

УДК 621.785.53; 621.793

UDC 624.785.53;624.793

05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

05.20.01 Technologies and means of mechanization of agriculture (technical sciences)

АНАЛИЗ СОВМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО И ТЕРМОДИФФУЗИОННОГО МЕТОДОВ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**ANALYSIS OF COMBINING ELECTRIC SPARK AND THERMODIFFUSION METHODS FOR HARDENING THE SURFACES OF APC MACHINE PARTS**Рожков Юрий Николаевич
м.н.с.e-mail: tckboy@yandex.ru

SPIN-код: 6622-7560

Web of Science ResearcherID

ABB-6158-2021

*Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия*Rozhkov Yuri Nikolaevich
junior researchere-mail: gosniti@mail.ru

RSCI SPIN-code: 6622-7560

Web of Science ResearcherID

ABB-6158-2021

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

При осуществлении электроискрового легирования стали 65Г с последующим ТВЧ-борированием под слоем шихты, на основе карбида бора с добавками алюминидов, получены износостойкие покрытия. Толщина покрытий достигает 600...1000 мкм, время наплавки 1-2 мин. Использование метода упрочнения железуглеродистых сплавов путем совмещения электроискрового и термодиффузионного процессов расширяет диапазон технологических методов обработки металлических материалов и способствует повышению износостойкости высоконагруженных поверхностей различных деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания

Wear-resistant coatings were obtained on the basis of boron carbide with additives of aluminides when electro-spark alloying of steel 65G followed by HFC-borating under a layer of charge. The thickness of the coatings reaches 600 ... 1000 microns, the surfacing time is 1-2 min. The use of the method of hardening iron-carbon alloys by combining electro-spark and thermal diffusion processes expands the range of technological methods for processing metal materials and contributes to an increase in the wear resistance of highly loaded surfaces of various parts operating under conditions of abrasive wear

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОИСКРОВОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ, ТВЧ-НАГРЕВ, СКОРОСТНОЕ ТВЧ-БОРИРОВАНИЕ, КАРБИД БОРА, ЖЕЛЕЗОБОРИДНАЯ ЭВТЕКТИКА, ИНТЕРМЕТАЛЛИДЫ

Keywords: ELECTRO-SPARK ALLOYING, HIGH-FREQUENCY HEATING, SPEEDY HIGH-FREQUENCY BORATING, BORON CARBIDE, IRON-BORIDE EUTECTIC, INTERMETALLIC COMPOUNDS

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-173-013>

Введение.

Для улучшения физико-механических характеристик и восстановления изношенной поверхности различных деталей, функционализации их поверхности, поверхностного упрочнения и повышения ресурса техники в машиностроении широко применяются методы нанесения покрытий наплавкой, напылением, электроискровой обработкой, химико-термической обработкой и др. [1-2]. Особое место среди процессов упрочнения занимает борирование, когда на стальной поверхности получают

протяженные (до 500...800 мкм) слои, отличающиеся высокой твердостью, прочностью, износостойкостью и стойкостью к коррозии [3]. 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.

Нами было показано, что значительная интенсификация борирования происходит при ТВЧ-нагреве стальной поверхности под слоем специальной борлирующей шихты до температур образования новых боридных фаз и эвтектик при 1100-1350 °С, в системах Fe-B, Fe-B-C и Fe-Me-B-C, где Me - это легирующий сталь элемент из группы: Cr, Mn, Ni и т.п. [4]. Были рассмотрены вопросы применения таких покрытий для увеличения срока службы различных деталей [5], а учитывая высокую скорость борирования новый технологический процесс было предложено называть термином скоростное ТВЧ-борирование.

Цель исследования

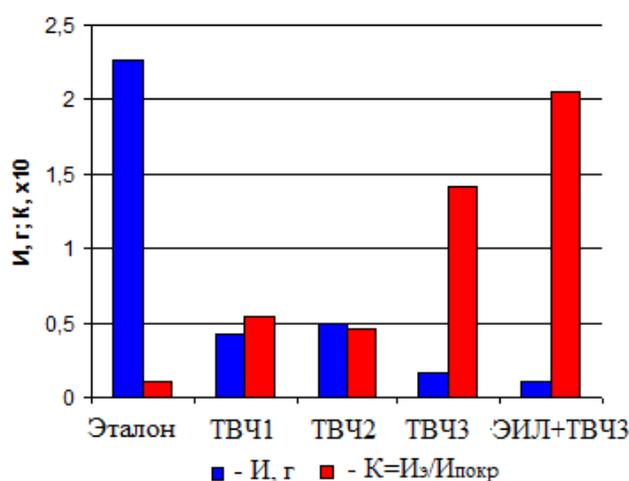
Получение и материаловедческие исследования износостойких покрытий, полученных при скоростном ТВЧ-борировании стали 65Г, предварительно модифицированных электроискровым легированием электродом Т15К6 для увеличения толщины покрытия, и влияния технологических параметров совмещенной обработки ЭИЛ + ТДП на свойства полученных покрытий.

