

Տ.Ա. ԴԵՄԻՐՉՅԱՆ

**ՏԻՏԱՆԻ ԿԱՐԲԻԴԻ ՄԱՍՆԻԿՆԵՐԻ ՉԱՓԵՐԻ ԵՎ ՔԱՆԱԿԻ
ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ $Al-Cu$ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՀԱՄԱՁՈՒԼՎԱԾՔԻ
ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ԵՎ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ**

Կատարվել է բարձր տեսակարար ամրությամբ $Al-Cu-TiC$ համակարգի ալյումինային համաձուլվածքների ձուլման գործընթացի և կառուցվածքագոյացման մեխանիզմի վերլուծություն: Դիտարկվել են տիտանի կարբիդի՝ որպես լեգիրող կոմպոնենտի կիրառման առավելությունները և առանձնահատկությունները՝ նանոկառուցվածքային կոմպոզիտային նյութերի (ԿՆ) ստեղծման նպատակով: Ցույց են տրվել $Al+5\%Cu+TiC$ բաղադրությամբ հոմոգեն կառուցվածքով ԿՆ-երի ստացման փորձերի արդյունքները: Նկարագրվել է TiC նանոմասնիկների բաշխվածությունը մայրակի հալույթի մեջ: Հիմնավորվել են մայրակի մեջ տիտանի կարբիդի մասնիկների չափերի և հավելման հարաբերակցության օպտիմալ քանակները:

Առանցքային բառեր. տեսակարար ամրություն, ալյումինային համաձուլվածք, ամրանավորող ֆազ, տիտանի կարբիդ, մեխանիկական հատկություններ:

Ներածություն: Արդյունաբերության որոշ բնագավառներում էներգախնայողության և էներգաարդյունավետության խնդիրները լուծելու համար կարիք է առաջանում ստեղծելու նոր տեսակի սարքավորումներ, որոնք թեթև լինեն, օժտված մեծ շահագործողական բնութագրերով: Պողպատյա մեքենամասերի փոխարինումը դիմացկուն և թեթև մետաղներով համարվում է խիստ արդիական խնդիր, որը հնարավոր է իրականացնել բարձր ամրությամբ թեթև համաձուլվածքների օգտագործմամբ, այսինքն պողպատը փոխարինել բարձր տեսակարար ամրությամբ համաձուլվածքներով:

Տարբեր ոլորտներում օգտագործելու նպատակով վերջերս նկատվում է ալյումինային մայրակով կոմպոզիտային համաձուլվածքների օգտագործման կայուն միտում, որոնցից պատրաստված արտադրատեսակներն ունեն յուրահատուկ մեխանիկական հատկություններ և շահագործման բարձր բնութագրեր: Դրանք չեն զիջում նույնիսկ նմանատիպ պողպատյա արտադրատեսակներին: Հայտնի են ալյումինի հիմքով կոմպոզիտային նյութեր (ԿՆ), որոնք լեգիրված են TiC , SiC , Al_2O_3 և այլ նյութերով և օժտված են ավելի բարձր հատկություններով [1]:

Ելնելով ալյումինային մայրակի ամրացման մասնիկների բնույթից, ալյումինային ԿՆ-երը բաժանված են երեք խմբի՝ մետաղաթելքերով կամ թելքանման

բյուրեղներով լեզիրված, դիսպերս կարծր հատիկներով ամրացված և շերտավոր կառուցվածքով նյութեր:

Ուշագրավ են այն կոմպոզիտները, որոնք ունեն եվտեկտիկական փոխակերպություններ և ստացվում են եվտեկտիկական կառուցվածքների ուղղորդված բյուրեղացման արդյունքում [2, 3]: Տվյալ դեպքում եվտեկտիկական ձևավորում է միատեսակ կարգավորված կառուցվածք՝ համաձուլվածքի ողջ ծավալով:

