

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ, ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ,
ՄՇԱԿՈՒՅԹԻ ԵՎ ՍՊՈՐՏԻ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Սարգսյան Անի Ռուբենի

ՊՂՆՁԻ ՀԻՄՔՈՎ ԲԱՐՁՐ ՀԱՂՈՐԴԱԿԱՆՈՒԹՅԱՄԲ ԵՎ
ԶԵՐՄԱԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՄԲ ՓՈՇԵԿՈՄՊՈԶԻՏԱՅԻՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ
ՍՏԱՅՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Ե.16.01 - «Նյութագիտություն» մասնագիտությամբ տեխնիկական
գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման
ատենախոսության

Ս Ե Ղ Մ Ա Գ Ի Ր

Երևան 2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ, КУЛЬТУРЫ И СПОРТА
РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ АРМЕНИИ

Саркисян Ани Рубеновна

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ С ВЫСОКОЙ
ПРОВОДИМОСТЬЮ И ТЕРМОСТОЙКОСТЬЮ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 05.16.01-
“Материаловедение”

Ереван 2021

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Հայաստանի պետական ճարտարագիտական համալսարանի գիտական խորհրդի կողմից:

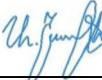
Գիտական ղեկավար՝ տեխ. գիտ. դոկտոր, պրոֆ. Ա. Գ. Աղբալյան
ՀՀ գիտության վաստակավոր գործիչ

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝
տեխ. գիտ. դոկտոր Հ.Ռ. Դրմեյան
տեխ. գիտ. թեկնածու Լ.Գ. Գալստյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ ՀՀ ԳԱԱ Ընդհանուր և անօրգանական քիմիայի ինստիտուտ (ք. Երևան)

Ատենախոսության պաշտպանությունը կայանալու է 2021թ. հունիսի 18-ին ժամը 15⁰⁰-ին Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանում (ՀԱՊՀ) գործող ՀՀ ԲՈԿ-ի «Մետալուրգիա և նյութագիտություն» մասնագիտական խորհրդի «Նյութագիտություն» ենթախորհրդի (թվանիշ Ե.16.01) նիստում: Հասցեն՝ 0009, Երևան, Տերյան փ., 105:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀԱՊՀ-ի գրադարանում:
Սեղմագիրն առաքված է 2021թ. մայիսի 07-ին:

031 մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար, տեխ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր  Ա. Մ. Հովհաննիսյան

Тема диссертации утверждена ученым советом Государственного инженерного университета Армении.

Научный руководитель: докт. техн. наук, проф., С.Г. Агбалян
заслуженный деятель науки РА

Официальные оппоненты: докт. техн. наук Г.Р. Дрмеян
канд. техн. наук Л.Г. Галстян

Ведущая организация: Институт Общей и неорганической химии НАН РА
(г. Ереван)

Защита диссертации состоится “18” июня 2021г. в 15⁰⁰ ч. на заседании подсовета "Материаловедение" (шифр 05.16.01) Специализированного совета “Металлургия и материаловедение” (шифр 031) ВАК РА, действующего при Национальном политехническом университете Армении (НПУА), по адресу:
0009, г. Ереван, ул. Теряна, 105.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НПУА.
Автореферат разослан “07” мая 2021 г.

Ученый секретарь Специализированного совета 031, докт. техн. наук, профессор



А.М. Оганесян

ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

Աշխատանքի հրատապությունը և արդիականությունը: Հայաստանի Հանրապետության տնտեսության զարգացման գերակա ուղղություններից է մետաղական հիմքով ու ֆունկցիոնալ հատկություններով օժտված նոր կոմպոզիտային նյութերի ստեղծումը, առանց որոնց անհնար է պատկերացնել տեխնիկական առաջընթացը, հատկապես մեքենաշինության և ռազմական արդյունաբերության հետագա զարգացումը: Ընդ որում, տեխնիկայի զարգացմանը զուգընթաց ավելի մեծ տեղ է հատկացվում կոմպոզիտային նյութերին (ԿՆ), հատկապես մետաղական հիմքով բարձրամուր և ֆունկցիոնալ նշանակության, ինչպիսիք են օրինակ, դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող պղնձի հիմքով փոշեկոմպոզիտային նյութերը, որոնց պահանջարկը շատ մեծ է հատկապես կոնտակտային եռակցման էլեկտրոդների արտադրություն: Էլեկտրոդներից պահանջվում է բարձր էլեկտրահաղորդականություն և ջերմակայունություն, որոնց ապահովման համար օգտագործվող նախապատրաստվածքները ցանկալի է ունենան անձակոտկեն և շերտավոր կառուցվածք, որտեղ արտաքին շերտը կապահովի բարձր էլեկտրահաղորդականություն, իսկ ներքին շերտը՝ բարձր ջերմակայունություն: Այսպիսի կառուցվածք գործնականում հնարավոր է ապահովել միայն փոշեմետալուրգիական եղանակներով, հատկապես շերտավոր կառուցվածքով ծակոտկեն մամլվածքների ստացման, եռակավման, տաք արտամղման և հետագա ջերմային մշակման միջոցով: Սակայն մինչև այժմ լիովին ուսումնասիրված չէ դիսպերս մասնիկներով (ֆազերով) կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի տաք արտամղման և ջերմային մշակման գործընթացների տեսական և տեխնոլոգիական առանձնահատկությունները: Եվ քանի որ փոշեմետալուրգիան հանդիսանում է խիստ հեռանկարային Հայաստանի Հանրապետության համար, որտեղ առկա է մետաղական հումքի մեծ պաշարներ, հատկապես պղնձի, հետևապես առաջարկվող աշխատանքը նույնպես հեռանկարային է և տարբերվում է ավանդական եղանակներից:

Հետազոտության նպատակը և խնդիրները: Ատենախոսության հիմնական նպատակն է մշակել դիսպերս մասնիկներով (ֆազերով) կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ ու ջերմակայունությամբ օժտված պղնձի հիմքով շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի ստացման տեխնոլոգիա և հետազոտել կառուցվածքագոյացման ու հատկությունների ձևավորման գործընթացները:

Աշխատանքում առաջադրվել և լուծվել են հետևյալ խնդիրները.

1. Կոնտակտային եռակցման էլեկտրոդների բնութագրերի, աշխատաքային պայմանների, կառուցվածքի ու հատկությունների ուսումնասիրումն ու առանձնահատկությունների բացահայտումը:

2. Շերտավոր կառուցվածքով կոնտակտային եռակցման էլեկտրոդների համար դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող փոշեկոմպոզիտային նյութերի և դրանց բաղադրամասերի ընտրումն ու հիմնավորումը:

3. Բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ և ջերմակայունությամբ օժտված պղնձի հիմքով դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի բովանդակության պատրաստման և սառը մամլման տեխնոլոգիաների մշակումը և օպտիմալ ռեժիմների ընտրումը:

4. Պղնձի հիմքով դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի տաք արտամղման գործընթացի լարվածադեֆորմացված վիճակի հետազոտումը, առանձնահատկությունները և կառուցվածքագոյացման մեխանիզմի ու կինետիկայի բացահայտումը:

5. Պղնձի հիմքով դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի ջերմային մշակման գործընթացի հետազոտումը և կառուցվածքի ու հատկությունների ձևավորման օրինաչափությունների բացահայտումը:

6. Ստացված շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի կառուցվածքի՝ այդ թվում անցումային շերտի, մետաղագիտական հիմնավորումը և ֆիզիկա-մեխանիկական ու տեխնոլոգիական հատկությունների փոփոխման օրինաչափությունների բացահայտումը կախված միկրոկառուցվածքից և ջերմաստիճանից:

7. Պղնձի հիմքով դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի ստացման տեխնոլոգիայի մշակումը և տեխնիկատնտեսական հիմնավորումը:

Պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները:

1. Դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող պղնձի հիմքով կոմպոզիտային նյութերի ստացման գործընթացների վերլուծությունը, կառուցվածքի և հատկությունների ձևավորման սկզբունքները և հետազոտման խնդրի դրվածքը:

2. Բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ և ջերմակայունությամբ օժտված պղնձի հիմքով դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող փոշեկոմպոզիտային նյութերի բաղադրամասերի ընտրումը, բովանդակության պատրաստման և սառը մամլման տեխնոլոգիական գործընթացների հիմնավորումը:

3. Բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ և ջերմակայունությամբ օժտված պղնձի հիմքով դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկ-

ներով ամրացվող շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի տաք արտանդման գործընթացի լարվածադեֆորմացված վիճակը, առանձնահատկությունները և կառուցվածքագոյացման մեխանիզմն ու կինետիկան:

4. Տաք արտանդմամբ ստացված բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ և ջերմակայունությամբ օժտված պղնձի հիմքով դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի ջերմային մշակման տեխնոլոգիական գործընթացի հիմնավորումը և կառուցվածքագոյացման մեխանիզմն ու կինետիկան:

5. Ստացված շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի կառուցվածքի՝ այդ թվում անցումային շերտի, մետաղագիտական հետազոտության արդյունքները, ինչպես նաև ֆիզիկական, մեխանիկական և տեխնոլոգիական հատկությունների փոփոխման օրինաչափությունները կախված միկրոկառուցվածքից և ջերմաստիճանից:

6. Դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող պղնձի հիմքով բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ և ջերմակայունությամբ շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի ստացման տեխնոլոգիան և տեխնիկատնտեսական հիմնավորումը:

Աշխատանքի գիտական նորույթը: Բացահայտվել են $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{0,5}$ և $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{0,5}$ բաղադրություններով բովախառնուրդներից պատրաստված ծակոտկեն մամլվածքների տաք արտանդման առանձնահատկությունները, համաձայն որի միևնույն արտանդման գործակցի դեպքում չեռակալված մամլվածքի ծակոտկենության մեծացումը նպաստում է արտանդման ճնշման բարձրացմանը: Ցույց է տրված, որ ծակոտկենության բոլոր արժեքների դեպքում ($\theta_0=25...30\%$), $\lambda=5...6$ արտանդման գործակցով չեռակալված ծակոտկեն մամլվածքներն արտանդելիս՝ ձուլածո համաձուլվածքի հետ համեմատած, P_0 -ն անընդհատ աճում է, որն արդյունք է չեռակալված ծակոտկեն նյութերում դիֆուզիայով առաջացած մետաղական կոնտակտների փոքր քանակության՝ արդյունքում նյութի մածուցիկ-պլաստիկ հոսքի, հետևապես սողքի արագության փոքրացման:

Բացահայտվել է, որ եռակալված մամլվածքների ծակոտկենության մեծացմամբ P_0 -ն սկզբում աճում է (մինչև $\theta_0=20\%$), իսկ հետո՝ նվազում: Ցույց է տրված, որ ճնշման փոփոխման այսպիսի օրինաչափություններն արդյունք են փակ ծակոտկենության առկայության, որն առաջանում է մինչև $15...20\%$ նախնական ծակոտկենության դեպքում՝ փոքրացնելով նյութի սողքի արագությունը: Տեսականորեն հաշվարկվել և փորձնական եղանակով հաստատվել է, որ $\lambda \geq 4$ արտանդման գործակցով տաք արտանդման դեպքում ապահովվում է պղնձի հիմքով անծակոտկեն շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի ստացումը, որի կառուցվածքը տեստուրացված է:

«Արտաքին շերտ-միջուկ» կոնստրուկցիայով, բայց տարբեր պլաստիկություն ունեցող շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի համատեղ տաք արտանդանն նպատակով՝ տեսականորեն հաշվարկվել և փորձնական եղանակով հիմնավորվել ու առաջարկվել է բանաձև՝ որը հնարավորություն է տալիս միջուկի տրամագծի ընտրման միջոցով, հաշվի առնելով մայրակի թեքության անկյունը և բաղադրիչների պլաստիկ հատկությունները, տաք արտանդանն ջերմաստիճանում ապահովել տարբեր պլաստիկություն ունեցող նյութերի անցումային շերտում փոքր սահքի դեֆորմացիաներ: Բացահայտվել է, որ ներքին շիման կորերի գագաթների առավելագույն բարձրությունները համապատասխանում են շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի օպտիմալ դեֆորմացման աստիճաններին, որոնք ապահովում են բարձր մեխանիկական հատկություններ և պահանջվող խտություն:

Բացահայտվել է ստացված շերտավոր կառուցվածքով արտադրատեսակների միկրոկառուցվածքում անցումային շերտի գոյությունը: Տույց է տրված, որ մխումից ու ծերացումից հետո անցումային գոտում ճաքեր չեն առաջանում, իսկ բաղադրիչ շերտերի բաժանման սահմաններն ուղղագծային են փորձանմուշի ամբողջ երկայնքով: Նիկելի և ալյումինի դիֆուզիայի արդյունքում առաջանում է դիֆուզված շերտ և պղնձի հիմքով պինդ լուծույթ, որի խտությունն աճում է 6 մկմ-ից ($\lambda=1,58$) մինչև 17 մկմ ($\lambda=3,74$)՝ արդյունքում մեծանում է երկմետաղի շերտերի կցման ամրությունը կտրմամբ:

Բացահայտվել է, որ մշակված շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութի ներքին շերտի ($13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{(a)}$) կառուցվածքը բազմաֆազային է և բաղկացած է պղնձի հիմքով α պինդ լուծույթից (Ni-ի, Al-ի, Cr-ի և Zr-ի պինդ լուծույթը պղնձում), Cr-ի դիսպերս մասնիկներից և Cu_5Zr , Ni_3Al , $NiAl$ ինտերմետաղական ֆազերից, մինչդեռ արտաքին շերտի ($1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{(a)}$) կառուցվածքը եռաֆազ է և բաղկացած է պղնձի հիմքով α պինդ լուծույթից (Cr-ի և Zr-ի պինդ լուծույթը պղնձում), Cr-ի դիսպերս մասնիկներից և Cu_5Zr ինտերմետաղական ֆազից, ընդ որում, պղնձի հիմքով α պինդ լուծույթի մայրակն (արտաքին շերտ) ապահովում է բարձր էլեկտրահաղորդականություն (Cu-ի էլեկտրահաղորդականության $\sim 80\%$) և մեխանիկական հատկություններ ($\sigma_{\pm}=550...600$ ՄՊա, $HB=1550...1850$ ՄՊա, $\delta=10...20\%$), իսկ պղնձի հիմքով α պինդ լուծույթի մայրակը (ներքին շերտ)՝ բարձր մեխանիկական հատկություններ ($\sigma_{\pm}=900...950$ ՄՊա, $\delta=10...15\%$, $HB=2500...2600$ ՄՊա) և ջերմակայունություն մինչև $500^{\circ}C$:

Աշխատանքի կիրառական նշանակությունը: Մշակվել է դիսպերս մասնիկներով կարծրացող (ինտերմետաղական ֆազերով) և դիսպերս հատիկներով ամրացվող պղնձի հիմքով բարձրամուր և բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ ու ջերմակայունությամբ օժտված շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի ստացման տեխնոլոգիա, որը ներառում է արտաքին և ներքին շերտերի բովախառնուրդների պատրաստում, արտաքին

շերտի և միջուկի մամլում, մեկը մյուսի մեջ հավաքում, վերամամլում, տաքացում (եռակալում), տաք արտամղում և ջերմային մշակում: Մշակված շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութը նախատեսված է ծանր պայմաններում աշխատող կոնտակտային եռակցման էլեկտրոդներ պատրաստելու համար:

Մշակված տեխնոլոգիան ընդունվել է «Օմեգա» ՍՊԸ-ի (ք.Երևան) կողմից ներդրման նպատակով:

Ատենախոսության տեսական, տեղեկատվական և մեթոդական հիմքերը: Ատենախոսության թեմայի համար հիմք են ծառայել հայրենական և արտասահմանյան դասական և ժամանակակից աշխատությունները: Հետազոտության համար տեղեկատվական հիմք են հանդիսացել հրապարակված պաշտոնական տեղեկատուները և տեղեկագրերը, ինչպես նաև տեխնիկական պարբերականները, պատենտները, ԳՈՍՏ-երը և այլն:

Հետազոտությունների ընթացքում կիրառվել են համակարգչային, մոդելավորման, գրաֆիկական, մետաղագրական, ռենտգենակառուցվածքային, ռենտգենասպեկտրալ, համեմատական վերլուծությունների մեթոդներ և այլն:

Աշխատանքի արդյունքների փորձարկումը և հրապարակումները:

Ատենախոսության հիմնադրույթները և գործնական հանձնարարականներն զեկուցվել ու քննարկվել են Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի 2015...2020թթ. տարեկան գիտաժողովներում և «Մետալուրգիա և նյութագիտություն» ամբիոնի գիտական սեմինարներում: Ատենախոսության արդյունքները հրապարակված են 19 գիտական աշխատանքներում, որից երեքը հեղինակային են, իսկ մեկը՝ ՀՀ գյուտի արտոնագիր:

Ատենախոսության կառուցվածքը և ծավալը: Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, չորս գլուխներից, ընդհանուր եզրակացությունից և 135 անուն օգտագործված գրականության ցանկից: Այն շարադրված է 142 համակարգչային տպագիր էջում, ներառում է 63 նկար, 18 աղյուսակ և մեկ հավելված:

ԱՏԵՆԱՆՈՍՈՒԹՅԱՆ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ներածությունում հիմնավորված է ատենախոսության թեմայի արդիականությունը, ներկայացված են հիմնական նպատակները և պաշտպանության ներկայացվող դրույթները, ինչպես նաև աշխատանքի կիրառական նշանակությունը:

Առաջին գլխում կատարվել է դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող՝ այդ թվում շերտավոր կառուցվածքով կոմպոզիտային նյութերի ստացմանը և կառուցվածքի ու հատկությունների ձևավորմանը նվիրված գրականության վերլուծություն: Արդյունքում պարզվել է, որ բարձր կարծրությամբ, ամրությամբ, էլեկտրահաղորդականությամբ և ջերմակայունությամբ օժտված համաձուլվածքները, որոնք կարող են կիրառվել կոնտակտային եռակցման էլեկտրոդների համար, պետք է լինեն պղնձի հիմքով և

