

УДК 621.793.620.172

**В.М. Корж, проф., д-р техн. наук**

*Національний технічний університет України „КПІ”*

**В.М. Лопата, доц., канд. техн. наук**

*Київський національний університет технологій та дизайну*

**Є.К. Солових, проф., канд. техн. наук, А.Є. Солових, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет*

## Особливості зміцнення деталей сільськогосподарської техніки газополуменевим напиленням матеріалів з низькою теплопровідністю

Робота присвячена розробці технологічних основ технології газополуменевого напилення порошкових матеріалів з низькою теплопровідністю для підвищення корозійної стійкості, зносостійкості і ресурсу деталей сільськогосподарської техніки і переробляючого виробництва. Одним з ефективних способів захисту від зносу і корозії є нанесення металокерамічних покриттів і композицій на їх основі. Встановлено, що частинки металокераміки не можуть бути розм'якшені в полум'ї відомих установок для газополуменевого напилення через малу довжину високотемпературної зони факела. Для збільшення довжини факела, запропоновано утворювати вторинний факел на певній відстані від сопла пальника. **різючі елементи, абразивне зношування, корозійно-механічне руйнування, робочі органи, знос, зміцнення**

**Стан проблеми.** У дослідженнях, присвячених зміцненню деталей сільськогосподарської техніки газотермічним напиленням порошків оксидів, карбідів і інших матеріалів з низькою теплопровідністю відзначається, що традиційним методом ГПН не вдається одержати якісні покриття із цих матеріалів [1-7]. Обумовлено це, насамперед коротким проміжком часу, протягом якого частинки матеріалу з низькою теплопровідністю не встигають прогрітися по всьому об'єму до температури плавлення. Таким чином, питання розробки процесу ГПН матеріалів з низькою теплопровідністю і температурами плавлення в діапазоні 800-1500<sup>0</sup>С для зміцнення, насамперед підвищення зносостійкості та корозійної стійкості деталей сільськогосподарської і переробної промисловості є актуальним.

**Мета і задачі дослідження.** Розробка процесу ГПН матеріалів з низькою теплопровідністю і температурами плавлення в діапазоні 800-1500<sup>0</sup>С для підвищення зносостійкості та корозійної стійкості деталей сільськогосподарської і переробної промисловості.

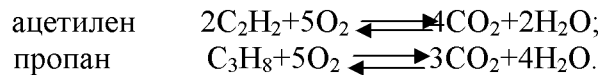
---

© В.М. Корж, В.М. Лопата, Е.К. Солових, А.Є. Солових, 2011

**Результати досліджень.** При газополуменевому напиленні (ГПН) джерелом теплової енергії є полум'я, що утвориться в результаті горіння суміші кисень-горючий газ. Порошок, що напилюється, надходить зі спеціальних емностей, прискорюється потоком транспортуючого газу і на виході із сопла терморозпилюючого пристрою попадає в полум'я. Частинки порошку, що захоплюються струменем горючого газу, нагріваються до температури високопластичного стану та плавлення і попадають на напилюєму поверхню, формуючи покриття.

В результаті експериментальних досліджень у якості горючого газу використовували ацетилен, пропан-бутан, водень, природний газ і інші газоподібні вуглеводні. Однією з найважливіших характеристик полум'я є його температура, що

залежить від співвідношення окислювач - горючий газ (рис.1). Дослідження показали, що доцільно при напиленні матеріалів з низькою теплопровідністю використовувати ацетилен і пропан-бутанову суміш, оскільки при їхньому згоранні досягається висока температура полум'я (3100°С і 2850°С відповідно). У табл. 1 приведені теплофізичні характеристики найбільш розповсюджених горючих газів. При повному згоранні цих газів у середовищі кисню протікають наступні хімічні реакції:



Теплотворна здатність суміші пропан-бутан і кількість тепла, що виділяється за секунду при горінні в суміші з киснем мають найбільше значення в порівнянні з іншими вуглеводнями (рис.2).

