

ГАЗОПЛАМЕННОЕ НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ДЕТАЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОАО «НАФТАН»

Е.Д. Манойло, Ф.Е. Онащенко

ОХП «Институт сварки и защитных покрытий»

Разработка технологий и выбор материалов для восстановления-упрочнения деталей технологического оборудования ОАО «Нафтан» были начаты в 2002 г. В табл. 1 представлена номенклатура деталей и их основные характеристики, необходимые для определения метода упрочнения – восстановления.

Из табл. 1 видно, что детали изготавливаются из высококачественных легированных сталей и имеют большие габаритные размеры, что говорит о значительных нагрузках, воздействующих на них в процессе работы. Валы насосов при работе вращаются с высокой частотой (3000 об/мин), закалены ТВЧ (45...51,3 HRC, h = 1,0...2,0 мм), при этом у них изнашиваются посадочные места под подшипники. В процессе работы компрессора изнашивается поверхность штока, контактирующая с уплотнением из коксофторопласта Ф4К20,

а так как он подвергается значительным знакопеременным нагрузкам на сжатие и растяжение, то износ поверхности трения приводит к снижению усталостной прочности и преждевременному выходу из строя всего агрегата. В соответствии с существующей технологией, для обеспечения усталостной прочности и износостойкости, при изготовлении штока в качестве заготовки используется поковка из высококачественной легированной стали, которая подвергается упрочняющей термообработке (закалка и высокий отпуск) и азотированию на глубину 0,5...0,8 мм до твердости 56...60 HRCэ.

Одно из основных требований к новым технологиям обработки — продление срока службы деталей и технологического оборудования в 1,5–2 раза. Для этого на быстроизнашивающиеся поверхности газопламенным напылением

Табл. 1.

Номенклатура деталей и основные характеристики

№ п/п	Наименование детали и № по чертежу	Материал детали	Механические свойства, масса детали, кг	Размеры упрочняемой части, мм	Метод упрочнения, твердость	Условия работы, места износа
1	Валы насоса НК 65/35-125 (зав.№259,282, 875)	Сталь 40Х (ГОСТ 4543-71), возм. замена на	sv=785МПа; d=10%; y=40%; KCV=0,6 МДж/м ² .	L=785–980 d=80–95	Закалка ТВЧ 45...51,3 HRC, h=1,0...2,0 мм	Скорость вращения валов – 3000 об/мин Места износа – посадки под подшипники.
2	Валы насоса НК560/335-120 (зав.№154,838,839)	Сталь 30Х13 (ГОСТ5632-72), Сталь	sv=785 МПа; d=11%; y=45%; KCV=0,4 МДж/м ²	L=785 – 980 d=80 – 95		
3	Валы насоса НК560/300 (зав. № 609, 612)	45Х14Н14В2М (ГОСТ5632-72)	sv=706 МПа; d=20%; y=35%; KCV=0,5 МДж/м ²	L=785 – 980 D = 80–95		
4	Шток компрессора (5Г-600/42-60)	Сталь 38Х2МЮА, (ГОСТ4543-71)	Катег. прочн. КП=60. sv >75 кгс/мм ² ; KCV ³ 5 МДж/м ² Масса – 80 кг	L=1335, d = 80	Азотирование 56–60 HRC, h=0,5...0,8 мм	Контакт с сальниковым уплотнением из коксофторопласта Ф4К20.

были нанесены износостойкие слои покрытий, обладающие достаточной прочностью, высокой твердостью и низким коэффициентом трения. На рис. 1 приведены фотографии деталей подлежащих упрочнению – восстановлению.

Сущность методов газопламенного напыления заключается в формировании на поверхности изделия покрытия из нагретых до плавления или близкого к нему состояния частиц распыляемого материала с использованием тепла, выделяющегося при сгорании смеси горючего газа с кислородом [1].

Методы традиционного газопламенного нанесения покрытий и большая номенклатура материалов, включающая проволоки, гибкие шнуры и порошки позволяют успешно решить задачи восстановления – упрочнения быстроизнашивающихся деталей. Они все больше применяются в промышленности для повышения эксплуатационных характеристик машин, как альтернатива традиционной закалке ТВЧ, хромированию и др.

