

УДК 621.771.07:669.2

Т. С. СКОБЛО, А. К. АВТУХОВ, Е. Л. БЕЛКИН

ОПТИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ РАБОЧЕГО СЛОЯ ВАЛКОВ ИСПОЛНЕНИЯ ЛПХНМдц

Выполнен оптико-математический анализ изображения микроструктур хромоникелевого чугуна в литом и термообработанном состоянии. При выполнении работы использовали специально разработанную методику компьютерного исследования, основанную на гидродинамических аналогиях, происходящих при формировании фаз. Показано, что более низкая доля остаточного аустенита формируется уже в литом состоянии при отливке валков в металлическую форму, нагретую до 200–210°C. При этом выявлено, что графит имеет множество, связанных с кристаллографической ориентацией выделений.

Ключевые слова: прокатные валки, хромоникелевый чугун, термообработка, микроструктура, компьютерная обработка шлифов, структурные фазы.

Введение. Условия работы валков горячей прокатки характеризуются сочетанием циклических воздействий температуры и высоких удельных давлений.

В качестве основных требований к материалу листопркатных валков выдвигают высокую твердость и достаточную глубину рабочего слоя, износостойкость, прочность, а также повышенную устойчивость к образованию трещин термической усталости [1]. Одной из причин вызывающей образования трещин в рабочем слое валков является нестабильность свойств в период эксплуатации из-за наличия остаточного аустенита и его распада.

Анализ состояния вопроса. В условиях термоциклического воздействия и высоких удельных давлений распад остаточного аустенита сопровождается ростом напряжений, трещинообразованием и разрушением рабочего слоя валка при эксплуатации. В связи с этим в настоящее время достаточно остро стоит вопрос снижения содержания остаточного аустенита в рабочем слое прокатных валков при их кристаллизации и термической обработке [2].

Целью данных исследований явилось изучение содержания доли остаточного аустенита в структуре листопркатных валков исполнения ЛПХНМдц при их производстве.

Исследовали образцы чугуна, отобранные от рабочего слоя двухслойных хромоникелевых центробежнолитых валков, имеющих следующий химический состав, %: 2,92–3,25C; 0,94–0,98 Si; 0,51–0,53 Mn; 1,7–1,73 Cr; 4,18–4,24 Ni; 0,26–0,28 Mo; 0,006–0,007 Ti; 0,16–0,17 V; 0,062–0,066 B.

Для исследований были отобраны образцы валков, у которых параметры отливки отличаются только температурой металлической формы при заливке. Для валка № 1 металлическая форма перед заливкой была нагрета до 130°C, для – №2 – до 200°C, а для №3 – до 210°C. Оценивали структуру валков до и после термической обработки.

Анализ основных достижений и литературы. Учитывая тот факт, что при металлографических исследованиях четко не удается определить соотношение фаз и выделить остаточный аустенит, который по цвету в оптическом микроскопе похож на феррит или бейнит в работе использовали методику компьютерного исследования, основанную на

гидродинамических аналогиях, происходящих при формировании фаз. Данная методика подробно изложена в работах [3,4].

Результаты исследований. С помощью компьютера были обработаны полученные в формате bmp изображения микроструктур хромоникелевого чугуна в литом и термообработанном состояниях, обеспечивающих наиболее полный распад остаточного аустенита. Оцифровка этих изображений проводилась в формате pgm по специально разработанной программе. В этом формате имеется 256 цветов от 0 до 255 включительно. Одним из главных достоинств этого метода является то, что он нечувствителен к дефектам металлографических изображений, поскольку в его основе лежит анализ разности цветов пикселей, а не сами цвета, которые могут быть искажены при неправильно выбранных режимах травления структуры или ее съемке [4].

Отличительной особенностью данных исследований являлось то, что дополнительно исследовали не травленные шлифы (только графит) и сопоставляли их с – травленными (графит + основная структура металла). Изучение не травленных и травленных шлифов было вызвано необходимостью определения содержания включений графита и последующее исключение его из структуры для более четкой идентификации других фаз.

