

## АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ЛИТОГО БОРИРОВАННОГО ЧУГУНА

Т.В. Мустафина, Г.А. Мустафин

*Сделан анализ структуры отливок из серого чугуна, борированных при заливке. Установлена зависимость структуры борированного слоя на поверхности чугуновой отливки от температуры и размеров отливки.*

*Ключевые слова: борирование, кокиль, деформация, структура, микротвердость, серый чугун.*

Литье в кокиль обладает множеством достоинств, но имеет и недостатки. Одним из недостатков литья в постоянные формы является их ограниченная стойкость. Стойкость кокиля зависит от тепловых, механических, химических, гидродинамических, диффузионных и других явлений. Напряженно-деформированное состояние кокиля – решающий фактор его стойкости. Накопление остаточных деформаций приводит к разрушению рабочей поверхности, в результате чего форма требует ремонта или замены, что связано со значительными материальными затратами [1].

Для повышения стойкости кокиля, требуется создать на его рабочей поверхности слой, обладающий термо-, коррозионной стойкостью и сопротивлением ползучести. Этим требованиям отвечает слой, получаемый в процессе химико-термической обработки – борирования.

Обладая большой универсальностью свойств, чугун является одним из основных литейных конструкционных материалов и очень часто применяется для изготовления кокилей. Наличие свободного графита в чугуне обеспечивает снижение термонапряженного состояния по сравнению со сталями.

В процессе оптимизации технологии борирования чугуна в процессе литья образцы в контакте с борлирующей обмазкой находились при различной температуре в зависимости от их размеров и удаления от центра поступления жидкого расплава чугуна (рисунок 1) в соответствии с матрицей планирования.

После затвердевания и охлаждения образцов из них вырезались темплеты для микроанализа.

Испытания проводились на приборе ПМТ-3, удовлетворяющему требованиям ГОСТ 23677-79 по методу ГОСТ 2999-75.

Определение твердости проводилось на поверхности нетравленного микрошлифа.

Оценка микроструктуры образцов из чугуна выполнялась по ГОСТ 3443-87 на оптическом микроскопе ММР-4. Структуру чугуна определяли по графиту и металлической основе. Оценку микроструктуры проводили при увеличении в 100 раз. Оценку дисперсности перлита в структуре чугуна проводили при увеличении в 500 раз.

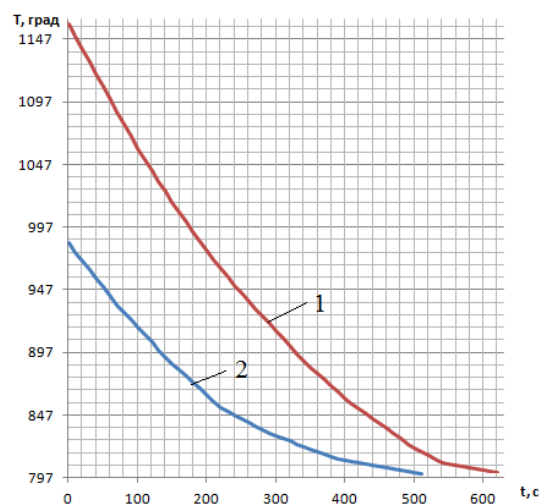


Рисунок 1 – Термограммы

### Оценка металлической матрицы и включений графита

Структуры всех отливок плавки содержат пластинчатый завихренный графит, средняя длина пластинок до 120 мкм. Расположение графитовых включений равномерное, количество – 10 %.

До глубины 1–2 мм завихренный пластинчатый графит располагается колониями, состоящими из пластинок длиной 15 мкм.

Металлическая матрица (выявлена травлением раствором 4 % азотной кислоты в этиловом спирте) феррито-перлитная с преобладанием перлита П70(Ф30) (рисунки 2, 3).

## АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ЛИТОГО БОРИРОВАННОГО ЧУГУНА

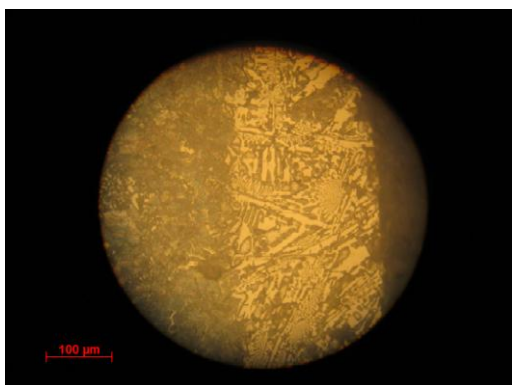


Рисунок 2 – Микроструктура экспериментальных отливок в поверхностном слое, x100



Рисунок 3 – Микроструктура металлической матрицы экспериментальных отливок после травления раствором азотной кислоты, x500

### Оценка борированного слоя

Отливка  $m_{отлб} = 1,13$  кг на минимальном расстоянии от стояка – максимальная температура взаимодействия отливки с обмазкой (кривая 1, рисунок 1).

Выявлено 9 участков, имеющих борированный слой, протяженностью около 1 мм и неравномерной толщины в пределах 75–240 мкм. Участок борированного слоя с максимальной толщиной представлен на рисунке 4. Зоны с максимальной толщиной слоя расположены в центральной области насыщавшейся поверхности. Зоны столбчатых кристаллов боридов железа не выявлено.

Максимальные участки борированного слоя представляют собой литую боридную эвтектику, с преобладанием ледебуритных зон и кристаллов боридов железа размером: максимальная толщина 10 мкм, длина 120 мкм.

Область шлифа, прилегающая к борированной поверхности на глубину до 1 мм содержит изолированные включения бористого це-

ментита, особенно плотно насыщена поверхность до глубины 150–200 мкм.



Рисунок 4 – Максимальная толщина борированного слоя 240 мкм на отливке массой  $m_{отлб} = 1,13$  кг (максимальная температура)

Значения микротвердости представляют собой средние величины значений микротвердости нескольких фаз на данной глубине (рисунок 5).

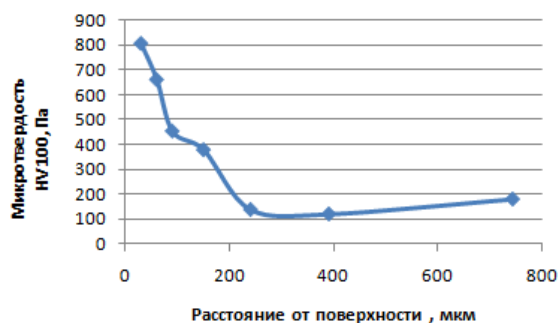


Рисунок 5 – Микротвердость борированного слоя на участке с глубиной 180 мкм на отливке массой  $m_{отлб} = 1,13$  кг (максимальная температура)

Отливка  $m_{отлм} = 0,37$  кг на минимальном расстоянии от стояка - максимальная температура взаимодействия отливки с обмазкой для малых отливок.

Металлографическое исследование не выявило слоя столбчатых боридов железа, ни отдельных кристаллов боридов. Вся исследуемая поверхность на глубину до 2 мм, а особенно много на глубину до 200 мкм насыщена отдельными включениями бористого цементита площадью до 30 мкм<sup>2</sup> с микротвердостью 591 кгс/мм<sup>2</sup>.

Микротвердость феррито-перлитной матрицы чугуна 159 кгс/мм<sup>2</sup>. Выявлены протяженные участки с легированным слоем толщиной от

15 до 60 мкм. Средняя толщина слоя принята 30 мкм (рисунок 6).

