

УДК 621.74.042
DOI: 10.12737/20269

Н. А. Жижкина

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОЛИТЫХ ВАЛКОВ

Рассмотрено центробежное литье листопркатных валков. Изучено влияние скорости вращения литейной формы на структуру и уровень свойств рабочего слоя валков. Проанализирована

микроструктура (размер первичных зерен, их состав) исследуемых изделий.

Ключевые слова: центробежнолитые валки, рабочий слой, структурообразование, центробежная машина.

N.A. Zhizhkina

TECHNOLOGY OPTIMIZATION FOR CENTRIFUGAL-CAST ROLL MANUFACTURING

This paper reports the sheet roll spun casting. It is shown that sheet rolls of required quality and with minimum production costs are manufactured through a method of spun casting on a machine with a vertical axis of a mould rotation. It is defined that at spun casting a more intensive foundry cooling occurs as a result of which a blank is characterized with a denser and more even structure of a working layer. It is revealed that the stability of such a process depends to a considerable degree upon a spin casting system functioning a significant property of which is a speed of rotation.

In the paper there is analyzed a rotation speed influence upon a grain size, a quantitative ratio of structural constituents in a working layer composed of nickel-chromium cast iron and also upon the level of its properties. The analysis of the rotation speed influence of a casting mold upon a structure and a property level of a roll working surface was based on experimental

investigations of foundries under industrial conditions. The microstructure (the size of primary grains, their composition) of products analyzed was estimated with the aid of a common metallographic procedure.

On the basis of experiments carried out it is determined that even an insignificant increase (by 7%) of mould rotation speed during roll casting allows without expensive processing of liquid melt of a working layer increasing its structure uniformity. As a result of this the level of its properties increases (hardness – by 3 units). Consequently, the increase of rolling tool efficiency is expected.

The presented results of investigations are basic for works on servicing characteristics increase of spin-cast rolls.

Key words: spin-cast rolls, working layer, structure formation, spin casting system.

Повышение эксплуатационной стойкости и долговечности прокатных валков различного назначения, в том числе для листовых станков, в связи с интенсификацией производства остается актуальной задачей. Ее решение возможно путем совершенствования технологии изготовления литых заготовок и оптимизации их химического состава.

Ввиду того что основными требованиями к качеству формующего инструмента являются износостойкая рабочая поверхность и прочная сердцевина, валки изготавливают из разнородных материалов. Но из-за различия в уровне их теплофизических свойств в процессе эксплуатации возможно разрушение или отслоение фор-

мующего инструмента. Получить из разнородных материалов изделие требуемого качества с минимальными производственными затратами позволяет метод центробежного литья. Такая технология имеет ряд преимуществ по сравнению со стационарным литьем:

- возможность использования для рабочего слоя износостойких, но малотехнологичных в литье сложнолегированных сплавов (быстрорежущая сталь, высоколегированный чугун), а для сердцевины – материалов с высокими показателями обрабатываемости и усталостной прочности (углеродистая сталь, серый и высокопрочный чугун);

- более равномерное распределение структурных составляющих и свойств износостойкого сплава по глубине и длине рабочего слоя.

С другой стороны, центробежное литье в отличие от методов бандажирования и электрошлакового переплава (ЭШП) обеспечивает формирование переходной зоны, обуславливающей плавный переход от твердого рабочего слоя к вязкой сердцевине, что способствует повышению надежности прокатного инструмента при эксплуатации.

Анализ патентной и технической литературы [3-9], касающейся разработок специального центробежного оборудования для изготовления листопрокатных валков (общей массой заготовки до 20 тонн), выдвигает на первое местомашину с вращением литейной формы вокруг вертикальной оси. Конструкция такой машины снабжена литниковой системой для заполнения внутренней полости формы и дозатором для регулирования массы заливаемого металла.

В ходе промышленного освоения новой технологии изготовления валков установлено, что при центробежном литье имеет место значительное изменение температуры по длине отливки. При продвижении расплава от нижней части формы, где находится наиболее горячий металл, к верхней зоне в процессе формирования рабочего слоя валка происходят существенные потери тепла. В результате к моменту заливки первой порции металла сердцевины возникает дестабилизация условий сваривания слоев в различных по высоте зонах отливки, что затрудняет выбор времени ее начала.

