

УДК 621.762:620

## ФРИКЦИОННАЯ ИСКРОБЕЗОПАСНОСТЬ БОРСОДЕРЖАЩИХ ДИФфуЗИОННЫХ И НАПЛАВЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

канд. техн. наук, доц. В.Г. ДАШКЕВИЧ,  
канд. техн. наук А.А. ПИВОВАРЧИК, В.Г. ЩЕРБАКОВ  
(Белорусский национальный технический университет, Минск)

*Отмечена перспективность применения диффузионных процессов для получения искробезопасных материалов. Рассмотрены вопросы искрообразования борсодержащих покрытий при истирании образцов вращающимся абразивным кругом. По результатам испытаний отмечено значительное снижение искрообразования, которое связано с образованием на поверхности раскаленных частиц борного ангидрида с низкой температурой плавления. Рассмотрен механизм окисления боридных частиц, отделившихся от поверхности диффузионного покрытия при фрикционном взаимодействии.*

**Введение.** Применяющиеся в производственных процессах горючие жидкости или газы на промышленных предприятиях могут выделяться в атмосферу и в результате их соединения с кислородом образовывать взрывоопасную смесь. В мировой практике известно много случаев взрывов и пожаров на предприятиях, вызванных воспламенением горючих смесей от фрикционных искр, например при пробуксовывании колес грузоподъемного транспорта, от нагрева трущихся и соударяющихся стальных деталей вентиляторов, от ударов стальных предметов о корродированную сталь и о стальную корродированную поверхность, покрытую алюминиевой пылью или краской.

В работе [1; 2] показано, что из распространенных в технике горючих газов и паров только пять образуют с воздухом смеси, поджигаемые фрикционными искрами:  $H_2$ ,  $C_2H_2$ ,  $C_2H_4$ ,  $CS_2$ ,  $CO$ ; а смеси предельных и ароматических углеводородов, пропилена, спиртов, альдегидов, кетонов, эфиров искробезопасны. Для смесей  $CO$ ,  $C_2H_2$  минимальная для фрикционного поджигания концентрация составляет соответственно 32 и 42 %, максимальная – 80 и 76 %. Для  $CO$  и  $C_2H_2$  максимальная концентрация в смесях, еще поджигаемых фрикционными искрами, меньше стехиометрической, т.е. эти искры не поджигают наиболее опасные смеси.

Кроме технических газов, наиболее распространенными опасными материалами являются также сырая нефть и продукты ее переработки, спирты, металлическая пыль (например, алюминиевая), угольная пыль, мука, крахмал, зерно, волокна. Фрикционные искры, попав на поверхности с отложениями горючих пылей или волокон, могут приводить к появлению очагов тления – мощных источников зажигания, которые способны воспламенить различные горючие смеси. Поэтому на многих предприятиях Республики Беларусь введены ограничения на использование искрообразующих материалов. Применение в таком случае изделий в соответствующем искробезопасном исполнении дает возможность сохранить традиционную практику использования оборудования и инструмента без дополнительных мер.

**Основная часть.** В зарубежной практике высокая степень искробезопасности, например, для ручного слесарно-монтажного инструмента обеспечивается, как правило, бронзовыми сплавами. Это ручной искробезопасный инструмент фирмы Endres Tool (Германия), который производится из специальной бронзы и обладает высокими искрозащитными и антикоррозийными свойствами, инструмент итальянского концерна Metalminotti, международной компании Cotrem group. Искробезопасный инструмент торговой марки Sestrup изготавливается из бериллиевых бронз марок БрБ2, БрБНТ. Производством ручного искробезопасного инструмента не только из сплавов алюминия и меди, но и омедненного инструмента занимается ООО «Каиндл-Урал» (Россия) [3].

Покрытие обычного стального слесарно-монтажного инструмента слоем из неискрящегося материала, в частности меди, обеспечивает искробезопасность. Инструмент не дает искры при ударе, но поскольку толщина покрытия очень маленькая (не более 50 мкм), такой инструмент не применяется для интенсивных работ. Омедняется любой слесарно-монтажный инструмент, и вследствие невысокой стоимости процесса омеднения инструмент получается достаточно дешевым и пользуется популярностью. Только из-за низкой износостойкости, толщины покрытия и соответственно отсутствия 100 % гарантии обеспечения безопасности ограничен в использовании.