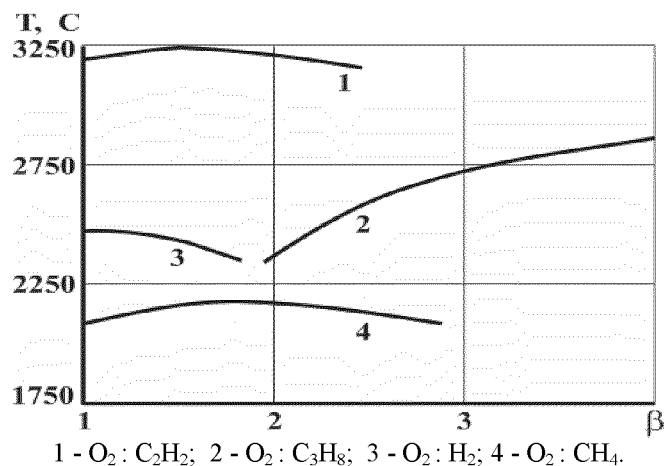


Рисунок 1 - Залежність температури газокисневого полум'я від співвідношення між кількістю кисню і горючого газу (β)

Процес нанесення покриття методом ГПН можна розглядати як результат фізико-хімічних взаємодій у багатофазній системі:

а) хімічна взаємодія в системі горючий газ - окислювач, у результаті якої виділяється обумовлена складом газової суміші кількість енергії, супроводжується значним підвищенням температури в зоні реакції, утворенням продуктів горіння, підвищенням тиску і швидкості їхнього переміщення в напрямку руху фронту полум'я;

б) взаємодія продуктів горіння з частинками матеріалу, що напилюється, у ході якого частинки одержують певну кількість теплової і кінетичної енергії;

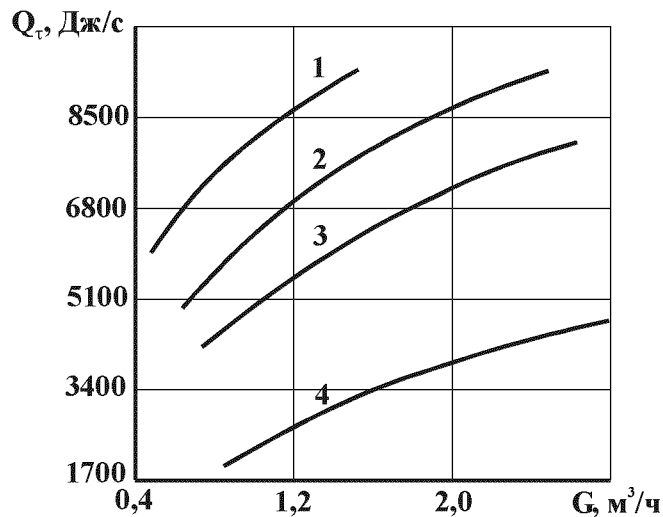
в) перехід кінетичної енергії руху напилюємих частинок у роботу деформації при їх механічному контакті з поверхнею, що напилюється.

На поверхні деталі утворюється необхідний шар захисного покриття, властивості якого залежать від кількісних і якісних характеристик процесів взаємодії. Напилене покриття формується шляхом послідовного укладання великої кількості розплавлених чи оплавлених частинок. Основні структурні елементи напиленого покриття - зерно, частинка, шар. На відміну від компактного матеріалу, який має два типи границь: міжзерневі і міжфазні, у напилених покриттях мають місце ще 3 типи границь, що роблять істотний, а найчастіше значний вплив на властивості покриття. Це границі між деформованими частинками, міжшарові границі і границі, що розділяють покриття і основу. Будова шару, сформованого за один прохід, неоднорідна і визначається різним енергетичним станом (температурою і швидкістю) частинок, які знаходяться в периферійній і центральній зонах потоку.

