

## ГАЗОПЛАМЕННОЕ НАПЫЛЕНИЕ ПОКРЫТИЙ

*Е.Д. Манойло*

*Институт сварки и защитных покрытий*

Увеличение размеров, повышение быстродействия и производительности оборудования сопровождается ужесточением условий работы его узлов и механизмов. Увеличить срок службы как деталей, так и в целом машин и оборудования можно путем нанесения на быстроизнашивающиеся поверхности слоев покрытий, обладающих достаточным уровнем требуемых свойств — стойкости к коррозии, кавитации, износу при различных температурах, жаростойкости и др. [1].

В последние годы методы газопламенного напыления находят все большее применение на многих предприятиях Республики Беларусь. Для этих целей создаются необходимое оборудование и материалы, разрабатываются технологии газопорошковой наплавки и газопламенного напыления, позволяющие в ряде случаев обеспечить параметры качества покрытий, близкие к материалам в литом состоянии.

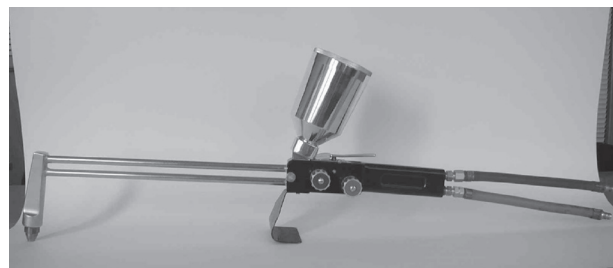
В 1956 г. фирма Метко (США) в ответ на спрос рынка представила аппарат МЕТКО 5Р для быстрого и эффективного газопламенного напыления покрытий из самофлюсующихся сплавов [2]. Благодаря высокой производительности, эффективности, легкому управлению и широким возможностям, он широко применяется в промышленности до настоящего времени.

Это способствовало созданию в нашей стране комплекта аппаратуры газопламенного напыления покрытий, разработке и внедрению ряда новых технологий нанесения защитных покрытий. Комплект аппаратуры для нанесения покрытий включает смонтированный на подставке универсальный пульт управления газами, к которому посредством шлангом могут быть подключены аппараты газопорошковой наплавки, газопламенного напыления порошков, проволок и шнуров (рис. 1, см. обложку) [3].

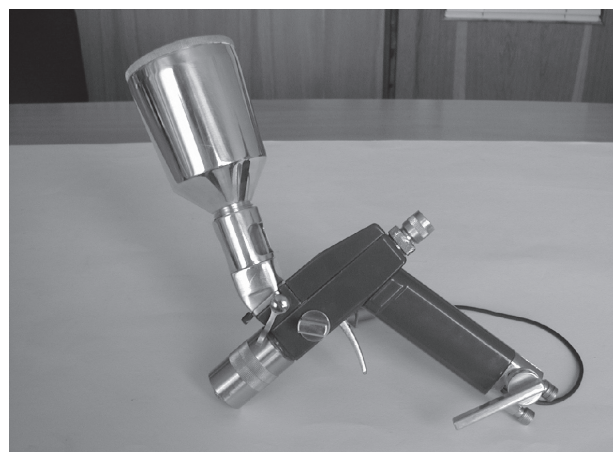
Для нанесения покрытий методом газопорошковой наплавки из порошков самофлюсующихся сплавов на основе никеля или кобальта при восстановлении изношенных и упрочнении новых

деталей, исправлении дефектов механической обработки, а также литья, служит аппарат ТЕНА-ГНпм (рис. 2) [3].

Аппараты газопламенного порошкового напыления ТЕНА-Ппм повышенной мощности (рис. 3) предназначены для нанесения покрытий из широкой номенклатуры порошков, включая самофлюсующиеся сплавы, аморфные материалы, сплавы на основе железа, никеля, меди, механические смеси из них, полимерные порошки, специальные композитные порошки на основе оксидов и полимеров и др. [3].



*Рис. 2. Аппарат газопорошковой наплавки ТЕНА-ГНпм*



*Рис. 3. Аппараты для газопламенного нанесения покрытий повышенной мощности ТЕНА-Ппм: а — низкоскоростного; б — высокоскоростного напыления*

Для повышения качества напыления покрытий из шнуровых и проволочных материалов, был разработан новый аппарат с электроприводом и цифровой системой управления подачей шнура ТЕНА-Уэ, приведенный на рис. 4 (см. обложку) [3].

В газопламенных методах для нагрева и переноса частиц используется энергия, выделяющаяся при горении смеси горючего газа с кислородом. Для очистки сжатого воздуха и управления параметрами (давлением и расходом) газов при термическом напылении покрытий аппаратами порошкового, проволочного и шнурового напыления, используется универсальный пульт управления газами ТЕНА-ПУГ. Применяемые газы: ацетилен технический ГОСТ 5457-75 или пропан-бутан технический ГОСТ 20448-80; МАФ; кислород технический ГОСТ 5583-78; сжатый воздух или азот газообразный ГОСТ 9393-74.

