



УДК 669.17

Поступила 15.08.2017

ИССЛЕДОВАНИЕ КАРБИДНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ В СЕЧЕНИИ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ КВАДРАТ 150 ММ ИЗ СТАЛИ ШХ15

RESEARCH OF CARBIDE INHOMOGENEITY IN THE CROSS SECTION OF CONTINUOUSLY-CAST BILLETS OF STEEL GRADE ШХ15

Е. В. ПОПОВА, АО «Северсталь-Менеджмент», г. Череповец, Вологодская область, Россия, ул. Мира, 30.
E-mail: popovaev@severstal.com

E. V. POPOVA, JSC «Severstal-management», Cherepovets city, Vologda region, Russia, 30, Mira str.
E-mail: popovaev@severstal.com

Изучена карбидная фаза шарикоподшипниковой стали ШХ15 непрерывнолитой заготовки. Показано, что состав карбидной неоднородности сформирован не только карбидами цементитного типа, но и Me_7C_3 . Для исследования применены методы металлографического травления, измерения микротвердости, растровой электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа.

The carbide phase of the ball bearing steel grade ШХ15 of continuously-cast billets was researched. It is shown in the article that carbide heterogeneity is formed not only by the cementite type carbides, but also by Me_7C_3 . The methods of metallographic etching, microhardness testing, raster electron microscopy and X-ray structural analysis were applied in the research.

Ключевые слова. Шарикоподшипниковая сталь, карбиды, цветное травление, микротвердость, растровая электронная микроскопия, рентгеноструктурный анализ.

Keywords. Ball bearing steel, carbides, color etching, microhardness, raster electron microscopy, X-ray diffraction analysis.

В настоящее время в черной металлургии происходит замена операции разлива стали в слиток на непрерывную разливку. По сравнению с разливкой в слиток непрерывная разливка имеет ряд преимуществ – это автоматизация процесса литья, улучшение условий работы обслуживающего персонала, снижение экологической нагрузки на атмосферу, повышение качества металлопродукции. Все больше марок сталей переводится на процесс непрерывной разливки.

Для перехода к непрерывной разливке шарикоподшипниковых марок стали типа ШХ15 и ШХ15СГ остается открытым вопрос получения карбидной неоднородности готового металлопроката. Карбидная неоднородность заключается в неоднородном распределении, неодинаковой форме и различии в величине избыточных карбидов в структуре стали.

В сталях типа ШХ15 и ШХ15СГ карбидная неоднородность вызывается карбидной сеткой по границам зерен, карбидной ликвацией и структурной полосчатостью [1]. Карбидная сетка в подшипниковой стали ШХ15 снижает сопротивление стали ударным нагрузкам. Структурная полосчатость является следствием дендритной ликвации, образующейся при кристаллизации слитка. Неравномерное распределение карбидов приводит к тому, что соседние слои металла, отличающиеся по содержанию углерода и хрома, имеют после закалки разнородную структуру и твердость. Карбидная неоднородность снижает контактную выносливость стали.

По диаграмме равновесия тройной системы Fe–Cr–C в легированной хромом стали в зависимости от содержания хрома и углерода образуются три типа карбидов: Me_3C , Me_7C_3 и $Me_{23}C_6$ [2, 3]. В [2, 3] сказано о существовании в литой шарикоподшипниковой стали ШХ15 двух типов карбида хрома: Me_3C и Me_7C_3 .

Цель работы – исследование распределения и идентификация карбидной фазы по сечению непрерывнолитой квадратной заготовки со стороной 150 мм стали марки ШХ15.

Исходным материалом для исследования служил темплет непрерывнолитой заготовки квадрат 150 мм из стали ШХ15 плавки электросталеплавильного цеха, химический состав которого приведен в таблице.

Массовая доля элементов, %							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
1,02	0,25	0,23	0,01	0,011	1,33	0,05	0,08
Химический элемент, %							
Al	N	Mo	V	Nb	Ti	B	As
0,004	0,008	0,004	0,004	0,002	0,002	0,0003	0,002

Темплет перед выполнением шлифовочных операций подвергали отжигу при температуре ~820 °С для уменьшения твердости металла.

Сечение заготовки разделяли на девять квадратов (рис. 1).

