

В.Г. Красник , доктор техн. наук

/Минтопэнерго Украины/

В.Н. Кущенко, канд. техн.наук

/Донбасская государственная академия строительства и архитектуры/

С.В.Петров, доктор техн. наук

### **О применении композиционных материалов для защиты стальных конструкций сооружений угольной промышленности**

Предприятия угольной промышленности представляют значительную часть производственного комплекса Донецкой области и по степени техногенной опасности занимают одно из первых мест. Сооружения шахтной поверхности обеспечивают хранение, обогащение и перемещение готовой продукции, а так же транспортировку людей. Различают следующие основные типы сооружений: копры; бункера; конвейерные галереи; перегрузочные станции; здания надшахтных подъемных машин и обогатительных фабрик.

Средний срок службы основных фондов шахт и обогатительных фабрик составляет 30-45 лет. Тяжёлые условия эксплуатации, преждевременное старение, неэффективная защита от коррозии, абразивных воздействий, динамических нагрузок обуславливают частые аварии стальных конструкций надшахтных сооружений. Причем, опыт показывает резко неравномерный характер процессов физического износа несущих конструкций.

Реструктуризация отрасли предполагает дальнейшее развитие действующих предприятий. В этой связи проблема обеспечения безопасности и долговечности сооружений шахтной поверхности, вызванная неэффективностью традиционных методов антикоррозионной и противоабразивной защиты, будет усугубляться. В качестве иллюстрации приведем несколько примеров.

Коррозионное разрушение элементов армировки шахтных стволов создаёт опасность выхода подъёмного сосуда из проводников, что может быть причиной разрыва подъёмного каната при заклинивании поднимающегося сосуда. Опорные конструкции амортизаторов шахтного парашюта, как правило, скрыты под обшивкой станка копра и через 20-35 лет эксплуатации коррозионные потери сечения балок достигают 40-50%, что в ряде случаев стало причиной их разрушения и падения амортизаторов, соединительных муфт и тормозных канатов в ствол. Предельное состояние копров после 30-35 лет эксплуатации также часто вызвано коррозией подшивных ферм, станков и подкопровых рам.

Наибольшая частота аварий характерна для мостов конвейерных галерей. Разрушения галерей в большинстве случаев обусловлены коррозией монтажных узлов нижнего пояса и повреждением целевой коррозией узлов крепления элементов, которые обычно скрыты под перекрытиями. При использовании гидросмыва просыпи предельное состояние пролётных строений может наступить через 20-25 лет.

Опасно коррозионное разрушение опор конвейерных галерей (в частности, для подачи угля на открытые склады) под слоем горящего угля, так как опора может прийти в негодность через 5-10 лет. Главная причина недолговечности пролётных строений галерей из ферм - образование местных очагов коррозии. Основные факторы их возникновения:

- пересечение конструктивных элементов несущих конструкций перекрытием, что делает невозможным их ремонтное обслуживание с покраской вблизи нижних поясов ферм и способствует формированию средне- и сильноагрессивной коррозионной среды;

- наличие конструктивных зазоров в сварных узлах и между элементами составного сечения, из-за чего в узлах нижних поясов развивается щелевая коррозия, создающая в результате распирающего воздействия дополнительные отрывающие усилия в угловых сварных швах.

Причины аварий стальных бункеров: абразивное разрушение футеровки и наклонных стенок; коррозия металлических конструкций; дефекты сварных монтажных соединений. Один из наиболее часто встречающихся видов аварий – это отрыв пирамидальной части по монтажному стыку /рис.1/. На всей поверхности конструкций присутствуют следы интенсивной коррозии стали, потери сечения наклонных стенок бункера составляли 20-25%. Разрушение наступило после 20 лет эксплуатации и сопровождалось катастрофическими последствиями.

