

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Попіль Юрій Станіславович

УДК.621.791.75.

**ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЕВО-КИСНЕВОГО
ПОЛУМ'Я ДЛЯ НАПИЛЕННЯ ПОКРИТТІВ**

Спеціальність 05.03.06. - Зварювання та споріднені технології

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Київ – 2006

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі відновлення деталей машин Національного технічного університету України „КПІ” Міністерства освіти і науки України, м.Київ

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор,
Корж Віктор Миколайович НТУУ „КПІ”,
професор кафедри „Відновлення деталей машин”.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Борисов Юрій Сергійович,
Інститут електрозварювання ім.Є.О.Патона НАНУ,
завідувач відділом, м.Київ

доктор технічних наук,
Петров Станіслав Володимирович,
Інститут газу НАНУ,
провідний науковий співробітник, м.Київ

Провідна установа: Приазовський державний технічний університет, кафедра
„Металургія і технологія зварювального виробництва”
м. Маріуполь

Захист відбудеться **“27” лютого** 2006р. о 15⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.26.002.15 при Національному технічному університеті України “Київський політехнічний інститут” Міністерства освіти і наук України, за адресою:
03056, Київ-56, пр. Перемоги 37, корпус 19, ауд. 435.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут” за адресою, 03056, Київ-56, пр. Перемоги 37.

.

Автореферат розісланий **“18” січня** 2006 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
доктор технічних наук, професор

Головко Л.Ф

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним з сучасних напрямків розвитку науки і техніки є розробка нових ресурсозберігаючих технологій, які забезпечують зниження матеріальних витрат без зниження якості виробу.

Підвищення надійності та довговічності машин і механізмів нерозривно пов'язані з забезпеченням ефективного захисту їх поверхні від корозії та спрацьовування нанесенням покриття.

Вагомий вклад в розвиток газотермічних способів нанесення покриття внесли відомі вчені української наукової школи: Борисов Ю.С., Харламов Ю.О., Ющенко К.А.; білоруської Витязь П.А., Манойло Е.Д., Івашко В.М.; російської Кудінов В.В. та інші.

При газополуменевому способі напилення використовується не складне обладнання, перевагою якого є мобільність. Використання для процесів газополуменевого нанесення покриття воднево-кисневого полум'я – екологічно чистого і відновлюваного джерела енергії, викликає цікавість, тим більше, що використання електролізно-водяних генераторів (ЕВГ) дозволяє отримувати пальну суміш безпосередньо на робочому місці, що значно зменшує транспортні витрати, відкидає необхідність в балонному господарстві і робить використання воднево-кисневої суміші економічно конкурентноспроможною у порівнянні з іншими газовими пальними сумішами.

Робота присвячена вирішенню завдання розробки технологічних основ використання екологічно чистого джерела енергії, яким є воднево-кисневе полум'я, в нових ресурсозберігаючих технологічних процесах газополуменевого нанесення покриття.

Актуальність роботи для процесів газополуменевого нанесення покриття обумовлена відсутністю науково обґрунтованих рекомендацій по раціональному використанню і впливу теплових та кінетичних характеристик струменю продуктів горіння воднево-кисневого полум'я (ВКП) на властивості покриття.

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами. Дисертаційна робота проводилась на кафедрі відновлення деталей машин, НТУУ "КПІ" в межах виконання держбюджетної теми 2279 № д.р. 0199U000540 "Розробка наукових принципів створення нових ресурсозберігаючих технологій відновлення деталей машин методами напилення та наплавлення з використанням екологічно чистих джерел енергії" та держбюджетної теми 2385/1 № д.р. 0100U00939 "Дослідження фізико-хімічних явищ і створення наукових основ обробки металів та відновлення робочих поверхонь контрольованими газовими джерелами нагріву", які виконувались у 1994-2000 роках.

Мета і задачі досліджень. Мета роботи – розробка технологічних основ використання воднево-кисневого полум'я для газополуменевого нанесення функціонального покриття на вироби.

Для досягнення визначеної мети в роботі вирішені такі задачі:

- з'ясована будова факелу полум'я в межах стабільного горіння в залежності від витрат та складу пальної суміші;
- визначено межі переходу від ламінарного до турбулентного характеру течії продуктів горіння;

- визначено розподілення температур по довжині факелу в залежності від характеру горіння і складу пальної суміші та вплив цих показників на довжину ефективного температурного інтервалу, в якому може відбуватись нагрівання частинок порошку, що напилюється, до температури плавлення за рахунок конвективного теплообміну;
- визначено теплову потужність ВКП, ВКП з добавками парів вуглеводневих сполук в залежності від характеру течії продуктів горіння;
- визначено швидкість струменю продуктів горіння полум'я в залежності від характеру течії і складу пальної суміші та вплив її на швидкість частинок напилюваного порошку в газовому потоці;
- з врахуванням теплових та кінетичних характеристик струменю продуктів горіння ВКС та ВКС з парами вуглеводневих сполук визначено оптимальні умови для процесу напилення порошоків з різною температурою плавлення;
- сформульовані умови отримання газополуменевого покриття з задовільною якістю порошковим матеріалом, в тому числі екзотермічно реагуючим при використанні ВКП, отриманого при спаленні суміші, що виробляється ЕВГ.

Об'єкт досліджень - процес газополуменевого напилення покриття з використанням в якості джерела енергії воднево-кисневого полум'я, отриманого при спаленні суміші, що виробляється електролізно-водяним генератором.

Предмет досліджень - вплив кінетичних та теплових характеристик газового струменю продуктів горіння на параметри покриття. Обґрунтування вимог та критеріїв вибору технологічних параметрів процесу нанесення покриття.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження базуються на теорії вільного затопленого вісісиметричного струменю та гідродинамічній моделі двофазного потоку. Розрахунково-експериментальні дослідження кінетичних та теплових характеристик газового струменю проводились з використанням гідродинамічного зонду і термопарного визначення температури в низькотемпературній зоні факелу.

Розподілення швидкості часток по довжині факелу розраховувались за допомогою програми Math.CAD.2000.

Максимальна швидкість часток в газовому потоці вимірювалась приладом ИССО-1.

Ефективна теплова потужність газового потоку, як однофазного так і двофазного, в залежності від складу та характеру течії продуктів горіння, досліджувалась калориметричним методом.