Для обеспечения надежного сваривания у верхнего торца заливаемой формы и предотвращения смешивания металлов рабочего слоя и сердцевины в нижней ее части центробежная машина снабжена подвижной литниковой системой [4]. Разработке такой системы предшествовали теоретические расчеты и специальные эксперименты по оптимизации режима заполнения вращающейся формы, заключающиеся в определении скорости перемещения литника в соответствии с подъемом

жидкого металла рабочего слоя вдоль кокиля под действием центробежных сил.

В результате проведенных исследований разработана новая технология, позволяющая изготавливать высококачественные валки для ведущих мировых производителей листового проката (ОАО «Северсталь», НЛМК), а в перспективе и изделия с профилированной рабочей поверхностью (для сортовой прокатки).

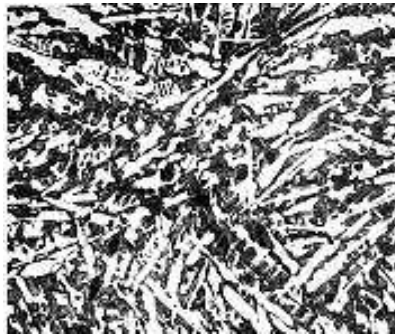
Вместе с тем изготовление валков методом центробежного литья с вертикальной осью вращения представляет собой достаточно сложный технологический процесс, зависящий от множества производственных факторов, в том числе от работы оборудования. Установлено, что стабильность работы центробежной машины при формировании рабочего слоя определяет равномерность распределения его металла в полости вращающейся изложницы, что оказывает значительное влияние на целостность валковой отливки [6]. При этом выявлено, что силы вращения способствуют измельчению структуры кристаллизующегося рабочего слоя, а следовательно, повышению износостойкости формирующего инструмента [5; 7].

Цель работы – исследовать влияние скорости вращения на размер зерна, количественное соотношение структурных составляющих в рабочем слое из хромоникелевого чугуна.

Изучение процесса формирования рабочего слоя валка в поле действия центробежных сил показало, что на начальном этапе заливки его расплав вовлекается во вращательное движение и прижимается к стенкам кокиля. В результате устанавливается тепловой обмен между ним и стенкой кокиля, что способствует мгновенному образованию тонкой корки затвердевшего металла. При продвижении фронта кристаллизации происходит усадка корки затвердевшего металла и образование газового зазора между отливкой и кокилем, что вызывает резкое падение интенсивности охлаждения заготовки. В результате вдоль фронта кристаллизации формируется граница, разделяющая структуру отливки на две зоны: наружную мелкозернистую и внутреннюю столбчатую (рис. 1).

Микроструктура наружной зоны, мгновенно сформировавшейся при соприкосновении вращающегося расплава со стенкой кокиля, состоит из дезориентированных мелких дендритов и карбидной эвтектики (рис. 1 а). Микроструктура внутренней зоны, образовавшейся после формирования газового зазора между отлив-

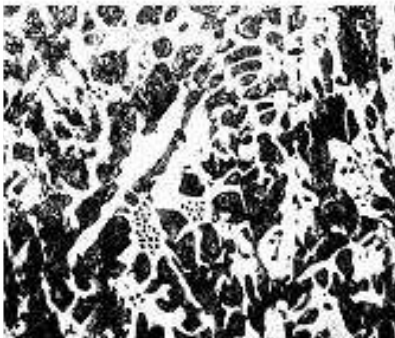
кой и стенкой изложницы, представлена четко ориентированными в направлении теплового потока столбчатыми кристаллами – дендритами, в промежутках между которыми наблюдается карбидная эвтектика (рис.1 б).



