



УДК 621.785

Поступила 04.11.2013

А. А. БАКИНОВСКИЙ, БНТУ

## СНИЖЕНИЕ ФРИКЦИОННОГО ИСКРООБРАЗОВАНИЯ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ПОМОЩЬЮ ПРОЦЕССОВ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

*Исследовано влияние структуры и свойств диффузионно-легированных слоев на уровень искрообразования в условиях фрикционного контакта. Продемонстрирована специальная установка для испытания материалов и покрытий на искробезопасность. Показаны результаты испытаний боросодержащих диффузионных слоев на искробезопасность.*

*The influence of the structure and properties of diffusion-alloys layers to the level of sparking in frictional contact. Demonstrated a special installation for testing materials and coatings for intrinsic safety. Show the results of boron-containing diffusion layers of the intrinsic safety.*

**Введение.** Образование фрикционных искр недопустимо в местах, где присутствуют легковоспламеняющиеся газы, смеси или даже пыль. Искры, образующиеся при ударе, например стального стержня, охлаждаясь от 1630 до 1430 °С, отдают в окружающую среду  $38 \cdot 10^{-3}$  Дж, тогда как минимальная энергия поджигания при температурах 20–25 °С бензола и метана почти в 10 раз меньше [1]. Температура искр, возникающих при трении, также достаточно высокая (1640–1660 °С при трении стали о сталь) [2]. Поэтому все детали механизмов, при работе которых возможно искрение, а также весь инструмент, при помощи которого проводятся ремонтные работы в помещениях с наличием легковоспламеняющихся газов, должны быть изготовлены из искробезопасных неискрящих материалов. На данный момент основным материалом для изготовления искробезопасного инструмента является бериллиевая бронза типа БрБ2 или БрБ2,5. На рис. 1 представлена классификация решений по обеспечению фрикционной искробезопасности инструмента. Производство инструмента из цветных сплавов обладает рядом бесспорных преимуществ: инструмент немагнитен, имеет высокую коррозионную стойкость, по прочностным характеристикам не уступает стальному. Фирма Ampco дает на подобный искробезопасный инструмент пожизненную гарантию. Однако материал типа бериллиевой бронзы имеет очень высокую стоимость. При профессиональной работе инструментом в местах с небольшой концентрацией легковоспламеняющихся газов или для обслужи-

вания транспорта, перевозящего взрывоопасные грузы, возможна замена цельнобронзового инструмента на омедненный гальваническим способом. Но такой инструмент сильно уступает по коррозионной стойкости и долговечности бронзовому. Кроме того, покрытие имеет очень низкую износостойкость [3]. В связи с этим мы считаем перспективным способом обеспечения фрикционной искробезопасности диффузионное легирование. Известен факт сильного снижения искрообразования при фрикционном контакте борированной стали. Структура поверхности после борирования состоит из высоко- и низкобористой фаз. По нашему мнению, этот эффект можно объяснить следующим механизмом. Рассмотрим оторвавшуюся частичку бориды железа.

Многое зависит от ее начальной температуры и соответственно от условий фрикционного контакта. Если температура не высока, то происходит следующее: бор окисляется гораздо легче и при более низких температурах, чем железо. В результате частица борированного слоя мгновенно покрывается борным ангидридом ( $B_2O_3$ ), который в свою очередь имеет низкую температуру плавления (460 °С). Он слабо пропускает кислород к самому материалу. В результате железо практически не окисляется и постепенно остывает, сохраняя на поверхности слой оксида бора. Таким образом, этот маленький кусочек бориды железа не разогревается до высоких температур и не является взрыво- и пожароопасным. Если же начальная температура велика, то кусочек металла под слоем борного



