

УДК 53.084.823

Борирование сталей в расплавах с добавками редкоземельных элементов

Скобелева Елизавета Александровна⁽¹⁾

Студентка 4 курса⁽¹⁾

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

Научный руководитель: А.Е. Смирнов,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Борирование является эффективным методом химико-термической обработки, позволяющим значительно повысить твердость, износостойкость и коррозионную стойкость поверхности стальных изделий за счет формирования боридных фаз (FeB, Fe₂B) [1]. Однако традиционные борированные слои часто характеризуются повышенной хрупкостью. Перспективным направлением совершенствования технологии является модифицирование расплавов для борирования добавками редкоземельных элементов (РЗЭ), которые способны улучшить диффузионные процессы и механические свойства борированных слоёв.

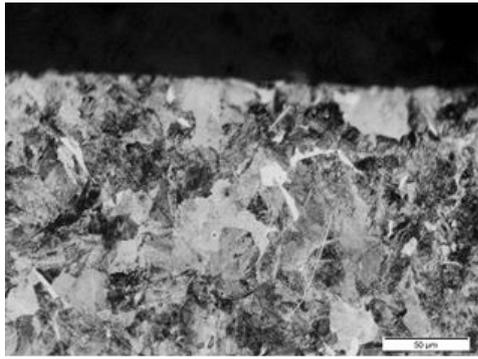
Целью данной работы являлось изучение структуры и свойств борированных слоев, сформированных на сталях различного химического состава, а также анализ влияния на диффузионный слой добавок оксидов РЗЭ, вводимых в расплав для борирования.

Объектами исследования выбраны стали 40Х, ВКС-5 и Х12МФ в отожжённом состоянии (рис. 1). Борирование проводили жидкостным безэлектролизным методом в расплаве 70% Na₂V₄O₇ + 30% V₄C при температуре 1000 °С в течение 8 часов.

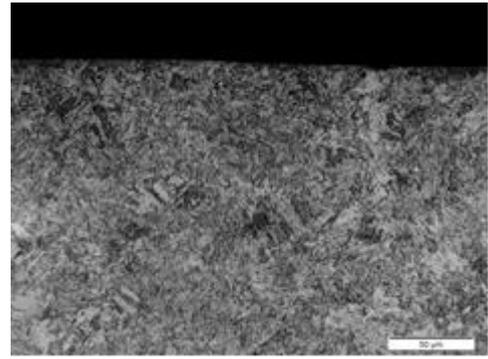
Перед проведением борирования была измерена исходная микротвердость исследуемых материалов. Для стали ВКС-5 среднее значение микротвердости составило 423 HV_{0,05}, для стали 40Х — 272 HV_{0,05}, для стали Х12МФ — 227 HV_{0,05}.

В результате проведенных исследований установлено, что толщина формируемого борированного слоя зависит от химического состава обрабатываемой стали. Максимальная толщина (160 мкм) достигнута на стали 40Х, сталь ВКС-5 имеет толщину борированного слоя 140 мкм, минимальную толщину (100 мкм) имеет высокохромистая сталь Х12МФ. Микроструктура борированных слоев имеет характерное игольчатое строение и, согласно данным РФА, состоит из двух фаз: FeB и Fe₂B (рис. 2). Измерения микротвердости подтвердили высокую эффективность упрочнения: значения твердости поверхности составили 2280 HV_{0,025} для стали ВКС-5, 2068 HV_{0,025} для стали 40Х и HV_{0,025} для стали Х12МФ.