Благодаря возможности использования горючего газа до двух и более метров кубических в час, что соответствует электрической мощности около 30 кВт, все аппараты позволяют наносить покрытия с качественными параметрами, близкими к параметрам плазменных покрытий. Например, газопорошковой наплавкой аппаратом ТЕНА-ГНпм можно наносить покрытия из самофлюсующихся никелевых сплавов на детали массой более 20 кг, а при локальном нанесении — без ограничения массы. При этом обеспечивается качество соединения материала с подложкой, близкое к материалу в литом состоянии.

#### Газопорошковая наплавка

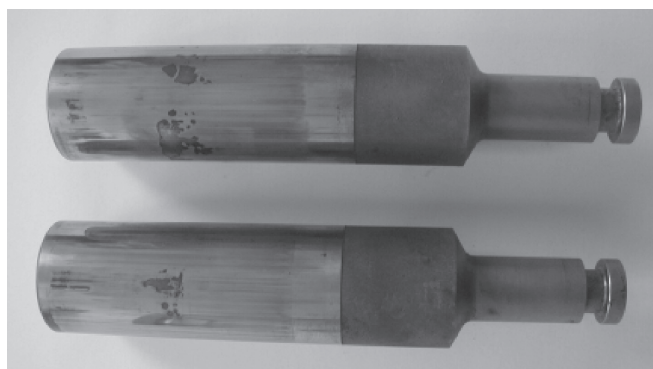
В условиях ОАО «Нафтан» трехплунжерные насосы марки NJ 116 ВА фирмы «РМН» (Франция), перекачивают весьма агрессивные жидкости, содержащие песок, и ресурс работы их плунжеров составляет около шести месяцев. Основной причиной износа плунжеров при этом является совместное воздействие коррозии и из-

носа трением. Плунжеры имеют следующие геометрические размеры: диаметр 55 мм, длину рабочей части — 180 мм. Пятно износа расположено в средней его части (рис. 5). Анализ показал, что на изношенных участках подложка окислена, хотя материалом плунжеров является нержавеющая сталь. Толщина слоя покрытия составляет около 0,2 мм, а средняя микротвердость — 861,4 кгс/мм<sup>2</sup> (эквивалентна твердости 64 HRC).

В соответствии с разработанным процессом для восстановления и упрочнения плунжеров был использован аппарат газопорошковой наплавки ТЕНА-ГНпм (рис. 2) и порошок Т-Термо № 55 (Ni-основа, 15–17 % Cr, 2,9–3,8 % В, 3,9–4,5 % Si, 1,0–1,2 % С и 3,0–3,5 % Fe), производства ОАО «ГЦ Техникорд» (Россия). Размер частиц — до 100 мкм. Температура плавления  $T_m = 1323–1373$  К. Твердость материала — 58–62 HRC [4].

Основными стадиями процесса являются: снятие изношенного слоя толщиной 0,35–0,4 мм шлифованием; струйно-абразивная обработка напыляемой поверхности; газопорошковая наплавка покрытия толщиной 0,7–0,8 мм; охлаждение детали с покрытием в песке; шлифование детали до номинального размера.

Основные технологические режимы процесса нанесения покрытия следующие: давление кислорода — 0,6 МПа, горючего газа МАФ — 0,2 МПа; расход кислорода — 6000 л/ч, МАФа — 1800 л/ч. Расход порошкового материала — 4–6 кг/ч. При этом коэффициент использования порошка составил около 85 %. На рис. 5 представлены изношенные и восстановленные плунжеры.



а



б

Рис. 5. Изношенные (а) и восстановленные (б) детали

Новый метод нанесения упрочняющего покрытия при ремонте плунжеров насосов марки NJ 116 ВА позволил с успехом заменить покрытие из карбида хрома с 15 % Ni, нанесенное методом высокоскоростного газопламенного напыления [5].

Восстановленные и упрочненные плунжеры впервые были установлены в насосы марки NJ 116 ВА в январе 2006 г. В результате эксплуатации в условиях ОАО «Нафтан» плунжеры обеспечили ресурс работы насосов, выше фирменных. Процесс восстановления и упрочнения плунжеров используется уже в течение более 5 лет, что позволило отказаться от импорта деталей и сэкономить более 100 тыс. евро.

Другая технология — ремонт деталей металлорежущего оборудования, в частности чугунных поперечных направляющих большого токарного станка, с помощью газопорошковой наплавки никелевым самофлюсующимся сплавом аппаратом ТЕНА-ГНпм (рис. 6).

Износ поверхностей направляющих был неравномерным и в отдельных местах превышал 2–5 мм. Перед нанесением покрытия для удаления остатков масла и влаги изношенные поверхности деталей были нагреты до 180–200 °С и подвергнуты струйноабразивной обработке. Для наплавки использовался порошковый сплав на никелевой основе ПГ-12Н-01 Торезского завода наплавочных твердых сплавов (г. Торез, Донецкая область, Украина). Твердость наплавленного слоя покрытия — 35–40 HRC.

Восстановленные таким образом детали были обработаны фрезерованием и установлены на токарный станок, обеспечив возможность его дальнейшей эксплуатации с параметрами точности, близкими к точности нового станка.