Данные о средней скорости коррозии стали в условиях длительной эксплуатации для характерных типов надшахтных сооружений приведены в табл.1. Анализ показывает, что степень агрессивности коррозионной среды может изменяться для конструктивного элемента от мало - до средне- и сильноагрессивной. Вследствие этого конструктивные элементы имеют различный ресурс, отличающийся на 10...30лет. Если строительные конструкции подвергаются абразивным или ударно-абразивным воздействиям, темп потери сечения конструктивных элементов может на порядок превышать скорость электрохимической коррозии. Затруднённый доступ для технического обслуживания элементов, подверженных неравномерному коррозионному и абразивному износу, - причина образования скрытых аварийных состояний, которые проявляются как внезапные разрушения. Поскольку нормативные методы защиты строительных конструкций на шахтной поверхности от коррозии и абразивного износа недостаточно эффективны, реальный срок службы сооружений в условиях повышенных агрессивных воздействий составляет 2-4 года, т.е. значительно меньше нормативного (40-50 лет). Ремонтные работы по восстановлению традиционных защитных покрытий в условиях действующих шахтных технологических комплексов чаще всего малоэффективны или невозможны из-за непрерывности технологических циклов или труднодоступности конструкций.

Задача повышения качества, надежности и долговечности изделий из чёрных металлов при обеспечении высоких декоративных свойств и одновременном сокращении сроков и стоимости строительства остаётся крайне актуальной. Это значит, что для защиты от коррозии и износа шахтных конструкций и сооружений необходимо: создать наиболее эффективные, экологически безопасные материалы, промышленную технологию их нанесения за наименьшую цену; разработать современное механизированное и автоматизированное оборудование и базы (заводы) по изготовлению труб, проката и других изделий с покрытием; усовершенствовать технологию возведения конструкций и сооружений из элементов с защитным покрытием.

Для разрешения проблемы обеспечения долговечности стальных конструкций зданий и сооружений угольной промышленности предлагаются новые защитные композиционные материалы, технология и оборудование для их нанесения, разработанные научно-производственным предприятием ТОПАС. В первую очередь, это композиционное алюмокерамическое покрытие, технология его нанесения и соответствующая аппаратура. Первоначально оно предназначалось для защиты корпусов ледоколов, нефтяных платформ и изделий, которые эксплуатируются в сильно- и слабо-агрессивных средах /рН = 2...12/ и растворах солей. Наряду с обеспечением коррозионной стойкости, покрытие должно было обладать высокой износостойкостью, способностью сохранять свойства при гибке и холодной штамповке изделия, эффективно защищать сварные швы и в течение всего периода эксплуатации гарантировать защитные и декоративные показатели.

Покрытие композиционное, хорошо сцеплено с основой, состоит из алюминиевой матрицы с равномерно распределенными в

ней металлургически связанными частицами керамики и интерметаллидов. Получено высокоэнергетическим напылением расплавленных в плазменном сверхзвуковом потоке частиц алюминия и керамики на предварительно подготовленную поверхность.

Защита металла от коррозии определяется следующими показателями: механической изоляцией от агрессивной среды; адгезией покрытия к изделию, препятствующей образованию новой фазы (ржавчины) на границе раздела металл - покрытие; торможением электродных реакций, обуславливающих коррозионный процесс, путем создания предпосылок для пассивации металла; структурными превращениями, определяющими свойства покрытий. Все эти факторы присутствуют в алюмокерамическом покрытии. За счет композиционного строения в нем под воздействием агрессивной среды образуется множество микрогальванических элементов, которые стимулируют химические реакции образования нерастворимого осадка. Последний плотно закупоривает поры и покрывает шероховатости, выполняет роль диффузного барьера или пассиватора, предотвращая доступ агрессивной среды к металлу. Поэтому данное покрытие - протекторное пассивирующее. Такая особенность делает его "самозалечивающимся", т.е. участок с механическим разрушением под действием агрессивной среды покрывается нерастворимым осадком, который надежно изолирует стальную основу, а керамика придает ему повышенные механические характеристики.