Для изучения образцов была разработана специальная компьютерная методика, которая состоит в том, что строили гистограммы цветов с шагом 1, а не 17, как в основной методике, и подбирали такой интервал, чтобы поточечный рисунок его совпадал с формой графита на фотографии. Он оказался равным интервалу от 8 до 103. Если цвет больше 7 и меньше 104, то для такого пикселя прибавляется 1. Отношение этой суммы к общему числу пикселей на фотографии, умножали на 100, что дало возможность определить процентное содержание графита.

На первый взгляд по фотографии кажется, что графит имеет определенный цвет. На самом деле это сочетание цветов.

Процесс определения количества распределения цветов на травленных шлифах состоял в следующем: из 256 цветов (оттенков серого цвета), различаемых компьютером, строили гистограммы

16 цветов для удобства обработки и сокращения времени расчетов. Построение их простое. Чтобы накапливать такую гистограмму, нужно пройти все точки фотографии одну за другой, разделить (количество точек определенного цвета) цвет точек на 17, и к целой части отношения прибавить 1, тем самым получив номер в массиве гистограммы. Например, цвет 7, будучи деленным на 17, дает 0. Прибавляя к нему 1, получим 1. То есть, цвета от 0 до 16 будут накапливаться в первом элементе гистограммы цветов. При цветах от 17 до 33 – во втором элементе гистограммы, и т.д. При таком способе к 16 будет относиться только цвет 255. Для рассматриваемого чугуна, этого оказалось недостаточным.

Накопленные суммы делили на число точек, умножали на 100, и получали процентное содержание каждого цвета на шлифе. Удобство этого способа состоит в том, что функции, являющиеся первыми, вторыми и т.д. характеризуются разностями цветов, опять будут кратны 17.

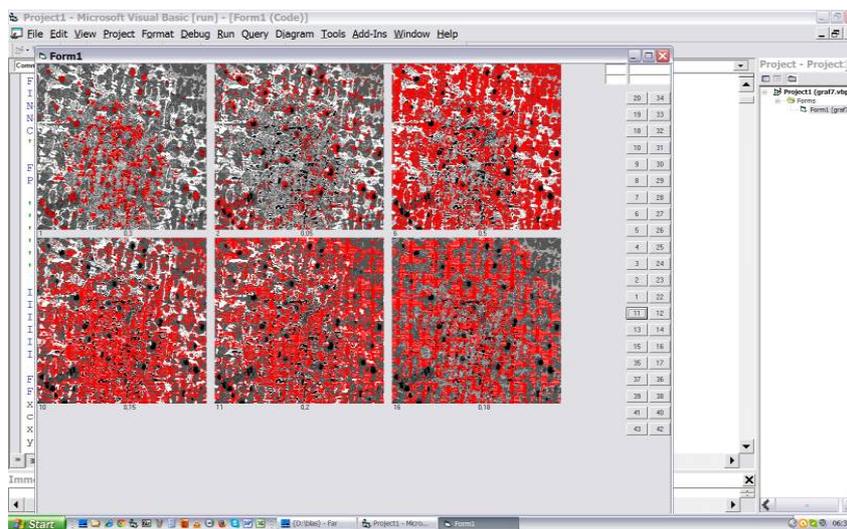
Результаты компьютерной обработки травленных шлифов представлены на рис. 1

На представленных изображениях рассматриваются все подобласти размером 10 на 10 пикселей. Одни и те же фотографии исследованных шлифов повторяются 6 раз. Анализируются 6 наиболее ходовых цветов 1, 2, 6, 10 (аустенит), 11 и 16. Они расположены сверху вниз, слева направо, кроме того, подписаны.

