

Ա.Ռ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

ՊՂՆՁԻ ՀԻՄՔՈՎ ՇԵՐՏԱՎՈՐ ՓՈՇԵԿՈՄՊՈԶԻՏԱՅԻՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ՏԱՔ ԱՐՏԱՄՈՒՄԱՆ ԳՈՐԾԵԼԹԱՅԻ ՄԵՏԱՂԱԳԻՏԱԿԱՆ ՀԻՄՆԱՎՈՐՈՒՄԸ

Կատարվել է պղնձի հիմքով դիսպերս մասնիկներով կարծրացող (ինտերմետաղական ֆազեր) և դիսպերս հատիկներով ամրացվող բարձրամուր ու բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ և ջերմակայունությամբ օժտված շերտավոր (արտաքին շերտ - $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{10}$, ներքին շերտ - $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{10}$) փոշեկոմպոզիտային նյութերի տաք արտամղման գործընթացի մետաղագիտական հիմնավորում: Ցույց է տրված, որ տաք արտամղման ժամանակ անցումային շերտում կոմպոնենտների դիֆուզիայի շնորհիվ, որը կախված է արտամղման գործակցից և ջերմաստիճանից, մեծանում է անցումային շերտի կցման ամրությունը: Հետագա թրծմամբ կառուցվածքը բերվում է հավասարակշռված վիճակի, իսկ միսմամբ, սառը ճնշմամբ մշակմամբ և ծերացմամբ ապահովվում են բարձր մեխանիկական հատկություններ՝ արտաքին շերտ - $\sigma_s=550\ldots 600$ ՄՊա, $HB=1550\ldots 1850$ ՄՊա, $\delta=10\ldots 20\%$, ներքին շերտ - $\sigma_s=900\ldots 950$ ՄՊա, $HB=2500\ldots 2600$ ՄՊա, $\delta=10\ldots 15\%$: Արդյունքում ապահովվում են արտաքին շերտի բարձր ջերմահաղորդականություն ($\chi=70$ Վտ/Գմ) և էլեկտրահաղորդականություն՝ պղնձի էլեկտրահաղորդականության $\sim 80\%$ -ը, իսկ ներքին շերտի ջերմակայունություն մինչև $500^\circ C$:

Առանցքային բառեր. բովախառնուրդ, մամլում, եռակալում, տաք արտամղում, փոշեկոմպոզիտային նյութ, դիֆուզիա, միում, ծերացում, դիսպերս կարծրացում և ամրացում, էլեկտրահաղորդականություն, ջերմակայունություն:

Ներածություն. Հայաստանի Հանրապետության տնտեսության զարգացման գերակա ուղղություններից են մետալուրգիան և մետաղական հիմքով նոր համաձուլվածքների ու կոմպոզիտային նյութերի ստեղծումը, այդ թվում՝ շերտավոր կառուցվածքով, առանց որոնց անհնար է պատկերացնել տեխնիկական առաջընթացը, հատկապես հատուկ տեխնիկայում: Այս ոլորտում ավելի մեծ տեղ է հատկացվում մետաղական հիմքով բարձրամուր և ֆունկցիոնալ նշանակությամբ կոմպոզիտային նյութերին (ԿՆ), ինչպիսիք են դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող պղնձյա փոշեկոմպոզիտային նյութերը, որոնց պահանջարկը շատ մեծ է հատկապես էլեկտրատեխնիկական արդյունաբերությունում, այդ թվում՝ կոնսակտային եռակցման էլեկտրոդների արտադրությունում, որոնց ներկայացվող պահանջներ են բարձր էլեկտրահաղորդականությունը և ջերմակայունությունը [1-4]: Նշված հատկությունների ապահովման համար օգտագործվող նախապատրաստվածքները պետք է ունենան անձակոտկեն և շերտավոր կառուցվածք, որում արտաքին շերտը կապահովի բարձր