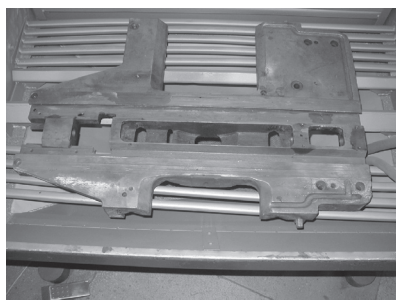
Еще одна технология газопорошковой наплавки никелевым самофлюсующимся сплавом аппа-

ратом ТЕНА-ГНпм была разработана и использована для ремонта матрицы, пуансона и пластин пресса ВР-420 ОАО «Кореличи-Лен», служащего для изготовления брикетов из отходов переработки льна. Для наплавки использовался порошковый сплав на никелевой основе ПГ-12Н-02 с твердостью наплавленного слоя 45–50 HRC Торезского завода наплавочных твердых сплавов. В результате ремонта были восстановлены технические характеристики пресса, что обеспечило выпуск годной продукции.

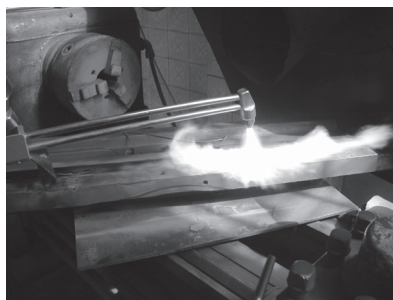
Технология газопорошковой наплавки была также разработана для восстановления прокатного вала диаметром 200 мм и длиной 320 мм (ЗСООО «Белпелет», г. Минск), поврежденного в результате попадания гаечного ключа, упущенного рабочим при ремонте линии. Наплавку производили порошковым никелевым самофлюсующимся сплавом ПГ-10Н-04, который может быть нанесен толщиной до 8–10 мм, хорошо сопротивляется ударам и не окисляется при высоких температурах. Твердость покрытия ~230 НВ, оно легко обрабатывается резанием. Восстановленная деталь обеспечила оперативный ввод в эксплуатацию линии по выпуску продукции.

Газопламенное напылением покрытий из самофлюсующихся сплавов системы Ni – Cr – В – Si с последующим оплавлением позволяет повысить сопротивление поверхности трения к абразивному изнашиванию, например по сравнению с закаленными сталями, содержащими 0,6 % углерода, в 5 раз [6].

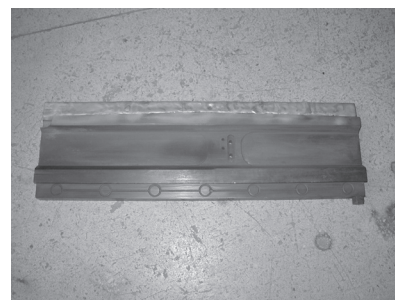
Созданный в 2008 г. процесс упрочнения плунжеров глубинных скважинных насосов включает следующие операции: струйноабразивную обработку, предварительный подогрев детали до температуры около 100 °С, газопламенное напыление покрытия, оплавление его и медленное охлаждение детали с покрытием.



а



б



в

Рис. 6. Деталь, подготовленная к наплавке (а); процесс газопорошковой наплавки (б); восстановленная деталь (в)

Для реализации новой технологии была создана установка ТЕНА-ДМВ-2000 для полуавтоматической обработки деталей типа «вал» длиной до 2 м. В зависимости от комплектации, она обеспечила струйно-абразивную обработку, предварительный подогрев детали, напыление и оплавления покрытия.

Установка ТЕНА-ДМВ-2000 снабжена циклоном, вакуумной системой сбора абразива и фильтром очистки отработавшего воздуха.

Обработка поверхности детали обеспечивается путем ее вращения при относительном перемещении одного из аппаратов: струйно-абразивной обработки, аппарата-распылителя ТЕНА-Псф или ТЕНА-ГНпм. На рис. 7 (см. обложку) представлена установка ТЕНА-ДМВ-2000 в работе.

Для напыления покрытий использовали порошок самофлюсующегося твердого сплава Deloro 60M (Ni-основа; 15 % Cr; 3,2 % В; 4,4 % Si; 0,75 % С; 3,5 % Fe) фирмы «Deloro Stellite» (Канада) с размерами частиц до 100 мкм, обеспечивающий твердость напыленного и оплавленного покрытия не менее 60 HRC. Напыление покрытий производили аппаратом газопламенного напыления порошков ТЕНА-Ппм, снабженным модулем для напыления самофлюсующихся сплавов. Режимы процесса напыления следующие: давление газов, МПа: кислорода — 0,6; МАФа — 0,2; сжатого воздуха — 0,2; расход газов, л/ч: кислорода — 6000; МАФа — 1800, сжатого воздуха — около 20000; дистанция напыления — 200–250 мм. Оплавление напыленных покрытий производили аппаратом газопорошковой наплавки ТЕНА-ГНпм. Режимы процесса оплавления следующие: давление газов, МПа: кислород — 0,6; МАФ — 0,2; расход газов, л/ч: кислорода — 5000, МАФа — 1500; дистанция оплавления — 30–50 мм.