Следует отметить, что алюмокерамическое покрытие выполнит свои функции только при точном обеспечении условий его формирования. Качественный скачок в улучшении свойств газотермическое покрытие на основе алюминия получает благодаря таким новшествам: первое - исходным сырьём принята механическая смесь порошков алюминия с керамикой Alucerm topas-2000™, второе - в качестве греющей и разгонной среды используется сверхзвуковой поток плазмы продуктов сгорания углеводородного газа с воздухом. Сравнение технико-экономических показателей различных методов получения алюминиевого покрытия приведено в табл.2.

Промышленная реализация технологии стала возможной с освоением новой техники сверхзвукового плазменного /2а/ и электродугового /2б/ напыления. Она позволила повысить скорость напыляемых частиц с 150-250 до 500-700 м/с, что улучшило служебные свойства покрытий. При транспортировке в сверхзвуковом плазменном потоке расплавленных частиц алюминия и керамики создаются такие условия, что в полёте до основы максимально интенсифицируются процессы их столкновения и коагуляции. Это способствует зарождению химического взаимодействия между разнородными материалами с образованием интерметаллидов за чрезвычайно короткое время (сотые доли секунды). При ударе о поверхность расплавленные частицы деформируются, внедряются в неровности основы и образуют очаги схватывания.

Частицы керамики в сравнении с алюминием имеют больший запас тепловой энергии и при формировании покрытия образуют участки микросплавления с интерметаллидами по границам контакта, обладающие повышенной когезионной прочностью и плотностью. Это способствует формированию хорошо сцепленного с основой и плотного композиционного алюмокерамического покрытия (пористость ~ 0,5%) с равномерно распределенными в алюминиевой матрице частицами керамики с интерметаллидными прослойками.

Для напыления покрытий на трубы в стационарных условиях используется специализированная плазменная аппаратура "ПЛАЗЕР-80", "ПЛАЗЕР-180", в полевых условиях (на соединения труб) - установка "ПЛАЗЕР-40". Технологическая схема напыления с использованием указанных установок приведена на рис.3. Алюмокерамическое покрытие ПЛАЗЕР™ благодаря новым свойствам не конкурирует по эксплуатационным характеристикам с лакокрасочными, гальваническими

покрытиями, получаемыми окунанием в расплав, стеклоэмалевыми, битумными, битумно-резиновыми, полимерными и эпоксидными.

Комплексные испытания покрытия ПЛАЗЕР™ проводился в 1994 г. в АО «ОРГРЭС», (Российская Федерация). Защитное покрытие исследовали в соответствии с «Методическими указаниями по стендовым испытаниям антикоррозионных покрытий для наземных и подземных трубопроводов» (МУ 34-70-151-86). Установлено, что под воздействием факторов старения (температуры, совместно температуры, влаги, агрессивных сред, электрических потенциалов) покрытие не изменяет первоначальных свойств и выполняет роль протекторной защиты в течение всего периода эксплуатации (до 50 лет). Изолированные изделия можно эксплуатировать и хранить при любой температуре окружающей среды, причем не требуется дополнительная катодная защита.

Преимущества процесса: высокая производительность (50 м<sup>2</sup>/ч покрываемой поверхности), легко автоматизируемый, коэффициент использования напыляемого материала 90%, эффективное использование сырьевой базы Украины (керамический компонент покрытия добывают только в нашей стране), низкие удельные энергозатраты (1 кВт/ч на квадратный метр покрытия). Качество алюмокерамических покрытий ПЛАЗЕР™ подтверждено более чем 8-летней опытно - промышленной эксплуатацией различных изделий и деталей во многих промышленных сферах. Это позволяет рекомендовать их для защиты от коррозии шахтных конструкций и сооружений.

В целях внедрения технологии нанесения алюмокерамического покрытия ПЛАЗЕР™ НТЦ «ПЛАЗЕР» предлагает полнокомплектное оборудование для технологической механизированной линии и для нанесения в ручном режиме; шеф-монтажные, пусконаладочные работы; обучение персонала заказчика; поставку расходных материалов - алюмокерамических порошковых и проволоочных.