Таблиця 1 - Теплофізичні характеристики горючих газів

| Найменування параметрів                      | Горючі гази                               |                          |                                         |                                         |                          |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|
|                                              | Ацетилен<br>C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> | Водень<br>H <sub>2</sub> | Пропан<br>C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> | Бутан<br>C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> | Метан<br>CH <sub>4</sub> |
| Теплоутворююча здатність, кДж/м <sup>3</sup> | 48148                                     | 10760                    | 88015                                   | 113040                                  | 35590                    |
| Швидкість горіння, м/с                       | 13,7                                      | 8,9                      | 3,3                                     | 3,1                                     | 3,3                      |
| Максимальна температура горіння з киснем, °С | 3250                                      | 2470                     | 2850                                    | 3000                                    | 2200                     |

При послідовному укладанні шарів залишаються пори, особливо в стиках частинок. Вони впливають на фізико-механічні властивості покриттів. Оцінку їхньої кількості необхідно проводити при виборі режимів відновлення, зміцнення і захисту в кожному конкретному випадку. Крім пористості, найважливішою характеристикою покриттів є величина міцності їхнього зчеплення з основним металом, що є одним з основних критерієм при оцінці доцільності використання методів напилювання і напилюємих матеріалів для утворення чи відновлення покриттів для захисту від корозії.



1 - C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>(β=3,5); 2 - C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>(β=1,15); 3 - CH<sub>4</sub>(β=1,5); 4 - H<sub>2</sub>(β=1,1)

Рисунок 2 - Зміна кількості тепла, що виділяється за одиницю часу (Q<sub>т</sub>) у залежності від об'ємної витрати газів G при горінні в суміші з киснем

Незважаючи на досить широку поширеність методу ГПН, кінетика формування покриттів і умови нагрівання частинок, що напилюються, вивчені тільки для металевих порошоків. При формуванні покриттів з порошоків металів і сплавів були вивчені динаміка руху частинок, закономірності зміни їх теплофізичного стану, можливість активування процесу напилювання і побудовано залежності температур, швидкостей польоту частинок і властивостей покриттів від дистанції напилення. На рис.3 приведені, графіки зміни швидкості і температури частинок порошку при ГПН хромонікелевого самофлюсуючого сплаву, що стали класичними в практиці газополуменового напилювання металевих порошоків. Однак, як відзначається, при використанні екзотермічних реагуючих композицій (Ni-Al, Fe-Al) чи порошоків неметалів, змінюється характер і вид залежностей фізико-механічних властивостей

покрить від дистанції напилювання і інших технологічних факторів. Це обумовлено низькою теплопровідністю частинок неметалів, або їхньою високою температурою внаслідок хімічних реакцій екзотермічно реагуючої суміші.

Запропонований спосіб і пристрій для ГПН за допомогою якого одержали покриття з матеріалів з низькою теплопровідністю [8-9]. В основі розробки лежить ідея підвищення енергетичної потужності факела та подовження факела, тобто збільшення часу перебування частинок порошку в гарячій зоні факелу. Пропозиція зводиться до установки двох співвісно розташованих соплових наконечників, коли первинний факел з центрального отвору охоплюється полум'ям з другого отвору.

У процесі ГПН не відбувається сплавлення частинок напилюемого матеріалу з основою, тому на поверхні основи штучно формують шорсткість для забезпечення механічного зчеплення напилюємих частинок з мікронерівностями основи. Вибір методу підготовки поверхні вибирали в залежності від товщини покриття, властивостей напилюемого порошку і матеріалу деталі, конфігурації і розмірів поверхні, способу її обробки. На практиці найбільш часто застосовують наступні методи підготовки поверхні: нарізка "рваного різьблення"; нарізка канавок з обробленням типу " хвіст ластівки", струйно-абразивна обробка, нарізка канавок "рваного різьблення" з додатковим накопченням роликів, обкатування деформуючим роликом.