Էլեկտրահաղորդականություն, իսկ ներքին շերտը՝ բարձր ջերմակայունություն: Այսպիսի կառուցվածք գործնականում հնարավոր է ապահովել միայն փոշեմետալուրգիական եղանակներով՝ օգտագործելով տաք արտամղման գործընթացը որպես կոմպակտավորման լավագույն մեթոդ [5]: Սակայն մինչև այժմ լիովին ուսումնասիրված չէ պղնձի հիմքով դիսպերս մասնիկներով (ֆազերով) կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերի տաք արտամղման ժամանակ կառուցվածքագոյացման գործընթացը, չկան մետաղագիտական խոր հետազոտություններ, որոնք կհիմնավորեն անցումային շերտում կառուցվածքի և հատկությունների ձևավորումը: Այս տեսակետից առաջարկվող աշխատանքն արդիական է և կարող է նոր հեռանկարներ բացել տաք արտամղման գործընթացի ներդրման, ինչպես նաև ֆունկցիոնալ հատկություններով նոր կոմպոզիտային նյութերի մշակման բնագավառում:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը. Հետազոտության նպատակն է ուսումնասիրել պղնձի հիմքով շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերի տաք արտամղման ժամանակ անցումային շերտի կառուցվածքագոյացման գործընթացը և կատարել մետաղագիտական հիմնավորում:

Հայրենական և արտասահմանյան գրականության վերլուծության արդյունքում [6-10] պարզվել է, որ բարձր կարծրությամբ, ամրությամբ, էլեկտրահաղորդականությամբ, ջերմահաղորդականությամբ և ջերմակայունությամբ օժտված փոշեկոմպոզիտային նյութերը, որոնք կարող են կիրառվել կոնտակտային եռակցման էլեկտրոդների համար, պետք է լինեն պղնձի հիմքով և բաղկացած մակերևութային շերտից ու միջուկից, որոնց մայրակի կարծրացումը և ամրացումը պետք է կատարվի ջերմամշակմամբ [11]՝ դիսպերս մասնիկներով (ինտերմետաղական ֆազերով) կարծրացման և դիսպերս հատիկներով ամրացման մեխանիզմներով: Մակերևութային շերտի բարձր էլեկտրահաղորդականությունը և ջերմահաղորդականությունը պետք է ապահովեն պղնձի հիմքով ցածր լեգիրված, իսկ միջուկի բարձր մեխանիկական հատկությունները և ջերմակայունությունը՝ պղնձի հիմքով բարձր լեգիրված անձակոտկեն կառուցվածքով կոմպոզիտային նյութերը: Բարձր արդյունավետության հասնելու համար անհրաժեշտ է ապահովել ամուր կապ «արտաքին շերտ-միջուկ» անցումային շերտում:

Նշված խնդիրները կարող են լավագույն լուծում գտնել միայն փոշեմետալուրգիական մեթոդներով, հատկապես ծակոտկեն շերտավոր մամլվածքների տաք արտամղմամբ, երբ եռակալումը և կառուցվածքի ձևավորումը համատեղվում են [10]:

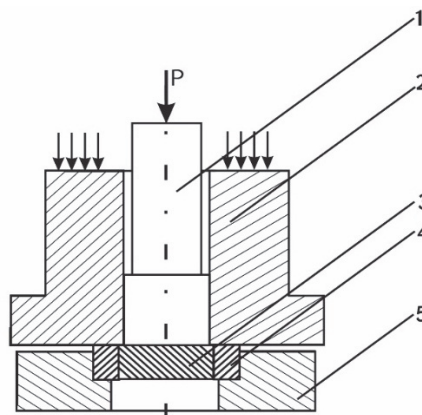
Հետազոտությունների ընթացքում կիրառվել են մետաղագրական, ռենտգենակառուցվածքային և համեմատական վերլուծությունների մեթոդները:

Կատարվել է ելանյութերի ընտրում և հիմնավորում: Արտաքին և ներքին շերտերի համար որպես մայրակի նյութ ընտրվել և հիմնավորվել է ПМС-1 մակ-

նիշի պղնձափոշին, իսկ որպես լեգիրող տարրեր՝ PX1C մակնիշի քրոմի և ПЦ1 մակնիշի ցիրկոնիումի փոշիները: Ներքին շերտի համար լրացուցիչ ընտրվել են նաև ПНЭ-1 մակնիշի նիկելի և АПС-1А մակնիշի ալյումինի փոշիները:

Հետազոտության արդյունքները. Տեսական և փորձարարական հետազոտությունների արդյունքում որոշվել և հիմնավորվել են շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութի՝ կոնտակտային եռակցման էլեկտրոդի, արտաքին և ներքին շերտերի բաղադրությունները՝ արտաքին շերտ - $1,0\%\text{Cr}+0,8\%\text{Zr}+\text{Cu}_{\text{սն}}$, ներքին շերտ - $13\%\text{Ni}+3\%\text{Al}+1,0\%\text{Cr}+0,8\%\text{Zr}+\text{Cu}_{\text{սն}}$ [12]: Այնուհետև արտաքին շերտի բովախառնուրդից երկկողմանի մամլմամբ՝ $P_{\text{տ}}=300 \text{ ՄՊա}$ ճնշմամբ, պատրաստվել են սնամեջ գլանական ($D_{\text{ա}}=29,5 \text{ մմ}$, $D_{\text{ն}}=21,5 \text{ մմ}$, $H=50 \text{ մմ}$, $\theta=20\%$), իսկ միջուկի բովախառնուրդից՝ գլանական փորձանմուշներ ($D_{\text{ա}}=21 \text{ մմ}$, $H=50 \text{ մմ}$, $\theta=20\%$), որից հետո մամլվածքներն իրար մեջ հավաքելուց, $P_{\text{տ}}=320 \text{ ՄՊա}$ ճնշմամբ վերամամլումից և ջրածնի միջավայրում $900\ldots 950^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանում $1\ldots 1,5$ ժ եռակալելուց հետո ենթարկվել են տաք արտամղման մայրակի $2\alpha_{\text{ս}}=110^\circ$ և $\lambda=2\ldots 6$ արտամղման գործակցով:

Ուսումնասիրվել է տաք արտամղումից հետո թրծված ($T_{\text{թ}}=675 \pm 25^\circ\text{C}$, $\tau_{\text{թ}}=1 \text{ ժ}$) և ջերմամշակված (մխում՝ $T_{\text{մ}}=1000 \pm 25^\circ\text{C}$, $\tau_{\text{մ}}=2 \text{ ժ}$, ծերացում՝ $T_{\text{ծեր}}=425 \pm 25^\circ\text{C}$, $\tau_{\text{ծ}}=6 \text{ ժ}$) փորձանմուշների անցումային շերտի կցման ամրությունը, որի որոշման համար փորձանմուշները ենթարկվել են կտրմամբ փորձարկման: Այդ նպատակով նախագծվել և պատրաստվել է հատուկ հարմարանք (նկ. 1): Փորձարկումների համար օգտագործվել են $h=5 \text{ մմ}$ բարձրությամբ փորձանմուշներ, իսկ փորձարկումը կատարվել է «TIRATEST- 2300» մակնիշի մեխանիկական փորձարկման մեքենայի վրա:



Նկ. 1. Շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութի շերտերի կցման ամրության փորձարկման հարմարանք.

1- մամլամատ, 2- ուղղորդ մայրակ, 3- ներքին շերտ, 4- արտաքին շերտ, 5- մայրակ

Կցման ամրությունը որոշվել է հետևյալ բանաձևով.

$$\tau_{կտ} = P/\pi dh,$$

որտեղ P-ն ուժն է, d-ն՝ միջուկի տրամագիծը, h-ը՝ փորձանմուշի բարձրությունը:

Փորձերի արդյունքները բերված են աղ. 1-ում և 2-ում: Համաձայն բերված տվյալների, $\lambda=3$ և ավելի արտամղման գործակիցների դեպքում անցումային շերտի կցման ամրությունը պրակտիկորեն չի փոխվում: Շերտերի կցման ամրությունը ($\tau_{կց}$) ջերմամշակված փորձանմուշի դեպքում միջինը 40-ից 45 ՄՊա բարձր է, քան թրծվածի դեպքում, ինչը բացատրվում է թրծումից հետո ներքին լարումների ռե-լաքսացիայով և τ հավասարակշռված կառուցվածքի ստացմամբ:

Աղյուսակ 1

Տաք արտամղմամբ ստացված ($T_w=900^\circ\text{C}$, $\tau_w=1,5\text{ժ}$) 1,0%Cr+0,8%Zr+Cu_{մն} (արտաքին շերտ) և 13%Ni+3%Al+1,0%Cr+0,8%Zr+Cu_{մն} (ներքին շերտ) բաղադրությամբ շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերի անցումային շերտի կցման ամրությունը թրծումից հետո ($T_p=675\pm 25^\circ\text{C}$, $\tau_p=1\text{ժ}$)

Արտամղման գործակիցը՝ λ	2	3	4	5	6
Կցման ամրությունը՝ $\tau_{կց}$, ՄՊա	480 475 487	485 492 497	489 491 500	496 493 498	485 487 490