բաղկացած մակերևութային շերտից ու միջուկից, որոնց մայրակի կարծրացումը և ամրացումը նպատակահարմար է կատարել ջերմամշակմամբ՝ դիսպերս մասնիկներով կարծրացման և դիսպերս հատիկներով ամրացման մեխանիզմներով: Մակերևութային շերտի բարձր էլեկտրահաղորդականությունը պետք է ապահովել պղնձի հիմքով ցածր լեգիրված, իսկ միջուկի բարձր մեխանիկական հատկությունները և ջերմակայունությունը՝ պղնձի հիմքով բարձր լեգիրված անձակոտկեն կառուցվածքով կոմպոզիտային նյութերով՝ ապահովելով ամուր կապ «արտաքին շերտ-միջուկ» անցումային շերտում: Հիմնավորվել է նշված խնդիրների լուծման փոշեմետալուրգիական մեթոդը, հատկապես ծակոտկեն շերտավոր կառուցվածքով մամլվածքների տաք արտամղման գործընթացը, որի ժամանակ եռակալումը և կառուցվածքի ձևավորումը համատեղվում են: Արդյունքում հիմնավորվել են աշխատանքի նպատակը և հետազոտման խնդիրները:

Երկրորդ գլխում կատարվել է ելանյութերի ընտրում, բնութագրերի ուսումնասիրում և հիմնավորում: Արտաքին և ներքին շերտերի համար որպես մայրակի նյութ ընտրվել և հիմնավորվել է ՈՄՇ-1 մակնիշի պղնձափոշին, իսկ որպես լեգիրող տարրեր՝ ՈՒՄՇ-1 մակնիշի քրոմի և ՈՒՄՇ-1 մակնիշի ցիրկոնիումի փոշիները: Ներքին շերտի համար՝ բացի վերը նշվածներից, լրացուցիչ ընտրվել է նաև ՈՒՄՇ-1 մակնիշի նիկելի և ԱՄՇ-1Ա մակնիշի ալյումինի փոշիներ: Մշակվել է հետազոտման մեթոդիկան և կատարվել չափիչ-հսկիչ սարքավորումների ընտրում ու հիմնավորում: Նախագծվել և պատրաստվել են փոքր չափսերի փորձանմուշների ձգման և շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերի շերտերի կցման ամրության որոշման հարմարանքներ:

Փորձագիտական հետազոտությունների արդյունքում որոշվել է $1,0\%Cr + 0,8\%Zr + Cu_{0,5}$ (արտաքին շերտ) և $13\%Ni + 3\%Al + 1,0\%Cr + 0,8\%Zr + Cu_{0,5}$ (ներքին շերտ) բաղադրություններով փոշեկոմպոզիտային նյութերի բովախառնուրդների սառը մամլման լավարկված ճնշումները ($P_{տ} = 280-320$ ՄՊա), որոնք ապահովում են մամլվածքների 20...25% նախնական ծակոտկենություն:

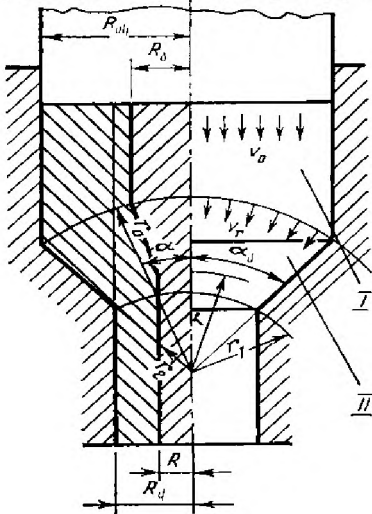
Երրորդ գլխում հետազոտվել է պղնձի հիմքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի (արտաքին շերտ- $1,0\%Cr + 0,8\%Zr + Cu_{0,5}$, ներքին շերտ- $13\%Ni + 3\%Al + 1,0\%Cr + 0,8\%Zr + Cu_{0,5}$) լարվածադեֆորմացված վիճակը միառանցք և եռառանցք սեղման դեպքում: Հիմք ընդունելով պրոֆ. Գ.Պետրոսյանի կողմից մշակված ծակոտկեն նյութերի պլաստիկության տեսությունը, կառուցվել են պղնձի հիմքով փոշեկոմպոզիտային ծակոտկեն նյութերի դեֆորմացման դիագրամները և բացահայտվել արտամղիչի կոնտեյներում այդ նյութերի խտացման մեխանիզմը: Արդյունքում պարզվել է, որ տաք արտամղման գործակցի մեծացումով շրջանային դեֆորմացիաներն աճում են և կախված չեն մամլվածքի սկզբնական ծակոտկենությունից: Բացահայտվել են՝ կոշտ գլանաձև մայրակում մեկ և եռառանցքանի սեղմման դեպքում, σ ճնշման և θ ծակոտկե-

նության կախվածությունը դեֆորմացման աստիճանից՝ $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{0,5}$ բաղադրությամբ բովախառնուրդից պատրաստված $\theta_0=0,2$ հարաբերական ծակոտկենությամբ ծակոտկեն փորձանմուշների համար: Ցույց է տրված, որ եռատանցքանի սեղման դեպքում ծակոտկենությունը նվազում է այնքան արագ, որքան փոքր է նմուշի սկզբնական հարաբերական ծակոտկենությունը:

Ուսումնասիրվել է արտաքին և ներքին շերտերի ծակոտկեն մամլվածքների տաք արտամղման օրինաչափությունները, համաձայն որի միևնույն արտամղման գործակցի դեպքում չեռակալված մամլվածքի ծակոտկենության մեծացումը նպաստում է արտամղման ճնշման բարձրացմանը: Ցույց է տրված, որ ծակոտկենության բոլոր արժեքների դեպքում ($\theta_0=25...30\%$), $\lambda=5...6$ արտամղման գործակցով չեռակալված ծակոտկեն մամլվածքներն արտամղելիս՝ ձուլվածո համաձուլվածքի հետ համեմատած, P_0 -ն անընդհատ աճում է, որն արդյունք է չեռակալված ծակոտկեն նյութերում դիֆուզիայով առաջացած մետաղական կոնտակտների փոքր քանակության՝ արդյունքում նյութի մածուցիկ-պլաստիկ հոսքի, հետևապես սողքի արագության փոքրացման: Մինչդեռ եռակալված մամլվածքների ծակոտկենության մեծացմամբ P_0 -ն սկզբում աճում է (մինչև $\theta_0=20\%$), իսկ հետո՝ նվազում: Նմանատիպ օրինաչափություն է նկատվում նաև λ արտամղման գործակցի փոփոխման ժամանակ: Ցույց է տրված, որ ճնշման փոփոխման այսպիսի օրինաչափություններն արդյունք են փակ ծակոտկենության առկայության, որն առաջանում է մինչև $15...20\%$ նախնական ծակոտկենության առկայության դեպքում՝ փոքրացնելով նյութի սողքի արագությունը: Տեսականորեն հաշվարկվել և փորձնական եղանակով հաստատվել է, որ $\lambda \geq 4$ արտամղման գործակցով տաք արտամղման դեպքում ապահովվում է պլնձի հիմքով անծակոտկեն կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի ստացումը, որոնց կառուցվածքները տեքստուրացված են:

Հաշվարկվել է «արտաքին շերտ-միջուկ» շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի միջուկի R-երկրաչափական պարամետրը, որն ապահովում է արտամղման ժամանակ շերտերի կոնտակտային մակերևույթների վրա հարաբերական տեղաշարժերի բացակայություն, հետևաբար շերտերի կցման բարձր ամրություն: Այդ նպատակով արտաքին շերտի բովախառնուրդից ($1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{0,5}$) երկկողմանի մամլմամբ ($P_{տ}=300$ ՄՊա) պատրաստվել են սնամեջ գլանական ($D_w=29,5$ մմ, $D_0=21,5$ մմ, $H=50$ մմ, $\theta=10, 15, 20, 25, 30\%$), իսկ միջուկի բովախառնուրդից ($13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{0,5}$)՝ գլանական նմուշներ ($D_0=21$ մմ, $H=50$ մմ, $\theta=10, 15, 20, 25, 30\%$), այնուհետև հավասար ծակոտկենությամբ մամլվածքներն իրար մեջ հավաքելուց, $P_{տ}=320$ ՄՊա ճնշմամբ վերամամլումից և ջրածնի միջավայրում $900...950^\circ C$ շերմաստիճանում $1...1,5$ ժ եռակալելուց հետո ենթարկվել են տաք արտամղման մայրակի $2\alpha_0=110^\circ$ և $\lambda=3...6$ արտամղման գործակցով: Կորդի-

Նատային ցանցի եղանակով ուսումնասիրվել է համակարգում առաջացած լարվածադեֆորմացված վիճակը (նկ. 1) և մշակվել հաշվարկային եղանակ:



Նկ. 1. Արտաքին շերտ-միջուկ կառուցվածքով շերտավոր կոնյուգիտային նյութի հոսքի սխեման արտամղման ժամանակ

Ելնելով արտամղման ջերմաստիճանում շերտերի համատեղ հոսքի պայմանից, շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոնյուգիտային նյութերի տաք արտամղման գործընթացի համար դուրս է բերվել նրա երկրաչափական պարամետրերի որոշման օպտիմալ փոխհարաբերություն.