Опыт применения одно- и многокомпонентных диффузионно-легированных покрытий свидетельствует о перспективности направления применения покрытий диффузионного типа в качестве искробезопасных. В случае использования покрытий, легированных бором, кремнием, хромом и другими элементами, достигаются высокие показатели не только искробезопасности, но и износостойкости. Толщина получаемых слоев превышает толщину покрытий, полученных электролитическим способом, в 2...10 раз, технологический процесс более экологически чистый.

В Республике Беларусь методы контроля фрикционной искробезопасности технологических процессов в случае возникновения искр, инициируемых фрикционным контактом твердых материалов, изделий и оборудования, установлены стандартом СТБ 11.05.04-2007 «Система стандартов пожарной безо-

пасности. Пожарная безопасность технологических процессов. Методов контроля фрикционной искробезопасности». Стандарт прежде всего распространяется на фрикционные искры в узлах трения, где возникновение их не носит случайный характер. В европейском законодательстве для регулирования соответствующих требований применяется Директива 1999/92/ЕС (ATEX 137) и другие технические нормативно-правовые акты, в Российской Федерации – ГОСТ Р ЕН 13463-5-2003, ГОСТ 12.1.044-89 и т.д.

Как уже отмечалось, применение покрытий не обеспечивает самую долговременную работоспособность изделий. Если такой инструмент активно используется, защитный слой изнашивается. Однако, учитывая дороговизну и низкие прочностные свойства большинства рассматриваемых искробезопасных материалов, представляет интерес создание искробезопасных покрытий на поверхности стальных деталей, полученных диффузионным способом или наплавкой.

Известно, что высокая температура фрикционных искр обусловлена в первую очередь тепловыделением при их окислении кислородом воздуха. Если рассматривать температуру искр, образующихся при истирании образцов вращающимся абразивным кругом, то, как правило, она находится в пределах температуры плавления металлов. В то же время закономерным является и факт снижения температуры искр, когда при окислении образуются легкоплавкие оксиды.

Синтез наплавочного материала для искробезопасного покрытия стальных деталей нами осуществлялся посредством диффузионного легирования чугуна. Для исследования была выбрана чугунная дробь ДЧЛ 08 ГОСТ 11964-81. Изучение гранулометрического состава проводили ситовым методом по ГОСТ 18318-73. Шлифы частиц и покрытий изготавливали в соответствии с требованиями ГОСТ 9.302-88. Параметры высокочастотного генератора ВЧГ2-100/0,066 для индукционной наплавки порошковой смеси следующие: накал – 13 В; ток на сетке – 1,6 А; анод – 7,5 А; анодное напряжение 10 кВ. Микроструктуры порошков и наплавленных покрытий изучали с помощью оптического металлографического микроскопа МИ-1. Микротвердость измеряли согласно ГОСТ 2999-75.

С целью удешевления разрабатываемого наплавочного материала на основе чугунной дроби ДЧЛ 08 нами использовались отходы металлургического производства. На первом этапе было проанализировано количество годной для последующей переработки в наплавочный материал фракции. Изучением гранулометрического состава выявлено 60 % годной фракции размером 200...630 мкм. Химический состав дроби ДЧЛ 08: 2,9...3,5 % С; 0,4...0,7 % Мn; 1,2...2,0 % Si;  $\leq 0,12$  % S и P. Исходная микроструктура чугунной дроби представляет собой ледебурит и дендритные включения перлита различной дисперсности. Распределение микротвердости по сечению дроби составляет 7730...8450 МПа, у поверхностного слоя твердость возрастает до 10240 МПа, что объясняется большой скоростью охлаждения поверхности при изготовлении и получении большего количества метастабильной фазы в поверхностном слое.

Микроструктура дроби после обработки (а) и полученный наплавленный слой (б) показаны на рисунке 1. Диффузионное легирование осуществлялось в подвижной порошковой среде [4; 5].

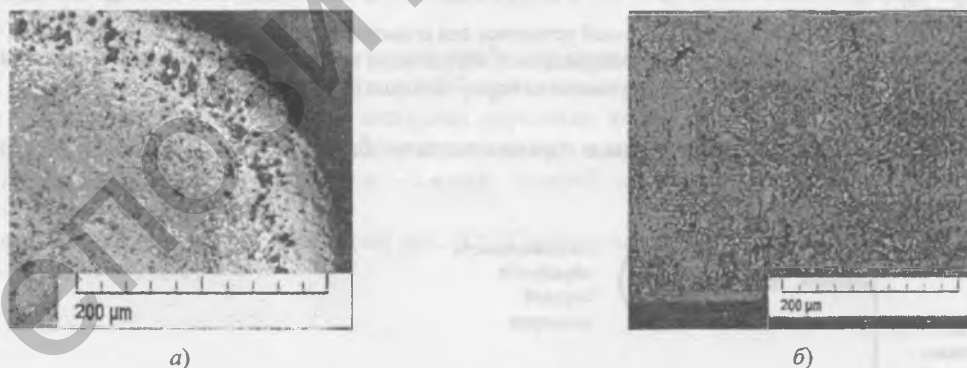


Рис. 1. Микроструктура дроби ДЧЛ08 после диффузионного легирования (а) и микроструктура покрытия (б)

