и опытного валков

Металлографический анализ материала бочек серийного и опытного валков исполнения СПХН-60

Партия валков	Номера валков-представителей	Расстояние от поверхности бочки, мм	Количество структурных составляющих, %			Дисперсность перлита	Характеристика включений пластинчатого графита		
			Графит	Цементит ледебурит	Перлит		Форма	Длина	Распределение
Серийный	8038	10	0,4	30,3	69,3	ПД1,0; ПД1,4	ПГ ф2	ПГд25	ПГр3
		60	4,5	28,6	66,9	ПД1,0; ПД 1,4	ПГ ф2	ПГд25	ПГр3
		110	7,3	25,4	67,3	ПД1,0; ПД1,4	ПГ ф2	ПГд45	ПГр3
		190	12,5	19,7	67,8	ПД1,0; ПД 1,4	ПГ ф2	ПГд90	ПГр3
Опытный	9097	10	-	30,1	69,9	ПД1,0; ПД1,4	ПГ ф2	-	-
		60	5,7	26,7	67,6	ПД1,0; ПД1,4	ПГ ф2	ПГд45	ПГр3
		110	8,0	22,4	69,6	ПД 1,4; ПД1,6	ПГ ф2	ПГд90	ПГр3
		190	13,1	18,5	68,4	ПД 1,4; ПД1,6	ПГ ф2	ПГд180	ПГр3

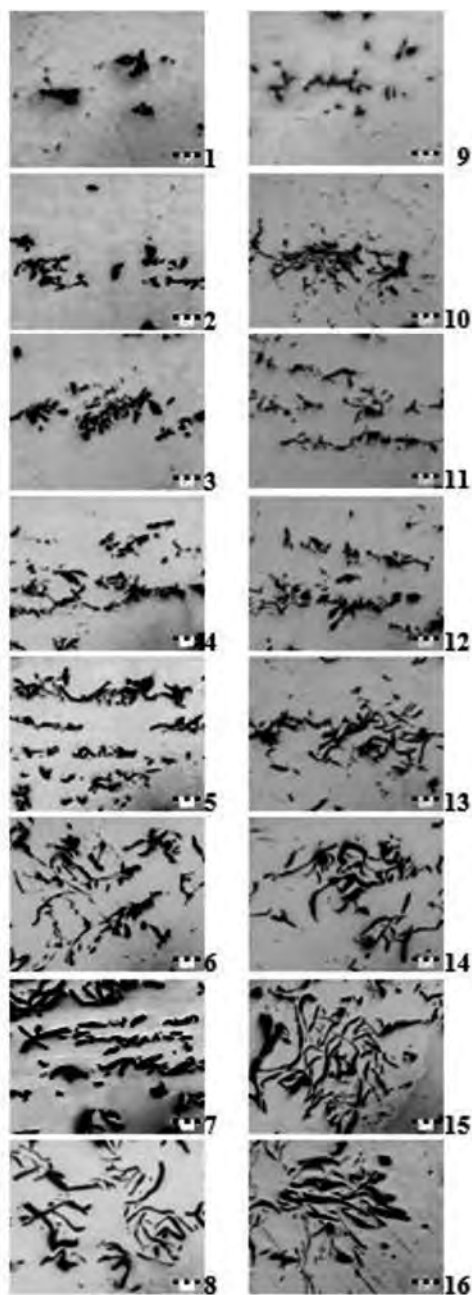


Рис. 2. Микроструктура бочки серийного (1-8) и опытного (9-16) валков. Расстояние от поверхности бочки, мм: 1, 9 - 10; 2, 10 - 35, 3, 11 - 60; 4, 12 - 85; 5, 13 - 110; 6, 14 - 135; 7, 15 - 160; 8, 16 - 190. x100, не травлено

Структура рабочего слоя вала серийного производства состояла из дендритов перлита и аустенито-графитной эвтектики, встречались участки цементита конгломератного типа. Количество цементита на глубине 10 мм составляло 30,3 %, с удалением вглубь бочки уменьшалось до 19,7 %. Характеристика цементита ледебурита была Ц25-Цп6000 (рис. 3). В рабочем слое в фазе цементит (ледебурит) с характеристикой Ц25-Цп6000 ледебурита было 50 %, а в осевой зоне вала площадь включений этой фазы составила Цп13000 с количеством ледебурита 85 % (табл. 2).