Микроструктуру металла каждого квадрата изучали в поперечном сечении после травления 4%-ным спиртовым раствором азотной кислоты. Для идентификации карбидной фазы применяли два реактива для цветного травления [4].

Исследование микроструктуры стали проводили на оптическом микроскопе модели Axio Observer. D1m фирмы ZEISS и методом сканирующей электронной микроскопии на микроскопе LEO1455VP с энергодисперсионным детектором INCA. Шлифы для металлографических исследований изготавливали на линии пробподготовки фирмы Struers. Микротвердость измеряли на приборе «MICRO-HARDNESS TESTER-800» фирмы FUTURE-TECH CORP.

На рентгеновском дифрактометре модели Ultima VI фирмы Rigaku проводили фазовый анализ осевой области заготовки. Съемку выполняли в геометрии параллельного пучка (ВВ) с использованием K_{β} -фильтра в $Co K_{\alpha}$ -излучении, идентификацию фаз – с использованием компьютерной программы «PDXL», содержащей данные международной картотеки кристаллических фаз PDF-2.

Результаты исследования и их обсуждение

Микроструктура металла заготовки представляет собой пластинчатый перлит с неравномерным распределением карбидов. Вблизи поверхности заготовки имеются участки тонкой карбидной сетки (рис. 2, а). На расстоянии 4 мм от поверхности наблюдаются отдельные карбидные образования продолговатой формы размерами 10×20 мкм (рис. 2, б). В центральной области заготовки (на расстоянии > 48 мм от поверхности по граням) карбидная неоднородность наиболее развита (рис. 3). Видны участки скопления карбидов. В скоплениях выделим карбидные образования трех типов:

- 1) крупные, продолговатой формы, размером 50×20 мкм;
- 2) игольчатые, отходящие от карбидов 1-го типа;

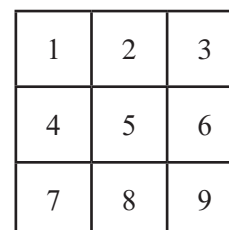


Рис. 1. Схема разделения на квадраты поперечного сечения НЛЗ

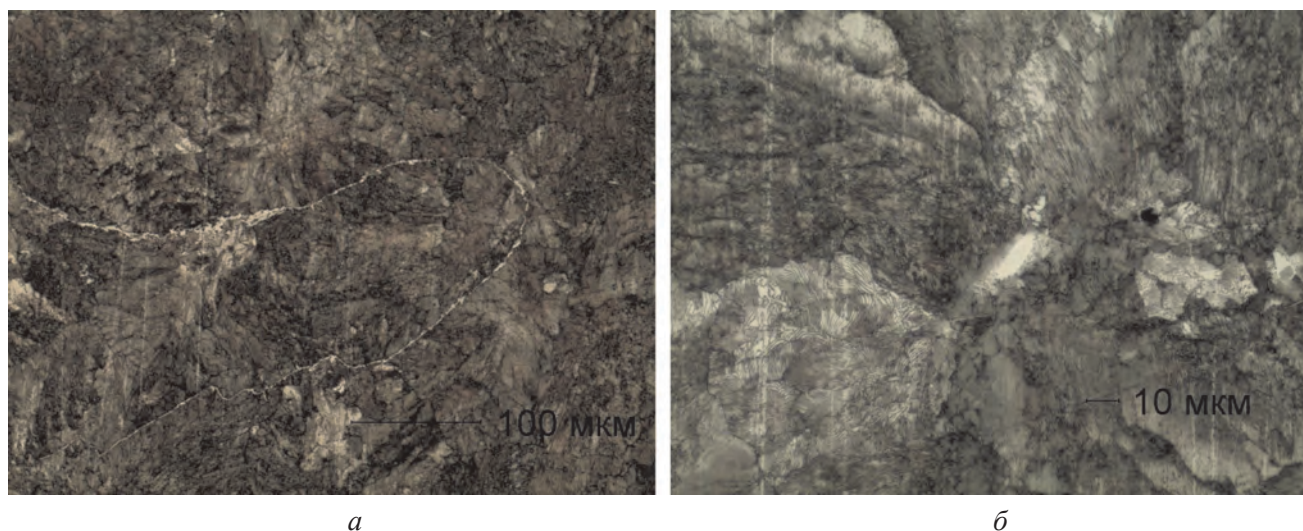


Рис. 2. Карбидная неоднородность у поверхности НЛЗ: а – квадрат 8, участки карбидной сетки: X200; б – квадрат 4, отдельные карбидные образования продолговатой формы. X500

