

Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Գ.Ա. ՎԱՍԻԼՅԱՆ, Ա.Ս. ԱՂԲԱԼՅԱՆ,
Ս.Ա. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Ն.Վ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

**ՏԱՔ ԱՐՏԱՄՂՄԱՄԲ ՍՏԱՑՎԱԾ ԱՄՐԱՆԱՎՈՐՎԱԾ ՁՈՒԼՄԱՆ
ԱՅՈՒՄԻՆԱՅԻՆ ԴԵՖՈՐՄԱՑՎՈՂ ՀԱՄԱՁՈՒՎԱԾՔՆԵՐԻ ՋԵՐՄԱՅԻՆ
ՄՇԱԿՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ**

Ուսումնասիրվել են տաք արտամղմամբ ստացված և պողպատյա թելքերով ամրանալով ձուլման ալյումինային դեֆորմացվող համաձուլվածքների ջերմային մշակման և կառուցվածքի ու հատկությունների ձևավորման գործընթացները: Արդյունքում ընտրվել են միմյան և ծերացման լավարկված ջերմաստիճանները՝ $T_d=530\pm 10^\circ\text{C}$, $T_\delta=80\pm 10^\circ\text{C}$, և ծերացման տևողությունը՝ $\tau_\delta=36$ ժամ, որոնք ապահովում են $\sigma_\delta=570...580$ ՄՆ/մ², HB=1240...1250 ՄՊա, $\delta=8,5...9,5$ % բարձր մեխանիկական հատկությունների ստացում:

Առանցքային բառեր. ձուլում, պողպատյա թելքեր, ամրանալորում, ալյումինային համաձուլվածք, տաք արտամղում, միում, ծերացում, կարծրություն, ամրություն:

Ներածություն: Բարձր տեսակարար ամրությամբ, հրամրությամբ, պլաստիկությամբ և այլ արժեքավոր հատկություններով օժտված նոր նյութերի ստեղծման բնագավառում, մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում թեթև մետաղների հիմքով և մետաղական թելքերով ամրանալորված կոմպոզիտային նյութերը, որոնց մայրակը կարող է ամրացվել դիսպերս մասնիկներով կարծրացման և դիսպերս հատիկներով ամրացման մեխանիզմներով:

Հայտնի է [1, 2], որ արդյունաբերական ալյումինային համաձուլվածքների հավասարակշռված կառուցվածքը ներկայացնում է լեգիրող տարրերի ցածր պարունակությամբ պինդ լուծույթ՝ ինտերմետաղական ֆազերի ներմուծանքներով (Al_2Cu , Al_2CuMg , Mg_2Si , FeAl_3 և այլն): Այսպիսի կառուցվածքի դեպքում ալյումինային համաձուլվածքները, որպես կանոն, ունեն ցածր ամրություն և բարձր պլաստիկություն: Մենյակային ջերմաստիճաններում ալյումինային համաձուլվածքներում առավել անկայուն կառուցվածք է լեգիրող բաղադրիչների գերհագեցած պինդ լուծույթը ալյումինում: Այսպիսի կառուցվածքի դեպքում ալյումինային համաձուլվածքները նույնապես պլաստիկ են, բայց զգալիորեն ավելի ամուր, քան հավասարակշռված վիճակում: Ջերմամշակմամբ ամրացվող ալյումինային համաձուլվածքներում առավելագույն ամրության հասնելու նպատակով անհրաժեշտ է այն ամրանալորել մետաղական թելքերով և միմյան միջոցով ստանալ անհավա-

սարակշիռ կառուցվածք՝ լեգիրող տարրերով գերհագեցած պինդ լուծույթ, այնուհետև ծերացման միջոցով նպաստել գերհագեցած պինդ լուծույթի տրոհմանն ու ինտերմետաղական ֆազերի անջատմանը:

