

УДК 669.14.018.252.3

- Нестеров О. В. канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри охорони праці і навколишнього середовища Національного університету «Запорізька політехніка», Запоріжжя, *e-mail: voretzen1206@gmail.com*, ORCID: 0000-0002-7637-7707
- Рубан В. Т. асистент кафедри охорони праці і навколишнього середовища Національного університету «Запорізька політехніка», Запоріжжя, *e-mail: rubanopns@gmail.com*, ORCID: 0000-0003-2339-1035
- Повзло В. М. старший викладач кафедри композиційних матеріалів, хімії та технологій Національного університету «Запорізька політехніка», Запоріжжя, *e-mail: pan431@ukr.net*, ORCID: 0000-0003-3458-9821

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИБУХОПОЖЕЖОБЕЗПЕЧНОЇ ЗАХИСНОЇ АТМОСФЕРИ ПРИ ВИКОНАННІ ОПЕРАЦІЙ ЦЕМЕНТАЦІЇ

Ключові слова: вибух, пожежа, цементация, вибухопожежонебезпечні складові атмосфери.

Вступ

Умови експлуатації деталей більшості виробів сучасного машинобудування потребують проведення низки спеціальних технологічних процесів, метою яких є підвищення рівня механічних та експлуатаційних властивостей. Зокрема, деталі механізмів, які зазнають значні контактні навантаження, потребують збільшення твердості поверхні для забезпечення достатньої зносостійкості. Зазвичай використовують азотування або цементацию.

Цементация – один з видів хіміко-термічної обробки, сутність якої полягає в отриманні поверхневих шарів з підвищеним вмістом вуглецю, що при подальшій термічній обробці дає змогу змінити структуру металу, суттєво підвищити твердість та зносостійкість поверхні.

Цементация піддають низьковуглецеві сталі, у складі яких міститься не більше 0,2 % вуглецю, наприклад, сталі 20X, 20X2H4A, 12XН3А.

Класична схема цементация передбачає підготовку поверхні деталей, створення насичувального середовища в залежності від обраного виду цементация, нагрів деталей до температур 920–960 °С, витримка деталей в атмосфері насичувального середовища при цій температурі впродовж часу, необхідного для проходження процесу дифузії атомів вуглецю в поверхневий шар металу на визначену глибину з подальшим виконанням операцій гартування та відпускання.

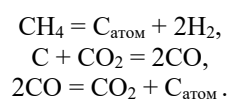
Вид цементация обирається в залежності від технологічних спроможностей підприємства та об'єму виробництва. Найбільш розповсюдженими є цементация в твердому карбюризаторі, газове та вакуумне цементування. Аналіз досліджень та публікацій.

У разі використання газової цементация постає необхідність обов'язкового виконання усього комплексу противибухових та протипожежних заходів, що пов'язано з використанням вибухопожежонебезпечних складових насичувального середовища.

В роботі запропоновано технічне рішення щодо зниження ризику вибухів та пожеж при газовій цементация зі збереженням насичувальної спроможності пічної атмосфери завдяки зниженню концентрації вибухопожежонебезпечних складових на початкових та прикінцевих операціях.

Результати досліджень

Максимальна ефективність процесу газової цементация може бути досягнута шляхом застосування ендотермічної атмосфери, яку, в класичному уявленні, отримують в ендогенераторах на нікелевому каталізаторі при конверсії природного газу та повітря у співвідношенні 1 : 3 при температурі 950–1000 °С. При такій температурі за хімізмом процесу складові газової суміші дисоціюють з виділенням атомарного вуглецю. До складу газової суміші входять: оксид вуглецю (CO), азот (N₂), водень (H₂), кисень O₂ і водяна пара (H₂O). Атомарний вуглець утворюється за реакціями:



Газова фаза в результаті цих реакцій збагачується активними відновниками CO і H₂.

Кількісний склад ендотермічної атмосфери, отриманої на основі метану або пропану є таким: 36,5–44 %

H_2 ; 1,5–4,0 % CO_2 ; 17,5–25 % CO ; 1,0–2,0 % CH_4 ; ост. N_2 . Використання суто ендотермічної атмосфери, в якості насичувальної, може забезпечити значення вуглецевого потенціалу, тобто рівноважної концентрації вуглецю на границі розділу середовищ газ–метал, не більше 0,6 % по вуглецю. В той час як найбільш прийнятними умовами для проведення цементації є значення вуглецевого потенціалу 1 – 1,4 % по вуглецю. У разі необхідності отримання глибини цементованого шару більш як 0,25 мм або для збільшення концентрації вуглецю в цементованому шарі використовують контрольовану ендотермічну атмосферу завдяки додаванню природного газу, об'ємна доля якого визначається експериментально.

