

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.

Постановка 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).

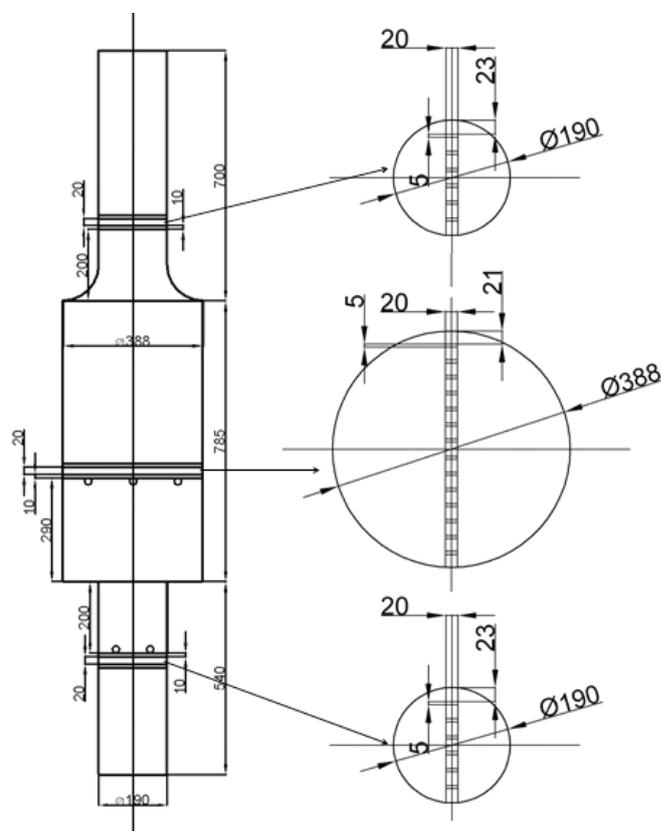


Рис. 1. Схема разрезки и отбора образцов от серийного и опытного валков

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

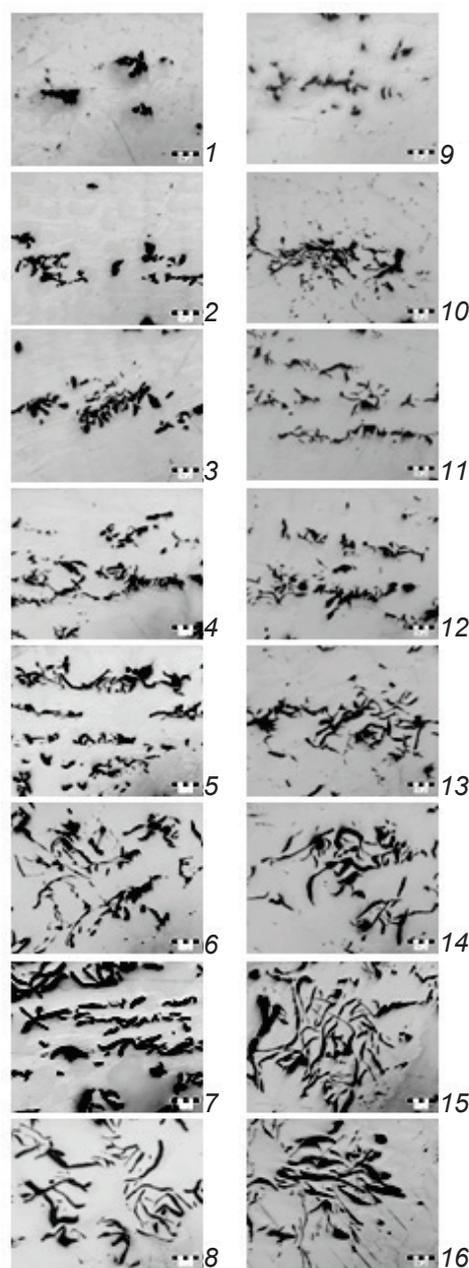


Рис. 2. Микроструктура бочки серийного (1-8) и опытного (9-16) валков. Расстояние от поверхности бочки, мм: 1, 9 – 10; 2, 10 – 35; 3, 11 – 60; 4, 12 – 85; 5, 13 – 110; 6, 14 – 135; 7, 15 – 160; 8, 16 – 190. x100, не травлено

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.