Дослідження властивостей покриття, при визначених параметрах процесу напилення, проводилось по відомим методикам. Міцність зчеплення покриття з основою у відповідності ДСТУ-2639-94, визначалась клейовим методом на машині TIRA test 2151. Пористість - методом гідростатичного зважування у відповідності з ДСТУ БА.1.1-53-94. Металографічні дослідження проводились за допомогою металографічного мікроскопа МИМ-7 і фіксувались на цифровій фотокамері.

Наукова новизна.

1. Визначена критична швидкість струменю полум'яутворюючої суміші, при якій струмінь продуктів горіння переходить від ламінарного до турбулентного характеру течії. Для воднево-кисневої суміші з відношенням кисню до водню 1:2 перехід відбувається при критичній швидкості 70 м/с. Додатки в ВКС парів вуглеводневих сполук зміщують межу переходу в сторону менших критичних швидкостей витікання струменю.

2. Встановлено, що довжина ділянки факелу, з температурами вище 1500⁰С більша при турбулентному характері течії струменю продуктів горіння, але вона не достатня для нагрівання порошкових матеріалів, які плавляться в інтервалі температур 1000-1500⁰С. Довжина ефективного температурного інтервалу факела, в якому можливе плавлення порошкових матеріалів з температурою плавлення до 1000⁰С більша при ламінарному характері течії струменю продуктів горіння. Додавання в воднево-кисневу суміш парів вуглеводневих сполук збільшує довжину цього інтервалу.

3. Показано, що максимальної швидкості та температури порошкові матеріали досягають при використанні ламінарної течії струменю продуктів горіння, завдяки більшій довжині зони розгону частинки на робочій дистанції наплення і інтервалу ефективних температур.

4. Встановлено, що воднево-кисневе полум'я (ВКП) можна використовувати для наплення покриттів, з порошків, які мають температуру плавлення до 1000⁰С, при використанні ламінарної течії продуктів горіння з добавками вуглеводневих сполук. Наплення порошків з температурою плавлення в інтервалі від 1000⁰С до 1500⁰С – можливе при використанні екзотермічно реагуючих порошків.

Практична цінність отриманих результатів:

- Отримані результати досліджень дозволяють визначити порошки та умови отримання покриття газополуменевим способом з використанням ВКП, отриманого при спаленні суміші, що виробляється електролізно-водяним генератором.

- Заміна ацетилено - кисневої та інших пальних вуглеводних сумішей на воднево-кисневу суміш, отриману з електролізно-водяного генератора, дозволяє виключити необхідність балонного господарства, використання карбіду кальцію, ацетиленових генераторів, сприяє економії матеріальних та трудових ресурсів, покращенню умов праці і зменшенню забруднення навколишнього середовища.

- Розроблені технологічні рекомендації дозволяють отримати покриття на малогабаритні деталі, в тому числі складної форми, при використанні порошкового матеріалу з температурою плавлення до 1500⁰С.

- Висновки та основні положення можуть бути використані у навчальному процесі.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційних досліджень доповідалися на 7 науково-практичних всеукраїнських та міжнародних конференціях, зокрема: „8th National Thermal Spray Conference and Exposition” (Houston, Texas 1995), „Прогресивна техніка і технологія машинобудування, приладобудування і зварювального виробництва” (Київ, 1998), “Сучасні технології

та обладнання в газотермічних процесах відновлення та утилізації деталей машин і конструкцій” (Київ,1999), „Сварка и родственные технологии” (Київ,2001), „Прогрессивные технологии сварки в промышленности” (Київ, 2003), „Инженерия поверхности и реновация изделий“ (Ялта, 2005).

Особистий внесок здобувача. Автором досліджені кінетичні та теплові характеристики газового потоку по довжині факелу продуктів спалення ВКС, який виробляється електролізно-водяним генератором. Розроблена методика експериментально-розрахункового методу дослідження цих характеристик.

Визначені основні закономірності та тенденції течії газового струменю продуктів горіння ВКП при газополуменовому напиленні покриття. Досліджено швидкість та тепловий стан частинок порошкового матеріалу в двофазному потоці, в залежності від складу пальної суміші та теплофізичних властивостей матеріалу, що напилюється. Досліджені якісні показники покриття в залежності від технологічних характеристик двофазного потоку. Проведена перевірка результатів роботи в промислових умовах.

Публікації. По результатам виконаних досліджень видано 12 публікацій, в тому числі 7 статей в спеціалізованих виданнях, що увійшли до переліку ВАК України, та у 5 збірках тез доповідей науково-технічних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, п’яти розділів, загальних висновків, списку використаної літератури, додатків. Загальний обсяг роботи -170 сторінок. Дисертація містить 75 малюнків,30 таблиць, список використаної літератури з 179 найменувань, 3 додатки.

Основний зміст роботи

У вступі розкривається суть і стан проблеми та актуальність науково-технічного завдання. Обґрунтовано вибір об’єкта та предмета досліджень. Сформульовано мету і задачі досліджень, зазначено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів. Наведені дані про особистий внесок здобувача, апробацію результатів роботи, публікації, структуру та обсяг дисертації.

У першому розділі зроблено аналіз літературних джерел та сучасного стану теорії горіння, стосовно газополуменового методу нанесення покриття. Розглянуті обладнання, матеріали і типи покриттів нанесених цим способом.

Аналіз показав, що роботи, які проводились дослідниками з використанням воднево-кисневого полум’я для газотермічних робіт, були присвячені паянню, зварюванню, різанню та термічній правці деталей, де досліджувались максимальні температури у високотемпературній зоні ядра та при ядерній зоні. Розподілення температури та швидкості потоку продуктів горіння по довжині газового факела у низькотемпературній зоні, яка використовується в процесах газополуменового нанесення покриття (ГПНП) з використанням ВКП, не досліджувались.

З літературних джерел відомо, що для ГПНП найчастіше застосовується порошок з температурою плавлення до 1500⁰С і грануляцією 20...100 мкм. Це порошки, які мають основним компонентом такі метали, як мідь, залізо, нікель та інші.

Відомо, що в межах стабільного горіння полум’я можливе існування ламінарного та турбулентного характеру течії продуктів горіння.

При цьому змінюються геометричні розміри факелу і відповідно розподілення швидкості течії струменю та температури по довжині факелу полум'я, інтенсивність теплообміну між продуктами горіння і порошковим матеріалом, що має суттєве значення при напиленні покриття. Не визначені межі переходу від одного до іншого характеру течії і зокрема для воднево - кисневої суміші.

З точки зору нагрівання частинки порошкового матеріалу в потоці продуктів горіння ВКС представляє інтерес, враховуючи теплопровідність суміші, в складі якої основним компонентом є водень, який в декілька разів перевищує теплопровідність інших газів.

