

Конструктивно решение за токоподвеждащи елементи във вакуумна пещ

Юлия Йорданова

A problem in supply voltage heating elements in vacuum furnace is heating units, driven by higher values of eddy currents. It is closed induction currents in solid conductors which occur under the influence of vortex electric field induced by alternating magnetic field. As a result of the heating occur burnout seals of the current lead. The purpose of this paper is a solution to the structural problems through appropriate changes in the design of current lead. To prevent unwanted heating effect in the construction of the vacuum input current lead an additional metal pipe concentric to current lead should be included. There have been a series of studies with different diameters of tubes with and without longitudinal slot.

Key words: vacuum furnace, current lead, gaskets

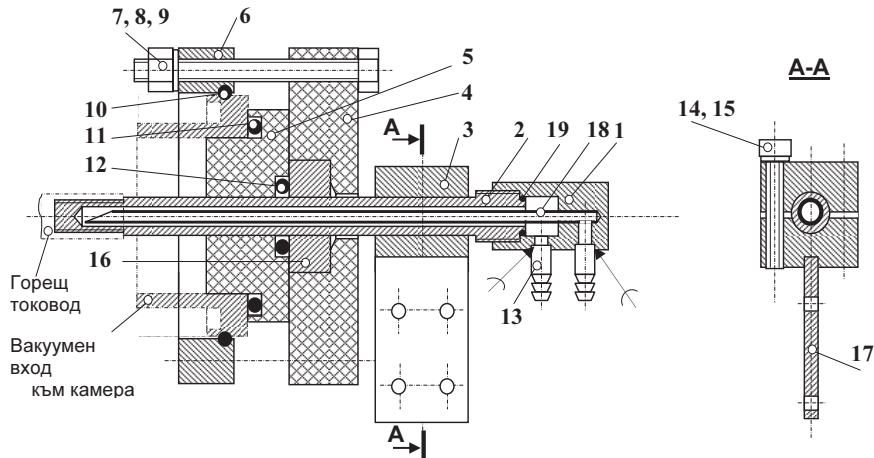
ВЪВЕДЕНИЕ

За захранване с електрическо напрежение на различните устройства, работещи във вътрешността на вакуумни камери са необходими херметични електрически тоководи, които да са изолирани от корпуса им. Материалите за токопровеждащите елементи, изолятори и вида на вакуумните уплътнения към тях, се избират в зависимост от конкретните условия за експлоатация: напрежение, сила на тока, честота и др. В зависимост от електрическите параметри и предназначението, тоководите могат да бъдат нисковолтови или високоволтови, слаботокови или силнотоккови, нискочестотни или високочестотни, нисковакуумни или високовакуумни [2]. За нагревателите във вакуумните пещи широко се използват нискочестотни нисковолтови силнотоккови тоководи. На фиг. 1 и 2 са представени съответно външен вид и схема на конструкцията на нисковолтов силнотокков водоохлаждаем токовод на вакуумна пещ.



Фиг. 1. Водоохлаждаем токовод за вакуумна пещ – външен вид

Проблем в конструкцията на токоподвеждащите елементи (“тоководи”) към нагревателя във вакуумните пещи е загаряване на възела, породено от високите стойности на вихровите токове на Фуко. Това са затворени индукционни токове в масивни проводници, които възникват под действието на вихрово електрическо поле, породено от променливо електромагнитно поле. Съгласно закона на Джаул – Ленц вихровите токове нагряват проводника, в който възникват, в резултат на което настъпва прегаряне на уплътненията на токовода.



Фиг. 2 Схема на конструкция на водоохлаждаем токовод за вакуумна пещ
 1.Колектор воден; 2. Топлообменник; 3. Клема; 4. Притискач; 5. Преходник;6. Фланец;
 7, 8, 9, 14, 15. Крепежни елементи; 10. Пръстен осигурителен;11, 12, 19. Уплътнения;
 13. Щуцер; 16. Плоча; 17. Планка; 18. Тръба водно охлаждане.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Цел на настоящата разработка е намиране на решение на гореописания конструктивен проблем в токоподвеждащите елементи във вакуумна пещ, чрез подходящо изменение в конструкцията на токовода.

