

## АВТОМАТИЗИРАНА СИСТЕМА ЗА НАГРЯВАНЕ ПРИ ДИФУЗИОННО ЗАВАРЯВАНЕ НА СЪЕДИНЕНИЯ С КЕРАМИКА

Пламен Ташев

[weld@abv.bg](mailto:weld@abv.bg)

*ИМет „Акад. Ангел Балеvски” БАН  
бул. „Шипченски проход” 63, София 1574, БЪЛГАРИЯ*

*Ключови думи: дифузионно заваряване, керамика, нагряване, апаратура, автоматизация*

*Резюме: Направено е проучване за значимостта на системите за нагряване при вакуумно-дифузионно заваряване на съединения с керамика. Разгледани са недостатъците на системите с индукционно нагряване. Разработена е компютърна система за управление, която позволява реализиране на сложни термодформационни цикли, архивирание и обработка на информацията от експериментите и повтаряемост на заваръчния цикъл без използването на обратна връзка по температура.*

Развитието на съвременните технологии е свързано с разработването на изделия от нови материали включващи възли от заварени съединения с керамика. Една от основните причини за бурното развитие на технологиите изискващи нови материали и съединения е задаващата се енергийна криза свързана с изчерпването на петрола и навлизането на възобновяемите източници на енергия. Проблемата със съхраняването на електрическата енергия води до качествено нови изисквания към материалите и възлите използвани в акумулаторите за електромобили и комуникационни устройства. Същото се отнася и за развитието на компютърната техника, електрониката, силовата електротехника, общото машиностроене и инструментите за обработка, автомобилостроенето, самолетостроенето (Фиг1), ракетостроенето и отбранителната индустрия.

Дифузионното-вакуумното заваряване на възли от метал с керамика е метод подходящ за използване в тези отрасли поради високото качество на заварените съединения. Използва се за заварени съединения в състава на които влизат разнородни метали, метали и керамика (Фиг.2), метали и/или стъкло, труднотопими метали [1].



Фиг.1 Дифузионно-вакуумно заварени възли в самолет

Вакуумно-дифузионно заварените възли с керамика имат висока якост, устойчивост на работа при високи и ниски температури, в агресивни среди и не променят свойствата си при радиоактивни лъчения и електромагнитно въздействие, имат нужната стабилност и дълговечност при работа, устойчивост на термоудари, на влажност и налягане. Заваряваните съединения запазват своята геометрия поради сравнително ниските температури на заваряване и използването на междинни слоеве понижавачи възникналите напрежения.



Фиг.2 Заварени съединения на метал с керамика

Изследванията свързани със заваряемостта на съединения в състава на които влиза керамика е съвременно стратегическо направление.

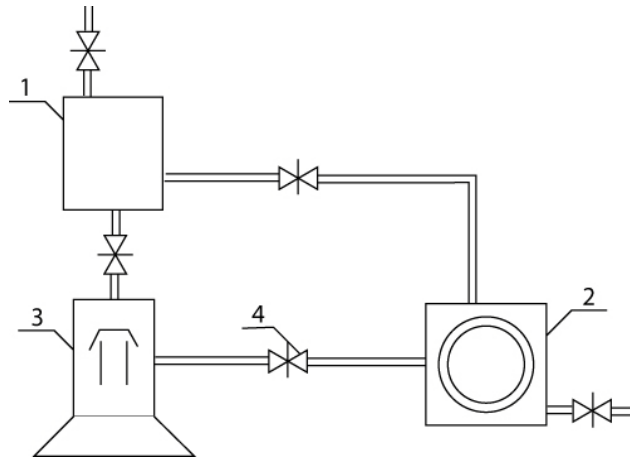
Заваряването на съединения с керамика се извършва в инсталации за вакуумно- дифузионно заваряване.

Известно е, че диапазона на наляганията във вакуумните устройства, които позволява съвременната техника и тези в космическите установки е условно разделен на пет групи: нисък ( $1.10^{-3}$ ); висок ( $1.10^{-3}$  до  $1.10^{-6}$ ); много висок ( $1.10^{-6}$  до  $1.10^{-9}$ ); свръх висок ( $1.10^{-9}$  до  $1.10^{-12}$ ); космически ( $1.10^{-12}$  до  $1.10^{-14}$ ) mmHg.

В заваръчните инсталации обикновено се използва нисък и висок вакуум,

т.е.  $1 \cdot 10^{-2}$  до  $1 \cdot 10^{-7}$  mmHg.

Заваряването на детайлите се извършва във вакуумна камера (Поз.1), като вакуума се осигурява от последователно действащи форвакуумна (Поз.2) и дифузионна (Поз.3) помпи. Управлението и последователността на действие се извършва с помощта на вентили (Поз.4), (Фиг.2).