У другому розділі наведені методики та обладнання, які були використані при проведенні експериментальних досліджень в ході роботи. При проведенні дослідження використовувався пальник "ЕВРО-ДЖЕТХС-7" з стандартним набором змінних мундштуків, з діаметрами сопел $\varnothing 1,6; 2,0; 2,2$ мм; електролізно-водяний генератор А1803. Дослідження проводились на трьох найбільш поширених при ГТОМ з використанням ЕВГ газових сумішах: ВКС, ВКС з добавками 5,5% парів бензину ($C_{7,07} H_{15}$), ВКС з добавками 16% парів етилового спирту (C_2H_5OH). Насичення ВКС парами вуглеводневих сполук здійснювалось за рахунок пропускання газової суміші через барботер, заповнений рідкими вуглеводами.

Для дослідження розподілення швидкості та температури газового струменю була розроблена дослідна установка (рис.1.)

Рис1.Схема установки для дослідження газодинамічних і температурних характеристик струменю продуктів горіння:

1 – U- подібний манометр; 2 – механізм переміщення зонду; 3 – термопара; 4 – мілівольтметр; 5 – зонд Піто-Прандтля; 6 – прилад ИССО-1; 7 – шкала контролю довжини факелу; 8 – механізм переміщення пальника; 9 – дозатор-живильник порошку; 10 – пальник; 11 – ЕВГ; 12 – джерело живлення ЕВГ; 13 – водяний запобіжний пристрій; 14 – барботажний пристрій для насичення ВКС вуглеводневими сполуками.

Довжина факелу продуктів горіння визначалась візуально та фотографувалась. Момент переходу від ламінарного до турбулентного характеру течії продуктів горіння фіксувався початком скорочення довжини факелу та утворення збурень на його кінці. Для оцінки характеру течії струменю продуктів горіння визначалась середня швидкість витікання газового потоку на зрізі сопла пальника, яка залежить від діаметру вихідного отвору пальника, витрат пальної суміші і оцінювалась числом Рейнольдса. Середню швидкість витікання пальної суміші через сопло пальника визначали формулою, запропонованою Глізманенко:

$$U_m = 354 \cdot \frac{V_{гс}}{d^2} \quad (1)$$

де $V_{гс}$ – витрати газової суміші м³/год; d – діаметр отвору пальника, м;
354 –емпіричний коефіцієнт, який враховує розмірність величин.

Для розрахунку швидкості течії продуктів горіння по довжині факелу використовували відоме з технічної термодинаміки рівняння, яке враховує напірний тиск і температуру газового потоку на кожній із ділянок факелу.

$$W_z = \varphi \sqrt{2g \cdot \frac{k}{k+1} \cdot R \cdot T \cdot \left[1 - \left(\frac{P_1}{P^*} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} \quad (2)$$

де k – показник адиабати; R – універсально газова постійна $R = \frac{848}{\sum r_i \cdot \mu_i}$;

r_i, μ_i – об'ємні долі і молекулярна вага складових газової суміші; $P^* = P_c + P_d$ – напірний тиск, P_c, P_d – статичний, динамічний тиск; P_1 – тиск атмосфери в яку витікає газ, кг/м²; T – температура полум'я, К; g – прискорення вільного падіння 9,8 м/с²; коефіцієнт $\varphi = 0,87$ враховує нерівномірність розподілення швидкості потоку газу по перерізу сопла і опір в ньому.

Температура в низькотемпературній зоні факелу визначалась вольфрамо-ренієвою термопарою ВР 5/20.

При визначених температурах та швидкостях газового струменю з врахуванням матеріалу та розміру частинки, швидкість частинок визначалась розрахунковим шляхом з використанням відомої формули :

$$W_{ч} = W_z \cdot e^{\left(-\frac{G_p}{G_g} \right) \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot \rho_{газ} \cdot C_D \cdot L_i}{2 \cdot \rho_{ч} \cdot d_{ч}}}} \quad (3)$$

де W_z – швидкість струменю, м/с; G_g – витрати пальної суміші, кг/м³;

G_p – витрати порошкового матеріалу, кг/м³; $d_{ч}$ – діаметр частинки порошку, м;

C_D – коефіцієнт динамічного опору частки; $\rho_{ч}$ – густина матеріалу частки, кг/м³;

$\rho_{газ}$ – густина пальної суміші кг/м³; L_i – довжина шляху льоту частки, м.

Максимальну швидкість частинок в газовому потоці визначали експериментальним способом за допомогою вимірювача швидкості, випромінюваних об'єктів ИССО-1.

Температуру поверхні частинки, яку вона отримала за час перебування в газовому потоці, розраховували за відомою формулою:

$$T_{ч} = \frac{12 \alpha_m T_z}{w_z c_{ч}} \sqrt{\frac{2 L_i}{3 \rho_{газ} \rho_{ч} C_D d_{ч}}} \quad (4)$$

де α_m – коефіцієнт тепловіддачі від газу до частки, Вт/м²·К; $c_{ч}$ – теплоємність матеріалу частки Вт·с/кг·К; T_z – температура на ділянці струменю, К.

Дослідження пористості покриття проводилось по стандартній методиці методом гідростатичного зважування. Міцність зчеплення покриття з основою визначалась клеєвим методом, напилення проводилось на стандартні зразки з Ст.45, діаметром \varnothing 25мм. Випробування проводили на машині TIRAtest 2151 зі швидкістю навантаження 2,5 мм/хв.

Ступінь деформації частинок порошку в залежності від температури та швидкості оцінювалась шляхом металографічного аналізу при збільшенні $\times 300$. Для виявлення мікроструктури покриттів на основі заліза використовували 5% розчин азотної кислоти у спирті, для покриттів на основі сплаву Ni -50% розчин хлорного заліза, для покриттів на основі міді - 20% розчин аміаку.

У третьому розділі досліджено будову воднево-кисневого полум'я. Межа переходу від ламінарного до турбулентного характеру течії визначалась моментом початку скорочення факелу полум'я після досягнення ним максимальної довжини і початком збурення на кінці факелу. Межі стійкого горіння чистої воднево-кисневої суміші з співвідношенням кисню до водню 1:2 знаходяться у діапазоні швидкості витікання пальної суміші 30...100 м/с. (рис.2).