Применение установки ТЕНА-ДМВ-2000 для струйно-абразивной обработки, напыления и оплавления плунжеров за счет бесступенчатого управления обеспечило возможность выбора оптимальных оборотов детали и скорости перемещения аппарата, что оказало дополнительное положительное влияние на качество наносимых покрытий. Впервые в СНГ такой комплект оборудования и технологический процесс напыления защитных покрытий на плунжеры скважинных насосов осуществлен и внедрен в 2008 г. на ОАО «Мунаймаш» (Казахстан) для упрочнения 4000 тыс. плунжеров в год [5].

В 2010 г. разработана технология газопламенного порошкового напыления покрытий из никелевого самофлюсующегося сплава аппаратом

ТЕНА-Ппм с последующим оплавлением аппаратом ТЕНА-ГНпм для защиты от искрообразования и упрочнения новых ходовых колес крана «Слуцкого завода подъемно-транспортного оборудования».

Размеры напыляемой поверхности: диаметр  $d=200$  мм, длина  $L=80$  мм. Материал покрытия — никелевый самофлюсующийся сплав Т-Термо № 55 с твердостью 55 HRC (ООО «ТЦ Техникорд», Россия). Толщина слоя покрытия 1 мм. Время напыления и оплавления покрытия 1 ч. Детали с напыленным покрытием (рис. 8) обработаны, установлены на краны и переданы заказчику.

В 2011 г. разработана еще одна технология восстановления и упрочнения вилок карданного вала (ООО «Табак-Инвест» г. Минск) газопламенным напылением покрытий из никелевого самофлюсующегося сплава Т-Термо № 55 с твердостью 55 HRC с последующим оплавлением. Напыление производили аппаратом ТЕНА-Ппм, а оплавление — аппаратом ТЕНА-ГНпм. Обработка покрытия до требуемого размера была произведена шлифованием алмазным кругом. Детали с нанесенным покрытием приведены на рис. 9.

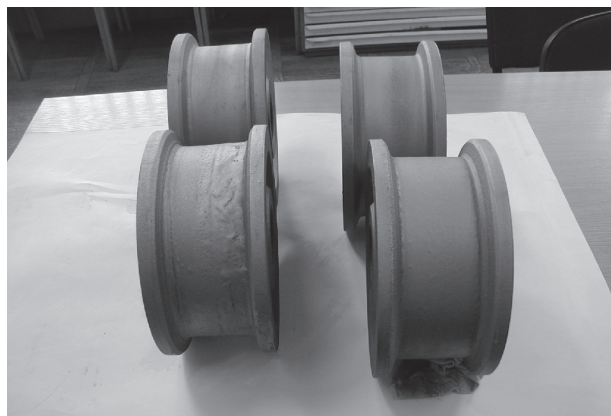


Рис. 8. Восстановленные детали



Рис. 9. Восстановленные детали

Новая технология газопламенного напыления покрытий из самофлюсующегося никелевого сплава с последующим индукционным оплавлением была разработана для упрочнения режущей кромки ножей кормоуборочных комбайнов КПК-3000 для ОАО «Гомсельмаш» [7]. В течение многих лет ножи изготавливались из стали 65Г с упрочнением режущих кромок индукционной наплавкой шихтой на основе порошкового сплава ПГ-С27М (ГОСТ 21448-75), производства НПО «ГУЛАЧЕРМЕТ» (Россия). Однако срок службы деталей с таким покрытием не обеспечивает необходимый ресурс работы, что может быть связано с необходимостью частой заточки ножей в процессе работы.

Фирма Метко (США) для защиты от износа и коррозии деталей, работающих в условиях абразивного трения, использует газопламенные покрытия из механических смесей самофлюсующихся твердых сплавов с карбидом вольфрама [2]. Для нанесения покрытий на режущие кромки ножей была использована порошковая смесь никелевого самофлюсующегося сплава с карбидом вольфрама — Т-Термо № 655 (ТЦ «СП ТЕХНИКОРД», Россия) и аппарат ТЕНА-Ппм. На рис. 10 представлены ножи кормоуборочного комбайна КПК-3000.

Работы по освоению вновь созданной технологии на ОАО «Гомсельмаш» начаты в 2008 г. Создан специальный участок для напыления режущих кромок ножей комбайна, который включает установку струйно-абразивной обработки ТЕНА-УСаО-1300, аппарат-распылитель порошков самофлюсующихся сплавов ТЕНА-Ппм с пультом управления газами ТЕНА-ПУГ (рис. 1, а) и комплектом соединительных шлан-



Рис. 10. Ножи кормоуборочного комбайна: а — отдробеструенный; б — напыленный; в — оплавленный

гов. Индукционное оплавление покрытий производится на установке, применявшейся ранее на заводе для наплавки ножей. Время струйно-абразивной обработки, нанесения покрытия и оплавления (толщина слоя 0,2–0,3 мм) составляет не более 20 с на деталь. Новая технология позволила обеспечить высокую эффективность процесса и требуемое качество покрытия [8].