**Фиг.2.** Схема на инсталация за дифузионно заваряване във вакуум.  
Поз.1 – Вакуумна камера; Поз.2 – Форвакуумна помпа;  
Поз.3 – Дифузионна помпа; Поз.4 - вентили

Дефинирани са следните по-важни техническите изисквания към апаратурите за дифузионно заваряване във вакуум [2]:

- Пълна херметичност
- Достатъчна механична и термична якост и формоустойчивост

Незначителни количества газ проникнали във вакуумната камера, могат рязко да променят степента на вакуума и да влошат работоспособността на апаратурата [3].

В литературата [2] е известна подробна класификация на видовете инсталации за дифузионно заваряване във вакуум.

От гледна точка на подаване на необходимото налягане към заваряваните детайли апаратурите биват с хидравлично или пневматично налягане или с налягане осъществено в следствие на температурното разширение на материалите.

В зависимост от степента на вакуумиране: с нисък и с висок вакуум.

От гледна точка на източника на нагряване: индукционно, електросъпротивително, радиационно, с тлещ разряд, електроннолъчево, комбинирани методи на нагряване.

По степен на автоматизация: с ръчно, полуавтоматично и автоматично управление.

Избора на системата за нагряване в зависимост от характеристиките на заваряваните детайли е от изключително важно значение.

В ИМет БАН е разработена инсталация за вакуумно-дифузионно заваряване с индукционно нагряване. Топлината се отделя на повърхността на детайлите, а вътрешността им се загрива чрез топлообмен [4].

Важен параметър на индукционното нагряване е разстоянието между индуктора и детайлите. Намалването на хлабината увеличава ефективността на

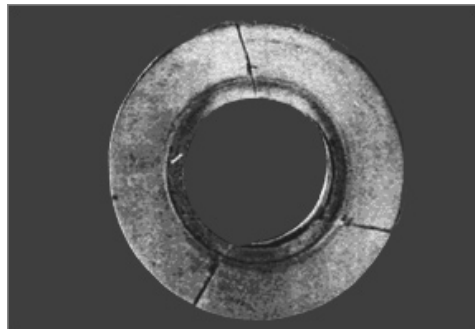
нагряване, но преминаване под определена критичната стойност предизвиква прегряване. Критичната стойност на хлабината зависи от топлофизическите свойства на материалите.

Известни са резултати от изследвания, които отразяват влиянието на режима на заваряване върху механичните свойства на съединенията получени при индукционно нагряване[5, 6].

За решаване на задачата, която сме си поставили „Заваряване на съединения с керамика” наличната система на нагряване е крайно неподходяща поради следните причини:

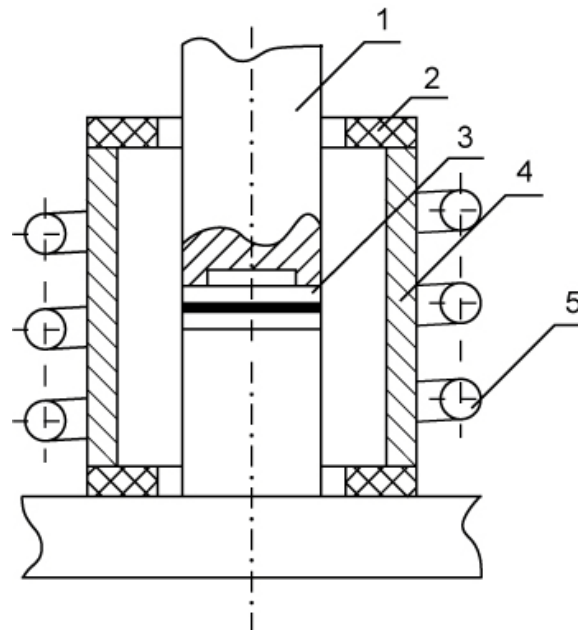
1. Невъзможност за реализиране на необходимите сравнително ниски скорости на нагряване и охлаждане (под  $50\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ ).
2. Големи температурни градиенти поради нагряването на керамичната част на заваряваното съединение посредством металната такава (последната се нагрява индукционно).

При проведените експерименти заварените съединения се разрушаваха поради изброените по-горе причини (Фиг.3).



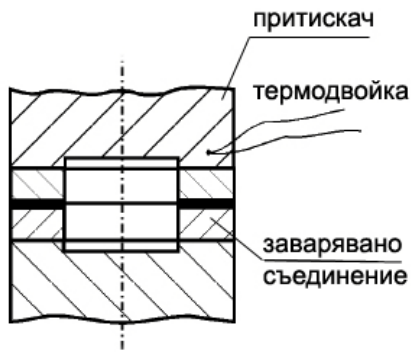
Фиг.3. Снимка на заварено съединение с напречни пукнатини в керамиката.