Основні переваги ендотермічних атмосфер полягають у можливості автоматизації управління обладнанням, стабільності складу ендотермічної атмосфери на протязі довгого періоду, універсальності в отриманні атмосфер різного складу для термічної або хіміко-термічної обробки деталей з різних марок сталей.

Однак головним недоліком ендотермічних атмосфер є їх вибухопожежонебезпечність, що обумовлює застосування підвищених заходів безпеки.

Апробація результатів дослідження проводилась в реальних умовах термічного цеху АТ «Мотор Січ». Роботи проводились на печі для хіміко-термічної обробки фірми «УНИТЕРМ». Конструкція печі передбачає проведення безпосередньо цементації в робочій камері, а завантаження та видача садки відбувається через форкамеру. Як насичувальне середовище використовувалась ендотермічна атмосфера з додаванням природного газу для підвищення вуглецевого потенціалу від 0,6 % до 1,2 % по вуглецю, що задовольняє отриманню глибини цементованого шару до 1 мм, а його насиченість забезпечить після подальшої термічної обробки деталей твердість поверхні HRC 59–61 од. Значення вуглецевого потенціалу визначали по газоаналізатору TG5420S фірми «Dewkler», Германія [1].

В реальних умовах цементації повна дисоціація метану в робочій камері не відбувається, тому в складі насичувальної атмосфери завжди є його залишки. За хімічним аналізом, застосовуючи фотоколориметричний оптичний метод, попередньо проводили кольорову реакцію контрольованих компонентів відповідним реагентом в газовій фазі, а саме вибухопожежонебезпечних H_2 , CO , CH_4 . При цьому вміст залишкового метану склав 5,0 %. Відомо, що вибухонебезпечна концентрація метану в газових сумішах складає від 4,4 до 17 %, а найбільш вибухонебезпечна концентрація 9,5 % [2].

По закінченню стадії дифузійного насичення садка переміщується з робочої камери у форкамеру. Основною небезпекою при цьому є виток залишків насичувального середовища у форкамеру, де присутні не тільки залишки метану, а і водень та оксид вуглецю, що за умови потрапляння до цієї камери зовнішнього повітря може призвести до вибуху. Для попередження цієї небезпеки на зовнішньому отворі печі влаштована система вогневої зависи, функцією якої є допалювання небезпечних складових. Однак такий спосіб попередження вибуху не є надійним у зв'язку з можливістю неспрацювання автоматичної системи допалу. Наприклад, не спрацювання вогневої зависи на зовнішньому отворі печі «УНИТЕРМ» може відбутися внаслідок програмної помилки або механічного забруднення форсунок.

В якості додаткового заходу попередження вибуху запропоновано продувку форкамери мережевим азотом. Об'єм азоту на продувку залежить від прохідного перерізу вхідного патрубку та часу продувки. Планом експерименту було передбачено продувку на протязі 20, 40 та 60 хвилин. По закінченню кожного з періодів відбиралася проба та проводився хімічний аналіз на вміст складових газового середовища. Результати хімічного аналізу представлені на рис. 1.

Отримані результати аналізу складу газового середовища у форкамері свідчать, що концентрація вибухонебезпечних складових значно зменшується. Порівнюючи з тим, що залишковий вміст метану в насичувальному середовищі дорівнював 5 %, то після продувки азотом через 20 хвилин він зменшився до 0,065 %, через 40 хвилин були виявлені лише незначні залишки метану, кількість якого аналізом не визначалась, а при продувці протягом 60 хвилин залишки метану відсутні. Вміст оксиду вуглецю складав 2,0%, решта складових це безпечні азот, оксиди азоту і двоокис вуглецю [3].

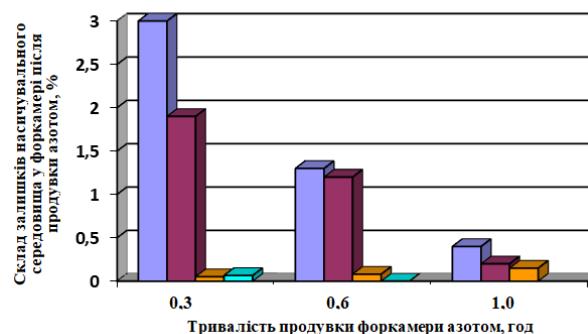


Рисунок 1. Залежність вмісту вибухонебезпечних складових газового середовища у форкамері від тривалості продувки азотом

Таким чином, гарантування безпеки може бути здійснено тільки через обов'язковим є виконання усіх нормативних вимог до виробничих дільниць, де відбуваються процеси хіміко-термічної обробки та впровадження додаткових технічних заходів.

Основним нормативно-правовим актом, який визначає планування та втілення організаційних заходів з вибухопожежної безпеки є НАПБ А. 01.001-2014 Правила пожежної безпеки України [4].

У відповідності до ДСТУ-Б-В.1.1-36-2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпечністю» виробничим приміщенням, де використовуються або приготавливаються газоповітряні суміші, в складі яких присутній метан, інші горючі гази, легкозаймисті, горючі і/або важко горючі рідини, а також речовини і/або матеріали, які здатні вибухати і горіти або тільки горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним, за умови, що приміщення, в яких вони знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються), та не відносяться до категорій А або Б, присвоюється категорія В [5].

За вимогами до приміщень категорії В та класу вибухонебезпечної зони – простору, в якому є або можуть з'явитися вибухонебезпечні суміші – за НПА ОП 40.1-1.21-98 клас зони визначається як В-1а, в котрих вибухонебезпечна концентрація газу і пари можлива лише в наслідок аварії або несправності, або класу В-1б зонам приміщень, де при аваріях можливе утворення лише місцевої вибухонебезпечної концентрації, яка поширюється на об'єм, не більший 5 % загального об'єму приміщення [6].

Вимоги цих правових актів передбачають такі основні організаційні та технічні заходи. До організаційних заходів відносяться:

- в конструкції печей для цементації обов'язково передбачають випускні клапани для скидання надлишкового тиску робочої атмосфери з можливістю допалу. Технологічні отвори печей повинні бути облаштовані пристроями для створення вогневої завіси для попередження потрапляння повітря в робочий простір печі;
- робочий простір печі має бути герметичним, що виключає ежекційний тиск. Контроль параметрів як ендогенераторів, так і печей повинен відбуватися автоматизованими системами з функціями сигналізації та блокування. В аварійних ситуаціях має бути передбачена можливість подачі в робочий простір інертних газів;
- улаштування систем вентиляції з установкою декількох вентиляційних агрегатів з забезпеченням достатньої продуктивності та рівномірності в усьому об'ємі приміщення;
- улаштування автоматичної сигналізації, що діє на відключення електроживлення обладнання в разі виникнення концентрації горючих газів, яка перевищує гранично допустимі значення. Кількість сигнальних приладів та їх розташування повинно забезпечувати безвідмовну дію сигналізації;
- електрообладнання має бути вибухозахищеним, а ступень захисту ізолюючих оболонок не нижче IP44 [7].

До додаткових технічних заходів запропоновано впровадження технічного рішення щодо можливості зниження концентрації вибухонебезпечних складових у залишках насичувального середовища до безпечних значень шляхом подачі у форкамеру печі азоту в необхідних об'ємах.

Висновки

Проведені дослідження підтвердили можливість зниження концентрації вибухонебезпечних складових у залишках насичувального середовища до безпечних значень шляхом подачі у форкамеру печі азоту в необхідних об'ємах. Подача азоту у форкамеру печі для хіміко-термічної обробки фірми «УНИТЕРМ» не викликає будь-яких технічних складнощів, а, зважаючи на те, що азот є інертним газом додаткові вимоги безпеки не висувуються.

Таким чином, запропоновано технічне рішення щодо зниження ризику вибухів та пожеж при газовій цементації зі збереженням насичувальної спроможності пічної атмосфери завдяки зниженню концентрації вибухопожежонебезпечних складових на початкових та прикінцевих стадіях операції. Крім вирішення надважливого завдання щодо підвищення рівня вибухопожежної безпеки підтверджено позитивний вплив на екологічність процесу цементації.

Список літератури

1. Зміна технологічного процесу термічної обробки ланок пиляльного ланцюга. Посвідчення на раціоналізаторську пропозицію № 040001 від 16 березня 2004 р. [Текст] / Нестеров О. В. – 2004.
2. Мельник О. В. Методи газового аналізу: особливості та перспективи [Електронний ресурс] / О. В. Мельник, М. М. Морозова // Тридцять друга всеукраїнська практично-пізнавальна інтернет-конференція. – Режим доступу : <https://naukam.triada.in.ua/index.php/konferentsiji/63-tridtsyat-druga-vseukrajinska-praktichno-piznavalna-internet-konferentsiya/800-metodi-gazovogo-analizu-osoblivosti-ta-perspektivi>
3. Нестеров А. В. Безопасная печная атмосфера для защиты от окисления при высокотемпературной термической обработке [Текст] : сб. науч. тр. Новые решения в современных технологиях / А. В. Нестеров. – Харьков : НТУ ХПИ, 2009. – № 16. – С. 18–20.

4. НАПБ А. 01.001-2014 Правила пожежної безпеки України [[Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=60541
5. ДСТУ-Б-В.1.1-36-2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65419
6. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (2029) [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://dnaop.com/html/2029/doc-%D0%9D%D0%9F%D0%90%D0%9E%D0%9F_40.1-1.21-98
7. ПУЕ - 2017 Правила улаштування електроустановок [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72758

Одержано 15.11.2023

INVESTIGATION OF THE EFFECTIVENESS OF AN EXPLOSION AND FIRE-PROOF PROTECTIVE ATMOSPHERE DURING CEMENTING

- Nesterov O. Candidate of Technical Sciences, Associate professor, Associate professor of the Department of Occupational and Environmental Safety of the National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, Zaporizhzhia, Ukraine, *e-mail*: voretzen1206@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7637-7707
- Ruban V. Assistant of the Department of Occupational and Environmental Safety of the National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, Zaporizhzhia, Ukraine, *e-mail*: rubanopns@gmail.com, ORCID:0000-0003-2339-1035
- Povzlo V. Senior teacher of the Department Composite Materials, Chemistry and Technologies of the National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, Zaporizhzhia, Ukraine, *e-mail*: pan431@ukr.net, ORCID: 0000-0003-3458-9821

Key words: *explosion, fire, cementation, fire-hazardous components of atmospheres.*

References

1. Nesterov O. V. Zmina tekhnologichnogo procesu termichnoyi obrobky lanok pylialnogo lanciuga. Posvidchenia na racionalizators'ku propozycyu, declared 16.03.2004 [Ukrainian].
2. Melnyk O. V. Morozova M. M. Metody gazovogo analizu: osoblyvosti ta perspektyvy. Available at : <https://naukam.triada.in.ua/index.php/konferentsiji/63-tridtsyat-druga-vseukrajinska-praktichno-piznavalna-internet-konferentsiya/800-metodi-gazovogo-analizu-osoblivosti-ta-perspektivi>.
3. Nesterov O. V. (2009). Bezopasnaya pechnaya atmocfera dlja zaschity ot okisleniya pri vysokotemperaturnoj termicheskoj obrabotke [Safe furnace atmosphere to protect against oxidation during high temperature heat treatment]. Har'kov, NTU HPI, 16, 18–20.
4. NAPB А. 01.001-2014. Pravyla pogzhezhnoyi bezpeky Ukrayiny [Fire safety rules of Ukraine]. Available at : https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=60541.
5. DSTU-Б-В.1.1-36-2016. Vyznachennja kategorij prymischen', budynkiv ta zovnishnikh ustanovok za vybuhopozhezhnoju ta pozhezhnoju nebezpeky [Designated categories of premises, buildings and external installations for vibration and fire hazards]. Available at : https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65419.
6. NPAOP 40.1-1.21-98. Pravyla bezpechnoji ekspluataciji elektroustanovok spozhyvachiv [Rules for the safe operation of consumer electrical installations]. Available at : https://dnaop.com/html/2029/doc-%D0%9D%D0%9F%D0%90%D0%9E%D0%9F_40.1-1.21-98.
7. PUE - 2017 Pravyla ulashtuvannja elektroustanovok [Rules for arranging electrical installations]. Available at : https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72758.