

Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Գ.Ա. ՎԱՍԻԼՅԱՆ, Ա.Ռ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

**ՊՂՆՁԻ ՀԻՄՔՈՎ ԲԱՐՁՐ ԷԼԵԿՏՐՈՆԱՂՈՐԴԱԿԱՆՈՒԹՅԱՄԲ ԵՎ
ՋԵՐՄԱԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՄԲ ՇԵՐՏԱՎՈՐ ՓՈՇԵԿՈՍՊՈՋԻՏԱՑԻՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ
ՋԵՐՄԱՑԻՆ ՄՇԱԿՈՒՄԸ**

Փորձագիտական հետազոտությունների արդյունքում մշակվել է դիսպերս մասնիկներով կարծրացող (ինտերմետաղական ֆազեր) և դիսպերս հատիկներով ամրացվող պղնձի հիմքով բարձրամուր և բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ ու ջերմակայունությամբ օժտված շերտավոր (արտաքին շերտ - $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{\text{մո}}$, ներքին շերտ - $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{\text{մո}}$) 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: Որոշվել և հիմնավորվել են ամրացնող ջերմային մշակման լավարկված պարամետրերը՝ $T_{\text{մ}}=1000\pm 25^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{մ}}=1\ldots 1,5$ ժ, $T_{\text{ծեր}}=450\pm 25^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{ծեր}}=6$ ժ, ինչն ապահովում է ոչ միայն բարձր մեխանիկական հատկություններ՝ արտաքին շերտ - $\sigma_{\text{ծ}}=550\ldots 600$ ՄՊա, HB=1550...1850 ՄՊա, $\delta=10\ldots 20\%$, ներքին շերտ - $\sigma_{\text{ծ}}=900\ldots 950$ ՄՊա, $\delta=10\ldots 15\%$, HB=2500...2600 ՄՊա, այլ նաև արտաքին շերտի բարձր ջերմահաղորդականություն ($\chi=70$ Վտ/Գ.ս), էլեկտրահաղորդականություն՝ պղնձի էլեկտրահաղորդականության -80% -ը և ներքին շերտի ջերմակայունություն մինչև 500°C :

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

Ներածություն. Ժամանակակից տեխնիկական առաջընթացն անհնար է պատկերացնել առանց նոր համաձուլվածքների ու կոմպոզիտային նյութերի (ԿՆ) ստեղծման, հատկապես մետաղական հիմքով բարձրամուր և ֆունկցիոնալ նշանակության, ինչպիսիք են դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող պղնձյա փոշեհամաձուլվածքները, որոնց պահանջարկը շատ մեծ է՝ հատկապես կոնստրուկտային եռակցման էլեկտրոդների արտադրություն [1-4]: Նշված արտադրատեսակների ներկայացվող պահանջներն են բարձր էլեկտրահաղորդականություն և ջերմակայունություն, որոնց ապահովման համար օգտագործվող նախապատրաստվածքները, ցանկալի է, որ ունենան անձակոտկեն և շերտավոր կառուցվածք, որի արտաքին շերտը կապահովի բարձր էլեկտրահաղորդականություն, իսկ ներքին շերտը՝ բարձր ջերմակայունություն: Այսպիսի կառուցվածք գործնականում հնարավոր է ապահովել միայն փոշեմետալուրդիական եղանակ-

ներով, հատկապես շերտավոր մամլվածքների տաք արտամղման և հետագա ջերմային մշակման միջոցով: Մակայն մինչև այժմ լիովին ուսումնասիրված չեն դիսպերս մասնիկներով (ֆազերով) կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերի ջերմային մշակման՝ միսման և ծերացման, գործընթացների տեսական և տեխնոլոգիական առանձնահատկությունները: Այդ իսկ պատճառով առաջադրված խնդրի լուծումը տարբերվում է ավանդական եղանակներից և խիստ արդիական է:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը. Հետազոտության նպատակն է մշակել դիսպերս մասնիկներով (ֆազերով) կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ ու ջերմակայունությամբ օժտված պղնձի հիմքով շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերի ջերմային մշակման տեխնոլոգիա և հետազոտել կառուցվածքի ու հատկությունների ձևավորման գործընթացները:

Կատարվել է կոմպոզիտային նյութերի ստացմանը և կառուցվածքի ու հատկությունների ձևավորմանը նվիրված հայրենական և արտասահմանյան գրականության վերլուծություն [5-9], այդ թվում՝ դիսպերս մասնիկներով (ինտերմետաղական ֆազերով) կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող շերտավոր նյութերի համար [10, 11]: Արդյունքում պարզվել է, որ բարձր կարծրությամբ, ամրությամբ, էլեկտրահաղորդականությամբ, ջերմահաղորդականությամբ 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 պետք է կատարվի ջերմամշակմամբ՝ 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: Յույց է տրված, որ բարձր արդյունավետության հասնելու համար անհրաժեշտ է ապահովել ամուր կապ «արտաքին շերտ-միջուկ» անցումային շերտում: Հիմնավորվել է, որ նշված խնդիրները կարող են լուծում գտնել միայն փոշեմետալուրգիական մեթոդներով, հատկապես ծակոտկեն շերտավոր մամլվածքների տաք արտամղմամբ, երբ եռակալումը և կառուցվածքի ձևավորումը համատեղվում են:

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

Կատարվել է ելանյութերի ընտրում և հիմնավորում: Ուսումնասիրվել են դրանց բնութագրերը, այդ թվում՝ մետաղափոշիների ազատ լցման խտությունը, հատիկաչափական կազմը և քիմիական բաղադրությունը: Արտաքին և ներքին շերտերի համար որպես մայրակի նյութ ընտրվել է հիմնավորվել է PIMC-1 մակնիշի պղնձափոշին, իսկ որպես լեգիրող տարրեր՝ $PX1C$ մակնիշի քրոմի և $PII1$ մակնիշի ցիրկոնիումի փոշիները: Ներքին շերտի համար լրացուցիչ ընտրվել են նաև $PIH3-1$ մակնիշի նիկելի և $APIC-1A$ մակնիշի ալյումինի փոշիները:

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

Ուսումնասիրվել են արտաքին և ներքին շերտերով ծակոտկեն մամլվածքների տաք արտամղման օրինաչափությունները {12}: 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 ($1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{\text{մ}}$) երկկողմանի մամլմամբ՝ $P_{\text{տ}}=300 \text{ ՄՊա}$ ճնշմամբ, պատրաստվել են սնամեջ գլանական ($D_{\text{ա}}=29,5 \text{ մմ}$, $D_{\text{ն}}=21,5 \text{ մմ}$, $H=50 \text{ մմ}$, $\theta=10, 15, 20, 25, 30\%$), իսկ միջուկի բովախառնուրդից ($13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{\text{մ}}$)՝ գլանական նմուշներ ($D_{\text{ա}}=21 \text{ մմ}$, $H=50 \text{ մմ}$, $\theta=10, 15, 20, 25, 30\%$), այնուհետև հավասար ծակոտկենությամբ մամլվածքներն իրար մեջ հավաքելուց, $P_{\text{տ}}=320 \text{ ՄՊա}$ ճնշմամբ վերամամլումից և ջրածնի միջավայրում $900...950^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանում $1...1,5 \text{ ժ}$ եռակալելուց հետո դրանք ենթարկվել են տաք արտամղման մայրակի $2\alpha_{\text{մ}}=110^{\circ}$ և $\lambda=3...6$ արտամղման գործակցով:

Արտամղման գործընթացում շերտավոր կառուցվածքով համակարգի դեֆորմացումը հետազոտվել է կոորդինատային ցանցի ուսումնասիրման եղանակով: Տարատեսակ բովախառնուրդներից մամլված շերտավոր կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի համատեղ տաք արտամղման օպտիմալ պարամետրերը որոշելու համար ուսումնասիրվել է համակարգում առաջացած լարվածադեֆորմացված վիճակը, և արդյունքում՝ մշակվել հաշվարկային եղանակ: Տաք արտամղման ժամանակ ծակոտկեն մամլվածքների դեֆորմացման գործընթացը դիտարկվել է որպես նրա խտացում կոնտեյնիերում և ստացված հոծ նյութի

արտահոսք: Արտահոսքի փուլում մետաղափոշիներից պատրաստված մամլվածքների վարքագիծը նմանվում է ձուլածո զանգվածի վարքագծին: Երկու դեպքում էլ արտահոսքը բացատրվում է միևնույն օրինաչափություններով:

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

$$R_{\delta} = \left(\frac{R_u}{R_d} \right) \cdot \left[R_d - R_u \left(\frac{R}{R_u} \right) \frac{\sigma_{hnu.2}}{\sigma_{hnu1}} \cdot e^{\frac{b}{2n} \left(\frac{\sigma_{hnu.1} - \sigma_{hnu.2}}{\sigma_{hnu.1}} \right)} \right],$$