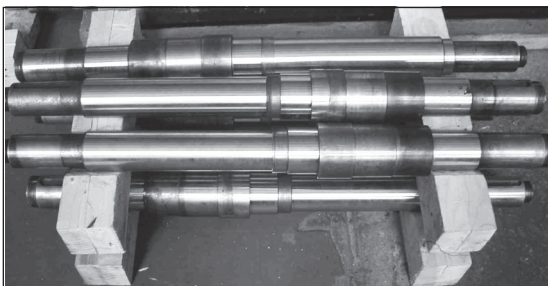
Основными преимуществами методов являются: незначительные затраты времени, относительная простота оборудования и технологии нанесения покрытий (по сравнению с другими методами); возможность регулирования поверхностных свойств изделия; использование одного и того же оборудования для нанесения покрытий из различных материалов; использование в качестве источника энергии смеси горючих газов с кислородом и сжатого воздуха; экономичность; экологичность и др.

Проволоки из различных металлов получают волочением и давно применяются в различных отраслях промышленности. Стальная проволока была одним из первых материалов применяемых для напыления износ- и коррозионно-стойких покрытий. Наряду со стальной для напыления покрытий используются проволоки из олова, свинца, алюминия, цинка, меди, никеля, молибдена и их сплавов [2].

Основные преимущества метода нанесения покрытий из проволоки: возможность непрерывной и равномерной ее подачи в высокотемпературную зону нагрева аппарата и автоматизации; простота и невысокая стоимость; значительная производительность (3–20 кг/ч). Основные недостатки метода: возможность напыления только протягивающихся в проволоку материалов; повышенные износ деталей аппарата-распылителя и его масса; необходимость строгого контроля диаметра проволоки (отклонение 0,05–0,09 мм) и качества ее поверхности и др.

Особую группу материалов для газопламенного напыления покрытий составляют гибкие шнуры «Sfecord». Они созданы в 70-х годах прошлого столетия французской фирмой «Sfec», 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. Формовать в шнур можно практически все, не протягиваемые или трудно протягиваемые материалы, чистые вещества и смеси порошков (керамика, металлы, сплавы). Производятся шнуры диаметром от 1,5 мм до 6,35 мм и длиной около 150 м, намотанными на бобины.

Основные преимущества метода: высокая прочность покрытий; исключение недостатков стержневого метода (дефекты в начале и конце стержня); заданная точность диаметра шнура; высокий коэффициент использования материала; возможность автоматизации процесса напыления с прекращением и возобновлением подачи шнура; устранение износа деталей горелки. Важными преимуществами шнурового процесса является возможность нагрева частиц порошковых ма-



а



б

Рис. 1. Детали ОАО «Нафтан»: а — валы насосов; б — шток компрессора

териалов в струе распылителя до температуры близкой или равной температуре их плавления, и разгон до скорости — 100–300 м/с. Полученные при этом покрытия по прочности и плотности не уступают плазменным, а стоимость их ниже плазменных в 2–3 раза [3].

Покрытия из проволок, как правило, не обеспечивают высокой твердости и прочности, которая необходима для деталей, работающих в условиях трения и знакопеременных нагрузок. Поэтому для восстановления валов насосов были использованы шнуровые материалы производства СП «Техникорд» (Россия) серии «Сфекорд-Экзо», некоторые характеристики которых представлены в табл. 2.

Восстанавливаемые поверхности валов насосов имеют твердость 207...302 НВ и 45...51,3 HRC, поэтому для напыления покрытий использовались представленные в таблице 2 шнуры, включающие: Ниалид (для подслоев связи) и Сфекорд-Экзо №15 (15 HRC) и № 40 (28–42 HRC) — для основного слоя. В табл. 3 представлены технологические режимы работы аппарата ТЕНА-Уэ при нанесении покрытий.

На рис. 2 представлены процессы нанесения подслоя и основного слоя покрытия и валы с восстановленными поверхностями.

Опытно-промышленная партия восстановленных валов была передана на предприятие для проведения производственных испытаний, которые подтвердили увеличение срока службы насосов в 1,5–2 раза.

Работы по выбору материала и разработке технологии газопламенного напыления оксидно-керамических покрытий с аморфной структурой для упрочнения штоков газовых компрессоров ОАО «Нафтан» были начаты в марте 2003 г.