Анализ дроби после диффузионного легирования показал, что в борированном слое присутствует цепочка графитных включений размером 6...10 мкм, предположительно из-за возникающих поверхностных пластических деформаций, а также из-за продолжительности обработки наблюдаются графитные включения размером 3...5 мкм в металлическом ядре порошинки. Борированный слой состоит из двух зон. Предположительно, это боридная зона с включениями графита и переходная зона, включающая в себя  $\alpha$ -фазу, выделения борного цементита  $Fe_3(C, B)$  и графита. Толщина слоя 100...130 мкм. Микротвердость поверхности порошинки составляет порядка 10500...11450 МПа и постепенно снижается к центру до 3670...4120 МПа. Смесь для наплавки изготавливали механическим смешиванием диффузионно-легированной дроби с плавкой бурой ( $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ ) в соотношении 1:1.

Наплавленный слой имеет участки доэвтектического, эвтектического и заэвтектического строения, что свидетельствует о достаточно большой продолжительности наплавки и медленной скорости охлаж-

дения наплавленного слоя [5]. Полученные толщины слоев составляют порядка 1,0...1,5 мм. Пористость полученных слоев составляет порядка 3...5 %.

Следует отметить тот факт, что во всех наплавленных слоях присутствует переходная зона между наплавленным слоем и основным металлом. Это свидетельствует о полном сплавлении наплавочного порошка с металлической основой.

Разработка составов искробезопасных материалов и покрытий с целью применения в производственных условиях обуславливает необходимость испытаний таких покрытий в специализированной лаборатории по СТБ 11.05.04-2007. Существующая методика оценки поджигающей способности в паровоздушных смесях не распространяется на узлы и детали горношахтного оборудования, а также на оборудование, для которого фрикционные искры являются характерными при эксплуатации и не носят случайный характер. Методика не позволяет моделировать режим соударения со значительной энергией удара, плохо подходит для выбора варианта покрытий в лабораторных условиях и для сопоставительного анализа различных вариантов покрытий, близких по характеристике искробезопасности.

Один из вариантов лабораторных испытаний для предварительного выбора покрытия – истирание образцов вращающимся абразивным диском. Образование искр в этом случае зависит от зернистости, твердости, скорости вращения диска, а также от силы, с которой образец прижимается к диску. В нашем случае испытание проводили на специальной лабораторной установке (рис. 2, а) для того, чтобы условия испытаний у всех образцов были одинаковы. Необходимо отметить, что искрообразование на стали 45 идет с яркими, в форме язычков, расщепленными на конце искрами и увеличенной яркостью в зоне сгорания (рис. 2, б).

Проведенные исследования показали, что при истирании образцов вращающимся абразивным кругом низкое искрообразование наблюдалось у борсодержащих покрытий, например, для борированных покрытий на стали 45 с температурой плавления  $t_{пл} = 1389\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\text{Fe}_2\text{B}$ ) и  $1540\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\text{FeB}$ ) и удельной теплоемкостью при нагреве менее  $1,26\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$  [6; 7] образовывался более короткий пучок искр, с малым количеством звездообразных разветвлений (рис. 2, в).

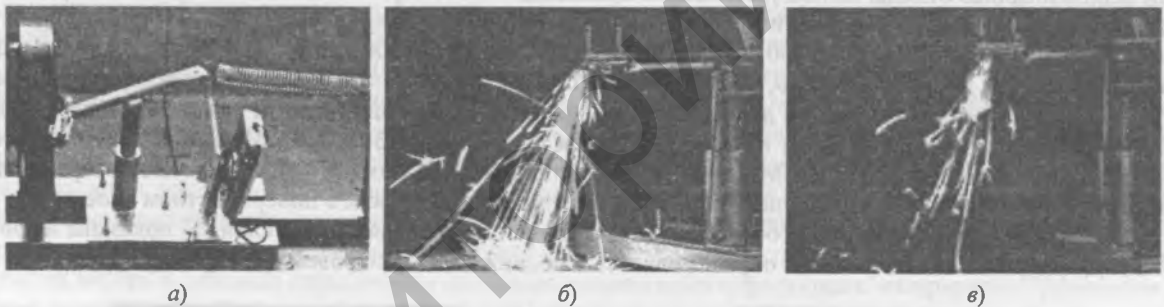


Рис. 2. Внешний вид лабораторной установки для испытаний на искрообразование (а); пучки искр, образующиеся при истирании вращающимся абразивным кругом образца стали 45 без покрытия (б); образец с диффузионным борированным покрытием (в)

Предполагаемый механизм окисления и горения частичек боридов представлен на рисунке 3.



Рис. 3. Окисление частиц боридных диффузионных покрытий, образующихся при трении и соударении

По нашему мнению, наиболее вероятная причина резкого снижения количества искр с высокой температурой – образование при нагревании на воздухе борного ангидрида  $B_2O_3$  с низкой температурой плавления (около 480 °С). Характерным фактором является высокая скорость образования такой оксидной пленки, поэтому при большом отношении площади поверхности к объему частицы скорость разогревания частицы идет медленно, что приводит, во-первых, к значительной потере тепла в окружающую среду посредством конвекции, во-вторых, к появлению на поверхности оксидной пленки значительной толщины.

Исследуемые покрытия в дальнейшем были подвергнуты испытаниям по методике СТБ 11.05.04-2007 в специализированной лаборатории НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси, где моделирование процесса искрообразования происходило на установке, имитирующей режим трения и соударения пары «диск – пластина».

**Заключение.** В результате проведенных работ выполнены исследования искрообразования различных вариантов борсодержащих покрытий при истирании образцов вращающимся абразивным кругом. Такие покрытия имеют меньшее количество искр с высокой температурой, поскольку характерным является образование на поверхности частиц борного ангидрида  $B_2O_3$  с низкой температурой плавления.

Проведенные исследования показали возможность использования отходов металлургического производства в качестве основы для производства диффузионно-легированного наплавочного материала, который после нанесения индукционным способом отличался высокой искробезопасностью.

Рассмотрен механизм окисления и горения частичек боридов, образовавшихся при фрикционном взаимодействии. Появление диффузионного пламени характерно лишь для высокой начальной температуры. Такие условия перехода механической энергии в тепловую характерны для очень сильных ударов.

По результатам испытаний согласно СТБ 11.05.04-2007 рассматриваемые борсодержащие покрытия были признаны искробезопасными и рекомендованы для применения в помещениях категории А по взрывопожарной и пожарной опасности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Взрывобезопасность электрических разрядов и фрикционных искр / В.А. Бондарь [и др.]; под ред. В.С. Кравченко, В.А. Бондаря. – М.: Недра, 1976. – 304 с.
2. Розловский, А.И. Основы техники взрывобезопасности при работе с горючими газами парами / А.И. Розловский. – М.: Химия, 1980. – 376 с.
3. Взрывобезопасный инструмент [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.safetytool.ru/>. – Дата доступа: 06.05.2012.
4. Щербаков, В.Г. Анализ проблемных вопросов при производстве диффузионно-легированных наплавочных материалов в условиях РУП «МЗШ» / В.Г. Щербаков // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 6-й междунар. науч.-техн. конф.: в 3-х т. Т. 1; под общ. ред. Б.М. Хрусталева. – Минск: БНТУ, 2008. – С. 44 – 46.
5. Опыт использования отходов металлической дробы для производства наплавочного сплава в условиях ПРУП «МЗШ» / В.М. Константинов [и др.] // Теория и практика энергосберегающих термических процессов в машиностроении: материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск: БНТУ, 2008. – С. 107 – 110.
6. Ворошнин, Л.Г. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО / Л.Г. Ворошнин, Ф.И. Пантелеенко, В.М. Константинов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 2001. – 148 с.
7. Физические величины: справочник / под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мелихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – С. 444. – 1232 с.

Поступила 20.06.2013

#### FRICIONAL SPARK SAFETY OF BORON-CONTAINING DIFFUSION AND DEPOSITED SURFACE

V. DASHKEVICH, A. PIVOVARCHIK, V. SCHERBAKOV

*The perspective of the use of diffusion processes for intrinsically safe materials is noted. The questions of sparking of boron coatings in grinding samples rotating abrasive wheel are considered. According to the test results a significant reduction of sparking is noted, which is associated with the formation on the surface of the heated particles of boride anhydride with low temperature of melting point. The mechanism of oxidation of boride particles separated from the surface of the diffusion coating at the frictional interaction is considered.*