$$R_\delta = \left(\frac{R_u}{R_d} \right) \cdot \left[R_d - R_u \left(\frac{R}{R_u} \right)^{\frac{\sigma_{hnu2}}{\sigma_{hnu1}}} \cdot e^{\frac{b}{2n} \left(\frac{\sigma_{hnu1} - \sigma_{hnu2}}{\sigma_{hnu1}} \right)} \right],$$

որտեղ R_u -ը շերտավոր կառուցվածքով մամլվածքի սկզբնական, իսկ R_d -ն՝ տաք արտամղումից հետո ստացված ձողի վերջնական շառավիղներն են, մմ; R -ը՝ արտամղումից հետո ստացված միջուկի շառավիղը, մմ; σ_{hnu1} -ը և σ_{hnu2} -ը՝ համապատասխանաբար արտաքին և ներքին շերտերի նյութերի հոսունության սահմաններն արտամղման ջերմաստիճանում, ՄՆ/մ²; n -ը և b -ն հաշվարկային գործակիցներ են: R_δ -ի բանաձևի մեջ մտցնելով կոնկրետ R_u , R_d , σ_{hnu1} , σ_{hnu2} և a_α արժեքները, որոշվել է R_δ երկրաչափական պարամետրը, որը հավասար է ~21,0մմ, ըստ $R=10,5$ մմ օպտիմալ արժեքի և ապահովում է արտամղան ժամանակ կյոր կտրվածքով շերտավոր փոշեկոնյուգիտային նյութերի կոնտակտային մակերևույթների վրա հարաբերական տեղաշարժերի բացակայություն, հետևաբար շերտերի կցման բարձր ամրություն:

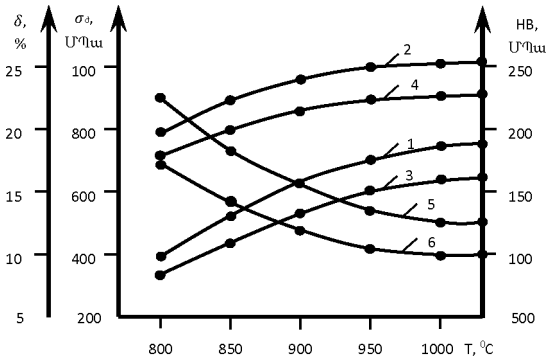
Ներքին շփման մեթոդով հետազոտվել է ամրացման և դեֆորմացիայի աստիճանի միջև եղած կապն արտաքին և ներքին շերտերի միջև տարբեր ջերմաստիճաններում: Բացահայտվել է, որ ներքին շփման կորերի գազաթների առավելագույն բարձրություններին համապատասխանում են երկմետաղական համակարգերի առանձին բաղադրիչների դեֆորմացիայի օպտիմալ աստիճաններ, որոնք երաշխավորում են արտամղման ժամանակ բարձր մեխանիկական հատկությունների և անհրաժեշտ խտության ստացում:

Ցույց է տրված, որ նրքին շերտից արտաքին շերտ նիկելի դիֆուզման արդյունքում առաջանում է անցումային շերտ, որի հաստությունն աճում է արտամղման գործակցի մեծացմամբ և առաջանում է պղնձի հիմքով պինդ լուծույթ, որի խորությունն աճում է 6 մկմ-ից ($\lambda=1,58$) մինչև 17 մկմ ($\lambda=3,74$): Նմանատիպ պինդ լուծույթ է առաջանում նաև Al-ի դիֆուզիայի դեպքում: Մեծանում է նաև լուծված շերտի խորությունը՝ $\lambda=1,58$ -ի դեպքում 17 մկմ-ից մինչև 22 մկմ $\lambda=3,74$ -ի դեպքում, հետևաբար աճում է նաև երկմետաղի շերտերի կցման ամրությունը կտրմամբ: Մխումից և նրան հաջորդող սառը ճնշմամբ մշակումից հետո անցումային գոտում ճաքեր և շերտավորվածություններ չեն առաջանում, իսկ բաղադրիչ շերտերի բաժանման սահմաններն ուղղաձային են փորձանմուշի ամբողջ երկայնքով:

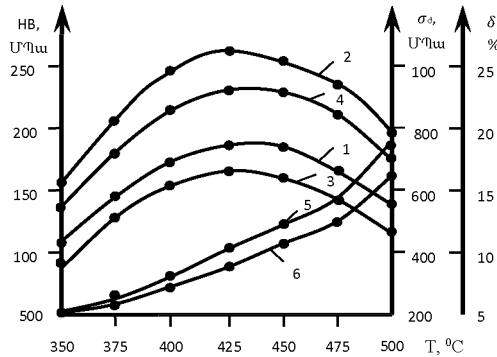
Տաք արտամղման ջերմաստիճանների և դեֆորմացիաների լայն միջակայքում բացահայտվել են $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{0.5}$ և $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{0.5}$ բաղադրությամբ փոշեկոմպոզիտային նյութերի կառուցվածքագոյացման օրինաչափությունները: Դուրս են բերվել տաք արտամղման պարամետրերից կախված ամրության և կարծրության կախվածություններ, որի արդյունքում ընտրվել և հիմնավորվել է տաք արտամղման լավարկված ռեժիմները. արտամղման ջերմաստիճանը՝ $T_w=900...950^{\circ}C$, արտամղման ջերմաստիճանում պահման տևողությունը՝ $\tau_w=1...1,5\text{ժ}$, մայրակի կոնական անկյունը՝ $2\alpha_{\text{գ}}=110^{\circ}$ և արտամղման գործակիցը՝ $\lambda=4$:

Համալիր գիտափորձնական հետազոտությունների արդյունքում (նկ. 2, 3) որոշվել է ամրացնող ջերմային մշակման (մխում, ծրացում) լավարկված պարամետրերը՝ $T_{\text{մ}}=1000\pm 25^{\circ}C$, $\tau_{\text{մ}}=1...1,5\text{ժ}$, $T_{\text{ծր}}=450\pm 25^{\circ}C$, $\tau_{\text{ծր}}=6\text{ժ}$, որոնք ապահովում են ոչ միայն բարձր մեխանիկական հատկություններ (α -պինդ լուծույթի հիմքով արտաքին շերտ - $\sigma_{\text{գ}}=550...600\text{ՄՊա}$, $HB=1550...1850\text{ՄՊա}$, $\delta=10...20\%$, α -պինդ լուծույթի հիմքով ներքին շերտ - $\sigma_{\text{գ}}=900...950\text{ՄՊա}$, $\delta=10...15\%$, $HB=2500...2600\text{ՄՊա}$), այլ նաև արտաքին շերտի բարձր ջերմահաղորդականություն ($\chi=70$ Վտ/Կ.մ), էլեկտրահաղորդականություն (Cu -ի $\sim 80\%$ -ը) և ներքին շերտի ջերմակայունություն մինչև $500^{\circ}C$: Ստացված փոշեկոմպոզիտային նյութի ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների ուսումնասիրումը ցույց է տալիս, որ ծակոտկեն շերտավոր մամվածքի տաք արտամղումն

ապահովում է պրակտիկորեն անձակոտկեն կառուցվածք, իսկ հետագա ջերմային մշակումը՝ պահանջվող ֆիզիկա-մեխանիկական հատկություններ:



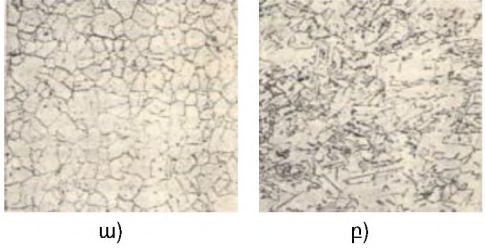
Նկ. 2. Կարծրության (1, 2), ամրության սահմանի (3, 4) և հարաբերական երկարացման (5, 6) կախվածությունը միսման ջերմաստիճանից, երբ $\tau_{\text{մ}} = 1\text{ժ}$, $T_{\text{ծ}} = 450^\circ\text{C}$, $\tau_{\text{ծ}} = 6\text{ժ}$; 1, 3, 5 - արտաքին շերտ ($1,0\%Cr + 0,8\%Zr + Cu_{\text{մ}}$); 2, 4, 6 - ներքին շերտ ($13\%Ni + 3\%Al + 1,0\%Cr + 0,8\%Zr + Cu_{\text{մ}}$)



Նկ. 3. Կարծրության (1, 2), ամրության (3, 4) և հարաբերական երկարացման (5, 6) կախվածությունը ձերացման ջերմաստիճանից, երբ $T_{\text{մ}} = 1000 \pm 25^\circ\text{C}$, $\tau_{\text{մ}} = 1,5\text{ժ}$, $\tau_{\text{ծ}} = 6\text{ժ}$: 1, 3, 5 - արտաքին շերտ ($1,0\%Cr + 0,8\%Zr + Cu_{\text{մ}}$); 2, 4, 6 - ներքին շերտ ($13\%Ni + 3\%Al + 1,0\%Cr + 0,8\%Zr + Cu_{\text{մ}}$)