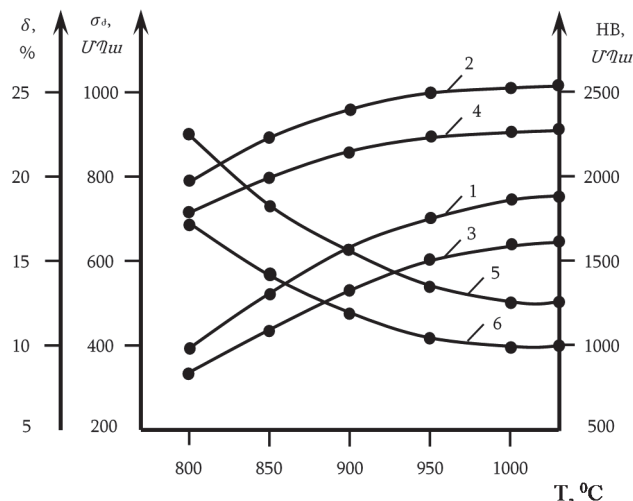
որտեղ R_u -ը շերտավոր կառուցվածքով մամլվածքի սկզբնական, իսկ R_d -ն՝ տաք արտամղումից հետո ստացված ձողի վերջնական շառավիղներն են, u -ը՝ R -ը՝ արտամղումից հետո ստացված միջուկի շառավիղը, u -ը, σ_{hnu1} -ը և σ_{hnu2} -ը՝ համապատասխանաբար արտաքին և ներքին շերտերի նյութերի հոսունության սահմաններն արտամղման ջերմաստիճանում, U -ը և b -ն՝ հաշվարկային գործակիցներ: R_{δ} -ի բանաձևի մեջ մտցնելով կոնկրետ R_u , R_d , σ_{hnu1} , σ_{hnu2} և α արժեքները, որոշվել է R_{δ} երկրաչափական պարամետրը, որը հավասար է $\sim 21,0$ u -ը, ըստ $R=10,5$ u -օպտիմալ արժեքի և ապահովում է արտամղման ժամանակ կլոր կտրվածքով շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերի կոնտակտային մակերևույթների վրա հարաբերական տեղաշարժերի բացակայություն, հետևաբար՝ շերտերի կցման բարձր ամրություն: Արդյունքում ընտրվել և հիմնավորվել են տաք արտամղման օպտիմալ ռեժիմները՝ $T_w=900\dots 950^{\circ}\text{C}$, արտամղման ջերմաստիճանում պահման տևողությունը՝ $\tau_w=1\dots 1,5$ ժ, մայրակի կոնական անկյունը՝ $2\alpha=110^{\circ}$ և արտամղման գործակիցը՝ $\lambda=4\dots 5$: Ցույց է տրվել, որ $\lambda \geq 4$ արտամղման գործակցով տաք արտամղման դեպքում ապահովվում է պղնձի հիմքով անծակոտկեն կառուցվածքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի ստացումը, որոնց կառուցվածքները տեքստուրացված են:

Միկրոռենտգենասպեկտրային վերլուծության արդյունքում բացահայտվել է, որ ներքին շերտից արտաքին շերտ նիկելի դիֆուզման արդյունքում առաջանում է անցումային շերտ, որի հաստությունն աճում է արտամղման գործակցի մեծացմամբ: Նիկելի դիֆուզիայի արդյունքում առաջանում է պղնձի հիմքով պինդ լուծույթ, որի խորությունն աճում է 6 u -ից ($\lambda=1,58$) մինչև 17 u -ը ($\lambda=3,74$): Al-ի դիֆուզիայի դեպքում նույնպես առաջանում է պղնձի հիմքով պինդ լուծույթ: Համապատասխանաբար մեծանում է նաև լուծված շերտի խորությունը՝ $\lambda=1,58$ -ի դեպքում 17 u -ից մինչև 22 u -ը՝ $\lambda=3,74$ -ի դեպքում, հետևաբար՝ աճում է նաև երկմետաղի շերտերի կցման ամրությունը կտրմամբ: Միևնույնից և հատկապես նրան

