

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСКРОБЕЗОПАСНОСТИ БОРИДНЫХ И ЦИНКОВЫХ ПОКРЫТИЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ФРИКЦИОННОГО КОНТАКТА

Введение. В мировой практике известно много случаев взрывов и пожаров на промышленных предприятиях, вызванных воспламенением горючих смесей от фрикционных искр, например при пробуксовывании колес грузоподъемного оборудования, 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 настоящее время в Республике Беларусь действует большое количество предприятий, которые имеют взрывоопасные производства. Применяющиеся в производственных процессах горючие жидкости или газы на таких предприятиях могут выделяться в атмосферу и в результате их соединения с кислородом образовывать взрывоопасную смесь. На нефтеперерабатывающих заводах одним из самых опасных газов является водород.

Известно, что фрикционное искрообразование проявляется в результате перехода механической энергии в тепловую при ударах подвижных частей деталей машин о неподвижные. При достаточных сильных ударах отрывающиеся частицы материала размером 0,1–0,5 мм нагреваются, окисляются кислородом воздуха и сгорают [1, 2]. В работе [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 %, 42 %, максимальная 80 % и 76 %. Для CO и C_2H_2 максимальная концентрация в смесях, еще поджигаемые 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 таких производствах введены ограничения на использование искрообразующих материалов. Применение в таком случае изделий в соответствующем искробезопасном исполнении дает возможность сохранить традиционную практику использования оборудования без дополнительных мер.

В зарубежной практике высокая степень искробезопасности, например для ручного инструмента, обеспечивается, как правило, бронзовыми сплавами. Это ручной искробезопасный инструмент фирмы Endres Tool (Германия), который производится из специальной бронзы и обладает высокими искрозащитными и антикоррозионными свойствами, инструмент итальянского концерна Metalmintoffi, международной компании Cotrem group. Искробезопасный инструмент торговой марки Sestrum изготавливается из бериллиевых

бронз марок БрБ2, БрБНТ, ООО "Каиндл-Урал" (Россия) занимается производством ручного искробезопасного инструмента не только из сплавов алюминия и меди, а также омедненного инструмента [3].

В настоящее время искробезопасность достигается различными способами. Самый надежный и безопасный вариант – изготовление деталей и инструмента целиком из неискрящего сплава. Другой вариант – покрытие стали слоем искробезопасного материала. Обычно это омеднение. Покрытие не дает искры при ударе, но толщина покрытия и его износостойкость невелики, для интенсивных работ оно недостаточно надежно. С практической точки зрения изготавливать детали целиком из бронзового сплава более целесообразно. Но в таком случае серьезным ограничителем являются прочностные свойства и дороговизна сплавов на основе меди. В последнее время в качестве искробезопасного медного сплава получила распространение бериллиевая бронза. При достаточно высокой прочности она обладает пониженной, по сравнению с конструкционными сталями, твердостью. В результате, при ударе детали из бериллиевой бронзы о сталь не образуется искр. Такой инструмент находит применение при ремонтных работах в газовой и нефтедобывающей промышленности. Однако бериллиевая бронза, в силу высокой стоимости бериллия, сама по себе дорогой сплав. Мало того, она является еще и материалом, вызывающим профессиональные заболевания, что заставляет принимать особые меры по охране труда. Поэтому для изготовления искробезопасного инструмента используют также другие бронзы (чаще всего алюминиевые), которые не обладают столь высоким комплексом механических свойств, как бериллиевая бронза, но не столь дороги и более безопасны в производстве [4].

В ограниченном количестве для производства деталей и инструмента применяются другие цветные металлы и сплавы, например свинец или алюминиевые сплавы. Еще реже используются детали и инструмент из легированных сталей и титановых сплавов.

Алюминий и его сплавы сравнительно дешевы, легки, удобны для обработки и широко распространены. Тем не менее, опасное искрообразование, приводящее к поджиганию любых горючих смесей, возможно при истирании алюминия ржавым железом. Это объясняется образованием термитов – смесей алюминия и окиси железа. Нагревание при трении инициирует их взаимодействие, восстановление окиси железа алюминием, что приводит к нагреванию до 3000 °С. Добавки олова, цинка, меди к алюминию не предотвращают возможности искрообразования. Добавки магния в алюминиевых сплавах увеличивают искробезопасность.

