

## Влияние регулируемого охлаждения на качество прокатного валка из отбеленного чугуна

Установлено незначительное уменьшение количества цементита в рабочем слое валка и повышение прочностных свойств его осевой зоны за счет теплоизоляции формы от окружающей среды.

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

**П**остановка проблемы в обобщенном виде и ее связь с научными и практическими задачами. Чугунные валки являются основным сменным оборудованием прокатных станов [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 по толщине отливки. Так, из-за неравномерного 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 ( $\approx 723^\circ\text{C}$ ) происходит перестроение кристаллической решетки. Аустенит, как высокотемпературная гранецентрированная 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. При этом перестроения кристаллической решетки в сплаве могут протекать с уменьшением или увеличением объема в различных частях отливки.

Целью исследований было проведение анализа влияния замедленного охлаждения бочки сортопрокатного валка на его структуру.

Основная часть исследований. В условиях ПАО «Днепропетровский завод прокатных валков» отлиты сортопрокатные валки исполнения СПХН-60 с размера-

ми бочки  $\varnothing 390 \times 785$  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 с температурой  $1460 \pm 5^\circ\text{C}$  выпускали из печи в литейный ковш емкостью 10 т. После счистки шлака расплав заливали при температуре  $1320 \pm 5^\circ\text{C}$  в две литейные формы через один литниковый стояк. После заливки один валок охлаждался по серийной технологии, а опытный – с использованием замедленного охлаждения, за счет теплоизоляции формы от окружающей среды.

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

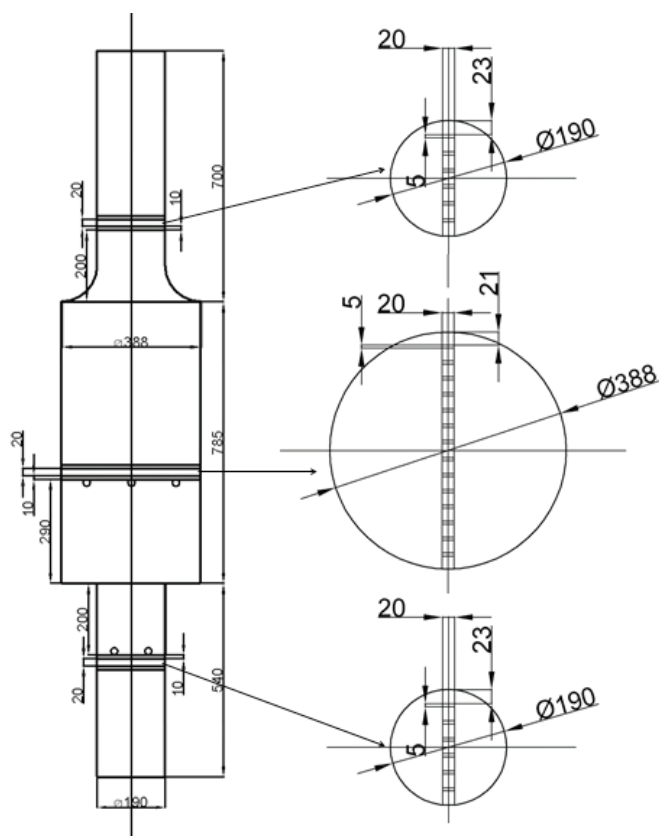


Рис. 1. Схема разрезки и отбора образцов от серийного и опытного валков

## 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; ПД1,4	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; ПД1,4	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	ПД1,4; ПД1,6	ПГ ф2	ПГд90	ПГр3
		190	13,1	18,5	68,4	ПД1,4; ПД1,6	ПГ ф2	ПГд180	ПГр3

В рабочем слое серийного валка включения графита имеют пластинчатую форму, у поверхности – в виде небольших розеток, которые укрупнились вглубь валка (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 (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.

Структура рабочего слоя валка 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 валка площадь включений этой фазы составила Цп13000 с количеством ледебурита 85% (табл. 2).