Մետաղագիտական հետազոտությունների արդյունքում բացահայտվել է, որ մշակված շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութի ներքին շերտի ($13\%Ni + 3\%Al + 1,0\%Cr + 0,8\%Zr + Cu_{\text{մ}}$) կառուցվածքը բազմաֆազային է և բաղկացած է պղնձի հիմքով α_1 պինդ լուծույթից (Ni-ի, Al-ի, Cr-ի և Zr-ի պինդ լուծույթը պղնձում), Cr-ի դիսպերս մասնիկներից, Cu_5Zr , Ni_3Al և $NiAl$ ինտերմետաղական ֆազերից, մինչդեռ արտաքին շերտի ($1,0\%Cr + 0,8\%Zr + Cu_{\text{մ}}$) կառուցվածքը եռաֆազ է և բաղկացած է պղնձի հիմքով α պինդ լուծույթից

(Cr-ի և Zr-ի պինդ լուծույթը պղնձում), Cr-ի դիսպերս մասնիկներից և Cu_5Zr հնտերմետաղական ֆազից (նկ. 4):



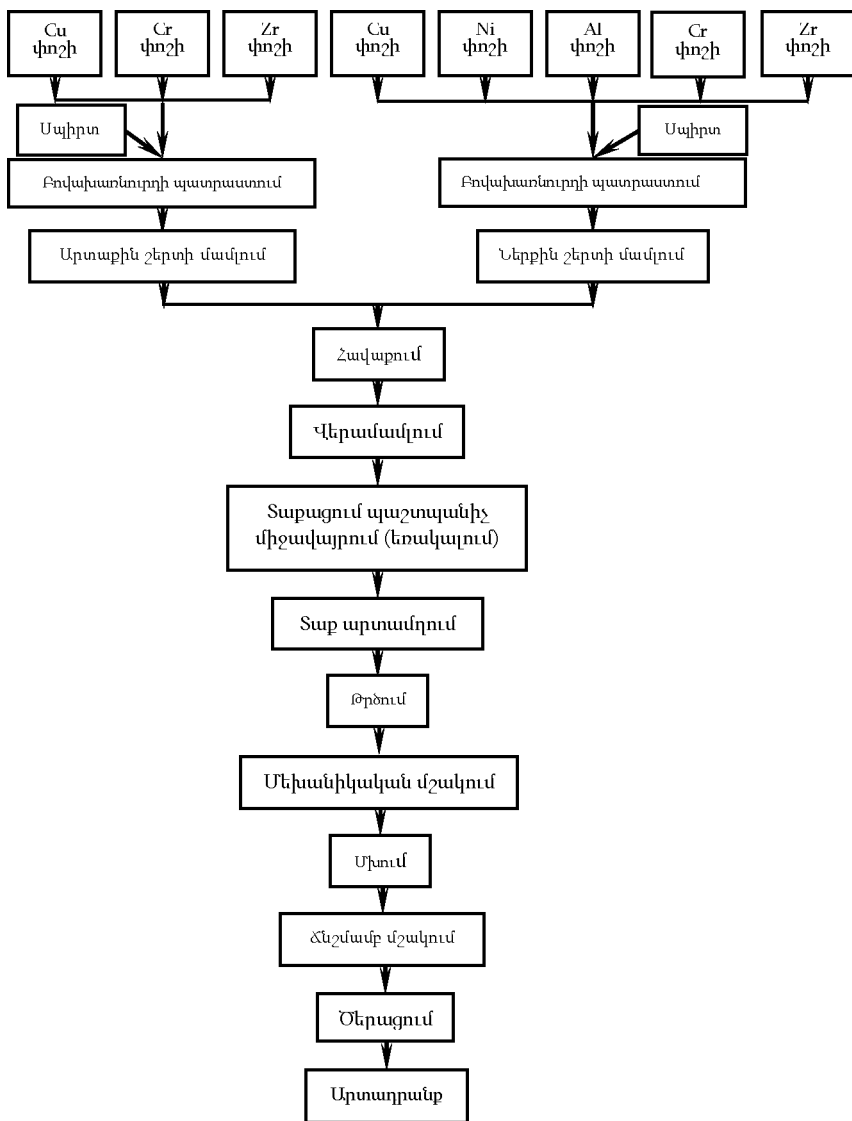
Նկ. 4. Տաք արտամղմամբ ստացված շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերի շերտերի միկրոկառուցվածքները ջերմամշակումից հետո (x500). ա) արտաքին շերտ ($1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_5$), բ) ներքին շերտ $3\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr++0,8\%Zr+Cu_{50}$)

Չորրորդ գլխում մշակվել է դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող պղնձի հիմքով շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութի ստացման տեխնոլոգիա (նկ. 5), որը հնարավորություն է տալիս ապահովելու ոչ միայն բարձր մեխանիկական հատկություններ՝ ամրություն, կարծրություն, շիկակայունություն, ջերմակայունություն, այլ նաև բարձր ֆիզիկական հատկություններ՝ ջերմահաղորդականություն և էլեկտրահաղորդականություն:

Ընտրվել են հիմնական և օժանդակ սարքավորումներ: Կատարվել է արտադրատեսակների անվանացանկի ընտրություն և իրականացվել տեխնիկատնտեսականն հիմնավորում, համաձայն որի մեկ տոննա դետալների ինքնարժեքը կազմել է 8372648.00 դր, իսկ մեծածախ գինը՝ 10024275.00դր:

ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐ ԵՎ ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

1. Հիմնավորվել է պղնձի հիմքով կոնտակտային եռակցման էլեկտրոդների ստացման գործընթացի փոշեմետալուրգիական եղանակը, համաձայն որի մայրակի կարծրացումը և ամրացումը պետք է կատարվի դիսպերս մասնիկներով կարծրացման և դիսպերս հատիկներով ամրացման մեխանիզմներով՝ ջերմամշակմամբ, իսկ բարձր էլեկտրահաղորդականությունը, ջերմահաղորդականությունը և ջերմակայունությունը՝ շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի օգտագործմամբ, որտեղ մակերևութային շերտի բարձր էլեկտրահաղորդականությունը և ջերմահաղորդականությունը պետք է ապահովի ցածր լեգիրված պղնձյա անձակոտկեն մարյակը, իսկ միջուկի բարձր մեխանիկական հատկությունները և ջերմակայունությունը՝ պղնձի հիմքով բարձր լեգիրված փոշեկոմպոզիտային անձակոտկեն կառուցվածքով նյութը, որոնց անձակոտկենության ապահովումը նպատակահարմար է իրականացնել տաք արտամղմամբ:



Նկ. 5. Դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող պղնձի հիմքով ջերմակայուն և բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ ու ջերմահաղորդականությամբ օժտված շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութի ստացման տեխնոլոգիական սխեմա

2. Կատարվել է պղնձի հիմքով շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութի արտաքին և ներքին շերտերի համար ելանյութերի ընտրում, բնութագրերի ուսումնասիրում և հիմնավորում: Տեսական և փորձարարական հետազոտությունների արդյունքում որոշվել է $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{\text{տ}}$ (արտաքին շերտ) և $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{\text{տ}}$ (ներքին շերտ) բաղադրությամբ փոշեկոմպոզիտային նյութերի բովախառնուրդների սառը մամլման օպտիմալ ճնշումները ($P_{\text{տ}}=280-320$ ՄՊա), որոնք ապահովում են մամլվածքի 20...25% նախնական ծակոտկենություն: Ընտրվել և հիմնավորվել են չափիչ-հսկիչ սարքավորումները: Նախագծվել և պատրաստվել են փոքր չափերի փորձանմուշների ձգման և շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի անցումային շերտի կցման ամրության չափման հարմարանքներ:

3. $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{\text{տ}}$ բաղադրությամբ փոշեկոմպոզիտային նյութի բովախառնուրդից պատրաստված $\theta_0=0,2$ հարաբերական ծակոտկենությամբ փորձանմուշների համար բացահայտվել է, որ տաք արտամլման ժամանակ արտամլման գործակցի մեծացումով շրջանային դեֆորմացիաներն աճում են և կախված չեն մամլվածքի սկզբնական ծակոտկենությունից, ինչպես նաև հիմնավորվել է σ ճնշման և θ ծակոտկենության կախվածությունը դեֆորմացման աստիճանից՝ կոշտ գլանաձև մայրակում մեկ և եռառանցքանի սեղման դեպքում: Ցույց է տրված, որ եռառանցքանի սեղման դեպքում կորը տեղաբաշխված է զգալիորեն բարձր, քան միառանցքանի դեպքում, ինչպես նաև եռառանցքանի սեղման դեպքում ծակոտկենությունը նվազում է այնքան ինտենսիվ, որքան փոքր է նմուշի սկզբնական հարաբերական ծակոտկենությունը:

4. Բացահայտվել են $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{\text{տ}}$ և $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{\text{տ}}$ բաղադրություններով բովախառնուրդներից պատրաստված ծակոտկեն մամլվածքների տաք արտամլման առանձնահատկությունները՝ կախված θ_0 սկզբնական ծակոտկենությունից, $T_{\text{տ}}$ արտամլման ջերմաստիճանից, $\tau_{\text{տ}}$ արտամլման ջերմաստիճանում պահման տևողությունից և λ արտամլման գործակցից, համաձայն որի միևնույն արտամլման գործակցի դեպքում $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{\text{տ}}$ բաղադրությամբ բովախառնուրդներից պատրաստված չեռակալված մամլվածքի ծակոտկենության մեծացումը նպաստում է արտամլման ճնշման բարձրացմանը: Ցույց է տրված, որ ծակոտկենության բոլոր արժեքների դեպքում ($\theta_0=25...30\%$), $\lambda=5...6$ արտամլման գործակցով չեռակալված ծակոտկեն մամլվածքներն արտամղելիս՝ ձուլվածո համաձուլվածքի հետ համեմատած, P_0 -ն անընդհատ աճում է: Օրինակ, $\lambda=5$ դեպքում այդ աճը կազմում է 40%, իսկ $\lambda=6$ դեպքում՝ 66,7%, մինչդեռ եռակալված մամլվածքների մոտ այդ աճը կազմում է համապատասխանաբար 37,2% և 48,8%, որն արդյունք է չեռակալված ծակոտկեն նյութերում դիֆուզիայով առաջացած մետաղական կոնտակտների փոքր քանակության: Արդյունքում

փոքրանում է նյութի մածուցիկ-պլաստիկ հոսքը, այսինքն՝ սողքի արագությունը: Նույն օրինաչափությունը նկատվում է նաև $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{0.5}$ բաղադրությամբ բովախառնուրդներից պատրաստված ծակոտկեն մամլվածքների տաք արտանդման ժամանակ:

5. Բացահայտվել է, որ եռակալված մամլվածքների ծակոտկենության մեծացմամբ P_0 -ն սկզբում աճում է (մինչև $\theta_0=20\%$), իսկ հետո՝ նվազում: Ցույց է տրված, որ ճնշման փոփոխման այսպիսի օրինաչափություններն արդյունք են փակ ծակոտկենության առկայության, որն առաջանում է մինչև 15...20% նախնական ծակոտկենության դեպքում՝ փոքրացնելով նյութի սողքի արագությունը: Տեսականորեն հաշվարկվել և փորձնական եղանակով հաստատվել է, որ $\lambda \geq 4$ արտանդման գործակցով տաք արտանդման դեպքում ապահովվում է պղնձի հիմքով անծակոտկեն շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի ստացումը, որի կառուցվածքը տեքստուրացված է:

6. Փորձագիտական հետազոտությամբ հիմնավորվել է տաք արտանդման գործընթացի առավելությունը դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի կոմպակտավորման ժամանակ: «Արտաքին շերտ-միջուկ» կոնստրուկցիայով շերտավոր կառուցվածքով կոմպոզիտային նյութերի տաք արտանդման դեպքում՝ միջուկի տրամագծի ընտրման նպատակով, տեսականորեն հաշվարկվել և փորձնական եղանակով հիմնավորվել ու առաջարկվել է բանաձև՝ որը հաշվի է առնում մայրակի թեքության անկյունը և բաղադրիչների պլաստիկ հատկությունները տաք արտանդման ջերմաստիճանում՝ ապահովելով տարբեր պլաստիկություն ունեցող նյութերի անցումային շերտում փոքր սահքի դեֆորմացիաներ:

7. Բացահայտվել են պղնձի հիմքով դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի տաք արտանդման հիմնական օրինաչափությունները՝ կախված ջերմաստիճանից, պահման տևողությունից, նախնական ծակոտկենությունից, մայրակի անկյունից և արտանդման գործակցից, որի արդյունքում կատարվել է տաք արտանդման լավարկված ռեժիմների ընտրում և հիմնավորում. արտանդման ջերմաստիճանը՝ $T_w=900...950^{\circ}C$, արտանդման ջերմաստիճանում պահման տևողությունը՝ $\tau_w=1...1,5$ ժ, մայրակի կոնական անկյունը՝ $2\alpha=110^{\circ}$ և արտանդման գործակցից՝ $\lambda=4...5$:

8. Ներքին շփման մեթոդով հետազոտվել է ամրացման և դեֆորմացիայի աստիճանի միջև եղած կապը $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{0.5}$ և $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{0.5}$ բաղադրություններով շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային համակարգերի բաղադրիչների միջև տարբեր ջերմաստիճանների դեպքում: Բացահայտվել է, որ ներքին շփման կորերի գագաթների առավելագույն բարձրություններին համապատասխանում են երկմետաղական

համակարգերի առանձին բաղադրիչների դեֆորմացիայի օպտիմալ աստիճանները, որոնք երաշխավորում են արտամղման ժամանակ բարձր մեխանիկական հատկությունների և անհրաժեշտ խտության ստացում:

9,1,0%Cr+0,8,8%Zr+Cu_{տն} և 13%Ni+3%Al+1,0%Cr+0,8,8%Zr+Cu_{տն} բաղադրություններով փոշեկոմպոզիտային նյութերից ստացված երկմետաղական արտադրատեսակների անցումային գոտու միկրոկառուցվածքի և նիկելի դիֆուզիայի ուսումնասիրման արդյունքում բացահայտվել է միկրոկառուցվածքում անցումային շերտի գոյությունը, որն առաջանում է նիկելի ակտիվ դիֆուզիայի արդյունքում: Մխումից և հատկապես նրան հաջորդող սառը ճնշմամբ մշակումից հետո անցումային գոտում ճաքեր և շերտավորվածություններ չեն առաջանում, իսկ բաղադրիչ շերտերի բաժանման սահմաններն ուղղագծային են փորձանմուշի ամբողջ երկայնքով: Միկրոռենտգենասպեկտրային վերլուծության արդյունքում բացահայտվել է, որ ներքին շերտից արտաքին շերտ նիկելի դիֆուզման արդյունքում առաջանում է դիֆուզված շերտ, որի հաստությունն աճում է արտամղման գործակցի մեծացմամբ: Նիկելի դիֆուզիայի արդյունքում առաջանում է պղնձի հիմքով պինդ լուծույթ, որի խորությունն աճում է 6 մկմ-ից ($\lambda=1,58$) մինչև 17 մկմ ($\lambda=3,74$): Al-ի դիֆուզիայի դեպքում նույնպես առաջանում է պղնձի հիմքով պինդ լուծույթ: Cu և Ni լուծվելիությունները $\lambda=3,74$ -ի դեպքում հասնում է $\sim 3,0\%$ -ի: Համապատասխանաբար մեծանում է նաև լուծված շերտի խորությունը՝ $\lambda=1,58$ -ի դեպքում 17 մկմ-ից մինչև 22 մկմ $\lambda=3,74$ -ի դեպքում, հետևաբար աճում է նաև երկմետաղի շերտերի կցման ամրությունը կտրմամբ:

10. Համալիր գիտափորձնական հետազոտությունների արդյունքում որոշվել է ամրացնող ջերմային մշակման (մխում, ծերացում) լավարկված պարամետրերը՝ $T_{\text{մ}}=1000\pm 25^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{մ}}=1\dots 1,5$ ժ, $T_{\text{ծեր}}=450\pm 25^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{ծեր}}=6$ ժ, որի դեպքում ապահովվում է ոչ միայն բարձր մեխանիկական հատկություններ՝ α -պինդ լուծույթի հիմքով արտաքին շերտ- $\sigma_{\text{ս}}=550\dots 600$ ՄՊա, HB=1550...1850ՄՊա, $\delta=10\dots 20\%$, α -պինդ լուծույթի հիմքով ներքին շերտ- $\sigma_{\text{ս}}=900\dots 950$ ՄՊա, $\delta=10\dots 15\%$, HB=2500...2600ՄՊա, այլ նաև արտաքին շերտի բարձր ջերմահաղորդականություն ($\chi=70$ Վր/Կ.ս), էլեկտրահաղորդականություն՝ պղնձի էլեկտրահաղորդականության $\approx 80\%$ -ը և ներքին շերտի ջերմակայունություն մինչև 500°C :

11. Գիտափորձնական հետազոտությունների արդյունքում բացահայտվել է, որ մշակված շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութի ներքին շերտի (13%Ni+3%Al+1,0%Cr+0,8%Zr+Cu_{տն}) կառուցվածքը բազմաֆազային է և բաղկացած է պղնձի հիմքով α_1 պինդ լուծույթից (Ni-ի, Al-ի, Cr-ի և Zr-ի պինդ լուծույթը պղնձում), Cr-ի դիսպերս մասնիկներից, Cu₅Zr, Ni₃Al և NiAl ինտերմետաղական ֆազերից, մինչդեռ արտաքին շերտի (1,0%Cr+0,8%Zr+Cu_{տն}) կառուցվածքը եռաֆազ է և բաղկացած է պղնձի հիմքով α պինդ լուծույթից (Cr-ի

և Zr-ի պինդ լուծույթը պղնձում), Cr-ի դիսպերս մասնիկներից և Cu_5Zr ինտերմետաղական ֆազից:

12. Մշակվել է դիսպերս մասնիկներով կարծրացող (ինտերմետաղական ֆազերով) և դիսպերս հատիկներով ամրացվող պղնձի հիմքով բարձրամուր և բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ ու ջերմակայունությամբ օժտված շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի ստացման տեխնոլոգիա, որը ներառում է հետևյալ գործընթացները. արտաքին և ներքին շերտերի բովանդակությունների պատրաստում, արտաքին շերտի և միջուկի մամլում, մեկը մյուսի մեջ հավաքում, վերամամլում, տաքացում (ետակալում), տաք արտամղում և ջերմային մշակում: Ցույց է տրված, որ Cu-Cr-Zr փոշեկոմպոզիտային նյութի լավագույն ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների համար օպտիմալ բաղադրություն է հանդիսանում $Zr=0,8\%$, $Cr=1,0\%$, մնացածը՝ Cu, իսկ Cu-Cr-Zr-Ni-Al փոշեկոմպոզիտային նյութի համար՝ $Zr=0,8\%$, $Cr=1,0\%$, $Ni=13\%$, $Al=3\%$, մնացածը՝ Cu, համաձայն որի մշակված $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{տն}$ բաղադրությամբ փոշեկոմպոզիտային նյութի ջերմահաղորդականությունը 60...70 Վտ/Կ.մ է, իսկ $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{տն}$ բաղադրությամբ փոշեկոմպոզիտային նյութինը՝ 50...55 Վտ/Կ.մ:

13. Բացահայտվել է $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{տն}$ և $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{տն}$ բաղադրություններով տաք արտամղված և միված անձակոտկեն փոշեկոմպոզիտային նյութերի տեսակարար էլեկտրադիմադրության կախվածությունը ծերացման ջերմաստիճանից, համաձայն որի ծերացման ջերմաստիճանի մեծացմամբ ($200^{\circ}C$ -ում ծերացման դեպքում $\rho=0,075...0,09$ Օհմ.մմ²/մմ, իսկ $500^{\circ}C$ -ում ծերացման ժամանակ՝ $\rho=0,015...0,025$ Օհմ.մմ²/մմ) տեղի է ունենում տեսակարար էլեկտրադիմադրության փոքրացում և էլեկտրահաղորդականության մեծացում, ինչը պայմանավորված է հատիկների կոագուլյացիայով: Ցույց է տրված, որ դիսպերս մասնիկներով կարծրացված և դիսպերս հատիկներով ամրացված պղնձի հիմքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի էլեկտրադիմադրությունն իրենից ներկայացնում է ֆունկցիա կախված ֆազերի (մայրակ, դիսպերս մասնիկներ, դիսպերս հատիկներ) էլեկտրադիմադրություններից և ծավալային պարունակությունից:

14. Ընտրվել են հիմնական և օժանդակ սարքավորումներ: Կատարվել է արտադրատեսակների անվանացանկի ընտրություն և իրականացվել տեխնիկատնտեսականն հիմնավորում, համաձայն որի մեկ տոննա էլեկտրոդների ինքնարժեքը կազմել է 8372648.00 դր, իսկ մեծածախ գինը՝ 10024275.00 դր:

Ատենախոսության հիմնական դրույթները հրատարակված են հետևյալ գիտական աշխատանքներում.

1. Աղբալյան Ա.Գ., Վասիլյան Գ.Ա., Սարգսյան Ա.Ռ. Ամրանավորված կոմպոզիցիոն նյութերի ստացման տեսական և տեխնոլոգիական առանձնա-

հատկությունները // ՀՀ ԳԱԱ և ՀՊՃՀ տեղեկագիր.- ՏԳ սերիա.- Երևան, 2012.- Հատ. LXV.- №4.- էջ 335-345:

2. Աղբալյան Ս.Գ., Վասիլյան Գ.Ա., Սարգսյան Ա.Ռ. Պղնձի հիմքով բարձրամուր կոմպոզիցիոն նյութերի ստացման տեխնոլոգիայի մշակումը // ՀՀ ԳԱԱ և ՀՊՃՀ տեղեկագիր.- ՏԳ սերիա.- Երևան, 2013.- Հատ. LXVI.- №4.- էջ 295-303:

3. Агбальян С.Г., Василян Г.А., Бояджян С.Г., Саркисян А.Р. Сплавы для электродов контактной сварки // Вестник ГИУА: Metallurgy, материаловедения, недропользования.- Ереван, 2014.- Вып. 17.- № 2.- С.9-30.

4. Աղբալյան Ս.Գ., Վասիլյան Գ.Ա., Վարդանյան Վ.Գ., Սարգսյան Ա.Ռ., Բոյաջյան Ս.Գ. Դիսպերս մասնիկներով ամրացվող կոմպոզիցիոն նյութերը և դրանց ստացման տեխնոլոգիական առանձնահատկությունները // ՀՀ ԳԱԱ և ՀՊՃՀ տեղեկագիր.- ՏԳ սերիա.- Երևան, 2015.- Հատ. LXVIII.- №1.- էջ 3-10:

5. Աղբալյան Ս.Գ., Վասիլյան Գ.Ա., Վարդանյան Վ.Գ., Սարգսյան Ա.Ռ., Բոյաջյան Ս.Գ. Դիսպերս հատիկներով ամրացվող կոմպոզիցիոն նյութերը և դրանց ստացման տեխնոլոգիական առանձնահատկությունները // ՀԱՊՀ Լրաբեր.- Գիտական հոդվածների ժողովածու: Մաս 2.- Երևան, Ճարտարագետ, 2015.- էջ 541-547:

6. Агбальян С.Г., Василян Г.А., Саркисян А.Р., Бояджян С.Г. Разработка технологии получения высокопрочных композиционных материалов для электродов контактной сварки // Вестник ГИУА: Metallurgy, материаловедения, недропользования.- Ереван, 2015.- № 2.- С.20-32.

7. Աղբալյան Ս.Գ., Վասիլյան Գ.Ա., Սարգսյան Ա.Ռ. Պղնձի հիմքով դիսպերս կարծրացող և պղնձյա թելքերով ամրանավորված փոշեկոմպոզիտային նյութերի ջերմային մշակման գործընթացի հետազոտումը // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ տեղեկագիր.- ՏԳ սերիա.- Երևան, 2016.- Հատ. LXIX.- №4.- էջ 344-353:

8. Սարգսյան Ա.Ռ. Կոնտակտային եռակցման էլեկտրոդների աշխատանքի պայմանները, օգտագործվող համաձուլվածքները, կառուցվածքը և բնութագրերը // ՀԱՊՀ Լրաբեր.- Գիտական հոդվածների ժողովածու: Մաս 2.- Երևան, Ճարտարագետ, 2016.- էջ 652-661:

9. Աղբալյան Ս.Գ., Վասիլյան Գ.Ա., Սարգսյան Ա.Ռ. Cu+1,0%Cr+0,8% Zr+10%Cu₉₂ բաղադրությամբ փոշեկոմպոզիտային նյութի ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների ուսումնասիրումը // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ տեղեկագիր.- ՏԳ սերիա.- Երևան, 2017.- Հատ. LXX.- №2.- էջ 151-160:

10. Աղբալյան Ս.Գ., Սարգսյան Ա.Ռ. Պղնձի հիմքով դիսպերս կարծրացող և ամրացվող փոշեկոմպոզիտային նյութերի տաք արտամղման գործընթացի հետազոտումը // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ տեղեկագիր.- ՏԳ սերիա.- Երևան, 2017.- Հատ. LXX.- №3.- էջ 289-299:

11. Աղբալյան Ս.Գ., Սարգսյան Ա.Ռ. Բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ և ջերմակայունությամբ պղնձի հիմքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի ստացման տեխնոլոգիայի մշակումը // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ տեղեկագիր.- ՏԳ սերիա.- Երևան, 2017.- Հատ. LXX.- №4.- էջ 411-419:

12. Աղբալյան Ա.Գ., Սարգսյան Ա.Ռ. Պղնձի հիմքով շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերի տաք արտամղման գործընթացի հետազոտումը // Հայաստանի ճարտարագիտական ակադեմիայի լրաբեր.- Երևան, 2017.- Հատ. 14.- №4.- էջ 586-592:

13. Агбальян С.Г., Петросян А.А., Саркисян А.Р. Термическая обработка порошковых дисперсно-твердеющих и упрочняемых слоистых композиционных материалов на основе меди // Вестник ГИУА: Металлургия, материаловедения, недропользования.- Ереван, 2017.- № 2.- С. 19-29.

14. Սարգսյան Ա.Ռ. Պղնձի հիմքով դիսպերս կարծրացող և ամրացվող շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերի ֆիզիկա-մեխանիկական հատկությունները // ՀԱՊՀ Լրաբեր.- Գիտական հոդվածների ժողովածու: Մաս 2.- Երևան, Ճարտարագետ, 2018.- էջ 562-570:

15. Աղբալյան Ա.Գ., Սարգսյան Ա.Ռ., Վասիլյան Գ.Ա., Շուխյան Ն.Ս. Տաք արտամղմամբ ստացված շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերի հետազոտումը ներքին շփման մեթոդով // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ տեղեկագիր.- ՏԳ սերիա.- Երևան, 2018.- Հատ. LXXI.- №4.- էջ 408-419:

16. Աղբալյան Ա.Գ., Վասիլյան Գ.Ա., Սարգսյան Ա.Ռ. Պղնձի հիմքով բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ և ջերմակայունությամբ շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերի ջերմային մշակումը // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ տեղեկագիր.- ՏԳ սերիա.- Երևան, 2019.- Հատ. LXXII.- №4.- էջ 450-458:

17. Սարգսյան Ա.Ռ. Պղնձի հիմքով շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերի տաք արտամղման գործընթացի մետաղագիտական հիմնավորումը // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ տեղեկագիր.- ՏԳ սերիա.- Երևան, 2020.- Հատ. LXXIII.- №2.- էջ 134-143:

18. ՀՀ գյուտի արտոնագրի N 3395 A: Կոնտակտային եռակցման էլեկտրոդների պատրաստման եղանակ / Ա.Գ. Աղբալյան, Ա.Ռ. Սարգսյան, 2020, ՄԱԴ (2020.51), B22F 5/00, B23K 5/00:

19. Агбальян С.Г., Василян Г.А., Саркисян А.Р. Теоретическое и металлургическое обоснование процесса получения слоистых порошковых материалов на основе меди горячей экструзией // Вестник ГИУА: Металлургия, материаловедения, недропользования.- Ереван, 2020.- № 2.- С. 18-30.