Межа переходу від ламінарного до турбулентного характеру течії потоку продуктів горіння воднево-кисневої суміші знаходиться при швидкості витоку струменю більше 70 м/с, що приблизно відповідає числу Рейнольдса Re не менше 3500. Стійке горіння суміші ВКС з домішками 5,5% парів бензину відбувається при швидкостях витікання струменю пальної суміші від 30 до 90 м/с. Перехід від ламінарної до турбулентної течії потоку продуктів горіння знаходиться при критичній швидкості витоку струменю більше 50 м/с, що приблизно відповідає числу Рейнольдса

▲ Рис.2. Залежність довжини факелу від середньої швидкості витікання газového потоку при спаленні суміші.

- ВКС+бензин; - ВКС+спирт ; - ВКС;

$Re \approx 3000$. Стійке горіння суміші ВКС з добавками 16 % парів етилового спирту відбувається при швидкостях витоку пальної суміші в межах 40...105 м/с. Межа переходу знаходиться при критичній швидкості витоку струменю на зрізі сопла пальника більше 65 м/с, що приблизно відповідає числу Рейнольдса Re не менше 3200.

Властивості покриття при газотермічному напиленні матеріалів, значною мірою залежать від температури та швидкості частинок матеріалу який напилюється. При газополуменевому напиленні температура частинок залежить від довжини інтервалу ефективних температур факелу полум'я, в якій можливе нагрівання частинок до температури плавлення.

Нагрівання частинок матеріалу до температури плавлення конвективним теплообміном між продуктами горіння полум'я і частками порошку, що напилюється, за даними досліджень (ВНИИАВТОГЕНА), ефективно при температурі продуктів згоряння у факелі на 250...300 °С більше $T_{пл}$ основного матеріалу. Враховуючи це, довжина ефективного температурного інтервалу факелу полум'я для матеріалів, що плавляться при температурі біля 1000 °С визначається ізотермою температури 1250 °С, для матеріалу з температурою плавлення 1200 °С ізотермою температури біля 1500 °С. Для матеріалів з температурою плавлення 1500 °С довжина ефективного температурного інтервалу визначається ізотермою температури ≈ 1750 °С.

Аналіз результатів дослідження розподілення температур по довжині факелу для різних пальних сумішей в залежності від характеру горіння ВКП показав, що довжини ефективних температурних інтервалів, які обмежуються ізотермою температур 1750 та 1500 °С більші при турбулентному характері горіння полум'я. Довжини ефективних температурних інтервалів, які обмежуються ізотермою температури 1250 °С, більші при ламінарному характері горіння полум'я. При введенні в пальну суміш парів вуглеводневих сполук спостерігається тенденція до збільшення довжини ефективних температурних інтервалів (табл.1.).

Таблиця 1

Довжина інтервалів ефективних температур по довжині факелу полум'я в залежності від характеру витікання струменю та складу пальної суміші

Склад пальної суміші	Характер течії продуктів горіння.	Діапазон температур, °С	Довжина 1 ^{го} ефективного температурного інтервалу, мм	Діапазон температур, °С	Довжина 2 ^{го} ефективного температурного інтервалу, мм	Діапазон температур, °С	Довжина 3 ^{го} ефективного температурного інтервалу, мм
ВКС	ламінарний	T>1750	55	T>1500	75	T>1250	150
	турбулентний		70		95		125
ВКС+5,5 % парів бензину	ламінарний		50		100		175
	турбулентний		75		100		150
ВКС+16% парів спирту	ламінарний		75		110		190
	турбулентний		90		110		140

Зміни довжини ефективних температурних інтервалів при додаванні в ВКС парів бензину (рис3.а,б.) пояснюється тим, що у факелі за високотемпературною зоною відбувається догорання залишку палива. Якщо при введенні 5,5 % парів бензину в ВКС, в ядрі та при ядерній зоні факелу полум'я середня температура нижча, ніж при спаленні чистої ВКС, то в зоні догорання вона вища. Надлишок пального знижує максимальну температуру в високотемпературній зоні, а в зоні догорання, завдяки додатковому окисненню пального киснем з повітря, відбувається збільшення температури та розширення довжини ефективного температурного інтервалу.

а) б)

Рис.3. Розподілення температури по довжині факелу при різних характерах течії струменю продуктів горіння: а) воднево-кисневої суміші; б) воднево-кисневої суміші з добавками 5,5% парів бензину. — - ламінарний - - - - турбулентний характер течії продуктів горіння.

Аналіз швидкості течії продуктів горіння по довжині газового факелу показав, що добавки парів вуглеводневих сполук змінюють швидкість струменю та характер розподілення порівняно з чистою ВКС (рис.4 а , б.).

а) б)

Рис. 4. Розподілення по довжині факелу швидкості течії струменю продуктів горіння : а) ВКС ; б) ВКС+5,5% парів бензину. — - ламінарний - - - - турбулентний характер течії.

Так добавки парів бензину в суміш ВКС підвищують швидкість течії струменю продуктів горіння, як при турбулентному так і при ламінарному характері течії, що пояснюється збільшенням об'єму мас продуктів горіння, що рухаються, при однаковій фіксованій довжині факелу.

В межах стабільного горіння полум'я при спаленні чистої ВКС, з врахуванням витрат пальної суміші, теплова потужність полум'я становить від 2,7 до 4,7 МДж/год. для ламінарного характеру течії та від 4,7 до 7,4 МДж/год. для турбулентного. Додавання в ВКС +5,5 % парів бензину збільшує теплову потужність полум'я, порівняно з горінням чистої ВКС, для ламінарної течії в інтервалі від 5,3 до 12,3 МДж/год. та турбулентного характеру течії струменю в інтервалі 12,3 - 20,9 МДж/год відповідно. При додаванні в ВКС 16% парів етилового спирту, теплова потужність полум'я становить при ламінарному 7,6 - 13,23 МДж/год. та турбулентному характері течії продуктів горіння 13,23 - 18,3 МДж/год, відповідно. Такі зміни теплової потужності полум'я впливають на ефективну теплову потужність полум'я і підтвержені калориметричним

визначенням теплоємності мідної пластини при нагріванні, як однофазним так і двофазним потоками. При завантаженні газового потоку порошком на ступінь нагрівання пластини, крім безпосереднього впливу температури струменю продуктів горіння, мають вплив термохімічні процеси, що відбуваються у струмені при взаємодії металу з киснем. Це більше проявляється при використанні порошку заліза грануляцією 20...40 мкм, завдяки його схильності до окислення при високих температурах та величини реактивної поверхні.