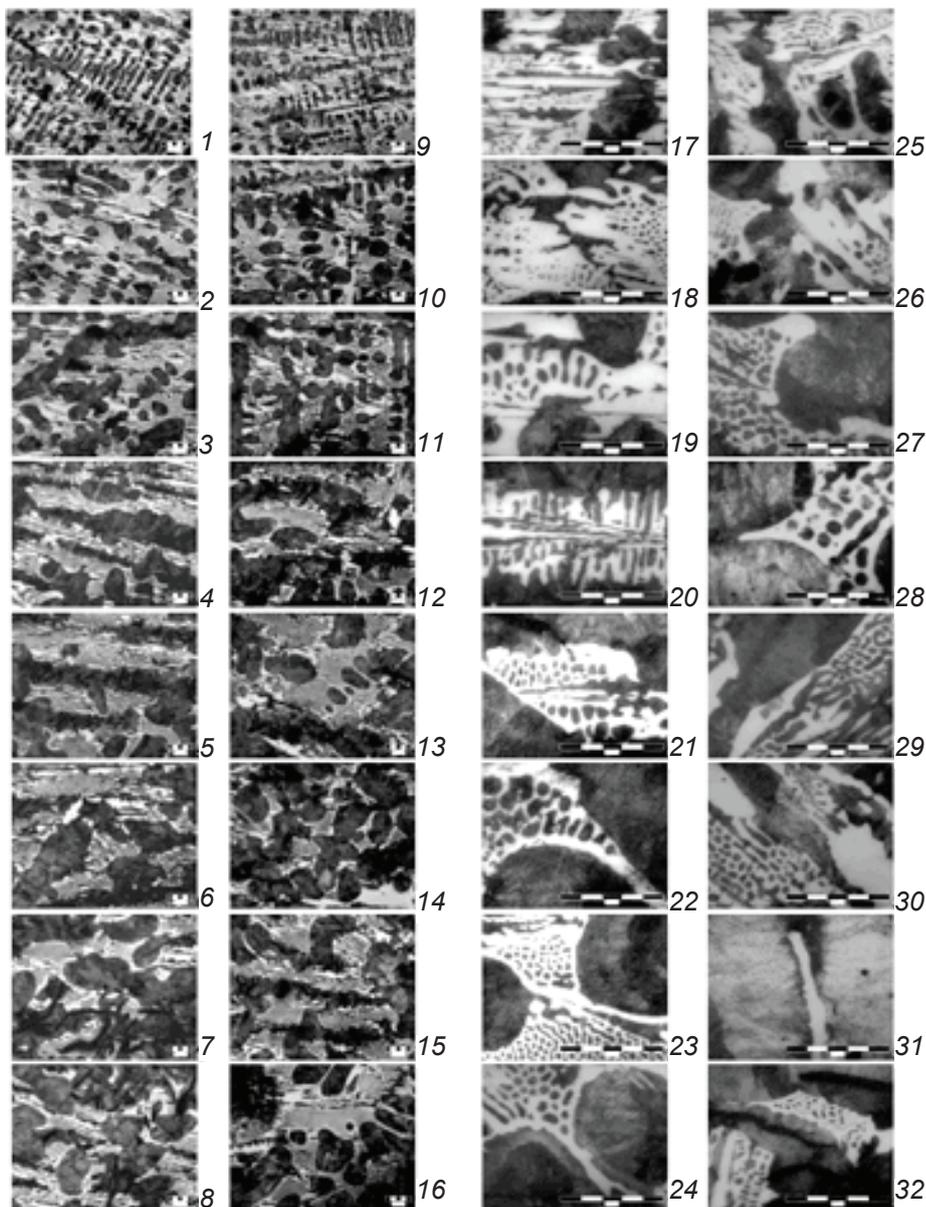
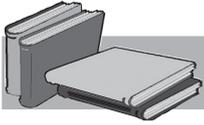


Рис. 3. Микроструктура бочки серийного (1-8, x100, 17-24, x400) и опытного (9-16, x100, 25-32, x400) валков, травлено ниталем. Расстояние от поверхности бочки, мм: 1, 9, 17, 25 – 10; 2, 10, 18, 26 – 35; 3, 11, 19, 27 – 60; 4, 12, 20, 28 – 85; 5, 13, 21, 29 – 110; 6, 14, 22, 30 – 135; 7, 15, 23, 31 –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

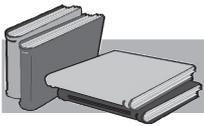
Прочностные свойства осевой зоны опытного валка выше по сравнению с серийным валком, за счет уменьшения в структуре цементитной составляющей на 9,4% и увеличения графитной на 8,3%.

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.: Metallurgizdat, 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. Репах С. И., Меняйло Е. В., Пройдак Ю. С., Хрычиков В. Е. К вопросу образования горячих трещин в литых изделиях и сварных швах // Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. – 2014. – № 3. – С. 37-41.
4. Лейбензон В. О., Пілющенко В. Л., Кондратенко В. М., Хрычиков В. Є., 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 // Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. – 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., Dmytriev Yu. V. (2009). Tverdnennia metaliv i metalovykh 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. Є., 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