

Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Տ.Ն. ՄԱՖԱՐՅԱՆ, Ա.Վ. ԱՆԴՐԻԱՍՅԱՆ, Ա.Ա. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

**ԱԼՅՈՒՄԻՆԱՅԻՆ ՀՐԱՄՈՒՐ ՓՈՇԵՀԱՄԱՁՈՒԼՎԱԾՔԻ ՍՏԱՑՄԱՆ
ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ ՏԱՔ ԱՐՏԱՄՂՄԱՄԲ ԵՎ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ՈՒ
ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ**

Կատարված գիտափորձական համալիր հետազոտությունների արդյունքում մշակվել է 2,5%Cu+1,8%Mg+1,2%Ni+1,2%Fe+Al₁₀₀ բաղադրությամբ հրամուր ալյումինային փոշեհամաձուլվածքի ստացման տեխնոլոգիա, որը ներառում է հետևյալ տեխնոլոգիական գործընթացները՝ բովախառնուրդի պատրաստում, մամլում, տաքացում վերականգնող միջավայրում, տաք արտամղում, հոմոգենացնող թրծում, մեխանիկական մշակում, մխում և ծեղացում:

Առանցքային բառեր. ալյումին, բովախառնուրդ, մամլում, ծակոտկենություն, եռակալում, տաք արտամղում, փոշեհամաձուլվածք, թրծում, մխում, ծեղացում:

Ֆունկցիոնալ հատկություններով օժտված նյութերի մշակումը 21-րդ դարում հասարակության զարգացման տեխնիկական և սոցիալական ապահովվածության օբյեկտիվ հիմքերից է: Այդպիսի նյութերից են բարձր տեսակարար ամրությամբ հրակայուն, հրամուր և կոռոզիակայուն նյութերը, որոնք ունակ են աշխատելու բարձր և ցածր ջերմաստիճանների, տարբեր ճնշումների պայմաններում և քիմիական ագրեսիվ միջավայրերում: Նման հատկությունների համալիր կարող են ապահովել կոմպոզիցիոն նյութերը, որոնք օժտված են մայրակի հատկությունը գերազանցող ֆիզիկամեխանիկական հատկություններով: Այս առումով մեծ դեր ունեն ալյումինային համաձուլվածքները, հատկապես փոշեհամաձուլվածքները, որոնց համալիր հատկությունների լավարկումը ներկայացնում է կարևոր գիտա-տեխնիկական խնդիր [1, 2]: Ներկայումս բավարար չափով հետազոտված չեն ալյումինափոշու հիմքով բովախառնուրդների մամլման, տաք արտամղման, ինչպես նաև մխման և ծեղացման գործընթացները և նրանց ազդեցությունը մեխանիկական հատկությունների վրա: Նշված գործոնների հետազոտումը և ստացված փոշեհամաձուլվածքի հատկությունների կարգավորումը, որն ապահովվում է ռեժիմների փոփոխման ճանապարհով՝ օգտագործելով ժամանակակից մետաղագիտության և գիտության ու տեխնիկայի հնարավորությունները, խիստ արդիական խնդիր է:

Աշխատանքի նպատակն է մշակել ալյումինային հրամուր փոշեհամաձուլվածքների ստացման տեխնոլոգիա տաք արտամղմամբ և հետազոտել կառուցվածքի ու հատկությունների ձևավորման գործընթացը:

Ալյումինային հրամուր փոշեհամաձուլվածքի բովախառնուրդի պատրաստման համար որպես մայրակի նյութ ընտրվել է АПС-1А մակնիշի ալյումինի փոշին, իսկ որպես լեգիրող կոմպոնենտներ՝ պղնձի (ПМС-1), մագնեզիումի (МГ-90гр.), նիկելի (ПНЭ-1) և երկաթի (ПЖВ4) փոշիները:

Լավարկված բաղադրությամբ ալյումինային հրամուր փոշեհամաձուլվածք ստանալու նպատակով պատրաստվել են տարբեր բաղադրությամբ բովախառնուրդներ, որոնք ենթարկվել են երկկողմանի մամլման: Այնուհետև մամլվածքները ջրածնի միջավայրում տաքացվել են մինչև 525±10°C ջերմաստիճան, պահվել 30 րոպե տևողությամբ և ենթարկվել տաք արտամղման: Արտամղման պայմաններն