У четвертому розділі проведено дослідження швидкості часток по довжині газового факелу (рис.6), які показали наявність трьох зон : зони розгону, де частка

набуває швидкості від мінімальної до максимальної; зони стабільної швидкості, де швидкість змінюється в межах 5-10% і зони гальмування, де швидкість частки зменшується. Максимальної швидкості частки набувають при ламінарному характері течії продуктів горіння для ВКС та суміші ВКС+16% парів етилового спирту на відстані від зрізу сопла пальника 300мм, а при горінні суміші ВКС+5,5% парів бензину 250 мм.

Рис.6. Розподілення швидкості часток порошку міді грануляцією 40...63 мкм по довжині газового факелу при різних характерах течії струменю і складу газової суміші.

- - ВКС; ▲ - ВКС+спирт; ● - ВКС+бензин;
- _____ - ламінарний характер течії;
- - турбулентний характер течії

При переході газового струменю продуктів горіння в турбулентний характер течії, зона розгону скорочується до 100-150 мм, що практично в два рази менше ніж при ламінарному. Зона стабільної швидкості частки займає практично всю робочу довжину

факелу, що залишилась після зони розгону, і максимальні швидкості часток на 10-30 % нижчі.

Найбільша швидкість порошку досягається при грануляції 20...40 мкм і ламінарному характері течії продуктів спалення суміші ВКС+5,5% парів бензину.

Розподілення температури нагрівання частинки (рис.7.), якої вона досягає за час перебування в газовому потоці визначено розрахунковим методом по формулі (4).

а)

б)

Рис.7. Температура нагрівання часток міді, по довжині факелу полум'я при спаленні суміші ВКС та ВКС з добавками парів вуглеводневих сполук:
а) грануляція 20...40 мкм; б) грануляція 40...63 мкм;
■ - ВКС; ▲ - ВКС+спирт; ● - ВКС+бензин;
_____ - ламінарний характер течії; - - - - - турбулентний характер течії;

Визначено, що при ламінарній течії продуктів горіння порошок нагрівається до більших температур, порівняно з турбулентним характером течії продуктів горіння

Теоретичні висновки і положення, отримані при дослідженні теплових та кінетичних характеристик струменю продуктів горіння воднево-кисневого полум'я, були перевірені аналізом якісних характеристик покриття, нанесеного з врахуванням основних закономірностей розподілення температури по довжині газового потоку і швидкості частинки порошку в ньому. Оптимальні дистанції наплення для різних складів пальних сумішей та характерів течії були визначені з врахуванням довжини ефективних температурних інтервалів струменю продуктів горіння для таких порошкових матеріалів, як мідь, залізо та сплав нікелю.

Результати досліджень властивостей покриття напленого при оптимальних параметрах, вибраних на підставі аналізу результатів досліджень, представлені у табл. 2.

Таблиця 2

Властивості покриттів, отриманих з врахуванням оптимальних параметрів напилення

№ варіанта	Характер течії і склад газової суміші	Дистанція напилення мм.	Міцність зчеплення покриття з основою МПа при грануляції порошку, мкм.			Пористість покриття П % при грануляції порошку, мкм.		
			20..40	40..63	63..100	20..40	40..63	63..100
порошок міді								
1	ВКС, ламінарний	200	22			8		
2	ВКС, турбулентний	160	18			12		
3	ВКС+бензин, ламінарний	250	30	26	20	3	5	8
4	ВКС+бензин, турбулентний	180	20	16		10	12	
5	ВКС+спирт, ламінарний	300	28	24	14	4	6	14
6	ВКС+спирт, турбулентний	160	20			8		
порошок заліза ПЖ-1								
9	ВКС+бензин, ламінарний	250	20			9		
10	ВКС+бензин, турбулентний	100	12			15		
11	ВКС+спирт, ламінарний	250	22			8		
12	ВКС+спирт, турбулентний	110	14			12		
порошок сплаву нікелю ПГ-АН-33 *								
13	ВКС, ламінарний	160	8			18		
14	ВКС, турбулентний	125	6			20		
15	ВКС+бензин, ламінарний	250	14	12	10	8	10	12
16	ВКС+бензин, турбулентний	150	12			10		
17	ВКС+спирт, ламінарний	300	15	12	8	7	10	12
18	ВКС+спирт, турбулентний	140	10			12		

* Міцність зчеплення і пористість покриття порошку ПГ-АН-33 вимірювалась без послідуочого оплавлення.

■ – Напилення можливе. ■ – Напилення можливе, але якість не висока.

Металографічний аналіз структури мідного покриття, напиленого при спаленні суміші ВКС+5,5% парів бензину з ламінарним характером течії, порошком грануляцією 20...40 мкм, показав (рис.8.) досить щільну структуру напиленого шару покриття, відсутність виражених границь між частинками і практичну відсутність оксидних включень. При збільшенні грануляції порошку до 63...100 мкм яскраво виражені межі частинок порошку, що напилувався (рис.9).

Задовільна структура покриття при напиленні залізного порошку можлива при використанні порошку ПЖ-1 грануляцією 20...40 мкм і спаленні суміші ВКС+5,5% парів бензину та ВКС+ 16% парів етилового спирту з ламінарним характером течії продуктів горіння. При цьому спостерігається достатня деформація напилених частинок (рис.10.).

При напиленні порошку ПГ-АН-33 грануляцією 63...100 мкм, з використанням ВКС+5,5% парів бензину при дистанції напилення 250 мм, частинки не достатньо

здеформовані, що свідчить про недостатнє нагрівання їх в газовому струмені.

Рис. 8. Структура покриття при напиленні порошком ПГ-АН-33 грануляцією 20...40 мкм, з ламінарним характером течії продуктів горіння суміші ВКС+16% парів спирту, без оплавлення, дистанція напилення 300 мм. ×300

Рис.9. Структура покриття при напиленні порошком міді грануляцією 63...100 мкм з ламінарним характером течії продуктів горіння суміші ВКС+5,5% парів бензину, дистанція напилення 300мм. ×300

При спаленні суміші ВКС+16% парів спирту і ламінарній течії продуктів горіння, при дистанції напилення 300 мм порошку грануляцією 20...40мкм, спостерігається деформація часток, але видно межі не проплавлених компонентів порошку, (рис. 11). Це корелюється з отриманням покриття невисокої міцності зчеплення. Для одержання якісного покриття в цьому випадку необхідне оплавлення напиленого шару (рис. 12).