а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Изменение микроструктуры по сечению валка (травлено, $\times 100$):
а – у литой поверхности бочки; б, в, г – на глубине 10, 25 и 40 мм

После окончания заливки металла рабочего слоя часть его тепла продолжает отводиться в стенки формы путем теплопередачи, а другая часть – конвекцией и излучением со стороны свободной поверхности вращающегося металла. Выделяющиеся на свободной поверхности кристаллы, имеющие плотность большую, чем плотность расплава, под действием центробежных сил перемещаются к стенкам формы, а жидкая фаза металла – к свободной поверхности. Вследствие этого возникает циркуляция расплава, и затвердевание отливки происходит в радиальном направлении. При этом растущие в радиальном направлении дендриты постоянно соприкасаются с жидким металлом, что способствует формированию более разветвленной микроструктуры (рис. 1 в). Свободная внутренняя поверхность рабочего слоя за-

твердевает в последнюю очередь в условиях замедленной интенсивности охлаждения расплава и действия давления, развиваемого при вращении металла. В результате кристаллизуется грубозернистая структура, ориентированная в направлении вращения металла (рис.1 г). Следовательно, вращение формы способствует формированию более плотной и равномерной структуры рабочего слоя. Вместе с тем значительный практический интерес представляет изучение влияния повышения скорости вращения на процесс его структурообразования.

В связи с этим в промышленных условиях были проведены экспериментальные исследования влияния скорости вращения формы на структуру рабочего слоя массивных валков. Исследования проводили на 20 валковых отливках одного ти-

порамера ($D_{\text{бочки}} = 0,85 \text{ м}$, $I_{\text{бочки}} = 2,5 \text{ м}$) с рабочим слоем из хромоникелевого чугуна, содержащего 3,20-3,24 % С, 0,54-0,60 % Si, 0,59-0,64 % Mn, не более 0,10 % P, до 0,05% S, 1,53-1,56% Cr, 4,26-4,57 % Ni. В ходе эксперимента изменяли скорость вращения формы в интервале 44,05-47,19 с^{-1} . Такой диапазон значений выбран из условия подъема хромоникелевого чугуна в полном объеме из полости нижней шейки и формирования из него рабочего слоя в движущейся изложнице.

Анализ структуры проводили согласно методике [2] на образцах, отобранных от рабочего слоя исследуемых отливок, с помощью микроскопа МИМ-10 при увеличении $\times 100$. Сравнивали размеры первичных дендритов по длине их стволов (h) и расстоянию между краями ветвей второго порядка (l), а также оценивали состав структурных составляющих и их количество в исследуемых образцах (рис. 2, 3). Для этого выполнили согласно [1] расчет средних значений и дисперсий измеренных величин (табл. 1, 2).

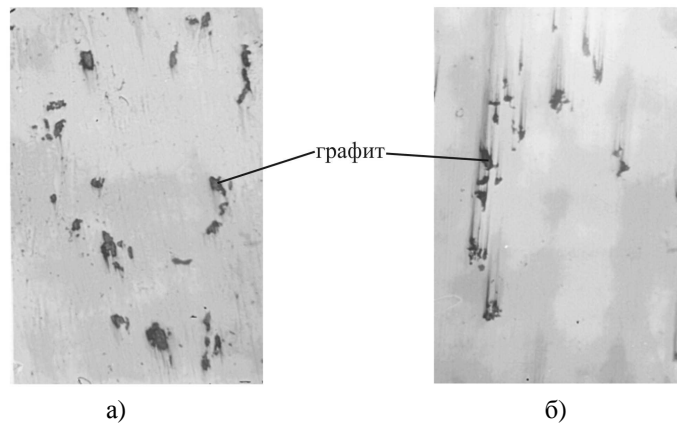


Рис. 2. Распределение включений графита в рабочем слое валков, отлитых при скорости вращения (не травлено, $\times 100$): а - $\omega = 44,05 \text{ с}^{-1}$; б - $\omega = 47,19 \text{ с}^{-1}$

