

В.Г. ДАШКЕВИЧ, канд. техн. наук (БНТУ),  
Н.Н. ЯСЕНКО (ФТИ НАН Беларуси)

## К ПРОБЛЕМЕ ФРИКЦИОННОЙ ИСКРОБЕЗОПАСНОСТИ СПЛАВОВ

В настоящее время в Республике Беларусь функционирует 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. Возгорание такой смеси может быть инициировано искрой, образованной фрикционным контактом, например, при пробуксовывании колес грузоподъемного оборудования.

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  $CO$ ,  $C_2H_2$  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, то есть 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, являющихся мощными источниками зажигания, которые способны воспламенять различные горючие смеси. Поэтому на таких производствах введены ограничения на использование искробразующих материалов. Применение в этом 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, за счет применения бронзовых сплавов. К ним относится ручной искробезопасный инструмент фирмы «Endres Tool» (Германия), который производится из специальной бронзы и обладает высокими искрозащищенными и антикоррозийными свойствам; инструмент итальянского концерна Metalminotti; международной компании «Cotrem group»; искробезопасный инструмент торговой марки Sestrum (изготавливается из бериллиевых бронз марок БрБ2, БрБНТ). ООО «Каиндл-Урал» (Российская Федерация) занимается производством ручного искробезопасного инструмента не только из сплавов алюминия и меди, а также омедненного инструмента [3].

Часто встречается ситуация, когда производители выбирают путь применения мягких, не износостойких покрытий. Износостойкие сплавы являются твердыми и поэтому более склонны к интенсивному искробразованию.

В настоящее время искробезопасность достигается различными способами. Самый надежный и безопасный вариант – это изготовление деталей и инструмента целиком из неискрящего сплава. Такой вариант, кроме взрывобезопасности, имеет еще ряд преимуществ, например, немагнитность и высокую коррозионную стойкость. Другой вариант – это покрытие стали слоем искробезопасного материала. В этом случае обычно используют омеднение. Покрытие не дает искры при ударе, но толщина покрытия и его износостойкость невелики, поэтому для интенсивных работ он недостаточно надежен.

С практической точки зрения изготавливать детали целиком из бронзового сплава более целесообразно. Но в таком случае ограничением становятся прочностные свойства и дороговизна сплавов на

основе меди. В последнее время в качестве искробезопасного медного сплава получило распространение использование бериллиевой бронзы. 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 является дорогостоящим сплавом. Мало того, она является еще и материалом, вызывающим профессиональные заболевания, что заставляет принимать дополнительные 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 имеют меньшую стоимость 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 явление объясняют образованием термитов – смесей алюминия и оксида железа. Нагревание при трении инициирует их взаимодействие, восстановление оксида железа алюминием, что приводит к нагреванию до 3 000 °С. Добавки олова, цинка, меди к алюминию не предотвращают возможности искрообразования, а добавки магния в алюминиевых сплавах увеличивают искробезопасность.

Необходимо отметить, что до настоящего времени четкой позиции по выбору наиболее эффективного материала и технологии производства искробезопасных деталей не существует.

В Республике Беларусь методы контроля фрикционной искробезопасности технологических процессов в случае возникновения искр, инициируемых фрикционным контактом твердых материа-

лов, 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.

Как уже отмечалось, применение покрытий, в том числе диффузионного типа, не обеспечивает долговременную работоспособность изделий с соответствующим уровнем безопасности. 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 интерес представляет, прежде всего, однокомпонентное диффузионное легирование (борирование, цинкование, силицирование) и многокомпонентное, обеспечивающее высокий комплекс механических свойств и износостойкость, например, карбозотирование.

Синтез наплавочного материала для искробезопасного покрытия стальных деталей нами осуществлялся посредством диффузионного легирования. За основу была взята чугунная дробь, которая подвергалась борированию.

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

Таблица 1 – Характеристика образцов для испытаний на искробезопасность

Номер образца	Вид покрытия	Материал основы	Материал покрытия/ вид ХТО	Твердость покрытия	Ориентировочный химический состав, фазовый состав	Толщина слоя, мм
1	Без покрытия	Сталь 45	Сталь 45	HB 250	–	–
2	Диффузионное		цинкование	HV 750	$\delta_1$ -фаза (88–96 % Zn), Г-фаза (80–72 % Zn), $\alpha$ -фаза (46 % Zn)	0,04
3	Диффузионное		борирование	HV 1800	FeB (16,2 % B) Fe <sub>2</sub> B (8,8 % B)	0,15
4	Диффузионное		карбо-азотирование	–	азотистый мартенсит, карбонитриды Fe <sub>2</sub> (C,N)	0,02
5	Наплавленное (электродуговой способ)		борированная дробь ДЧЛ	HRC 45–50	2,5–3,0 % C 1,0–1,5 % Si 3,0–7,0 % B	2,0