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

При затвердевании рабочего слоя опытного валка 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

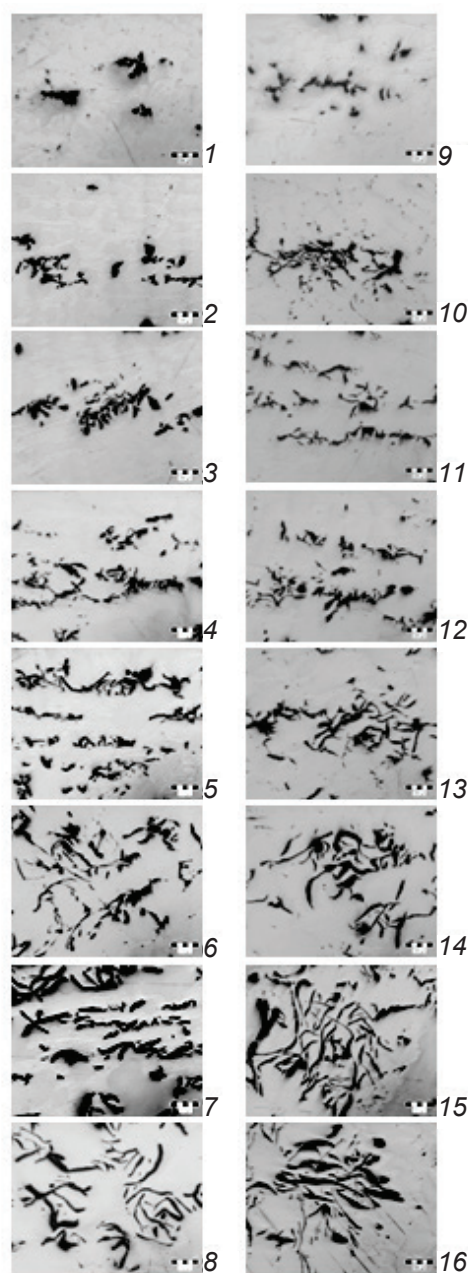


Рис. 2. Микроструктура бочки серийного (1-8) и опытного (9-16) валков. Расстояние от поверхности бочки, мм: 1, 9 – 10; 2, 10 – 35; 3, 11 – 60; 4, 12 – 85; 5, 13 – 110; 6, 14 – 135; 7, 15 – 160; 8, 16 – 190.  $\times 100$ , не травлено

Соотношение цементита и ледебурита в бочках валков серийного и опытного производства

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

соответствовал баллам серийного валка.

В рабочем слое серийного валка уменьшение количества цементита по глубине рабочего слоя несколько меньше, по сравнению с опытным валком. В серийном – 30,3; 28,6; 25,4; 19,7% на глубине 10, 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 (табл. 1) соответствует таким же значениям уменьшения количества цементита после термической обработки валков серийного производства с целью уменьшения остаточных напряжений. Это указывает на правильность выбранных 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

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

Установлено, что незначительное уменьшение количества цементита в рабочем слое опытного валка соответствует таким же значениям уменьшения количества цементита после термической обработки валков серийного производства, с целью уменьшения остаточных напряжений. Это указывает на правильность выбранных режимов замедленного охлаждения опытного валка в процессе его кристаллизации и возможность исключения затрат на термическую обработку.