За да избегнем тези недостатъци създадохме комбинирана система за нагряване (Фиг.4)



Фиг.4 Системата за индиректно радиационно нагряване: 1 – Притискач; 2 – Изолатор; 3 - Заварявано съединение; 4 – Гръбен детайл; 5 Индуктор

Системата за индиректно радиационно нагряване се състои от два броя керамични изолатори (горен и долен), тръбен детайл изработен от топлоустойчива стомана и индуктор. Индуктора нагрява тръбния детайл а той от своя страна нагрява радиационно заваряваното съединение. Системата за радиационно нагряване се закрепва към долната маса на заваръчно приспособление осигуряващо центричен натиск.



Фиг.5 Позиция на термодвойката

Температурата на заваряваните образци се следи чрез обратна връзка осъществявана посредством термодвойка заварена кондензаторно към горния притискач (Фиг.5).

За да постигнем необходимата повтаряемост и да добием възможност за архивиране на резултатите създадохме компютърна система за управление.

Системата се състои от персонален компютър, контролер и програмно осигуряване. Същата работи в реално време с обратна връзка по температура, като регулирането на температурата се извършва

чрез регулиране на мощността на тиристорния преобразувател на честота.

Налягането подавано от хидравличната система към заваряваното съединение се управлява от контролера релейно, като е възможно задаването на две различни степени на усилие на притискане. Контролера регулира и поддържа в зададените граници основните параметри на заваръчния процес: времето на заваряване, скоростта на загреване (охлаждане); прилагане (премахване) на усилието на притискане на две степени; времето на задържане, температурата на заваряване в съответствие със зададена програма.

Системата управляваща заваръчния термичен цикъл има следните важни характеристики:

- брой на термичните зони (зони, в които се задават скорости на нагряване/охлаждане във функция от времето) - 20бр.
- диапазон на скоростите на нагряване -  $\sqrt{n}=1$  до  $300^{\circ}$  C/мин.
- диапазон на скоростите на охлаждане -  $\sqrt{o}=1$  до  $300^{\circ}$  C/мин
- температура на нагряване  $T_{\text{макс}} = 1200^{\circ}\text{C}$  с точност на поддържане  $\pm 5^{\circ}$  C
- максимална продължителност на заваръчния цикъл 24 часа

Програмното осигуряване на контролера предвижда възможност за:

- a) Задаване и запис на магнитен носител на основните параметри на заваръчния цикъл-температура (T) и налягане (p) във функция от времето.
- b) Възможност за повтаряне на заваръчен цикъл, без обратна връзка по температура, чрез дискретизация и запомняне на мощността като функция на времето.

Контролера осигурява работа на инсталацията с термодвойки от типа: никел/хром - никел и платина/родий-платина. (NiCr – Ni и PtRo - Pt)

Програмирането се извършва, като необходимите данни се задават в режим на програмиране „ЕТАПИ”(поз.1 на Фиг.6).

В графа № на програмната таблица се въвежда поредния номер на етапа за

изпълнение, след което се въвеждат началната температура и температурата която трябва да се достигне в края на етапа, скоростта на нагриване (ако етапа е задържане се въвежда 0) и дали по време на етапа се прилага усилие (стойност 1 при прилагане на такива). В графа „ВРЕМЕ” компютъра изчислява автоматично времето необходимо за изпълнение на дадения етап.

