

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ БОРИРУЮЩЕГО АГЕНТА, ФЛЮСОВ И АКТИВАТОРОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ СКОРОСТНОМ БОРИРОВАНИИ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

В.В. Иванайский, А.В. Ишков, Н.Т. Кривочуров, А.А. Максимов, Н.М. Мишустин

В статье приведены результаты исследования процессов взаимодействия поверхности высокоуглеродистой марганцевой стали 65Г с карбидом бора и аморфным бором в среде флюса с добавками различных активаторов борирования, при высокоскоростном ТВЧ-нагреве. Показано, что природа борлирующего агента, добавки флюса, активаторов CaF_2 и NH_4Cl влияют на структуру и свойства образующихся на поверхности боридных эвтектик.

Ключевые слова: бор, карбид бора, индукционный нагрев, химико-термическая обработка.

Для улучшения физико-механических характеристик поверхности различных деталей, их упрочнения и повышения срока службы в технологии машиностроения широко применяются методы химико-термической обработки (ХТО), заключающиеся в одновременном воздействии на стальные поверхности температурных градиентов и веществ, химически реагирующих с материалом детали [1]. При ХТО на поверхности металла образуются различные функциональные покрытия, преимущественно диффузионной природы, содержащие как неметаллические (C, N, S, Si, P, B), так и металлические (Cr, Ti, Al, Ni и др.) элементы в различных фазовых состояниях, а также продукты их взаимодействия с основным материалом детали (карбиды, нитриды, карбонитриды, интерметаллиды и пр.).

Среди современных процессов ХТО особое место занимают технологии насыщения поверхностного слоя конструкционных и легированных сталей бором - борирование. При борировании на поверхности стальной детали удается получать протяженные слои, отличающиеся высокой твердостью и прочностью, стойкостью к коррозии, абразивной стойкостью и высоким сопротивлением изнашиванию [2]. Однако большинство из известных процессов борирования длительны и плохо встраиваются в технологические схемы современных производств.

Интенсификация процессов ХТО и, в частности, борирования, может осуществляться с применением технологий кратковременного, высокоскоростного нагрева поверхности стальной детали с нанесенным на нее борлирующим составом токами высокой частоты (ТВЧ) до температур образования новых фаз и эвтектик (1100-1350 °С) в системах Fe-B, Fe-B-C и Fe-Me-B-C, где Me - это легирующий элемент из группы Cr, Mn, Ni и т.п [3]. При

этом в отличие от хорошо изученных процессов борирования легированных сталей из засыпок и обмазок при температурах до 950 °С [4], открытыми остаются общие вопросы особенности химического взаимодействия компонентов в таких системах, фазового состояния и свойств образующихся продуктов.

Целью настоящей работы является исследование влияния природы борлирующего агента, а также добавок флюсов и активаторов в борлирующий состав на основные характеристики покрытий, образующихся в процессе высокоскоростного ТВЧ-нагрева поверхности легированных сталей.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве основного объекта исследования была выбрана легированная углеродистая сталь 65Г (ГОСТ 4543-71) из группы схожих с ней по свойствам и близких по составу рессорно-пружинных марганцевых, хромистых, хромо-никелевых и хромисто-марганцевых сталей 70, У8А, 50ХГА, 30ХГСА, 45Х, 70Г и пр.

В качестве борлирующих агентов различной природы использовали технический карбид бора B_4C по ГОСТ 5744-85 и реактивный аморфный бор квалификации х.ч. В качестве флюса использовали известный состав для индукционной наплавки (Ф1), состоящий из прокаленной буры, борного ангидрида, силикокальция и сварочного флюса АН-348А (30% $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, 20% B_2O_3 , 10% CaSi_2 , 40% АН-348А). Активаторами борирования служили CaF_2 и NH_4Cl квалификации х.ч.

Борлирующие смеси свободно наносились на предварительно подготовленные образцы 30×50×3 мм, вырубленные из стали 65 Г и закреплялись на них с помощью жидкого стекла или эпоксидного компаунда (1,5-2 %),

вводимого в их состав за счет уменьшения количества борлирующего компонента.

ТВЧ-нагрев образцов осуществляли в кольцевом водоохлаждаемом медном индукторе диаметром 160 мм, подключенном к высококачественному ламповому генератору ВЧГ 7-60/0,066. Настройка контура и геометрия индуктора обеспечивали нагрев исследуемых образцов до температуры 1300-1350 °С в течение 40-60 сек, с последующей стабилизацией. После выдержки при указанной температуре в течение от 1 до 2 мин образцы вынимались из индуктора и остывали свободно.