Ամրավորող նյութի և ալյումինի մայրակի փոխազդեցությունը պետք է ուղեկցվի լավ կաշռականությամբ՝ ստեղծելով անցումային շերտ: Համեմատած Al_2O_3 -ի և SiC -ի հետ, TiC -ն ունի ավելի ցածր խտություն, ավելի բարձր կարծրություն և լավ փոխազդելու հատկություններ ալյումինի հետ: Այն նաև ունի գերազանց քիմիական և ջերմային կայունության:

Աշխատանքում որպես մայրակի նյութ վերցրվել է պղնձով լեզիրված ալյումինի համաձուլվածքը, իսկ ամրավորող մասնիկների ձևն ու հատիկների չափսերը ընտրվել են մադային անալիզով դասակարգումից հետո:

Ալյումինային հիմքը կոմպոզիտային նյութին տալիս է մի շարք շահագործողական հատկություններ, ինչպիսիք են ցածր խտությունը, մետաղի բարձր հոդնաձային ամրությունը, բարձր ջերմահաղորդակայունությունը, մաշակայունությունը, ջերմային ընդարձակման գործակիցը և այլն [4, 5]:

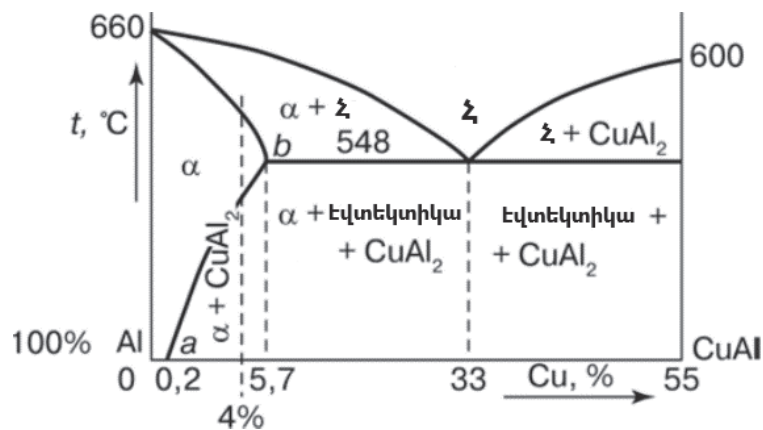
Ալյումինը, որն ընտրվել է որպես հետազոտվող Y_2O_3 -ի մայրակ, ինքնին ունի որոշ սահմանափակումներ: Ամրության և պլաստիկության հատկությունները հակադարձ համեմատական են, այսինքն, երբ մեկի արժեքը փոխվում է, մյուսը կտրուկ նվազում է, որի արդյունքում փոքրանում է ձուլվածքների օգտագործման տիրույթը: Մայրակի նյութից բարձր ամրությամբ միացությունների ավելացումը կարող է վերացնել այս թերությունը: Տարբեր բաղադրիչներով նոր հմաձուլվածքի ստացումը ենթադրում է նոր կոմպոզիտային նյութի ստացում, որը գերազանցում է սկզբնական շահագործողական բնութագրերը [6]:

Ներկայումս մշակվում են տիտանի կարբիդով լեզիրված ալյումինի հիմքով Y_2O_3 -եր, որոնք ունեն շատ բարձր կարծրություն, կոշտություն, տեսակարար ամրություն և ջերմակայունություն: Դրանք հիմնականում օգտագործվում են ներքին այրման շարժիչներում [7]: Սակայն անհրաժեշտ է հաշվի առնել և ուսումնասիրել շահագործման ընթացքում համաձուլվածքներում տեղի ունեցող ջերմային և քիմիական փոխազդեցությունները, որովհետև համաձայն [8] աշխատանքի՝ չի բացառվում, որ մետաղական արտադրատեսակները կրեն կառուցվածքային փոփոխություններ:

Հետազոտության համար առաջնահերթությունը տրված է կոռոզիադիմացկուն համաձուլվածքներին, որոնք լեզիրված են 5% պղնձով ($Al + 5\%Cu$ համակարգ): Դրանք բնութագրվում են ոչ միայն մեխանիկական բարձր հատկություններով

