

Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Ա.Մ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Գ.Ա. ՎԱՍԻԼՅԱՆ, Տ.Ն. ՍԱՖԱՐՅԱՆ,
Ա.Ս. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Տ.Ա. ԴԵՄԻՐՉՅԱՆ

**Al-Cu-Fe-Si ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԱԼՅՈՒՄԻՆԱՅԻՆ ԴԵՖՈՐՄԱՑՎՈՂ
ՀԱՄԱՁՈՒԼ ՎԱԾՔՆԵՐԻ ՁՈՒԼՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ**

Ընտրվել և հիմնավորվել է A5E մակնիշի ալյումինային համաձուլվածքը՝ որպես բարձրամուր ալյումինային դեֆորմացվող համաձուլվածքների մայրակի նյութ, որպես լեգիրող տարր՝ M0 և M1 մակնիշի պղինձը: Կատարված համալիր հետազոտությունների արդյունքում մշակվել է Al-Cu-Fe-Si համակարգի ալյումինային դեֆորմացվող համաձուլվածքների ձուլման տեխնոլոգիա, ընտրվել և հիմնավորվել են 5,7...6,5% պղինձ պարունակող ալյումինային դեֆորմացվող համաձուլվածքի ձուլման լավարկված ռեժիմները, համաձայն որոնց հալույթի լցման ջերմաստիճանը պետք է լինի $730 \pm 10^\circ\text{C}$ միջակայքում, ձուլաձևի ջերմաստիճանը՝ $120 \pm 10^\circ\text{C}$, որի դեպքում հեղուկահոսունությունը ստացվում է 430 մմ, գծային կծկվածքը՝ 1,6...1,65%, HB=1230...1250 ՄՊա, $\sigma_d=415...420$ ՄՆ/մ², $\delta=6...7\%$:

Ցույց է տրված, որ ալյումինային համաձուլվածքների ձուլային հատկությունները, ինչպիսիք են հեղուկահոսունությունը, գծային կծկվածքը և լիկվացիան, խիստ կերպով կախված են համաձուլվածքի քիմիական բաղադրությունից, կառուցվածքից, լիկվիդուսի և սոլիդուսի ջերմաստիճաններից, ջերմունակությունից, ջերմահաղորդականությունից և այլ պայմաններից:

Առանցքային բառեր. ալյումինային համաձուլվածք, կոմպոզիտային նյութ, մայրակ, լեգիրում, հալույթ, ձուլում, հեղուկահոսունություն, գծային կծկվածք, լիկվացիա, ջերմամշակում, տեսակարար ամրություն:

Ներածություն. Ժամանակակից տեխնիկայում լայն կիրառություն են գտել բարձր տեսակարար ամրությամբ բորալյումինային, ալյումին-ածխածնային, ալյումին-սիլիցիումային, ալյումին-նիկլային, ալյումին-մագնեզիումային, պղինձ-ալյումինային, ալյումին-մանգանային և դեֆորմացվող այլ համաձուլվածքներ: Ֆունկցիոնալ հատկություններով օժտված ալյումինային համաձուլվածքների ստացման նպատակով ալյումինը լեգիրում են նաև այլ մետաղներով, ինչպիսիք են՝ Fe, Co, Ni, Pd, Pt, Cu, Ag, Au, Pb, Li, Ca, Sr, Ce, Th: Սակայն այս մետաղները պարբերական համակարգում գտնվում են ալյումինից հեռու և ունեն ալյումինից խիստ տարբերվող էլեկտրոնային կառուցվածք: Այդ իսկ պատճառով ոչ մի տարր ալյումինի հետ պինդ վիճակում չի դրսևորում անսահմանափակ լուծվելիություն [1-3]: Առավել ցայտուն լուծվելիության մեծացման միտում դիտվում է այն տարրերի դեպքում, որոնք պարբերական համակարգում գտնվում են ալյումինի մոտ [3]:

Որպես լեգիրող տարրեր ավելի շատ կիրառում են պոլինձը, մանգանը, մագնեզիումը, ցինկը, սիլիցիումը, վերջին ժամանակներս՝ նաև լիթիումը, սակայն սահմանափակ քանակներով: [4, 5] աշխատանքներից հայտնի է, որ տիտանը, բորը և ցիրկոնիումը մանրացնում են ալյումինային համաձուլվածքների հատիկը, այն դարձնելով մանրահատիկ, մեծացնելով մեխանիկական հատկությունները, հատկապես ամրությունը:

Ալյումինային դեֆորմացվող համաձուլվածքները, ի տարբերություն ձուլման համաձուլվածքների, լավ են մշակվում մամլմամբ, գլոցմամբ, դրոշմամբ և այլն: Դեֆորմացված և չդեֆորմացված վիճակում $\Delta 1$, $\Delta 6$, $\Delta 16$, AK6, AK8, B95, B Δ 17, $\Delta 19$, $\Delta 20$, $\Delta 21$ և այլ մակնիշների համաձուլվածքներն ունեն բարձր մեխանիկական հատկություններ [6]: Ուստի այդ համաձուլվածքներից պատրաստված թերթերը, ձողերը, զանազան պրոֆիլները և դրոշմվածքները լայնորեն կիրառվում են տնտեսության տարբեր բնագավառներում:

Մինչև 20-րդ դարի կեսերը մեծ կիրառություն էին գտել Al-Cu-Mg-Mn համակարգի համաձուլվածքները, այնուհետև սկսեցին օգտագործել նաև Al-Mg-Mn, Al-Mg-Si, Al-Mg-Si-Cu, Al-Zn-Mg-Cu և այլ համակարգերի համաձուլվածքներ [7]: Բարձրամուր ալյումինային դեֆորմացվող բոլոր համաձուլվածքներն ունեն ցածր կոռոզիակայնություն, այդ պատճառով դյուրալյումիններից պատրաստված թերթերը հաճախ պատում են մաքուր ալյումինի շերտով:

Ըստ ֆիզիկաքիմիական և տեխնոլոգիական հատկությունների՝ ալյումինային դեֆորմացվող համաձուլվածքները բաժանվում են հետևյալ խմբերի [8].

