

**«ՔԵՆԴԼ» ՍԻՆԷՐՈՏՐՈՆԱՅԻՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ  
ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ**

**Վարդանյան Վահագն Վանիկի**

**ՎԱԿՈՒՈՒՄԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԸ ԵՎ ՄԵՏԱԴ-ԿԵՐԱՄԻԿԱ  
ՄԻԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԺԱՄԱՆԱԿԱԿԻՑ ԱՐԱԳԱՑՈՒՑԻՉՆԵՐՈՒՄ**

Ա.04.20 «Լիցքավորված մասնիկների փնջերի ֆիզիկա և արագացուցչային տեխնիկա» մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

**Ս Ե Ղ Մ Ա Գ Ի Ր**

ԵՐԵՎԱՆ 2017

---

**“КЕНДЛ” ИНСТИТУТ СИНХРОТРОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**Варданян Ваагн Ваникович**

**ВАКУУМНЫЕ СИСТЕМЫ И МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ  
СОЕДИНЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСКОРИТЕЛЯХ**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

Диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности 01.04.20 “Физика  
пучков заряженных частиц и ускорительная техника”

**ЕРЕВАН 2017**

Ատենախոսության թեման հաստատված է «ՔԵՆԴԼ» սինքրոտրոնային հետազոտությունների ինստիտուտի գիտական խորհրդում:  
Գիտական ղեկավար՝ Տեխ. գիտ. դոկտոր Վ.Շ. Ավագյան («ՔԵՆԴԼ» ԱՀԻ)  
Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

Ֆիզ-մաթ գիտ. դոկտոր Ս. Գ. Հարությունյան -Ա. Ի. Ալիխանյանի անվան  
Ազգային Գիտական Լաբորատորիա (Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտ)  
Տեխ. գիտ. թեկնածու Գ. Ս. Կարոյան - Հայաստանի Ազգային  
Պոլիտեխնիկական Համալսարան

Առաջատար կազմակերպություն՝ ՀՀ գիտությունների ազգային ակադեմիայի  
Ա.Բ. Նալբանդյանի անվան քիմիական ֆիզիկայի ինստիտուտ

Պաշտպանությունը կայանալու է 2017թ. հոկտեմբերի 26-ին, ժամը 14-00-ին,  
«ՔԵՆԴԼ» սինքրոտրոնային հետազոտությունների ինստիտուտում գործող  
«Լիցքավորված մասնիկների փնջերի ֆիզիկա և արագացուցչային տեխնիկա»  
ԲՈՀ-ի 021 մասնագիտական խորհրդում (Երևան -0040, Աճառյան փ. 31):  
Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ «ՔԵՆԴԼ» ԱՀԻ- ի գրադարանում:  
Սեղմագիրը առաքված է 2017թ. սեպտեմբերի 25-ին:

Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար՝  
Ֆիզ-մաթ գիտ. թեկնածու \_\_\_\_\_ Գ. Ա. Ամատունի

Тема диссертации утверждена ученым советом “КЕНДЛ” ИСИ”

Научный руководитель: доктор технических наук В.Ш. Авагян (“КЕНДЛ” ИСИ”)

Официальные оппоненты: доктор физ-мат наук С. Г. Арутюнян (ННЛА)  
кандидат технических наук Г. С. Кароян (НПУА )

Ведущая организация: Национальная академия наук РА Институт химической  
физики имени А. Налбандяна

Защита состоится «26» октября 2017г. в 14:00 на заседании специализированного  
совета ВАК 021 при Институт Синхротронных Исследований “КЕНДЛ” (Ереван-  
0040, ул. Ачаряна 31).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке “КЕНДЛ” ИСИ”  
Автореферат разослан 25-го сентября 2017г.

Ученый секретарь спец. Совета  
кандидат физико-математических наук \_\_\_\_\_ Г. А. Амагуни

## **Աշխատանքի ընդհանուր բնութագիրը**

### **Աշխատանքի արդիականությունը.**

Նոր սերնդի արագացուցչային տեխնիկայի նախագծման և ստեղծման հաջողությունները առավելապես կախված են նյութերի ընտրությունից, հիմնական հանգույցների պատրաստման տեխնոլոգիաներից, նրանց շահագործման առանձնահատկություններից, ջերմաստիճանա-ժամանակային բնութագրերի կախվածությունից, լիցքավորված մասնիկների փնջերի հզորության փոփոխությունից և այլն: Որպես օրինակ՝ վերջերս Հայաստանում շահագործման հանձնված լազերային բարձր հաճախականությամբ էլեկտրոնային թնդանոթի կիրառմամբ AREAL (Advanced Research Electron Accelerator Laboratory) գծային արագացուցիչը ապահովում է 2-5 ՄէՎ էներգիայով էլեկտրոնային իմպուլսներ և 10-100pC թանձրուկի լիցք: Արագացուցիչը նախատեսված է ֆիզիկայի, կենսաբանության, քիմիայի և նյութագիտության ոլորտներում հետազոտությունների իրականացման համար: «ԱՐԵԱԼ» արագացուցիչում ազատ էլեկտրոնային լազեր ստեղծելու նպատակով նախատեսվում է փնջի էներգիայի բարձրացում մինչ 20-50 ՄէՎ: Միաժամանակ զգալիորեն խստանում են արագացուցիչների հիմնական բնութագրերին ներկայացվող պահանջները. պահանջվում են ավելի ճշգրիտ բնութագրեր՝ նախատեսված վակուումային և գերբարձր հաճախականության համակարգերի, արագացուցչային հանգույցների, դիագնոստիկայի և դեկավարման, ջերմակարգավորման և այլ համակարգերի համար:

Կախված արագացուցիչի ստացվող հանգույցների շահագործման պահանջներից, որոնք կազմված են մետաղական և մետաղ-կերամիկական նյութերից՝ ներկայացվում են ամրության, վակուումահերմետիկության, հուսալիության, ջերմային և ռադիացիոն հուսալիության բարձր պահանջներ: Չնայած նրան, որ արդյունաբերությունում ներդրված են մետաղ-կերամիկա դետալների պատրաստման տարբեր մեթոդներ և տեխնոլոգիաներ՝ վերջիններիս կատարելագործումը և մոդիֆիկացիան արդիական է նոր սերնդի ճշգրիտ արագացուցիչներին ներկայացվող պահանջների համար:

### **Ատենախոսության նպատակն է.**

Աշխատանքի նպատակն է արագացուցիչներում կիրառվող որակյալ մետաղ-կերամիկա միացությունների հանգույցների ստացման տեխնոլոգիաների

զարգացումը և արագացուցիչի ճշգրիտ շահագործման համար նախատեսված սարքավորումների նախագծումը արագացվող մասնիկների էներգիայի փոփոխման պայմաններում:

### **Գիտական նորույթը.**

- Նախագծվել է դիֆուզիոն զոդման նոր եղանակ՝ տարասեռ և բարդ երկրաչափություն ունեցող դետալների դիֆուզիոն զոդման նպատակով՝ ի շնորհիվ միացվող դետալների ներքին և արտաքին ճնշումների տարբերության:

- Մշակվել է դիֆուզիոն միացման նոր եղանակ՝ խողովակաձև դետալների միացման համար՝ տեղային տաքացմամբ և դետալների վրա ստացվող ճնշման սահուն կարգավորման հնարավորությամբ:

### **Պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները.**

Ատենախոսության պաշտպանությանը ներկայացվել են հետևյալ հիմնական դրույթները.

- Ջերմակարգավորիչ համակարգեր՝ «ԱՐԵԱԼ» գծային արագացուցիչի վակուումային էլեկտրամագնիսական սարքավորումների ճշգրիտ աշխատանքի ապահովման համար:

- Դիֆուզիոն զոդման նոր եղանակ՝ տարասեռ և բարդ երկրաչափական ձև ունեցող միացությունների զոդման նպատակով՝ դետալների ներքին և արտաքին ճնշումների տարբերության շնորհիվ:

- Դիֆուզիոն միացման նոր եղանակ՝ նախատեսված գլանաձև տարասեռ դետալների միացման նպատակով՝ դետալների տեղային տաքացմամբ և ճնշման ստացմամբ:

- Նախագծված վակուումային ԳԲՀ պատուհան և ԳԲՀ պատուհան փորձարարական ստենդ:

### **Գործնական արժեքը.**

Ատենախոսությունում ստացված արդյունքները կիրառվում են «ՔԵՆԴԼ» ԱՀԻ-ի «ԱՐԵԱԼ» գծային արագացուցիչում և «Վակուումային» լաբորատորիայում, ինչպես նաև կարող են օգտագործվել նոր վակուումահերմետիկ մետաղ-կերամիկա միացությունների նախագծման և պատրաստման համար:

**Աշխատանքի ներկայացումը:** Աշխատանքում ներկայացված հիմնական արդյունքները զեկուցվել են «ՔԵՆԴԼ» սինքրոտրոնային հետազոտությունների ինստիտուտի սեմինարներում և միջազգային գիտաժողովներում - International Particle Accelerator Conference - IPAC (IPAC 2011, IPAC 2014, IPAC 2017), IV

International Conference - Current Problems of Chemical Physics (5-9 October 2015, Yerevan, Armenia), International Conference "Advanced Materials and Technologies" (21-23 October, Tbilisi, Georgia, 2015), IVESC-ICEE-2014 – International Vacuum Electron Source Conference (Saint-Petersburg, Russia, June 30-July 04, 2014), AREAL - International Technical Advisory Committee Seminars, և այլն:

### **Գիտական հրապարակումները.**

Աշխատանքում ներկայացված հիմնական արդյունքները տպագրվել են տեղական և միջազգային գիտական ամսագրերում, միջազգային գիտաժողովների ամսագրերում և Հայաստանի Հանրապետության մտավոր սեփականության գործակալությունում: Ատենախոսության հիմնական արդյունքները տպագրվել են 11 գիտական աշխատանքներում – 6 գիտական ամսագրեր, 3 միջազգային գիտաժողովների ամսագրեր և 2 արտոնագիր:

**Աշխատանքի բովանդակությունը և ծավալը:** Աշխատանքը բաղկացած է ներածությունից, 4 գլուխներից, վերջաբանից և գրականության ցանկից: Աշխատանքը կազմված է 137 էջերից, որոնցում ներգրավված են 94 նկար և 18 աղյուսակ:

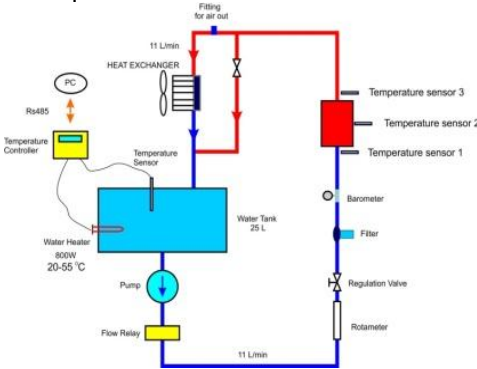
### **Աշխատանքի բովանդակությունը**

**Ներածություն** բաժնում ներկայացված են աշխատանքի արդիականությունը, հիմնական խնդիրները, գործնական արժեքները, գիտական նորոյթները, ինչպես նաև ներկայացված է աշխատանքի բովանդակությունն ըստ գլուխների:

**Առաջին գլխում** ներկայացված է ՄԻԿ Էներգիայով «ԱՐԵԱԼ» էլեկտրոնային գծային արագացուցիչը, որը առաջարկվել և նախագծվել է «ՔԵՆԴԼ» սինքրոտրոնային հետազոտությունների ինստիտուտում: «ԱՐԵԱԼ» գծային արագացուցիչը նախատեսված է արագացուցչային տեխնիկայի և գերարագ պրոցեսների դինամիկայի ոլորտում խորացված փորձարարական հետազոտությունների համար: Ներկայացված են «ԱՐԵԱԼ» գծային արագացուցիչի կառուցվածքը և նրա հիմնական համակարգերը: Առաջին փուլի հաջող ավարտից հետո անհրաժեշտություն է առաջացել Էներգիայի մեծացում 5 ՄԷՎ-ից 50ՄԷՎ:

«ՔԵՆԴԼ» սինքրոտրոնային հետազոտությունների ինստիտուտում նախագծվել ու պատրաստվել են գերբարձր վակուումային և ջերմակարգավորիչ համակարգեր «ԱՐԵԱԼ» գծային արագացուցիչի վակուումային

էլեկտրամագնիսական սարքավորումների ճշգրիտ աշխատանքի ապահովման համար:



Նկ. 1. Էլեկտրոնային թնդանոթի ջերմակարգավորող համակարգի հիդրավիկ սխեման:

մոդելավորման (մեխանիկական լարումների և դեֆորմացիաների բաշխվածությունը) արդյունքները, համաձայն որի ընտրվել է 50մկմ հաստությամբ Ti -ի ելքային պատուհաններ:

Նախագծվել և պատրաստվել է գերբարձր վակուումային փորձարարական ստեղձ՝ նախատեսված գերբարձր վակուումային համակարգերի, խցիկների, միասեռ ու տարասեռ նյութերի միացությունների փորձարկման և այլ փորձարարական ու հետազոտական աշխատանքների համար: Ներկայացված են վերջինիս հիմնական նշանակությունը, տեխնոլոգիական հատկությունները և կազմությունը:

Ներկայացված են ժամանակակից և ճշգրիտ ջերմակարգավորիչ համակարգերի հիմնական հատկությունները և աշխատանքային սկզբունքները: Ջերմակարգավորիչ համակարգերն են էլեկտրոնային թնդանոթի ջերմակարգավորիչ համակարգը (Նկ.1), կլիստրոնի ջերմակարգավորիչ համակարգը և սոլենոիդ մագնիսի հովացման համակարգը:

Հարկ է նշել, որ էլեկտրոնային թնդանոթի ջերմակարգավորիչ համակարգը իրենից ներկայացնում է արագ և ճշգրիտ համակարգ և ապահովում է  $\pm 0.1$  °C ջերմաստիճանի ճշտություն:

**Երկրորդ գլխում** ներկայացված է վակուումահերմետիկ մետաղ-կերամիկա միացություններում օգտագործվող նյութերի և տեխնոլոգիաների վերլուծությունը. նյութերի մեխանիկական հատկություններ, էլեկտրոմագնիսական, զոդման և եռակցման եղանակները և դրանց

Ներկայացված են գերբարձր վակուումային համակարգի հիմնական կառուցվածքը, բնութագրերը, ստացված վակուումի մակարդակը, օգտագործվող նյութերի հիմնական հատկությունները, e-beam Ti-ի պատուհանի հատկությունները, կիրառվող վակուումահերմետիկ մետաղ-կերամիկա միացությունների տեսակները և այլն:

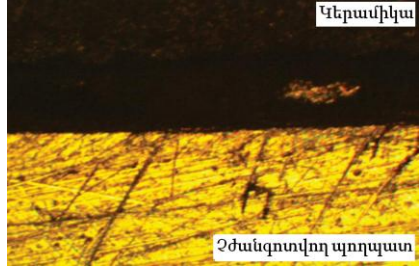
Ներկայացված են e-beam Ti-ի ելքային պատուհանի

բնութագրերը, ինչպես նաև միացությունների ստացման տեխնոլոգիաների համեմատական տվյալներ, առավելություններ, թերություններ:

Վերլուծության արդյունքում ընտրվել են 95%, 99.3% և 99.5%  $Al_2O_3$  պարունակությամբ կերամիկական նյութեր, որոնք նպատակահարմար են գերբարձր վակուումային համակարգերի մետաղ-կերամիկա միացություններում օգտագործելու համար:



ա.



բ.

Նկ. 2. 95% ալյումինի օքսիդի (կերամիկայի) և չժանգոտվող պողպատի միացումը:

Փորձարարական եղանակով ուսումնասիրվել են կերամիկա-պղինձ, կերամիկա-չժանգոտվող պողպատ միացությունների ստացումը՝ ակտիվ զոդման և մետաղապատման տեխնոլոգիաների կիրառմամբ վակուումային վառարանում՝ համապատասխան բարձր ջերմաստիճանի պայմաններում:

Նկ. 2.ա-ում բերված է 95% ալյումինի օքսիդի կերամիկայի և չժանգոտվող պողպատի միացումը՝ Mn-Mo+Ni մետաղապատման տեխնոլոգիայի կիրառմամբ, որում երևում է զոդման տիրույթի եզրում զոդանյութի հոսունության բացակայությունը: Միացության միջնամասում ստացված նմուշի մետաղագիտական հետազոտությունը (Նկ. 2-բ) ցույց է տալիս դատարկությունների բացակայությունը միացության տիրույթում:

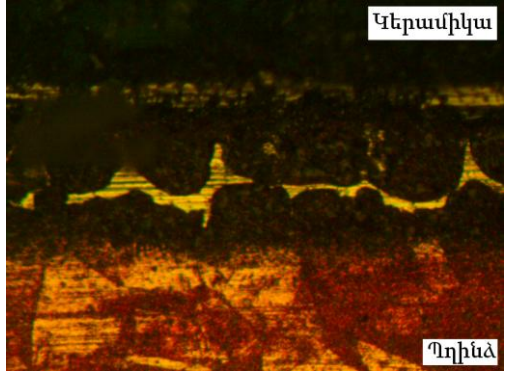
Հարկ է նշել, որ համապատասխան ճնշմամբ անհրաժեշտ է կարգավորել զոդանյութի տարածումը միացությունների հպման մակերևույթում և դուրս բերել ավելորդ զոդանյութը միացության եզրույթ, որի դեպքում կստացվի գազագոյացման նվազագույն մակարդակ գերբարձր վակուումային միջավայրի պայմաններում:

Զոդանյութի տարածումը մետաղ-կերամիկա միացությունների զոդման տիրույթում զոդման պրոցեսի ժամանակ կարելի է կարգավորել կերամիկայի մետաղապատված շերտերի մակերեսների փոփոխման օգնությամբ:

Բերված են իրականացված փորձերի, օգտագործվող նյութերի բնութագրերը, ինչպես նաև ներկայացված են տեխնոլոգիաների մշակման, փորձերի իրականացման առանձնահատկությունները և հետազոտություններից ստացված արդյունքները:

Ներկայացված են նյութերի պատրաստման տեխնոլոգիաները, նախագծված սարքավորումները, մեխանիկական մշակման, հղկման, փոշեխառնման սարքավորումները, ինչպես նաև խորդուբորդության և երկրաչափական չափումների արդյունքները, որոնք ներառում են նյութերի մակերևույթային շերտերի հարթեցում, մաքրում, մեխանիկական հավաքում և այլ տեխնոլոգիաների կիրառում:

Փորձարարական եղանակով կատարվել է կերամիկայի և պղնձի վակուումային դիֆուզիոն զոդում ակտիվ զոդմամբ՝ բարձր վակուումի և բարձր ջերմաստիճանի պայմաններում: Աշխատանքում ներկայացված են մշակված հետազոտության հիմնական տեխնոլոգիական առանձնահատկությունները և հետազոտությունների արդյունքները:



Նկ. 3. Մետաղ-կերամիկա միացության մետաղագիտական կազմությունը:

Նկ. 3-ում ներկայացված է ակտիվ զոդման տեխնոլոգիայի կիրառմամբ զոդված  $Al_2O_3-Cu$  միացության մետաղագիտական հետազոտությունների արդյունքը: Ինչպես երևում է՝ զոդման պրոցեսում առաջացել են երկու հիմնական բաժանարար շերտեր պղնձի և կերամիկայի միջև: Առաջին շերտը (կերամիկայի մակերևույթին մոտ շերտը) իրենից ներկայացնում է Ti-ի և Cu-ի պարունակությամբ ինտերմետալիկ - կարծր շերտ: Երկրորդ շերտը իրենից ներկայացնում է Ag-ի, Cu-ի ու չնչին Ti-ի պարունակությամբ շերտ:

Հարկ է նշել, որ ակտիվ զոդման տեխնոլոգիաները նպատակահարմար չէ օգտագործել գերբարձր վակուումային համակարգերում, որոնք պահանջում են բարձր մեխանիկական ամրություն և զոդման գոտու փոքր կարծրություն:

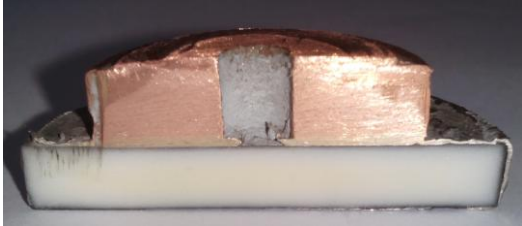
Փորձարարական եղանակով զոդվել են կերամիկա (այլումինի օքսիդ) – պղինձ և կերամիկա - չժանգոտվող պողպատ միացությունները՝ կերամիկայի մետաղապատման (Mn-Mo+Ni) եղանակի կիրառմամբ: Իրականացվել է կերամիկայի և մետաղների մեխանիկական մշակում, կերամիկայի մետաղապատում վակուումի միջավայրում՝ Mn-Mo տեխնոլոգիայի կիրառմամբ, այնուհետև իրականացվել է կերամիկայի նիկելապատում էլեկտրաքիմիական եղանակի կիրառմամբ, որին հաջորդել է բուն վակուումային զոդման պրոցեսը արծաթի զոդանյութի կիրառմամբ:



Փորձարարական եղանակով ուսումնասիրվել է Ni-ի շերտի հաստության ներգործությունը մետաղ-կերամիկա միացության որակի վրա: Առավել արդյունավետ և որակյալ մետաղ-կերամիկա միացություններ են ստացվել Ni-ի 10-15մկմ հաստության դեպքում: Նշված Ni-ի հաստությունից բարակ կամ հաստ շերտերը բերում են համապատասխանաբար Cu-ի ներթափանցման և ցածր մեխանիկական ամրության, որը անթույլատրելի է բարձր որակի մետաղ-կերամիկա միացությունների պատրաստման համար:



ա.

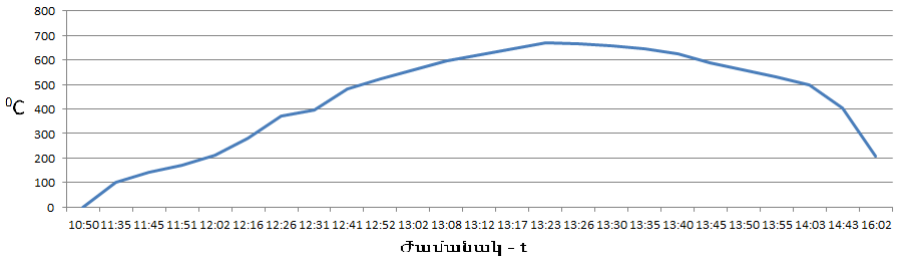


բ.

Նկ. 4. Չողված մետաղ-կերամիկայի (ա) և պատրաստված հղկուկի (բ) ընդհանուր տեսքերը:

Իրականացվել են զոդված միացություններից համապատասխան հղկուկների պատրաստում և դրանց մետաղագիտական հետազոտություններ:

Նկ. 4-ում ներկայացված են զոդված մետաղ-կերամիկա միացության (ա) և պատրաստված հղկուկի (բ) ընդհանուր տեսքերը:



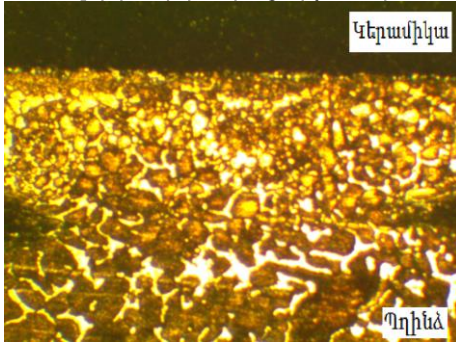
Նկ. 5. Մետաղ-կերամիկա միացության զոդման պրոցեսի իրականացման ջերմաստիճանի կախվածությունը ժամանակից:

Նկ.5-ում ցույց է տրված 99.5% ալյումինի օքսիդ պարունակող կերամիկայի և պղնձի զոդման պրոցեսի ջերմաստիճանի կախվածությունը ժամանակից:

Չողման պրոցեսում մետաղ-կերամիկա միացության հովացումը իրականացվել է 3-5 °C/ր ջերմաստիճանի նվազման արագությամբ:

Դետալների նվազագույն հովացման արագությունը զոդման պրոցեսի ժամանակ հնարավորություն է տալիս նվազագույնի հասցնել մեխանիկական լարումները զոդման տիրույթում, ինչպես նաև բյուրեղների արդյունավետ ձևավորումը նյութերի հալված վիճակից պինդ վիճակի անցման պրոցեսում:

Մետաղագիտական հետազոտությունները ցույց են տվել, որ 3-10 °C/ր հովացման արագությունը հնարավորություն է տալիս ստանալ առավել որակյալ մետաղ-կերամիկա միացություններ:



Նկ. 6. Կերամիկա – պղինձ միացության կազմությունը:

Մետաղ-կերամիկա միացության դանդաղ հովացումը, ինչպես նաև համապատասխան ճնշումների արժեքները և հավասարաչափ բաշխվածությունը ապահովում են զոդման պրոցեսում մեխանիկական լարվածությունների նվազագույն մակարդակ, ինչպես նաև զոդանյութի հավասարաչափ տարածում զոդման գոտում, որը բարձրորակ միացություն ստանալու կարևոր խնդիրներից է:

Նկ. 6-ում ցույց է տրված կերամիկա-պղինձ միացության մետաղագիտական հետազոտությունը: Ինչպես երևում է նկարում՝ զոդման գոտում առկա են տարբեր անհամասեռություններ – դատարկություններ, ինչը վկայում է դետալների վրա գործադրվող ճնշման անհավասարաչափ բաշխման վերաբերյալ:

Մետաղագիտական հետազոտությունների արդյունքում հիմնավորվում է մետաղ-կերամիկա միացման տիրույթում ճնշման կիրառման և դրա հավասար բաշխման անհրաժեշտությունը:

Իրականացվել են բազմատեսակ վակուումային զոդման փորձարարական հետազոտություններ զոդման պրոցեսում միացությունների տարբեր ֆիքսման մեթոդների կիրառմամբ (բեռի, Mo-ի լարի և այլ ֆիքսման համակարգերի կիրառմամբ):

Նկ. 7-ում ցույց է տրված գլանական կերամիկայի դիսկի զոդումը պղնձե խողովակին՝ մոլիբդենի լարի ֆիքսման եղանակի կիրառմամբ ճնշում ստեղծելու նպատակով վակուումի միջավայրում:

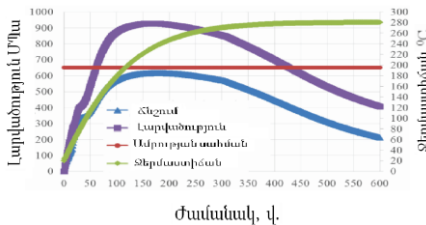


Նկ. 7. ԳլանակաՆ կերամիկայի դիսկի և պղնձե խողովակի միացումը:

Կազմվել են զոդման ջերմաստիճանային դիագրամները և ներկայացվել են դրանց առանձնահատկությունները և հիմնավորումները (միացությունների տաքացումը, իզոթերմիկ պահպանումը և սառեցումը):

Սունձվել են կերամիկա-կերամիկա, կերամիկա-պղինձ և կերամիկա-ջժանգոտվող պողպատ միացությունները և իրականացվել են ստացված միացությունների հետազոտություններ: Փորձարարական հետազոտությունները իրականացվել են սիլիկատային սոսինձների կիրառմամբ: Նշվել են սոսինձների կիրառման հիմնական մեխանիկական ամրություն, ցածր

թերությունները՝ ցածր վակուումահերմետիկություն և այլն:



ա.



բ.

Նկ. 8. ա. Կերամիկա-մետաղ միացության մեխանիկական հատկությունների փոփոխությունը՝ ջերմաստիճանից կախված, բ. կերամիկա-մետաղ միացության ջերմային փորձարկումը:

Հաշվարկային եղանակով որոշվել է գլանակաՆ կերամիկա-մետաղ միացության թույլատրելի աշխատանքի ջերմաստիճանային տիրույթը: Նկ. 8-ում (ա) ներկայացված է լարվածության կախվածությունը ժամանակից՝ գլանակաՆ մետաղ-կերամիկա միացության համար:

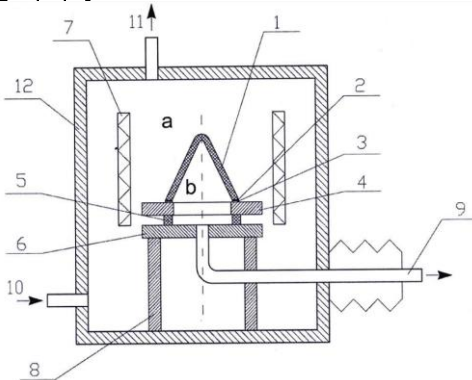
Տվյալ մոդելավորումները իրականացվել և փորձնականորեն ապացուցվել են 22XC կերամիկա և կովար միացությունների դեպքում վակուումային ջերմային մշակման պրոցեսների արդյունավետ ջերմաստիճանի (bake-out) և ռեժիմների որոշման նպատակով:

Նկ. 8-ում (բ) ցույց է տրված զոդված միացության փորձարկումը՝ համաձայն իրականացված հաշվարկների: Մետաղ-կերամիկա (1) միացությունը

փորձարկվել է վակուումային փորձարարական ստենդի վրա ջերմաստիճանային փոփոխության պայմաններում: Փորձարարական ստենդը կազմված է տուրբոմոլեկուլյար պոմպից (2), իոնային պոմպից (3), վակուումային խցիկից (4), վակուումաչափից (5) և տաքացուցիչից (6):

**Երրորդ գլուխում** ներկայացված են նախագծված նոր դիֆուզիոն զոդման և միացման եղանակները:

Մշակվել է նոր դիֆուզիոն զոդման եղանակ նախատեսված տարասեռ և բարդ երկրաչափական ձև ունեցող դետալների միացման նպատակով դետալների ներքին և արտաքին ծավալների ճնշումների տարբերության շնորհիվ:



Նկ. 9. Դիֆուզիոն նոր եղանակի կիրառման սխեման:

Դիֆուզիոն զոդման նոր եղանակի սկզբունքային սխեման ներկայացված է նկ. 9-ում:

Միացվող դետալներն են կոնաձև կերամիկան (1) և չժանգոտվող պողպատե կցաշուրթը (4), որոնք միացվում են համապատասխան զոդանյութի (3) կիրառմամբ: Կախված միացման նյութերի առանձնահատկություններից՝ կերամիկան նախապես մետաղապատված է (2): Դետալների տեղադրումը

վառարանում (12) իրականացվում է համապատասխան կոմպենսատորի (5), հարթակի (6) և հենարանի (8) կիրառմամբ: Դետալների տաքացումը իրականացվում է համապատասխան տաքացուցիչի (7) կիրառմամբ:

Դիֆուզիոն զոդման պրոցեսի ժամանակ դետալների ֆիքսումը իրականացվում է ճնշումների տարբերության հետևանքով՝ դետալները կազմող արտաքին (a) և ներքին (b) ծավալների ճնշումների տարբերության արդյունքում, որոնք կարգավորվում և ստացվում են համապատասխան (9), (10) և (11) միացումների կիրառմամբ վակուումի ստացման և իներտ գազերի կիրառմամբ:

Նոր դիֆուզիոն զոդման եղանակի հիմնական առավելություններն են դետալները սեղմող ճնշման հավասարաչափ բաշխումը և ստացվող ճնշման ճշգրիտ և սահուն կարգավորման հնարավորությունը՝ զոդման պրոցեսի ժամանակ:

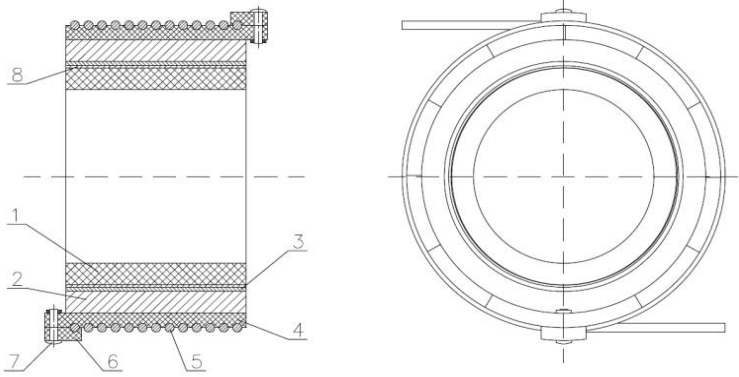
Նշված են դիֆուզիոն նոր զոդման մեթոդի փորձարկման արդյունքները:

Դիֆուզիոն զոդման նոր մեթոդը կարող է օգտագործվել վակուումահերմետիկ մետաղ-կերամիկա միացությունների նախագծման և պատրաստման նպատակով:

Մշակվել է դետալների դիֆուզիոն միացման նոր եղանակ գլանաձև տարատեղ դետալների միացման նպատակով դետալների տեղային տաքացմամբ և ճնշման ստեղծմամբ:

Նկ. 10-ում ներկայացված է դիֆուզիոն նոր միացման եղանակի սկզբունքային կիրառման սխեման:

Նյութերի միացման նոր եղանակը հնարավորություն է տալիս իրար միացնել տարատեղ գլանական դետալներ, որոնք ունեն ջերմային ընդարձակման տարբեր գործակիցներ: Եղանակը հնարավորություն է տալիս ճշգրիտ և ճկուն կարգավորել ստեղծվող տեղային սեղմող ճնշումները և կիրառվող ջերմաստիճանները:

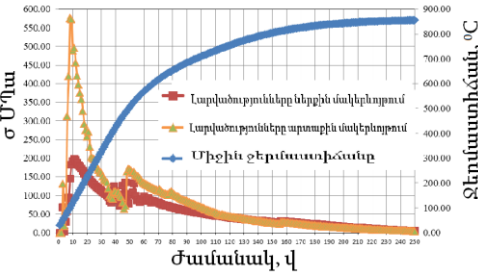


Նկ. 10. Գլանաձև դետալների միացման նոր եղանակի կիրառման սխեման:

Նոր մեթոդի աշխատանքի սկզբունքը ներկայացված է սկզբունքային սխեմայում (նկ. 9): Խողովակաձև (1) կերամիկան տեղադրվում է մետաղական խողովակի (3) համապատասխան ներքին մակերևույթում՝ զոդանյութի միջանկյալ շերտով (2): Կերամիկան կարող է նախապես մետաղապատված լինել (8): Այնուհետև, տեղադրվում են համապատասխան մեկուսիչ շերտերը (4), որոնց վրա ամրացվում է մետաղական (5) լարը համապատասխան ֆիքսման հարմարանքներով (6) և (7): Մեթոդի էությունը կայանում է մետաղական լարի տաքացմամբ դետալների վրա տեղային ճնշման ստացումը դետալների ջերմային ընդարձակման գործակիցների տարբերության շնորհիվ: Կերամիկան և մետաղական լարը պետք է ունենան ջերմային ընդարձակման փոքր գործակիցներ, քան մետաղական խողովակը: Որպես մետաղալար կարող է մեծ

արդյունավետությամբ կիրառվել Mo-ի լարը: Որպես մեկուսիչ շերտ կարող է արդյունավետորեն կիրառվել BeO կերամիկան, որը ունի ջերմհաղորդականության մեծ գործակից և մեծ էլեկտրամեկուսիչ հատկություն:

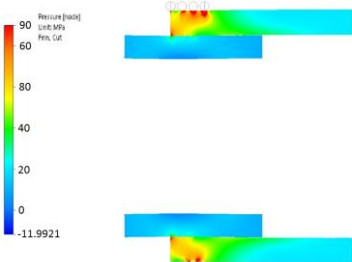
Դիֆուզիոն միացման նոր եղանակը հնարավորություն է տալիս ճշգրիտ կարգավորել ստացվող ճնշումը և ջերմաստիճանը ֆիքսող լարին տրվող հոսանքի արժեքի փոփոխմամբ:



Նկ. 11. Մեխանիկական լարումների բաշխվածություն արժեքը ջերմաստիճանից կախված:

Նյութերի, տարբեր ֆիքսացիոն համակարգերի, տարբեր երկրաչափական չափերի և տարբեր ջերմաստիճանի պայմաններում: Մոդելավորումները իրականացվել են մետաղ-կերամիկա միացությունների հատկությունների նախնական գնահատման նպատակով:

Նկ.11-ում ցույց է տրված մեխանիկական լարումների բաշխվածությունը պղինձ-կերամիա միացությունում 860 °C ջերմաստիճանի պայմաններում:



Նկ.12. Մեխանիկական լարումների բաշխվածությունը:

Նկատվում է լարի և խողովակաձև մետաղի հպման գոտում:

Աշխատանքում ներկայացված են մոլիբդենային թիթեղի և տարասեռ նյութերի այլ ֆիքսման եղանակների կիրառման առանձնահատկությունները և համեմատական գնահատականները:

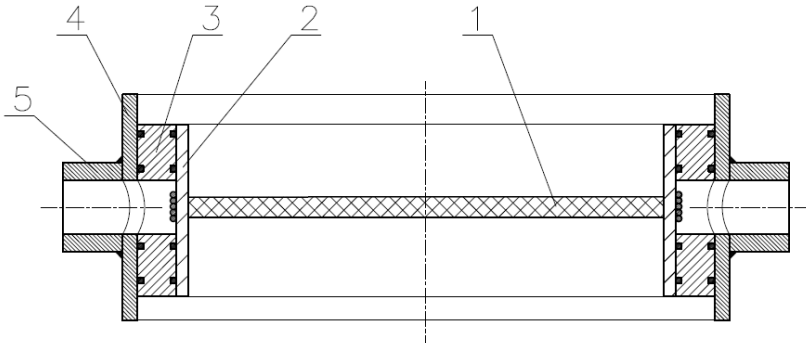
Իրականացվել է մետաղ-կերամիկա միացությունների ջերմային և մեխանիկական մոդելավորումները տարբեր կերամիկա միացությունների ջերմային և մեխանիկական մոդելավորումները տարբեր կերամիկա միացությունների հատկությունների նախնական գնահատման նպատակով:

Արդյունքները ցույց են տալիս, որ մեխանիկական լարումների արժեքների փոփոխությունը կախված է ջերմաստիճանից:

Նկ.12-ում ներկայացված է մեխանիկական լարումների բաշխվածությունը մետաղ-կերամիկա միացության տիրույթում Nb-ի լարի կիրառմամբ 860 °C ջերմաստիճանի պայմաններում: Ինչպես երևում է նկարում մեխանիկական լարումների առավել արժեքը նկատվում է լարի և խողովակաձև մետաղի հպման գոտում:

**Չորրորդ գլուխը** նվիրված է արագացուցչային համակարգերում կիրառվող վակուումահերմետիկ մետաղ-կերամիկա միացություններին, հատկապես վակուումային ԳԲՀ պատուհաններին:

Ներկայացված է վակուումային ԳԲՀ պատուհանների տեսակների և կազմությունների բնութագրերի վերլուծությունը:



Նկ. 13. Գլանաձև ԳԲՀ պատուհանի զոդման սխեման:

Ներկայացված են վակուումային գլանաձև ԳԲՀ պատուհանների հիմնական աշխատանքային սխեմաները և դրանց ներկայացվող պահանջները, ներառյալ պահանջները, որոնք ներկայացվում են միացումներին, նյութերին, արդյունավետ ջերմակարգավորմանը և այլն:

Իրականացվել է վակուումային գլանաձև ԳԲՀ պատուհանի նախագծում: Նախագիծը իր մեջ ներառում է պատուհանի պատրաստման տեխնոլոգիաները, դիֆուզիոն եռակցման և զոդման տեխնոլոգիաները:

Նկ.13-ում ներկայացված է գլանաձև ԳԲՀ պատուհանի դետալների զոդման մոդելը (սխեման): Կերամիկան (1) ամրացված է պղնձե (2) խողովակի ներքին մակերևույթում Mo-ի լարի կիրառմամբ: Պղնձե օղակների (3) կիրառմամբ ամբողջ համակարգը տեղադրված է չժանգոտվող պողպատե խողովակի մեջ (4), որին նախօրոք միացված են հովացման համար նախատեսված ելքային և մուտքային միացումները (5):

Նախագծվել են վակուումային զոդման տեխնոլոգիաներ նախագծված տարբեր գլանաձև կերամիկա-մետաղ միացությունների պատրաստման նպատակով:

Մշակվել են վակուումային զոդման տեխնոլոգիաներ, որոնք ներառում են միացությունների ֆիքսացիոն տեխնոլոգիաներ բարձր ջերմաստիճանային պայմանների համար:

Ներկայացված են վակուումային գլանաձև ԳԲՀ պատուհանների հիմնական պահանջները արդյունավետ ջերմակարգավորման և դրա մեխանիկական նախագիծը:

Նախագծվել է վակուումային գլանաձև ԳԲՀ պատուհան փորձարարական ստենդ: Փորձարարական ստենդը հնարավորություն է տալիս իրականացնել տարբեր տեխնոլոգիաներով պատրաստված մետաղ-կերամիկա միացությունների վակուումային, մեխանիկական և ջերմային փորձարկումներ:

Մշակվել և փորձնականորեն իրականացվել են ԳԲՀ պատուհանների համար նախատեսված պղինձ-պղինձ, պղինձ-չժանգոտվող պողպատ միացությունների վակուումային զոդում: Իրականացվել են ստացված միացությունների մետաղագիտական հետազոտություններ:

Իրականացվել են գլանական ԳԲՀ պատուհանի ջերմային և մեխանիկական մոդելավորումը՝ զոդման բարձր ջերմաստիճանի պայմաններում:

Նշվել են մետաղ-կերամիկա միացությունների ստուգման տարբեր տեխնոլոգիաներ՝ վակուումային, մեխանիկական և այլն:

## **Եզրակացություն**

- Մշակվել է դիֆուզիոն զոդման նոր եղանակ՝ տարասեռ և բարդ երկրաչափություն ունեցող նյութերի միացման համար:

- Մշակվել է գլանաձև տարասեռ դետալների միացման նոր եղանակ՝ դետալների տեղային տաքացմամբ և ճնշման կիրառմամբ:

- Նախագծվել են ջերմակարգավորիչ համակարգեր՝ «ԱՐԵԱԼ» գծային արագացուցիչի էլեկտրամագնիսական սարքավորումների ճշգրիտ աշխատանքի ապահովման համար:

- Նախագծվել է գերբարձր-վակուումային փորձարարական ստենդ՝ արագացուցիչի առանձին հանգույցների փորձարկման համար, հաշվարկային և փորձարարական եղանակով որոշվել է մետաղակերամիկական հանգույցի շահագործման ջերմաստիճանային տիրույթը:

- Նախագծվել է վակուումային գլանաձև ԳԲՀ պատուհան, մոդելավորման եղանակով որոշվել են լարվածության և դեֆորմացիաների բնութագրերը դիֆուզիոն զոդման ջերմաստիճանում:



## Հրատարակված աշխատանքների ցանկ

1. V. Sh. Avagyan, V.A. Danielyan, V.S. Dekhtiarov, V.V. Vardanyan, et al. **Some technological features for fabrication of accelerating structures.** Journal of Instrumentation, JINST V12, P07025, p.12, 2017.
2. V.V. Vardanyan. **Brazing technologies of ceramic to metals for UHV systems of charged particle accelerators.** Mechanical Engineering and Metallurgy, UDK 655.344.022.72. Volume 14, Number1, Yerevan, 2017, pp. 117-120.
3. V.V. Vardanyan, V.S. Dekhtyarov, V.A. Danielyan, V.Sh. Avagyan, A.A. Gevorgyan, T.H. Mkrtchyan. **Investigation and testing of brazed metal/ceramic zones in ultra high vacuum conditions.** Proceedings of engineering academy of Armenia, Volume 14, Number 2, Yerevan, Armenia, 2017, pp.254-259.
4. В. В. Варданян, В.Ш. Авагян, В.А. Даниелян, В.С. Дехтярев, Т.А. Мкртчян, А.С. Симонян. **Новий метод соединения керамики с металлом.** Машиностроение и Metallurgy, УДК 655.344.022.72., Engineering Academy of Armenia, Volume 13, Number 4, Yerevan, 2016, с 446 -451.
5. V.V. Vardanyan, V.Sh. Avagyan. **Compearing of metal-ceramic bonding methods for ultra high vacuum.** ISSN 1829-0043, PROCEEDINGS OF ENGINEERING ACADEMY OF ARMENIA (PEAA), V.12,N.1, Yerevan, Armenia, 2015, pp. 192-195.
6. V.V. Vardanyan, V.Sh. Avagyan. **Investigation and design of metal to ceramic bonding technologies for particle accelerator's vacuum RF window.** International Conference "Advanced Materials and Technologies" 21-23 October, Tbilisi, Georgia, Dedicated to the 70th anniversary of foundation of Ilia Vekua Sukhumi Institute of Physics and Technology, 2015, pp. 230 – 235.
7. V.V. Vardanyan, V. Avagyan, B. Grigoryan, A. Gevorgyan, et al. **Distributed Cooling System for the AREAL Test Facility.** Proceedings of IPAC2014, Dresden, Germany, 2014, pp. 4010-4012.
8. A.A. Gevorgyan, V.Sh. Avagyan, B.A. Grigoryan, T.H. Mkrtchyan, A.S. Simonyan, V.V. Vardanyan. **Design and Performance of Ultimate Vacuum System for the AREAL Test Facility.** Proceedings of IPAC2014, Dresden, Germany, 2014, pp. 2311-2313.
9. V.V. Vardanyan, V. Sh. Avagyan, A. A. Gevorgyan, B.A. Grigoryan, N.W. Martirosyan, T.H. Mkrtchyan, A.S. Simonyan, A.S. Vardanyan. **Precise cooling**

**system for electro-magnetic equipment.** Proceedings of Engineering Academy of Armenia, Volume 10, Number 3, Yerevan, Armenia, 2013, pp. 537-541.

10. Վ. Վարդանյան, Վ. Ավագյան. **Բարդ երկրաչափական ձև ունեցող տարասեռ դետալների դիֆուզիոն զոդման եղանակ.** Գյուտի արտոնագիր, 2883 А, էջեր 8, 2014.

11. Վ. Վարդանյան, Վ. Ավագյան. **Դետալների դիֆուզիոն միացման եղանակ.** Գյուտի արտոնագիր, 3130 А, էջեր 6, 2017.

**Варданян Ваагн Ваникович**

## **ВАКУУМНЫЕ СИСТЕМЫ И МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСКОРИТЕЛЯХ.**

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

- Разработаны и изготовлены системы терморегулирования для электромагнитных вакуумных устройств линейного ускорителя AREAL в Институте Синхротронных Исследований “КЕНДЛ” - система терморегулирования для электронной пушки, система терморегулирования для клистрона и система охлаждения для соленоидного магнита.
- Сверхвысоковакуумный испытательный стенд был спроектирован и изготовлен для тестирования и проектирования вакуумных насосных систем, камер, вакуумоплотных соединений и т. д.
- Были спроектированы и проведены эксперименты для металлокерамических соединений при использовании активной пайки, металлизационных технологий (молибден марганец) и технологий склеивания.
- Разработаны и спроектированы технологии вакуумно-диффузионной пайки, технологии механической обработки и очистки, а также проведены исследования (в том числе металлографические исследования) для вакуумно-плотных металлокерамических соединений.
- Был разработан новый метод диффузионной пайки для разнородных изделий, имеющих сложную геометрию, на основе разности давлений между внутренними объемами деталей и камерой.
- Был спроектирован новый метод диффузионного соединения для цилиндрических разнородных изделий с локальным воздействием температур и давлений.

- Расчетным путем определена максимально допустимая температура Bake-out процесса для металлокерамических соединений.
- Выполнено термо-механическое моделирование для вакуумного СВЧ окна.
- Были проанализированы исследованы, и разработаны различные методы фиксации для металлокерамических вакуумно-плотных соединений, включая термомеханическое моделирование.
- Было исследовано и механически спроектировано СВЧ окно баночного типа и СВЧ окно-стенд - технология пайки.

**Vahagn Vanik Vardanyan**

## **VACUUM SYSTEMS AND METAL-CERAMIC JOINTS IN ADVANCED ACCELERATORS**

### **SUMMARY**

- The thermoregulation systems have been designed and fabricated for electromagnetic vacuum devices and systems of AREAL linear accelerator at CANDLE Synchrotron Research Institute – thermoregulation system for RF gun, thermoregulation system for klystron and cooling system for solenoid magnet.
- The UHV test stand have been designed and fabricated for developing of UHV systems, testing and design of UHV pumping system, chambers, vacuum tight joints, etc.
- Ceramic-metal joints have been designed and experimented based on molybdenum-manganese, active brazing and gluing technologies.
- Vacuum diffusion brazing technologies, machining, cleaning and investigation (including metallurgical microscopy) technologies have been developed and designed for vacuum-tight ceramic-metal joints.
- New diffusion brazing method for difficult geometry and dissimilar items was designed based on pressure difference between items inner and outer volumes.
- New diffusion bonding method for brazing of cylindrical dissimilar items was designed by local temperature and pressure effects.
- The maximum permissible temperature of the Bake-out process for metal-ceramic joints was calculated.
- Thermo-mechanical simulations have been done for vacuum RF window for brazing processes.
- Different fixation methods have been reviewed, investigated and developed for vacuum tight ceramic-metal joints, including thermo-mechanical simulations.
- Pill box type vacuum RF window and RF test stand have been investigated and mechanically designed – brazing technology.