Оксидно-керамические покрытия $Al_2O_3+13\% TiO_2$ могут быть получены различными методами напыления: газопламенным, атмосферным плазменным (APS), детонационным (DGS) и др. [4]. Для нанесения износостойких покрытий чаще всего используются оксиды алюминия и различные смеси его с диоксидом титана. Введение диоксида титана способствует повышению прочности, плотности и износостойкости покрытия. Износ покрытий зависит в основном от прочности связи между слоями формируемо-

Табл. 2.

Характеристика шнуровых материалов

Наименование шнурового материала	Состав	Размер частиц, мкм	Твердость	Применение
Ниалид	Ni – 95.0 Al – 5.0	+40–100	–	Применяется в качестве подслоя: высокая степень сцепления с подложками из черных и цветных металлов (кроме меди).
Сфекорд-Экзо № 15 Состав порошкового наполнителя: ПР-НЮ5-7, ПР-НХ9СЗР2-7	Ni, Cr, B, Si, Al	+40–125	15 HRC	Покрытие с антифрикционными свойствами и стойкостью против окисления; обработка слоя резанием. Применяется для опорных поверхностей подшипников, сальников и др.; для больших площадей; может применяться без подслоя.
Сфекорд-Экзо № 40 Состав порошкового наполнителя: ПТ-НА-01, ПГ-12Н-01, БХМ	Ni, Cr, Mo, B, Si, Al	+40–100	28–42 HRC	Самоохлаждаемое покрытие; высокие антифрикционные свойства при трении в паре с бронзой; неоднородная структура обеспечивает эффект самосмазывания, обработка слоя шлифованием. Применяется для подающих роликов текстильных машин; противозносных колец; защитных муфт и втулок валов.

Табл. 3.

Режимы напыления покрытий

Материал покрытия, Аппарат-распылитель	Скорость подачи шнура, см/мин	Давление и расход газов					
		Давление, кгс/см ²			Расход, л/ч		
		кислород	МАФ	воздух	кислород	МАФ	воздух
Ниалид	25	4,5	2,0	4,5	6250	2500	20 000
Сфекорд-Экзо № 15 и 40	60	4,5	2,0	4,0	5750	2500	20 000

Примечание: дистанция напыления покрытий — 150–175 мм; частота вращения валов — 190 об/мин.

го покрытия и реальной поверхностью [4, 5]. В табл. 4 представлены оксидные порошки, используемые фирмой Plasma Technic (Швейцария).

Из табл. 4 видно, что порошковая смесь состоит из плавленого с последующим дроблением оксида алюминия и синтезированного диоксида титана с размерами частиц находящимися в пределах 5,6–45,0 мкм. Топография частиц порошков оксида алюминия и диоксида титана представлена на рис. 3.

Микроструктура напыленных различными методами покрытий из порошкового материала OT-13 ($Al_2O_3+13\%TiO_2$) представлена на рис. 4. Из рис. 4 видно, что покрытия имеют высокую плотность, а микроструктура DGS покрытия более мелкозернистая, чем APS.

Значения средней микротвердости, кажущейся пористости и прочности сцепления (подложка из низкоуглеродистой стали) покрытий, полученных методами APS и DGS, приведены в табл. 5 [4].

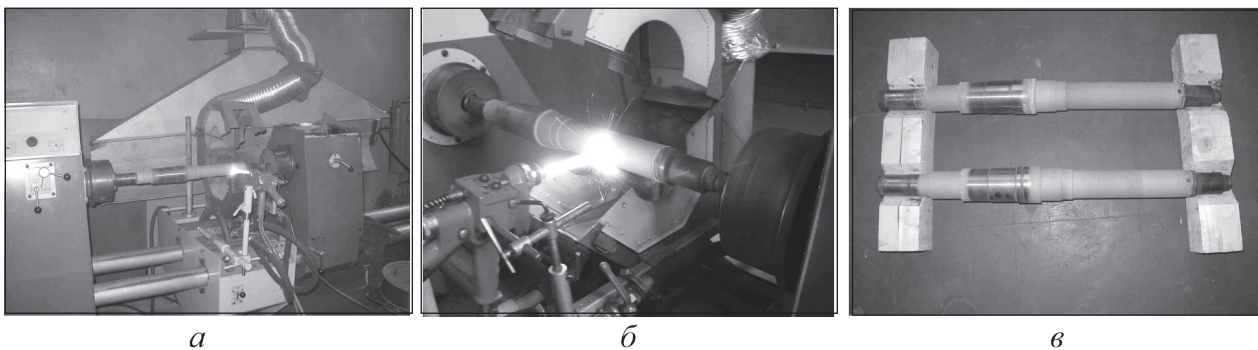
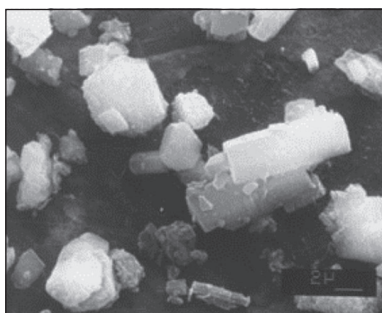
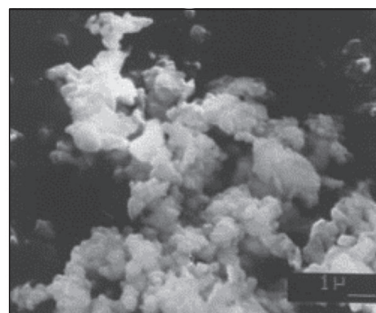