Таблица 2

Соотношение цементита и ледебурита в бочке валков серийного производства и опытного

Расстояние от поверхности бочки, мм	Серийный валок		Опытный валок	
	Цементит, %	Ледебурит, %	Цементит, %	Ледебурит, %
10	50	50	30	70
60	30	70	20	80
110	20	80	10	90
190	15	85	10	90

Эвтектоидное превращение аустенита в структуре серийного вала проходило с образованием перлитных структур. Количество перлита в рабочем слое составляло 69,3 %, а с удалением вглубь вала, количество перлита уменьшалось до 67,8 %. Дисперсность перлита по всей глубине бочки вала соответствовала баллам ПД1,0; ПД 1,4.

При затвердевании рабочего слоя опытного вала формировалась структура грубого конгломерата цементита и аустенита, который при дальнейшем охлаждении превращался в перлит. Количество цементита на глубине 10 мм было примерно таким же, как и в валке серийного производства. Характеристика цементита ледебурита была Ц15-Цп13000. Не обнаружено существенных изменений и в строении перлита, по степени дифференцированности перлит соответствовал баллам серийного вала.

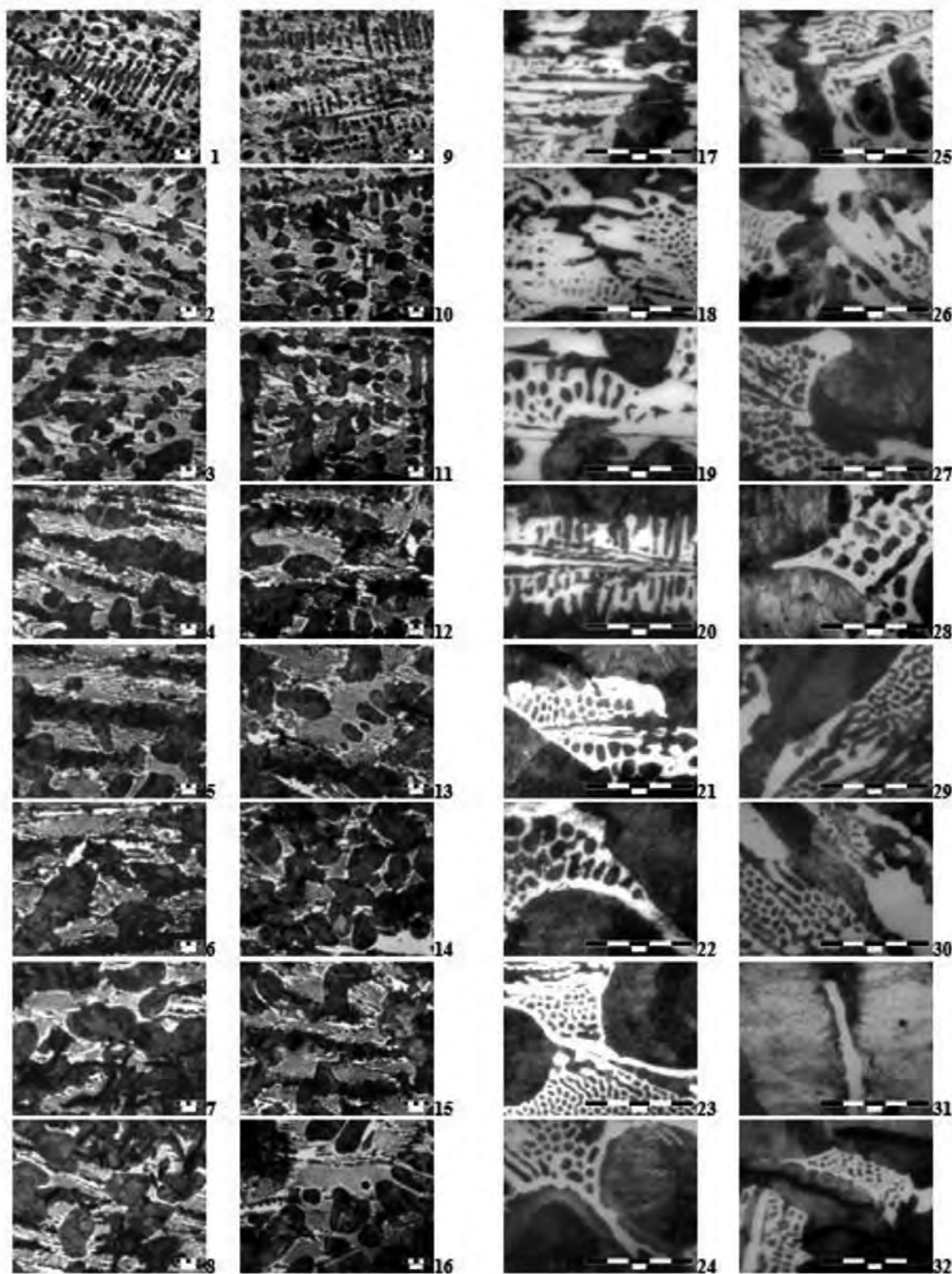


Рис. 3. Микроструктура бочки серийного (1-8, x100, 17-24, x400) и опытного (9-16, x100, 25-32, x400) валков, травлено ниталем.

Расстояние от поверхности бочки, мм: 1, 9, 17, 25 - 10; 2, 10, 18, 26 - 35, 3, 11, 19, 27 - 60; 4, 12, 20, 28 - 85; 5, 13, 21, 29 - 110; 6, 14, 22, 30 - 135; 7, 15, 23, 31 - 160; 8, 16, 24, 32 - 190

В рабочем слое серийного валка уменьшение количества цементита по глубине рабочего слоя несколько ниже, по сравнению с опытным валком. В серийном - 30,3 %, 28,6, 25,4 19,7 % на глубине 10 мм, 60, 110 и 190 мм соответственно, а в опытном - 30,1 %, 26,7, 22,4, 18,5 %.