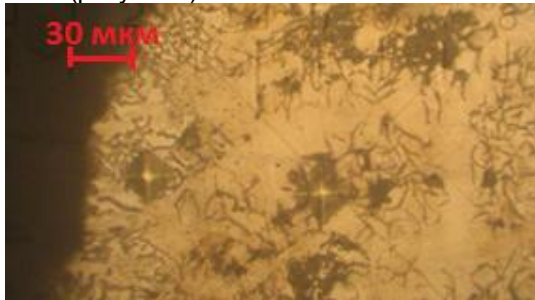


Рисунок 6 – Микроструктура образца с массой  $m_{отлм} = 0,37$  кг (максимальная температура)

**Отливка  $m_{отлм} = 0,37$  кг** на максимальном расстоянии от стояка – минимальная температура взаимодействия отливки с обмазкой для малых отливок.

Выявлен тонкий протяженный легированный слой: толщина 3–5 мкм. На 20 % исследованной поверхности легированный слой толщиной 30–60 мкм, кроме того, есть отдельные включения бористого цементита (рисунок 7).

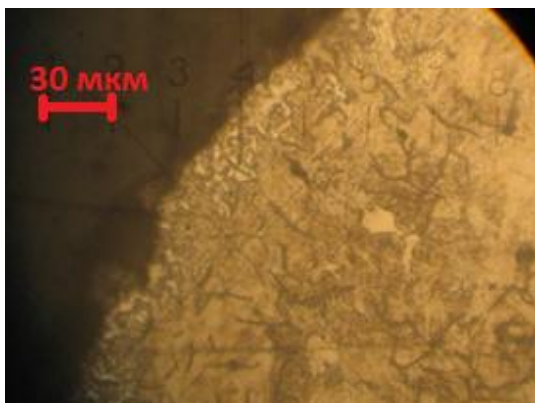


Рисунок 7 – Микроструктура отливки с массой  $m_{отлм} = 0,37$  кг (минимальная температура)

**Отливка  $m_{отлб} = 1,13$  кг** на максимальном расстоянии от стояка – минимальная температура взаимодействия отливки с обмазкой (кривая 2, рисунок 1).

Выявлена зона столбчатых кристаллов боридов железа на участке длиной 300 мкм, глубиной 180 мкм (рисунок 8). Результаты измерения микротвердости на данном участке приведены на рисунке 9.

Выявлено несколько участков, имеющих борированный слой с нестабильной толщиной от 50–240 мкм. Участки с максимальной толщиной слоя расположены в центральной области насыщавшейся поверхности.

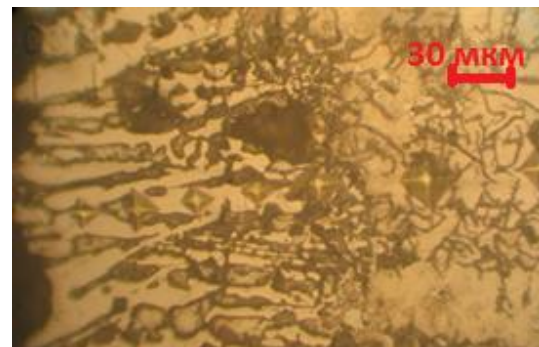


Рисунок 8 – Структура участка столбчатых кристаллов боридов железа на отливке с массой  $m_{отлб} = 1,13$  кг (минимальная температура)

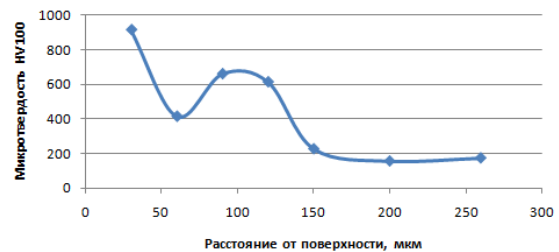


Рисунок 9 – Микротвердость участка столбчатых кристаллов боридов железа на отливке с массой  $m_{отлб} = 1,13$  кг (минимальная температура)

Максимальные участки борированного слоя имеют структуру с преобладанием ледебуритных зон и мелких кристаллов боридов железа (рисунок 10).