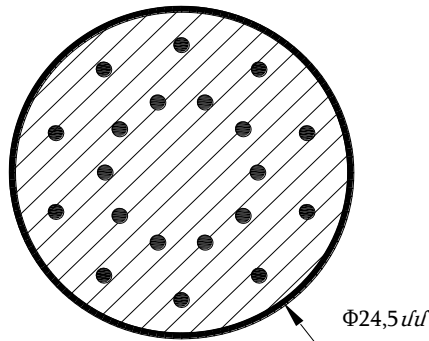
Ելնելով վերոհիշյալից՝ աշխատանքի նպատակն է հետազոտել տաք արտամղմամբ ստացված և պողպատյա թելքերով ամրանավորված ձուլման ալյումինային դեֆորմացվող համաձուլվածքների ջերմային մշակման գործընթացը, կառուցվածքի ու հատկությունների ձևավորման մեխանիզմները և ընտրել ու հիմնավորել ջերմամշակման օպտիմալ ռեժիմները:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը: Հետազոտությունները կատարվել են Al-Cu-Fe-Si համակարգի համաձուլվածքի վրա, որի քիմիական բաղադրությունը բերված է աղյուսակում: Նշված բաղադրությամբ մայրակն ամրանավորվել է 20 հատ երկայնական 60 մկմ տրամագիծ ունեցող պողպատ-40 մակնիշի թելքերով՝ նկ. 1-ում ցույց տրված սխեմայով:

Աղյուսակ

Al5E+(5,7...6,5)%Cu ալյումինային համաձուլվածքի քիմիական բաղադրությունը

Al, %	Fe, %	Si, %	Cu, %	Zn, %	Ti, %	Այլ տարրեր, %
94,5	0,32	0,11	4,5...5,5	0,04	0,01	0,02



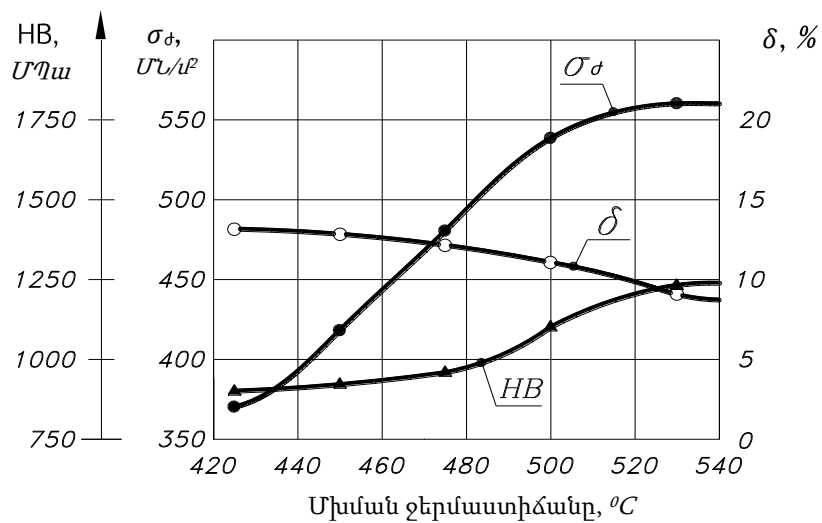
Նկ. 1. Ալյումինային մայրակում պողպատյա թելքի տեղադրման սխեման

Ձուլվածքներում դենդրիտային անհամասեռության վերացման նպատակով դրանք ենթարկվել են հոմոգենացնող թրծման՝ $500 \pm 10^\circ\text{C}$ -ում 10 ժամ պահմամբ, որից հետո $\Phi 24,5 \times 50$ մմ չափերով գլանական նմուշները ենթարկվել են տաք արտամղման՝ $\lambda=4$ արտամղման գործակցով: Տաք արտամղումից հետո նմուշները ենթարկվել են թրծման ($T=300^\circ\text{C}$, $\tau=3$ ժամ)՝ դրանցում առկա մնացորդային լարումները վերացնելու նպատակով:

Միման լավարկված ջերմաստիճանի ընտրման նպատակով ստացված նմուշները ենթարկվել են տաքացման $425...525^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանային տիրույ-