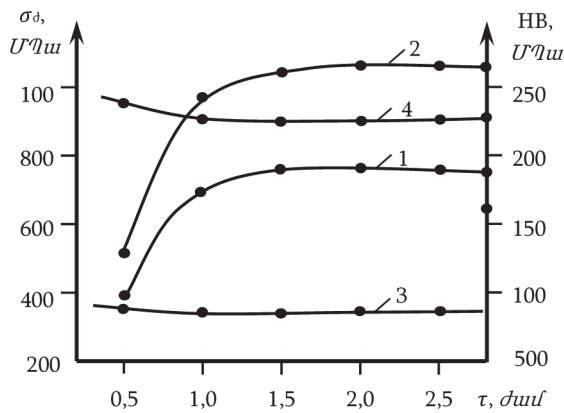
հաջորդող սառը ճնշմամբ մշակումից հետո անցումային գոտում ճաքեր և շերտավորվածություններ չեն առաջանում, իսկ բաղադրիչ շերտերի բաժանման սահմաններն ուղղագծային են փորձանմուշի ամբողջ երկայնքով:

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

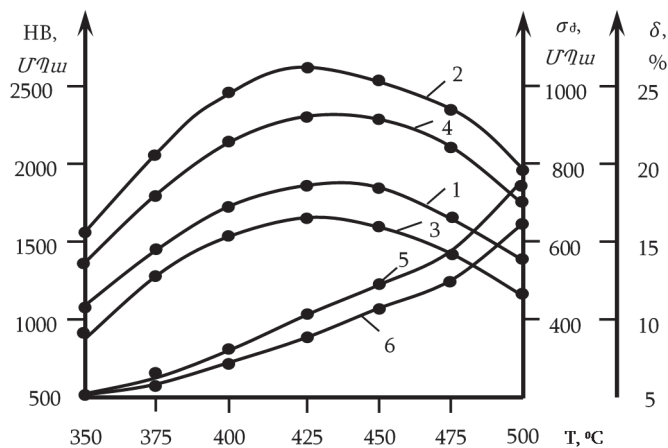
Համալիր գիտափորձական հետազոտությունների արդյունքում (նկ. 1-3) որոշվել են ամրացնող ջերմային մշակման (մխում, ծերացում) լավարկված պարամետրերը՝ $T_{\text{մ}}=1000\pm 25^{\circ}C$, $\tau_{\text{մ}}=1...1,5$ ժ, $T_{\text{ծ}}=450\pm 25^{\circ}C$, $\tau_{\text{ծ}}=6$ ժ, որոնք ապահովում են ոչ միայն բարձր մեխանիկական հատկություններ՝ α -պինդ լուծույթի հիմքով արտաքին շերտի $\sigma_{\text{ծ}}=550...600$ ՄՊա, $HB=1550...1850$ ՄՊա, $\delta=10...20\%$, իսկ α -պինդ լուծույթի հիմքով ներքին շերտի $\sigma_{\text{ծ}}=900...950$ ՄՊա, $\delta=10...15\%$, $HB=2500...2600$ ՄՊա, այլ նաև արտաքին շերտի բարձր ջերմահաղորդականություն ($\chi=70$ Վտ/Կ.մ), էլեկտրահաղորդականություն՝ պղնձի հաղորդականության $\sim 80\%$ -ը և ներքին շերտի ջերմակայունություն մինչև $500^{\circ}C$:



Նկ. 1. Կարծրության (1, 2), ամրության սահմանի (3, 4) և հարաբերական երկարացման (5, 6) կախվածությունը մխման ջերմաստիճանից, երբ $T_{\text{ծ}}=450^{\circ}C$, $\tau_{\text{ծ}}=6$ 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. 2. Կարծրության (1, 2) և ամրության սահմանի (3, 4) կախվածությունը միսման ջերմաստիճանում պահման տևողությունից, երբ $T_3=450^{\circ}\text{C}$, $\tau_3=6\text{ժ}$. 1, 3–արտաքին շերտ ($1,0\%\text{Cr}+0,8\%\text{Zr}+\text{Cu}_{\text{մ}}$), 2, 4 – ներքին շերտ ($13\%\text{Ni}+3\%\text{Al}+1,0\%\text{Cr}+0,8\%\text{Zr}+\text{Cu}_{\text{մ}}$)