Необходимо отметить, что до настоящего времени четкой позиции по наиболее эффективному материалу и технологии производства искробезопасных деталей, работающих в условиях фрикционного контакта, нет. Часто встречается ситуация, когда производители выбирают путь применения мягких и соответственно не износостойких целикомметаллических материалов без покрытий, поскольку износостойкие сплавы более твердые и поэтому склонны к интенсивному искрообразованию.

Дашкевич Владимир Георгиевич, кандидат технических наук, ст. преподаватель кафедры «Материаловедение в машиностроении» Белорусского национального технического университета.

Пивоварчик Александр Антонович, кандидат технических наук, инженер кафедры «Металлургия литейных сплавов» Белорусского национального технического университета.

Щербак Вячеслав Геннадьевич, ассистент кафедры «Материаловедение в машиностроении» Белорусского национального технического университета.

Беларусь, БНТУ, 220013, г. Минск, ул. Я. Коласа, 1, e-mail: materialovedenie@mail.ru.

Поэтому в настоящее время существует актуальность разработки недорогих составов и покрытий для нанесения на изделия с целью обеспечения их искробезопасности и достаточного уровня износостойкости. Однако разработка составов искробезопасных материалов и покрытий с целью применения в производственных условиях связана не только с их лабораторными исследованиями и соответствующими испытаниями. В последующем для их правильной эксплуатации необходимо разработать ряд технической информации по периодичности проверок состояния, методики проверки целостности и качества покрытий, условий правки, если это касается инструмента и т.д.

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 безопасности. 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, в том числе диффузионного типа, не обеспечивает самую долговременную работоспособность изделий. Если такой инструмент активно используется, защитный слой изнашивается. Однако, учитывая дороговизну и низкие прочностные свойства большинства указанных выше материалов, представляет интерес создание искробезопасных покрытий на поверхности стальных деталей, полученных диффузионным способом или наплавкой. Из способов диффузионного легирования интересным представляется прежде всего однокомпонентное диффузионное легирование (борирование, цинкование, силицирование) и многокомпонентное, обеспечивающее высокий комплекс механических свойств и износостойкость, например карбозотирование, боросилицирование и др.

Синтез наплавочного материала для искробезопасного покрытия стальных деталей нами осуществлялся посредством диффузионного легирования. Для исследования была выбрана чугуная 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 следующие: навал – 13В, ток на сетке – 1,6 А, анод – 7,5 А, анодное напряжение 10 кВ. Микроструктуры порошков и наплавочных покрытий изучали с помощью оптического металлографического микроскопа МИ – 1. Микротвердость измеряли согласно ГОСТ 2999-75.

С целью удешевления разрабатываемого наплавочного материала на основе чугуной 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, 0,40...0,70% Мп, 1,20...2,00% Si, ≤ 0,12% S и P. Исходная микроструктура чугуной дроби представляет собой ледебурит и дендритные включения перлита различной дисперсности (рис. 1). Распределение микротвердости по сечению дроби составляет 7730–8450 МПа, и у поверхностного слоя твердость возрастает до 10240 МПа, что объясняется большой скоростью охлаждения поверхности при изготовлении и получения большого количества метастабильной фазы в поверхностном слое.

Диффузионное легирование осуществлялось в подвижной порошковой среде [5, 6]. Исходная дробь (а) и после обработки (б) и полученный наплавочный слой (в) показаны на рисунке 1.