Рис. 11. Структура покриття при напиленні порошком ПГ-АН-33 грануляцією 20...40 мкм, з ламінарним характером течії продуктів горіння суміші ВКС+16% парів спирту, без оплавлення, дистанція напилення 300 мм.×300

Рис. 12. Структура покриття при напиленні порошком ПГ-АН-33 грануляцією 20...40 мкм, з ламінарним характером течії продуктів горіння суміші ВКС+5,5% парів бензину, дистанція напилення 250 мм, з послідуочим оплавленням.×300

П'ятий розділ присвячений розробці технологічних рекомендацій по вибору параметрів процесу напилення покриття, при практичному використанні воднево-кисневого полум'я для нанесення покриття.

Розроблено алгоритм вирішення задачі по визначенню витрат порошку для заданої теплової потужності полум'я, яке регламентується витратами пальної суміші і геометричними розмірами сопла пальника з врахуванням ламінарного характеру течії продуктів горіння для різного складу пальної суміші. А також

зворотньої задачі визначення геометрії сопла для заданої продуктивності напilenня, яка характеризується витратами порошку при витратах суміші, які забезпечує ламінарний характер течії продуктів горіння.

Встановлено, що для напilenня пальником "ЕВРО-ДЖЕТ XS-7" при діаметрах сопел \varnothing 1,6; 2,0; 2,2 мм з ламінарним характером течії продуктів горіння, оптимальні витрати пальної суміші становлять : ВКС 0,6-0,7 м³/год, ВКС+5,5% парів бензину 0,4-0,72 м³/год, ВКС+16% парів спирту 0,6-0,9 м³/год. На рис. 13. представлена залежність між витратами пальної суміші та діаметром сопла пальника, яка дозволяє визначити умови отримання ламінарної течії продуктів горіння.

В процесі напilenня ВКП з добавками вуглеводневих сполук при різних характерах течії та матеріалів порошку показана можливість збільшення коефіцієнту використання матеріалу (КВМ.) відповідно з 40 до 70%. Основні положення та рекомендації були використанні при впровадженні нанесення покриття з метою створення зносостійкого, корозійностійкого та декоративного покриттів на деталі штампів на ООО „Инбор - оснастка” м. Київ, відновлення розмірів валів малогабаритних електродвигунів у інституті механізації та електрифікації сільського господарства Української академії аграрних наук (ІМЕСГ), нанесення корозійностійкого покриття на пліть витратоміру на дослідному заводі Державного аварійно-технічного центру України м. Припять ЧАЕС.

Рис.13. Залежність між витратами та діаметром сопла пальника від складу пальної суміші :
- ВКС;
- ВКС+бензин
- ВКС+спирт;

Загальні висновки

1. Встановлено, що добавки у ВКС парів вуглеводневих сполук, зміщують межу переходу від ламінарного до турбулентного характеру течії продуктів горіння, в сторону менших критичних швидкостей витікання струменю з отвору пальника, від 70 м/с для чистої ВКС, (що відповідає числу $Re \approx 3500$), до 65 м/с при додаванні у ВКС парів етилового спирту, (що відповідає числу $Re \approx 3200$), та до 50 м/с при добавках парів бензину, (що відповідає числу $Re \approx 3000$).

2. В залежності від складу пальної суміші та характеру течії струменю продуктів горіння воднево-кисневого полум'я змінюється довжина ефективних температурних інтервалів, в яких можливе нагрівання порошку, що напilenняється, до температури плавлення. Довжина температурних інтервалів з температурами вище 1250...1500 °С, більша при турбулентному характері горіння, але вона не

достатня для розплавлення порошкового матеріалу з температурою плавлення 1000...1500 °С. Довжина ефективного температурного інтервалу, в якому можливе розплавлення порошків з температурою плавлення до 1000 °С, більший при ламінарному характері горіння. Додатки у ВКС вуглеводневих сполук збільшують довжину цих температурних інтервалів в полум'ї.

3. При використанні воднево-кисневого полум'я в якості джерела нагрівання необхідно враховувати, що при різних характерах горіння змінюються витрати пальної суміші, відповідно і теплова потужність полум'я. Так при спаленні ВКС, для даних умов досліджень, в межах ламінарної течії продуктів горіння, теплова потужність полум'я змінюється в межах від 2,5 до 4,7 МДж/год, а при турбулентному характері течії продуктів горіння від 4,7 до 7,4 МДж/год. Додавання в ВКС+5,5% парів бензину збільшує теплову потужність полум'я, в межах ламінарного характеру течії приблизно в 2,6 і при турбулентному 2,8 разів, порівняно з полум'ям чистої ВКС. При додаванні в ВКС 16% парів етилового спирту теплова потужність полум'я відповідно збільшується в 1,7 і 2,4 разів.

4. Визначено, що при ламінарній течії продуктів горіння сумішей, в межах робочої дистанції напилання, для розглянутих порошків, існують три зони руху: зона розгону частинки, зона стабільного руху та зона гальмування частинки. При турбулентному характері течії продуктів горіння пальних сумішей на робочій ділянці факелу існує тільки дві зони : зона розгону, яка значно менша порівняно з ламінарним характером течії, та зона стабільного руху частинки. Встановлено, що частинки порошкового матеріалу, досягають більшої швидкості при ламінарному характері течії продуктів горіння за рахунок більшої зони розгону. Додатки в суміш ВКС+5,5% парів бензину збільшують максимальні швидкості частинок у потоці порівняно з чистою ВКС на 10 –30 %.

5. Визначено, що напилання порошкових матеріалів з температурою плавлення до 1000 °С можливе при використанні ламінарного характеру течії продуктів горіння суміші ВКС з додатками вуглеводневих сполук. В цьому випадку при дистанції напилання 250-300 мм і використанні порошку міді грануляцією 20...40 мкм можна отримати міцність зчеплення покриття з основою не нижче 30 МПа і пористістю не вище 3-4 %.

При використанні самофлюсуючих порошкових матеріалів на основі нікелю, при тих же умовах напилання, міцність зчеплення покриття-основа становить 14-15 МПа і загальна пористість 8 %. Для підвищення механічних властивостей покриття, після напилання необхідно оплавлення.

Напилання порошкових матеріалів з температурою плавлення в інтервалі температур 1250-1500 °С можливе тільки при використанні екзотермічних порошків грануляцією 20...40 мкм і ламінарного характеру течії продуктів горіння суміші ВКС+5,5% парів бензину та ВКС+16% парів спирту з дистанцією напилання 250-300мм. В цьому випадку міцність зчеплення покриття з основою при напиланні залізного порошку може досягати 20...22 МПа і пористістю 8...9 %.