Աղյուսակ 2

Տաք արտամղմամբ ստացված ($T_w=900^\circ\text{C}$, $\tau_w=1,5\text{ժ}$) 1,0%Cr+0,8%Zr+Cu_{մն} (արտաքին շերտ) և 13%Ni+3%Al+1,0%Cr+0,8%Zr+Cu_{մն} (ներքին շերտ) բաղադրությամբ շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերի անցումային շերտի կցման ամրությունը ջերմամշակումից հետո (մխում - $T_d=1000\pm 25^\circ\text{C}$, $\tau_d=2\text{ժ}$, ծերացում - $T_{ծեր}=425\pm 25^\circ\text{C}$, $\tau_{ծ}=6\text{ժ}$)

Արտամղման գործակիցը՝ λ	4	6
Կցման ամրությունը՝ $\tau_{կց}$, ՄՊա	544 542 534	534 520 515

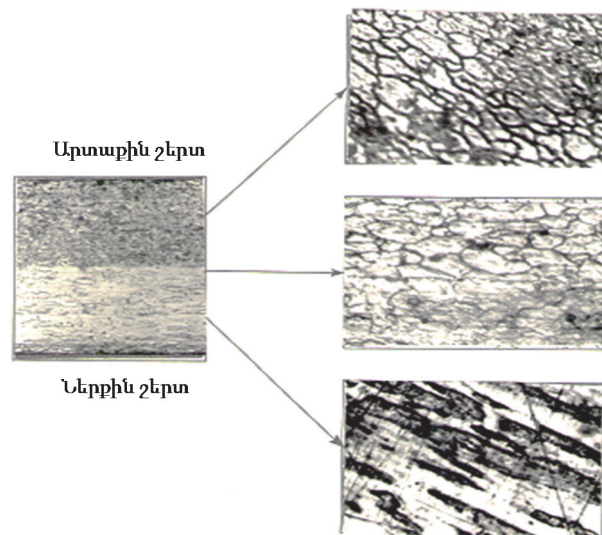
Փորձերը ցույց են տալիս, որ կտրուրը կատարվում է բաժանման հարթությամբ, և հատված շերտը շատ քիչ է տարբերվում արտաքին շերտի ամրությունից, որը կազմում է $\sigma_{\delta}=550\dots 600$ ՄՊա:

Միկրոռենտգենասպեկտրային վերլուծության արդյունքում բացահայտվել է, որ ներքին շերտից արտաքին շերտ նիկելի դիֆուզման արդյունքում առաջա-

նում 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:

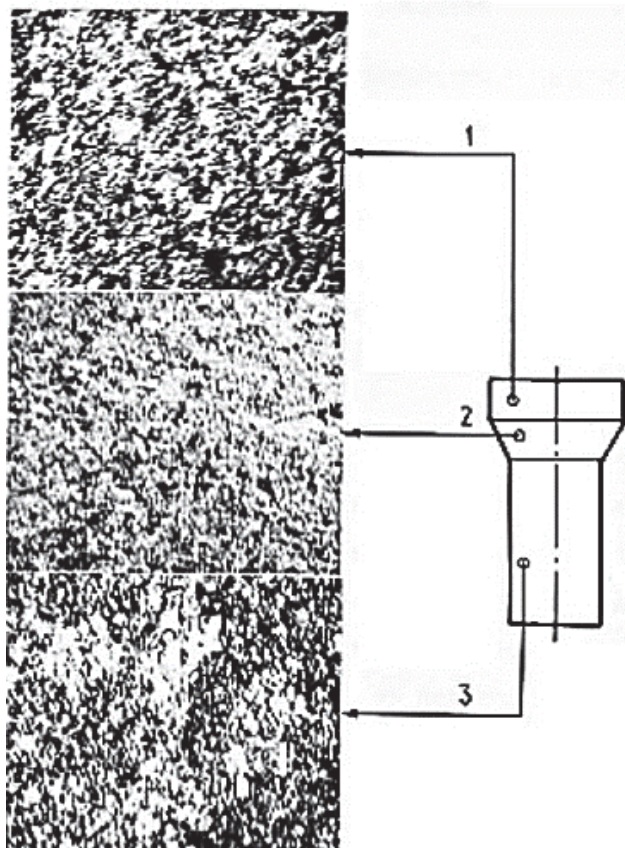
Մետաղագիտական հետազոտությունների համար ընտրված ռեժիմներով տաք արտամղված ($T_w=900\dots 950^\circ\text{C}$, $\tau_w=1\dots 1,5$ ժ, $\lambda=4$), չթրծված և թրծված ($T_p=675 \pm 25^\circ\text{C}$, $\tau_p=1$ ժ) նախապատրաստվածքից պատրաստվել են հղկուկներ, որոնք խաճատվել են 10%-անոց HNO_3 սպիրտային լուծույթով: Հղկանմուշների մետաղագիտական հետազոտությունները կատարվել են NEOPHOT-21 մակնիշի գերմանական արտադրության օպտիկական մանրադիտակով:

Նկ. 2-ում ցույց է տրված անցումային շերտի միկրոկառուցվածքը, համաձայն որի անցումային շերտում չկա ընդհանուր հատիկ, միաժամանակ ներքին շերտի կառուցվածքն ավելի մանրահատ է, քան արտաքին շերտինը: Խիստ կարևոր բնութագիր է շերտերի բաժանման սահմանի ուղղագծայնությունը, որը պահպանվում է փորձանմուշի ամբողջ երկայնքով:



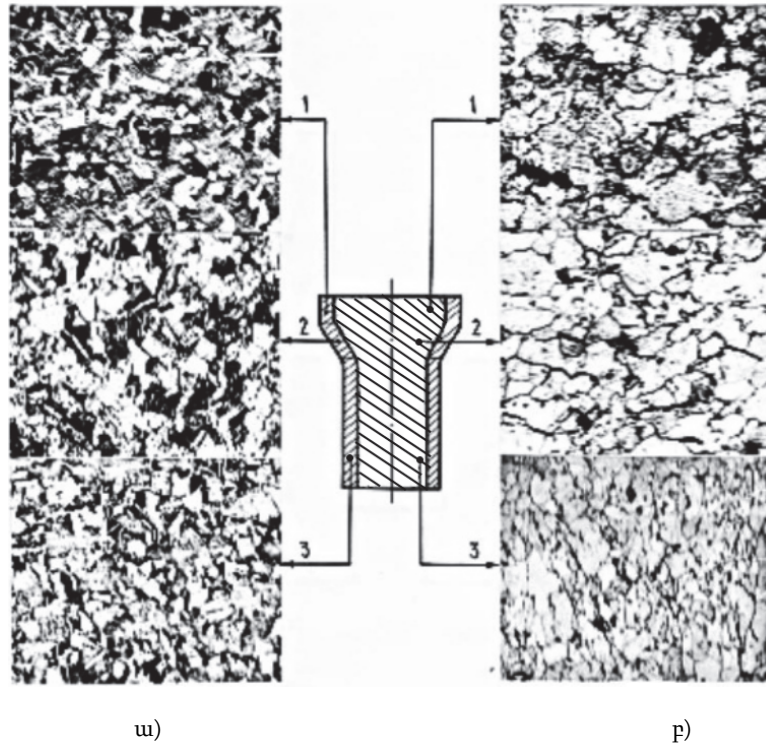
Նկ. 2. $1,0\%\text{Cr}+0,8\%\text{Zr}+\text{Cu}_{\text{մն}}$ (արտաքին շերտ) և $13\%\text{Ni}+3\%\text{Al}+1,0\%\text{Cr}+0,8\%\text{Zr}+\text{Cu}_{\text{մն}}$ (ներքին շերտ) կառուցվածքով շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութի անցումային շերտերի միկրոկառուցվածքները տաք արտամղումից հետո ($\lambda=4$, $T_w=900\dots 950^\circ\text{C}$, $\tau_w=1\dots 1,5$ ժ)՝ չթրծված վիճակում ($\times 250$)

Տաք արտամղման ժամանակ, կառուցվածքագոյացման գործընթացի մետաղագիտական հիմնավորման նպատակով, հետազոտությունները կատարվել են արտամղված փորձանմուշի տարբեր տեղերում, որոնք դեֆորմացվել են տարբեր աստիճաններով: Նկ. 3-ում ցույց է տրված արտաքին շերտի ($1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{\text{մ}}$) միկրոկառուցվածքը տաք արտամղումից հետո: Այն ունի մանրահատիկ տեքստուրացված կառուցվածք: Ինչպես երևում է նկարից, դեֆորմացման տեղամասում հատիկներն ավելի մանրահատ են, քան մամլամնացորդի տեղամասում, ինչը պայմանավորված է առաջին տեղամասի ավելի մեծ ջերմատվությամբ՝ համեմատած երկրորդ տեղամասի հետ: Տեքստուրայի ուղղությունը համընկնում է տաք արտամղման ուղղությանը: Մամլամնացորդի տեղամասում հատիկներն ավելի խոշորահատիկ են:



Նկ. 3. Տաք արտամղմամբ ($T_{\text{մ}}=900...950^{\circ}C$, $\tau_{\text{մ}}=1...1,5\text{ժ}$, $\lambda=4$) ստացված շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութի արտաքին շերտի ($1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{\text{մ}}$) միկրոկառուցվածքը դեֆորմացման տարբեր տեղամասերում չթրծված վիճակում. 1- մամլամնացորդի տեղամաս, 2- դեֆորմացման տեղամաս, 3- մամլված նախապատրաստվածքի տեղամաս ($\times 200$)

Նկ. 4-ում ցույց է տրված շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութի (արտաքին շերտ - $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{\text{տն}}$, ներքին շերտ - $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{\text{տն}}$) միկրոկառուցվածքը դեֆորմացման տարբեր տեղամասերում տաք արտամղումից ($T_w=900\dots950^\circ C$, $\tau_w=1\dots1,5$ ժ, $\lambda=4$) և թրծումից հետո ($T_p=675\pm25^\circ C$, $\tau_p=1$ ժ):



Նկ. 4. Տաք արտամղմամբ ($T_w=900\dots950^\circ C$, $\tau_w=1\dots1,5$ ժ, $\lambda=4$) ստացված շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութի (արտաքին շերտ - $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{\text{տն}}$, ներքին շերտ - $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{\text{տն}}$) միկրոկառուցվածքը թրծումից հետո ($T_p=675\pm25^\circ C$, $\tau_p=1$ ժ) դեֆորմացման տարբեր տեղամասերում. 1- մամլամնացորդի տեղամաս, 2- դեֆորմացման տեղամաս, 3- մամլված նախապատրաստվածքի տեղամաս, ա) արտաքին շերտ, բ) ներքին շերտ($\times 200$)

Ինչպես երևում է նկ. 4-ից, թրծման արդյունքում փորձանմուշի բոլոր տեղամասերում տեղի է ունեցել վերաբյուրեղացում: Մամլամնացորդի տեղամասում առկա է որոշակի ծակոտկենություն, որի առկայությունը մամլված նախապատրաստվածքում իսպառ վերանում է, ընդ որում, որքան մեծ է արտամղման գործակիցը, անքան փոքր է ծակոտկենությունը: Արտամղման ջերմաստիճանում արտաքին և ներքին շերտերի հոսունության սահմանների տարբերության պատճառով մամլամնացորդի ներքին շերտում մնացորդային ծակոտկենությունն ավելի մեծ է, քան արտաքին շերտում:

Մետաղագիտական հետազոտությունների արդյունքում բացահայտվել է, որ մշակված շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութի արտաքին շերտի ($1,0\%Cr + 0,8\%Zr + Cu_{\text{մ}}$ բաղադրությամբ) կառուցվածքը թրծումից ($T_p = 675 \pm 25^\circ C$, $\tau_p = 1\text{ժ}$), մխումից ($T_{\text{մ}} = 1000 \pm 25^\circ C$, $\tau_{\text{մ}} = 2\text{ժ}$) և ծերացումից ($T_{\text{ծ}} = 425 \pm 25^\circ C$, $\tau_{\text{ծ}} = 6\text{ժ}$) հետո եռաֆազ է և բաղկացած է պղնձի հիմքով պինդ լուծույթից (Cr-ի և Zr-ի պինդ լուծույթը պղնձում), Cr-ի դիսպերս մասնիկներից և Cu_5Zr ինտերմետաղական ֆազից, իսկ ներքին շերտի ($13\%Ni + 3\%Al + 1,0\%Cr + 0,8\%Zr + Cu_{\text{մ}}$ բաղադրությամբ) կառուցվածքը բազմաֆազային է՝ բաղկացած պղնձի հիմքով α 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, ընդ որում, պղնձի հիմքով α պինդ լուծույթի մայրակն (արտաքին շերտ) ապահովում է բարձր էլեկտրահաղորդականություն (պղնձի էլեկտրահաղորդականության $\sim 80\%$) և մեխանիկական հատկություններ ($\sigma_{\text{ծ}} = 550 \dots 600 \text{ ՄՊա}$, $HB = 1550 \dots 1850 \text{ ՄՊա}$, $\delta = 10 \dots 20\%$), իսկ պղնձի հիմքով α պինդ լուծույթի մայրակը (ներքին շերտ)՝ բարձր մեխանիկական հատկություններ ($\sigma_{\text{ծ}} = 900 \dots 950 \text{ ՄՊա}$, $\delta = 10 \dots 15\%$, $HB = 2500 \dots 2600 \text{ ՄՊա}$) և ջերմակայունություն մինչև $500^\circ C$: Ստացված փոշեկոմպոզիտային նյութի ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների ուսումնասիրումը ցույց է տալիս, որ ծալոտկեն շերտավոր մամլվածքի տաք արտամղումն ապահովում է գործնականում անծալոտկեն կառուցվածք, իսկ հետագա ջերմային մշակումը՝ պահանջվող ֆիզիկամեխանիկական հատկություններ:

Եզրակացություն. Մետաղագիտական հետազոտությունների արդյունքում հիմնավորվել է պղնձի հիմքով շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութի ստացման տաք արտամղման մեթոդը: Տաք արտամղված ($T_{\text{ա}} = 900 \dots 950^\circ C$, $\tau_{\text{ա}} = 1 \dots 1,5\text{ժ}$, $\lambda = 4$), թրծված ($T_p = 675 \pm 25^\circ C$, $\tau_p = 1\text{ժ}$) և ամրացնող ջերմային մշակման ենթարկված ($T_{\text{մ}} = 1000 \pm 25^\circ C$, $\tau_{\text{մ}} = 2\text{ժ}$, $T_{\text{ծ}} = 425 \pm 25^\circ C$, $\tau_{\text{ծ}} = 6\text{ժ}$) պղնձի հիմքով շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերն ապահովում են ինչպես անցումային շերտի բարձր կցման ամրություն $\tau_{\text{կց}} = 534 \dots 544 \text{ ՄՊա}$, այնպես էլ շերտերի բարձր մեխանիկական հատկություններ՝ արտաքին շերտ - $\sigma_{\text{ծ}} = 550 \dots 600 \text{ ՄՊա}$, $HB = 1550 \dots 1850 \text{ ՄՊա}$, $\delta = 10 \dots 20\%$, ներքին շերտ - $\sigma_{\text{ծ}} = 900 \dots 950 \text{ ՄՊա}$, $\delta = 10 \dots 15\%$, $HB = 2500 \dots 2600 \text{ ՄՊա}$: Մշակված շերտավոր կոմպոզիտային նյութն ունի արտաքին շերտի բարձր ջերմահաղորդականություն ($\chi = 70 \text{ Վտ/Գ.մ}$), էլեկտրահաղորդականություն՝ պղնձի էլեկտրահաղորդականության $\sim 80\%$ -ը և ներքին շերտի ջերմակայունություն մինչև $500^\circ C$:

Հետազոտությունը կատարվել է Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի «Նյութագիտություն և մետալուրգիա» բազային գիտահետազոտական լաբորատորիայում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Николаев А.К., Розенберг В.М.** Сплавы для электродов контактной сварки.- М.: Металлургия, 1978.- 96 с.
2. **Агбальян С.Г., Василян Г.А., Бояджян С.Г., Саркисян А.Р.** Сплавы для электродов контактной сварки // Вестник ГИУА. Серия “Металлургия, материаловедение, недропользование”.- Ереван, 2014.- Вып. 17, № 2.- С.9-30.
3. Դիսպերս մասնիկներով ամրացվող կոմպոզիցիոն նյութերը և դրանց ստացման տեխնոլոգիական առանձնահատկությունները / **Ս.Գ. Աղբալյան, Գ.Ա. Վասիլյան, Վ.Գ. Վարդանյան, Ա.Ռ. Սարգսյան, Ս.Գ. Բոյաջյան** // ՀՀ ԳԱԱ և ՀՊՃՀ Տեղեկագիր. ՏԳ սերիա.- Երևան, 2015.- Հատ. LXVIII, №1.- էջ 3-10:
4. Դիսպերս հատիկներով ամրացվող կոմպոզիցիոն նյութերը և դրանց ստացման տեխնոլոգիական առանձնահատկությունները / **Ս.Գ. Աղբալյան, Գ.Ա. Վասիլյան, Վ.Գ. Վարդանյան, Ա.Ռ. Սարգսյան, Ս.Գ. Բոյաջյան** // ՀԱՊՀ Լրաբեր. Գիտական հոդվածների ժողովածու: Մաս 2.- Երևան, 2015.- էջ 541-547:
5. **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:
6. Современные композиционные материалы / Под ред. **И.Л. Светлова**.- М.: Мир, 1970.- 672 с.
7. **Карпинос Д.М., Тучинский Л.И., Вишняков Л.Р.** Новые композиционные материалы.- Киев: Вища школа, 1977.- 312 с.
8. **Ковальченко М.С.** Теоретические основы горячей обработки пористых материалов давлением.- Киев: Наукова думка, 1980.- 240 с.
9. **Манукян Н.В.** Технология порошковой металлургии.- Ереван: Айастан, 1986.- 230 с.
10. **Агбальян С.Г.** Теоретические и технологические основы формирования структуры и свойств порошковых материалов при экструзии: Автореф. дис. ... докт. техн. наук.- Ереван, 1992.- 33 с.
11. **Աղբալյան Ս.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:
12. **Աղբալյան Ս.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:

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 01.02.2020:

А.Р. САРКИСЯН

**МЕТАЛЛОВЕДЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ
ЭКСТРУЗИИ СЛОИСТЫХ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ**

Осуществлено металлургическое обоснование процесса горячей экструзии слоистых порошковых композиционных материалов (внешний слой - $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{ост}$, внутренний слой - $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{ост}$) на основе меди, обладающих высокой электропроводимостью и теплостойкостью, твердеющих дисперсными частицами (интерметаллическая фаза) и упрочненными дисперсными зёрнами. Показано, что при горячей экструзии в переходном слое в результате диффузии компонентов, в зависимости от коэффициента вытяжки и температуры экструзии, повышается прочность сцепления слоя. При последующем отжиге структура приводится в равновесное состояние, а после закалки, холодной обработки давлением и последующего старения обеспечиваются высокие механические свойства: внешний слой - $\sigma_B=550...600 \text{ МПа}$, $HB=1550...1850 \text{ МПа}$, $\delta=10...20\%$; внутренний слой - $\sigma_B=900...950 \text{ МПа}$, $HB=2500...2600 \text{ МПа}$, $\delta=10...15\%$. В итоге во внешнем слое обеспечиваются высокие теплопроводность ($\chi=70 \text{ Вт/К.м}$) и электропроводность: электропроводность меди составляет $\sim 80\%$, а теплостойкость внутреннего слоя - до $500^\circ C$.

Ключевые слова: шихта, прессование, спекание, горячая экструзия, порошковый композиционный материал, диффузия, закалка, старение, дисперсионное твердение и упрочнение, электропроводность, теплостойкость.

A.R. SARGSYAN

**METALLOGRAPHIC SUBSTANTIATION OF THE PROCESS OF HOT
EXTRUSION OF LAYERED POWDER COMPOSITE MATERIALS BASED ON
COPPER**

The metallographic substantiation of the process of hot extrusion of layered powder composite materials (outer layer - $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{rem}$, inner layer - $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{rem}$) is carried out based on copper, having high electrical conductivity and heat resistance, hardened with dispersed particles (intermetallic phase) and strengthened with dispersed grains. It is shown that during hot extrusion in the transition layer, due to the diffusion of components, depending on the extrusion coefficient and temperature, the adhesion strength of the layer increases. At the subsequent firing, the structure is brought into equilibrium, and after processing with cold pressure, hardening and aging, high mechanical properties are provided: the outer layer - $\sigma_{temp}=550...600 \text{ MPa}$, $HB=1550...1850 \text{ MPa}$, $\delta=10...20\%$, the inner layer - $\sigma_{temp}=900...950 \text{ MPa}$, $HB=2500...2600 \text{ MPa}$, $\delta=10...15\%$. As a result, high thermal ($\chi=70 \text{ Wt/K.m}$) conductivity and electrical conductivity are provided amounting to $\sim 80\%$ of the electrical conductivity of the copper of the outer layer and heat resistance up to $500^\circ C$ of the inner layer.

Keywords: charge, pressing, sintering, hot extrusion, powder composite material, diffusion, quenching, aging, dispersion hardening and strengthening, electrical conductivity, heat resistance.