

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА



УДК 631.171:631.5;621.785.5

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

ИЗНОСОСТОЙКИЕ БОРИДНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ОРГАНОВ СЕЛЬХОЗТЕХНИКИ

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

Введение

Почвообрабатывающие органы сельхозтехники (ПОО) работают в специфических условиях (знакопеременные нагрузки, удары, абразивный износ, коррозия), что вызывает быстрое затупление их режущих кромок, изменение формы, профиля и уменьшение размеров, приводящие к сокращению срока службы, увеличению времени и трудоемкости обслуживания почвообрабатывающих агрегатов и снижению общей экономической эффективности агромероприятий [1, 2]. Для увеличения ресурса, улучшения физико-механических характеристик ППО и повышения износостойкости их поверхность подвергают упрочнению различными способами.

Наибольшее распространение получило упрочнение ПОО путем наплавки на них различных твердых сплавов и других материалов токами высокой частоты (ТВЧ), а также способы упрочнения в процессах химико-термической обработки (ХТО), когда основной металл диффузионно насыщается различными неметаллами или легирующими металлами, в которых на поверхности детали образуются износостойкий слой наплавляемого материала, или слои различных бинарных либо более сложных соединений железа [3, 4]. Однако упрочнение ПОО методом индукционной наплавки характеризуется высокой стоимостью наплавляемых материалов, трудоемкостью, наличием ярко выраженной границы раздела между поверхностью ПОО и износостойким покрытием, а процессы ХТО длительны (2-8 ч) и зачастую позволяют получать износостойкие слои ограниченной толщины.

Особое место среди процессов ХТО занимают технологии насыщения поверхностного слоя конструкционных и легированных сталей бором – борирование. При борировании на поверхности стальной детали удается получать слои толщиной 300-600 мкм, отличающиеся высокой твердостью и прочностью, абразивной и коррозионной стойкостью, а также высоким сопротивлением к изнашиванию [5]. Такие показатели боридных покрытий делают их перспективными для упрочнения ПОО, и тем не менее длительность процесса сильно сдерживает его применение.

Целью настоящей работы являлось исследование возможности получения износостойких боридных покрытий для упрочнения поверхности почвообрабатывающих органов сельхозтехники в процессе высокоскоростного ТВЧ-нагрева легированных сталей в различных борлирующих обмазках.

Экспериментальная часть

В качестве основного объекта исследования была выбрана легированная углеродистая сталь 65Г (ГОСТ 4543-71), наиболее часто используемая при изготовлении ПОО.

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 (флюс П-0,66), состоящий из прокаленной буры, борного ангидрида, силикокальция и сварочного флюса АН-348А (30% $Na_2B_4O_7$, 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, зачищенные образцы размером 30×50×3 мм, вырубленные из стали, и закреплялись на них с помощью жидкого стекла, казеинового клея или эпоксидного компаунда (1,5-2%), вводимого в их состав за счет уменьшения количества флюса.

ТВЧ-нагрев подготовленных образцов осуществляли в петлевом водоохлаждаемом медном индукторе диаметром 160 мм, подключенном к высокочастотному 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 с, 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), микротвердость (ПМТ-3, нагрузка 50, 100 г), фазовый состав (ДРОН-2, излучение $Co-K_{\alpha 1}$, скорость углового перемещения образца 1 град./мин.), износостойкость при трении и нежестко закрепленные абразивные частицы (ГОСТ 23.208-79).

Результаты и их обсуждение

В предварительных экспериментах при нанесении на очищенную стальную поверхность только одного борлирующего агента (B_4C или $B_{аморфн.}$), ее индукционным нагреве до 1200-1300°С и различном времени выдержки, нами были получены лишь островковые двухфазные ($FeB + Fe_2B$) боридные покрытия толщиной 2-3 мкм, что не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к ПОО [2, 6]. Для лучшего раскисления, удаления окисных пленок и перевода твердофазного процесса в квазижидкостное борирование в состав борлирующих обмазок был введен плавный флюс для индукционной наплавки П-0,66, приготовленный по методике, описанной В.Н. Ткачевым и др. [3]. Состав исследованных смесей приведен в таблице 1.