Незначительное уменьшение количества цементита в рабочем слое опытного валка (см. табл. 1) соответствует таким же значениям уменьшения количества цементита после термической обработки валков серийного производства, что указывает на правильность выбран-

ных режимов замедленного охлаждения опытного валка.

В осевой зоне опытного валка по сравнению с серийным, количество цементитной составляющей структуры уменьшилось на 9,4 %, а количество графитной – увеличилось на 8,3 %. Поэтому прочностные свойства осевой зоны опытного валка выше по сравнению с серийным валком за счет уменьшения в структуре цементита и увеличения графита.

Выводы

1. Исследовано влияние замедления охлаждения чугунного прокатного валка после кристаллизации рабочего слоя на микроструктуру по глубине бочки сортопрокатного валка.

2. Установлено, что незначительное уменьшение количества цементита в рабочем слое опытного валка соответствует таким же значениям уменьшения количества цементита после термической обработки валков серийного производства, что указывает на правильность выбранных режимов замедленного охлаждения опытного валка.

3. Прочностные свойства осевой зоны опытного валка выше по сравнению с серийным валком за счет уменьшения в структуре цементитной составляющей на 9,4 % и увеличения графитной 8,3 %.

4. Перспективным направлением дальнейших исследований является отработка термовременных режимов регулируемого охлаждения других типоразмеров валков.