Рис. 1. Блок-схема вариантов исполнения искробезопасного инструмента

ангидрида может дойти до кипения и, как результат, разрушение оксидного слоя. В этом случае капли металла разлетаются и горят. Поэтому нельзя говорить об абсолютной безопасности боридов. Просто условия, при которых оторванному в процессе фрикционного контакта кусочку покрытия сообщается достаточно большое количество энергии, очень маловероятны. Однако наряду с высокой износостойкостью и хорошей коррозионной стойкостью в некоторых средах боридные слои обладают высокой хрупкостью и довольно легко скалываются, что делает невозможным или очень затруднительным применение их как покрытие для слесарного инструмента. Ввиду этого было принято решение об исследовании влияния многокомпо-

нентных боросодержащих диффузионных покрытий на уровень искрообразования в условиях фрикционного контакта.

**Материалы и методики исследований.** В качестве процессов были выбраны боросилицирование, бортитанирование, борохромирование и однофазное борирование. Насыщение проводили в порошковых смесях на стали 40ХФА – популярного материала для изготовления слесарного инструмента. Чтобы исследовать уровень искрообразования довольно тонких диффузионных слоев на стали, была сконструирована специальная установка (рис. 2). Принцип работы установки следующий. Образец в форме, заранее подготовленный, с определенной площадью поверхности грани, ко-

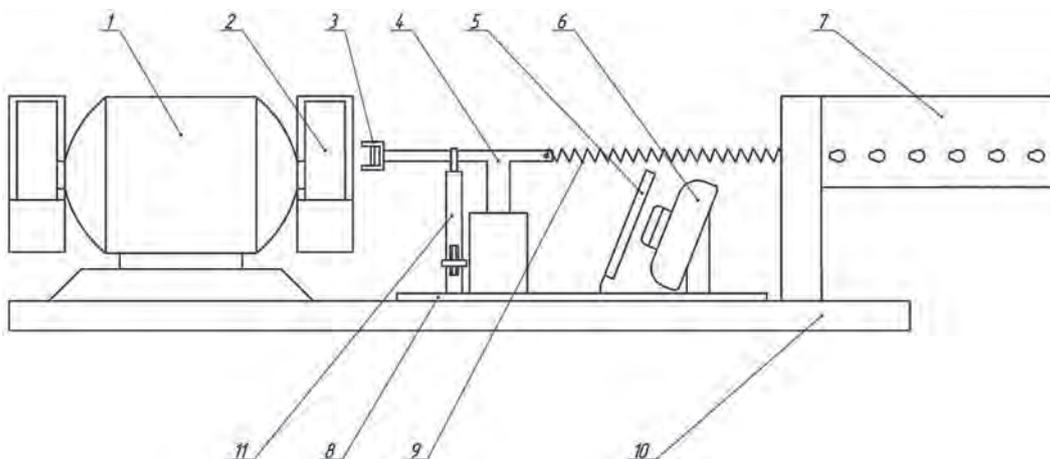


Рис. 2. Схема установки для испытаний на искробезопасность: 1 – привод; 2 – абразивный круг; 3 – устройство крепления образца; 4 – механизм поворота образца; 5 – защитное стекло; 6 – камера фото- и видеосъемки; 7 – система регулировки силы удара образца о поверхность абразивного круга; 8 – система регулировки положения поворотного механизма; 9 – упругий элемент (пружина); 10 – станина; 11 – спусковой механизм

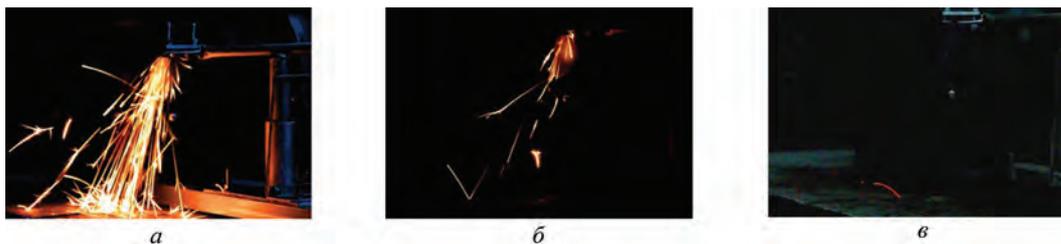


Рис. 3. Искрообразование исследуемых образцов: *а* – сталь без покрытия; *б* – после борохромирования; *в* – после боросилицирования