Эксплуатационные испытания показали, что новая технология упрочнения режущих кромок ножей обеспечила необходимый ресурс работы комбайнов. В настоящее время на заводе вводится серийный выпуск ножей — 2000 деталей в месяц.

В 2010 г. разработана новая технология высокоскоростного газопламенного порошкового напыления покрытий аппаратом ТЕНА-Ппм из механической смеси порошков алюминиевой бронзы, соединений железа и ультрадисперсных алмазов [9, 10]. Она позволила восстанавливать изношенные поверхности деталей различного оборудования, в частности валы аммиачного насоса ГП «Минскрыбпром», буксы ОАО «БЭРН». Режимы процесса напыления следующие. Давление газов, МПа: кислород — 0,5; МАФа — 0,2; сжатый воздух — 0,5. Расход газов, л/ч: кислород — 4500; МАФ — 1800, сжатый воздух — около 20 000. Дистанция напыления — 150–175 мм.

Благодаря новому составу механической смеси, а также специальной конструкции соплового модуля и повышенной тепловой мощности струи, формируется покрытие с высокими параметрами качества: твердостью — около 45 HRC, пористостью — менее 2,5%, прочностью на разрыв — около 325 МПа. На рис. 11 представлены восстановленные валы ГП «Минскрыбпром».

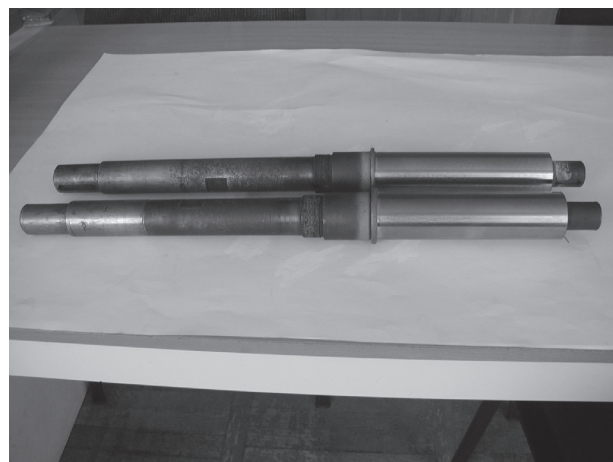
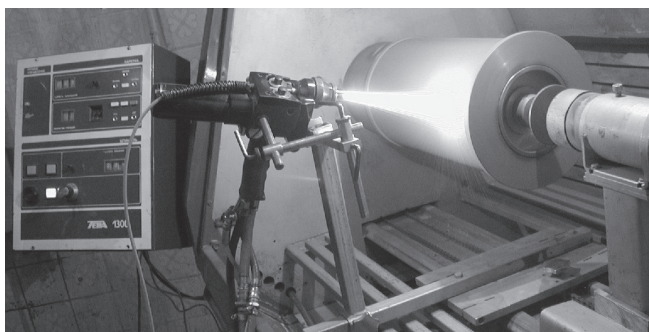


Рис. 11. Восстановленные валы аммиачного насоса

Еще одна новая технология высокоскоростного газопламенного порошкового напыления создана в 2010 г. для восстановления изношенной рабочей поверхности латунных барабанов ОАО «Щучинский завод автопровод» (рис. 12, см. обложку). Размеры барабана:  $d = 200$  мм,  $L = 300$  мм. В соответствии с требованиями чертежа толщина напыленного и обработанного шлифованием слоя покрытия должна быть не менее 0,5–1,0 мм. Покрытия напыляли механической смесью порошков алюминиевой бронзы и соединений железа аппаратом ТЕНА-Ппм.

Гибкие шнуры «Сфекорд» составляют особую группу материалов для газопламенного напыления покрытий. Они созданы в 70-х гг. прошлого столетия французской фирмой «Сфек», использовавшей технологию газопламенного нанесения покрытий из оксидов алюминия. Гибкие шнуры представляют собой получаемый экструзией композиционный материал, состоящий из порошкового наполнителя и органической связующей, полностью исчезающей при нанесении покрытия (сублимирует в процессе нагрева до температуры 400 °С) без какого-либо отложения на подложку. При газопламенном напылении покрытий из шнуров аппаратом ТЕНА-Уэ необходимый запас тепловой и кинетической энергии сообщается частицам материала в процессе взаимодействия их с пламенем смеси горючий газ — кислород. Пламя образуется в результате сгорания горючей смеси в камере воздушного сопла аппарата. При использовании в качестве горючего газа МАФ температура струи достигает 2900 °С, а скорость ее истечения — 750–1200 м/с. Шнуровой материал подают вдоль оси струи, в которой частицы плавятся или пластифицируются и приобретают скорость 100–300 м/с. Скорость частиц зависит от соотношения кислорода и горючего газа в смеси, расхода воздуха, количества вводимого в пламя шнура, гранулометрического состава и плотности материала частиц и других факторов.



В 2010 г. для ОАО «Щучинский завод автопровод» разработана технология восстановления изношенной поверхности барабана отжига медной проволоки МСС 80/8/21, высокоскоростным газопламенным напылением керамического покрытия шнурами производства ТЦ «СП ТЕХНИКОРД» (Россия), аппаратом ТЕНА-Уэ. В соответствии с требованиями чертежа толщина напыленного и обработанного шлифованием слоя покрытия должна быть не менее 0,3–0,5 мм. Размеры барабана:  $d = 200$  мм,  $L = 300$  мм.

