

A.M. HOVHANNISYAN, D.G. VARDANYAN, N.A. NIKOYAN
INVESTIGATING THE COMPOSITION OF POLYMETALLIC SULFIDE
CONCENTRATE WITH A CONTENT OF ZINC AND LEAD

The sulfide polymetallic concentrate, containing zinc and lead is studied. The X-ray diffraction analysis has shown that the concentrate is sulfide in nature, the predominant phases in it are copper, iron, zinc, and lead sulfides, which creates prerequisites for the pyro-hydrometallurgical extraction of zinc and lead from the concentrate.

Keywords: polymetallic concentrate, X-ray diffraction analysis, sulfides, composition.

ՀՏԴ 621.74:669.018

Գ.Ա. ՎԱՍԻԼՅԱՆ, Տ.Ն. ՍԱՖԱՐՅԱՆ, Տ.Ա. ԴԵՄԻՐՉՅԱՆ, Ա.Ս. ԱՂԲԱԼՅԱՆ
ԲԱՐՁՐ ՏԵՍԱԿԱՐԱՐ ԱՄՐՈՒԹՅԱՄԲ Al-Cu-TiC ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ
ԱԼՅՈՒՄԻՆԱՅԻՆ ԴԵՖՈՐՄԱՑՎՈՂ ՀԱՄԱՁՈՒԼՎԱԾՔՆԵՐԻ ՁՈՒԼՄԱՆ
ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Կատարվել է բարձր տեսակարար ամրությամբ Al-Cu-TiC համակարգի այլումինային դեֆորմացվող համաձուլվածքների ձուլման գործընթացի և կառուցվածքագոյացման մեխանիզմի վերլուծություն: Դիտարկվել են բարձրջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզի (ԲԻՍ) կիրառման առավելությունները և առանձնահատկությունները՝ նանոկառուցվածքային կոմպոզիտային նյութերի (ԿՆ) ստեղծման նպատակով: Ցույց են տրված Al+5%Cu+10%TiC բաղադրությամբ հոմոգեն կառուցվածքով ԿՆ-երի ստացման փորձերի արդյունքները: TiC նանոմասնիկները մայրակի հալույթի մեջ ներմուծվել են ԲԻՍ մեթոդով՝ տիտանի, ածխածնի փոշիների և Na₂TiF₆ հալոգենային աղի ավելացմամբ: Արդյունքում տեղի է ունենում ստացված նանոկառուցվածքային կոմպոզիտային նյութի ամրության բնութագրերի զգալի աճ՝ միաժամանակ պահպանելով պլաստիկության բարձր մակարդակը:

Առանցքային բառեր. տեսակարար ամրություն, այլումինային դեֆորմացվող համաձուլվածք, բարձրջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզ, ամրանավորող ֆազ, տիտանի կարբիդ, մեխանիկական հատկություններ:

Ներածություն: Այլումինի հիմքով նոր կոմպոզիտային նյութերի ստեղծման տեխնոլոգիաները, որոնք հնարավորություն կտան ստանալ փոքր տեսակարար կշռով, բարձր տեսակարար ամրությամբ, կոռոզիակայունությամբ և բարձր տեխնոլոգիական հատկություններով օժտված ֆունկցիոնալ նշանակության նյութեր, խիստ պահանջարկված են ժամանակակից ռազմական արդյունաբերության, հատկապես ինքնաթիռաշինության և տիեզերական սարքաշինության ոլորտներում:

Ալյումինային համաձուլվածքների համար, բացի ավանդական ալյումինային հիմքից, ներկայումս որպես մայրակ լայն կիրառություն են գտել Al-Cu համաձուլվածքները, ինչը պայմանավորված է տվյալ համաձուլվածքի ամրությամբ, ընդ որում, պղնձի քանակը համաձուլվածքում կազմում է մինչև 5,3%, քանի որ, ըստ Al-Cu վիճակի դիագրամի [1], հենց այս քանակն է, որ կարող է ամբողջությամբ լուծվել ալյումինե մայրակի մեջ: Բացի լուծելիությամբ ամրացումից, պղինձը նպաստում է նաև համաձուլվածքի ամրացմանը դիսպերս կարծրացման մեխանիզմով, որը տեղի է ունենում համաձուլվածքի մխումից հետո՝ ծերացման ժամանակ: Այն կատարում է ջերմաստիճանի նվազմանը զուգընթաց, որի ընթացքում պինդ լուծույթում տեղի է ունենում պղնձի լուծելիության նվազում, ընդ որում, առաջանում է խիստ մանրահատ CuAl_2 ֆազ, որը կայուն է կոագուլյացիայի նկատմամբ: Պղնձի հավելումն ալյումինի մեջ ունի նաև մոդիֆիկացման ազդեցություն, սակայն ձուլածո ալյումինի հատիկի մանրանալու աստիճանը մեծ չէ: Զերմաստիճանային լայն միջակայքում, համեմատած Al-Mg համաձուլվածքների հետ, Al-Cu համակարգի համաձուլվածքներն ունեն ավելի բարձր մեխանիկական հատկություններ [1]:

Կոմպոզիտային նյութերի (ԿՆ) սինթեզի ժամանակ կարելի է ստանալ ամրացման ավելի մեծ արդյունք, որը հիմնավորվում է տարբեր բնույթի բաղադրիչների նմանատիպ հատկությունների համատեղմամբ: Ներկայումս առավել արդյունավետ են համարվում հեղուկ ֆազերից սինթեզված ԿՆ-երը, քանի որ միայն այս դեպքում են ստեղծվում ամուր միջֆազային կապեր, որոնք անհրաժեշտ են բարձր մեխանիկական հատկությունների ստացման համար: Հեղուկ ֆազային մեթոդներով ԿՆ-ի ստացման գործընթացը, որը համատեղվում է մայրակ ֆազի ամրացման հետ, բաժանվում է երկու հիմնական խմբի՝ էկզոգեն (*ex-situ*) և էնդոգեն (*in-situ*) ամրավորումների: Էկզոգեն խումբը ստացել է առավել լայն տարածում [2, 3], և էությունն այն է, որ ԿՆ-ում դիսպերս լցոնիչների առաջացումը տեղի է ունենում անմիջապես հալույթում՝ շնորհիվ ընթացող քիմիական սինթեզի ռեակցիաների: Տվյալ տեխնոլոգիան ապահովում է կոմպոզիտային համաձուլվածքի ֆազերի մեջ ամուր հպում և լավ կապ (ադգեզիա), քանի որ ամրանավորող նյութը չի ներմուծվում հալույթի մեջ դրսից, որը հաճախ աղտոտված է լինում օքսիդներով, ադսորբված գազերով և ջրով, այլ առաջանում է անմիջապես հալույթի մեջ: Առավել հեռանկարային է գիտնականներ Ա.Գ. Մեծրանովի, Ի.Պ. Բորովինսկու և Վ.Մ. Շկիրոյի կողմից 1967թ. մշակած տեխնոլոգիան, որն անվանվել է բարձրջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզ (ԲԻՍ) [4]:

ԿՆ-ում դիսպերս լցոնիչներից (կարբիդներ, օքսիդներ, բորատներ, սիլիցիդներ և այլն) առավել տարածում են գտել կարբիդները, այդ թվում՝ նաև Al-Cu

մայրակով համաձուլվածքում օգտագործելու համար: Հատուկ հետաքրքրություն է ներկայացնում TiC միացությունը, որն առանձնանում է չափազանց բարձր կարծրությամբ, բարձր առաձգականության գործակցով և մի շարք այլ անհերքելի առավելություններով:

Աշխատանք [5]-ում այլումինի և պղնձի անհրաժեշտ քանակներով բովախառնուրդի համատեղ հալման միջոցով ստացվել է մայրակային հալույթ, որին այնուհետև ավելացվել է Al+10%Ti լեգիրող նյութ, զգուշորեն խառնվել և 1150°C-ում C₂Cl₆ ծածկությանի ֆյուսի առկայությամբ ավելացվել ածխածնի ակտիվացված փոշի: Արդյունքում հոսունության սահմանը, ամրության սահմանը և կարծրությունը համապատասխանաբար բարձրացել են 12,64%, 19,72% և 35,79%-ով, միաժամանակ, ինչպես շեշտում են հեղինակները, ստացված ԿՆ պահպանել է բավականին բարձր մացուցիկություն:

Նմանատիպ աշխատանքներ են կատարվել Իրանում, որի նպատակն է ստանալ բարձր հատկություններով օժտված Al+4,5%Cu+5%TiC ԿՆ [6]: Բովախառնուրդի պատրաստման համար հեղինակներն օգտագործել են տեխնիկական մաքուր այլումին (99,9 % մաքրությամբ), պղնձե լար (99,8 % մաքրությամբ), տիտանի ձող (99,8 % մաքրությամբ) և ակտիվացված ածուխի փոշի (միջին չափսը 150 մկմ): Սկզբում ինդուկցիոն վառարանում՝ գրաֆիտե ամանի մեջ, մինչև 685 °C ջերմաստիճանում հալեցվել է մայրակի հիմքը կազմող այլումինը, այնուհետև այն տաքացվել է մինչև 800 °C ջերմաստիճան, և ավելացվել պահանջվող քանակությամբ պղինձ, որից հետո գրաֆիտե ձողի միջոցով խառնուրդն անընդհատ խառնվել է: Մաքուր տիտանը ներմուծվել է հալույթ 1000 °C ջերմաստիճանում, և վերջում 1100 °C ջերմաստիճանում խառնվել է ածխածնի փոշին: 20 րոպեի ընթացքում հալույթի ջերմաստիճանը բարձրացել է մինչև 1250 °C, որը կապված է ներսում ընթացող էկզոթերմիկ ԲԻՍ ռեակցիայով: Առաջարկվող տեխնոլոգիայի ընթացքում, մետաղական հալույթի մակերեսը ծածկելու նպատակով, որպես ֆյուս օգտագործվել են կալիումի և նատրիումի ֆտորիդներ, որոնք վերացրել են օքսիդային թաղանթը և արգելակել շրջակա միջավայրից գազերի արդսրցումը: Ստացված ԿՆ բնութագրվել է ամրության և կարծրության բարձր ցուցանիշներով, ինչպես նաև կտրման բարձր արագությամբ և մաշակայունությամբ:

Այսպիսով, տիտանի կարբիդի՝ որպես ամրացնող ֆազի կիրառման արդյունավետությունը ակնհայտ է, սակայն գոյություն ունի ԿՆ-երի շահագործման բնութագրերի բարելավման ևս մեկ տարբերակ՝ ամրացվող մայրակի կառուցվածքի մանրացում նանոչափերի մակարդակի, որը բազմիցս հիմնավորվել է ինչպես տեսական [7], այնպես էլ գործնական [8] եղանակներով: ԿՆ-ում առկա նանոմասնիկները գտնվում են միկրոնային և սուբմիկրոնային չափեր ունեցող