(ամրություն, կարծրություն, պլաստիկություն, հարվածային մածուցիկություն և եռակցվելիություն), այլն ամենակարևորը՝ շահագործման ցուցանիշների մեծացմամբ: Տեխնոլոգիական գործընթացների կատարելագործումը, ներառյալ բոլոր արտադրական գործողությունները, այդ թվում՝ հալումը, քիմիական բաղադրության ստուգումը, խառնումը, ձուլումը, սառեցման և բյուրեղացման պայմաններն ու ջերմային մշակումը մեծացնում են ձուլածո իրերի շահագործման որակը [9]:

Համաձայն Al-Cu համակարգի վիճակի դիագրամի, որը ներկայացված է նկ. 1-ում [10], էվտեկտիկայի կետը համապատասխանում է 33% պղնձի կոնցենտրացիային (սոլիդուսի գիծը 548°C), հետևաբար՝ բաշխման գործակիցը կարող է կիրառվել պղնձի կոնցենտրացիայի միջակայքում 0-ից 33%: CuAl_2 ֆազն ունի տետրագոնալ բյուրեղավանդակ, որի պարամետրերն են՝ $a=0,6066 \text{ նմ}$, $c=0,4874 \text{ նմ}$:



Նկ. 1. Al-Cu Համակարգի վիճակի դիագրամ [11]

Al_2Cu ֆազի մասնիկներն ունեն կլոր ձև և հավասարաչափ բաշխված են կառուցվածքում: Համաձուլվածքի ամրությունը հիմնականում կախված է մասնիկների միջին հեռավորությունից: Երբ պղինձը լուծվում է ալյումինի մեջ, ցանցի պարամետրը գծայնորեն նվազում է մինչև $0,4038 \text{ նմ}$ արժեքը, որը համապատասխանում է պղնձի առավելագույն լուծելիությանը. այն հավասար է 5,7%-ի:

Al_2Cu ֆազի խտությունը $4,34 \text{ գ/սմ}^3$ է: Պղնձի ավելացումն ալյումինի մեջ ունի մոդիֆիկացնող ազդեցություն, սակայն ձուլածո ալյումինի մակրոհատիկի մանրացման ազդեցությունը փոքր է: Ի լրումն վերը նշվածի՝ նշենք նաև, որ կախված ձուլվածքի հոմոգենացման ջերմաստիճանից, ինչպես նաև հետագա ձերացման ընթացքում, պղինձը նպաստում է հատիկների դիսպերս կարծրացմանը [11]:

Շնորհիվ իր ուշագրավ հատկությունների՝ տիտանի կարբիդը (TiC) խոստումնալից կերամիկական նյութ է, որն ունի բարձր ամրություն և կարծրություն (9,5+ ըստ Մոսսի սանդղակի), ցածր խտություն ($2,52 \text{ գ/սմ}^3$), բարձր քիմիական

կայունություն, գերազանց ջերմակայունություն, ինչպես նաև՝ հղկման բարձր ունակություն: Իր բարձր կարծրության շնորհիվ TiC-ը կարող է այլընտրանք լինել SiC-ին և Al_2O_3 -ին՝ որպես այլումինե մայրակն ամրավորող նյութ, որտեղ մաշակայունությունը հիմնական պահանջն է: Այն նաև մեծ պահանջարկ ունի փոշեմետալուրգիայի բնագավառում:

Բարձր ճնշման տակ արտադրատեսակների ձուլումը թույլ է տալիս ստանալ գրեթե առանց ծակոտիների բարձրամուր արտադրանք: TiC-ի հետ համատեղ դիֆուզիոն գործընթացներն ընթանում են դանդաղ և խանգարում են ազատ ձուլմանը և խտացմանը: Մյուս կողմից՝ TiC-ն տարբեր ագրեսիվ միջավայրերի նկատմամբ շատ դիմացկուն է, քիմիապես կայուն և ունի ցածր տեսակարար կշիռ [12]:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը: Տեխնոլոգիայի իրականացման և հետազոտության ընթացքում իրականացվել են հետևյալ գործողությունները.