Рис. 2. Напыление покрытия на валы насосов:

а — подслоя шнуром Nialide; б — основного слоя шнуром «Сфекорд» — Экзо № 40; в — валы с покрытием

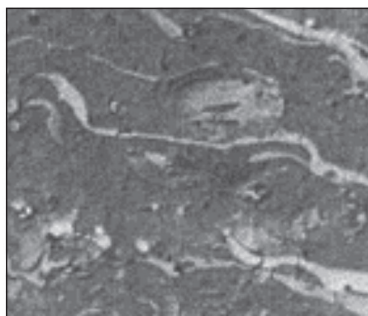


а

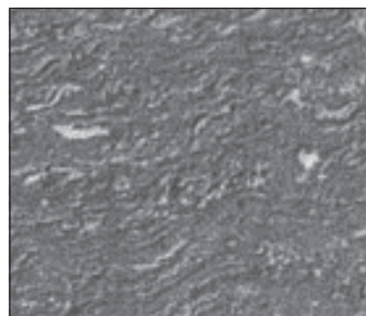


б

Рис. 3. Частицы порошков:
а — оксид алюминия; б — диоксид титана



а



б

Рис. 4. Микроструктура напыленных покрытий:
а — APS; б — DGS. Увеличение $\times 400$

Табл. 4.

Керамические порошки, коммерческое обозначение и их размеры

Керамический порошок	Коммерческое обозначение	Пределы размеров частиц, мкм
Al ₂ O ₃ (плавленый.) + 13%TiO ₂ (синтезирова.)	Amperit 744.0 Amperit 744.1	5,6–22,5 22,5–45,0

Табл. 5.

Микротвердость, пористость и прочность сцепления покрытий

Материал покрытия	Метод нанесения	Микротвердость, HV _{0,025}	Микротвердость, HV _{0,3}	Пористость, %	Прочность сцепления, Н/мм ²
Al ₂ O ₃ +13wt.%TiO ₂	APS	1070	915	2,6	12
Al ₂ O ₃ +13wt.%TiO ₂	DGS	951	892	1,2	19

Из табл. 5 видно, что значения микротвердости APS покрытия — более высокие, чем DGS, при этом DGS покрытие имеют более высокую прочность сцепления, чем APS, что может быть также связано и с меньшей толщиной (150 мкм) DGS покрытия [5].

По сравнению с APS и DGS методами — газопламенное напыление шнуровых материалов серии «Сфекорд-керамика» является более простым и доступным. Некоторые характеристики шнуровых материалов представлены в табл. 6.

В табл. 7 приведены основные свойства и область применения покрытий из материалов серии «Сфекорд-керамика».

Из табл. 6 видно, что микротвердость материала «Черный корунд» равна 900 HV, что эквивалентно 66 HRC, а твердость упрочняемой по-

верхности штока — 56–60 HRC. Таким образом, данный материал может быть использован для упрочнения штока. Из табл. 7 следует, что при газопламенном нанесении шнурового оксидно-керамического покрытия «Черный корунд» на шток компрессора из высококачественной легированной стали, для повышения прочности сцепления покрытия с напыляемой поверхностью, необходимо использовать подслои из шнура «Ниалид» толщиной 0,08–0,15 мм. При этом формируется покрытие повышенной плотности, что позволяет прогнозировать обеспечение класса чистоты обработки, установленные требованиями чертежа (0,16).