ազլումերատների ձևով, ինչն արդյունք է նրանց մակերևութային բարձր էներգիայի: Այդ է պատճառը, որ նանոմասնիկները ստեղծման պահից ենթարկվում են ազլումերացման և ունեն նանոձակոտիկներ և նանոանցքեր [9]: Հայտնի է նաև, որ եթե մասնիկների ջերմաստիճանն անհրաժեշտ չափով բարձր է հալույթի ջերմաստիճանից, ապա ջերմամագանոթային էֆեկտն օգտագործելիս կարող է տեղի ունենալ դիսպերսիոն միջավայրի մետաղի հալույթի ներծծում, [10]: Հաշվարկները ցույց են տալիս, որ մասնիկների ջերմաստիճանը 1300 K և ցածր լինելու դեպքում այլումինի հալույթում կներծծվեն միայն խոշոր մասնիկները, իսկ նանոմասնիկների ներծծման համար կպահանջվի 2000 K և ավելի բարձր ջերմաստիճան: Այս կարգի ջերմաստիճաններ են ի հայտ գալիս ԲԻՍ գործընթացի ժամանակ, ընդ որում, ջերմաստիճանի մեծ գրադիենտով: Քանի որ այրման ալիքում տեղի է ունենում դժվարահալ միացության սինթեզի ռեակցիա, ապա միաժամանակ միջավայրի քիմիական կազմի փոփոխությամբ առաջանում է նաև քիմիական պոտենցիալի մեծ գրադիենտ: Այս գործոնների ազդեցությամբ ԲԻՍ-ի էֆեկտը հաջողությամբ կարող է օգտագործվել ԿՆ սինթեզի համար, որոնք պարունակում են տիտանի կարբիդի (TiC) նանոմասնիկներ, որոնք չեն թրջվում հալույթի ջերմաստիճանում (800-1100 °C): Որպես ապացույց կարող են ծառայել [11] աշխատանքում բերված հետազոտությունների արդյունքները, երբ հեղինակները 24 ժամ մեխանիկական խառնմամբ ակտիվացրել են այլումինի, տիտանի և ածխածնի փոշիները՝ հասցնելով դրանց չափսերը միջև նանոմակարդակի, որից հետո մամլման միջոցով ստացել են 28մմ տրամագծով և 25գ կշռով նմուշներ: Այնուհետև նմուշները ենթարկվել են եռակալման 900 °C ջերմաստիճանում վակուումի պայմաններում, որից հետո տեղափոխել են 800 °C ջերմաստիճան ունեցող հետևյալ բաղադրությամբ հալույթի մեջ. հիմքը – Al, 5% Cu, 0,45% Mn, 0,3% Ti, 0,2% Cd, 0,2% V, 0,15% Zr, 0,04% B: Հալույթի քանակությունը վերցրվել է 0,1, 0,3, 0,5, 0,7 և 1,0%: Ջերմային մշակումից հետո (պահում 535 °C ջերմաստիճանում 12ժ և ձերացումը 165 °C ջերմաստիճանում 10ժ տևողությամբ) լավագույն ցուցանիշները ստացվել են 0,5% TiC նանոդիսպես ֆազ պարունակող նմուշի դեպքում, որի ամրության սահմանը և հարաբերական երկարացումը բարձրացել են համապատասխանաբար 11,08% (540 ՄՊա) և 187,9% -ով (19%)՝ համեմատած սկզբնական համաձուլվածքի հետ, որի ամրության սահմանը եղել է 485 ՄՊա, իսկ հարաբերական երկարացումը՝ 6,6%: Չնայած TiC նանոդիսպես ֆազի առկայությունն ակնհայտորեն դրական ազդեցություն ունի ստացված նյութի հատկությունների վրա, սակայն այն անվանել կոմպոզիտային նյութ ճիշտ չէ, քանի որ ամրանավորող ֆազի քանակությունը բավականին փոքր է և, բացի այդ, ստացված փոշեխառնուրդի նախնական խտացման գործընթացը հանգեցնում է

տեխնոլոգիական գործընթացի զգալի բարդացման և ինքնարժեքի բարձրացման:

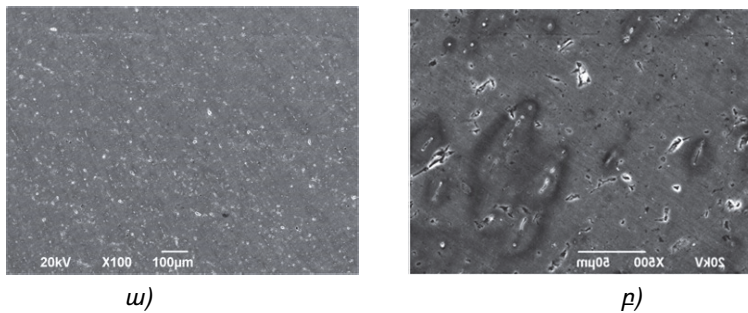
Սամարայի պետական տեխնիկական համալսարանում կատարված հետազոտությունները ցույց են տվել, որ ԲԻՍ տեխնոլոգիայով 900°C ջերմաստիճանում այլումինի հալույթի մեջ էնդոգեն եղանակով ստացվում են Al-10\%TiC կոմպոզիտներ, որոնք դիսկրետ ձևով ամրանավորված են տիտանի կարբիդի նանոչափեր ունեցող մասնիկներով (100 նմ-ից պակաս): Սկզբնական այլումինի նմուշի համեմատ, TiC նանոչափերի առկայությունը համաձուլվածքում հանգեցնում է ինչպես կոռոզիոն դիմադրության բարձրացմանը (1,4...4,4 անգամ), այնպես էլ մեխանիկական հատկությունների բարելավմանը (ամրությունը բարձրանում է ավելի քան 2,5 անգամ, իսկ կարծրություն՝ 3 անգամ): Ամրության այսպիսի բարձրացումը զգալիորեն ավելի մեծ է (1,5...1,7 անգամ), քան այլումինի ամրանավորումը նույն քանակությամբ (10%) TiC-ի միկրոմասնիկներով [12]:

Հաշվի առնելով վերլուծության արդյունքները և խնդրի կարևորությունը, աշխատանքի նպատակն է ստանալ Al+Cu+TiC նանոկառուցվածքով կոմպոզիտային նյութեր, որոնք կունենան բարձր տեսակարար ամրություն և բավարար պլաստիկություն:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը: Տեխնոլոգիայի իրականացման ընթացքում փոշեկոմպոզիտային խառնուրդի (տիտան Ti -7 մակնիշի, տեխնիկական ածխածին C -701 մակնիշի) հատիկների մակերևույթի վրա ադսորբված խոնավության հեռացման նպատակով այն 2...3 ժամ ենթարկվել է նախնական չորացման $100...110^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանում: Այնուհետև 105 պարոպետ արագությամբ պտտվող գնդաղացի միջոցով կատարվել է բովախառնուրդի ելանյութերի փոշիների մանրացում և խառնում մեկ ժամ տևողությամբ: Բովախառնուրդի չափաբաժինները (մոտավորապես 6...8 գ) փաթեթավորվել են $50...100$ մկմ հաստությամբ այլումինե փայլաթիթեղի մեջ: Մի քանի նմուշներում բաղադրության մեջ ավելացվել է 98% մաքրությամբ Na_2TiF_6 հալոգենային աղ: Սկզբում A7 մակնիշի տեխնիկական այլումինի հալույթի մեջ, որի ջերմաստիճանը 800°C է, ներմուծվել է 5% ընդհանուր զանգվածի չափով PMc-1 մակնիշի պղնձի փոշի, պահվել է 30 րոպե, այնուհետև հալույթը տաքացնելով մինչև 900°C ՝ նրա մեջ ԲԻՍ գործընթացի իրականացման նպատակով հաջորդաբար ավելացվել է տիտանի և ածխածնի փոշիներից պատրաստված բովախառնուրդ (ընդհանուր զանգվածի 10 %-ի չափով) [13]: Յուրաքանչյուր նմուշ պահվել է հալույթի մեջ մինչև ԲԻՍ ռեակցիայի ակտիվանալը և տիտանի կարբիդի առաջացումը, որն ուղեկցվում է գազերի ու կայծերի արտազատմամբ: Ռեակցիայի ընթացքի ժամանակ հալույթը անընդհատ խառնվել է: Սինթեզի ավարտից հետո հալույթը պահվել է 5 րոպե, խառնվել և այնուհետև լցվել թուջե կաղապարների մեջ:

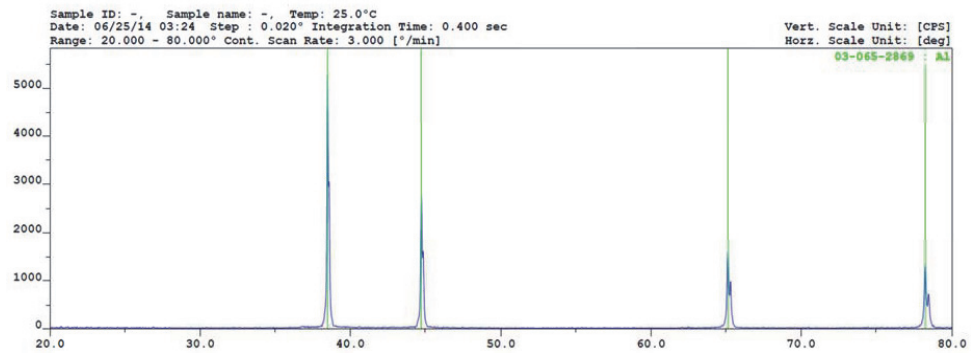
Մետաղագրական հետազոտության նպատակով հղկուկը պատրաստվել է հղկող և փայլեցնող ПОЛИЛАБ П12МА մակնիշի մեքենայի վրա, որն աշխատում է ավտոմատ ռեժիմով: Հղկուկի փայլեցման համար օգտագործվել է 6 մկմ, 3 մկմ և 1 մկմ հատիկայնությամբ Aka-mono ալմաստային մածուկը: Նմուշների միկրոկառուցվածքը բացահայտելու համար դրանք ենթարկվել են խաճատման 50%HF+50%HNO₃ լուծույթում 10...15 վրկ տևողությամբ: Մետաղագրական վերլուծությունը կատարվել է սկանավորող էլեկտրոնային NEOPHOT-21 մակնիշի մանրադիտակով: Ֆազային կազմը վերլուծվել է ռենտգենակառուցվածքային անալիզի մեթոդով: Ստացված փորձարարական նմուշների կարծրությունը որոշվել են ըստ ԳՕՍՏ 9012-59, իսկ ձգման փորձարկումները՝ ըստ ԳՕՍՏ 1497-84:

Հետազոտության արդյունքները: Ստացված փորձանմուշների միկրոկառուցվածքների և հատկությունների ուսումնասիրման ու մայրակի հետ համեմատելու համար սկզբում ԲԻՍ-ի մեթոդով հալույթի մեջ սինթեզվել է Al+5%Cu բաղադրությամբ համաձուլվածքը, որի համար ալյումինի հալույթի մեջ ներմուծվել է ալյումինի զանգվածի 5%-ի չափով պղնձի փոշի: Համաձայն «ալյումին-պղնձ» վիճակի դիագրամի [1], 548 °C ջերմաստիճանում պղնձի ամբողջ քանակությունը պետք է լուծվի ալյումինի մեջ՝ առաջացնելով ալյումինի հիմքով պղնձի պինդ լուծույթ: Նկ. 1-ում ներկայացված է Al+5%Cu համաձուլվածքի միկրոկառուցվածքը խաճատումից հետո, որը միատարր համակարգ է՝ հատիկների հստակ ընդգծված սահմաններով:



Նկ. 1. Al+5%Cu բաղադրությամբ համաձուլվածքի միկրոկառուցվածքները.
ա – խոշորացումը 100 անգամ, բ - խոշորացումը 500 անգամ

CuAl₂ ֆազի տարանջատում ըստ ռենտգենաֆազային անալիզի չի արձանագրվել (նկ. 2), ինչը վկայում է դրա ամբողջական լուծվելն ալյումինի հիմքի մեջ: Այս փաստը հաստատելու համար չափվել են սկզբնական ալյումինի և ԲԻՍ-ի մեթոդով ստացված Al+5%Cu համաձուլվածքի ամրությունները, որոնց արժեքները համապատասխանաբար եղել են 60 և 136 ՄՊա, ինչն անուղղակի վկայում է պղնձի պինդ լուծույթի ստացումն ալյումինի մեջ:

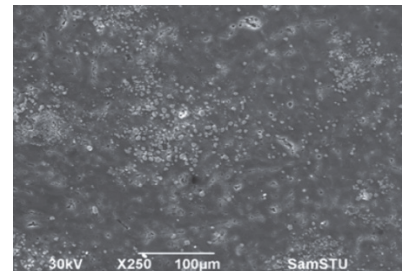


Նկ. 2. Al+5%Cu քաղաղրությամբ համաձուլվածքի ռենտգենագիրը

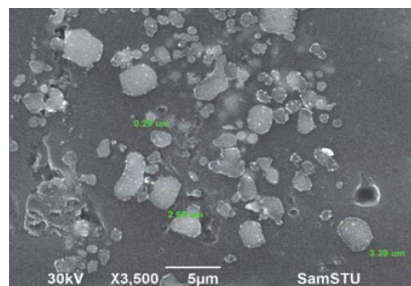
Այնուհետև ուսումնասիրվել է արմնավորող տիտանի կարբիդի ձևավորման հնարավորությունը Al+5%Cu համաձուլվածքում: Դրա համար մայրակ համաձուլվածքի մեջ ներմուծվել է ԲԻՍ բովախառնուրդ՝ տիտանի և ածխածնի մաքուր փոշիներ, ընդհանուր զանգվածի 10% չափով: Ստացված համաձուլվածքի կոտրվածքը և միկրոկառուցվածքը ցույց են տրված նկ. 3-ում:



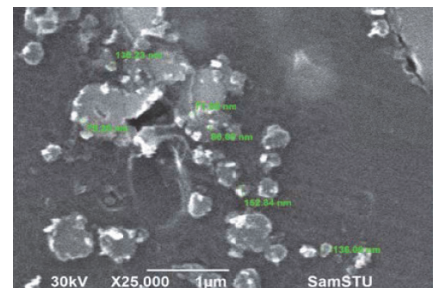
ա)



բ)



գ)

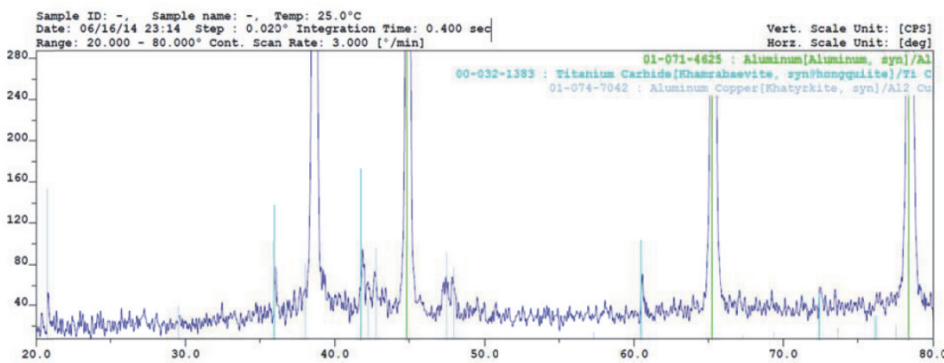


դ)

Նկ. 3. Տիտանի և ածխածնի փոշիների բովախառնուրդով ստացված (Al+5%Cu)+10%TiC համաձուլվածքի մակրո- և միկրոկառուցվածքները. ա – մակրոկառուցվածքը (x50), բ – միկրոկառուցվածքը x250, գ - միկրոկառուցվածքը x3500, դ - միկրոկառուցվածքը x2500

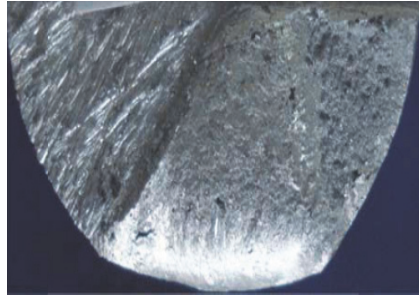
Չնայած հալման ժամանակ նկատվել է բավականին թույլ ԲԻՍ ռեակցիա, սակայն նմուշում արձանագրվել է հավասարաչափ և միատարր մոխրագույն կոտրվածք: Ստացված ԿԼ-ի միկրոկառուցվածքը բնութագրվում է կարբիդային ֆազի հավասարաչափ բաշխմամբ՝ հիմնականում հատիկների սահմանների երկայնքով, առանց խոշոր ագլոմերատների առաջացման:

Տիտանի կարբիդի մասնիկների չափերը նանոմետրային են և մեծ մասամբ կազմում է 70-160 նմ: Ստացված համաձուլվածքի ֆազային բաղադրությունը պարզելու համար իրականացվել է կառուցվածքի ռենտգենաֆազային անալիզ (նկ. 4), որը հաստատել է TiC և CuAl₂ ֆազերի առկայությունը: Պղնձի ալյումինիդային ֆազի առկայությունը ԿԼ-ի կազմի մեջ տվյալ դեպքում կարելի է բացատրել նրանով, որ տիտանի կարբիդի նանոմասնիկները կառուցվածքում աղավաղում են մայրակ ալյումինի ցանցը և դրանով իսկ նպաստում CuAl₂ ֆազի անջատմանը:

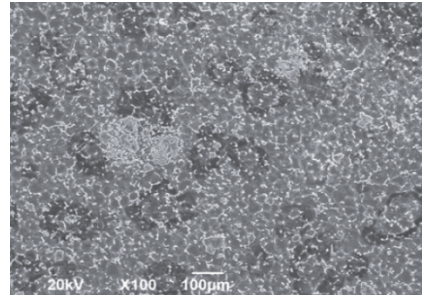


Նկ. 4. Տիտանի և ածխածնի փոշիների բովախառնուրդով սրացված (Al+5%Cu)+10%TiC համաձուլվածքի ռենտգենագիրը

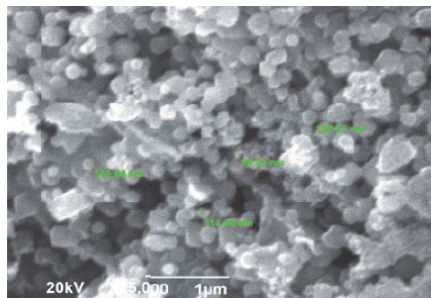
Հետազոտությունների արդյունքում պարզվել է, որ բովախառնուրդի բաղադրության մեջ Na₂TiF₆ հալոգենային աղի օգտագործումը հնարավորություն է տալիս շարունակելի դարձնել Al+5%Cu մայրակային համաձուլվածքի առկայությամբ հետագա փորձը [14], այսինքն Na₂TiF₆-ի ավելացում՝ լիցքի ստեխիոմետրիկ զանգվածից ավելի [15]: Նկ. 5-ում ցույց է տրված բովախառնուրդի (Ti+C+10%Na₂TiF₆) հիմքով նմուշի կոտրվածքը և միկրոկառուցվածքը:



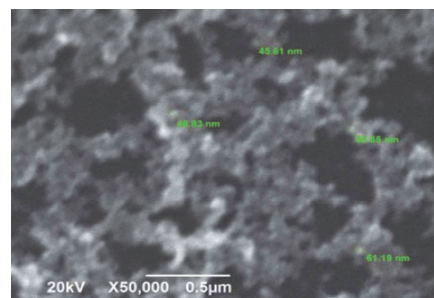
ա)



բ)



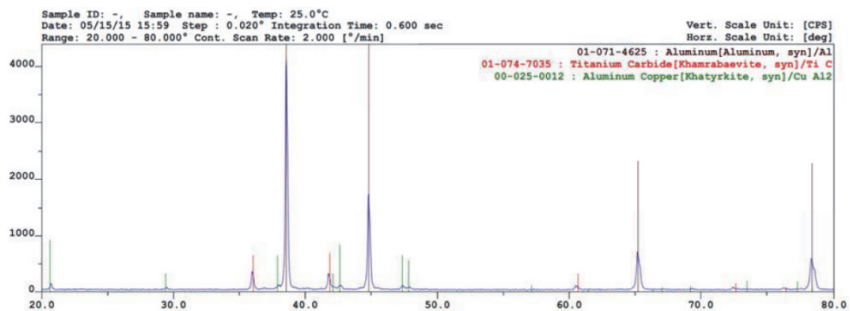
գ)



դ)

Նկ. 5. $(Ti+C)+10\%Na_2TiF_6$ բովախառնուրդի հիման վրա սրացված $(Al+5\%Cu)+10\%TiC$ բաղադրությամբ համաձուլվածքի մակրո- և միկրոկառուցվածքները. ա – մակրոկառուցվածքը (x50), բ – միկրոկառուցվածքը x100, գ - միկրոկառուցվածքը x5000, դ - միկրոկառուցվածքը x50000

Ինտենսիվ ԲԻՍ ռեակցիայի ընթանալուց հետո ստացվել է միատարր մոխրագույն կոտրվածքով նմուշ: Տիտանի կարբիդի նանոչափերի մասնիկների (40...150 նմ) բաշխումը համաձուլվածքի ամբողջ ծավալով փոքր կուտակումների տեսքով է: Ռենտգենաֆազային անալիզը ցույց է տվել TiC և $CuAl_2$ ֆազերի առկայությունը (Նկ. 6):



Նկ. 6. $(Ti+C)+10\%Na_2TiF_6$ բովախառնուրդի հիման վրա սրացված $(Al+5\%Cu)+10\%TiC$ բաղադրությամբ համաձուլվածքի ռենտգենագիրը

Համեմատելով Al+5%Cu+10%TiC բաղադրությամբ ԿՆ ստանալու համար կատարված փորձերի արդյունքները, կարելի է նշել, որ տիտան և ածխածին տարրերի փոշիներից պատրաստված բովախառնուրդով և հալոգենային աղի (Na₂TiF₆) ավելցուկի պայմաններում հնարավոր է ստանալ համաձուլվածքներ, որոնք ունեն միատեսակ կոտրվածքներ և նանոչափերի TiC-ի մասնիկներ: Սակայն պետք է նշել, որ կարբիդային ֆազի ընդհանուր բաշխումը ԿՆ-ում ստացվում է ավելի հավասարաչափ, երբ լինում է աղի ավելցուկ: Տվյալ դեպքում այս բաղադրությունը ընտրվել է որպես օպտիմալ:

Մշակված ԿՆ-ի օգտագործման հնարավոր տարբերակները պարզելու նպատակով ուսումնասիրվել են մեխանիկական հատկությունները, ինչպես նաև ստացված տվյալներով կատարվել է համեմատություն A7 մակնիշի այրումինի և Al+5%Cu մայրակային համաձուլվածքի միջև: Հետազոտության արդյունքները ներկայացված են աղյուսակում:

Աղյուսակ

Ելանյութերի և (Al+5%Cu)+10%TiC բաղադրությամբ ԿՆ-ի մեխանիկական հատկությունները

	$\sigma_{0,2}$, ՄՊա	σ_{δ} , ՄՊա	δ , %	Ψ , %	HB, ՄՊա
Al (A7)	-	60	20	-	20,0
Al+5%Cu	65	136	12	24	45,5
(Al+5%Cu)+10%TiC	74	194	17	17	62,4

Հարկ է նշել, որ Al+5%Cu+10%TiC համաձուլվածքը, ի տարբերություն Al+5%Cu մայրակի, չի դեֆորմացվել փորձարկման մեքենայի բռնակներում, որը պայմանավորված է կարծրության և ամրության զգալի աճով, չնայած որ այն բավականաչափ պահպանել է իր պլաստիկության ցուցանիշները:

Եզրակացություն: Հիմնվելով Al+5%Cu+10%TiC նանոկառուցվածքով կոմպոզիտային նյութի սինթեզի համար իրականացված հետազոտությունների արդյունքների վրա, կարելի է հանգել հետևյալ եզրակացությունների.

1. Առաջին անգամ ցույց է տրվել հալույթում ԲԻՍ մեթոդով Al+5%Cu+10%TiC համաձուլվածք ստանալու հնարավորությունը:
2. Մայրակի համաձուլվածքի բաղադրության մեջ 5% Cu-ի ներմուծումը հնարավորություն է տալիս վերջնական կոմպոզիտային համաձուլվածքի կառուցվածքում ստանալու տիտանի կարբիդի նանոմասնիկներ:
3. ԲԻՍ բովախառնուրդի բաղադրության մեջ ստեփոմետրիայից 10%-ով ավելի Na₂TiF₆ հալոգենային աղի ավելացումը թույլ է տալիս պահպանել սինթեզ-

ված տիտանի կարբիդի մասնիկների նանոչափերը և բարելավել դրանց հավասարաչափ բաշխվածությունը համաձուլվածքի ամբողջ ծավալով:

4. Պահպանելով պլաստիկության բարձր մակարդակը, արձանագրվել է ստացված նանոկառուցվածքով կոմպոզիտային նյութի ամրության ցուցանիշների զգալի աճ: Փորձարկումները կատարվել են ձուլածո նմուշների վրա, որոնք չեն ենթարկվել ջերմային մշակման: Ստացված նյութի թրծումն ու ծերացումը, ամենայն հավանականությամբ, հնարավորություն կտա հետազայում բարելավելու ստացված կոմպոզիտային նյութի ամրության բնութագրերը, որը հետագա հետազոտությունների առարկա է:

Հերազոտությունները կատարվել են Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի «Նյութագիտություն և մեխանիկա» բաժանի գիտահերազոտական լաբորատորիայում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Мондольфо Л.Ф.** Структура и свойства алюминиевых сплавов: Пер. с англ.- М.: Металлургия, 1979.- 483 с.
2. **Camargo P.H., Satyanarayana K.G., Wypych F.** Nanocomposites: synthesis, structure, properties and new application opportunities Camargo // Materials Research.- 2009.- Vol. 12, № 1.- Print version ISSN 1516-1439.
3. **Луц А.Р., Рыбаков А.Д.** Получение алюмоматричных наноструктурированных композиционных сплавов с использованием процессов СВС // Труды XIX Межд. науч.-практ. конф. «Металлургия: технологии, инновации, качество».- Новокузнецк, 2015.- С. 221-225.
4. **Амосов А.П., Никитин В.И., Никитин К.В., Рязанов С.А.** Научно-технические основы применения процессов СВС для создания литых алюмоматричных композиционных сплавов, дискретно армированных наноразмерными керамическими частицами // Научное издание «Технологии в машиностроении».- 2013.- № 8.- С.3-10.
5. **Kumar A. Mahapatra M.M., Jha P.K.** Fabrication and Characterization of Mechanical Properties of Al-4,5%Cu/10TiC Composite by In-Situ Method // Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering.- 2012.- № 11.- P. 1075-1080.
6. **Das B., Roy S., Rai R.N., Saha S.C.** Development of an in-situ synthesized multicomponent reinforced Al-4,5%Cu-TiC metal matrix composite by FAS technique – Optimization of process parameters // Engineering Science and Technology, an International Journal.- 2015.- P. 1-13.
7. **Крушенко Г.Г.** Средства и технологии увеличения содержания нанопорошков в алюминиевых модифицирующих прутках // Нанотехника.- 2011.- № 3.- С.55-64.
8. **Casatti R., Vedani M.** Metall Matrix Composites Reinforced by Nano-Particles – A Review // Metals.- 2014.- № 4.- P. 65-83.