են՝ կոնտեյների տրամագիծը՝ 25 մմ, մայրակի կոնական անկյունը՝ $2\alpha=60^\circ$, արտամղման գործակիցը՝ $\lambda=3...5$: Համասեռ կառուցվածք ստանալու նպատակով ստացված փորձանմուշները ենթարկվել են հոմոգենացնող թրմման, որը կատարվել է խցային վառարանում $525\pm 10^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանում՝ 20 ժամ պահման տևողությամբ:

Ստացված նախապատրաստվածքներից մեխանիկական մշակմամբ պատրաստվել են ձգման փորձանմուշներ՝ ըստ ГОСТ1497-73, որոնք այնուհետև ենթարկվել են ջերմային մշակման:

Տաք արտամղման գործընթացի հետազոտման արդյունքում բացահայտվել է, որ միևնույն արտամղման գործակցի դեպքում չեռակալված նախապատրաստվածքի ծակոտկենության մեծացումը նպաստում է արտամղման ճնշման մեծացմանը: Ցույց է տրված, որ ծակոտկենության բոլոր արժեքների դեպքում ($\theta_0=25...30\%$)՝ $\lambda=5...6$ արտամղման գործակցով արտամղելիս, չեռակալված նախապատրաստվածքի արտամղման ճնշումը (P_0-Y) մնում է գրեթե հաստատուն և, ձուլված համաձուլվածքի հետ համեմատած, աճում է 21...30%-ով, որն արդյունք է նյութի մածուցիկ-պլաստիկ հոսքի փոքրացման:

Տեսականորեն հաշվարկվել և փորձնական եղանակով հաստատվել է, որ $\lambda \geq 4$ արտամղման գործակցով տաք արտամղման դեպքում ապահովվում է անծակոտկեն կառուցվածքով հրամուր պլումինային փոշեհամաձուլվածքի ստացում, որի կառուցվածքը տեքստուրացված է [3]:

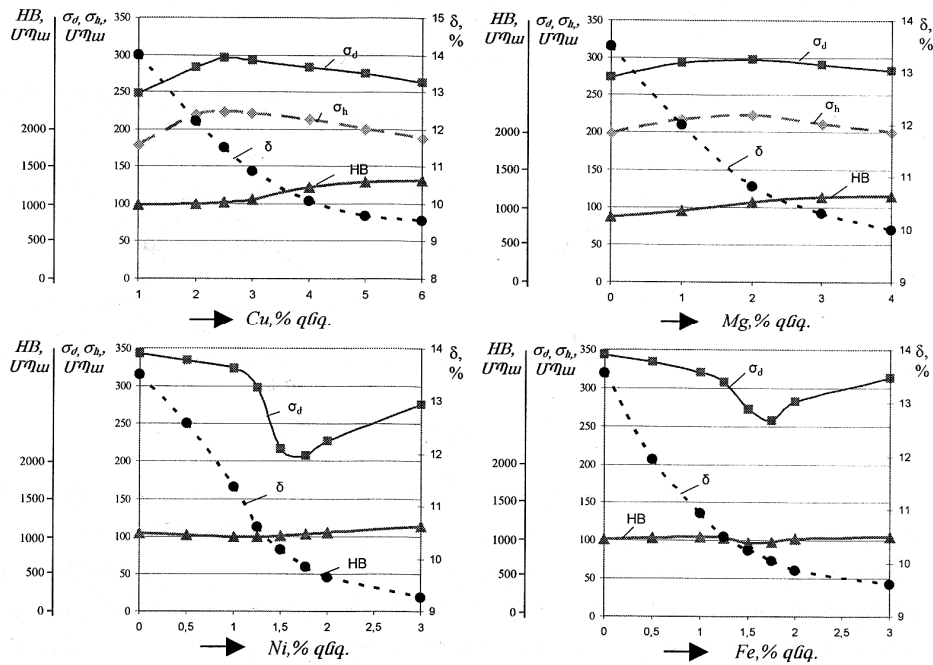
Ցույց է տրված, որ ի տարբերություն ձուլման տեխնոլոգիայի, փոշեմետալուրգիական մեթոդի դեպքում կառուցվածքագոյացումը կատարվում է պինդ ֆազային դիֆուզիայով, իսկ տաք արտամղման և նրան հաջորդող ջերմային մշակման գործընթացները նպաստում են մանրահատ ինտերմետաղական ֆազերով լեգիրված խիստ մանրահատիկ կառուցվածքի ստացմանը:

Լավարկային բաղադրության ընտրումը կատարվել է փորձնական եղանակով, յուրաքանչյուր անգամ փոփոխելով լեգիրող տարրերից մեկի կոնցենտրացիան՝ մյուսները թողնելով անփոփոխ: Ընդ որում, Cu-ի և Mg-ի կոնցենտրացիայի փոփոխությունը կատարվել է 1,0% քայլով, իսկ Ni-ին և Fe-ին՝ 0,5%-ով: Լեգիրող տարրերի ազդեցությունը համաձուլվածքի ամրության, կարծրության և հարաբերական երկարացման վրա ցույց է տրված նկ. 1 ա, բ, գ, դ-ում:

Ինչպես երևում է նկարից, մեխանիկական հատկությունների առավելագույն ցուցանիշներ ստացվում են լեգիրող տարրերի հետևյալ բաղադրությունների

դեպքում՝ Cu=2,5%, Mg=1,8%, Ni=1,2%, Fe=1,2%, մնացածը՝ Al: Cu և Mg կոնցենտրացիայի բարձրացումը նպաստում է ամրության և կարծրության բարձրացմանը մինչև $\sigma_A=290...300 \text{ ՄՊա}$, $HB=1000...1050 \text{ ՄՊա}$, իսկ $\delta=10,5...11,5\%$: Ամրության և կարծրության առավելագույն ցուցանիշներ ստացվում են Cu=2,5% և Mg=1,8% դեպքում, որից հետո նշված ցուցանիշները համարյա փոփոխության չեն ենթարկվում: Արդյունքում ընտրվել է Al-Cu-Mg-Ni-Fe համաձուլվածքի լավարկային բաղադրությունը, որն ապահովում է բարձր մեխանիկական հատկություններ ինչպես սենյակային, այնպես էլ բարձր ջերմաստիճաններում ($250...300^\circ\text{C}$):

$2,5\%\text{Cu}+1,8\%\text{Mg}+1,2\%\text{Ni}+1,2\%\text{Fe}+\text{Al}$ բաղադրությամբ բովախառնուրդի մամլման համար պահանջվող ճնշումը (P_0 , տ) որոշվել է ինչպես փորձնական, այնպես էլ տեսական եղանակներով [4]: Մամլման ճնշումը փորձնական եղանակով որոշելու համար կառուցվել է գրաֆիկական կախվածություն ծակոտկենության (θ , %), խտության (γ , գր/սմ^3) և տեսակարար ճնշման (P_n , տ/սմ^2) միջև: Ընտրվել է մամլման համար օպտիմալ ճնշում ($P_n=180...220 \text{ ՄՊա}$), որի դեպքում մամլվածքի ծակոտկենությունը տատանվում է 20...25%:



Նկ. 1. Al-Cu-Mg-Ni-Fe համակարգի ալյումինային հրամուր փոշեհամաձուլվածքի մեխանիկական հատկությունների կախվածությունը.

- ա) պղնձի քանակությունից՝ Mg=1,8%, Ni=1,2%, Fe=1,2%,
 բ) մագնեզիումի քանակությունից՝ Cu=2,5%, Ni=1,2%, Fe=1,2%,
 գ) նիկելի քանակությունից՝ Cu=2,5%, Mg=1,8%, Fe=1,2%,
 դ) երկաթի քանակությունից՝ Cu=2,5%, Mg=1,8%, Ni=1,2%