Основные операции процесса: струйноабразивная обработка в установке ТЕНА-УСАО-1300, подогрев детали и напыление шнурового покрытия аппаратом ТЕНА-Уэ (рис. 4, см. обложку). Время напыления покрытия — 1 ч. Толщина слоя покрытия — 0,5 мм. Подслой — шнур «Nialide», основной слой покрытия «Корунд белый». Шлифование — алмазным кругом. На рис. 13 представлен процесс нанесения покрытия на барабан и деталь с покрытием.

Барабан, напыленный в соответствии с разработанной технологией, был установлен на установке отжига медной проволоки и отработал ресурс, равный новому. В настоящее время ведутся работы по напылению отдельных партий барабанов.

В 2003 г. для упрочнения штоков компрессора 5Г-600/42-60 ОАО «НАФТАН», контактирующих с сальниковым уплотнением из коксофторопласта Ф4К20, была разработана технология газопламенного высокоскоростного напыления керамического покрытия шнуром. Основные операции процесса: струйноабразивная обработка, подогрев детали, напыление аппаратом ТЕНА-Уэ подслоя сцепления шнуром «Nialide» и основного слоя покрытия шнуром «Корунд черный», производства ТЦ «СП ТЕХНИКОРД» (Россия).

На рис. 14 представлен процесс напыления покрытия и напыленные детали после механической обработки. Технологические режимы процесса напыления представлены в таблице.

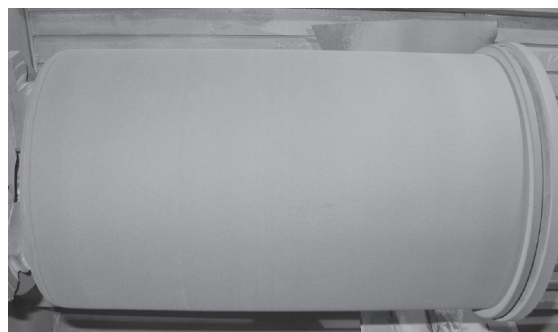
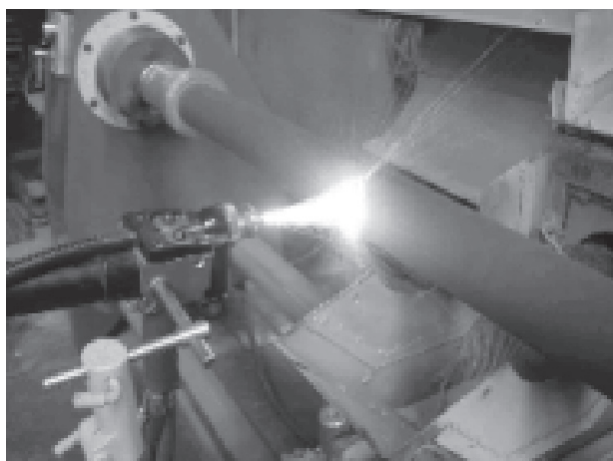
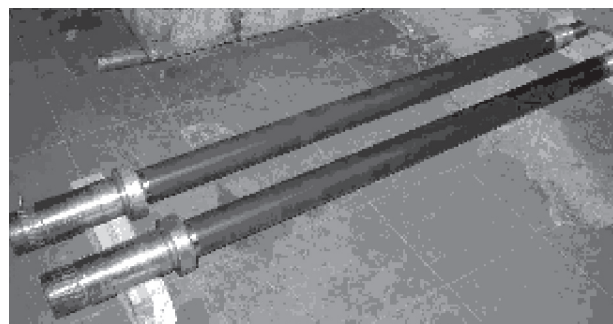


Рис. 13. Процесс напыления покрытия (а); барабан с покрытием (б)



а



б

Рис. 14. Процесс напыления керамического покрытия (а) и штоки с покрытием (б)

Таблица

Технологические режимы напыления

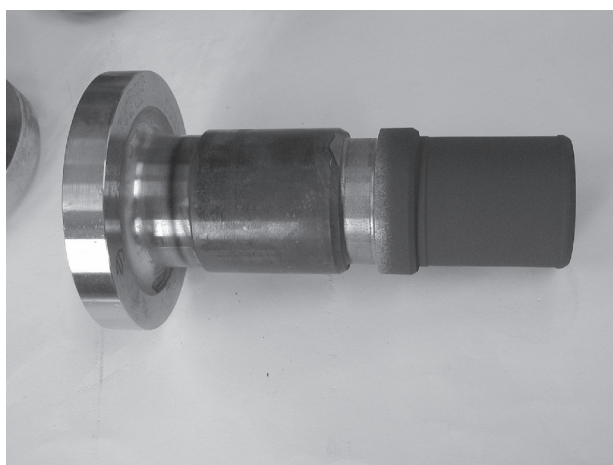
Марка шнура «Сфекорд»	Диаметр шнура, мм	Скорость подачи шнура, см/мин	Давление воздуха, МПа	Давление го- рячего газа кГс/см <sup>2</sup> МПа	Давление кислорода МПа кГс/см <sup>2</sup>	Расход газов, л/ч	
						МАФ	O <sub>2</sub>
«Ниалид»	4,75	40	0,4	0,15	0,35	1500	4000
«Корунд черный»	4,75	25	0,4	0,15	0,35	1500	4000

Упрочненные таким образом штоки показали увеличение срока службы в условиях предприятия более, чем в 4 раза, по сравнению с хромированными деталями.