Материалы и методы исследования

Развивая экспериментальные исследования измененных поверхностных слоев (ИПС) образцов из среднеуглеродистой стали 40 при совмещении ЭИ метода нанесения покрытий и термодиффузионного процесса (ТДП) и их свойств, были подвергнуты исследованиям 5 видов образцов из стали 65Г после аналогичной обработки, включая образцы без покрытия, принятые эталонными. Новизна этой работы заключалась как в изменении

материала образцов, так и технологии ТДП. Последнее заключалось в обработке образцов с ЭИ покрытиями не просто скоростным ТВЧ-борированием с использованием традиционной технологии, а с применением легирующих добавок в борлирующую шихту. Основанием для этих исследований послужили ранее выполненные работы [1-5].

Испытания выполнены на испытательном стенде «Машина 1». Гистограмма результатов испытаний указана на рисунке 1. Испытаниям подлежали образцы без покрытий, 8 штук (эталон) и 4 серии образцов по 3 штуки с покрытиями (таблица 1, рисунок 2).



ТВЧ1 - V_4C_3 + флюс П-0.66; ТВЧ2 - $V_4C_3+Fe_2Al_5$, флюс П-0.66; ТВЧ3 - V_4C_3 , флюс П-0.66; ЭИЛ + ТВЧ3

Рисунок 1 – Гистограмма результатов испытаний образцов из стали 65Г в условиях абразивного изнашивания

Результаты и обсуждение

В таблице 1 приведены данные по технологии обработки испытанных модельных образцов, на рисунке 2 – внешний вид образцов с покрытиями после испытаний на абразивное изнашивание.

Таблица 1 – Технология обработки модельных образцов из стали 65Г (размеры 60x40x3 мм)

№№ об-разцов	Вид покрытия	Шихта	
		состав	описание
1, 7*, 4	Термо-диффузионное (ТВЧ)	$V_4C+(флюс П-0.66)$	смесь борирующая
5, 6, 9*		$V_4C+Fe_2Al_5 (флюс П-0.66)$	смесь борирующая + железо-алюминий
2, 8, 10*		$V_4C+П-0.66$	смесь борирующая
3*, 11, 12	Комбини-рованное (ЭИЛ+ТВЧ) **	ЭИЛ + наплавочная смесь с бором	совмещение методов последовательного нанесения покрытий ЭИЛ+ТВЧ

* - образцы, подвергнутые металлографическим исследованиям

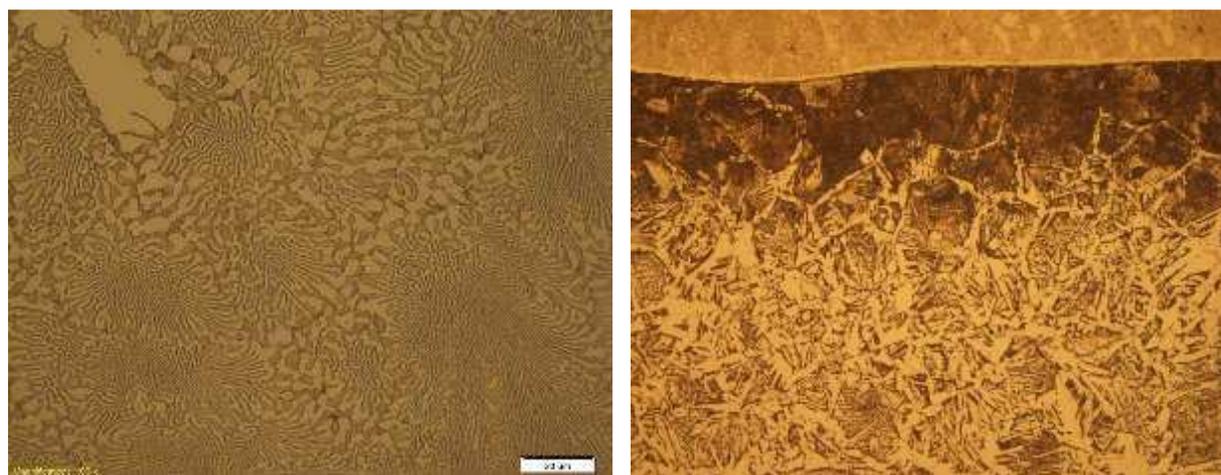
** - ЭИ покрытия нанесены на установке «БИГ-5» (режим № 65), удельное время обработки 2 т, электрод ВК8 сечением 48 мм²



Эталон № 7 (ТВЧ) № 9 (ТВЧ) № 10 (ТВЧ) № 3 (ЭИЛ+ТВЧ)

Рисунок 2 – Образцы из стали 65Г: эталонный; с ТД покрытиями (№№ 7, 9, 10); комбинированным ЭИ+ТВЧ покрытием (№ 3) – см. таблицу 1

В процессе выполнения данного этапа работ эталонные образцы из стали 65Г и аналогичные образцы с упрочняющими покрытиями были подвергнуты в Наноцентре ФНАЦ ВИМ металлографическим исследованиям на рисунке 4. а также испытаниям в лаборатории № 13.2 на относительную износостойкость в условиях абразивного изнашивания в таблице 2.