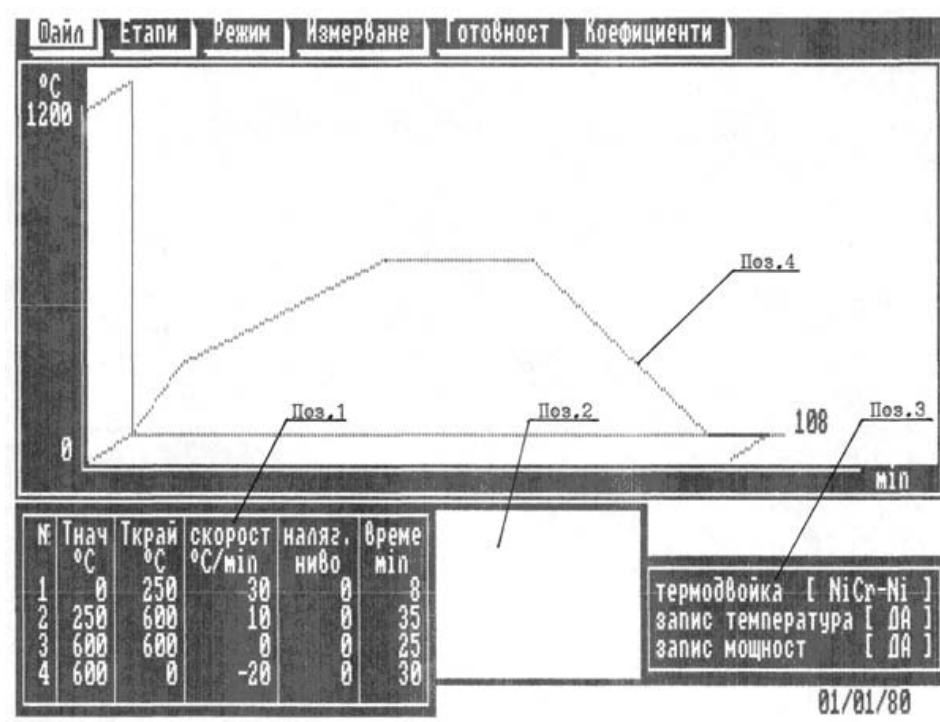
Последователно в таблицата се описват всички етапи на заваръчния термичен цикъл като след въвеждането на последния етап компютъра представя цикъла в графичен вид (поз.4, Фиг.6).

В режим „ИЗМЕРВАНЕ” оператора може да следи текущата температура в точката на измерването ѝ (поз.2, Фиг. 6).

Компютърната системата дава възможност за запис на температурата и мощността по време на изпълнение на заваръчния цикъл, което облекчава работата по архивиране на данните от експериментите и дава възможност за проверка на отклоненията на реалния заваръчен термичен цикъл от зададения.

По време на заваряване на дисплея на компютъра се изписва реалната крива на заваръчния термичен цикъл паралелно на зададената в режим „ЕТАПИ”.

Данните от всеки експеримент могат да се записват на магнитен носител, което дава възможност освен за архивиране на резултатите и за съхраняване на параметрите на режими на заваряване и повтаряне при необходимост на заваръчен цикъл със или без обратна връзка по температура.



Фиг.6 Състояние на дисплея в режим на програмиране

С така създадената уредба за вакуумно-дифузионно заваряване с компютъризирана, комбинирана система за нагриване бяха заварени здрави и плътни съединения с керамика. Същите бяха подложени на механични изпитвания; металографски анализ, О-же микроскопско изследване,

диференциален термичен анализ (ДТА), микрорентгеноспектрален анализ и електронна микроскопия, масспекрален анализ на херметичността, термоелектрични измервания.

Високите изисквания към провеждането на експериментите доведоха до усъвършенстването на инсталацията за вакуумно-дифузионното заваряване в следните направления:

Бе създадено устройство за индиректно (радиационно) нагряване;

Разработено бе специално приспособление, осигуряващо центричен натиск;

Разработена бе компютърна система за управление, която позволи реализиране на сложни термодиформационни цикли, архивиране и обработка на информацията от експериментите с помощта на персонален компютър, възможност за повтаряемост на цикъла без използването на обратна връзка по температура.

Всички тези подобрения на практика създадоха една качествено нова апаратура пригодна както за изследователска работа на съвременно ниво, така и за изработването на малки серии от дифузионно заварени съединения с керамика.

Изследването на взаимодействието между метал и керамика в процеса на дифузионно заваряване във вакуум доведе до множество резултати. Част от тях спомагат за изясняване на процесите в контактната област, друга част натрупва технологичен задел в една перспективна област от съвременните технологии каквато е съединяването на метали с неметали, позволяващо успешно съчетаване на техните предимства в конструкции с ново качество.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бадьянов Б. Н., Давыдов В. А., Паршин С. Г., “Сварочные процессы в Электронном Машиностроении”, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск; Учебное пособие; 2007
- [2] Казаков Н. Ф. „Дифузионная сварка във вакууме”, М.,„Машиностроение”, 1968, 74 стр.
- [3] Назаренко О. К. и др. “Электроннолучевая сварка“. М. „Машиностроение” 1966, 128 стр.
- [4] Безручко, И. “Индукционный нагрев для объемной штамповки“, Л., Машиностроение, 1987 г.
- [5] Ямболиев Т. „Влияние на индукционното нагряване върху свойствата на съединение твърда сплав – стомана” Научни трудове на Русенския Университет - 2008, том 47, серия 2
- [6] Iamboliev, T., Valkanov, S. Steel-Nard Alloy Joint Obtained by, Heating out of Induction Coil, Jurnal of Fundamental Scienses and Applications, Vol.15, 2009.