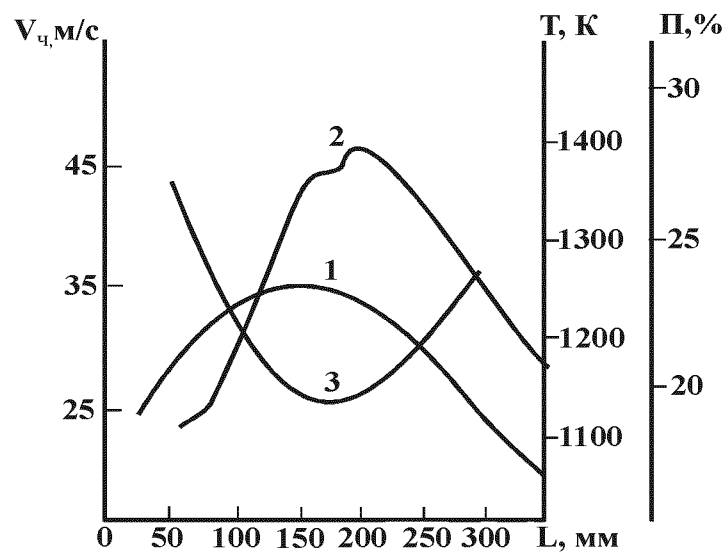


Рисунок 3 - Вплив дистанції напилення порошку сплаву самофлюсу марки ПГ-12Н-01 на швидкість польоту частинок (1), температуру частинок (2) і пористість покриття (3). Горючий газ: пропан-бутан;  $\beta \approx 4$

Перед нанесенням покриття товщиною менш 0,2 мм і для підготовки поверхні деталей з товщиною стінки менш 0,5 мм проводять травлення розчинами кислот. Деталі, що мають робочі поверхні з твердістю понад HRC50, рекомендується підготовляти до ГПН електроерозійним методом.

Серед перерахованих, найбільш розповсюдженим методом підготовки поверхні під напилення є струйно-абразивна обробка. Однак відносно низька продуктивність і велика кількість пилу, що утворюється при цьому процесі, роблять цей метод малопридатним для широкого використання при антикорозійному захисті металоконструкцій. Крім того, існуюче вітчизняне устаткування для струйно-абразивної обробки не пристосоване для використання на підприємствах

сільськогосподарського і переробного виробництв, оскільки за умовами охорони праці воно призначене лише для випадків обробки поверхні поза приміщеннями.

В останні роки широко застосовується метод стрічкового шліфування, однак цим методом неможливо обробити поверхні при питомих навантаженнях понад 2 МПа, тобто не можна очистити деталь від раніше нанесених покриттів. Крім того, даний метод не дозволяє робити якісне очищення поверхні, що має вм'ятини чи заглиблення.

Більш ефективним методом поверхневої обробки є використання щіток, що обертаються [10-13]... Даний спосіб через простоту і дешевизну інструменту, а також високу продуктивність одержав поширення при виконанні робіт по зачищенню, однак він малоефективний при видаленні товстого слою іржі.

Подальшим розвитком методу обертових щіток стосовно підвищення продуктивності і збільшення контактного тиску стала розробка технології голкофрезерування. Цей спосіб був використаний для підготовки поверхні під покриття і показав більш високі економічні й екологічні характеристики, ніж декоративне шліфування і струйно-абразивна обробка.

**Висновок.** Запропонований спосіб і пристрій для ГПН, за допомогою якого можна одержувати покриття із матеріалів з низькою теплопровідністю. В основі розробки лежить ідея підвищення енергетичної потужності факела та подовження факела, тобто збільшення часу перебування частинок порошку в гарячій зоні факелу. Пропозиція зводиться до установки двох співвісно розташованих соплових наконечників, коли первинний факел з центрального отвору охоплюється полум'ям з другого отвору. Була використана для підготовки поверхні технологія голкофрезерування, яка показала більш високі економічні й екологічні характеристики, ніж декоративне шліфування і струйно-абразивна обробка.