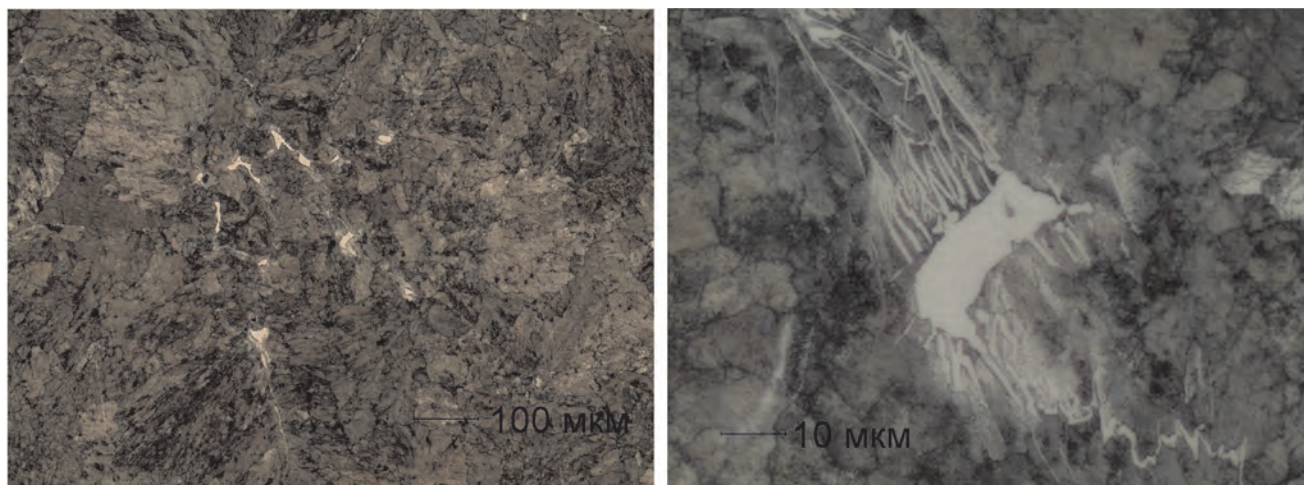


Рис. 3. Карбидные образования осевой области заготовки

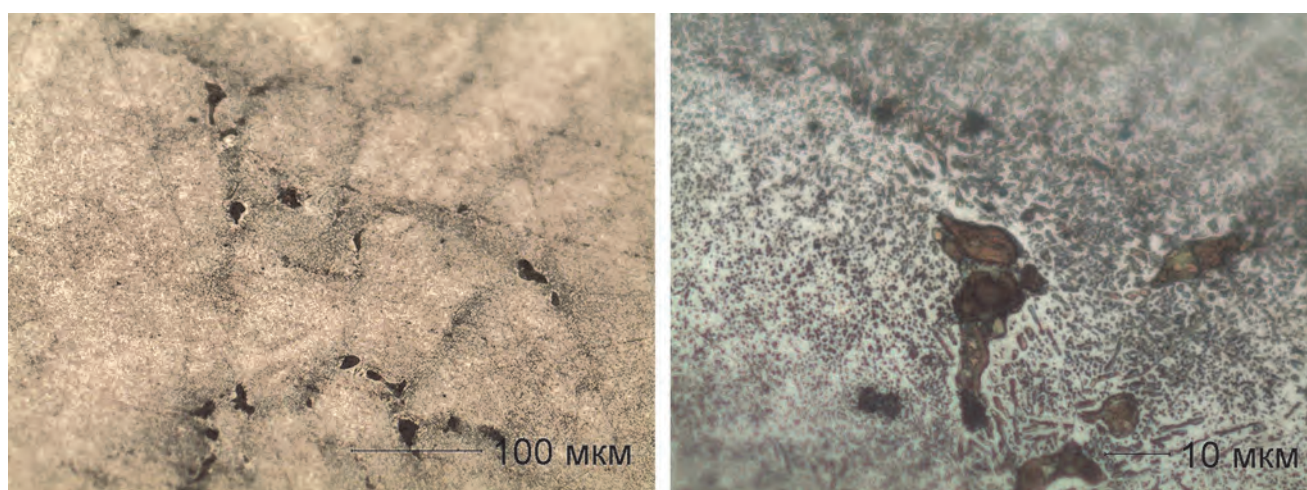


Рис. 4. Микроструктура после травления щелочным раствором перманганата калия

3) тонкая сетка по границам зерен (толщиной ~1 мкм).

По карбидным образованиям 1-го типа наблюдаются включения сульфидов.

Микротвердость

Проведение анализа микротвердости карбидной фазы ограничено размерами образований. Поэтому микротвердость определили только самых крупных карбидных образований 1-го типа. Измерения проводили на приборе «MICROHARDNESS TESTER-800» при нагрузке 10 г. Микротвердость составила 1373–1473 HV.

Данные по микротвердости карбидов из литературы не всегда сходятся. Так, в [4] микротвердость карбидов Fe_3C (Me_3C) находится в диапазоне 900–1050 HV; Cr_7C_3 – 1600–1800 HV; $Cr_{23}C_6$ – 1000–1100 HV. В [5] микротвердость для карбида $Cr_{23}C_6$ составляет 1650 кг/мм², для карбида Cr_7C_3 – 1380–2030 кг/мм².