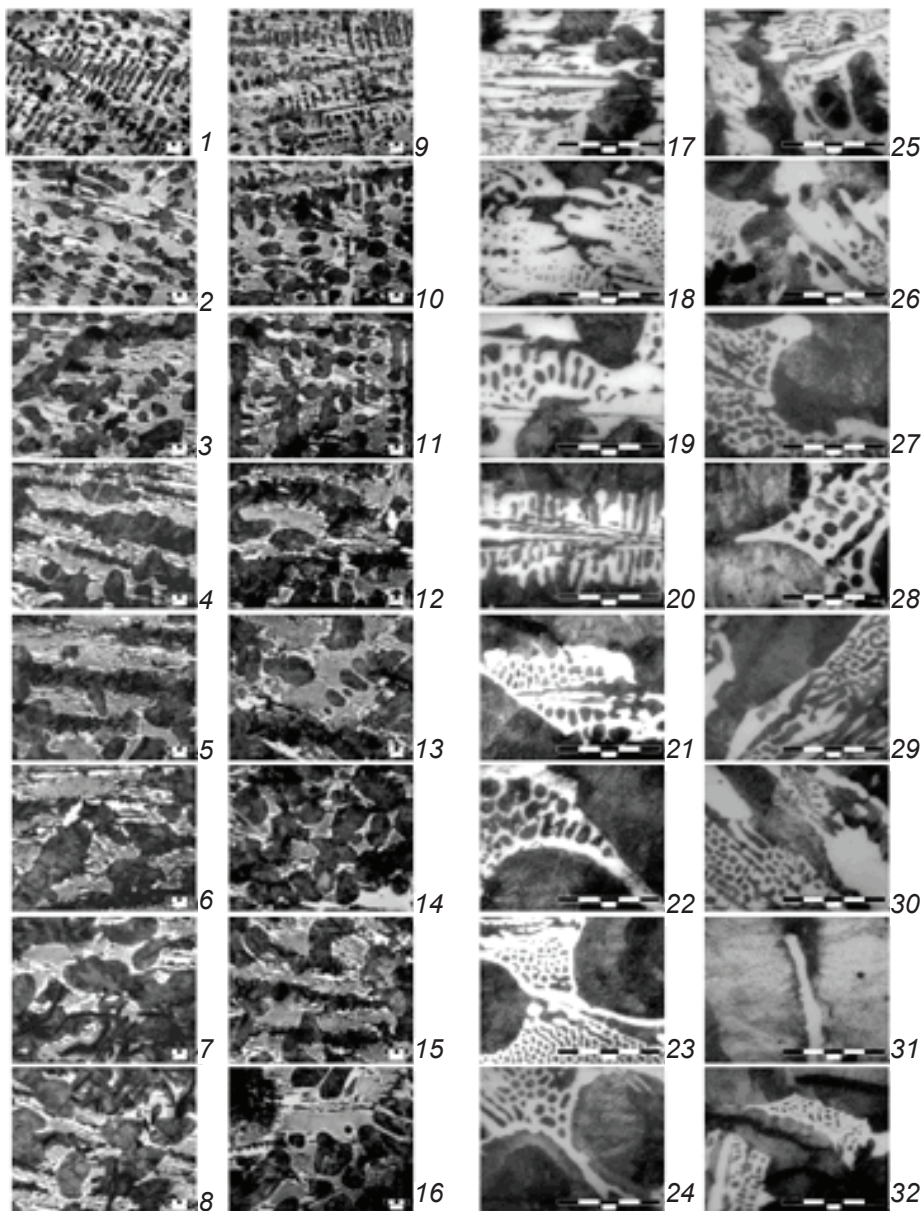
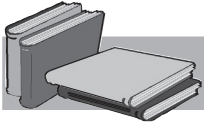


Рис. 3. Микроструктура бочки серийного (1-8, x100, 17-24, x400) и опытного (9-16, x100, 25-32, x400) валков, травлено ниталем. Расстояние от поверхности бочки, мм: 1, 9, 17, 25 – 10; 2, 10, 18, 26 – 35; 3, 11, 19, 27 – 60; 4, 12, 20, 28 – 85; 5, 13, 21, 29 – 110; 6, 14, 22, 30 – 135; 7, 15, 23, 31 – 160; 8, 16, 24, 32 – 190

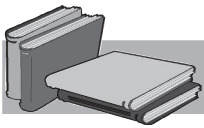
Прочностные свойства осевой зоны опытного валка выше по сравнению с серийным валком, за счет уменьшения в структуре цементитной составляющей на 9,4% и увеличения графитной на 8,3%.