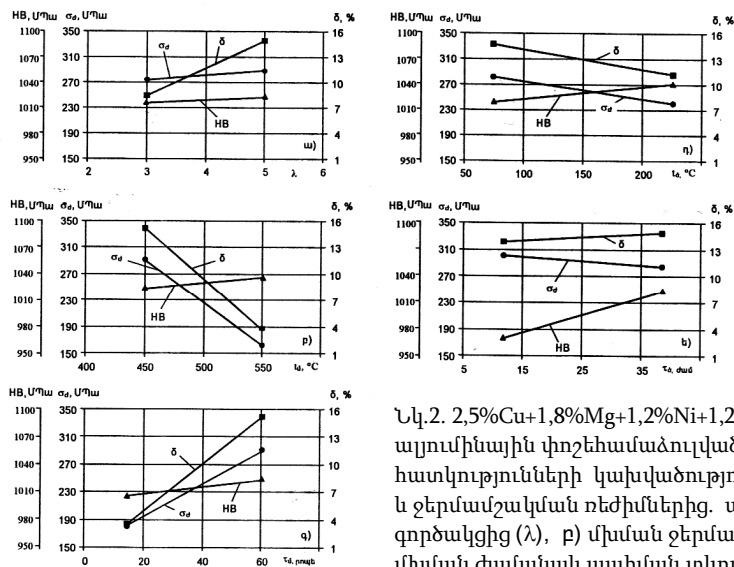
Բովախառնուրդի սառը մամլումից հետո մամլվածքները ենթարկվել են տաք արտամղման և ջերմային մշակման, որոնց օպտիմալ ռեժիմների բացահայտման նպատակով իրականացվել է փորձի մաթեմատիկական մոդելավորում: Որպես փոփոխականներ ընտրվել են տաք արտամղման գործակիցը (λ), միսման ջերմաստիճանը ($t_{\text{մ}}$, $^{\circ}\text{C}$), միսման ժամանակ պահման տևողությունը ($\tau_{\text{բ, քուպե}}$), ձերացման ջերմաստիճանը ($t_{\text{ձ}}$, $^{\circ}\text{C}$) և ձերացման ժամանակ պահման տևողությունը ($\tau_{\text{ձ, ժամ}}$), իսկ որպես ելքային պարամետրեր վերցվել են համաձուլվածքի մեխանիկական հատկությունները՝ ժամանակավոր դիմադրության սահմանը (σ_{δ} , ՄՊա), հարաբերական երկարացումը (δ) և կարծրությունը (HB, ՄՊա):

Փորձերի պլանավորման համար կիրառվել է առաջին կարգի լրիվ գործոնների փորձարկումների (ԼԳՓ) մեթոդը՝ երկչափ փոփոխման գործոններով [5, 6]: ԼԳՓ-ի իրականացումը երկու մակարդակի վրա բոլոր հինգ գործոնների փոփոխման ժամանակ պահանջում է $2^5=32$ փորձերի կատարում, ընդ որում, կրկնվող փորձերի թիվը վերցվել է $m=3$:

Պլանավորման մատրիցում մտցվել են ոչ միայն X_i հարաբերական փոփոխականները, որոնց գուգակցումը համարվում է իրական պլանավորման մատրից, այլ նաև սրանց երկակի, եռակի, քառակի և հնգակի փոխադրությունները, որոնց իմացությունն անհրաժեշտ է փորձնական տվյալների մշակման համար: Փորձերի կատարումից հետո կատարվել է արդյունքների վիճակագրական մշակում: Ստացված մոդելները ստուգվել են համարժեքության տեսանկյունից՝ ըստ Ֆիշերի չափանիշի:

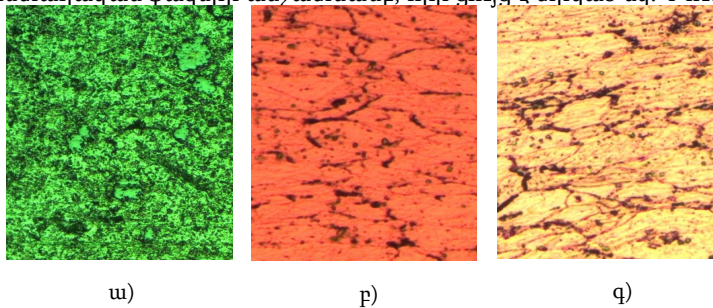
Մեխանիկական հատկությունների յուրաքանչյուր գործոնի ազդեցության վերլուծության, արտամղման օպտիմալ ռեժիմների որոշման և 2,5%Cu+1,8%Mg+1,2%Ni+1,2%Fe+Al_մ հրամուր ալյումինային համաձուլվածքի ջերմային մշակման համար մաթեմատիկական մոդելի մշակման արդյունքում կառուցվել են մեխանիկական հատկությունների կախվածության գրաֆիկներ (նկ. 2): Որպես բազային ռեժիմ ընտրվել է $\lambda=5$, $t_{\square}=450^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\square}=60$ րոպե, $t_{\square}=75^{\circ}\text{C}$, $t_{\square}=40$ ժամ և հետագոսվել է յուրաքանչյուր գործոնի փոփոխման ազդեցությունը մեխանիկական հատկությունների վրա (նկ. 2. ա, բ, գ, դ, ե):