## Список літератури

1. Куприянов И.Л., Короткина М.Н., Верстак А.А. Изучение защитных свойств композиционных покрытий для деталей сельскохозяйственных машин. //Новые коррозионностойкие металлические сплавы, неметаллические и композиционные материалы и покрытия. Тезисы докладов научн.-техн. конф. по коррозионной защите металлов. Киев, 1983, С.45-46.
2. Теория и практика газопламенной напыления /П.А.Витязь, В.С.Ивашко, Е.Д. Манойло и др.- Минск: Наука і техника, 1993.-295с.
3. Рекомендации по газопламенному напылению порошковых материалов /Н.Н. Дорожкин, В.Т.Сахнович, М.А.Белоцерковский, Ю.В.Полупан и др.- Минск, ИНДМАШ АН БССР, 1986.-59с.
4. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление.- М.: Машиностроение, 1985. - 240 с.
5. Газотермическое напыление композиционных порошков / А.Я.Кулик, Ю. С.Борисов, А.С Мнухин. М.Д. Никитин.- Л : Машиностроение, 1985.-199с.
6. Ingham H , Shepard A. Flame spray handbook. Vol.2 Powder Process.- New York, Westbury: METKO INK., 1964, 96p.
7. Mayer S.A. Thermal spray coating a money saving technology //Welding Des. And Fabr., 1982, V.55, №2, p.66-79.
8. Черновол М.И., Крапивный В.Н., Лопата В.Н. Разработка газопламенного напыления удлиненным факелом // Збірник наукових праць КДТУ, Кіровоград. 2000.-№6.- С. 93-96.
9. Спосіб газополуменевого напылення порошковими матеріалами, переважно з низькою теплопровідністю /В.М. Кропивний, В.М.Лопата, М.А.Білоцерківський // Декларційний патент на винахід.-№37467А від 15.05.2001.
10. Кургузов Е.В. Технологическое описание качества поверхностного слоя закаленных деталей обработкой механическими щетками /Автореф. Канд. дис. - Куйбышев, КПИ, 1982.-20с.
11. Перепичка Е.В. Исследование процесса поверхностной обработки сталей щетками с ударными элементами /Автореф. канд. дис. - Львов, ЛПИ, 1979.-20с.
12. Абугов А.Л., Баршай И.Л. Влияние иглофрезерования на коррозионную стойкость низкоуглеродистых сталей //Защита металлов, 1990, т.26, №3, С.473-474.

13. Крапивный В.Н., Лопата В.Н., Златопольский Ф.Й. Применение иглофрезерования в процессах газопламенного напыления металлоэмалевых покрытий // Вестник НТУУ «КПИ», Машиностроение. 1999.-№37.- С. 105-112.

*В. Корж, В. Лопата, Е. Соловых, А. Соловых*

**Особенности упрочнения деталей сельскохозяйственной техники газопламенным напылением материалов с низкой теплопроводностью**

Работа посвящена разработке технологических основ технологии газопламенного напыления порошковых материалов с низкой теплопроводностью для повышения коррозионной стойкости, износостойкости и ресурса деталей сельскохозяйственной техники и перерабатывающего производства. Одним из эффективных способов защиты от износа и коррозии есть нанесение металлокерамических покрытий и композиций на их основу. Установлено, что частицы металлокерамики не могут быть размягчены в пламени известных установок для газопламенного напыления из-за малой длины высокотемпературной зоны факела. Для увеличения длины факела, предложено образовывать вторичный факел на определенном расстоянии от сопла горелки.

*V.Korzh, V. Lopata, E. Solovykh, A. Solovykh*

**Features of consolidating of details of agricultural technique of the flame spraying of materials with low heat conductivity**

Work is devoted development of technological bases of technology of the flame spraying of powder-like materials with low heat conductivity for the increase of corrosive firmness, wearproofness and resource of details of agricultural technique and processing production. One of effective methods of protecting from a wear and corrosion there is causing of ceramet coverages and compositions on their basis. It is set that the particles of ceramet can not be softened ablaze the known options for the flame spraying through small length of high temperature area of torch. For the increase of length of torch, it is suggested to form the second torch on certain distance from the nozzle of gas-ring.

Одержано 21.10.11