Таблица 1

Состав исследованных борлирующих смесей, мас. %

Смесь	Борлирующий агент	Активатор	Флюс
I	B_4C (90)	-	П-0,66 (10)
Ia	B_4C (84)	NH_4Cl (6)	П-0,66 (10)
II	B_4C (84)	-	П-0,66 (16)
IIa	B_4C (90)	CaF_2 (5)	П-0,66 (5)
III	B (90)	-	П-0,66 (10)
IIIa	B (90)	CaF_2 (5)	П-0,66 (5)

Известно, что когда температура борирования превышает 1100-1200°С вследствие начинающихся процессов высокотемпературной структурной перестройки в сталях скорости борирования возрастают в 2-4 раза при увеличении температуры на каждые 15-20°С, и процесс переходит из диффузионной зоны в зону химической реакции. Так, при температуре 1200-1300°С, по данным литературы, удается за несколько минут получить толщину однофазного боридного слоя до 0,2-0,4 мм, при этом нагрев детали осу-

ществляется специальной термитной смесью [7, 8].

Нами было установлено, что при скоростном ТВЧ-нагреве стали 65Г, покрытой исследованными борирующими составами, при выбранных параметрах процесса ($T = 1200-1300^{\circ}\text{C}$, выдержка 1-2 мин.) на всех образцах образуются покрытия, по внешнему виду напоминающие наплавленный твердый сплав. Их рентгенофазовый анализ показал присутствие фаз: $\alpha\text{-Fe}$, FeB и Fe_2B (с выраженным преобладанием одной из фаз), $\text{Fe}_3(\text{C},\text{B})$ и $\text{Fe}_{23}(\text{C},\text{B})_6$, мета- и ортоборатов железа (Fe_3BO_3 , Fe_3BO_6 , Fe_3BO_5), следы вюстита FeO и шпинели $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$. То есть при ТВЧ-нагреве легированных углеродистых сталей под слоем флюса П-0,66, содержащего от 84 до 90% борирующих агентов на их поверхности образуются сложные боридные покрытия. Для выяснения характеристик и структуры полученных слоев, а также состояния боридов в них были получены микрофотографии шлифов (рис. 1).

Как видно на рисунке 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 появляется более стойкая в условиях тяжелого абразивного, знакопеременного и ударного износа пластичная боридная эвтектика с выраженной или диффузионной границей. Изменений структуры основного металла из-за перегрева не наблюдается. Образуются боридные покрытия трех типов.

Так, для смесей, содержащих в качестве борирующего агента одинаковое количество карбида бора, схожее количество флюса и отличающихся только наличием активатора (NH_4Cl , CaF_2 , способствующего усилению обратимых диффузионных и транспортных процессов, особенно при низких температурах, в начале процесса борирования наблюдается образование мелкозернистой эвтектической структуры со следовыми включениями фазы Fe_2B . Микротвердость такого покрытия не выше 700-750 HV, толщина слоя – до 100 мкм, наблюдается четко различимая граница раздела покрытия с основным металлом (рис. 1а).

Для смеси II без активаторов в покрытии наблюдается выраженный рост дендритов, островов и друз фазы FeB в матрице Fe_2B , микротвердость покрытия дос-

тигает 1100-1250 HV, толщина слоя – до 200 мкм. Покрытие характеризуется диффузной границей раздела с основным металлом (рис. 1б).

Самыми реакционноспособными оказались смеси на основе аморфного бора, так в смеси IIIа, содержащей дополнительно 5% активатора CaF_2 и 5% флюса, за 1 мин. толщина слоя составила 600 мкм, при микротвердости 2200-2300 HV (рис. 1в). Основная структура представляет собой переплавленную гомогенизированную железо-боридную эвтектику с включением фазы FeB , образовавшуюся с такой скоростью, что из расплава при его затвердевании не успели выделиться частицы шлака, и характеризуется наличием границы раздела покрытие – основной металл.

Исследование распределения микротвердости полученных покрытий по глубине показало наличие в них, как правило, двух зон – более твердого поверхностного слоя и менее твердого слоя, лежащего под ним, протяженность и характеристики которых различаются (рис. 2).