У полученных покрытий была исследована микроструктура и определена толщина борированного слоя (МИМ-7, Neophot-30), измерена микротвердость (ПМТ-3, нагрузка 50, 100 г), определен фазовый состав (ДРОН-2, излучение $Co-K_{\alpha}$, скорость углового перемещения образца 1 град/мин).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как известно классические технологии печного борирования основываются на постепенном (в течение 0,5-6 ч) насыщении поверхности стального изделия бором из различных паст, обмазок, жидкой или газовой среды при температурах процесса от 750 до 950 °С. При этом в качестве источников бора применяются различные его соединения (B_2O_3 , B_4C , BF_3 , $Na[BF_4]$ и др.), способные разлагаться на активные элементы при температурах процесса. В зависимости от фазового состояния борлирующего агента различают твердофазное и жидкое борирование, а также борирование из газовой фазы [4].

Нами были исследованы шесть вариантов смесей для скоростного борирования при ТВЧ-нагреве стали 65Г. Смесей отличались природой борлирующего агента, составом, наличием флюсующихся компонентов, активаторов (а) и дополнительных технологических присадок. Составы использованных смесей приведены в таблице 1.

Таблица 1

Состав некоторых смесей для скоростного борирования при ТВЧ-нагреве, %

Смесь	Борлирующий агент	Активатор	Флюс
Ia	B_4C (84)	NH_4Cl (6)	Ф1 (10)
II	B_4C (84)	—	Ф1 (16)
IIIa	B (90)	CaF_2 (5)	Ф1 (5)

Смеси I, Ia, II и IIIa в качестве борлирующего агента содержали карбид бора, смеси III, IIIa - аморфный бор, в смесь Ia был добав-

лен активатор хлорид аммония а в смесь IIIa - фторид кальция, в качестве флюсующегося компонента все смеси содержали плавный флюс для индукционной наплавки Ф1.

С уменьшением плотности борлирующей фазы и увеличением температуры процесса его скорость в интервале температур от 800 до 950 °С возрастает незначительно, поэтому для их интенсификации используют совместное насыщение поверхности сразу несколькими элементами или термоциклирование [5]. Если же температура процесса превышает 1100-1300 °С, то в виду начинающихся процессов высокотемпературной структурной перестройки в сталях, скорости борирования резко возрастают в 2-4 раза при увеличении температуры на каждые 15-20 °С, то есть процесс переходит из диффузионной зоны в зону химической реакции. Так при температуре 1200-1300 °С, по данным [6], удается за несколько минут получить толщину однофазного боридного слоя до 0,2-0,4 мм, при этом нагрев детали осуществляется специальной термитной смесью.

При ТВЧ-нагреве стали 65Г, покрытой исследуемыми борлирующими составами при выбранных параметрах процесса на всех образцах образуются очень твердые покрытия, по внешнему виду напоминающие слой наплавленного твердого сплава. Рентгенофазовый анализ материала покрытий показал присутствие в них α -Fe, боридов FeB и Fe_2B , карбоборидов $Fe_3(C,B)$ и $Fe_{23}(C,B)_6$, различных мета- и ортоборатов железа (Fe_3BO_3 , Fe_3BO_6 , Fe_3BO_5), следы вюстита FeO и шпинели $FeO \cdot Fe_2O_3$. Таким образом, при ТВЧ-нагреве легированных углеродистых сталей под слоем флюса Ф1, содержащего от 84 до 90 % борлирующих агентов на их поверхности образуются сложные боридные фазы, упрочняющие поверхность детали и прочно с ней связанные, а окисные пленки удаляются вместе со шлаком.

Для выяснения характеристик и структуры полученных слоев, а также состояния боридов в них были получены микрофотографии шлифов. Типичные структуры полученных боридных слоев приведена на рисунке 1.

Как видно из рисунка 1, при выбранных температурных условиях и времени борирования структура и состояние границы полученных износостойких слоев отличаются, но во всех случаях, в отличие от классических боридных иглообразных двухфазных слоев, на поверхности образцов образуется более стойкая в условиях тяжелого абразивного, знакопеременного и ударного износа пластичная боридная эвтектика с выраженной

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ БОРИРУЮЩЕГО АГЕНТА, ФЛЮСОВ И АКТИВАТОРОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ СКОРОСТНОМ БОРИРОВАНИИ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

или диффузионной границей. Изменений структуры основного металла из-за перегрева не наблюдается.

