

Борирование с использованием ТВЧ нагрева

Н.М. Антонцев, В.В. Гритчин, М.Н. Толкачев
(ФГБНУ ГОСНИТИ,
gosniti@mail.ru, тел. 8-967-171-43-44)

Аннотация. Борирование, с использованием нагрева токами высокой частоты (ТВЧ), один из перспективных методов упрочнения деталей, направленный на увеличение ресурса деталей. Для получения борированного слоя применяют шихту на основе плавного боратного флюса П-0,66, содержащей карбид бора или аморфный бор и активаторы (NH_4Cl , CaF_2). После химико-термической обработки получают поверхностный слой Fe_2B - Fe - B толщиной до 800 мкм за время около 120 сек. С помощью методов рентгенофазового анализа, микрорентгеноспектрального анализа и металлографии установлены состав и структура покрытий. Исследовано распределение микротвердости покрытий по глубине и определена их относительная износостойкость.

Ключевые слова: борирование, ТВЧ-нагрев, бор, карбид бора, железоборидная эвтектика, почвообрабатывающие органы сельхозтехники.

Введение. В процессе работы почвообрабатывающей техники поверхность рабочих органов при их взаимодействии с почвой как абразивом, подвергается износу. Для этого требуется упрочнение основных поверхностей деталей путем нанесения износостойких покрытий. Для получения поверхностного слоя детали с высокой твердостью и прочностью, стойкостью к коррозии, абразивной стойкостью применяют методы химико-термической обработки (ХТО), заключающейся в одновременном воздействии на поверхность температуры и веществ, способных химически реагировать с материалом детали. Одним из таких методов ХТО является борирование. При борировании на поверхности стальной детали получают протяженные (до 500-800 мкм) слои, отличающиеся высоким сопротивлением изнашиванию. Однако большинство из известных в настоящее время методов борирования стали (печное, газовое, электролитическое) длительны, трудоемки, не автоматизированы 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 специальным борировующим составом токами высокой частоты (ТВЧ-нагрев) до температур 1100-1350°C.

Экспериментальная часть. Для проведения исследований были приготовлены борировующие пасты (таблица 1). Готовые смеси свободно наносили на предварительно подготовленные, зачищенные образцы размером 30×50×5 мм, вырубленные из проката стали 65Г.

– Подготовленные образцы нагревали в петлевом индукторе диаметром 90 мм на ТВЧ установке СВЧ-40АВ до температуры 1300-1350°C в течение 40-60 сек, с последующей стабилизацией. Температуру поверхности образцов определяли с помощью инфракрасного пирометра.

– После выдержки при указанной температуре в течение времени (120 сек) образцы извлекали из индуктора и остужали на воздухе. На оборудовании нанопцентра ГОСНИТИ на полученных покрытиях исследовали: микротвердость (микротвердомер КМТ-1, нагрузка 50, 100 г); фазовый состав (рентгеновский дифрактометр XRD-6000 Shimadzu, рассеянное $\text{Cu-K}\alpha$ -излучение, скорость углового перемещения образца 1 град/мин); микроструктуру и толщину борированного слоя (металлографический микроскоп

OLYMPUS GX51).

Результаты и их обсуждение. При ТВЧ-нагреве стали 65Г покрытой борлирующими составами при обоснованных ранее параметрах на всех образцах образовались покрытия, по внешнему виду имеющие серебристый оттенок, напоминающие твердый сплав. Рентгенофлуоресцентный анализ покрытия показал присутствие в нем следующих фаз: Fe, FeV и Fe₂V (с выраженным преобладанием Fe₂V), Fe₃(C,V) и Fe₂₃(C,V)₆, смешанных боридов и карборидов Fe, мета- и ортоборатов железа (Fe₃VO₃, Fe₃VO₆, Fe₃VO₅), следов вюстита FeO и шпинели FeO, Fe₂O₃. То есть при ТВЧ-нагреве легированных углеродистых сталей в шихте на основе флюса П-0,66, содержащей от 84 до 90% борлирующих агентов, на стальной поверхности образуются износостойкие композиционные боридные покрытия.