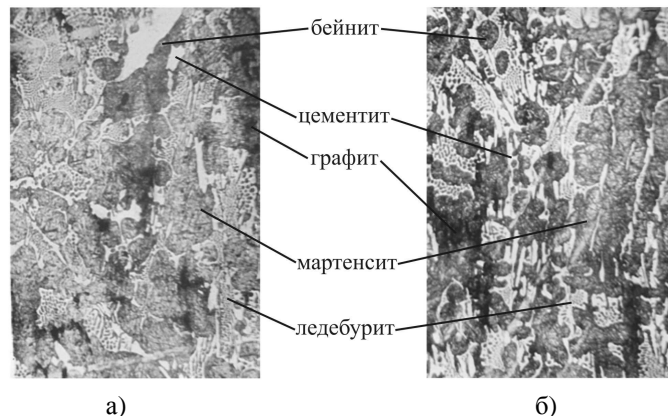


Рис. 3. Микроструктура материала рабочего слоя валков, отлитых при скорости вращения (травлено, $\times 100$): а - $\omega = 44,05 \text{ с}^{-1}$; б - $\omega = 47,19 \text{ с}^{-1}$

Таблица 1

Сравнение первичной структуры исследуемых образцов

№ п/п	Скорость вращения $\omega, \text{с}^{-1}$	Количество полей зрения, шт.	Средние значения показаний по выборке, $\times 10^{-3} \text{ м}$		Дисперсия показаний по выборке с^2	
			Длина ствола h	Расстояние между краями ветвей 2-го порядка l	Длина ствола h	Расстояние между краями ветвей 2-го порядка l
1	44,05	43	0,45	0,18	0,0015	0,0009
2	47,19	45	0,23	0,22	0,0009	0,0006

Из табл.1 следует, что повышение скорости вращения на $3,14 \text{ с}^{-1}$ способствует формированию более разветвленных дендритов. При этом структура характеризуется

ся большей однородностью: уменьшилась дисперсия показаний при измерении как длины ствола, так и расстояния между краями ветвей 2-го порядка.

Таблица 2

Состав структуры и содержание ее составляющих

№ п/п	Количество полей зрения, шт.	Среднее значение площади включений графита $s, \times 10^{-6} \text{ м}^2$	Содержание структурных составляющих, %					Твердость НСД
			Графит	Цементит	Мартенсит	Бейнит	Ледебурит	
1	43	0,0014	3,5	12,4	32,3	33,4	18,4	75
2	45	0,0007	1,8	6,3	31,8	31,6	28,5	78

Сравнение количества, формы и распределения графитовых включений в исследуемых образцах показало следующее:

- в образцах сравниваемых групп графит (согласно ГОСТ 3443-87) представлен вермикулярной утолщенной (ВГф3) и шаровидной неправильной (ШГф2) формами включений (рис. 2);

- увеличение скорости вращения на 7 % способствует уменьшению размеров включений: среднее значение площади графитовых включений снижается в 2 раза;

- во всех случаях наблюдается неравномерное распределение графита.

В результате исследований получено, что образцы, отлитые при $\omega = 44,05 \text{ с}^{-1}$, характеризуются большей долей цементита, чем темплеты, изготовленные при $\omega = 47,19 \text{ с}^{-1}$. Фазовый состав металлической матрицы сравниваемых валков отличается незначительно.

Итак, листопрокатные валки требуемого качества и с минимальными производственными затратами получают центробежным литьем на машине с верти-

кальной осью вращения изложницы. Установлено, что при центробежном литье происходит более интенсивное охлаждение отливки, в результате чего заготовка характеризуется более плотной и равномерной структурой рабочего слоя. Выявлено, что стабильность такого процесса в значительной степени зависит от работы центробежной машины, важной характеристикой которой является скорость вращения.

На основании проведенных экспериментов определено, что даже незначительное (на 7 %) увеличение скорости вращения формы в процессе литья позволяет без дорогостоящей обработки расплава рабочего слоя увеличить однородность его структуры. В результате повышается уровень свойств (твердости – на 3 единицы). Поэтому исследования, направленные на повышение эксплуатационных характеристик центробежнолитых валков путем совершенствования технологии их изготовления, продолжаются.