Микротвердость карбидных образований 1-го типа в НЛЗ квадрат 150 мм из стали ШХ15, по данным [5], находится на уровне микротвердости карбида Cr_7C_3 .

Цветное травление

Для идентификации карбидной фазы в данном исследовании применяли два реактива: щелочной раствор перманганата калия (рис. 4) и щелочной раствор пикрата натрия (рис. 5).

Первый реактив окрашивает карбиды $Me_{23}C_6$ и Me_7C_3 в желтый цвет [4]. Цементит при этом не выявляется. Первый реактив имеет следующий состав: 4 г перманганата калия; 4 г едкой щелочи; 100 см³ воды. Травление проводили погружением в кипящий раствор на 1–3 мин. После травления по месту карбидных образований 1-го типа имелись коричневые и желтые участки, окруженные точечными и продолговатыми карбидами той же гаммы (рис. 4). Карбидов в виде сетки по границам зерен не наблюдалось.

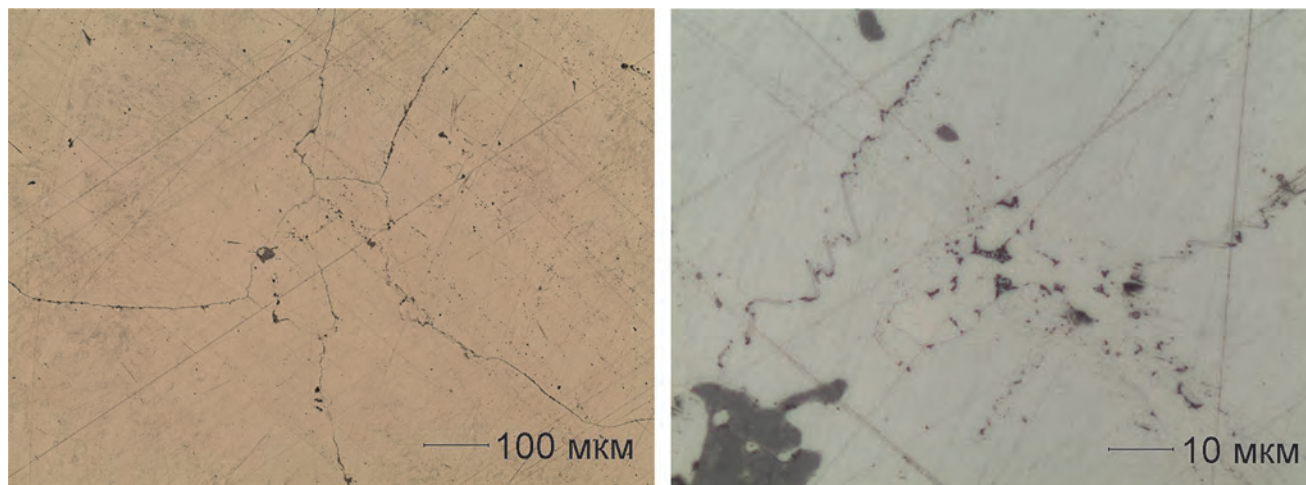


Рис. 5. Микроструктура после травления щелочным раствором пикрата натрия

Второй реактив проявляет только карбиды цементитного типа [4].