Таблица 1.

Состав борлирующей шихты, мас. % [6]

Смесь	Борлирующий агент	Активатор	Флюс П-0,66
Ia	B ₄ C (84)	NH ₄ Cl (6)	10
II	B ₄ C (84)	-	16
IIIa	B (90)	CaF ₂ (5)	5

Для анализа структуры полученных покрытий, а также фазового состояния боридов, были получены микрофотографии травленных шлифов (рис. 1)

Для анализа структуры полученных покрытий, а также фазового состояния боридов, были получены микрофотографии травленных шлифов (рис. 1)



а

б

в

Рис. 1. Структура боридных покрытий на стали 65Г [7], полученных за 1 мин из различных смесей (400×): а. - Ia, б. - II, в. - IIIa

Как видно из рис.1, при выбранных температурных условиях и времени борирования структура и состояние границы полученных износостойких слоев на стали 65Г отличаются от классических боридных иглообразных двухфазных слоев, на поверхности образуется более стойкая, пластичная эвтектика Fe-B, содержащая включения боридов железа Fe_nB, с выраженной (а, в) или диффузионной (б) границей. Изменений структуры основного металла из-за перегрева не выявлено.

Исследование [9,10] распределения микротвердости полученных покрытий по глубине показало наличие в них двух зон - более твердого поверхностного слоя и менее твердого слоя, лежащего под ним, протяженность и характеристики которых различаются (рис. 2).

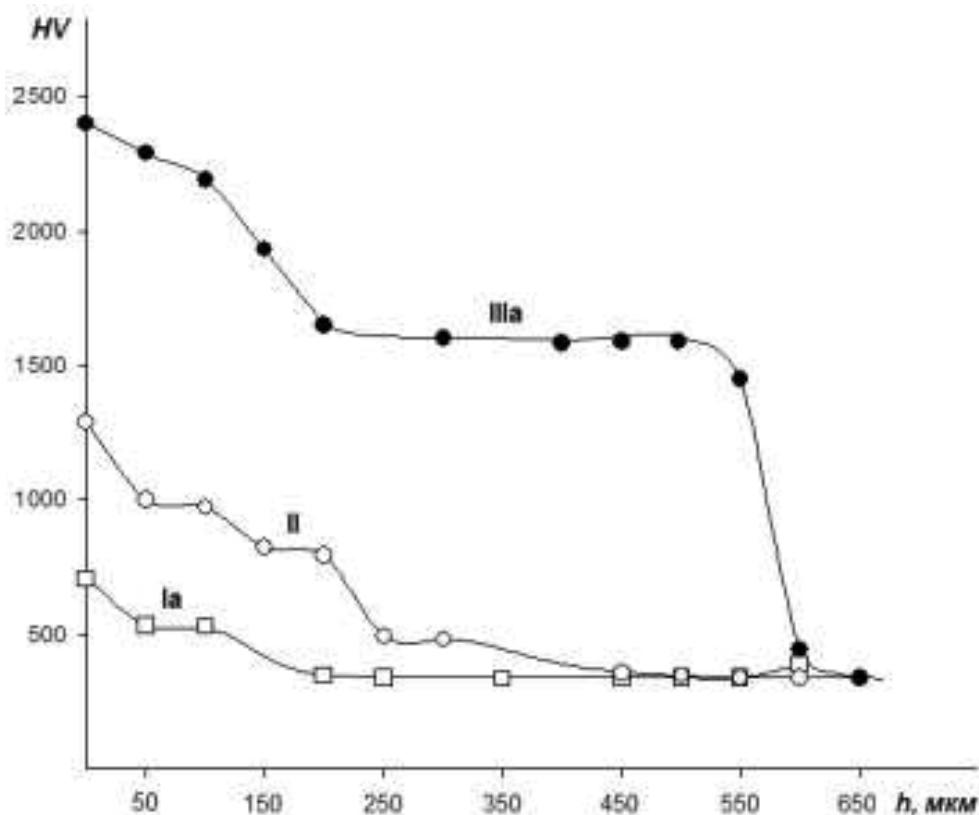


Рис. 2. Распределение микротвердости по глубине покрытий, полученных из различных боридующих смесей на стали 65Г за 1 мин

Таблица 3.