РЕЗЮМЕ

Диссертационная работа посвящена разработке технологии получения порошковых композиционных материалов на основе меди, обладающих высокой электропроводимостью и теплоустойкостью, твердеющих дисперсными частицами (фазами) и упрочняемых дисперсными зернами, а также исследованию процессов формирования их структуры и свойств.

Обосновано получение контактных сварочных электродов на основе меди с использованием метода порошковой металлургии - горячего экструдирования, согласно которому упрочнение матрицы следует выполнять механизмами затвердевания дисперсными частицами и упрочнения дисперсными зернами термообработкой, а высокие электропроводность, теплопроводность и теплоустойкость - использованием порошковых слоистых композиционных материалов, где низколегированная беспористая матрица на основе меди обеспечит высокие электро- и теплопроводность поверхностного слоя, а высоколегированный беспористый порошковый композиционный материал - высокие механические свойства и теплоустойкость сердцевин.

Выявлены особенности горячей экструзии пористых прессовок, полученных из составов пихты $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{oc}$ и $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{oc}$, в зависимости от начальной пористости θ_0 , температуры экструзии $T_э$, продолжительности выдержки при температуре экструзии $\tau_э$ и коэффициента выдержки λ , согласно которым при экструзии с одинаковым коэффициентом выдержки повышение пористости неспеченной прессовки приводит к увеличению давления экструзии. Показано, что при всех значениях пористости ($\theta_0=25...30\%$) при экструзии пористых прессовок с коэффициентом вытяжки $\lambda=5...6$, по сравнению с литейным сплавом такого же состава, величина P_0 неспеченной прессовки непрерывно увеличивается, что является результатом уменьшения диффузионных металлических контактов и, как следствие, уменьшения вязкопластической текучести материала, т.е. уменьшения скорости ползучести.

При увеличении пористости спеченных прессовок до $\theta_0=20\%$ P_0 сначала увеличивается, а затем уменьшается. Показано, что это явления связаны с наличием закрытой пористости, которые образуются при начальной пористости $15...20\%$. Аналогичная закономерность наблюдается также при изменении коэффициента экструзии λ .

Теоретическим и экспериментальными методами выявлено, что при экструзии с коэффициентом вытяжки $\lambda \geq 4$ получается беспористый слоистый композиционный материал на основе меди, структура которого текстурирована.

При горячей экструзии слоистых порошковых композиционных материалов с конструкцией "наружный слой-сердцевина", с целью выбора диаметра сердцевин прессовки, рассчитана и практическим способом обоснована и предложена

формула, которая учитывает угол наклона матрицы и пластические свойства компонентов при температуре горячей экструзии, обеспечивая малые деформации скольжения в переходном слое материалов разной пластичности. Выявлено, что на кривых внутреннего трения максимальные высоты вершин соответствуют оптимальной степени деформации, что обеспечивает высокие механические свойства и требуемую плотность.

Установлено, что структура внутреннего слоя разработанного слоистого порошкового композиционного материала (13%Ni+3%Al+1,0%Cr+0,8%Zr+Cu_{oc}) многофазная и состоит из твердого раствора α_1 на основе меди (твердый раствор в меди Ni, Al, Cr и Zr), дисперсных частиц Cr и интерметаллических фаз Cu₃Zr, Ni₃Al и NiAl, а структура внешнего слоя (1,0%Cr+0,8%Zr+Cu_{oc}) - трехфазная и состоит из α твердого раствора (твердый раствор Cr и Zr в меди), дисперсных частиц Cr и интерметаллической фазы Cu₃Zr. При этом матрица на основе α твердого раствора меди обеспечивает высокую теплопроводность (~80% электропроводности меди) и механические свойства ($\sigma_b=550...600$ МПа, HB=1550...1850 МПа, $\delta=10...20\%$), а матрица на основе твердого раствора меди α_1 - высокие механические свойства ($\sigma_b=900...950$ МПа, HB=2500...2600 МПа, $\delta=10...15\%$) и теплостойкость до 500⁰C.

В результате проведенных комплексных исследований разработана технология получения слоистого порошкового композиционного материала на основе меди, обладающего высокой теплопроводностью и теплостойкостью, твердеющих дисперсными частицами и упрочняемых дисперсными зёрнами, которая включает: изготовление шихты внешних и внутренних слоёв, прессование наружного слоя и сердцевины, сборку одного в другом, допрессовку, нагрев (спекание), горячую экструзию и термообработку. Выполнено технико-экономическое обоснование.

По теме диссертации опубликовано 19 научных работ.

SUMMARY

The dissertation is devoted to the development of a technology for producing copper-based layered powder composite materials with high electrical conductivity and heat resistance hardened by disperse particles (phases) and strengthened by dispersed grains, as well as the study of the formation processes of their structure and properties.

The production of contact welding electrodes based on copper using the method of powder metallurgy - hot extrusion is substantiated, according to which the matrix should be hardened by the mechanisms of hardening with disperse particles and strengthening with dispersed grains by heat treatment, and high electrical conductivity, thermal conductivity and heat resistance - by using powder layered composite materials, where the low-alloyed non-porous copper matrix will ensure the high electrical and thermal conductivity of the surface layer, and a highly-alloyed non-porous powder composite material - the high mechanical properties and heat resistance of the core.

The features of hot extrusion of porous pressings obtained from the charge compositions $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{rem}$ and $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{rem}$ are revealed, depending on the initial porosity θ_0 , the extrusion temperature T_e , the holding time at the extrusion temperature T_e and the holding coefficient λ , according to which, during extrusion with the same holding coefficient, an increase in the porosity of the green compact leads to an increase in the extrusion pressure. It is shown that at all values of porosity ($\theta_0=25...30\%$) during the extrusion of porous compacts with an extrusion ratio $\lambda=5...6$, in comparison with a cast alloy of the same composition, the P_0 value increases continuously, which is the result of the small number of the metallic contacts created by diffusion in non-sintered porous materials, leading to the decrease in the viscous-plastic flow of the material, and consequently, the sliding speed.

It has been revealed that with an increase in the porosity of the sintered compacts P_0 first increases up $\theta_0=20\%$, and then decreases. It is shown that these phenomena are associated with the presence of closed porosity, which is formed at an initial porosity of $15...20\%$ by decreasing the sliding speed of the material. A similar pattern is also observed when the extrusion coefficient λ changes.

It was revealed by theoretical and experimental methods that extrusion with an extrusion factor $\lambda \geq 4$, the production of copper-based non-porous laminated composite materials is ensured whose structure is texturized.

At hot extrusion of layered powder composite materials with the "outer layer-core" structure, in order to select the diameter of the core of the compact, a formula has been calculated, substantiated and proposed by an experimental method, which takes into account the angle of inclination of the matrix and the plastic properties of the components at the temperature of hot extrusion, providing small sliding deformations in the transition layer of materials of different plasticity. It was found that on the curves of internal

friction, the maximum heights of the tops correspond to the optimal degree of deformation, which ensures high mechanical properties and the required density.

It was found that the structure of the inner layer of the developed layered powder composite material (13%Ni+3%Al+1,0%Cr+0,8%Zr+Cu_{rem}) is multiphase and consists of a solid solution α_1 based on copper (solid solution in copper Ni, Al, Cr, and Zr), disperse particles of Cr and intermetallic phases Cu₅Zr, Ni₃Al and NiAl, while the structure of the outer layer (1,0%Cr+0,8%Zr+Cu_{rem}) is three-phase and consists of an α solid solution (solid solution of Cr and Zr in copper), disperse particles of Cr and intermetallic phase Cu₅Zr. In this case, the copper- based matrix of the solid solution provides high electrical conductivity (~80% of the electrical conductivity of copper) and mechanical properties ($\sigma_{temp}=550...600$ MPa, HB=1550...1850 MPa, $\delta=10...20\%$), and the matrix based on solid solution of copper α_1 - high mechanical properties ($\sigma_{temp}=900...950$ MPa, HB=2500...2600 MPa, $\delta=10...15\%$) and heat resistance up to 500°C.

Based on the comprehensive studies carried out, a technology has been developed for obtaining a copper-based layered powder composite material, which has high electrical conductivity and heat resistance hardened by dispersed particles and strengthened by disperse grains, which includes: making a charge of external and internal layers, pressing the outer layer and the core, assembling one in the other, additional pressing, heating (sintering), hot extrusion and heat treatment. A feasibility study has been accomplished.

19 scientific papers have been published on the topic of the dissertation.