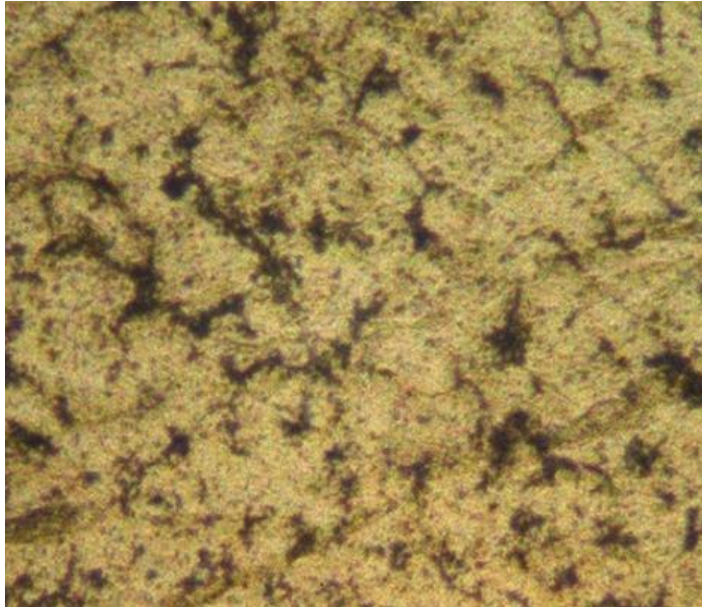
թում, պահվել այդ ջերմաստիճանում 15 րոպե և միավել ջրում: Այնուհետև նմուշները ենթարկվել են արհեստական ծերացման ($T_{\text{ծեր}} = 120^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{ծեր}} = 48$ ժամ), որից հետո ուսումնասիրվել են մեխանիկական հատկությունները:

Հետազոտության արդյունքները: Միման գործընթացի հետազոտության արդյունքները բերված են նկ. 2-ում: Մեխանիկական հատկությունների ուսումնասիրման արդյունքում որպես միման լավարկված ջերմաստիճան ընտրվել է $T_{\text{միմ}} = 515 \dots 525^{\circ}\text{C}$, երբ $\sigma_{\text{ծ}} = 555 \dots 565$ ՄՆ/մ², $\delta = 8,5 \dots 9,5\%$, HB = 1230... 1250 ՄՊա: Համաձուլվածքի միկրոկառուցվածքը բերված է նկ. 3-ում:



Նկ. 2. «Al5E+(4,5...5,5)% Cu+պողպատյա թելքեր» բաղադրությամբ ալյումինային համաձուլվածքի ամրության, կարծրության և հարաբերական երկարացման կախվածությունը միման ջերմաստիճանից. $\tau_{\text{պահ}} = 15$ րոպե, $T_{\text{ծ}} = 120^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{ծ}} = 48$ ժամ

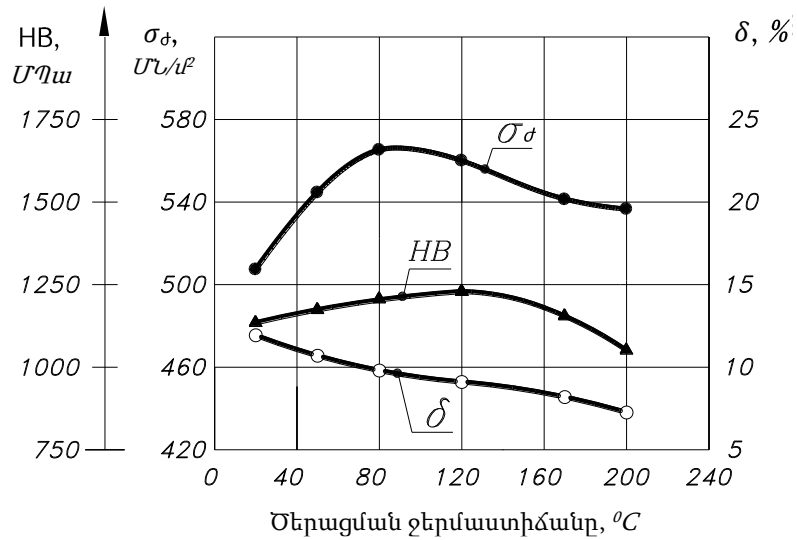
Ինչպես երևում է նկ. 2-ից, միման ջերմաստիճանի բարձրացմանը զուգընթաց մեծանում են համաձուլվածքի ամրությունը և կարծրությունը, որը պայմանավորված է միման ժամանակ մայրակի առավելագույն լեգիրմամբ և գերհագեցած պինդ լուծույթի ստացմամբ (նկ. 3), որից ծերացման ժամանակ անջատված ինտերմետաղական ֆազերը, բաշխված լինելով ամբողջ ծավալով հավասարաչափ և լինելով խիստ մանրահատիկ, նպաստում են ամրության և կարծրության բարձրացմանը՝ միաժամանակ փոքրացնելով հարաբերական երկարացումը և պլաստիկությունը:



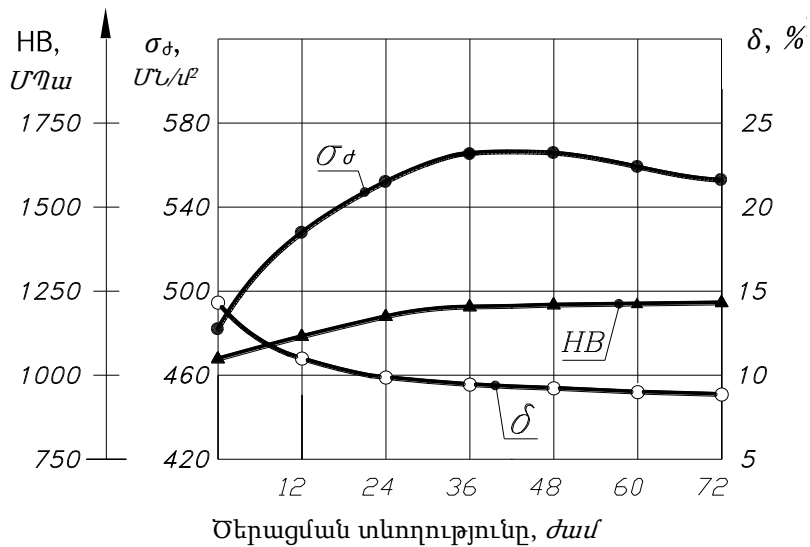
Նկ. 3. «A5E+(4,5...5,5)% Cu+պողպատյա թելքեր» բաղադրությամբ ալյումինային համաձուլվածքի միկրոկառուցվածքը միսված վիճակում ($T_{միս} = 515...525^{\circ}C$, $\tau_{պահ} = 15$ րոպե) $\times 500$

Հաջորդ փուլում ուսումնասիրվել է ծերացման գործընթացը, երբ տեղի է ունենում միսման ժամանակ ստացված գերհազեցած պինդ լուծույթի տրոհում, ինչն ուղեկցվում է ինտերմետաղական ֆազերի անջատումով: Միսված ալյումինային համաձուլվածքների մեծ մասի դեպքում այս գործընթացը տեղի է ունենում սենյակային ջերմաստիճաններում ($0...30^{\circ}C$), և հատուկ տաքացում չի պահանջվում, իսկ որոշ համաձուլվածքներում այն սկսվում է միայն միսված նմուշների տաքացման ժամանակ (սովորաբար մինչև $200^{\circ}C$ ջերմաստիճաններ), որը բացատրվում է դիֆուզիոն գործընթացների ակտիվացմամբ: Միսված նմուշները ենթարկվել են ծերացման $20...200^{\circ}C$ ջերմաստիճանային տիրույթում և պահվել 48 ժամ, որից հետո կատարվել են մեխանիկական փորձարկումներ (նկ. 4): Հետազոտությունների արդյունքում, որպես ծերացման լավարկված ջերմաստիճան, ընտրվել է $80^{\circ}C$ -ը, երբ $HB = 1230...1250$ ՄՊա, $\sigma_{\partial} = 570...580$ ՄՆ/մ², $\delta = 8...9\%$:

Փորձերի հաջորդ փուլում կատարվել է ծերացման ջերմաստիճանում նմուշների պահման տևողության լավարկում: Նմուշները միսվել և ենթարկվել են ծերացման՝ լավարկված ռեժիմներով ($T_{մ} = 525^{\circ}C$, $\tau_{մ} = 15$ րոպե, $T_{ծեր} = 80^{\circ}C$), ու պահվել ծերացման ջերմաստիճանում $0...72$ ժամ տևողությամբ, որից հետո սառեցվել են և ենթարկվել մեխանիկական փորձարկումների (նկ. 5): Արդյունքում որպես պահման լավարկված տևողություն ընտրվել է 36 ժամը, երբ $HB = 1240...1250$ ՄՊա, $\sigma_{\partial} = 570...580$ ՄՆ/մ², $\delta = 8,5...9,5\%$:

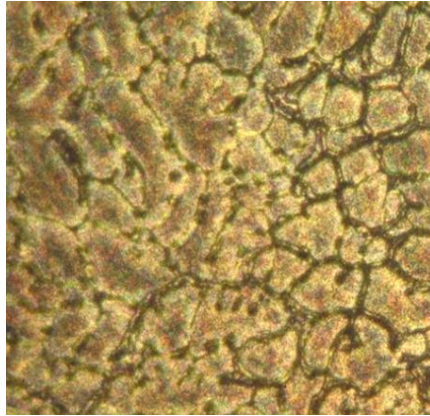


Նկ. 4. «A5E+(4,5...5,5)%Cu+պողպատյա թելքեր» բաղադրությամբ ալյումինային համաձուլվածքի ամրության, կարծրության և հարաբերական երկարացման կախվածությունը ծերացման ջերմաստիճանից. $T_d = 525^\circ\text{C}$, $t_{\text{պահ}} = 15$ րոպե, $\tau_d = 48$ ժամ



Նկ. 5. «A5E+(4,5...5,5)%Cu+պողպատյա թելքեր» բաղադրությամբ ալյումինային համաձուլվածքի ամրության, կարծրության և հարաբերական երկարացման կախվածությունը ծերացման ջերմաստիճանում պահման տևողությունից. $T_d = 525^\circ\text{C}$, $\tau_{\text{պահ}} = 15$ րոպե, $T_d = 80^\circ\text{C}$

Ընտրված ռեժիմներով ջերմամշակված համաձուլվածքի միկրոկառուցվածքը բերված է նկ. 6–ում, համաձայն որի՝ այն ալյումինի հիմքով պինդ լուծույթ է՝ շրջապատված Al_2Cu և FeAl_3 ինտերմետաղական ֆազերով:

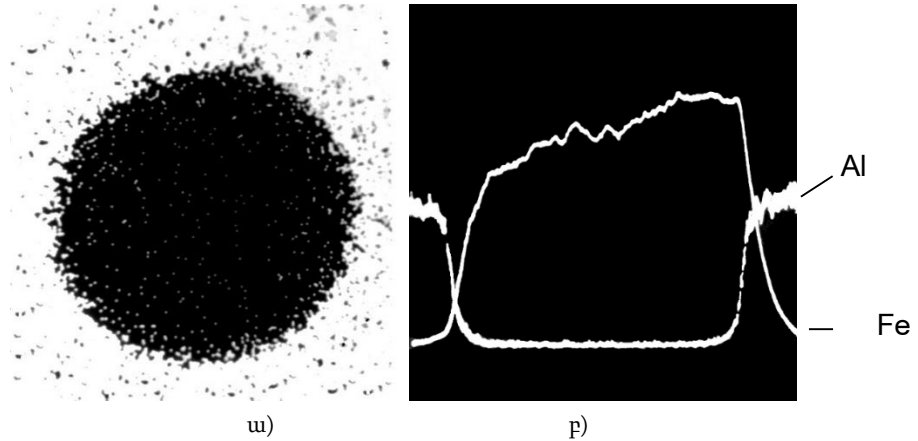


Նկ. 6. Հավարկված ռեժիմներով միաված և ծերացման ենթարկված « $Al-5E+(4,5...5,5)\%Cu+$ +պողպատյա թելքեր» բաղադրությամբ ալյումինային համաձուլվածքի միկրոկառուցվածքը՝
 $T_{միսմ} = 515...525^{\circ}C$, $\tau_{պահ} = 15$ րոպե, $T_{ծեր} = 80...90^{\circ}C$, $\tau_{պահմ} = 36$ ժամ ($\times 500$)