6. Розроблено алгоритм вирішення задачі визначення параметрів режимів напилання з врахуванням ламінарного характеру течії продуктів горіння. Витрати пальної суміші, для даної моделі досліджень, становлять: ВКС 0,6-0,7 м³/год, ВКС+5,5% парів бензину 0,4-0,72 м³/год, ВКС+16% парів спирту 0,6-

0,9м³/год. При цьому оптимальна продуктивність при напиленні порошком на основі заліза, становить від 0,9 до 1,2 кг/год, з порошоків на основі нікелю від 0,5 до 0,75 кг/год . При напиленні кольорових металів на основі міді витрати порошку складають від 0,58 до 0,7кг/год.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Ю.С. Попіль, В.Н. Корж. Стабильность и ресурс работы электролизных водородно –кислородных генераторов //Автоматическая сварка .- 1998.- №5 –с. 64-66.

2. Ю.С. Попіль, В.Н. Корж. Опыт эксплуатации и ресурс работы электролизно-водяных генераторов //Зб. наук. пр. присвячений 100-річчю механіко-машинобудівного і 50-річчю зварювального факультетів. Том IV. 1998, с. 362-365

3. В.М. Корж, Ю.С. Попіль, Е.О. Потєєв, М.П. Голубенко. Використання газів-замінників ацетилену при газополуменевому напиленні антикорозійного покриття.//Зб. наук. праць Українського державного морського технічного університету №6 Миколаїв 1999. с.35-43.

4. В.М. Корж, Ю.С. Попіль, В.Ю. Глухівський Дослідження теплових та кінетичних характеристик факелу воднево-кисневого полум'я при напиленні покриття // Науково-виробничий журнал “Проблеми техніки”.- 2002. №2 с.61-66

5. В.М. Корж, Ю.С. Попіль Керування параметрами процесу горіння воднево – кисневого полум'я при газополуменевій обробці матеріалів //Наукові вісті Національно технічного університету України “КПІ” – 2002.- №4 с.59-64.

6. В.Н. Корж, Ю.С. Попіль. Влияние углеводородных добавок на структуру водородно – кислородного пламени и распределение температуры по длине факела. // Автоматическая сварка.. - 2004.- №11с. -36-40.

7. Ю.С. Попіль, В.Н. Корж. Пайка режущего инструмента водородно-кислородным пламенем.// Автоматическая сварка. - 1995.- № 10 - с.64-65.

8. V.N. Korzh Y.S. Popil' N.V. Alexandrovskii Thermal Spraying of Using the Hydrogen-Oxygen Flame / 8th National Thermal Spray Conference and Exposition, Houston, Texas.1995. P.11-14.

9. Корж В.Н., Попіль Ю.С., Табур В.А. Технологические возможности использования водородно-кислородного пламени для ремонтных работ /Технологи ремонта машин, механизмов и оборудования (Ремонт-99) Матер. межд. науч.техн. конф. с.70-71. Крым 1999.

10. Корж В.М., Попіль Ю.С., Потєєв Е.О. Технологічні можливості воднево-кисневого полум'я при газополуменевій обробці матеріалів. /Сучасні технології та обладнання в газотермічних процесах відновлення та утилізації деталей машин і конструкцій. І Українська наук-техн. конф. Тези доповідей. - Київ 1999. - с. 34.

11. Попіль Ю.С., Потєєв Є.О. Визначення умов стабільного горіння воднево-кисневого полум'я / -І Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених та спеціалістів „Сварка и родственные технологии”, Тези доповідей м.Київ 22-24 травня 2001р. с. 54.

12. Корж В.М., Попіль Ю.С. Нанесення функціонального покриття газополуменим способом з використанням воднево-кисневого полум'я. *Технологія сварки в промисловості. / Матер.наук.конф.-Київ 2003.- с. 100-101.*

Особистий внесок здобувача: [1,2]- проведений аналіз застосування ЕВГ для газополуменової обробки матеріалу (ГПОМ) та підвищення стабільності і ресурсу їх роботи, [3] - зроблено обґрунтування впливу технологічних параметрів напilenня корозійностійких матеріалів на якісні показники покриття з використанням ВКП, [4]- проведено аналіз теплових і кінетичних параметрів ВКП, [5]- розроблені підходи керування параметрами потоку за рахунок додавання в ВКП парів вуглеводневих сполук, [6]- досліджені розподілення температури по довжині факелу в залежності від складу та характеру течії струменю продуктів горіння ВКП, [7] - розглянуті температурні поля при нагріванні ВКП металічних державок інструменту, [8]- досліджена будова ВКП в залежності від характеру течії, [9] - обґрунтовано застосування ВКП для деталей, які ремонтуються та виготовляються, [10]- приведені обґрунтування використання ЕВГ для різних видів ГПОМ, [11]- досліджені умови стабільного горіння ВКП, [12]- досліджено якісні показники покриття, напilenних з використанням ВКП, порошковими матеріалами з різною температурою плавлення,

АНОТАЦІЯ

Попіль Ю.С. Використання воднево-кисневого полум'я для напilenня покриття.- Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.06.- „Зварювання та споріднені технології”.- Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”, м.Київ,2005.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню кінетичних та теплових характеристик продуктів горіння суміші, яка виробляється електролізно-водяним генератором для нанесення покриття газополуменим способом.

В роботі досліджені газодинамічні та теплові характеристики струменю продуктів горіння, як чистої воднево-кисневої суміші так і з добавками парів вуглеводних сполук.

Визначені межі переходу від ламінарного до турбулентного характеру течії продуктів горіння суміші, яка виробляється електролізно-водяними генераторами в залежності від добавок в суміш парів вуглеводневих сполук.

Досліджено розподілення температури та швидкості течії струменю продуктів горіння по довжині факелу полум'я при різних характерах течії і складах продуктів горіння. Визначені умови отримання покриттів з матеріалів з різною температурою плавлення при газополуменому напilenні з використанням воднево-кисневого полум'я, отриманого при спаленні суміші, яка виробляється електролізно-водяними генераторами. Наведені технологічні параметри процесу при газополуменому нанесенні покриття з використанням воднево-кисневого полум'я.

Ключові слова: воднево-кисневе полум'я, електролізно-водяний генератор, ламінарний, турбулентний характер течії продуктів горіння,

ефективний температурний інтервал, швидкість частинок, міцність зчеплення, пористість покриття, газополуменеве напылення.

АННОТАЦИЯ

Попиль Ю.С. Использование водородно –кислородного пламени для напыления покрытий. -Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.06.- Сварка и родственные технологии. -Национальный технический университет Украины „КПИ”.Киев.2005

Диссертация посвящена разработке технологических основ использования водородно-кислородной смеси, производимой электролизно - водяными генераторами для нанесения покрытий газопламенным методом.