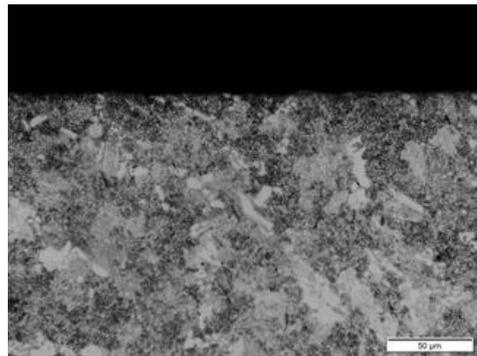
Введение в борлирующие расплавы оксидов редкоземельных элементов, в частности оксида иттрия (Y₂O₃) в количестве 5 % масс., позволяет существенно повысить эффективность процесса, уменьшить хрупкость диффузионного слоя и повысить однородность структуры. Эффект достигается за счет каталитического действия редкоземельных элементов, снижения энергии активации диффузии бора и модифицирования физико-химических свойств расплава [2]. Использование модифицированных редкоземельными элементами расплавов для повышения эксплуатационных характеристик борированных сталей является перспективным способом. Это особенно важно для деталей, работающих в условиях интенсивного изнашивания и высоких нагрузок.



а

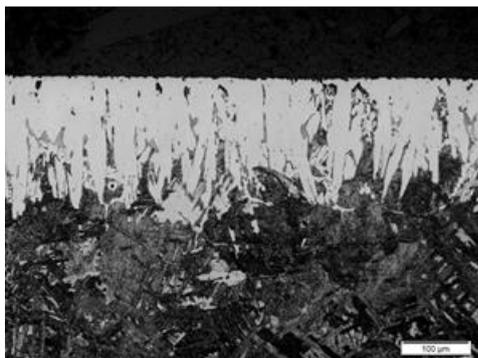


б

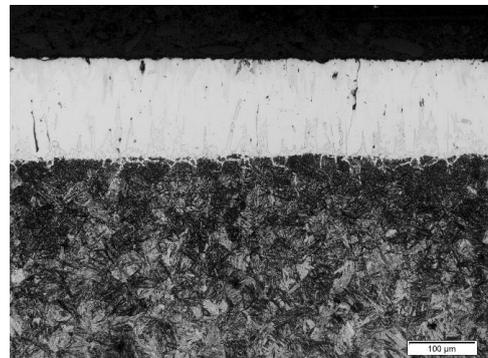


в

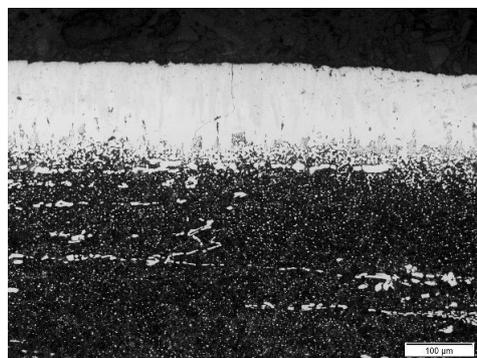
Рис. 1. Микроструктура сталей 40X (а), ВКС-5 (б), Х12МФ (в) в отожжённом состоянии; $\times 500$



а



б



в

Рис. 2. Микроструктура борированного слоя, полученного на сталях 40X (а), ВКС-5 (б), Х12МФ (в) при температуре 1000 °С в течение 8 часов; $\times 200$

Литература

1. Ворошнин Л. Г., Ляхович Л. С. Борирование стали. — М.: Metallurgy, 1978. — 238 с.
2. Ишмаметов Д.А., Помельникова А.С., Петелин А.Л. К вопросу о влиянии добавок оксидов редкоземельных элементов на кинетику образования борированных слоев и диффузию бора по границам зерен при борировании сталей. Известия высших учебных заведений. Черная Metallurgy. 2025;68(2):148-157.
3. Крукович М.Г., Прусаков Б.А., Сизов И.Г. Пластичность борированных слоев. М.: Физматлит, 2010. 384 с.
4. Чжан Я., Мэй Ш., Лыгденов Б. Д., Гурьев А. М., Рогов В. Е. Влияние оксида церия на свойства и кинетику формирования диффузионного слоя при борировании стали Н13 // Сборник научных трудов. — 2025. — С. 205–212.