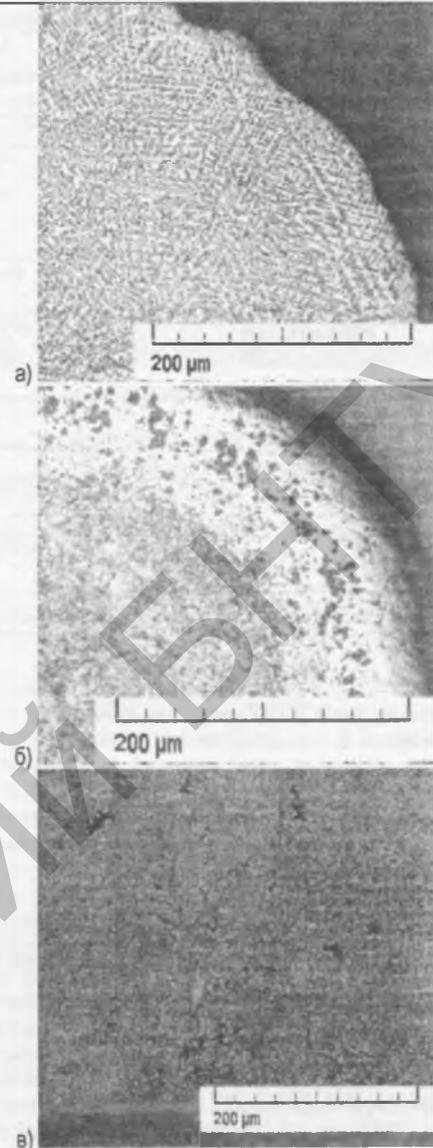


Рис. 1. Микроструктура дроби ДЧЛ08 до (а) и после диффузионного легирования (б) и покрытие (в)

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 α-фазу, выделения борного цементита Fe₃(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 (Na₂B₄O₇·10H₂O) в соотношении 1:1.

Наплавочный слой имеет участки доэвтектического, эвтектического и заэвтектического строения, что свидетельствует о достаточной продолжительности наплавки и медленной скорости охлаждения наплавочного слоя [7]. Полученные толщины слоев составляют порядка 1,0–1,5 мм. Пористость полученных слоев составляет порядка 3–5%.

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

Таблица 1. Характеристика образцов для испытаний на искробезопасность

Номер образца	Вид покрытия	Материал основы	Материал покрытия / вид ХТО	Твердость покрытия	Ориентировочный химический и фазовый состав	Толщина слоя, мм
1	2	3	4	5	6	7
1	Без покрытия	Сталь 45	Сталь 45	HB 250	–	–
2	Диффузионное		цинкование	HV 750	δ -фаза (88-96 % Zn), Г-фаза (80-72 % Zn), α -фаза (46 % Zn)	0,04
3	Диффузионное		борирование	HV 1800	FeB (16,2 % B) Fe ₂ B (8,8 % B)	0,15
4	Наплавленное (индукционный способ)		борированная дробь ДЧП	HRC 50 – 55	α -Fe, Fe ₃ C, Fe ₂ B (3,0-5,0 %B; 2,5-3,0 %C; 1,0-1,5 %Si; 0,4-0,7 %Mn)	1,5

Таблица 2. Характеристика фрикционных искр

№ п/п	Описание покрытия	Вид пучка искр
1	Без покрытия (Сталь 45)	Яркие, в форме язычков, расщепленные на конце искры, увеличение яркости в зоне сгорания
2	Диффузионное (цинкование)	Короткий темно-красный пучок искр без звёздочек, слабоветвильный. Искры прилипают к поверхности шлифовального круга
3	Диффузионное (борирование)	Короткий темно-красный пучок искр без звёздочек, слабоветвильный
5	Наплавленное (индукционный способ)	Короткий пучок искр, более светлый в зоне сгорания, мало звездообразных разветвлений

Разработка составов искробезопасных материалов и покрытий с целью применения в производственных условиях обуславливает необходимость испытаний таких покрытий в специализированной аккредитованной лаборатории по СТБ 11.05.04 – 2007. Один из вариантов лабораторных испытаний для предварительного выбора покрытия – истирание образцов вращающимся абразивным диском. Характеристика образцов приведена в таблице 1.

Известно, что высокая температура фрикционных искр обусловлена в первую очередь тепловыделением при их окислении кислородом воздуха. В то же время, если рассматривать температуру искр, образующихся при истирании образцов вращающимся абразивным кругом, то, как правило, она находится в пределах температуры плавления металлов. Поэтому для получения искробезопасного покрытия, нами рассматривались металлы и их сплавы с температурой плавления ниже стали. Например, диффузионное легирование цинком, у которого температура плавления $t_{пл} = 419^\circ\text{C}$, должно способствовать повышению искробезопасности по отношению к стальным изделиям.