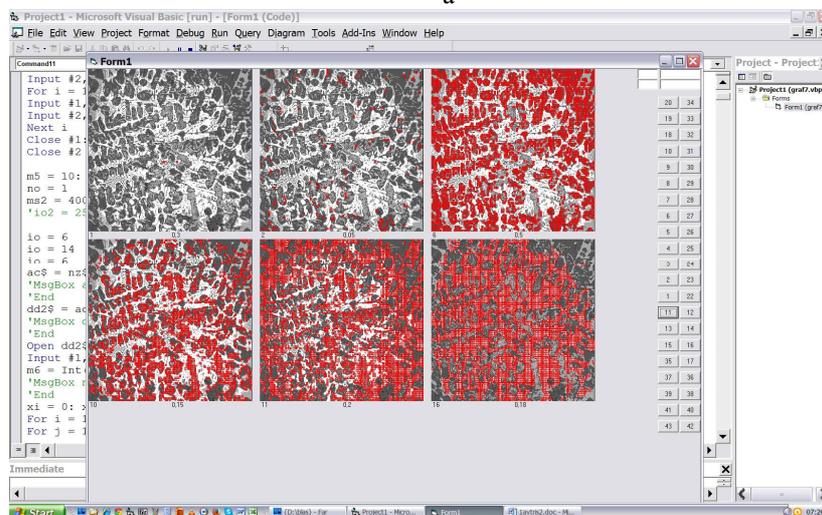
Процентное соотношение цветов, изученных шлифов представлены в табл. 1.

Анализ процентного содержания структурных составляющих в табл. 1 показал, что цвета 1, 2, 3, и 5 относятся к включениям графита (рис. 2, шлифы № 1 и № 5 с различной долей графита), цвета 6 и 7 характерны для процентного содержания феррита, цвет 10 – содержание аустенита, цвета 11, 12 и 15, 16 – содержание карбидных включений.

Из таблицы видно, что больше всего в структуре формируется цвета 6 соответствующего ферриту. Затем выделяются фазы цвета 11, 16 и 10, относящиеся к карбидам и аустениту соответственно.



а



б

Рис. 1 – Результаты компьютерной обработки травленных шлифов структуры валков после термической обработки, где: а – валки залитые в металлическую форму нагретую до температуры 130°C ; б – валки залитые в металлическую форму нагретую до температуры 210°C

Таблица 1. Процентное распределение содержания цвета определенного номера на исследуемых шлифах

Номер цвета	Номер шлифа*					
	1	2	3	4	5	6
1	10,8	6,9	9,1	4,2	0,3	0,3
2	0,6	1,4	4,6	2,1	0,4	1,3
3	0	0,1	0,6	0,1	0	0,1
4	0	0	0	0	0	0
5	1,1	2,8	2,3	3,3	1,1	2,0
6	39,7	42,7	39,1	45,9	42,5	43,3
7	0	0	0,2	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	13,6	11,3	8,3	7,6	11,3	9,8
11	16,8	17,0	14,1	9,8	20,0	19,1
12	0,1	0	3,1	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	17,3	17,9	18,8	27,1	24,4	24,1

*Примечания: 1 –структуры шлифов до термической обработки, валков залитых в металлическую форму нагретую до температуры 130°C ;

2 –структуры шлифов после термической обработки, валков залитых в металлическую форму нагретую до температуры 130°C ;

3 –структуры шлифов до термической обработки, валков залитых в металлическую форму нагретую до температуры 200°C ;

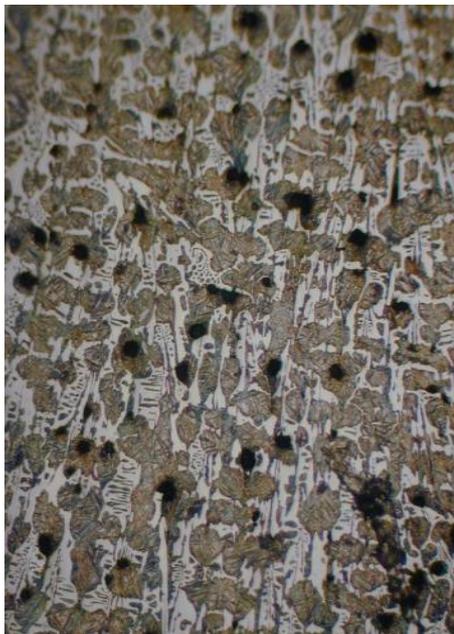
4 –структуры шлифов после термической обработки, валков залитых в металлическую форму нагретую до температуры 200°C ;