Состав второго реактива – 2 г пикриновой кислоты, 25 г гидроксида натрия, 75 мл воды. Микрошлиф погружали в горячий раствор при температуре 80 °С на 1,5 мин.

После травления реактивом второго состава проявилась тонкая карбидная сетка по границам зерен (рис. 5). На микрошлифе при увеличении 1000 видны границы карбидных образований 1-го типа, от которых отходят игольчатые образования. Карбидные образования 1-го типа остались светлыми, как и матрица металла.

Рентгеноструктурный анализ

Состав карбидной фазы стали также определяли методом рентгеноструктурного анализа. На дифрактометре провели сканирование осевой области заготовки. Дифрактограммы показали, что карбидная фаза состоит из карбидов Me_7C_3 и Me_3C .

Растровая электронная микроскопия

На растровом электронном микроскопе LEO1455VP при помощи энергодисперсионного детектора INCA проводили сканирование карбидных образований трех типов и матрицы. На спектрах, полученных при сканировании карбидных образований, выявлены пики хрома, углерода и железа. Содержание хрома в карбидных образованиях уменьшается от 1-го типа к 3-му. В 1-м типе зарегистрировано до 18% хрома, во 2-м типе – до 12%. Содержание хрома в карбидных образованиях 3-го типа приблизительно составляет 2%, что соответствует содержанию хрома в матрице металла. В карбидных образованиях 1-го типа также выявлены вкрапления сульфидов марганца и соединений фосфора.

Выводы

1. Проведено исследование микроструктуры металла непрерывнолитой заготовки квадрат 150 мм из стали ШХ15 производства АО «Северсталь». Методами металлографического травления, микротвердости, растровой электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа определены состав карбидной фазы и распределение карбидов по сечению заготовки.

2. Микроструктура металла заготовки состоит из перлита и карбидов. На расстоянии <48мм от поверхности карбидная неоднородность выражена участками карбидной сетки и отдельными образованиями продолговатой формы. В осевой области заготовки (на расстоянии >48 мм от поверхности) наблюдаются скопления карбидных образований.

3. По морфологическим признакам карбидные образования разделили на три типа: 1) крупные карбидные образования продолговатой формы; 2) карбидные образования игольчатой формы, распространяющиеся от карбидов 1-го типа; 3) тонкая карбидная сетка.

4. Крупные карбидные образования 1-го типа состоят из карбидов Me_7C_3 . По данным РЭМ, в карбидных образованиях 1-го типа максимальное содержание хрома составляет 18%.

5. Карбидные образования 2-го типа, по-видимому, представляют собой эвтектику, состоящую из смеси карбидов Me_7C_3 и Me_3C . Содержание хрома в карбидных образованиях 2-го типа – до 12%.
6. Карбидная сетка (карбидное образование 3-го типа) представляет собой цементит (Me_3C).

Литература

1. Спришевский А. И. Подшипники качения / А. И. Спришевский. М.: Машиностроение, 1969. 632 с.
2. Ляшенко Г. В., Ляшенко В. П., Ларионцева Л. С. Превращения карбидов в литых и деформированных подшипниковых сталях // МиТОМ. 1983. № 3. С. 25–29.
3. Kato T., Jones H., Kirkwood D. H. Segregation and eutectic formation in solidification of Fe-1C-1.5Cr steel, Materials Science and Technology, August 2003. Vol. 19.
4. Геллер Ю. А. Инструментальные стали / Ю. А. Геллер. М.: Metallurgy, 1983. 527 с.
5. Самсонов Г. В. Физическое материаловедение карбидов / Г. В. Самсонов, Г. Ш. Упадхая, В. С. Нештор. Киев: Наукова думка, 1974. 454 с.