Պինդ վիճակում ալյումինի և երկաթի միջև տեղի ունեցող պինդֆազային փոխազդեցությունները հետազոտվել են մի շարք հեղինակների կողմից, սակայն առավել հետևողական աշխատանքներ կատարել են Նեյմանը ու Դիտրիխը [3]: Համաձայն այդ հետազոտությունների՝ ալյումինի հետ երկաթի քիմիական փոխազդեցությունն սկսվում է $590...600^{\circ}C$ ջերմաստիճաններում, ընդ որում, այն սկսվում է որոշակի ինկուբացիոն ժամանակահատվածից հետո: Փոխազդեցության արագությունը սկզբում աճում է, իսկ մի քանի ժամ անց՝ իսպառ արգելակվում: Հաստատվել է նաև այն, որ պողպատում առկա ածխածինը խոչընդոտում է փոխազդեցությանը: Նմուշների վրա արված հատուկ նիշերի միջոցով հաստատվել է, որ $Al-Fe$ առաջնային սահմանը համապատասխանում է $Al - Fe_2Al_5$ սահմանին: Դիֆուզիային մասնակցում են միայն Al -ի ատոմները, Fe -ի ատոմներն ընդհանրապես չեն մասնակցում այդ գործընթացին: Սահմանային շերտում այդպիսի միակողմանի դիֆուզիայի արդյունքում կուտակվում են ծակոտիներ: Ծակոտկենության մեծացումը հանգեցնում է սահմանային շերտում կոնտակտի քայքայմանը և ինտերմետաղական շերտի հաստության աճի նվազմանը: Նախնական պլաստիկ դեֆորմացիայի դեպքում փոխազդեցության սկզբի ջերմաստիճանը մի փոքր նվազում է՝ մինչև $\sim 560^{\circ}C$, իսկ մեծ դեֆորմացիաների դեպքում՝ մինչև $\sim 400^{\circ}C$:

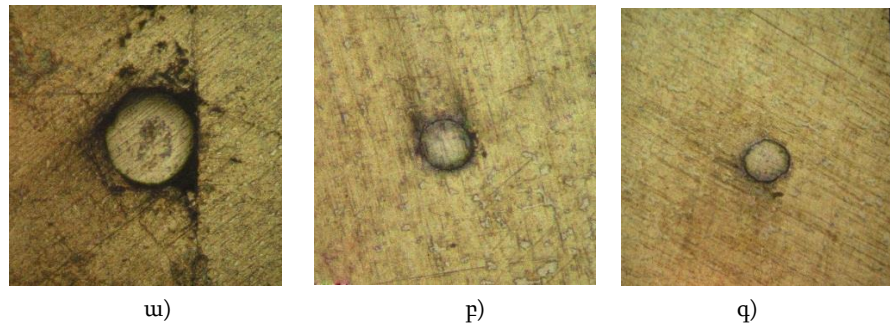
Ելնելով վերհիշյալից՝ կատարվել են հետազոտություններ՝ ձուլմամբ ստացված և այնուհետև տաք արտամղված պողպատյա թելքերով ամրանավորված համաձուլվածքում առկա միջֆազային շերտի բնույթը պարզելու համար: Այդ նպատակով կատարվել է միկրոզոնդային անալիզ, որի արդյունքում սահմանային տիրույթում ինտերմետաղական ֆազեր ($FeAl_3$, Fe_2Al_5) չեն հայտնաբերվել (նկ. 7):

Կոնցենտրացիոն կորերի թեքությունը վկայում է միջֆազային տիրույթում ալյումինում երկաթի պինդ լուծույթի առկայության փաստը:



Նկ. 7. «Al – պողպատ» կոմպոզիտային նյութում կոմպոնենտների բաշխվածությունը ($\times 600$). պատկերները ստացվել են ռենտգենյան ճառագայթման միջոցով. ա) Fe-ի բաշխվածությունը, բ) Fe-ի և Al-ի բաշխվածության ինտենսիվության փոփոխությունը

Կատարվել է ձուլված և արտամղման տարբեր ռեժիմներով տաք արտամղված նմուշների մակրոկառուցվածքի հետազոտում (նկ. 8):



Նկ. 8. «Մայրակ – թելք» կոմպոզիտային նյութի մակրոկառուցվածքը ($\times 200$). ա - ձուլումից հետո՝ մինչև տաք արտամղումը, բ - տաք արտամղումից հետո ($\lambda=4$), գ - տաք արտամղումից հետո ($\lambda=6$)

Ինչպես երևում է նկարից, տաք արտամղման ժամանակ թելքերը ոչ միայն դեֆորմացվել են, այլ փակվել են «թելք – մայրակ» բաժանման հարթությունում առկա ձուլման խոռոչները: Հետազոտությունների արդյունքում պարզվել է, որ անցումային շերտի հաստությունը չի գերազանցում 5 մկմ, որով ապացուցվում է անցումային շերտի բարձր մեխանիկական հատկությունների առկայությունը:

Եզրակացություն: Կատարված տեսական և փորձարարական հետազոտությունների արդյունքում ընտրվել են «A5E+(4,5...5,5)%Cu+պողպատյա թելքեր» բաղադրությամբ ալյումինային ամրանավորված բարձրամուր դեֆորմացվող համաձուլվածքի ջերմամշակման ռեժիմները. միմյան ջերմաստիճանը՝ $T_u = 530^{\circ}\text{C}$, ծերացման ջերմաստիճանը՝ $T_{\delta} = 80^{\circ}\text{C}$, ծերացման տևողությունը՝ $\tau_{\delta} = 36$ ժամ, որոնք ապահովում են բարձր մեխանիկական հատկությունների ստացում՝ $\sigma_{\delta} = 570...580 \text{ ՄՆ/մմ}^2$, $\text{HB} = 1240...1250 \text{ ՄՊա}$, $\delta = 8,5...9,5\%$: Այսպիսի ռեժիմներով ջերմամշակված համաձուլվածքի միկրոկառուցվածքը ներկայացնում է ալյումինի հիմքով պինդ լուծույթ՝ շրջապատված Al_2Cu և FeAl_3 ինտերմետաղական ֆազերով:

Հետազոտությունները կատարվել են Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի «Նյութագիտություն և մետալուրգիա» բազային գիտահետազոտական լաբորատորիայում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Колачев Б.А., Ливанов В.А., Елагин В.И.** Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов.- Изд. 2-е.- М.: Металлургия, 1981.- 416 с.
2. **Мондольфо Л.Ф.** Структура и свойства алюминиевых сплавов.- М.: Металлургия, 1979.- 640 с.
3. **Иванова В.С., Копьев И.М.** Упрочнение металлов волокнами: Монография.- М.: Наука, 1973.- 207 с.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 21.11.2023:

**С.Г. АГБАЛЯН, Г.А. ВАСИЛЯН, А.С. АГБАЛЯН, С.А. АРУТЮНЯН,
Н.В. ВАРДАНИЯН**

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ АРМИРОВАННЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ ДЕФОРМИРУЕМЫХ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ГОРЯЧИМ ВЫДАВЛИВАНИЕМ

Изучены процессы термической обработки и формирования структуры и свойств армированных стальными волокнами алюминиевых деформируемых литейных сплавов, полученных методом горячего выдавливания. В результате были выбраны оптимальные температуры закалки и старения: $T_z = 530 \pm 10^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{ст}} = 80 \pm 10^{\circ}\text{C}$ и продолжительность старения: $\tau_{\text{ст}} = 36$ час, которые обеспечивают получение высоких механических свойств: $\sigma_{\delta} = 570...580 \text{ МН/м}^2$, $\text{HB} = 1240...1250 \text{ МПа}$, $\delta = 8,5...9,5\%$.

Ключевые слова: литье, стальные волокна, упрочнение, алюминиевый сплав, горячее выдавливание, закалка, старение, твердость, прочность.

**S.G. AGBALYAN, G.A. VASILYAN, A.S. AGBALYAN,
S.A. ARUTYUNYAN, N.V. VARDANIAN**

**INVESTIGATING THE THERMAL TREATMENT PROCESSES OF
REINFORCED ALUMINUM DEFORMABLE CASTING ALLOYS
OBTAINED BY HOT EXTRUSION**

The processes of heat treatment and formation of the structure and properties of aluminum deformable casting alloys reinforced with steel fibers obtained by the method of hot extrusion are studied. As a result, optimal tempering and aging temperatures are selected. $T_r = 530 \pm 10^\circ\text{C}$, $T_{ag} = 80 \pm 10^\circ\text{C}$, the duration of aging. $\tau_{ag} = 36 \text{ hours}$, which provide high mechanical properties. $\sigma_T = 570 \dots 580 \text{ MH/m}^2$, $HB = 1240 \dots 1250 \text{ MPa}$, $\delta = 8.5 \dots 9.5\%$.

Keywords: casting, steel fiber, strengthening, aluminum alloy, hot extrusion, hardening, aging, hardness, strength.