1. Ցածր լեգիրված և ջերմամշակմամբ չամրացվող համաձուլվածքներ, օրինակ՝ AMu, AMr և այլն:

2. Al-Cu-Mg-Mn համակարգի համաձուլվածքներ, որոնք անվանվում են դյուրալյումիններ, օրինակ՝ $\Delta 1$, $\Delta 6$, $\Delta 16$, B Δ 17 և այլն:

3. Al-Mg-Si, Al-Mg-Si-Cu համակարգերի համաձուլվածքներ, օրինակ՝ AB, AK6, AK8 և այլն:

4. Al-Cu-Mg-Fe-Ni համակարգի համաձուլվածքներ, օրինակ՝ AK2, AK4, AK4-1 և այլն:

5. Al-Cu-Mn համակարգի համաձուլվածքներ, օրինակ՝ $\Delta 20$, $\Delta 21$ և այլն:

6. Al-Zn-Mg-Cu համակարգի համաձուլվածքներ, օրինակ՝ B95, B95-1, B94, B96 և այլն:

Դյուրալյումիններն օժտված են ամրության և տեխնոլոգիական հատկությունների լավ հարաբերակցությամբ և օգտագործվում են միաված ու ծեղացված վիճակում, իսկ Al-Mg-Si և Al-Mg-Si-Cu համակարգերի համաձուլվածքները՝ բարձր տեխնոլոգիական հատկություններով, և նրանցից անընդհատ ձուլմամբ ստացված ձուլուկները լավ կոելի են: Այս համաձուլվածքները մեծ կիրառություն են

ստացել արդի տեխնիկայում, իսկ արտադրատեսակները միումից հետո ենթարկում են ինչպես բնական, այնպես էլ արհեստական ծերացման:

Al-Cu-Mg-Fe-Ni համակարգի համաձուլվածքներն ունեն լավ կռելիություն, և նրանցից պատրաստվում են բարդ երկրաչափական ձև ունեցող կոմպոնենտներ ու դրոշմվածքներ, որոնք ունակ են աշխատելու բարձր ջերմաստիճաններում, մինչդեռ Al-Cu-Mn համակարգի համաձուլվածքներն առանձնանում են հրամրությամբ և ունեն բարձր տեխնոլոգիական հատկություններ, բայց ցածր կոռոզիակայունություն: Al-Zn-Mg-Cu խմբի համաձուլվածքներն օժտված են առավել բարձր ամրությամբ սենյակային ջերմաստիճաններում, սակայն ունեն հակվածություն կոռոզիայի նկատմամբ [9]:

Խնայողի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը. Աշխատանքի նպատակն է մշակել Al-Cu-Fe-Si համակարգի ալյումինային դեֆորմացվող համաձուլվածքների ձուլման տեխնոլոգիա և հիմնավորել լավարկված ռեժիմները:

Ալյումինային դեֆորմացվող համաձուլվածքները կիրառվում են պինդֆազային մեթոդներով կոմպոզիտային նյութերի ստացման համար: Այս համաձուլվածքների մեծ մասն օժտված է ցածր խտությամբ, բարձր ջերմա- և էլեկտահադրդականությամբ, լավ կոռոզիակայունությամբ, բարձր տեխնոլոգիական պլաստիկությամբ:

Ձուլման ալյումինային համաձուլվածքները կիրառում են հեղուկֆազային մեթոդներով կոմպոզիտային նյութերի ստացման համար: Այս համաձուլվածքներն օժտված են բարձր հեղուկահոսունությամբ, ոչ մեծ զծային կծկվածքով, ճաքագոյացման նկատմամբ ցածր հակվածությամբ: Առավել հաճախ կիրառվում են Al-Cu, Al-Si, Al-Mg համակարգի համաձուլվածքները:

Տեխնիկական մաքրությամբ ալյումինային համաձուլվածքները հաճախ կիրառում են ինչպես հեղուկ, այնպես էլ պինդֆազային մեթոդներով կոմպոզիտային նյութերի ստացման համար:

Նշված կոմպոզիտային նյութը նպատակահարմար է ստանալ հեղուկֆազային (ձուլման) եղանակով: Հալույթի ստացման համար բովախառնուրդային նյութերը բեռնավորվել են հալքանոթում հետևյալ հաջորդականությամբ. առաջին հերթին ներմուծվել է ալյումինային ջարդոնը, հալույթը գերտաքացվել է մինչև 760°C , և ներմուծվել է պղինձը: Բովախառնուրդային նյութերը չպետք է պարունակեն խոնավություն, խառնուրդներ, տարբեր տեսակի քսուքներ:

Հալույթի մակերևութին գոյացող օքսիդային թաղանթը պաշտպանում է մետաղը հետագա օքսիդացումից: Այդուհանդերձ, անհրաժեշտ է կիրառել ծածկութային ֆլյուսներ՝ խառնուկային տարրերի օքսիդների հեռացման և խարամից մետաղի վերականգնման նպատակով: Որպես ծածկութային ֆլյուս օգտագործվել է հետևյալ բաղադրությամբ ֆլյուսը՝ 45 % NaCl+55 % KCl:

Ջրածինը գազերից միակն է, որն օժտված է բավականաչափ բարձր լուծվելիությամբ ալյումինում: Նախապատրաստվածքներում այն կարող է առաջացնել փքվածքներ և ապաշերտավորումներ ճնշմամբ մշակման տարբեր գործընթացներում: Ջրածնով հագեցման պատճառը հալույթի փոխազդեցությունն է խոնավության հետ: Խոնավության աղբյուրներն են. մթնոլորտային օդը, որը ձմռանը և ամռանը համապատասխանաբար պարունակում է 2...4,5-ից մինչև 18,5...23 g/m^3 խոնավություն, բովախառնուրդային նյութերի մակերևույթին ադսորբված խոնավությունը, քսանյութերի մնացորդները, հալման ագրեգատի միջոցով ադսորբված խոնավությունը, պինդ ֆյուսներից ադսորբցված կամ քիմիապես կապված խոնավությունը և այլն: Ուստի գազապարունակության նվազեցման նպատակով անհրաժեշտ է խուսափել հալույթի գերտաքացումից, տարբեր տեսակի յուղերի և քսուքներ պարունակող մետաղաջարդոնի օգտագործումից: Անհրաժեշտ է նախօրոք տաքացնել բովախառնուրդը և այլն:

Գազագերծման նպատակով հալույթը մշակվում է քլորով, ազոտով, արգոնով և այլ իներտ գազերով կամ տարբեր ֆյուսներով: Հալույթի մաքրումը ոչ մետաղական ներմուծանքներից, մասնավորապես օքսիդային թաղանթներից, իրականացվում է հալույթի ռաֆինացմամբ գազերով, պինդ և հեղուկ ֆյուսներով, ինչպես նաև ֆիլտրումով:

Հալման գործընթացն իրականացվել է CIIIOL-1.1.6/12ե մակնիշի էլեկտրադիմադրության վառարանում: Ջերմաստիճանի չափումն իրականացվել է «CIIIOL-1.1.6/12» քրոմել-ալյումելային ջերմագույգի և KCI-3 պոտենցիալի միջոցով:

Հեղուկահոսունությունը որոշվել է հայտնի եղանակով՝ պարույրի տեսք ունեցող ձուլվածքային խոռոչի մեջ հեղուկ մետաղի լցմամբ: Փորձարկումների համար պատրաստվել է մետաղական ձև, որը բաղկացած է երեք կիսաձևերից: Կիսաձևերը հավաքելուց հետո ձուլվածքը տեղադրվել է խիստ հորիզոնական դիրքով, և կատարվել է մետաղի լցում: Պարուրաձև խոռոչում նախատեսված են ելուստներ իրարից 50 mm հեռավորությամբ, որոնցով որոշվել է պարույրի լցված մասի երկարությունը: Ձուլվածքի պարուրաձև խոռոչն ունի սեղանաձև կտրվածք՝ 0,56 mm^2 մակերեսով: Ձուլվածքի խոռոչը լցվել է երկու փուլով՝ հալույթի ջերմաստիճանից մինչև բյուրեղացման սկիզբը և նրանից մինչև հեղուկի հոսքի դադարեցումը [10]: Դա, այսպես կոչված, գրոյական հեղուկահոսունությունն է, որը տեղի է ունենում շնորհիվ հեղուկում բավարար քանակությամբ պինդ ֆազի առաջացման: Պարզ է, որ գրոյական հեղուկահոսունություն առաջանում է լիկվիդուսի և սոլիդուսի ջերմաստիճանային միջակայքում:

Հեղուկահոսունությունը կախված է բյուրեղացման բնույթից: Էվտեկտիկական համաձուլվածքների դեպքում բյուրեղացումը տեղի է ունենում բոլոր կողմե-

րից՝ ձուլաձևի պատերից դեպի կենտրոն, և հեղուկը շարունակում է հոսել նեղացող խոռոչով: Այս դեպքում պատերի վրա ձևավորվում է պինդ ֆազը: Այդ պատճառով էվտեկտիկական համաձուլվածքներն ունեն առավելագույն հեղուկահոսունություն: Մաքուր ալյումինը բյուրեղանում է դենդրիտների տեսքով, որոնց աճը խանգարում է հեղուկի հոսունությանը, ուստի նրա հեղուկահոսունությունը փոքր է էվտեկտիկականից: Առավել մեծ հեղուկահոսունություն ունեն լիկվիդուսի և սուլիդուսի լայն միջակայք ունեցող համաձուլվածքները: Հեղուկահոսունության վրա զգալի ազդեցություն է թողնում բյուրեղացման ջերմաստիճանը: Մածուցիկությունը դանդաղեցնում է հեղուկի հոսքը: Սակայն լեգիրող տարրերի կոնցենտրացիայի մեծացման հետևանքով մածուցիկության փոփոխման մեխանիզմը չի կարելի կապել հեղուկահոսունության փոփոխման մեխանիզմի հետ: Հեղուկահոսունությունը բնութագրվում է նաև հեղուկի մաքրությամբ, ընդ որում, հեղուկ ֆազում օքսիդների առկայությունը փոքրացնում է մետաղի հեղուկահոսունությունը:

Գծային կծկվածքի մեծությունը որոշվել է հատուկ մետաղական ձևի միջոցով՝ ըստ ԳOUS 16817-71: Այն բաղկացած է 2 մասերից՝ շարժական ու անշարժ: Հեղուկ մետաղը լցնելուց հետո նմուշի կծկումն առաջացնում է ձուլաձևի շարժական մասի տեղաշարժ: Ձևը սառեցվել է ջրով, ինչը հնարավորություն է տալիս ստանալ սառեցման մեծ արագություն ($500...600\text{ }^{\circ}\text{C/րոպե}$):

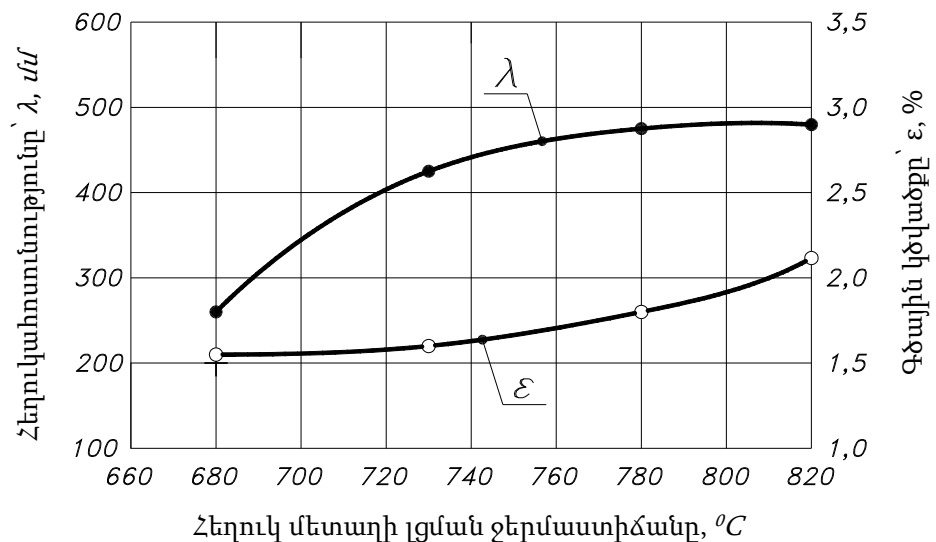
Գծային կծկվածքի տեսությունը հիմնավորելու համար է բյուրեղացման միջակայքը բաժանվում է երկու մասի: Առաջինը, երբ բյուրեղիկներն ազատ են և իրարից բաժանված են հեղուկով: Համաձուլվածքն այդպիսի պինդ-հեղուկ վիճակում օժտված է հեղուկին բնորոշ հատկությամբ, այսինքն՝ բարձր հոսունությամբ: Այդ պատճառով ջերմային կծկումն այդ փուլում չի կարող արտահայտվել ձուլվածքի գծային չափերի փոքրացմամբ: Որոշակի ջերմաստիճանից ցածր ջերմաստիճաններում բյուրեղիկներն առաջացնում են ցանց, որի դեպքում առկա է հեղուկ ֆազը, և այդպիսի պինդ հեղուկ վիճակում համաձուլվածքն օժտված է պինդ մարմնին բնորոշ հատկությամբ, այսինքն՝ մինչև այդ ստացած ձևի պահպանմամբ: Սկսած այդ պահից՝ զարգանում է ձուլվածքի գծային կծկվածքը: Գծային կծկվածքի վրա ազդում են ֆազային փոխակերպությունները, ներքին և ջերմային լարումները, մեխանիկական արգելակումը, գազերի դուրս գալը և այլն [10, 11]:

Կոմպոզիտային նյութի մեխանիկական հատկությունները լավացնելու համար այն ենթարկվել է միմյան և արհեստական ծերացման: Ձգման փորձարկումներն իրականացվել են TIRATEST-2300 ձգման մեքենայի միջոցով, որը նախատեսված է պինդ նյութերի ձգման, սեղմման և ծռման ժամանակ մեխանիկական հատկությունների ուսումնասիրության համար: Ուսումնասիրվել է նաև մշակված կոմպոզիտային նյութի միկրոկառուցվածքը, որի համար օգտագործվել են

МММ-8М մակնիշի օպտիկական մանրադիտակ և անդրադարձված լույսի մեծ զգայնությամբ լուսամանրադիտակ NEOPHOT-21:

Հետազոտության արդյունքները. Հետազոտությունները կատարվել են Al-Cu-Fe-Si համակարգի համաձուլվածքների վրա: Որպես մայրակի նյութ ընտրվել է A5E մակնիշի ալյումինային համաձուլվածքը (Al=99,5%, Fe=0,35%, Si=0,12%, Cu=0,02%, Zn=0,04%, Ti=0,01%, այլ տարրեր - 0,02%), իսկ որպես լեգիրող տարր՝ Mo և M1 մակնիշի պղինձը: Ձուլումից հետո ձուլվածքները ենթարկվել են հոմոգենացնող թրծման ($T_{\text{հոմ}}=500\pm 10^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{պահ}}=10$ ժամ):

Փորձերի առաջին փուլում իրականացվել է հալույթի լցման լավարկված ջերմաստիճանի ընտրում, որի համար A5E մակնիշի համաձուլվածքը տաքացվել է մինչև $680\dots 810^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճաններ, այնուհետև լեգիրվել է 6% պղինձով և լցվել նախօրոք մինչև 120°C տաքացված ձուլվածքների մեջ: Ուսումնասիրվել են հեղուկահոսունությունը և գծային կծկվածքը, որի արդյունքները ցույց են տրված նկ. 1-ում:

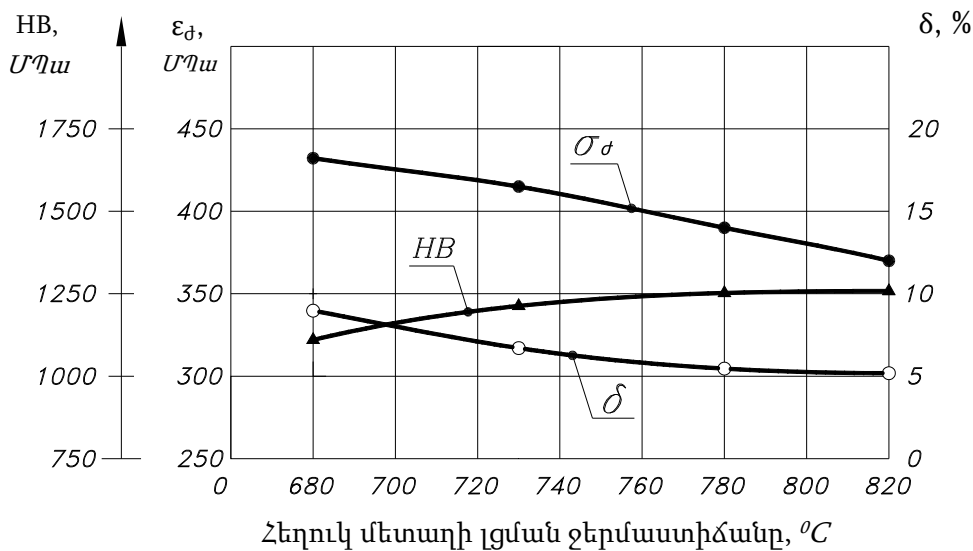


Նկ. 1. Համաձուլվածքի հեղուկահոսունության և գծային կծկվածքի կախվածությունը հալույթի լցման ջերմաստիճանից

Այնուհետև ձուլվածքները ենթարկվել են հոմոգենացնող թրծման $T_{\text{հոմ}}=500\pm 10^{\circ}\text{C}$ -ից, $\tau_{\text{պահ}}=10$ ժամ պահման տևողությամբ: Պատրաստվել են մեխանիկական հատկությունների փորձարկման նմուշներ, որոնք ենթարկվել են միմյան ($T_{\text{միմ}}=500\dots 525^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{պահ}}=15$ րոպե) և արհեստական ծերացման ($T_{\text{ծեր}}=120\pm 10^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{պահ}}=48$ ժամ): Փորձարկման արդյունքները ցույց են տրված նկ. 2-ում:

Ինչպես ցույց են տալիս փորձի արդյունքները, հալույթի ջերմաստիճանի բարձրացմանը զուգընթաց հեղուկահոսունությունը սկզբում աճում է, իսկ $780\dots 820^{\circ}\text{C}$

ջերմաստիճանային միջակայքում դառնում է հաստատուն, մինչդեռ պետք է անընդհատ աճեր: Այս երևույթը բացատրվում է նրանով, որ ալյումինային հալույթը, բարձր ջերմաստիճաններում լինելով չափազանց ակտիվ, փոխազդում է թթվածնի հետ և առաջացնում դժվարահալ Al_2O_3 օքսիդ, որը և փոքրացնում է հեղուկահոսությունը: Ջերմաստիճանի աճին զուգընթաց գծային կծկվածքի անընդհատ աճը բացատրվում է այն փաստով, որ հալույթը ավելի երկար է մնում պինդ-հեղուկ վիճակում, և հետևաբար՝ բյուրեղացման արդյունավետ միջակայքը ստացվում է մեծ:



Նկ. 2. Համաձուլվածքի ամրության, կարծրության և հարաբերական երկարացման կախվածությունը հալույթի լցման ջերմաստիճանից

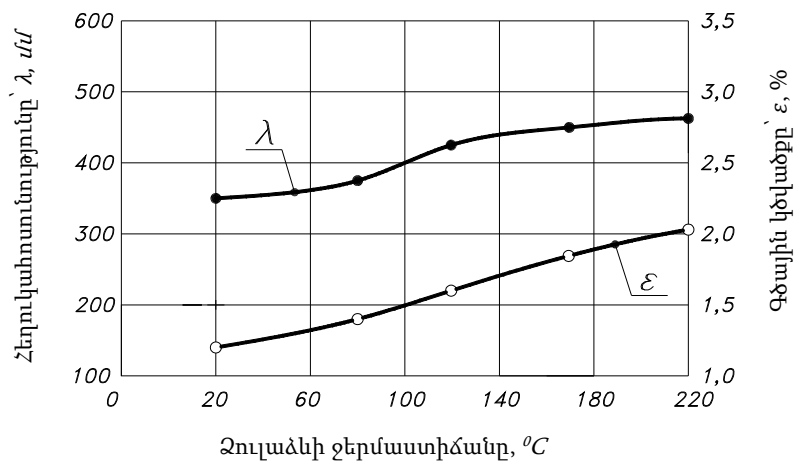
Համաձուլվածքի ամրության սահմանի և հարաբերական երկարացման նվազումը, հալույթի ջերմաստիճանի բարձրացմանը զուգընթաց, պայմանավորված է սառեցման փոքր արագությամբ, որի դեպքում այն ստացվում է խոշորահատիկ կառուցվածքով: Կարծրության բարձրացումը պայմանավորված է հալույթի և արտաքին միջավայրի ինտենսիվացմամբ, որի արդյունքում մեծանում է օքսիդների և այլ միացությունների քանակությունը համաձուլվածքում:

Հետազոտությունների արդյունքում որպես հալույթի լցման լավարկված ջերմաստիճան ընտրվել է $T_{լցմ} = 730 \pm 10^\circ C$, երբ հեղուկահոսունությունը հավասար է 420...430 մմ, գծային կծկվածքը՝ 1,6...1,65%, HB=1230...1250 UTM, $\sigma_{\delta}=415...420$ UTM/մմ², $\delta=6...7\%$:

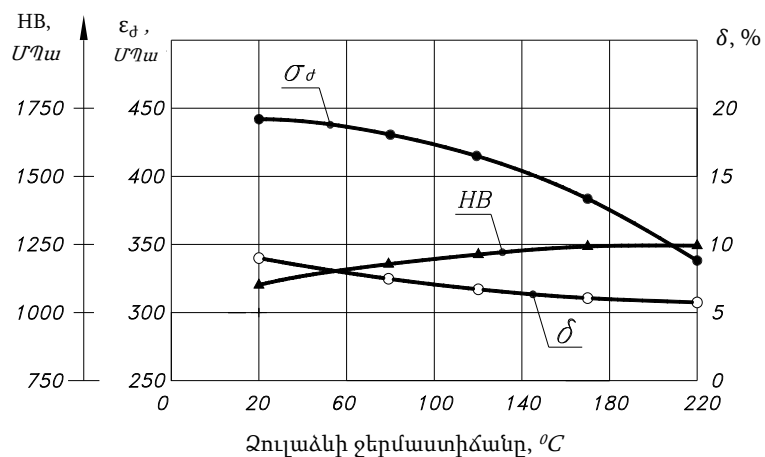
Փորձերի հաջորդ փուլում կատարվել է ձուլվածքի լավարկված ջերմաստիճանի ընտրում: Մինչև $730 \pm 10^\circ C$ տաքացված հալույթը լցվել է 20...220°C նախօրոք տաքացված ձևի մեջ, և ուսումնասիրվել են հեղուկահոսունությունն ու գծային

կծկվածքը (նկ. 3): Այնուհետև ձուլվածքները ենթարկվել են հոմոգենացնող թրծման ($T_{\text{հոմ}}=500 \pm 10^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{պահ}}=10$ ժամ), մեխանիկական մշակումից հետո՝ միմյան ($T_{\text{միմ}}=500...525^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{պահ}}=15$ րոպե) և արհեստական ծեղացման ($T_{\text{ծեղ}}=120 \pm 10^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{պահ}}=48$ ժամ): Մեխանիկական հատկությունների կախվածությունը ձուլաձևի ջերմաստիճանից ներկայացված է նկ. 4-ում:

Ինչպես երևում է փորձի արդյունքներից, ձուլաձևի ջերմաստիճանից կախված՝ համաձուլվածքի հեղուկահոսունությունը և գծային կծկվածքը մեծանում են. բարձրանում է նաև կարծրությունը, իսկ պլաստիությունն ու ամրությունը նվազում են:



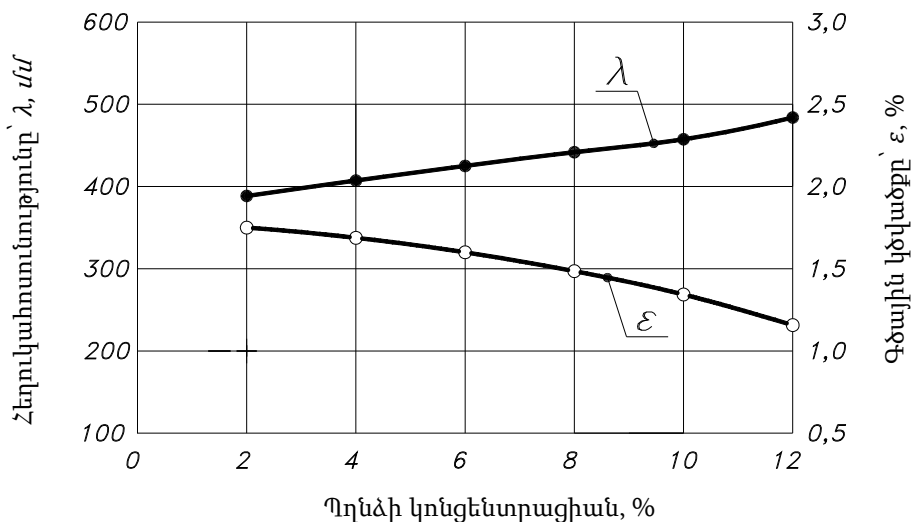
Նկ. 3. Համաձուլվածքի հեղուկահոսունության և գծային կծկվածքի կախվածությունը ձուլաձևի ջերմաստիճանից



Նկ. 4. Համաձուլվածքի ամրության, կարծրության և հարաբերական երկարացման կախվածությունը ձուլաձևի ջերմաստիճանից