В 2010 г. разработана еще одна технология высокоскоростного газопламенного напыления аппаратом ТЕНА-Уэ износостойкого оксидно-ке-

рамического покрытия шнуром «Корунд черный» на быстроизнашивающиеся рабочие поверхности валов СООО «Фидмаш». Напыленные валы приведены на рис 15. Валы с керамическим покрытием отработали требуемый ресурс времени.

В 2011 г. изготовлена опытная партия деталей и передана заказчику.



а



б

Рис. 15. Вал с керамическим покрытием (а) и опытная партия деталей (б)

В 2009–2011 гг. создана новая технология изготовления композиционного порошка на основе оксида алюминия (50–80 об. %) и Полиамида-11 с содержанием 0,5–2,5 % наноразмерных частиц оксида алюминия [11], и метод высокоскоростного газопламенного напыления покрытий с использованием этого порошка. На рис. 16 приведены снимки топографии порошков.

Расположенный на частицах полимера плотный слой из частиц оксида алюминия позволил снизить окисление и улучшить условия нагрева полимерного ядра в высокотемпературной струе распылителя за счет передачи тепла через слой-оболочку из частиц оксида алюминия и благодаря этому повысить качество покрытия. Кроме того, форма частиц, близкая к сферической, обеспечивает достаточно равномерную подачу порошка в высокотемпературную струю распылителя.

При нанесении покрытия полученный композиционный материал подают в струю газопламенного распылителя ТЕНА-Ппм, движущуюся

со скоростью 300–500 м/с, энергией которой производят перенос композитных частиц на поверхность детали, оплавление полимерной составляющей, осаждение и монолитизацию покрытия на предварительно подогретой до температуры, на 5–40 °С выше температуры плавления полимера поверхности детали. Монолитизацию покрытия производят в течение 1–30 с.

В результате напыления получены непроницаемые, прочные и твердые покрытия для защиты рабочих поверхностей деталей (импеллеров смесителей, рабочих колес вентиляторов), работающих в условиях совместного воздействия интенсивной коррозии и износа, технологического оборудования солеперерабатывающих предприятий (рис. 17, см. обложку).

Результаты испытаний, проведенные ООО «Технологии металлополимерных материалов» в производственных условиях Солигорского калийного комбината, показали увеличение срока службы деталей с покрытием в 2–3 раза.

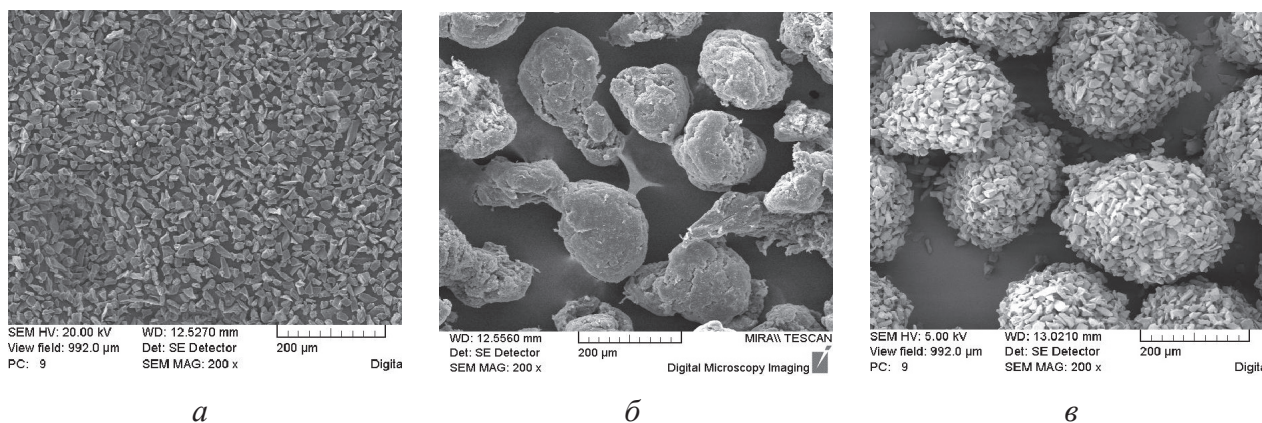


Рис. 16. Топография порошков:  
а — оксид алюминия; б — Полиамид-11; в — композиционный