торой он будет ударяться, фиксируется в устройстве крепления образца 3. Зажимается двумя болтами в положении, при котором в момент удара образец будет соприкасаться с абразивным кругом 2 всей поверхностью своей грани. Удар образца об абразивный круг 2 производится при помощи механизма поворота образца 4, который работает под действием силы натяжения пружины 9, закрепленной на пластине 7. Эта пластина, по сути, является системой регулировки силы и скорости удара образца о поверхность абразивного круга. Регулировка эта осуществляется путем закрепления конца пружины на одном из шести отверстий в пластине. Естественно, что чем дальше расположено отверстие, тем больше сила натяжения пружины и соответственно сильнее удар. Абразивный круг 2 в момент испытания находится в движении под действием привода 1. В качестве привода в данном случае используется шлифовальный станок. Скорость вращения – 2950 об/мин. При помощи спускового механизма 11 происходит пуск системы. При этом ведется видеосъемка в высоком качестве с видеокамеры 6, которая защищена защитным стеклом 5. Вся эта конструкция крепится к станине 10 болтами. Для гашения вибраций используются резиновые прокладки.

**Результаты исследований.** После того, как получены видеозаписи испытаний всех покрытий, эти видеозаписи покадрово анализировали и выбирали фотографии в первый момент касания образца и абразивного круга. В этом случае исследованию на искробезопасность можно подвергать довольно тонкие покрытия, поскольку их искрение

происходит именно в первые секунды контакта. Также для большей достоверности результатов абразивный круг использовали по одному разу каждой стороной. Это необходимое условие, так как при повторном использовании поверхность абразивного круга будет иметь следы контакта с предыдущим образцом [4].

В качестве результатов испытаний приведены фотографии искрения образцов из стали без покрытия (рис. 3, *а*), после боросилицирования (рис. 3, *в*) и после борохромирования (рис. 3, *б*) при одинаковых условиях проведения испытаний. По представленным результатам можно сделать вывод, что боросилицирование имеет наименьший уровень искрообразования.

Борохромирование не так сильно снижает искрение при фрикционном контакте, однако диффузионный слой состоит из боридов железа, легированных хромом. Такая поверхность обеспечивает очень высокий уровень износостойкости, что, несомненно, является важной характеристикой инструмента, в то время как при боросилицировании на поверхности образовался диффузионный слой из твердого раствора кремния и бора в железе. Этот слой имеет твердость ниже твердости стали и является ненадежным. Ввиду этого на данном этапе исследования можно сказать, что для обеспечения понижения уровня искрообразования деталей при трении предпочтительнее применение борохромирования. Дальнейшее исследование предполагается вести в направлении получения оптимального комплекса свойств покрытия путем варьирования состава насыщающей смеси и условий насыщения.

### Литература

1. Льюис, В. Пламя и взрывы в газах / В. Льюис, Г. Эльбе, М.: Мир, 1968.
2. Крайнов, А. Ю. Критические условия воспламенения искрой смеси газообразных окислителя и горючего с реагирующими частицами / А. Ю. Крайнов, В. А. Баймлер // Физика горения и взрыва. 2002. Т. 38. № 3. С. 30–36.
3. Бондарь, В. А. Взрывобезопасность электрических разрядов и фрикционных искр / В. А. Бондарь, В. Н. Веревкин, А. И. Гескин; под ред. В. С. Кравченко и В. А. Бондаря. М.: Недра, 1976.
4. Шебеко, Ю. Н. Методика оценки искробезопасности материалов / Ю. Н. Шебеко, В. Ю. Навценя, С. Н. Копылов и др. М.: Мир, 2000.