Работа выполнена в рамках внутреннего гранта БГТУ №117 «Теоретические и технологические основы повышения работоспособности прокатных валков».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
2. Богомолова, Н. А. Практическая металлография / Н. А. Богомолова. – М.: Высш. шк., 1978. – 272 с.
3. Будагьянц, Н. А. Литье прокатных валков / Н. А. Будагьянц, Н. А. Жижкина // Литейное производство. – 1998. - № 7. – С.39-40.
4. Жижкина, Н. А. Производство центробежнолитых валков с высоколегированным рабочим слоем: монография / Н. А. Жижкина. – Луганск: Ноулидж, 2011. – 167 с.
5. Жижкина, Н. А. Структурообразование высоколегированного чугуна в поле действия центро-

- бежных сил / Н. А. Жижкина // *Металл и литье Украины*. – 2012. – № 12 (235). – С. 11-13.
6. Жижкина, Н. А. Исследование устойчивости работы центробежной машины при литье массивных валков / Н. А. Жижкина // *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*. – 2012.- № 13 (184). – Ч. 1. – С. 89-94.
7. Жижкина, Н. А. Анализ особенностей строения чугунов различного состава / Н. А. Жижкина, С. А. Ипатов // *Вестник Брянского государственного технического университета*. – 2015. - № 1 (45). – С. 20-25.
8. Пат. 2173607 РФ, МПК 7 B22D13/04. Центробежная литейная машина / Н. А. Будагьянц, Л. Б. Гольдштейн, И. А. Балаклеец, В. И. Кондратенко (Украина). - № 20000102401/02; заявл. 31.01.00; опублик. 20.09.01, Бюл. № 9. – 4 с.
9. Серебряков, С.П. Особенности центробежного литья с вертикальной осью вращения / С.П. Серебряков, Я.В. Фролов, Б.В. Фокин // *Литейное производство*. – 2007. - № 1. – С. 18-20.
1. Adler, Yu.P. Experiment Planning at Optimum Condition Search / Yu.P. Adler, E. V. Markova, Yu.V. Granovsky. – М.: Science, 1976. – pp. 279.
2. Bogomolova, N. A. Practical Metallography / N. A. Bogomolova. – М.: Higher School, 1978. – pp. 272.
3. Budagiyants, N. A. Sheet Roll Casting / N. A. Budagiyants, N.A. Zhizhkina // *Foundry*. – 1998. - № 7. – pp. 39-40.
4. Zhizhkina, N. A. Production of Spin-Cast Rolls with High-Alloy Working Layer: Monograph / N. A. Zhizhkina. – Lugansk: Knowledge, 2011. – pp. 167.
5. Zhizhkina, N. A. Structure formation in high-alloy cast iron under centrifugal force effect / N. A. Zhizhkina // *Metal and Castings of Ukraine*. – 2012. – № 12 (235). – pp. 11-13.
6. Zhizhkina, N. A. Operation stability investigation in spin casting system at massive roll casting/ N. A. Zhizhkina // *Bulletin of Dal National University of Ukraine*. – 2012.- № 13 (184). –Part. 1. – pp. 89-94.
7. Zhizhkina, N. A. Analysis of structural peculiarities in different cast iron compositions / N. A. Zhizhkina, S. A. Ipatov // *Bulletin of Bryansk State Technical University*. – 2015. - № 1 (45). – pp. 20-25.
8. Pat. 2173607 RF, IPC 7 B22D13/04. Spin Casting System / N. A. Budagiyants, L.B. Goldstein, I. A. Balakleyets, V.I. Kondratenko (Ukraine). - № 20000102401/02; applied 31.01.00; published 20.09.01, Bull. № 9. – pp. 4.
9. Serebryakov, S.P. Peculiarities of spun casting with vertical rotation axis / S.P. Serebryakov, Ya.V. Frolov, B.V. Fokin // *Foundry*. – 2007. - № 1. – pp. 18-20.

Статья поступила в редколлегию 18.02.2016.

Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета Давыдов С.В.

Сведения об авторах:

Жижкина Наталья Александровна, к.т.н., доцент кафедры «Машиностроение и материаловедение» Брянского государственного технического университета, e-mail: litjo_snu@mail.ru.

Zhizhkina Natalia Alexandrovna, Can.Eng., Assistant Prof. of the Dep. “Mechanical Engineering & Material Science” Bryansk State Technical University, e-mail: litjo_snu@mail.ru.