В работе проведены исследования по определению закономерностей изменения геометрических размеров факела и характера течения струи продуктов горения в зависимости от расходов и состава газовой смеси. Граница перехода от ламинарного к турбулентному характеру течения продуктов горения определялась фотографическим методом, моментом начала сокращения длины факела после достижения им максимальной длины и началом завихрения конца факела. Характер течения струи продуктов горения определялся числом Рейнольдса, за критерий оценки была взята критическая скорость истечения газового потока на срезе сопла горелки, которая рассчитывалась в зависимости от диаметра сопла и расходов горючей смеси.

Установлено, что граница перехода ламинарного к турбулентному характеру течения продуктов горения зависит от состава горючей смеси. Для водородно-кислородной смеси (ВКС) эта граница находится при критической скорости $v_c = 70$ м/с и $Re \approx 3500$. Насыщение ВКС парами углеводородных соединений смещает эту границу в сторону меньших скоростей.

На экспериментальной установке для исследования гидродинамических и температурных характеристик струи продуктов горения, изучен характер распределения температуры и напорного давления по длине факела. По результатам эксперимента рассчитана скорость струи, распределение ее по длине факела в зависимости от характера течения и состава продуктов горения.

Установлено, что длина эффективного температурного интервала, в котором возможно расплавление порошка с температурой плавления от 1000 до 1500 °С, больше при турбулентном характере течения струи продуктов горения, но они не достаточны для расплавления порошка. Для порошков с температурой плавления до 1000 °С, длина эффективного температурного интервала, больше при ламинарном характере течения струи продуктов горения. Показано, что добавки паров углеводородных соединений в водородно-кислородную смесь (ВКС) увеличивают протяженность эффективных температурных интервалов, изменяют максимальную скорость и характер распределения ее по длине факела.

По результатам исследований скорости и температуры газовой струи по длине газового факела, рассчитаны скорость и температура частиц напыляемого материала, определена оптимальная дистанция напыления. Максимальная

скорость частицы определялась экспериментально с использованием прибора светящихся объектов ИССО-1.

Установлено, что при ламинарном характере течения, в границах рабочей дистанции напыления, существуют три зоны движения частиц : зона разгона, зона стабильного движения и зона торможения. При турбулентном характере течения в пределах рабочей части пламени существуют только две зоны: зона разгона и зона стабильного движения частицы. Частицы напыляемого материала приобретают большую скорость при ламинарном характере течения продуктов горения по сравнению с турбулентным характером течения, за счет большей зоны разгона.

Добавление в смесь ВКС 5,5% паров бензина повышает максимальные скорости частиц более чем на 20% при всех характерах течения продуктов горения по сравнению с продуктами горения чистой ВКС.

Определена тепловая мощность исследованных смесей в зависимости от характера течения продуктов горения. Для данных условий исследования, она находится в пределах: при сжигании чистой ВКС от 2,5 до 7,4 МДж/час. Добавление в ВКС 5,5% паров бензина повышает тепловую мощность в 2,6-2,8 раз, а добавка паров этилового спирта в 1,7-2,4, по сравнению с чистым ВКП. Калориметрическим методом определена эффективная тепловая мощность однофазного и двухфазного потока с введением порошкового материала в струю продуктов горения, которая подтвердила увеличение эффективной тепловой мощности однофазного и двухфазного потока при насыщении ВКС парами углеводородных соединений.

Исследованы качественные показатели покрытия (пористость, прочность сцепления покрытия с основой) на образцах из стали Ст.45, для широко применяемых при газопламенном нанесении покрытий порошков меди, железа ПЖ-1 и сплава никеля ПГ-АН-33 грануляцией 20...40, 40...63, 63...100 мкм. Проведенные исследования показали, что для порошковых материалов с температурой плавления до 1000 °С и грануляцией 20...40 мкм для напыления эффективно применение ламинарного характера течения продуктов горения ВКС+5,5% паров бензина. При этом оптимальная дистанция напыления составляет 300 мм, что позволяет получать покрытия с прочностью сцепления покрытие-основа не ниже 30 МПа, пористостью не больше 3-4 %. Порошковые материалы с температурой плавления от 1250 до 1500 °С, ограничиваются только применением экзотермически реагирующих порошков. Эффективно использование ламинарного характера течения продуктов горения смеси ВКС+16 % паров спирта. При этом на дистанции напыления 250 мм, прочность сцепления покрытие-основа достигает 22 МПа и пористость 8-9 %.

Проведенный металлографический анализ покрытий подтвердил возможность получения плотной структуры покрытия при рекомендованных параметрах процесса.

Основные положения и рекомендации по практическому использованию ВКП были внедрены при нанесении покрытий на детали штампов в ООО „Инбор - остнастка” г. Киев, восстановлении размеров малогабаритных валов электродвигателей в институте механизации и электрификации сельского

хозяйства Украинской академии аграрных наук (ИМЭСХ), нанесении покрытия на плеть расходомера на опытном заводе Государственного аварийно-технического центра Украины г. Припять ЧАЭС.

Ключевые слова : водородно-кислородное пламя, электролизно - водяной генератор, ламинарный, турбулентный характер течения продуктов горения, эффективный температурный интервал, скорость частиц, прочность сцепления, пористость покрытия, газопламенное напыление.

SUMMARY

Y. Popil. Use of hydrogen-oxygen flame for spray coatings. - Manuscript.

Thesis on deriving of a scientific degree of the candidate of technical sciences, speciality 05.03.06.-"Welding and related technologies" -National Technical University of Ukraine „The Kiev Polytechnical Institute”, Kiev, 2005.

The dissertation is devoted to exploration of kinetic and thermal values of products of combustion of a mixture produced by the water electrolysis generators for flame spraying.

At the first stage dynamic and thermal values of a jet of combustion gases from both clear hydrogen-oxygen mixture and hydrogen-oxygen mixture with various carbohydrate additives were explored.

Laminar-to-turbulent transition boundaries for the jets of combustion product depending on the quantity of additives to the hydrogen-oxygen mixture produced by electrolysis were established

Distributions of temperature and flow rate along the torch length for different characters of a jet flow of combustion gases and additives in the mixture were explored. Process parameters for coating deposition of various materials with various melting points by hydrogen-oxygen flame with carbohydrate additives were established.

Keywords: hydrogen-oxygen flame, the water electrolysis generators, laminar and turbulent flow of combustion products, particles speed, adhesive strength, porosity of coating, flame spraying.