Существование такой слоистой структуры в полученных покрытиях в нашем случае объясняется не наличием двух фаз FeB и Fe_2B , расположенных в материале друг за другом, различающимся содержанием одной упрочняющей фазы по глубине покрытия [5]. Вид упрочняющей фазы в нашем случае определяется природой борирующего агента и составом смеси. Об этом свидетельствуют как структура полученных покрытий (рис. 1), так и зависимость толщины, твердости и износостойкости покрытий, образующихся на сталях 65Г и 50ХГА за различное время из обмазки на основе B_4C , а также данные их рентгенофазового анализа (табл. 2).

Таким образом, хотя наиболее эффективной в процессе высокоскоростного борирования при ТВЧ-нагреве и оказалась обмазка на основе состава IIIа, содержащая аморфный бор, который в присутствии флюса П-0,66 и активатора CaF_2 образует с основным металлом самые протяженные и твердые покрытия, однако из-за наличия выраженной границы раздела с основным металлом, наличием в покрытии остатков флюса и высокой стоимости аморфного бора для получения износостойких покрытий при ТВЧ-нагреве для ПОО сельхозтехники с приемлемым соотношением цена/качество следует рекомендовать обмазки на основе составов с карбидом бора и флюса П-0,66.

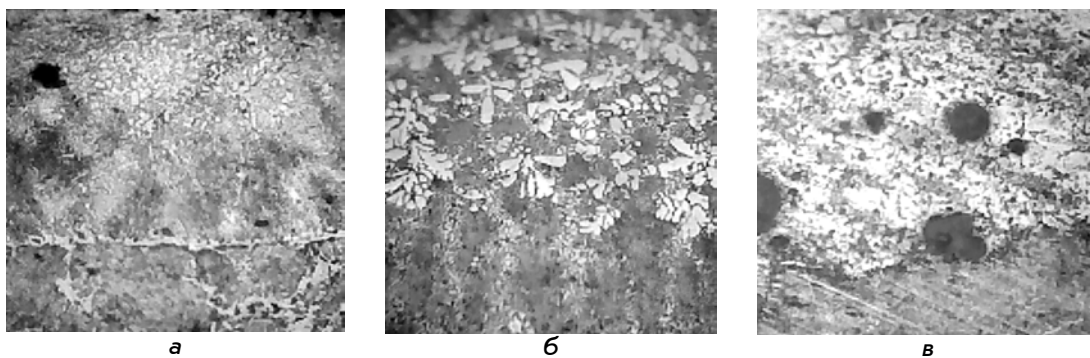


Рис. 1. Структура боридных покрытий на стали 65 Г, полученных за 1 мин. из различных смесей (300^х): а – Ia; б – II; в – IIIa

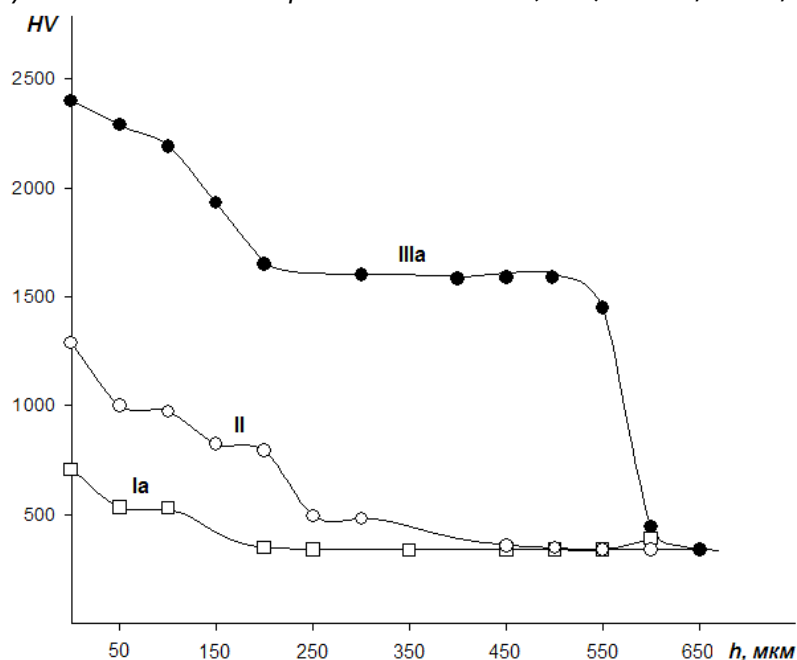


Рис. 2. Распределение микротвердости по глубине покрытий, полученных из различных боридующих смесей за 1 мин.