Таблица 1

Наименование сооружения	Наименование конструктивного элемента	Средняя скорость коррозии (мм/год)
1.Копры	1.1.Подкопровая рама	0.05...0.07
	1.2.Решётка станка	0.05...0.15
	1.3.Стойки станка	0.02...0.03
	1.4.Подшкивные конструкции	0.02...0.03
	1.5.Ветви укосины	0.02...0.03
	1.6.Решётка укосины	0.02...0.08
2.Мосты транспортёрных галерей	2.1.Опоры	0.02...0.03
	2.2.Опоры засыпанные углём	0.05...0.1
	2.3.Верхний пояс	0.02...0.05
	2.4.Нижний пояс	0.1...0.2
	2.5.Решётка выше уровня перекрытия	0.02...0.05
	2.6.Решётка в месте прохождения через перекрытие	0.1...0.2
	2.7.Балки перекрытия	0.1...0.15
3.Прегрузочные станции	3.1.Стойки каркаса	0.02...0.03
	3.2.Ригеля и балки перекрытия	0.03...0.06
	3.3.Связи	0.03...0.06

Таблица2

Показатели	Газопламенное напыление	Электродуговая металлизация	Традиционное плазменное	Сверхзвук плазменное
Используемый газ	ацетилен, пропан-бутан + кислород	воздух	азот, аргон + водород	воздух + метан
Расход газа, м <sup>3</sup> /ч	4	90	5	10
Мощность, кВт	20	10	30	50
Производительность, кг/ч	8	12	7	30
Кэф. использования напыляемого материала, %	80	60	75	85
Удельные затраты, кВт·ч/кг	3,1	1,4	5,7	2,0
Напыляемый материал	алюминиевый порошок	алюминиевая проволока	алюминиевый порошок	порошок алюминий+керамика
Скорость частиц, м/с	50	80	150	300-500
Пористость покрытия, %	12	15	8	0,5
Прочность сцепления покрытия с основой, МПа	15	18	25	35
Прочность при ударе, кгс·см	10	15	20	50
Коррозионный потенциал, мВ	900	900	750	460
Плотность тока коррозии, А/см <sup>2</sup>	2·10 <sup>-6</sup>	1·10 <sup>-6</sup>	6,5·10 <sup>-7</sup>	4·10 <sup>-8</sup>
Газообразивный износ. Убыль массы, мг	100	80	40	5



а)



б)



в)

Рис.1 Разрушение стального пирамидального бункера вместимостью 500 м<sup>3</sup>  
а - повреждение конструкции в зоне обрушения бункера вместимостью 500 м<sup>3</sup>, б - фрагмент разрушенной пирамидальной части бункера, в - линия отрыва при разрушении бункера.

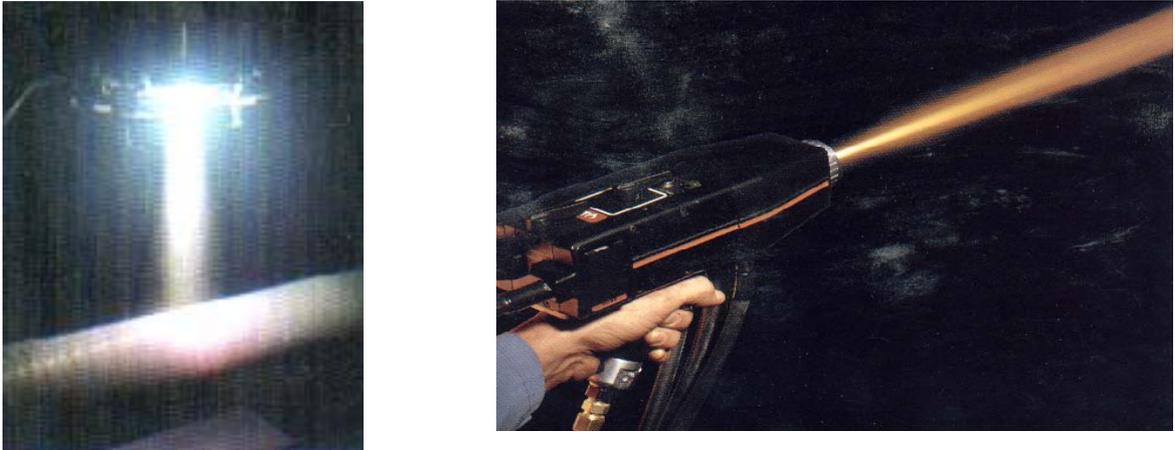


Рис.2 Напыление алюмокерамического покрытия;  
 а – плазменное напыление в заводских условиях, б – электродуговое сверхзвуковое напыление