9. **Кудряшова О.Б., Эскин Д.Г., Хрусталеv А.П., Ворожцов С.А.** Влияние ультразвука на процесс проникновения металлического расплава в субмикронные частицы и их агломераты // Известия вузов: Порошковая металлургия и функциональные покрытия.- 2016.- №3.- С. 43-49.
10. **Рязанов С.А.** Метастабильные состояния гетерогенных систем // Вестник СамГТУ. Сер. Техн. науки.- 2006.- №40.- С. 120-128.
11. **Zhou D., Qiu F., Jiang Q.** The nano-sized TiC particle reinforced Al-Cu matrix composite with superior tensile ductility // Materials Science and Engineering, 2015.- A622.- P. 189-193.
12. **Амосов А.П., Луц А.Р., Латухин Е.И., Ермошкин А.А.** Применение процессов СВС для получения in situ алюмоматричных композиционных материалов, дискретно армированных наноразмерными частицами карбида титана: Обзор // Известия вузов: Цветная металлургия.- 2016.- №1.- С. 39-49.
13. **Amosov A.P., Luts A.R., Ermoshkin A.A.** Nanostructured aluminum matrix composites of Al10%TiC obtained in situ by the method of SHS in the melt // Key Engineering Materials.- 2016.- Vol .684.- P. 281-286.
14. Self-propagating high-temperature synthesis of highly dispersed titanium-carbide phase from powder mixtures in the aluminum melt / **A.R. Luts, A.P. Amosov, A.A. Ermoshkin, et al** // Russian Journal of Non-Ferrous Metals.- 2014.- Vol. 55.- № 6.- P. 606-612.
15. **Амосов А.П., Луц А.Р., Латухин Е.И., Ермошкин А.А.** Армирование сплава Al-5%Cu наночастицами карбида титана методом СВС в расплаве // Известия Самарского научного центра Российской академии наук: Технологии материалов.- 2017.- С. 529-535.

Г.А. ВАСИЛЯН, Т.Н. САФАРЯН, Т.А. ДЕМИРЧЯН, А.С. АГБАЛЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЛИТЬЯ ДЕФОРМИРУЕМЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Al-Cu-TiC С ВЫСОКОЙ УДЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТЬЮ

Проведен анализ процесса литья и механизма структурообразования деформируемых алюминиевых сплавов системы Al-Cu-TiC с высокой удельной прочностью. Рассмотрены преимущества и особенности применения самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) с целью создания наноструктурных композиционных материалов (КМ). Показаны результаты экспериментов по созданию КМ системы Al+5%Cu+10%TiC с гомогенной структурой. Наночастицы TiC были внедрены в расплав матрицы посредством применения метода СВС с добавлением порошков титана, углерода и галогенной соли Na₂TiF₆. В результате имеет место чувствительный рост прочностных характеристик полученных наноструктурных композиционных материалов с одновременным сохранением высокого уровня пластичности.

Ключевые слова: удельная прочность, деформируемый алюминиевый сплав, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, упрочняющая фаза, карбид титана, механические свойства.

G.A. VASILYAN, T.N. SAFARYAN, T.A. DEMIRCHYAN,
A.S. AGHBALYAN

**INVESTIGATION OF THE CASTING PROCESS OF DEFORMABLE
ALUMINUM ALLOYS OF THE Al-Cu-TiC SYSTEM WITH A HIGH
SPECIFIC STRENGTH**

The analysis of the casting process and the mechanism of structure formation of deformable aluminum alloys of the Al-Cu-TiC system with high specific strength is carried out. The advantages and features of using the self-propagating high-temperature synthesis (SHS) for the purpose of creating nanostructured composite materials (CM) are considered. The results of experiments on the creation of CM of the Al+5%Cu+10%TiC system with a homogeneous structure are shown. TiC nanoparticles were introduced into the melt of matrix by using the SHS method with addition powders of titanium, carbon, and Na₂TiF₆ halogen salt. As a result, there is a sensitive increase in the strength characteristics of the obtained nanostructured composite materials with maintaining a high level of plasticity.

Keywords: specific strength, deformable aluminum alloys, hardening phase, titanium carbide, mechanical properties.

ՀՏԴ 621.762 (07)

Հ.Ս. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Վ.Ս. ՂՈՒԿԱՍՅԱՆ, ՅՈՒ.Վ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

**ԵՐԿԱԹԻ ՀԻՄՔՈՎ ՀԱԿԱՇՓԱԿԱՆ ՓՈՇԵԿՈՄՊՈԶԻՏԱՅԻՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ
ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ**

Փորձնական եղանակով մշակվել է 2%Cr+1,5%Ni+3%Cu+0,5%C+2%MoS₂+Fe (մնացածը) բաղադրությամբ հակաշփական նյութ, որը երաշխավորվել է ծանր բեռնվածությունների պայմաններում աշխատող առանցքակալների պատրաստելու համար: Այն ունի հակաշփական հետևյալ հատկությունները՝ $\mu = 0,032$ և $P=40$ ՄՊա, $V=1$ մ/վրկ, իսկ մեխանիկական հատկություններն են՝ $\sigma_{\delta} = 1200$ Մն/մ², HB=3000 ՄՊա, $\delta = 13\%$, $\psi = 35\%$, KCU=590 կՋ/մ²:

Առանցքային բառեր. առանցքակալներ, բազմակոմպոնենտ, եռակաված, արտամղված, հակաշփական, մեխանիկական հատկություններ, մեծ բեռնվածություն:

Ներածություն: Երկաթի հիմքով փոշեկոմպոզիտային նյութերը մեծ տարածում են գտել արդի տեխնիկայում, իսկ պինդ քսանյութերով լեգիրման դեպքում՝ նաև որպես հակաշփական նյութեր ծանր բեռնվածությունների տակ աշխատելու համար: Որպես պինդ քսանյութ մեծ կիրառություն են գտել գրաֆիտը և մոլիբդենի դիսուլֆիդը, որոնք փոքրացնում են շփման գործակիցը, իսկ որպես ամրացնող բաղադրիչ օգտագործվում են քրոմ, նիկել, որոնք, լուծվելով երկա-