- էլեկտրական դիմադրության վառարանում հալեցվել են Al և Cu ձուլակտորները,

- զուգահեռաբար առնվազն 20 *քառ. 200...250°C* ջերմաստիճանում տաքացվել են տիտանի կարբիդի մասնիկները,

- 850...950 °C ջերմաստիճանում տիտանի կարբիդի փոշին ներմուծվել է հալույթի մեջ,

- կատարվել է մեխանիկական խառնում. խառնիչի սայրի պտտման արագությունը եղել է 250...350 *պտույտ/քառ.*,

- հալույթը սառեցվել է 10...25 *աստ/քառ.* արագությամբ:

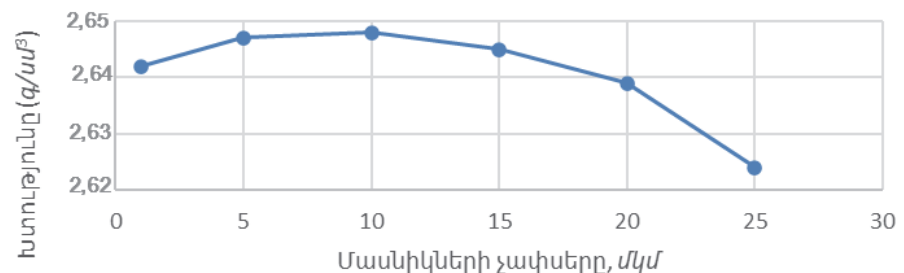
Արդյունքում ստացվել են բարձր մեխանիկական հատկություններով նմուշներ, երբ մայրակն ամրացնող մասնիկները բաշխված են կառուցվածքում հավասարապես:

Հետազոտության արդյունքները. Ուսումնասիրվել է տիտանի կարբիդի մասնիկի չափի ազդեցությունը խտության վրա: Որպես մայրակի նյութ օգտագործվել է Al+5%Cu համակարգի այլումինային համաձուլվածքը: Կոմպոզիտային համաձուլվածք ստանալու համար 5...20 *մկմ* մասնիկների միջին չափով տիտանի կարբիդը օգտագործվել է որպես մայրակի կմախք՝ բյուրեղացման հավասարաչափ բաշխված կենտրոններով (աղ. 1): Հալույթի մեջ տարբեր չափերի մասնիկները ներմուծվել են 5 *մկմ* միջակայքով (1...5, 5...10, 10...15, 15...20, 20...25): Հետազոտության ընթացքում ուսումնասիրվել են 1...25 *մկմ* միջակայքի չափ ունեցող մասնիկները: Որոշվել է այս չափերի մասնիկների ազդեցությունը հալույթի խտության և նախապատրաստվածքի վրա:

Տիտանի կարբիդի մասնիկների չափը և Al-Cu խառնուրդի խտության արժեքները

Մասնիկների չափը, մկմ	Խտությունը ($q/սմ^3$)
1	2,642
5	2,647
10	2,648
15	2,645
20	2,639
25	2,624

Նկ. 2-ում ցույց է տրված ստացված համաձուլվածքի խտության փոփոխության կախվածությունը TiC փոշու մասնիկների չափսերից: Կարելի է տեսնել, որ խտությունը մեծանում է յուրաքանչյուր 1-ից մինչև 10 մկմ մասնիկների չափսերի մեծացմանը զուգընթաց: Համաձուլվածքի խտությունը 5 մկմ չափսի տիտանի կարբիդի մասնիկների ներմուծման ժամանակ կազմում է 2,647 $q/սմ^3$, մինչդեռ հարաբերական խտությունը 10 մկմ մասնիկների ներմուծման ժամանակ կազմում է 2,648 $q/սմ^3$:



Նկ. 2. Տիտանի կարբիդի մասնիկի չափսի ազդեցությունը Al-Cu համաձուլվածքի խտության վրա

Այնուհետև երևում է, որ տիտանի կարբիդի մասնիկի չափսի 25 մկմ ներմուծման ժամանակ համաձուլվածքի խտությունը աստիճանաբար նվազում է՝ հասնելով նվազագույն արժեքի՝ 2,624 $q/սմ^3$: Ստացված արդյունքների հիման վրա, հալման միատեսակ խտություն ապահովելու համար, տիտանի կարբիդի մասնիկների չափսը ընտրվել է 5-ից 15 մկմ միջակայքում, քանի որ այդ չափսերը տալիս են խտության լավագույն արժեքները:

Ստացված արդյունքներից երևում է, որ համաձուլվածքի խտության վրա ազդում է տիտանի կարբիդի մասնիկների չափսի փոփոխությունը, և խտության լավագույն արժեքները ստացվել են տիտանի կարբիդի մասնիկների 5...15 մկմ միջակայքում:

Մայրակի միկրոծավալում մեխանիկական ուժերի ազդեցության տակ (մասնիկների լցում, տեղադրում, տիտանի կարբիդի ներմուծում սնուցիչի միջոցով) մասնիկների հարվածների և բախումների շնորհիվ, հնարավոր է միկրոճաքերի առաջացում: 1...5 մկմ չափսի մասնիկները, ցածր խտության պատճառով, որպես կանոն, վեր են բարձրանում հալույթի մակերես, ապա անցնում խարամի մեջ: Եվ հակառակը, երբ 20...25 մկմ մեծությամբ տիտանի կարբիդի մասնիկները ներմուծվում են հալույթի մեջ, ապա առաջացնում են անկանոն «սառը» ազլումերատներ, ինչը դժվարացնում է դրանց միատեսակ բաշխումը հալույթում [13, 14]: Նույնիսկ հալույթում խառնումից հետո, ի վերջո, խոշոր մասնիկները նստում են համաձուլվածքի հատակին:

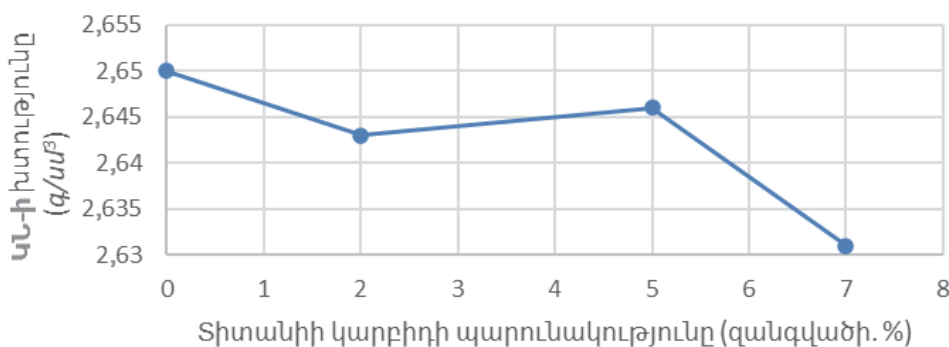
Հետազոտության հաջորդ փուլում ուսումնասիրվել է կարբիդային հավելումների քանակի ազդեցությունը մայրակային հալույթի խտության վրա:

Կոմպոզիտային համաձուլվածքի խտությունը չափվել է Արքիմեդի մեթոդով՝ օգտագործելով հետևյալ հավասարումը:

$$\rho_{MMC} = m / ((m - m_1) \times \rho_{H_2O}),$$

որտեղ ρ_{MMC} -ը Al-Cu-TiC կոմպոզիտի խտությունն է, m -ը՝ բաղադրյալ նմուշի զանգվածը օդում, m_1 -ը՝ նույն կոմպոզիտի զանգվածը ջրում, ρ_{H_2O} -ն՝ թորած ջրի խտությունը (293K-ում) 998 կգ/մ³:

Նկ. 3-ում ցույց է տրված TiC մասնիկների ներմուծումից առաջ և հետո խտության փոփոխությունը կոմպոզիտային համաձուլվածքում: Ըստ աղ. 2-ի տվյալների՝ երևում է, որ խտությունը 2,651-ից նվազել է մինչև 2,643, 2,646, 2,631 կգ/մ³:



Նկ. 3. Տիտանի կարբիդի քանակի (%) ազդեցությունը համաձուլվածքի խտության վրա

Քանի որ տիտանի կարբիդի խտությունը (2,5 կգ/մ³) փոքր է Al-5%Cu համաձուլվածքի խտությունից (2,651 կգ/մ³), ուստի Al-5%Cu-TiC կոմպոզիտների ընդհանուր խտությունը փոքրանում է:

Խտության արժեքները և տիտանի կարբիդի մասնիկների տոկոսը համաձուլվածքում

Տիտանի կարբիդ (քան. %)	ԿՆ խտությունը (g/cm^3)
0	2,65
2	2,643
5	2,646
7	2,631

Ստացված տվյալների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ կախված հալույթի մեջ տիտանի կարբիդի մասնիկների տոկոսից՝ խտության կայուն արժեքները գտնվում են 1,8-ից 5,5% միջակայքում: Ավելի ցածր պարունակության դեպքում Al-Cu հալույթի մակերեսին նկատվում է տիտանի կարբիդի մասնիկների տարանջատման բարձր մակարդակ, իսկ 6%-ից բարձր լինելու դեպքում համաձուլվածքի հատակում առաջանում են նստվածքներ:

Եզրակացություն: Al-Cu-TiC համակարգի կոմպոզիտային համաձուլվածքից բարձրորակ արտադրանք ստանալու համար կատարված փորձերի արդյունքում կարելի է անել հետևյալ եզրակացությունները.

1. Կոմպոզիտային համաձուլվածքում 1...25 *մկմ* չափսի տիտանի կարբիդի մասնիկները ներմուծելիս որոշվել է, որ միատեսակ խտություն ապահովելու համար դրա լավագույն արժեքները պետք է գտնվեն 5-ից մինչև 15 *մկմ* միջակայքում:

2. Տիտանի կարբիդի մասնիկների պարունակությունից կախված՝ հալույթի խտության փոփոխությունները ցույց են տալիս, որ դրա կայուն արժեքները ձևորեն բերվում 1,8-ից 5,5% միջակայքում: Ավելի ցածր պարունակության դեպքում Al-Cu հալույթի մակերեսին նկատվում է տիտանի կարբիդի մասնիկների տարանջատման բարձր մակարդակ, իսկ 6%-ից բարձր լինելու դեպքում համաձուլվածքի հատակում առաջանում են նստվածքներ:

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

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Վասիլյան Գ.Ա., Սաֆարյան Տ.Ն., Դեմիրջյան Տ.Ա., Աղբալյան Ա.Ս. Բարձր տեսակարար ամրությամբ Al-Cu-TiC համակարգի պլումինային դեֆորմացվող համաձուլվածքների ձուլման գործընթացի հետազոտումը // ՀԱՊՀ Լրաբեր. Գիտական հոդվածների ժողովածու.- Մաս 2.- Երևան: Ճարտարագետ, 2023.- էջ 434-445:
2. Алексеев М.О., Чистяков Е.Н., Купрюнин Д.Г. Броневые материалы. Современное состояние // Экспорт вооружений. – 2016. – № 2.