Некоторые свойства износостойких композиционных боридных покрытий

Состав обмазки (B_4C : флюс П-0,66), масс. %	τ , мин	h , мкм	МКТ	W , мг
84:16	1	260	2300	100
	2	280	1060	150
90:10	1	280	2150	150
	2	350	2200	250

Примечание: τ - время выдержки детали в индукторе при $1250 \div 1300$ оС, 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 не жестко закрепленные абразивные частицы, мг.

Таким образом, хотя наиболее эффективной в процессе скоростного ТВЧ борирования оказалась шихта на основе состава IIIa, содержащая аморфный бор, который в присутствии флюса П-0,66 и активатора CaF₂ 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 следует рекомендовать обмазки на основе составов с карбидом бора и флюса П-0,66 и проведение процесса борирования в течение 1-1,5 мин.

Выводы Показано, что в условиях скоростного ТВЧ-борирования на поверхности стали 65Г образуются износостойкие композиционные боридные покрытия, состоящие из упрочняющих фаз (цементит, диборид Fe₂B и Fe₂B₄, карборидов и специальных карбидов Fe), распределенных в матрице эвтектики Fe-B. Наибольшая толщина составляет 800 мкм с микротвердостью до 2350 НВ. Износ покрытий (при трении о незакрепленный абразив) составляет до 600 мг на 10 000 м пути, в зависимости от природы борлирующего агента, состава шихты и времени выдержки. При этом минимальный износ составил 100 мг.

Литература

1. Лялякин В.П. О восстановлении деталей машин и механизмов: [Текст] / В.П. Лялякин // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. -2012. -№ 5. -С. 9-10.
2. Черноиванов В.И. Состояние и перспективы применения электроискровых технологий в ремонтном производстве: [Текст] / В.И. Черноиванов // Труды ГОСНИТИ. -2010. -Т.106. -С. 19-24.
3. Борисенок Г. В. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: справочник: [Текст] / Г.В. Борисенок, Л.А. Васильев, Л.Г. Ворошнин. -М.: Металлургия, 1981.
4. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: справочник: [Текст] / под ред. Л.С. Ляховича. -М.: Металлургия, 1981. 5. Ворошнин Л.Г. Борирование стали: [Текст] / Л.Г. Ворошнин, Л.С. Ляхович. -М.: Металлургия, 1978.
6. Ишков А.В. Физико-химические и инженерные основы создания функциональных боридных покрытий на сталях при ТВЧ-нагреве: [Текст] / А.В. Ишков, Н.М. Мишустин, В.В. Иванайский // Научно-технический вестник Поволжья. -2010. -№ 2. -С.92-97.
7. Ишков А.В. Износостойкие боридные покрытия для почвообрабатывающих органов сельхозтехники: [Текст] / А.В. Ишков, Н.Т. Кривочуров, Н.М. Мишустин, В.В. Иванайский, А.А. Максимов // Вестник АГАУ. -2010. -Т.71. -№ 9. - С.71-75.
8. Ишков А.В. Влияние технологических факторов на износ поверхностно-упрочненных стрелчатых лап: [Текст] / А.В. Ишков, Н.Т. Кривочуров, Н.М. Мишустин, В.В. Иванайский, А.А. Максимов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. -2010. -Т.72. -№10. -С. 92-96.
9. Аулов В.Ф., Кривочуров Н.Т., Иванайский В.В., Соколов А.В., Ишков А.В. Новая конструкция стрелчатых лап //Сельский механизатор. 2013. №10. С. 34-35.10. Аулов В.Ф., Иванайский В.В., Ишков А.В., Лялякин В.П., Коваль Д.В., Кривочуров Н.Т., Соколов А.В. Получение износостойких композиционных боридных покрытий на стали 65Г при ТВЧ-нагрев //Труды ГОСНИТИ. 2014. Т.115.С. 139-145.