Технологический процесс газопламенного шнурового нанесения покрытия на шток компрессора включает следующие основные операции:

Табл. 6.

Характеристики шнуровых материалов

Наименование материала	Состав порошкового наполнителя	Диаметр шнура, мм		Микротвердость, HV
«Ниалид»	ПР-НЮ-5-8	3,17	±0,05±0,1	Не нормируется
		4,75		
«Черный корунд»	Al ₂ O ₃ + 13,5% TiO ₂	3,17	±0,05±0,1	900
		4,75		

Табл. 7.

Основные свойства и область применения покрытий

Наименование материала	Свойства покрытия	Область применения
«Ниалид»	Высокая прочность сцепления покрытия с подложками из черных и цветных металлов	Подслои при нанесении серии «Сфекорд-керамика». Толщина покрытия 0,08–0,15 мм
«Черный корунд»	Керамическое покрытие повышенной плотности. Высокая стойкость к абразивному изнашиванию, эрозии, износу при трении скольжения при температурах до 540 °С. Стойкость к разбавленным кислотам.	Покрытие для насосных муфт и корпусов, торцевых уплотнений, плунжеров насосов, приводных роликов, деталей в текстильной и бумажной промышленности. Толщина покрытия 0,2–0,75 мм

- снятие слоя металла толщиной 0,5–0,7 мм с поверхности, подлежащей упрочнению – восстановлению;
- струйно-абразивную обработку;
- напыление подслоя сцепления шнуром «Ниалид»;
- напыление основного слоя покрытия шнуром «Черный корунд»;
- пропитку термостойким лаком;
- механическую обработку напыленного покрытия (шлифование).

При газопламенном напылении покрытий необходимый запас тепловой и кинетической энергии сообщается частицам шнурового материала в процессе взаимодействия их с пламенем смеси горючий газ – кислород. Пламя образуется в результате сгорания на срезе сопла горючей смеси, вытекающей с большой скоростью из сопловых каналов. При использовании в качестве горючего газа МАФ температура струи составляет 2930 °С, а скорость

ее истечения — 750–1200 м/с. Шнуровой материал подают вдоль оси струи. При взаимодействии с высокотемпературной высокоскоростной струей керамический материал шнура оплавляется и расплывается, частицы приобретают скорость более 300 м/с. Температура и скорость полета частиц порошка зависит от соотношения кислорода и горючего газа в смеси, расхода обдувающего воздуха, количества вводимого в пламя шнура, его плотности, гранулометрического состава частиц и других факторов. Основные технологические режимы работы шнурового аппарата-распылителя ТЕНА — Уэ при напылении покрытий приведены в табл. 8.

Температура нагрева детали в процессе напыления не превышала 200 °С, что позволило исключить структурные изменения в материале детали. Толщина слоя напыляемого покрытия, в соответствии с требованиями чертежа, составила 0,5^{+0,2} мм. После шлифования шероховатость покрытия соответствовала требованиям чертежа.

Табл. 8.

Режимы напыления покрытий

Марка шнура «Сфекорд»	Скорость подачи шнура, см/мин	Давление газов, МПа			Расход газов, л/час		
		МАФ	Кислород	Воздух	МАФ	Кислород	Воздух
«Ниалид»	25	0,2	0,45	0,4	2500	6125	20000
«Черный корунд»	35–39	0,2	0,45	0,4	2500	6125	20000

Примечание: Частота вращения детали — 60 об/мин. Подача аппарата-распылителя, мм/мин: подслоя — 140 и основной слой — 400. Дистанция напыления покрытий: 85–95 мм.