3. Алаттар А.Л., Бажин В.Ю., Власов А.А. Повышение механических свойств композиционных алюминиевых сплавов при вводе карбида бора // *iPolytech Journal*. – 2020. – 24 (3). – P. 663-671.
4. Ni Y., Luo R. Microstructure and Mechanical Properties of Carbon / Carbon Composites Infiltrated with Ti–6Al–4V Titanium Alloy // *Crystals*. – 2020. – Vol. 10 (1). – P. 29.
5. Курганова Ю.А., Чернышова Т.А., Кобелева Л.И., Курганов С.В. Эксплуатационные характеристики алюмоматричных дисперсно-упрочненных композиционных материалов и перспективы их использования на современном рынке конструкционных материалов // *Металлы*. – 2011. – №4. – С. 71-75.
6. Андреева А.В. Основы физикохимии и технологии композитов. – М.: Радиотехника, 2001. – 191 с.
7. Belov N.A., Khvan A.V. The ternary Al-Ce-Cu phase diagram in the Al-rich corner // *Acta Materialia*. – 2007. – Vol. 55. – P. 5473-5482.
8. Ibrahim A., Mohamed F.A., Lavernia E.J. Particulate reinforced metal matrix composites – a review // *Journal of materials science*. – 1991. – № 26. – P. 1137-1156.
9. Луц А.Р. Построение феноменологической модели воздействия рафинирующих флюсов на процесс получения наноструктурного композита Al-5%Cu-10%TiC методом СВС // *Современные материалы, техника и технологии*. – 2016. – № 3. – С. 63-67.
10. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов: Перевод с английского. – М.: Металлургия, 1979. – 483 с.
11. Synthesis of aluminum alloy 7075-graphite composites by milling processes and hot extrusion / R. Deaquino-Lara, I. Estrada-Guel, G. Hinojosa-Ruiz, R. Flores-Campos, et al // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2011. – Vol. 509. – P. S284-S289.
12. Belov N.A., Eskin D.G., Aksenov A.A. Multicomponent Phase Diagrams: Applications for Commercial Aluminum Alloys // Elsevier. – 2005. – P.414.
13. Шамшин Д.Л. Химия: Учеб. Пособие. – М.: Высш. школа, 1980. – 319 с.
14. Kala H., Kala H., Mer K.K.S., Kumar S.A. Review on Mechanical and tribological behaviors of stir cast aluminum matrix composites // *Procedia Material Science*. – 2014. – Vol. 6. – P. 1951–1960.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 07.12.2023:

Т.А. ДЕМИРЧЯН

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ ЧАСТИЦ И КОЛИЧЕСТВА КАРБИДА ТИТАНА НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ AL-CU

Проведен анализ процесса литья и механизма структурообразования алюминиевых сплавов системы Al-Cu-TiC с высокой удельной прочностью. Рассмотрены преимущества и особенности применения карбида титана в качестве легирующего компонента с целью создания наноразмерных структур композиционных материалов (КН). Показаны результаты экспериментов по получению КН с гомогенной структурой

Al+5% Cu+TiC. Описаны наночастицы TiC в материнском расплаве. Обоснованы оптимальные соотношения размеров и аддитивного соотношения частиц карбида титана в материнском сплаве.

Ключевые слова: удельная прочность, алюминиевый сплав, упрочняющая фаза, карбид титана, механические свойства.

T.A. DEMIRCHYAN

**THE INFLUENCE OF PARTICLE SIZES AND THE TITANIUM
CARBIDE QUANTITY ON THE PROPERTIES AND STRUCTURE OF
THE AL-CU SYSTEM ALLOYS**

An analysis of the casting process and structure - formation mechanism of aluminum alloys of the Al-Cu-TiC system with high specific strength is performed. The advantages and features of using titanium carbide as an alloying component in order to create nanoscale composite materials (CM) are considered. The results of experiments for the production of CM with a homogeneous structure of Al+5%Cu+ TiC are shown. TiC nanoparticles in the parent melt are described. optimal size ratios and additive ratios of titanium carbide particles in the parent alloy are substantiated.

Keywords: specific strength, aluminum alloy, strengthening phase, titanium carbide, mechanical properties.