### Литература

1. Порошковая металлургия и напыление покрытия / В.Н. Андиферов [и др.]. — М.: Металлургия, 1987. — 792 с.
2. Ingham, H.S. Flame spray hand-book / H.S. Ingham, A.P. Shepard // Powder process. — Vol. II. — Published by Metco Inc., Westbury, Long Island, New York, 1967. — P. 131.
3. Манойло, Е.Д. Оборудование и аппаратура для газопламенного напыления покрытий / Е.Д. Манойло // Технологии. Оборудование. Качество: 12-й Междунар. симпозиум: сб. докладов. — Минск, 2009. — С. 105–108.
4. Манойло, Е.Д. Восстановление и упрочнение плунжеров насосов газопламенным напылением защитных покрытий из самофлюсующихся никелевых сплавов / Е.Д. Манойло // Порошковая металлургия. — Вып. 29. — 2006. — С. 257–262.
5. Манойло, Е.Д. Упрочнение и восстановление плунжеров насосов газопламенными методами напыления и наплавки / Е.Д. Манойло // Сварка и родственные технологии: материалы докладов Международного симпозиума 24 марта 2010 г. — Минск, Ковчег, 2010. — С. 137–143.
6. Исследование количества структурных составляющих в наплавочных сплавах Ni – Cr – В – Si / А.Г. Сбрижер [и др.] // Порошковая металлургия. — № 5. — 1996. — С. 84–89.
7. Манойло, Е.Д. Упрочнение ножей кормоуборочной техники / Е.Д. Манойло, Н.Ф. Соловей, Ф.Е. Онащенко // Инженерия поверхности. Новые порошковые композиционные материалы. Сварка : матер. Междунар.



- симп., провод. в рамках 13-й междунар. выставки «Порошковая металлургия-2011», 22–25 марта 2011: в 2 ч. Ч. 2.: — Минск, 2011. — С. 62–69.
8. Упрочнение ножей кормоуборочных комбайнов высокоскоростным газопламенным напылением покрытий из самофлюсующихся никелевых сплавов с карбидом вольфрама / Е.Д. Манойло [и др.] // Сварка и родственные технологии: Республ. межведомств. сб. науч. трудов. — № 10. — Минск, 2008. — С. 104–111.
9. Патент РБ №14178 С1. 2011.04.30. МПК (2009). С 23С 4/06, С 22С 9/01. Порошок для высокоскоростного газопламенного напыления покрытий / Е.Д. Манойло, Ф.Е. Онащенко, А.П. Корженевский (ВУ) // ГНУ «Институт порошковой металлургии» (ВУ).
11. Патент РБ №14389 С1. 2011.06.30. МПК (2009). С 23С 4/04. Композиционный порошкообразный материал для газопламенного напыления покрытий / Е.Д. Манойло, Ф.Е. Онащенко (ВУ) // ГНУ «Институт порошковой металлургии» (ВУ).

## ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ БАШЕННЫХ КРАНОВ С НИЖНИМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ОПУ

*К.т.н. Наталевич А.Н., к.т.н. Нестеренко Н.Л.,  
к.т.н. Горбащ В.Г., к.т.н. Делендик М.Н.*

В 2010 г. строительными организациями г. Гомеля были отмечены неоднократные случаи преждевременного выхода из строя нижних секций башни башенных кранов, изготавливаемых РПУП «Могилевский завод «СТРОММАШИНА».

В частности, башенный кран КБМ-401П зав. № 102, рег. № 8624 (владелец ОАО «СМТ № 27» УМ-238), введенный в эксплуатацию 18.05.2009, был остановлен 21.09.2010 для демонтажа и изъятия вышедших из строя четырех нижних секций башни. Характерной особенностью крана является нижнее расположение ОПУ, что обуславливает массу поворотной части 100 т, т. е. 85 % от массы крана.

Возможными причинами выхода секций башни из строя, по мнению завода-изготовителя, являются многочисленная недопустимая перегрузка крана (на 21.09.2010 регистратором параметров ОНК-160Б зафиксировано 218 случаев перегрузки) и ветровая нагрузка.

Владелец крана считает, что возможными причинами может быть несоответствующее качество металла, сварных швов и (или) несоблюдение технологии при сборке и сварке.

Для определения причин преждевременного выхода секций крана из строя научными сотруд-

никами МИПК и ПК БНТУ была проведена работа по определению химического состава материала раскосов, микроструктуры стали, механических характеристик стали, проведены расчеты напряженного состояния и усталостной выносливости элементов башни крана.

### Характер повреждения секций

Вышедшие из строя четыре нижние секции № 740, 748, 764, 779 имели один–два поврежденных раскоса, (труба 60×4 сталь 20В), причем установлено два вида повреждений: наличие усталостных трещин в околосшовной зоне и погнутости (изгибы), расположенные примерно посередине раскоса (рис. 1, 2). Погнутость раскосов различна при стрелке от 40 до 65 мм (рис. 1).

На 4 указанных секциях имеются 5 раскосов с трещинами на концах, находящимися в начальной стадии развития, но без изгиба. В то же время не обнаружено раскосов, которые имели бы изгиб, но не имели трещин в местах соединения с поясом. Это показывает, что первичным признаком разрушения является зарождение и развитие трещины (рис. 2, 3). Изгиб раскосов происходит после достаточной степени развития одной или двух трещин.