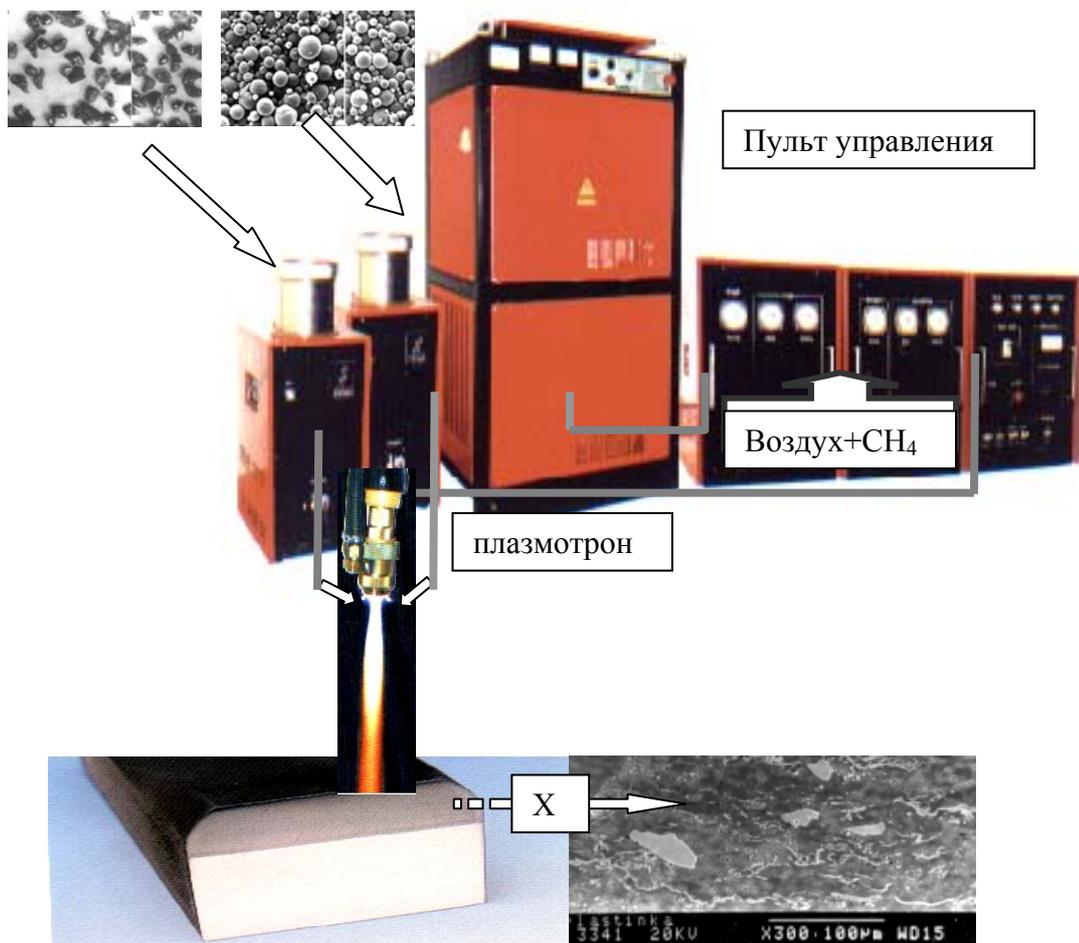


Рис.3. Конфигурация установки сверхзвукового плазменного напыления алюмокерамических покрытий из порошковых материалов