Библиографический список / References

1. Кривошеев А. Е. Литые валки (теоретически и технологические основы производства) / А. Е. Кривошеев. – М.: Металлургиздат, 1957. – 360 с.

Krivosheev A. E. *Litye valki (teoreticheski i tekhnologicheskie osnovy proizvodstva)*. Moscow, Metallurgizdat, 1957. 360 p.

2. Хрычиков В. Е. Литейное производство черных и цветных металлов: учеб. пособие. / В. Е. Хрычиков, Е. В. Меняйло. – Изд. 2-е, исправленное и дополненное. – Днепропетровск: НМетАУ, 2015. – 89 с.

Khrychikov V. E., Menyaylo E. V. *Liteynoe proizvodstvo chernykh i tsvetnykh metallo*. Dnepropetrovsk, NMetAU, 2015. 89 p.

3. Репях С. И. К вопросу образования горячих трещин в литых изделиях и сварных швах / С. И. Репях, Е. В. Меняйло, Ю. С. Пройдак, В. Е. Хрычиков // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2014. – № 3. – С. 37–41.

Repyakh S. I., Menyaylo E. V., Proydak Yu. S., Khrychikov V. E. *K voprosu obrazovaniya goryachikh treshchin v litykh izdeliyakh i svarnykh*

shvakh. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. 2014, no. 3, pp. 37–41.

4. Лейбензон В. О. Твердження металів і металевих композицій: підручник для ВУЗів / В. О. Лейбензон, В. Л. Пілюшенко, В. М. Кондратенко, В. Є. Хричиков, Ф. В. Недоп'юкін, В. В. Білоусов, Ю. В. Дмитрієв. – Вид. друге, доопрацьоване. – Київ: Наукова думка. – 2009. – 447 с.

Leybenzon V. O., Pilyushenko V. L., Kondratenko V. M., Khrychikov V. J., Nedop'okin F. V., Bilousov V. V., Dmitriev Yu. V. *Tverdnennyya metaliv i metallevikh kompozitsiy*. Kyiv, Naukova dumka. 2009. 447 p.

5. Хрычиков В. Е. Особенности процесса образования усадочной пористости в бочке чугунного прокатного валка / В. Е. Хрычиков, Е. В. Меняйло, Ю. А. Мушенков, Д. В. Якимова // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2012. – № 6. – С. 35–40.

Khrychikov V. E., Menyaylo E. V., Mushenkov Yu. A., Yakimova D. V. *Osobennosti protsessa obrazovaniya usadochnoy poristosti v bochke chugunnogo prokatno-go valka*. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. 2012, no. 6, pp. 35–40.

6. Иванова Л. Х. Влияние модифицирования на величину остаточных напряжений в литых валках / Л. Х. Иванова // *Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. тр. – Днепропетровск: ПГАСА, 2007. – Вып. 41, ч. 2. – С. 99–103.*

Ivanova L. Kh. *Vliyanie modifitsirovanie na velichinu ostatochnykh napryazheniy v litykh valkakh*. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroe-nie*. Dnepropetrovsk, PGASA, 2007, issue 41, part 2, pp. 99–103.

Purpose. Analysis of the slow cooling effect of sheet rolling drum roll on its structure.

Methodology. Iron structure examined using metallographic analysis method according to GOST 3443–87.

Findings. The results of the study of the structure of section rolling rolls execution SPHN-60 with barrel sizes Ø460×1016 mm serial and experimental technology. Established slight reduction in the number of cementite layer in the working roll and elevated its axial strength properties due to the thermal insulation zone forms from the environment.

Originality. For the first time showed the effect of slowing down the roll cooling iron working layer after crystallization on the structure and strength of the depth of the barrel section rolling roll.

Practical value. Achieving high strength to create a new perspective tehnolgy manufacture cast iron rolls is one of foundry problems. This problem can be solved by controlling the structure of the rolls during crystallization.

Key words: rolling roll, cast iron, adjustable cooling, microstructure, cement, strength.

Поступила 25.08.2016