2,5%Cu+1,8%Mg+1,2%Ni+1,2%Fe+Al_մ բաղադրությամբ հրամուր ալյումինային համաձուլվածքի տաք արտամղման և ջերմային մշակման համար ընտրվել են հետևյալ լավարկված ռեժիմները՝ արտամղման գործակիցը՝ $\lambda=4\ldots 5$, միսման ջերմաստիճանը՝ $t_{\text{մ}}=500\ldots 525^{\circ}\text{C}$, միսման ժամանակ պահման տևողությունը՝ $\tau_{\square}=40\ldots 45$ րոպե, ծերացման ջերմաստիճանը՝ $t_{\text{ծ}}=200\ldots 225^{\circ}\text{C}$ և ծերացման ժամանակ պահման տևողությունը՝ $t_{\square}=30\ldots 35$ ժամ, որոնց դեպքում ստացվում են հետևյալ մեխանիկական հատկությունները՝ $\sigma_{\square}=250\ldots 300$ ՄՊա, $\delta=11\ldots 13\%$, HB=1000...1050 ՄՊա:

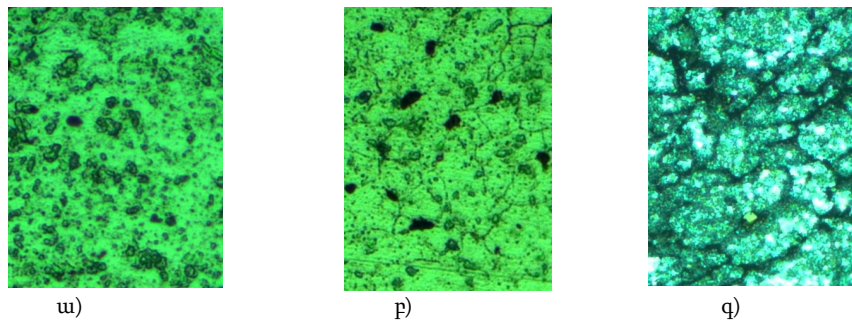


Նկ.2. 2,5%Cu+1,8%Mg+1,2%Ni+1,2%Fe+Al_մ հրամուր ալյումինային փոշեհամաձուլվածքի մեխանիկական հատկությունների կախվածությունը արտամղման և ջերմամշակման ռեժիմներից. ա) արտամղման գործակիցից (λ), բ) միսման ջերմաստիճանից (t_մ), գ) միսման ժամանակ պահման տևողությունից (τ_մ), դ) ծերացման ջերմաստիճանից (t_ծ), ե) ծերացման ժամանակ պահման տևողությունից (t_ծ)

Կառուցվածքային հետազոտության արդյունքում պարզվել է (նկ.3), որ տաք արտամղումից հետո կառուցվածքն անհավասարակշռված է, իսկ հատիկները՝ դեֆորմացված, ընդ որում, հատիկների դեֆորմացիայի աստիճանը կախված է արտամղման գործակցից: 525°C ջերմաստիճանում $\tau=20$ ժամ թրծումից հետո, շնորհիվ վերաբյուրեղացման, կառուցվածքը ստացվել է հավասարակշռված: Միաժամանակ, հատիկների սահմանագծերում անջատվում են FeAl_3 և NiAl_3 ինտերմետաղական ֆազերը, որոնք կայուն են և չեն լուծվում մայրակույտում նույնիսկ միսման ժամանակ: Նշված ֆազերի առաջացումը խանգարում է միսման ժամանակ գերհագեցած պինդ լուծույթի առաջացման, հետևապես և՛ ծերացման ժամանակ ինտերմետաղական ֆազերի անջատման գործընթացին: Սակայն այս գործընթացի ազդեցությունը արդյունավետ է միայն բնական ծերացման դեպքում: Եվ քանի որ այլումինային հրամուր համաձուլվածքները բնական ծերացման չեն ենթարկվում՝ վերադարձի գործընթացից խուսափելու համար, հետևապես, նշված ֆազերի ազդեցությունն աննշան է: Նշվածի ապացույցն է բարձր մեխանիկական հատկությունների պահպանումը բարձր ջերմաստիճաններում: Ամրության և կարծրության աճը պայմանավորված է արհեստական ծերացման ժամանակ CuAl_2 , Al_2CuMg , Al_3FeNi , $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$ և Al_6CuNi ինտերմետաղական ֆազերի անջատմամբ, որը գույց է տրված նկ. 4-ում:



Նկ. 3. 2,5%Cu+1,8%Mg+1,2%Ni+1,2%Fe+Al₉₀ այլումինային հրամուր փոշեհամաձուլվածքի միկրոկառուցվածքը տաք արտամղումից հետո (x200). $T_{\text{is}}=525^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{is}}=30$ րոպե. ա) $\lambda=3$, բ) $\lambda=4$, գ) $\lambda=5$

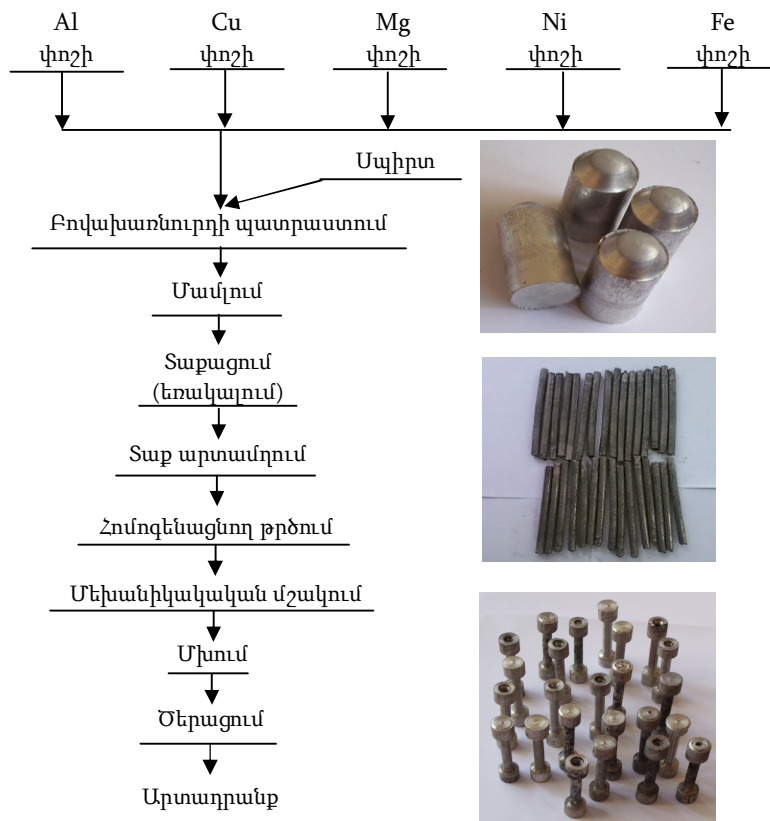


Նկ. 4. 2,5%Cu+1,8%Mg+1,2%Ni+1,2%Fe+Al₉₀ այլումինային հրամուր փոշեհամաձուլվածքի միկրոկառուցվածքը ծերացումից հետո (x500). $T_{\text{is}}=525^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{is}}=30$ րոպե, $T_{\text{a}}=525^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{a}}=20$ ժամ, $T_{\text{d}}=535^{\circ}\text{C}$, միսումը ջրում. ա) $T_{\text{a}}=150^{\circ}\text{C}$, բ) $T_{\text{a}}=200^{\circ}\text{C}$, գ) $T_{\text{a}}=250^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{a}}=25$ ժամ, $\lambda=5$

Ի նչպես երևում է նկարից, ծերացման ջերմաստիճանից կախված՝ տեղի է ունենում ինտերմետաղական ֆազերի կոագուլացման գործընթաց, ընդ որում, որքան բարձր է ջերմաստիճանը, այնքան մեծ է կոագուլացման արագությունը, որով և բացատրվում են սողքի արագության մեծացումը և մեխանիկական հատկությունների անկումը:

Ֆազային փոխակերպությունների ընթացքը բացահայտելու նպատակով իրականացվել է փոշեհամաձուլվածքի դերիվատոգրաֆիական վերլուծություն: Ցույց է տրվել, որ տաքացման ժամանակ տեղի են ունենում պինդ ֆազային ռեակցիաներ, որոնք համընկնում են Al-Mg և Al-Cu համաձուլվածքների վիճակի դիագրամների փոխակերպությունների հետ, այսինքն՝ Al-ի մեջ սկսում են լուծվել Mg_5Al_8 և $CuAl_2$ ինտերմետաղական ֆազերը: Տաքացման ժամանակ զանգվածի փոփոխություն տեղի չի ունենում:

Համալիր հետազոտությունների արդյունքում մշակվել է $2,5\%Cu+1,8\%Mg+1,2\%Ni+1,2\%Fe+Al_{98}$ բաղադրությամբ ալյումինային հրամուր փոշեհամաձուլվածքի ստացման տեխնոլոգիա, որը ներառում է հետևյալ տեխնոլոգիական գործընթացները՝ բովախառնուրդի պատրաստում, մամլում, տաքացում (եռակայում), Տաք արտամղում, Հոմոգենացնող թրծում, Մեխանիկական մշակում, Մխում, Ծերացում, Արտադրանք



Նկ. 5. Al-Cu-Mg-Ni-Fe հրամուր փոշեհամաձուլվածքի ստացման տեխնոլոգիան

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Елагин В.И.** Пути развития высокопрочных и жаропрочных конструкционных алюминиевых сплавов в XXI столетии // МиТОМ. - 2007.- № 9.- С. 3-11.
2. **Романова О.А.** Жаропрочные деформируемые алюминиевые сплавы, перспективы их развития // МиТОМ. - 1983.- № 7.- С. 9-12.
3. **Աղբալյան Ս.Գ., Սաֆարյան Տ.Ն.** Հրամուր ալյումինային փոշեհամաձուլվածքների տաք արտամղման գործընթացի փորձագիտական հետազոտումը // ՀՀ ԳԱԱ և ՀՊՀՀ տեղեկագիր. ՏԳ սերիա. - 2010. - Հատ. 62, N 4. - էջ 367-376:
4. **Աղբալյան Ս.Գ., Սաֆարյան Տ.Ն.** Ալյումինային հրամուր փոշեհամաձուլվածքի բովախառնուրդի մասկման գործընթացի հետազոտումը և օպտիմալ ռեժիմների ընտրումը // ՀՊՀՀ (Պոլիտեխնիկ) – Լրաբեր: Գիտական և մեթոդական հոդվածների ժողովածու.-Երևան, 2010.-Հատ. 2, N 2 .- էջ 395 - 399:
5. **Егоренков Д.Л., Фрадков А.Л., Харламов В.Ю.** Основы математического моделирования. Издание 2-е, дополненное. – СПб: БГТУ, 1996. – 191 с.
6. **Новик Ф.С., Арсов Я.Б.** Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов.– М.: Машиностроение, 1980. – 303 с.

ՀՊՀՀ (Պ): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 11.11.2010:

Տ.Գ. ԱԳԲԱԼՅԱՆ, Դ.Ն. ՏԱԲԱՐՅԱՆ, Ա.Վ. ԱՆԴՐԻԱՏՅԱՆ, Ա.Ա. ՍԵՏՐՕՅԱՆ

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЖАРОПРОЧНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ ПОРОШКОВЫХ СПЛАВОВ ГОРЯЧЕЙ ЭКСТРУЗИИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ

На основании научно-экспериментальных комплексных исследований разработана технология получения порошковых жаропрочных алюминиевых сплавов $2,5\%Cu+1,8\%Mg+1,2\%Ni+1,2\%Fe+Al_{ост}$, которая включает следующие операции: приготовление шихты, прессование, нагрев в восстановительной среде, горячая экструзия, гомогенизирующий отжиг, механическая обработка, закалка и старение.

Ключевые слова: алюминий, шихта, прессование, пористость, спекание, горячая экструзия, порошковый сплав, отжиг, закалка, старение.

S.G. AGHBALYAN, T.N. SAFARYAN, A.V. ANDRIASYAN, A.A. PETROSYAN

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR OBTAINING HIGH TEMPERATURE ALUMINIUM POWDER ALLOYS BY MEANS OF HOT EXTRUSION AND THEIR STRUCTURE AND PROPERTY STUDY

On the basis of complex experimental research, the technology of obtaining $2,5\% Cu + 1.8\% Mg + 1.2\% Ni + 1.2\% Fe + Al_{res}$, high-temperature aluminium powder alloy is developed. It includes the following technological operations: batch mixing, pressing, heating in a reducing environment, hot extrusion, homogenizing annealing, machining, quenching and aging.

Keywords: aluminium, batch, pressing, porosity, sintering, hot extrusion, powder alloys, annealing, quenching, aging.