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



## ЛИТЕРАТУРА

1. *Кривошеев А. Е.* Литые валки (теоретические и технологические основы производства). – М.: Металлургия, 1957. – 360 с.
2. *Хрычиков В. Е., Меняйло Е. В.* Литейное производство черных и цветных металлов: Учеб. пособие. Изд. 2-ое, исправленное и дополненное. – Днепр: НМетАУ, 2015. – 89 с.
3. *Репях С. И., Меняйло Е. В., Пройдак Ю. С., Хрычиков В. Е.* К вопросу образования горячих трещин в литых изделиях и сварных швах // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2014. – № 3. – С. 37-41.
4. *Лейбензон В. О., Пилиущенко В. Л., Кондратенко В. М., Хрычиков В. Е., Недопьокін Ф. В., Білоусов В. В., Дмитрієв Ю. В.* Твердження металів і металевих композицій. Підручник для ВУЗів. Видання друге, доопрацьоване. – К: Наукова думка, 2009. – 447 с.
5. *Хрычиков В. Е., Меняйло Е. В., Мушенков Ю. А., Якімова Д. В.* Особенности процесса образования усадочной пористости в бочке чугунного прокатного валка // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2012. – № 6. – С. 35-40.



## REFERENCES

1. *Krivosheev A. E.* (1957). Liteye valki (teoreticheskie i tekhnologicheskie osnovy proizvodstva) [*Cast rolls (theoretical and technological bases of production)*]. Moscow: Metallurgizdat, 360 p. [in Russian].
2. *Khrychikov V. E., Meniailo E. V.* (2015). Liteinoe proizvodstvo chernykh i tsvetnykh metallov: Ucheb. posobie. Izd. 2-oe, ispravlennoe i dopolnennoe [*Foundry production of ferrous and non-ferrous metals: Studies. grant. 2-d ed., corrected and added*]. Dnepr: NMetAU, 89 p. [in Russian].
3. *Repiakh S. I., Meniailo E. V., Proidak Yu. S., Khrychikov V. E.* (2014). K voprosu obrazovaniia goriachikh treshchin v litykh izdeliakh i svarynykh shvakh [*To a question of formation of hot cracks in molded goods and joint welds*]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*, no. 3, pp. 37-41 [in Russian].
4. *Leibenzon V. O., Piliushchenko V. L., Kondratenko V. M., Khrychikov V. E., Nedop'okin F. V., Bilousov V. V., Dmytriyev Yu. V.* (2009). Tverdnennia metaliv i metalevykh kompozitsii. Pidruchnyk dlia VUZiv. Vydannia 2-e, dooprats'ovane [*Solidification of metals and metal compositions. Textbook for high schools. 2-nd edition, revised*]. Kyiv: Naukova dumka, 447 p. [in Ukrainian].
5. *Khrychikov V. E., Meniailo E. V., Mushenkov Yu. A., Yakimova D. V.* (2012). Osobennosti protsessa obrazovaniia usadochnoi poristosti v bochke chugunnogo prokatnogo valka [*Features of process of formation of shrinkage porosity in a flank of a cast-iron rolling roll*]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*, no. 6, pp. 35-40 [in Russian].

### Анотація

*Хрычиков В. Е., Білий О. П., Іванова Л. Х., Осипенко І. О.*

Вплив регульованого охолодження на якість прокатного валка з вибіленого чавуну

*Встановлено незначне зменшення кількості цементиту в робочому шарі валка і підвищення міцнісних властивостей його осьової зони за рахунок теплоізоляції форми від навколишнього середовища.*

### Ключові слова

*Прокатний валок, чавун, регульоване охолодження, мікроструктура, міцність.*

### Summary

*Khrychikov V., Belyi A., Ivanova L., Osipenko I.*

Influence of regulated cooling on quality of a rolling roll from chilled cast iron

*It was established slight reduction in the number of cementite in the working layer of a roll and elevation of strength properties of its axial zone due to the form thermal insulation from the environment.*

### Keywords

*Rolling roll, cast iron, controlled cooling, microstructure, strength.*

Поступила 20.03.17