

Կ Ա Ր Ծ Ի Ք

Հայցորդ Նինա Գագիկի Սահակյանի կողմից Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանին առընթեր գործող ՀՀ ԲԿԳԿ-ի «Մետալուրգիա և նյութագիտություն» մասնագիտական խորհրդին (թվանիշ 031) ներկայացված «Երկաթով և սիլիցիումով լեգիրված MAX-Ֆազային կառուցվածքով համաձուլվածքների ստացման տեխնոլոգիայի մշակումը» թեմայով ատենախոսական աշխատանքի վերաբերյալ՝ «Մետալուրգիա» մասնագիտությամբ (թվանիշ Ե.16.02) տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճան հայցելու համար

09 փետրվարի 2026թ.

ք. Երևան

ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ԹԵՄԱՅԻ ԱՐԴԻԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆԸