

## Конструкция на вакуумна пещ и технологични решения за повърхностно и обемно обработване на стомани

Юлия Йорданова, Трифон Трифонов

*On the basis of already existing vacuum furnaces an adapted design for conducting surface and volume treatment of steels was proposed.*

*Under the preliminary conducted technological experiments, the obtained results and the scientific technological research made, the need of such vacuum furnace construction was grounded. Two versions for prototype were proposed where after being evaluated, for technological and economic reasons the more profitable one was chosen.*

*To fully exploit the potential of the furnace it was provided route technologies for ion carburizing, nitrocarburizing, nitriding and carbonitriding in an environment of pulsed glow discharge and rapid gas cooling at high pressure to be developed.*

**Key words:** vacuum furnace, chemical-heat treatment, pulsed glow discharge, high pressure gas quenching

### ВЪВЕДЕНИЕ

Масово разпространените методи за термична (ТО) и химико-термична (ХТО) обработка на инструментални и конструкционни стомани са процесите на газово навъглеродяване и газово азотонавъглеродяване. Използват се шахтови пещи с външно индиректно нагряване на изделията в реторти. За закаляване се използват други допълнителни съоръжения, в т.ч. пещи за второ нагряване за закаляване, транспортиращи устройства, маслени вани, съоръжения за обезмасляване, пещи за отвърщане и др. Тези методи се характеризират с редица недостатъци като голям разход на реактивни газове, неравномерност на дифузионните слоеве, висока степен на замърсяване на околната среда поради отделяне на отровни газове при закаляване, наличие на технологични отпадъци от маслото за закаляване и необходимостта от обезмасляване на изделията след закаляване чрез използване на органични и неорганични обезмасляватели, частично обезвъгледодяване и окисляване на повърхността на изделията при транспортиране в нагрято състояние [2].

От извършено проучване се установи, че навъглеродяването е химико-термично обработване, което през последните десетилетия се развива много бързо в Япония, САЩ, Германия и напреднали в технологично отношение страни. Вниманието на водещите фирми е насочено към разработване на нови процеси за йонно навъглеродяване и азотонавъглеродяване [3].

### ИЗЛОЖЕНИЕ

С оглед на направеното проучване и във връзка с нуждите на машиностроенето от качествено, ефективно и екологично чисто обработване на изделията е необходимо да се изследва метода йонно навъглеродяване и азотонавъглеродяване с пулсиращ тлеещ разряд и ускорено газово охлаждане, като се изгради прототип на инсталация и се проведат конкретни изследвания за оценка на възможностите му. Аналогични изследвания да се проведат със стоманени изделия относно процесите азотиране и карбонитриране с пулсиращ тлеещ разряд. Закаляването с газ при повишено налягане в този случай е предшестваш процес, който се реализира на една и съща технологична позиция.

Направен е анализ на литературния обзор относно методите за повърхностно обогатяване на стоманите с въглерод, на базата на който са формулирани следните изводи:

- ✓ Перспективни се оказват химико-термичните обработки, реализирани във

вакуумна пещ с нискотемпературна пулсираща плазма, съчетани с процеса закаляване с газ при повишено налягане. Те най-пълно отговарят на нарастналите изисквания за качество и ефективност в областта на машиностроенето.

- ✓ Недостатъчни са данните относно: електрода за подаване на висок отрицателен потенциал, компоновката на нагревното пространство (материали, конфигурация и др), изискванията към високоволтовото импулсно захранващо устройство, управлението на въглеродния потенциал, системата за ускорено охлаждане с газ под налягане и др.
- ✓ Слабо е изучено и изяснено влиянието на факторите върху равномерността на дифузионния слой.
- ✓ По-голямо влияние, при закаляване с газ, върху скоростта на охлаждане има скоростта на протичане на газа, а не повишаване на налягането [1].
- ✓ Влиянието на налягането между 1000 и 3000 hPa върху скоростта на охлаждане е значително по-голямо от колкото налягането между 3000 и 5000 hPa [1].