5 –структуры шлифов до термической обработки, валков залитых в металлическую форму нагретую до температуры 210°C ;

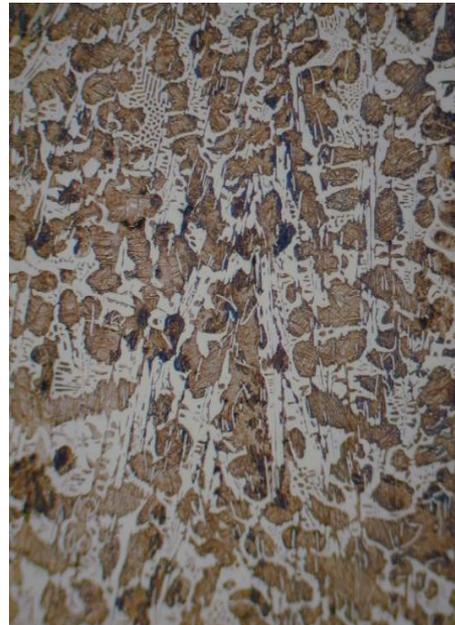
6 –структуры шлифов после термической обработки, валков. залитых в металлическую форму нагретую до температуры 210°C

Поскольку включения графита характеризуются множеством оттенков (1,2,3 и 5) то целесообразно рассмотреть суммарную долю включений при кристаллизации в подогретой форме до 130°C, 200°C и 210°C до и после термической обработки (табл. 2).

Анализ таблицы 2 показывает, что при термической обработке валков, отлитых в металлическую форму, нагретую до 130°C количество графита снижается на 11,2%, остаточного аустенита на 16,9%, содержание карбидов увеличивается на 2% т.е. практически не изменяется, а феррита – на 7,5%.



а



б

Рис. 2 – Структура валков с различной долей графита: а – шлиф 1, см. табл.1, температура металлической формы при отливке валков 130°C; б – шлиф 5, см. табл.1, температура металлической формы при отливке валков 210°C; шлифы травленные 4-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте, ×100

Таблиця 2. Процентное содержание структурных фаз в исследованных шлифах.

Наименование фазы	Номер шлифа					
	1	2	3	4	5	6
Графит, %	12,5	11,1	16,6	9,7	1,8	3,7
Феррит, %	39,7	42,7	39,1	45,9	42,5	43,3
Аустенит, %	13,6	11,3	8,3	7,6	11,3	9,8
Карбиды, %	34,2	34,9	36,0	36,8	44,4	43,2

Термическая обработка валков, отлитых в металлическую форму, нагретую до 200°C обеспечивает снижение количества графита на 41,5%, остаточного аустенита 8,4%, содержание карбидов увеличивается на 2,2%, а феррита – на 17,39%.

Термическая обработка валков, отлитых в металлическую форму, нагретую до 210°C обеспечивает снижение доли остаточного аустенита на 13,27%, содержание карбидов на 2,7%, а количество феррита и графита увеличивается на 1,9% и 105% соответственно (от 1,8 до 3,7% за счет формирования точечных включений).

Данный метод оценки графита по номеру цвета может быть особенно эффективен при определении изменения графитовых выделений при их получении в виде фуллеренов или графена, имеющие отличающиеся оттенки.

Представленная методика обеспечивает возможность достаточно точно определить структурные составляющие исследуемых шлифов.

Проведенные исследования показывают, что минимальное количество остаточного аустенита образуется в литом состоянии при отливке валков в металлическую форму, нагретую до 200-210°C.

Выводы. Аналитическими методами выполнено изучение содержания фазового состава и оценена доля остаточного аустенита в структуре листопркатных валков исполнения ЛПХНМд при их производстве.