Boriding using RF heating

Antontsev N.M., Gritchin V.V., Tolkachev M.N.
gosniti@mail.ru. 8-967-171-43-44.

Annotation. Borating with RF is one of the promising methods of hardening of details aimed at increasing the resource details. For boronized layer is applied on the basis of the charge fused borate flux-0.66P containing boron carbide or amorphous boron activators (NH₄Cl, CaF₂). Following thermochemical treatment, the surface layer Fe-B thickness up to 800 μm during the 120 s around. With the use of X-ray diffraction, electron microprobe analysis and metallography. The composition and structure of the coatings. The distribution of coatings microhardness depth and to determine their relative durability.

Keywords: boriding, RF-heating, boron, boron carbide, tillage agricultural authorities.

References

1. The best professional V. P. On the restoration of parts of machines and mechanisms: [Text] / V. P. the best professional // Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences. -2012. - No. 5. Pp. 9-10.
2. Chernoi vanov V. I. the State and prospects of application spark technologies in repair production [Text] / V. I. Chernoi vanov // Proceedings]. -2010. -T. 106. -S. 19-24.
3. G. V. Borisenok Chemical-thermal treatment of metals and alloys: directory: [Text] / G. V. Borisenok, L. A. Vasil'ev, L. G. Voronin. -M.: Metallurgy, 1981.
4. Chemical heat treatment of metals and alloys: a Handbook: [Text] / ed. L. S. Lyakhovich. -M.: Metallurgy, 1981.
5. Voronin L. G. Boriding of steel: [Text] / L. G. Voronin, S. L. Lyakhovich. -M.: Metallurgy, 1978.
6. Ishkov V. A. physicochemical and engineering principles to create functional boride coatings on steels with high frequency currents-heating: [Text] / V. A. Ishkov, N. M. Mishustin, V. V. Iwanicki // Scientific and technical Bulletin of the Volga region. -2010. - No. 2. Pp. 92-97.
7. Ishkov, A.V., Wear-resistant boride coatings for tillage bodies of agricultural machinery [Text] / A. V. Ishkov, N. T. Krivotulov, N. M. Mishustin, V. V. Iwanicki, A. A. Maksimov // Bulletin of Altai state agrarian University. -2010. -V. 71. - No. 9. - P. 71-75.
8. Ishkov, A.V., Influence of technological factors on the wear case-hardened Lancet paws: [Text] / A. V. Ishkov, N. T. Krivotulov, N. M. Mishustin, V. V. Iwanicki, A. A. Maksimov // The Bulletin Altai state agrarian University. -2010. -T. 72. - No. 10. Pp. 92-96.
9. Auls V. F., Krivotulov N. T., Iwanicki V. V., Sokolov A. V., Ishkov A.V. New design of the Lancet paws //a Rural mechanic. 2013.
10. P. 34-35. 10. Auls V. F., Iwanicki V. V., Ishkov, A.V., The Best Professional V. P., Koval D. V., Krivotulov N. T., Sokolov V. A. Obtaining wear-resistant composite boride coatings on steel 65G of RC heat //Proceedings]. 2014. T. 115. With. 139-145

Рис. 1. Структура боридных покрытий на стали 65Г [7], полученных за 1 мин из различных смесей (400×): а. - Ia, б. - II, в. - IIIa

Как видно из рис.1, при выбранных температурных условиях и времени борирования структура и состояние границы полученных износостойких слоев на стали 65Г отличаются от классических боридных иглообразных