За провеждане на технологични изследвания за йонна ХТО е извършено адаптиране на съществуващи вакуумни пещи както следва:

- Изработен е проходен електрод за подаване на висок отрицателен потенциал на масата за поставяне на изделията;
- Разработени са опорни изолатори от нов материал, устойчив на висока температура;
- Проектирана и изработена е система за дозиране и управление съотношението на два газа;
- Адаптирано е съществуващо високоволтово електрическо захранване и управление за пулсиращ тлеещ разряд;
- Адаптирана е съществуваща вакуумна пещ за отгряване, където са монтирани проходен електрод за подаване на висок отрицателен потенциал, катодна маса за поставяне на изделията, опорни изолатори от нов материал. Вакуумната пещ е окомплектована и пусната в действие с адаптирано високоволтово електрическо захранване и управление за пулсиращ тлеещ разряд.

Посредством адаптирана вакуумна пещ са проведени предварителни експерименти за навъглеродяване и азотонавъглеродяване в условията на пулсиращ тлеещ разряд. В диапазона от 1 kHz до 10 kHz и се установява постоянна честота 5 kHz на прекъсвания на плазмата.

Пробни тела от стомана 18ХГТ са подложени на йонно навъглеродяване при следните условия:

Налягане на навъглеродяващата атмосфера – 5 mbar; напрежение на пулсиращия тлеещ разряд – 400 V; температура на навъглеродяване – 975 °С; ток на пулсиращия тлеещ разряд – 5А; честота на прекъсванията – 5 kHz; вид на навъглеродяващата атмосфера - Ar/CH<sub>4</sub> 90/10; време за навъглеродяване - 15 min.

Охлаждането на изделията се осъществява с бавно с пещта, със скорост, близка до равновесната. При тези условия на експеримента е измерена дълбочина на слоя 0,42 mm до зоната 50% перлит и 50% ферит.

На повърхността е констатирана перлитна структура със силно изразена цементитна мрежа. Пробно тяло, навъглеродено при горепосочените условия е отгрято при температура на навъглеродяване  $T_{\text{навъгл.}} = T_{\text{отгр}} = 975 \text{ }^{\circ}\text{C}$  в продължение на 30 минути. След бавно охлаждане на повърхността на пробното тяло е установена перлитна структура, а дебелината на слоя е увеличена на 0,61 mm.

Проведени са серия опити за азотонавъглеродяване на пробни тела в условията на пулсиращ тлеещ разряд в температурния интервал 820-880 °С.

Изследвани са възможностите за азотонавъглеродяване с различно съотношение на активните газове аргон/метан/азот в съотношения 80/10/10.

И при двата процеса е установено, че при наличие на пулсираща плазма и използване на навъглеродяваща/азотонавъглеродяваща атмосфера с ниска концентрация на навъглеродяващ газ се насища повърхностния слой с въглерод, еквивалентен на този, получен при газово навъглеродяване/азотонавъглеродяване/ с висока концентрация на навъглеродяващ газ и висок въглероден потенциал.

Йонно навъглеродени (азотонавъглеродени) и отгряти до допустимите повърхностни концентрации на въглерод пробни тела от различни стомани са подложени на закаляване с газ. Закаляването е осъществено в съществуваща вакуумна пещ на фирмата Brown Boveri от температури на навъглеродяване или над  $A_{сз} - T_H = T_{зак} = 975 \text{ }^{\circ}\text{C}$  и от оптималната температура закаляване на евтектоидни и надевтектоидни стомани - над  $A_{с1} - T_3 = 847 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Проведените експерименти при различни налягания на охлаждащия газ показваха, че критичната критичната скорост на охлаждане се постига след охлаждане на изделията при налягане 3 bar. Получените резултати в голяма степен кореспондират с теоретичните, получени след симулация на процесите навъглеродяване, отгряване и закаляване.

След анализ на резултатите от технологичните изследвания за йонно навъглеродяване (азотонавъглеродяване) и закаляване с ускорено газово охлаждане е съставено техническо задание за проектиране на прототип на вакуумна пещ.