1. Проучване на проблема

Големината на вихровите токове зависи от съпротивлението на проводниците и индуцираното електродвижещо напрежение (ЕДН) [4]:

$$I = \epsilon_i / R = d\Phi_B / Rdt,$$

където: I – големина на тока, А; ϵ_i – индуцирано електродвижещо напрежение, V
 R – съпротивление, Ω ; Φ_B – магнитен поток, Wb

Съпротивлението на масивни проводници R е много малко поради голямото им сечение. Ако магнитният поток Φ_B се променя много бързо, когато магнитното поле се създава от променлив ток с голяма честота, вихровите токове I достигат до големи стойности, в резултат на което проводникът се загарява.

За намаляване на вредното въздействие на вихровите токове, в общото машиностроене се използват два основни метода [1, 3]:

- Конструктивните елементи се изработват от материали с високо съпротивление, например електротехническа стомана с повишено съдържание на силиций. Поради високото съпротивление на материала на основните елементи се постига намаляване на силата на вихровите токове, респ. частично предотвратяване на загарването на проводника, което е и неговият недостатък.

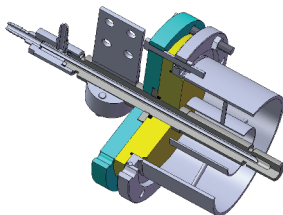
- В конструкцията на възлите се включват допълнителни елементи (пластини и др.) перпендикулярни на направлението на вихровите токове. Целта е ограничаване на пътя на разпространение на вихровите токове, намаляване на напречното сечение на проводника, през който протичат токовете, което води до намаляване на големината им.

В областта на вакуумната техника, водещите производители на вакуумни пещи не публикуват информация за начина на решаване на проблема.

2. Предложение за конструктивно решение и провеждане на експерименти

За предотвратяване на нежелания ефект от загряване на токоподвеждащия елемент във вакуумна пещ се предлага решение, което се състои в следното: в конструкцията на вакуумния вход е включена допълнителна, съосна на токовода, метална (Ст3) тръба с дебелина на стената 3-5 мм (фиг. 3), разположена между фланеца на вакуумния вход и корпуса на топлообменника. Закрепването ѝ става чрез заварени към нея и фланеца на вакуумния вход 3 бр. ребра. По този начин се прекъсва променливото електромагнитно поле създадено в токовода и ефекта му се концентрира в междинния елемент – допълнителната тръба. Като кух проводник в нея се индуцират токове на Фуко с по-малки стойности и респективно нагряването на тръбата е по-малко.

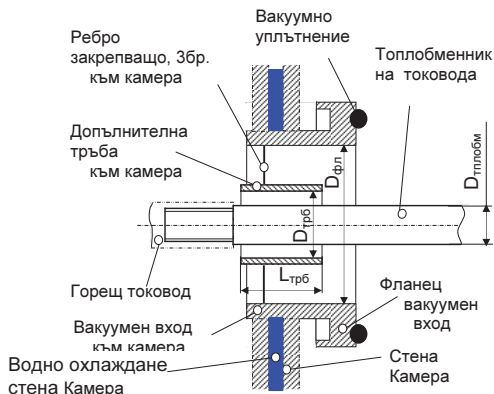
Проведени са серия експерименти с различни диаметри на тръби, с и без надлъжен прорез, както и с промяна диаметъра на фланеца на вакуумния вход.



Фиг. 3. Токовод за вакуумна пещ за термична обработка с включена в конструкцията допълнителна метална тръба.

Условия на експериментите (Фиг. 4):

- Ток през токовода – 350 А, 50 Hz;
- Време за провеждане на всеки опит: 5 часа (приблизително времетраене на един цикъл за термообработка);
- Диаметър на топлообменника ($D_{\text{тпобм}}$), (фиг. 2, поз. 2 и Фиг 4), 32 mm;
- Размери на допълнителната метална тръба $D_{\text{трб}} \times b_{\text{трб}} \times L_{\text{трб}}$, mm:
64 x 3,5 x 10, 20, 30 (без процеп);
64 x 4,0 x 10, 20, 30, 60 (без процеп);;
118 x 4,0 x 46, с процеп с ширина 6 mm, 12 mm и без процеп;
- От конструктивни съображения, диаметърът на фланеца на вакуумния вход ($D_{\text{фл}}$) може да бъде в границите от (1,8 - 3,7 $D_{\text{трб}}$). За разглеждания случай са приети 120 mm и 163 mm, съответно за $D_{\text{трб}} = 64$ mm и 118 mm.