а

б

а - наплавленный слой (x1000); б - зона термического влияния (x200)

Рисунок 4 - Образец № 3 (ЭИЛ + ТВЧ)

Таблица 2 - Относительная износостойкость образцов

Материал	(Е) Относительная износостойкость
Сталь 40(эталон)	1
Борирование	8,974
Борирование с добавлением интерметаллида Fe_2Al_5	4,159
Борирование с добавлением интерметаллида	5,015
Электроискровое легирование с последующим борированием	9,688

Вывод

Сравнительные испытания относительной износостойкости материала покрытий на стали 65Г с добавлением в основную шихту для скоростного борирования интерметаллидов Fe_2Al_5 с эталоном (сталь 40) показали что, введение этих добавок повышает износостойкость в 4,2 – 5,01 раз.

Совмещение методов упрочнения ЭИЛ+ТВЧ с добавками интерметаллидов позволили получить повышение относительной износостойкости в 9,7 раза.

Использование метода упрочнения железоуглеродистых сплавов путем совмещения электроискрового и термодиффузионного процессов рас-

ширяет диапазон и должен быть принят во внимания для дальнейших исследований технологических методов обработки металлических материалов и способствует повышению износостойкости высоконагруженных поверхностей различных деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания.

Список литературы

1. V. I. Ivanov and V. P. Lyalyakin. Improving the efficiency of electrospark treatment of metallic surfaces by combining the method with other methods / *Welding International*, 2017, VOL. 31, NO. 2, 157–160.
2. Лобачевский, Я. П. Метод получения эффективной лигатуры для борирования стали / Я. П. Лобачевский, В. Ф. Аулов, А. В. Ишков, Н. Т. Кривочуров, В. В. Иванайский, В. И. Иванов // *Металлург*. – 2018. - № 10. – С. 21-26.
3. Аулов, В. Ф. Влияние легирования бором на структуру сварочных швов для стали 65Г / В. Ф. Аулов, А. В. Ишков, В. В. Иванайский, В. П. Лялякин, Н. Т. Кривочуров // *Сварочное производство*. – 2018. - № 5. – С. 38-42.
4. Shchegolev, A. V. Modification of wear-resistant coatings of Fe-Cr-C system based on the Cr₃C₂ obtained with help of SHS method / A. V. Shchegolev, V. F. Aulov, A. V. Ishkov // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2018. - № 441. – С. 012047.
5. Дорохов, А. С. Применение интерметаллидов для повышения износостойкости покрытий при скоростном ТВЧ-борировании / А. С. Дорохов, А. В. Ишков, В. В. Иванайский, Н. Т. Кривочуров, В. Ф. Аулов, В. И. Иванов // *Технический сервис машин*. – 2019. – № 136. - С. 143-155.

References

1. V. I. Ivanov and V. P. Lyalyakin. Improving the efficiency of electrospark treatment of metallic surfaces by combining the method with other methods / *Welding International*, 2017, VOL. 31, NO. 2, 157–160.
2. Lobachevskij, Ja. P. Metod poluchenija jeffektivnoj ligatury dlja borirovanija stali / Ja. P. Lobachevskij, V. F. Aulov, A. V. Ishkov, N. T. Krivochurov, V. V. Ivanaj-skij, V. I. Ivanov // *Metallurg*. – 2018. - № 10. – S. 21-26.
3. Aulov, V. F. Vlijanie legirovanija borom na strukturu svarochnyh shvov dlja stali 65G / V. F. Aulov, A. V. Ishkov, V. V. Ivanajskij, V. P. Ljaljakin, N. T. Krivochurov // *Svarochnoe proizvodstvo*. – 2018. - № 5. – S. 38-42.
4. Shchegolev, A. V. Modification of wear-resistant coatings of Fe-Cr-C system based on the Cr₃C₂ obtained with help of SHS method / A. V. Shchegolev, V. F. Aulov, A. V. Ishkov // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2018. - № 441. – S. 012047.
5. Dorohov, A. S. Primenenie intermetallidov dlja povyshenija iznosostojkosti pokrytij pri skorostnom TVCh-borirovanii / A. S. Dorohov, A. V. Ishkov, V. V. Ivanajskij, N. T. Krivochurov, V. F. Aulov, V. I. Ivanov // *Tehnicheskij servis mashin*. – 2019. – № 136. - S. 143-155.