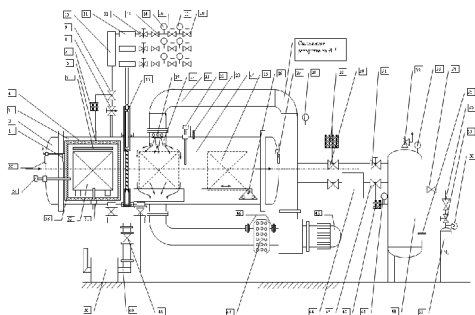
Основни технически показатели на съоръжението са:

- Максимална работна температура, $^{\circ}\text{C}$	1100;
- Размери на работното пространство, VxHxL, mm	350x350x450;
- Максимална маса на обработваните изделия, kg	50;
- Мощност на центробежния вентилатор, kW	до 20;
- Дебит на центробежния вентилатор, $\text{m}^3/\text{h}$	до 8 000;
- Работно налягане на газа за охлаждане в ресивера, bar	до 10;
- Максимален ток на постояннотоков тлеещ разряд, A	до 50 A;
- Напрежение на постояннотоков тлеещ разряд, V	от 300 до 800;
- Честота на импулсите, kHz	5;
- Мощност на електросъпротивителния нагревател, kW	60.

На базата на техническото задание и са разработени два варианта (Фиг.1 и Фиг.2 ) на идейни проекти за изграждане на прототип на вакуумна пещ.

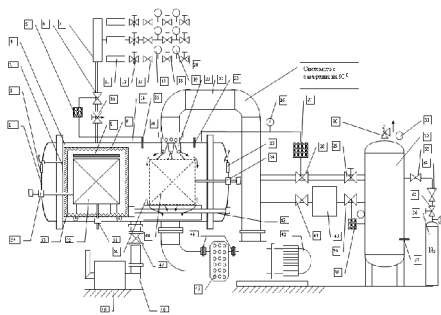
Вариант I представлява двукамерна хоризонтална вакуумна пещ, която се характеризира с това, че нагревателната камера е отделена посредством херметичен шибър и топлоизолационен екран от камерата за охлаждане. В резултат на това конструктивно решение се усложнява помпеният агрегат; създава се необходимост от уеднаквяване на налягането в двете камери, за да може да се манипулира с шибърния вентил. При неизпълнение на това условие се създават условия за получаване на трудно възстановими аварии.

Пътят на изделията от камерата за нагряване към камерата за охлаждане е прекъснат от шибърен вентил, което налага транспортиращото устройство да е разположено в камерата за охлаждане и да извършва сложни движения – възвратно-постъпателно и вертикални движения. В условията на нагreti до високи температури изделия ( $850 - 1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), транспортиращото устройство е подложено на топлинно въздействие, при което се налага защита на неговите лагеровки, предавателни механизми и др., водачи, направляващи и други възли.



Фиг. 1. Вариант I:

Схема на общия вид на Двучамерна  
хоризонтална вакуумна пещ



Фиг. 2. Вариант II:

Схема на общия вид на Еднокамерна  
хоризонтална двузонова вакуумна пещ

Легенда

- |  |   |   |
|--|---|---|
| 1. Капак   | 20. Спирателен вентил                         | 43. Транспортиращо устройство                                   |
| 2. Люк за наблюдение   | 21. Дюзи за разпределение                     | 44. Датчик за температура                                       |
| 3. Топлоизолационни екрани   | 22. Тръбопровод                               | 45. Топлообменник   |
| 4. Зона за нагряване   | 23. Датчик за налягане                        | 46. Изделия, предназначени за ТО и ХТО                          |
| 5. Контролер   | 24. Датчик за температура-термодвойка NiCr/Ni | 47. ЕМВ за понижено и повишено налягане                         |
| 6. Електромагнитен вентил (ЕМВ)  | 25. Люк за наблюдение                         | 48. Филтър  |
| 7. Камера за смесване на реакционни газове                             | 26. Манометър                                 | 49. Вакуумна помпа  |
| 8. Графитов нагревател   | 27. Контролер                                 | 50. Зона за охлаждане   |
| 9. Подвижни топлоизолационни екрани                                    | 28. ЕМВ                                       | 51. Проходен електрд за подаване на висок отрицателен потенциал |
| 10. Иглен вентил   | 29. Спирателен вентил                         | 52. Изделия, предназначени за ТО и ХТО                          |
| 11. Ротаметър  | 30. Предпазен клапан                          | 53. Топлинна изолация   |
| 12. Иглен вентил   | 31. Манометър                                 | 54. Възел за измерване на температурата - термодвойка Pt/RhPt10 |
| 13. Спирателен вентил  | 32. Ресивер, $p_{max} = 10 \text{ bar}$       |   |
| 14. Вакуумна камера  | 33. Вентил                                    |   |
| 15. Датчик за налягане в диапазона $10^{-2}$ до $10^{-1} \text{ mbar}$ | 34. Редуциращ вентил                          |   |
| 16. Топлообменник  | 35. Спирателен вентил                         |   |
| 17. Манометър  | 36. Бутилка с газ за охлаждане ( $N_2$ )      |   |
| 18. Редуциращ вентил   | 37. Датчик за налягане                        |   |
| 19. Манометър  | 38. Контролер                                 |   |
|  | 39. Вентил                                    |   |
|  | 40. Компресор                                 |   |
|  | 41. Вентил                                    |   |
|  | 42. Центробежен вентилатор                    |   |