Образование искр зависит от зернистости, твердости, скорости вращения диска, а также от силы, с которой образец прижимается к диску. Известно, например, что при различной скорости динамического контакта температура пятна контакта достигает различной температуры [2]. При этом достигается различная величина деформации поверхностного слоя. В нашем случае применялось специальное приспособление для того, чтобы условия испытаний у всех образцов были одинаковыми.

Известно, что различные элементы горят не одновременно, вызывая различия в отношении цвета, силы свечения, формы искр. Характеристика фрикционных искр для различных вариантов испытываемых покрытий приведена в таблице 2.

По проведенным исследованиям, при истирании образцов вращающимся абразивным кругом низкое искрообразование наблюдалось у ряда диффузионных покрытий, например для борированных покрытий на стали 45 с температурой плавления $t_{пл} = 1389^\circ\text{C}$ (Fe₂B) и 1540°C (FeB) и удельной теплоемкостью при нагреве менее 1,26 кДж/(кг К), практически отсутствовало искрообразование [8]. По нашему мнению, наиболее вероятной причиной является образование при нагревании на воздухе борного ангидрида В₂О₃ с низкой температурой плавления $t_{пл} = 480^\circ\text{C}$. Также низкое искрообразование наблюдалось у цинковых покрытий диффузионного типа.

Исследуемые покрытия в дальнейшем были подвергнуты испытаниям по методике СТБ 11.05.04 – 2007 в специализированной лаборатории НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси.

Заключение. В результате проведенных работ выполнены исследования искрообразования различных вариантов покрытий при

истирании образцов вращающимся абразивным кругом. Дана характеристика фрикционных искр для покрытий диффузионного типа (борированных и оцинкованных) и для наплавленных образцов. Исследования также показали возможность использования отходов металлургического производства в качестве основы для производства диффузионно-легированного наплавочного материала, который, после нанесения индукционным способом отличался высокой износостойкостью и искробезопасностью. По результатам испытаний согласно СТБ 11.05.04 – 2007 диффузионные покрытия были признаны искробезопасными и рекомендованы для применения в помещениях категории А по взрывопожарной и пожарной опасности.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Бондарь, В.А. Взрывобезопасность электрических разрядов и фрикционных искр / В.А. Бондарь, В.Н. Вережкин, А.И. Гескин [и др.] // Под ред. В.С. Кравченко и В.А. Бондаря – М.: Недра, 1976. – 304 с.
- Розловский, А.И. Основы техники взрывобезопасности при работе с горючими газами парами / А.И. Розловский. – М.: Химия, 1980. – 376 с.
- Взрывобезопасный инструмент [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.safetytool.ru/> – Дата доступа: 06.05.2012.
- Монюшко, В.Н. Количественная оценка взрывоопасности фрикционных искр / В.Н. Монюшко // Безопасность труда в промышленности, 1983. – №12. – С. 37–38.
- 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 Международной научно-технической конференции в 3-х томах. / Под общ. ред. Б.М. Хрусталева. – Мн.: БНТУ, 2008. – Т.1. – С. 44–46.
- Константинов, В.М. Опыт использования отходов металлической дроби для производства наплавочного сплава в условиях ПРУП «МЗШ» / В.М. Константинов, И.С. Сушко, М.М. Казак, В.Г. Щербаков // Теория и практика энергосберегающих термических процессов в машиностроении: материалы Международной научно-технической конференции. – Минск: БНТУ, 2008. – С. 107–110.
- 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.
- Физические величины: справочник / Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мелихова. — М.: Энергоатомиздат, 1991. – С. 444. – 1232 с.

Материал поступил в редакцию 06.11.12

DASHKEVICH V.G., PIVOVARCHIK A.A. SHCHERBAKOV V.G. Research the safety spark the boridnykh and zinc coverings as a result of frictional contact

Considered various options spark coatings in grinding samples rotating abrasive wheel. The characteristics of friction sparks for coating diffusion (borated and zinc) and weld specimens. Studies have shown the use of metallurgical wastes as a basis for the diffusion-alloyed filler material that after the application of inductively high wear and intrinsic safety. According to test results according to STB 05.11.04 - 2007 diffusion coatings were found to intrinsically safe and approved for use in areas of category A by explosion and fire hazard.