Установлено, что более низкая доля остаточного аустенита формируется уже в литом состоянии при отливке валков в металлическую форму, нагретую до 200–210°C.

Данная методика может быть использована для идентификации выделяющихся фаз в хромоникелевых чугунах при их кристаллизации и после термической обработки.

Показано, что графит имеет множество, связанных с кристаллографической ориентацией выделений. Поэтому использованный метод может найти применение при оценке формирования фуллеренов и графена.

Список литературы: 1. Будагьянц Н. А. Литые прокатные валки / Н. А. Будагьянц, В. Е. Карсский. – М.: Металлургия, 1983. – 175 с. 2. Будагьянц Н. А. Двухслойные чугуны прокатные валки / Н. А. Будагьянц, В. Е. Карсский, З.Б. Шапиро. – Лутугино, 1986. – 62 с. 3. Производство и применение прокатных валков : справочник / Т. С. Скобло, А. И. Сидашенко, Н. М. Александрова и др. ; под ред. Т. С. Скобло. – Х.: ЦД № 1, 2013. – 572 с. 4. Скобло Т.С. Применение компьютерного анализа металлографических изображений при исследовании структуры высокохромистого чугуна / Т.С. Скобло, О.Ю. Клочко, Е.Л. Белкин // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2012. – № 6 (78). – С. 35–42.

Bibliography (transliterated): 1. Budagyants N. A. Lityie prokatnyie valki / N. A. Budagyants, V. E. Karsskiy. – Moscow.: Metallurgiya, 1983. – 175. 2. Budagyants N. A. Dvuhslonnyie chugumnye prokatnyie valki / N. A. Budagyants, V. E. Karsskiy, Z.B. Shapiro. – Lutugino, 1986. – 62. 3. Proizvodstvo i primeneniye prokatnyih valkov : spravochnik / T. S. Skoblo, A. I. Sidashenko, N. M. Aleksandrova i dr. ; pod red. T. S. Skoblo. – Kharkov.: TsD No 1, 2013. – 572. 4. Skoblo T.S. Primeneniye kompyuternogo analiza metallograficheskikh izobrazheniy pri issledovanii struktury vyisokohromistogo chuguna / T.S. Skoblo, O.Yu. Klochko, E.L. Belkin // Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov. – 2012. – No 6 (78). – 35–42.

Поступила (received) 22.11.2015

Сведения об авторах / About the Authors

Скобло Тамара Семеновна – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенка, профессор кафедры «Технологических систем ремонтного производства»; адрес: ул. Артема, 44, г. Харьков, Украина, 61002; тел.: 732-73-28; e-mail: 7105201@mail.ru

Skoblo Tamara – Doctor of Technical Sciences, Professor, Petro Vasilenko Kharkov National Technical University of Agriculture, an assistant professor of «Technological systems repair production»; Address: Artem st., 44, Kharkov, Ukraine, 61002; tel.: 732-73-28; e-mail: 7105201@mail.ru

Автухов Анатолий Кузьмич – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенка, директор Учебно-научного института последипломного образования; адрес: ул. Артема, 44, г. Харьков, Украина, 61002; тел.: 732-73-28; e-mail: 7105201@mail.ru

Avtukhov Anatoliy – Ph.D., associate professor, Petro Vasilenko Kharkov National Technical University of Agriculture, Director of the Educational Research Institute of Postgraduate Education, Address: Artem st., 44, Kharkov, Ukraine, 61002; tel.: 732-73-28; e-mail: 7105201@mail.ru

Белкин Ефим Львович – научный сотрудник, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенка, кафедра «Технологических систем ремонтного производства»; адрес: ул. Артема, 44, г. Харьков, Украина, 61002; тел.: 732-73-28; e-mail: 7105201@mail.ru

Belkin Efim – Researcher, Petro Vasilenko Kharkov National Technical University of Agriculture, Department of «Technological systems repair production»; Address: Artem st., 44, Kharkov, Ukraine, 61002; tel.: 732-73-28; e-mail: 7105201@mail.ru