Ստացված արդյունքերից հետևում է, որ ձուլաձևի ջերմաստիճանի փոփոխման դեպքում դիտվում են նույն օրինաչափությունները, որոնք ապահովվում էին հալույթի ջերմաստիճանի փոփոխման ժամանակ: Պատճառները պարզ են. որքան բարձր է ձուլաձևի ջերմաստիճանը, այնքան փոքր է սառեցման արագությունը, հետևապես՝ ուշ է սկսվում բյուրեղացման գործընթացը: Արդյունքում հեղուկահոսունությունը և գծային կծկվածքը դանդաղ մեծանում են, իսկ ամրությունը և պլաստիկությունը, շնորհիվ խոշորահատիկ կառուցվածքի ստացման, նվազում: Հետազոտությունների արդյունքում որպես ձուլաձևի լավարկված ջերմաստիճան ընտրվել է $T_{\text{ձև}}=120\pm 10^{\circ}\text{C}$, երբ հեղուկահոսունությունը հավասար է $420\ldots 430$ մՎ, գծային կծկվածքը՝ $1,6\ldots 1,65\%$, $\text{HB}=1230\ldots 1250$ ՄՊա, $\sigma_{\text{ծ}}=415\ldots 420$ ՄՆ/մ², $\delta=6\ldots 7\%$:

Փորձերի վերջնական փուլում կատարվել է պղնձի լավարկված բաղադրության որոշում: Պղնձի 2-12% պարունակությամբ հալույթը $T_{\text{լցմ}}=730\pm 10^{\circ}\text{C}$ -ում լցվել է մինչև $T_{\text{ձև}}=120\pm 10^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանը նախօրոք տաքացված ձևի մեջ, և ուսումնասիրվել են հեղուկահոսունությունն ու գծային կծկվածքը (նկ. 5):

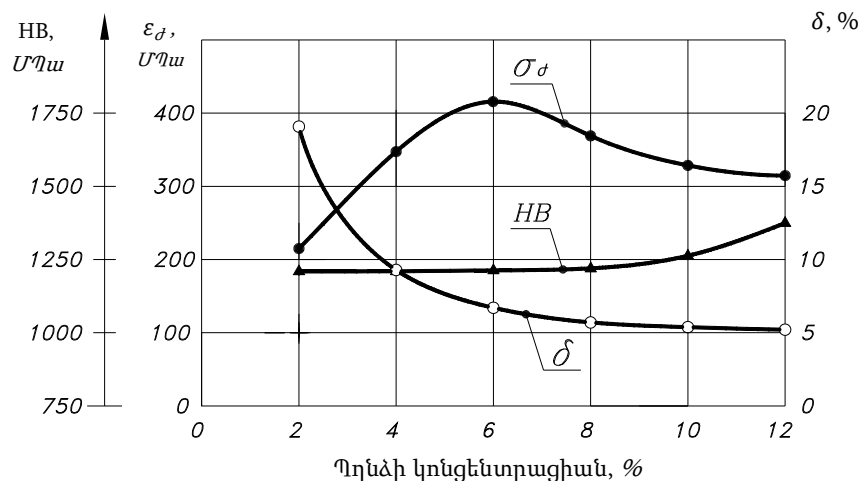


Նկ. 5. Համաձուլվածքի հեղուկահոսունության և գծային կծկվածքի կախվածությունը պղնձի կոնցենտրացիայից

Այնուհետև ձուլվածքները ենթարկվել են համապատասխան ջերմամշակման (հոմոգենացնող թրծում, մխում և ծերացում), և որոշվել է մեխանիկական հատկությունների կախվածությունը պղնձի կոնցենտրացիայից, որը ցույց է տրված նկ. 6-ում:

Պղնձի կոնցենտրացիայի բարձրացման հետևանքով կարծրությունն անընդհատ բարձրանում է, որը պայմանավորված է CuAl_2 ինտերմետաղական ֆազի աճելացմամբ: Մինչև 6% Cu-ի պարունակության դեպքում բարձրանում է նաև

ամրությունը, իսկ այնուհետև սկսում է նվազել՝ ի հաշիվ փխրուն CuAl_2 ֆազի կոնցենտրացիայի մեծացման: Պլաստիկության անընդհատ նվազումը նույնպես պայմանավորված է CuAl_2 ֆազի կոնցենտրացիայի մեծացմամբ: Cu -ի կոնցենտրացիայի անընդհատ մեծացումը նպաստում է հատիկների սահմանագծերում CuAl_2 ֆազի ցանցի ստեղծմանը, որի առկայությունը, փխրունության շնորհիվ, հանգեցնում է նրա պլաստիկության և ամրության հետագա նվազման:



Նկ. 6. Համաձուլվածքի ամրության, կարծրության և հարաբերական երկարացման կախվածությունը պղնձի կոնցենտրացիայից

Հետազոտությունների արդյունքում որպես պղնձի լավարկված բաղադրություն ընտրվել է 5,5...6,5%, որի դեպքում համաձուլվածքի հեղուկահոսունությունը հավասար է 420...430 մմ, գծային կծկվածքը՝ 1,6...1,65%, $\text{HB}=1230\text{...}1250$ ՄՊա, $\sigma_\delta=415\text{...}420$ ՄՆ/մ², $\delta=6\text{...}7$ %:

Եզրակացություն. Կատարված տեսական և փորձարարական հետազոտությունների արդյունքում, Al-Cu-Fe-Si համակարգի նշված համաձուլվածքի դեպքում, որը նախատեսվում է օգտագործել որպես մայրակի նյութ ալյումինային բարձրամուր դեֆորմացվող համաձուլվածքների համար, այդ թվում՝ ամրանավորված, պղնձի օպտիմալ քանակությունն ընտրվել է 5,7...6,5%, հալույթի լցման ջերմաստիճանը՝ $730 \pm 10^\circ\text{C}$, ձուլվածի ջերմաստիճանը՝ $120 \pm 10^\circ\text{C}$: Այսպիսի բաղադրության և ռեժիմների դեպքում համաձուլվածքի հեղուկահոսունությունը հավասար է 430 մմ-ի, գծային կծկվածքը՝ 1,6...1,65%, $\text{HB}=1230\text{...}1250$ ՄՊա, $\sigma_\delta=415\text{...}420$ ՄՆ/մ², $\delta=6\text{...}7$ %:

Հետազոտությունները կատարվել են Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի «Նյութագիտություն և մետալուրգիա» բաժանի գիտահետազոտական լաբորատորիայում կատարվող գիտական թեմայի շրջանակներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Колачев Б.А., Ливанов Б.А., Елагин В.И.** Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов.- М.: Металлургия, 1981.- 415 с.
2. **Гуляев А.П.** Металловедение.- 6-е изд.- М.: Металлургия, 1986.- 541 с.
3. **Мондольфо Л.Ф.** Структура и свойства алюминиевых сплавов.- М.: Металлургия, 1979.-640с.
4. The Al-B-Nb-Ti system: I. Re-assessment of the constituent binary systems B-Nb and B-Ti on the basis of new experimental data / **V.T. Witusiewicz, A.A. Bondar, U. Hecht, et al** // Journal of Alloys and Compounds.- 2008.- Vol. 448, issues 1-2.- P. 185-194.
5. The Al-B-Nb-Ti system: II. Thermodynamic description of the constituent ternary system B-Nb-Ti / **V.T. Witusiewicz, A.A. Bondar, U. Hecht, et al** // Journal of Alloys and Compounds.- 2008.- Vol. 456, issues 1-2.- P. 143-150.
6. **Фридляндер И.Н.** Высокопрочные деформируемые алюминиевые сплавы.- М.: Оборонгиз, 1960.- 290 с.
7. **Квасов Ф.И., Фридляндер И.Н.** Промышленные алюминиевые сплавы: Справочник.- М.: Металлургия, 1984.- 380 с.
8. **Фридляндер И.Н.** Алюминиевые деформируемые конструкционные сплавы.- М.: Металлургия, 1979.- 208 с.
9. **Колобнев И.Ф.** Термическая обработка алюминиевых сплавов.- М.: Металлургиздат, 1966.- 394 с.
10. **Добаткин В.И.** Плавка и литье алюминиевых сплавов: Справочное руководство.- М.: Металлургия, 1983.- 350 с.
11. **Дмитрович А.М.** Справочник литейщика.- Минск: Высшая школа, 1989.- 390 с.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 13.10.2021:

**С.Г. АГБАЛЯН, А.М. ОГАНЕСЯН, Г.А. ВАСИЛЯН, Т.Н. САФАРЯН,
А.С. АГБАЛЯН, Т.А. ДЕМИРЧЯН**

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ АЛЮМИНИЕВЫХ
ДЕФОРМИРУЕМЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Al-Cu-Fe-Si**

В качестве матрицы высокопрочных алюминиевых деформируемых сплавов выбран и обоснован сплав марки А5Е, а в качестве легирующего элемента - медь марок М0 и М1. В результате комплексных исследований разработана технология литья алюминиевых деформируемых сплавов системы Al-Cu-Fe-Si, выбраны и обоснованы их оптимальные режимы с содержанием меди 5,7...6,5%, согласно которым температура разливки расплава должна быть в пределах $730 \pm 10^\circ\text{C}$, температура литформы - $120 \pm 10^\circ\text{C}$, при этом жидкотекучесть составляет 430 мм, линейное сжатие - 1,6...1,65%, HB = 1230...1250 МПа, $\sigma_b = 415...420 \text{ МН/м}^2$, $\delta = 6...7\%$.

Показано, что литейные свойства алюминиевых сплавов, такие как жидкотекучесть, линейная усадка и ликвация, сильно зависят от химического состава сплава, его структуры, температур ликвидуса и солидуса, теплоемкости, теплопроводности и др.

Ключевые слова: алюминиевый сплав, композиционный материал, матрица, легирование, расплав, литье, жидкотекучесть, линейное сжатие, ликвация, термообработка, удельная прочность.

**S.G. AGHBALYAN, A.M. HOVHANNISYAN, G.A. VASILYAN,
T.N. SAFARYAN, A.S. AGHBALYAN, T.A. DEMIRCHYAN**

**THE CASTING TECHNOLOGY DEVELOPMENT OF ALUMINUM
DEFORMABLE ALLOYS OF THE Al-Cu-Fe-Si SYSTEM**

Aluminum alloy A5E was selected as a matrix of high-strength aluminum wrought alloys, and copper M0 and M1 grades was chosen as an alloying element. As a result of comprehensive studies, a technology for casting aluminum wrought alloys of the Al-Cu-Fe-Si system was developed, and optimized casting modes for aluminum wrought alloys with a copper content of 5,7...6,5% were substantiated and selected, according to which the temperature of casting the melt should be within $730 \pm 10^\circ\text{C}$, the temperature of the mold is $120 \pm 10^\circ\text{C}$, while the fluidity is 430 mm, linear compression is 1,6...1,65%, HB = 1230...1250 МПа, $\sigma_b = 415...420 \text{ MN} / \text{m}^2$, $\delta = 6...7\%$.

It is shown that the casting properties of aluminum alloys, such as fluidity, linear shrinkage and liquation, strongly depend on the chemical composition of the alloy, its structure, liquidus and solidus temperatures, heat capacity, thermal conductivity, etc.

Keywords: aluminum alloy, composite material, matrix, alloying, melt, casting, fluidity, linear compression, liquation, heat treatment, specific strength.