

8. *Самойленко, Н. Г.* К вопросу о режимах удаления газообразных продуктов из реагирующего пористого тела / Н. Г. Самойленко // Журн. физ. химии. – 1968. – Т. 42, вып. 4. – С. 883–888.

9. *Кельцев, Н. В.* Метод относительного расчета кинетических кривых десорбции углеводородов в вакууме / Н. В. Кельцев // Журн. физ. химии. – 1968. – Т. 42, вып. 6. – С. 1480–1483.

10. *Васильев, С. С.* Роль турбулентной диффузии в кинетике испарения жидкостей со свободной поверхности / С. С. Васильев // Журн. физ. химии. – Т. 42, вып. 11. – С. 2761.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСКРОБЕЗОПАСНОСТИ ДИФфуЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ФРИКЦИОННОГО КОНТАКТА

В. М. Константинов, В. Г. Дашкевич

*Белорусский национальный технический университет, Минск,
Беларусь, тел.: (8 017) 292-81-85, e-mail: Vladimir_dvl@tut.by*

В настоящее время в Беларуси имеется большое количество предприятий с взрывоопасными производствами. 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 достаточно 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 и C₂H₂ минимальная для фрикционного поджигания концентрация составляет соответственно 32 и 42 %, максимальная – 80 и 76 %. Для CO и C₂H₂ 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 воспламенять различные горючие смеси. Поэтому на таких производствах введены ограничения на использование искрообразующих материалов. Применение в данном случае изделий в соответствующем искробезопасном исполнении дает возможность сохранить традиционную практику использования оборудования без дополнительных мер.

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. 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 таким высоким комплексом механических свойств, как бериллиевая бронза, но не столь дороги и более безопасны в производстве [3].

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.

Необходимо отметить, что до настоящего времени четкой позиции по выбору наиболее эффективного материала и технологии производства искробезопасных деталей, работающих в условиях фрикционного контакта, нет. Часто встречается ситуация когда производители применяют мягкие и соответственно износостойкие цельнометаллические материалы без покрытий, поскольку износостойкие сплавы более твердые и поэтому склонны к интенсивному искрообразованию.

В Беларуси 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. Методы 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.

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 температуры плавления стали. Например, покрытие изделий цинком, у которого температура плавления $t_{пл} = 419$ °С, должно способствовать повышению искробезопасности по отношению к стальным изделиям.

Для получения искробезопасных покрытий из процессов химико-термической обработки интересным представляется прежде всего однокомпонентное диффузионное легирование (борирование, цинкование, силицирование) и многокомпонентное, обеспечивающее высокий комплекс механических свойств и износостойкость, например карбоазотирование, боросилицирование и др.

Один из вариантов лабораторных испытаний для предварительного выбора покрытия – истирание образцов вращающимся абразивным диском. 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 получается различная величина деформации поверхностного слоя. В нашем случае применялось специальное приспособление, чтобы условия испытаний у всех образцов были одинаковы.

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.

Согласно проведенным исследованиям, при истирании образцов вращающимся абразивным кругом низкое искрообразование наблюдалось как у борированных покрытий с температурой плавления $t_{пл} = 1389$ °С (Fe_2B) и 1540 °С (FeB) и удельной теплоемкостью при нагреве менее $1,26$ кДж/(кг·К), так и у цинкованных. По нашему мнению, для борированных покрытий наи-

более вероятной причиной является образование при нагревании на воздухе борного ангидрида B_2O_3 с низкой температурой плавления ($t_{пл} = 480$ °С). В дальнейшем исследуемые покрытия были подвергнуты испытаниям по методике СТБ 11.05.04–2007 в специализированной лаборатории НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси.

Характеристика фрикционных искр

Покрытие	Вид пучка искр
Без покрытия (сталь 45)	Яркие, в форме язычков, расщепленные на конце искры, увеличение яркости в зоне сгорания
Диффузионное (цинкование)	Короткий темно-красный пучок искр без звездочек, слаборазветвленный. Искры прилипают к поверхности шлифовального круга
Диффузионное (борирование)	Короткий темно-красный пучок искр без звездочек, слаборазветвленный

В результате проведенных работ выполнены исследования искрообразования различных вариантов диффузионных покрытий при истирании образцов вращающимся абразивным кругом. Дана характеристика фрикционных искр для борированных и цинковых покрытий. По результатам испытаний, согласно СТБ 11.05.04–2007, диффузионные покрытия 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 и парами / А. И. Розловский. – М.: Химия, 1980. – 376 с.
3. *Монюшко, В. Н.* Количественная оценка взрывоопасности фрикционных искр / В. Н. Монюшко // Безопасность труда в промышленности. – 1983. – № 12. – С. 37–38.