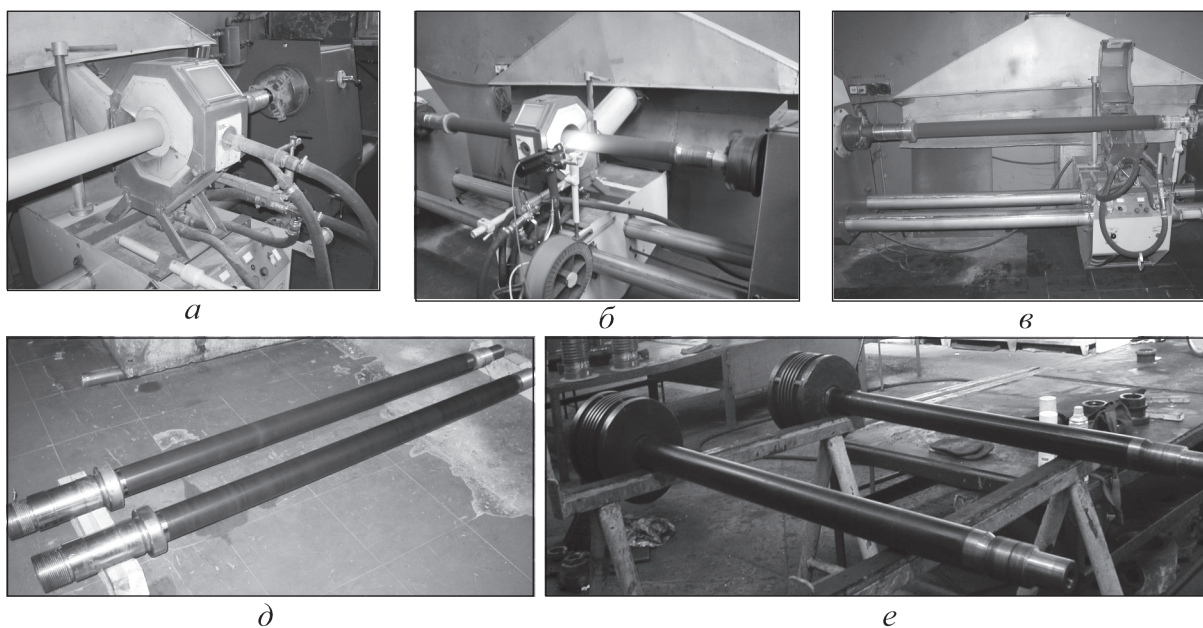


Рис. 5. Штоки компрессора:

- а* — струйно-абразивная обработка; *б* — напыление покрытия; *в* — шток с напыленным покрытием; *д* — обработанные детали; *е* — детали в сборе с поршнем

Был разработан специальный паспорт, который прилагался к каждой детали с напыленным покрытием. На рис. 5 представлены штоки компрессора в процессе струйно-абразивной обработки, напыления покрытия, с напыленным покрытием, обработанные шлифованием и в сборе с поршнем.

Результаты эксплуатации компрессоров, штоки которых покрыты оксидной керамикой состава $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ – 87%, TiO_2 – 13%, благодаря высокому содержанию аморфной фазы в покрытиях, показали увеличение срока службы в условиях предприятия ОАО «Нафтан», по сравнению с хромированными деталями, более чем в 10 раз.

В 2006 г. была разработана технология восстановления рабочей поверхности плунжеров трехплунжерных насосов марки NJ 116 фирмы «РМН» (Франция) для ОАО «Нафтан», непрерывным газопламенным нанесением покрытий из порошков самофлюсующихся никелевых сплавов аппаратом газопорошковой наплавки повышенной мощности ТЕНА-ГНпм (рис. 6) [6].

Размеры плунжера: диаметр 55 мм, длина рабочей части — 180 мм, масса — 3600 г.

В соответствии с разработанным процессом, после струйно-абразивной обработки, деталь подогревали аппаратом газопламенного нанесения покрытий повышенной мощности ТЕНА-ГНпм до температуры 220–300 °С. Затем этим же аппаратом наносили покрытие требуемой толщины порошком самофлюсующегося никелевого сплава 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), и производили оплавление покрытия. Температура оплавления покрытия — 1050–1100 °С. Твердость покрытия — 58–62 НРС.

Основные технологические режимы процесса следующие:

– давление газов: кислорода — 6 МПа, горючего газа МАФ — 2 МПа;

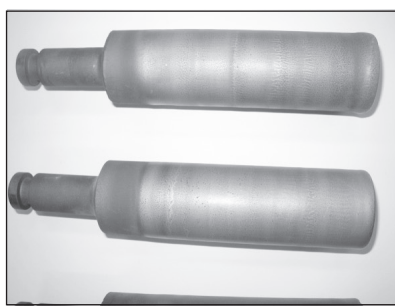
– расход газов: кислорода — 6000 л/ч, МАФа — 1800 л/ч.

Время подогрева, напыления и оплавления покрытия — менее 5 мин. Расход порошкового материала — 150 г. Коэффициент использования порошка — 85 %.