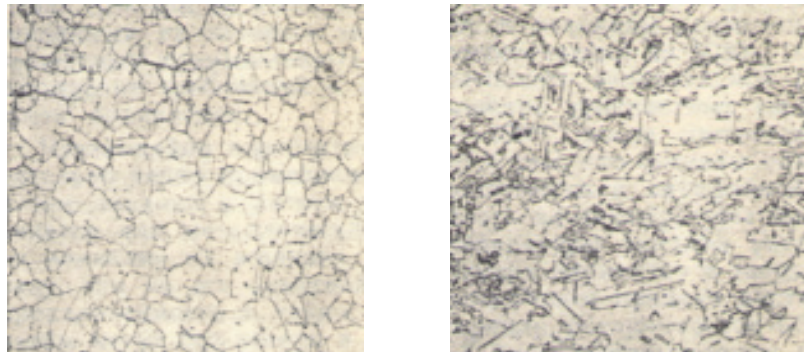


Նկ. 3. Կարծրության (1, 2), ամրության (3, 4) և հարաբերական երկարացման (5, 6) կախվածությունը ծերացման ջերմաստիճանից, երբ $T_{\text{մ}}=1000\pm 25^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{մ}}=1,5\text{ժ}$, $\tau_3=6\text{ժ}$.
1, 3, 5– արտաքին շերտ ($1,0\%\text{Cr}+0,8\%\text{Zr}+\text{Cu}_{\text{մ}}$), 2, 4, 6–ներքին շերտ ($13\%\text{Ni}+3\%\text{Al}+1,0\%\text{Cr}+0,8\%\text{Zr}+\text{Cu}_{\text{մ}}$)

Ստացված փոշեկոմպոզիտային նյութի ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների ուսումնասիրումը ցույց է տալիս, որ ծակոտկեն շերտավոր մամլվածքի տաք արտամղումն ապահովում է պրակտիկորեն անծակոտկեն կառուցվածք, իսկ հետագա ջերմային մշակումը՝ պահանջվող ֆիզիկա-մեխանիկական հատկություններ:

Մետաղագիտական հետազոտությունների արդյունքում բացահայտվել է, որ մշակված շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութի արտաքին շերտի

(1,0%Cr+0,8% Zr+Cu_{սն}) կառուցվածքը եռաֆազ է և բաղկացած է պղնձի հիմքով պինդ լուծույթից (Cr-ի և Zr-ի պինդ լուծույթը պղնձում), Cr-ի դիսպերս մասնիկներից և Cu₅Zr ինտերմետաղական ֆազից, իսկ ներքին շերտի (13%Ni+ +3%Al+1,0%Cr+ +0,8%Zr+Cu_{սն}) կառուցվածքը բազմաֆազային է և բաղկացած է պղնձի հիմքով α₁ պինդ լուծույթից (Ni-ի, Al-ի, Cr-ի և Zr-ի պինդ լուծույթը պղնձում), Cr-ի դիսպերս մասնիկներից, Cu₅Zr, Ni₃Al և NiAl ինտերմետաղական ֆազերից (նկ. 4):



ա)

բ)

Նկ. 4. Sup արտամղմամբ ստացված շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերի շերտերի միկրոկառուցվածքները ջերմամշակումից հետո (x500). ա) արտաքին շերտ (1,0%Cr+0,8%Zr+Cu_{սն}), բ) ներքին շերտ (13%Ni+3%Al+1,0%Cr+0,8%Zr+Cu_{սն})

Կատարված համալիր հետազոտությունների հիման վրա մշակվել է դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող պղնձի հիմքով շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութի ստացման տեխնոլոգիա, որը հնարավորություն է տալիս ապահովելու ոչ միայն բարձր մեխանիկական հատկություններ՝ ամրություն, կարծրություն, շիկակայունություն, ջերմակայունություն, այլ նաև բարձր ֆիզիկական հատկություններ՝ ջերմահաղորդականություն և էլեկտրահաղորդականություն:

Եզրակացություն. Փորձագիտական հետազոտությունների արդյունքում որոշվել և հիմնավորվել են պղնձի հիմքով շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութի ամրացնող ջերմային մշակման լավարկված պարամետրերը՝ $T_{\text{մ}}=1000\pm 25^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{մ}}=1\ldots 1,5$ ժ, $T_{\text{ծեր}}=450\pm 25^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{ծեր}}=6$ ժ, որոնք ապահովում են ոչ միայն բարձր մեխանիկական հատկություններ՝ արտաքին շերտ - $\sigma_{\text{ծ}}=550\ldots 600$ ՄՊա, $\text{HB}=1550\ldots 1850$ ՄՊա, $\delta=10\ldots 20\%$, ներքին շերտ - $\sigma_{\text{ծ}}=900\ldots 950$ ՄՊա, $\delta=10\ldots 15\%$, $\text{HB}=2500\ldots 2600$ ՄՊա, այլ նաև արտաքին շերտի բարձր ջերմահաղորդականություն ($\chi=70$ Վտ/Գ.ս), էլեկտրահաղորդականություն՝ պղնձի էլեկտրահաղորդականության $\sim 80\%$ -ը և ներքին շերտի ջերմակայունություն մինչև 500°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. **Агбалин 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 ՀՊՀՀ 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. Современные композиционные материалы / Под ред. **И.Л. Светлова**.- М.: Мир, 1970.- 672 с.
6. **Карпинос Д.М., Тучинский Л.И., Вишняков Л.Р.** Новые композиционные материалы.- Киев: Вища школа, 1977.- 312 с.
7. **Ковальченко М.С.** Теоретические основы горячей обработки пористых материалов давлением.- Киев: Наукова думка, 1980.- 240 с.
8. **Манукян Н.В.** Технология порошковой металлургии.- Ереван: Айастан, 1986.- 230 с.
9. **Агбалин С.Г.** Теоретические и технологические основы формирования структуры и свойств порошковых материалов при экструзии: Автореф. дис. ... докт. техн. наук.- Ереван, 1992.- 33 с.
10. **Агбалин С.Г., Василян Г.А., Саркисян А.Р., Бояджян С.Г.** Разработка технологии получения высокопрочных композиционных материалов для электродов контактной сварки // Вестник ГИУА: Металлургия, материаловедение, недропользование.- Ереван, 2015.- № 2.- С.20-32.
11. **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:
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 29.08.2019:

С.Г. АГБАЛЯН, Г.А. ВАСИЛЯН, А.Р. САРКИСЯН

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СЛОИСТЫХ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ С ВЫСОКОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДИМОСТЬЮ И ТЕПЛОСТОЙКОСТЬЮ

В результате научно-экспериментальных исследований разработана технология получения 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 упрочняемых дисперсными зёрнами, которая включает следующие этапы: изготовление шихт внешних и внутренних слоев, прессование наружных слоев и сердцевины, сборка одной в другой, допрессовка, нагрев (спекание), горячая экструзия и термическая обработка. Определены и обоснованы оптимальные параметры упрочняющей термической обработки: $T_s=1000\pm 25^\circ C$, $\tau_s=1\ldots 1,5$ ч, $T_{ст}=450\pm 25^\circ C$, $\tau_{ст}=6$ ч, которые обеспечивают не только высокие механические свойства (внешний слой: $\sigma_b=550\ldots 600$ МПа, $HB=1550\ldots 1850$ МПа, $\delta=10\ldots 20\%$, внутренний слой: $\sigma_b=900\ldots 950$ МПа, $\delta=10\ldots 15\%$, $HB=2500\ldots 2600$ МПа), но и высокие теплостойкость ($\chi=70$ Вт/К.м) и электропроводимость (электропроводимость меди $\sim 80\%$) наружного слоя и теплостойкость внутреннего слоя (до $500^\circ C$).

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

S.G. AGHBALYAN, G.A. VASILYAN, A.R. SARGSYAN

HEAT TREATMENT OF THE COPPER-BASED LAYERED POWDER COMPOSITE MATERIALS WITH HIGH HEAT RESISTANCE AND ELECTRIC CONDUCTIVITY

As a result of experimental investigations, a technology for obtaining copper-based highly strong, highly electroconductive and heat resistant layered powder composite materials (external layer— $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{res}$, the internal layer— $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{ag}$) strengthened with disperse particles (intermetallic phases) and disperse grains has been developed. This technology includes the preparation of the charges of the external and internal layers, compaction of the external layer and the core assembly one into the other, re-compaction, heating (sintering), hot extrusion and heat treatment. The improved parameters of the strengthening heat treatment — $T_s=1000\pm 25^\circ C$, $\tau_{su}=1\ldots 1,5$ h, $T_{ag}=450\pm 25^\circ C$, $\sigma_{ag}=6$ h, have been determined and substantiated, ensuring not only high mechanical properties: external layer — $\sigma_t=550-600$ МПа, $HB=1550-1850$ МПа, $\delta=10\ldots 20\%$, internal layer — $\sigma_t=900-950$ МПа, $\delta=10\ldots 15\%$, $HB=2500-2600$ МПа, but also high heat conductivity of the external layer ($\chi=70$ W/K.m.), electric conductivity $\sim 80\%$ of the copper electric conductivity and heat resistance of the internal layer up to $500^\circ C$.

Keywords: charge, compaction, sintering, hot extrusion, powder composite material, heat treatment, ageing, disperse hardening and strengthening, electric conductivity, heat resistance.