Для смесей, содержащих в качестве борировующего агента одинаковое количество карбида бора, схожее количество флюсующегося компонента и отличающихся только наличием активатора NH_4Cl , способствующего усилению обратимых диффузионных и транспортных процессов, особенно при низких температурах, в начале процесса борирования, наблюдается образование мелкозернистой структуры эвтектических включений с микротвердостью не выше 700-750, толщиной слоя 0,16 мм и четко различимой границей раздела с основным металлом (рис. 1а).

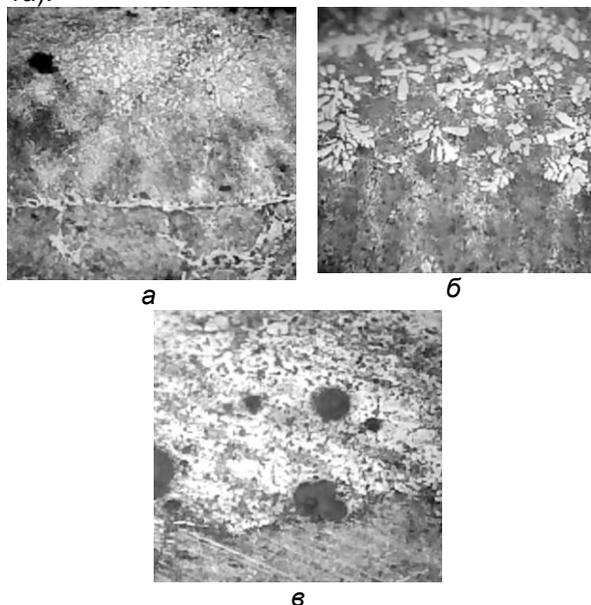


Рисунок 1. Микрофотографии ($300\times$) борированных слоев на стали 65 Г, полученных за 1 мин из различных смесей: а. - Ia, б. - II, в. - IIIa

Для аналогичной смеси II без этого активатора, наблюдается выраженный рост дендритов, островов и друз боридной фазы с микротвердостью до 1050-1120, толщиной слоя 0,28 мм и диффузной границей раздела боридного слоя с основным металлом (рис. 1б). Самыми реакционноспособными оказались смеси на основе аморфного бора (рис. 1в), так в смеси IIIa, содержащей дополнительно 5 % активатора CaF_2 и 5 % флюсующегося компонента, за 1 мин толщина слоя на стали 65 Г составила 0,88 мм, при микротвердости 2200-2300. Структура представляет собой переплавленную гомогенизированную железо-боридную эвтектику, образовавшуюся с

такой скоростью, что из расплава при его затвердевании не успели выделиться шарики шлака.

Таким образом, наиболее эффективным борировующим агентом при ТВЧ-нагреве оказался аморфный бор, который в присутствии флюса Ф1 и активатора CaF_2 при выбранных условиях эксперимента образует на поверхности легированных сталей плотные, мелкозернистые слои, глубиной до 800 мкм с микротвердостью до 2400-2500 HV (рисунок 2).

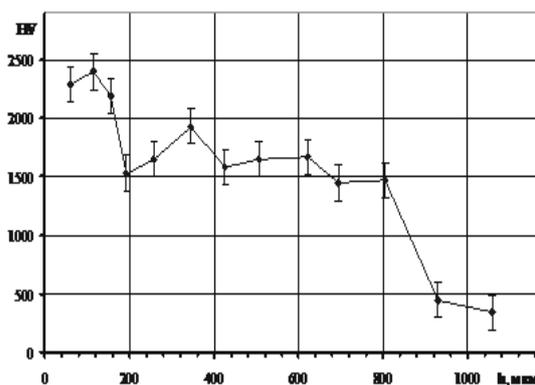


Рисунок 2. Зависимость микротвердости от глубины борированного слоя для образца, полученного из смеси IIIa

Интересно отметить, что структура износостойкого покрытия, полученного при высокоскоростном 1-минутном борировании, стали 65Г смесью II является метастабильной и при борировании уже в течении 2 мин превращается в мелкозернистую структуру, подобную рис. 1а с микротвердостью 2300-2400, причем толщина покрытия заметно не изменяется и становится четко различимой его граница раздела с основным металлом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методы повышения долговечности деталей машин. Сельскохозяйственные машины: учебное пособие для вузов. / Под ред. В.Н. Ткачева. -М.: Машиностроение, 1971.
2. Белый А.В. Структура и методы формирования износостойких поверхностных слоев. / Белый А.В., Карпенко Г.Д., Мышкин К.Н. -М.: Машиностроение, 1991.
3. Ткачев В.Н. Индукционная наплавка твердых сплавов. М.: Машиностроение, 1970.
4. Ворошнин Л.Г. Борирование стали. М.: Металлургия, 1978.
5. Гурьев А.М. Физические основы термоциклического борирования. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2000.