Вариант II представлява еднокамерна хоризонтална двузонова вакуумна пещ, която включва помпен агрегат и две зони: зона за нагряване и зона за охлаждане.

Зоната за охлаждане е оборудвана със система за охлаждане с газ под високо налягане и система за многократно използване на газа за охлаждане. Зоната за нагряване е оборудвана с електросъпротивителен нагревател и катодна маса за поставяне на изделията за обработване. Транспортиращо устройство премества изделията от зоната за нагряване в зоната за охлаждане и обратно.

Предимствата на Вариант II се състоят в следното:

Сравнително просто конструктивно решение, което е обосновано от технологичната последователност при изпълнение на дадена маршрутна технология; лесно техническо обслужване; ниска металоемкост; икономически изгоден вариант при

изграждането му и икономически ефективен при експлоатацията му в реални условия; кратък срок на изкупуване – до 3 години

Предвид изтъкнатите по-горе предимства и недостатъци на двата варианта за разработване на Работен проект е избран Вариант II. В съответствие с техническото задание и принципната схема на работа на пещта е предвидено да се разработят маршрутни технологии за йонна цементация и нитроцементация, азотиране и карбонитриране в условията на пулсиращ тлеещ разряд и ускорено газово охлаждане. На тази основа се създават алгоритми за пълно автоматизиране на процеса чрез микропроцесорно управление, както на технологичния процес и пряко свързаните с него функционали възли, така и на други подсистеми като помпен агрегат, система за дозиране и смесване на три газа, система за охлаждане на изделията при повишено налягане и др. Автоматизирането на технологичният процес позволява да се осъществи повторяемост на резултатите и високо качество на обработваните изделия, намалява вероятността за аварийни ситуации, създават се облекчени условия на труд и опазване на околната среда.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Химико-термичните обработки, реализирани във вакуумна пещ с нискотемпературна пулсираща плазма, съчетани с процеса закаляване с газ при повишено налягане напълно отговарят на нарастналите изисквания за качество и конкурентноспособност на обработваните изделия в областта на машиностроенето. Обосновано е изграждането на прототип на вакуумна пещ за йонна химико-термична обработка и закаляване с газ под налягане.

### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Люты, В. Закалочные среды, Справочник, Челябинск „Металургия”, 1990 г.
- [2] Трифонов, Д. Йонно навъглеродяване във вакуумна пещ, Дисертация, Русе, 1987.
- [3] <http://web.ald-vt.de/cms/>

### **За контакти:**

1. инж. Юлия М. Йорданова, Техноваксисем ООД, гр. Русе, бул. Трети март, № 40, тел. 082 820 664, e-mail: [office@technovacsystem.com](mailto:office@technovacsystem.com)
2. доц. Трифон И. Трифонов, Русенски университет „Ангел Кънчев”, тел. 082 888 437, e-mail: [trifonow@uni-ruse.bg](mailto:trifonow@uni-ruse.bg)

**Докладът е рецензиран.**