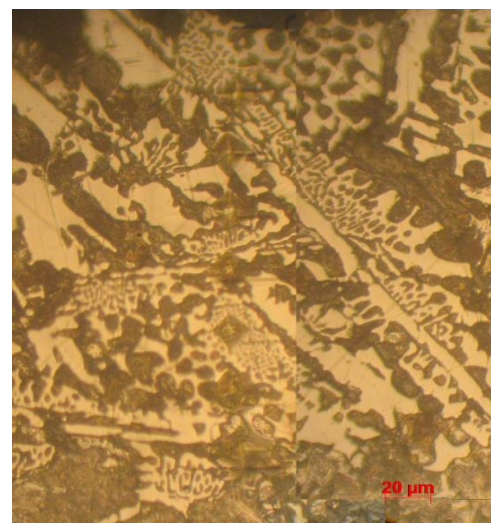


Рисунок 10 – Структура борированного участка с максимальной толщиной 240 мкм на отливке с массой  $m_{отлб} = 1,13$  кг (минимальная температура)  
**ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2015**

## АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ЛИТОГО БОРИРОВАННОГО ЧУГУНА

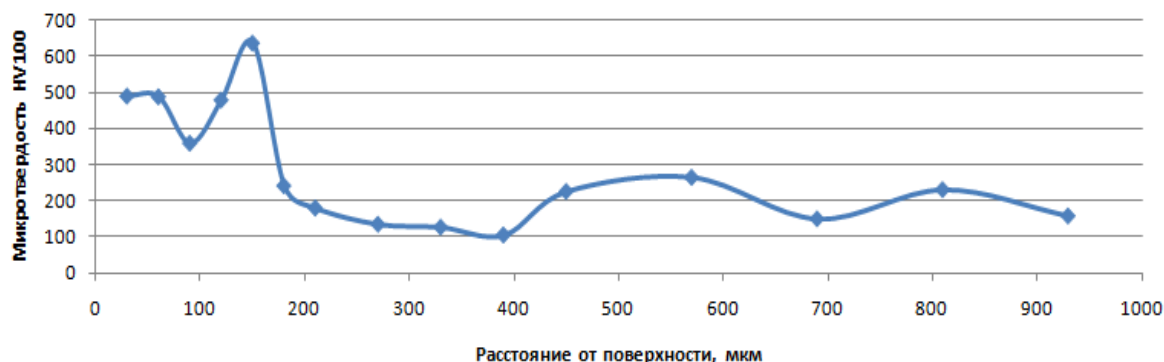


Рисунок 11 – Микротвердость на участке с толщиной борированного слоя 240 мкм на отливке с массой  $m_{\text{отлб}} = 1,13$  кг (минимальная температура)

Результаты измерения микротвердости на участке с максимальной толщиной борированного слоя приведены на рисунке 11.

Полученный слой не стабилен по толщине и не является сплошным и представляет собой эвтектический слой (литую боридную эвтектику), состоящий из крупных кристаллов боридов железа и зон ледебуритоподобной эвтектики. На отдельных участках эвтектики наблюдаются крупные кристаллы первичного бористого цементита. Зона столбчатых боридов отсутствует.

Выводы:

– образование соединений бора при заливке чугуна при 1350 °С происходит даже на поверхности мелких отливок при наименьшей длительности и температуре взаимодействия с обмазкой;

– на отливках массой 1,13 и 0,37 кг не удалось получить сплошного борированного слоя, который с точки зрения уменьшения термонапряженного состояния кокиля может играть более благоприятную роль;

– бориды, полученные литьем имеют более благоприятную структуру и не инициируют скалывание боридного слоя при длительной эксплуатации кокиля;

– увеличение температуры и времени взаимодействия способствует увеличению толщины слоя и образованию сплошного боридного слоя.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Литье в кокиль / под. ред. А. И. Вейника. – М. : Машиностроение, 1980. – 415 с.

**Мустафина Татьяна Владимировна** – аспирант кафедры МТчО, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 8-929-378-5199, [mystaphina@mail.ru](mailto:mystaphina@mail.ru).

**Мустафин Геннадий Акрамович** – к.т.н., доцент кафедры МТчО, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова 8-929-378-5234, [mustafing@mail.ru](mailto:mustafing@mail.ru).