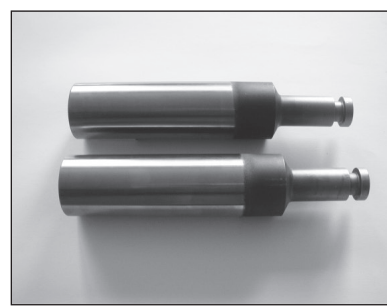
Новый метод непрерывного газопламенного нанесения упрочняющего покрытия при ремонте плунжеров насосов марки NJ 116 ВА позволил с успехом заменить фирменное покрытие из карбида хрома с 15 % Ni, нанесенное методом высокоскоростного газопламенного напыления [7]. Восстановленные и упрочненные плунжеры впервые были установлены в насосы марки NJ 116 ВА в январе месяце 2006 г. В результате эксплуатации в условиях ОАО «Нафтан» плунжеры обеспечили ресурс работы насосов, выше новых фирменных. Процесс восстановления и упрочнения плунжеров используется до настоящего времени. Это позволило отказаться от импорта быстроизнашивающихся деталей и сэкономить более 100 тыс. Евро.



а



б



в

Рис. 6. Восстановление рабочей поверхности плунжеров:

а — процесс нанесения покрытия; б — детали с покрытием; в — прошлифованные детали

Список использованных источников

1. Теория и практика газопламенного напыления / П.А. Витязь, [и др.]. – Минск: Навука і тэхніка, 1993. – 295 с.
2. Манойло, Е.Д. Повышение основных свойств газопламенных порошковых покрытий путем управления скоростью, температурой и теплосодержанием частиц: дис...к-та техн. наук: 05.16.06 / Е.Д. Манойло. – Минск, 2002. – 168 с.
3. Манойло, Е. Д. Газопламенное напыление оксиднокерамических покрытий с аморфной структурой / Е.Д. Манойло, Ф.Е. Онащенко // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные

- материалы, защитные покрытия, сварка: материалы 11-й Междунар. научн.-техн. конф., Минск, Беларусь, 28–30 мая 2014 г. / Нац. Акад. Наук Беларуси [и др.]; редкол.: А.Ф. Ильюшенко (гл. ред.) [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2014. – С. 421–426.
4. Wear Characteristics of Oxide Coatings Deposited by Plasma Spraying, High Power Plasma Spraying and Detonation Gun Spraying / Niemi K. [et al.] // Proceedings of the 8th National Thermal Spray Conference, 11–15 September 1995, Houston, Texas, p. 645–650.
 5. Furukubo K., Oki S., Gohda S., Proc. Int. Advances in Coating Technology, Orlando, Florida, USA, 28 May – 5 June 1992, p. 705–709.
 6. 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.
 7. 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.

УДК 621.926

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТОВ С АДАПТИВНЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

Л.А. Сиваченко, О.В. Голушкова, В.С. Михальков, Е.А. Шаройкина

ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет»

Беларусь, г. Могилев

Приведены сведения о новом технологическом комплексе для получения цементного клинкера с помощью пружинного грохота, рессорно-стержневой мельницы и шаровой мельницы.

В настоящее время почти на всех заводах по получению рудных, строительных, энергетических и других материалов на стадии помола применяется шаровой способ измельчения. Несмотря на чрезвычайно высокую энергоемкость, капитальные затраты и металлоемкость, шаровые мельницы в обозримое время пока не имеют альтернатив их замены более современными технологическими аппаратами. Причина этого заключается, с одной стороны в чрезвычайной архаичности организации процесса, что выражается в том, и только каждый тысячный удар мелющих тел совершает полезную работу по разрушению. С другой стороны, чрезвычайная простота этих машин сделала их незаменимыми в стадиях тонкого измельчения материалов любой крепости.

Следовательно, шаровая мельница вследствие своей технологической уникальности и надежности реально проработает в промышленности еще не одно десятилетие, и при этом будет развиваться по ряду направлений: замкнутый цикл, предизмельчение, внутримельничные устройства, мелющие загрузки, ПАВ, аспирация, эксергетическое управление и др.

Эволюция помольной техники со всей определенностью показывает [1, 3, 4], что, во-первых, из всего многообразия способов разрушения твердых тел пока реальной альтернативы механическому нет; во-вторых, несомненен тот факт, что достигнуть требуемой степени измельчения в одном аппарате практически невозможно, а это предполагает вариативность т.е. многообразие