Известно, что высокая температура фрикционных искр обусловлена в первую очередь тепловыделением при их окислении кислородом воздуха. В то же время, температура искр, образующихся при истирании образцов вращающимся абразивным кругом, как правило, 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  $t_{пл} = 419$  °С, 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 различается [5]. При этом наблюдается разное значение деформации поверхностного слоя. В нашем случае применялось специальное приспособление для того, чтобы условия испытаний всех образцов были одинаковы.

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

Таблица 2 – Характеристика фрикционных искр

Описание покрытия	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, слабоветвильный. Искры прилипают к поверхности шлифовального круга
Диффузионное (борирование)	Короткий темно-красный пучок искр без звездочек, слабоветвильный
Диффузионное (карбозотирование)	Короткий пучок искр, принимающий форму узких полосок
Наплавленное (электродуговой способ)	Короткий пучок искр, более светлый в зоне сгорания, мало звездобразных разветвлений

Результаты исследований показали, что при истирании образцов вращающимся абразивным кругом низкое искрообразование наблюдалось у ряда диффузионных покрытий. Например, для борированных покрытий на стали 45 с температурой плавления  $t_{пл} = 1389$  °С ( $Fe_2B$ ) и  $1540$  °С ( $FeB$ ) и удельной теплоемкостью при нагреве менее  $1,26$  кДж/(кг·К) практически отсутствовало искрообразование [6]. По нашему мнению, наиболее вероятной причиной этого является образование при нагревании на воздухе борного ангидрида  $B_2O_3$  с низкой температурой плавления ( $t_{пл} = 480$  °С). Также низкое искрообразование наблюдалось у цинковых и карбонитридных 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 (рисунок 1).

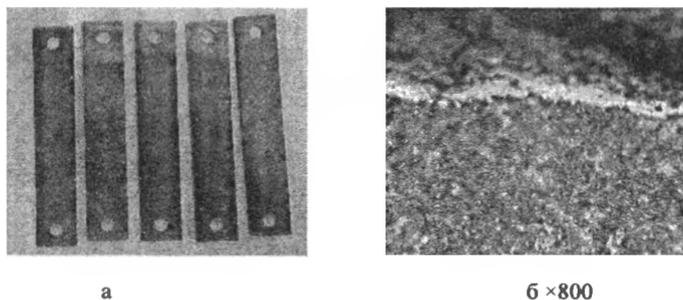


Рисунок 1 – Внешний вид образцов с цинковым покрытием для испытаний по СТБ 11.05.04-2007 (а) и микроструктура карбозитрированного слоя (б)

Таким образом, в результате проведенных работ выполнены исследования искрообразования различных вариантов покрытий при истирании образцов вращающимся абразивным кругом. Дана характеристика фрикционных искр на покрытиях диффузионного типа. Наиболее низкое искрообразование наблюдалось у борированных покрытий. По результатам испытаний вышеуказанные диффузионные покрытия согласно СТБ 11.05.04-2007 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 и 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. **Бериллиевые бронзы: проблемы и перспективы** [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.softmetall.ru/>. – Дата доступа : 03.04.2012.
5. **Монюшко, В.Н.** Количественная оценка взрывоопасности фрикционных искр / В.Н. Монюшко // Безопасность труда в промышленности. – 1983. № 12. – С. 37–38.
6. **Физические величины: справочник** / под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мелихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991.– 1232 с. – С. 444.

УДК 621.785.5

**В.Ф. ПРОТАСЕВИЧ**, канд. техн. наук,  
**Г.В. СТАСЕВИЧ** (БНТУ)

### **ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА БОРОКАРБОНИТРИРОВАННОГО СЛОЯ**

В работе [1] приведены данные получения боридных покрытий на предварительно карбонитрированной стали 20, а также исследованы фазовый состав, строение и свойства борированных слоев. В результате комплексной обработки на стали были сформированы двухфазные боридные покрытия с высокой микротвердостью. Установлено, что микротвердость боридных фаз на карбонитрированной стали выше, чем у боридов, полученных без предварительной обработки. Однако из-за низких значений микротвердости под боридным слоем в переходной зоне (1400, 2300 МПа) боридные по-