Таблица 2

Некоторые характеристики покрытий

Состав обмазки (B ₄ C : флюс П-0,66), мас. %	Материал основы	τ, мин.	h, мкм	МКТ	W, мг	Фазовый состав покрытия
84:16	65Г	1	260	2300	100	FeB, Fe ₂ B
		2	280	1060	150	Fe ₂ B
90:10	50ХГА	1	160	1000	200	α-Fe, FeB, Fe ₃ (C,B)
		2	190	1100	300	FeB
84:16	50ХГА	1	100	950	600	α-Fe, FeB, Fe ₂ B
		2	150	1100	300	Fe ₂ B
90:10	65Г	1	280	2150	150	FeB, Fe ₂ B
		2	350	2200	250	FeB, Fe ₂ B

Примечание. τ – время выдержки детали в индукторе при 1250÷1300°С, мин.; h – толщина упрочняющего боридного покрытия, мкм; МКТ – микротвердость рабочей поверхности, измеренная на ПМТ-3 при нагрузке 100 г, HV; W – износ образца на 10 000 м пути при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы, мг.

Выводы

1. Исследованы процессы получения износостойких покрытий для почвообрабатывающих органов сельхозтехники при

ТВЧ-нагреве сталей 65Г и 50ХГА до температуры 1200-1300°С с выдержкой 1-2 мин. в различных боридующих обмазках.

2. Введение в состав борлирующих обмазок, содержащих B_4C , $B_{\text{аморфн.}}$, активаторы NH_4Cl , CaF_2 плавленного флюса для индукционной наплавки П-0,66, позволяет перевести процесс борирования из твердой в квазжидкую фазу, увеличить его скорость и глубину превращения.

3. Показано, что в этих условиях образуются поверхностные слои упрочненного металла, состоящие из боридов FeB и Fe_2B , распределенных в матрице эвтектики $Fe-B$, с толщиной от 100 до 350 мкм, микротвердостью от 700 до 2300 НВ, износ которых при трении о незакрепленный абразив составляет от 100 до 600 мг на 10 000 м пути, в зависимости от природы борлирующего агента, состава обмазки, времени выдержки и вида стали.

4. Для получения износостойких покрытий для почвообрабатывающих органов с оптимальным соотношением цена/качество рекомендовано использовать борлирующие обмазки на основе карбида бора и флюса П-0,66.

Библиографический список

1. Шитов А.Н. Влияние различных факторов на изнашивание рабочих органов почвообрабатывающих машин / А.Н. Шитов, А.А. Веденеев // Ремонт, восста-

новление, модернизация. – 2002. – № 7. – С. 21-23.

2. Сидоров С.А. Технический уровень и ресурс рабочих органов сельхозмашин / С.А. Сидоров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1998. – № 3. – С. 29-33.

3. Ткачев В.Н. Индукционная наплавка твердых сплавов / В.Н. Ткачев, Б.Ч. Фиштейн, Н.В. Казинцев, Д.А. Алдырев. – М.: Машиностроение, 1970.

4. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: справочник / под ред. Л.С. Ляховича. – М.: Металлургия, 1981.

5. Ворошнин Л.Г. Борирование стали / Л.Г. Ворошнин, Л.С. Ляхович. – М.: Металлургия, 1978.

6. Белый А.В. Структура и методы формирования износостойких поверхностных слоев / А.В. Белый, Г.Д. Карпенко, К.Н. Мышкин. – М.: Машиностроение, 1991.

7. Гурьев А.М. Физические основы термоциклического борирования / А.М. Гурьев, Э.В. Козлов, Л.Н. Игнатенко, Н.А. Попова. – Барнаул: Изд-во АлГТУ, 2000.

8. Методы повышения долговечности деталей машин. Сельскохозяйственные машины: учебное пособие для вузов / под ред. В.Н. Ткачева. – М.: Машиностроение, 1971.



УДК 621.313.3

**К.М. Усанов,
В.А. Каргин,
Т.А. Филимонова**

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ИМУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МАШИНАХ

Ключевые слова: линейные электромагнитные двигатели, импульсные ма-

шины, тепловые режимы, теплопередача, удельные потери мощности.