Фиг. 4. Елементи от конструкцията и геометричните им параметри, които имат отношение към решението на проблема.

Резултатите от експеримента са представени в табл. 1:

Таблица 1.

Номер вариант	$D_{\text{трб.}}$ mm	$b_{\text{трб.}}$ mm	Дължина $L_{\text{трб.}}$ mm	Процеп, mm	Температурата на фланеца, в близост до уплътнението, °С	
0	Без допълнителна тръба				153	
1	64	3,5	10	0	145-152	
2	64	4				
3	64	3,5	20		135- 140	
4	64	4				
5	64	3,5	30		125	
6	64	4			121	
7	64		60		72	
8	118	4	46		0	90
9	118				6	132
10	118				20	176

Ефекта на вихровите токове е представен условно, чрез измерената в близост до уплътнението, температура на фланеца. Безопасна стойност на температурата на уплътнението се приема тази, която не нарушава еластичните му качества. За използваните във вакуумната техника уплътнения от каучук се препоръчва [5, 6] максимална работна температура до 180°C, за силиконовите - 230°C. За да се намали топлинното стареене, работните максимални температури в практиката са приети съответно в границите 100-110 и 140-150°C. Вакуумният вход, в което е разположено уплътнението, се охлажда посредством принудително водно охлаждане на стената на камерата. Вариант 0 в табл. 1 показва, че и принудителното водно охлаждане не е достатъчно, за да осигури нормална работна температура на уплътнението.

В конструкцията на тоководите за провеждане на експериментите са използвани каучукови уплътнения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въз основа на проведените експерименти чрез промяна на конструкцията на токовод за вакуумна пещ и получените резултати за достигнатата температура на близост до фланеца на вакуумния вход (пропорционална на големината на вихровите токове), е отчетено следното:

1. Ефектът на вихровите токове намалява с увеличаване на дължината и дебелината на междинната тръба при един и същ диаметър. Най-ниска температура в близост до уплътнението, при която се запазват неговите работни характеристики, е отчетена при експериментите с включена в конструкцията на токоподвеждащия елемент допълнителна междинна метална тръба, съосна на токовода - варианти 7 и 8. От данните в Табл.1 се вижда, че при относително малки дебелини и дължини на допълнителната тръба, измерената температура превишава максималната работна температура на уплътнението и решенията за тези варианти са неподходящи.
2. Промяната на дебелината на допълнителната междинна тръба с 15% при малки дължини не влияе съществено върху ефекта от вихровите токове;

Във връзка с горното, следва, че най-изгоден вариант на предложеното конструктивно решение за предотвратяване на нежелания ефект от загряване и прегаряне на уплътненията в токоподвеждащи елементи на вакуумни пещи е

включване на допълнителна метална тръба без процеп, съосна на токовода, с диаметър два пъти по-голям от диаметъра на топлообменника на токовода и възможно най-голяма дължина (≈ 60 мм).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Барудов, С., В. Илиев, Б. Ников, „Електроматериалознание в електротехниката и електрониката”, ТУ-Варна, 2005.
- [2] Розанов, Л. Н., „Вакуумная техника”, Москва, Высшая школа, 1990.
- [3] <http://electrono.ru/elektromagnetizm-i-elektromagnitnaya-indukciya/22-vixrevye-toki>
- [4] <http://phys.tu-sofia.bg/ef/Phys%202/Lektzii/Magnetizum/9%20vupros.pdf>
- [5] [http://www.izolat.net/silicongaskets.php?lang=\\$ SESSION\[lang'\]](http://www.izolat.net/silicongaskets.php?lang=$ SESSION[lang'])
- [6] http://www.zku-sz.com/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1&lang=bg

За контакти:

Инж. Юлия М. Йорданова, докторант, Катедра “Машинознание, машинни елементи и инженерна графика”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 0877 775196, e-mail: yordanova@ru-acad.bg

Докладът е рецензиран.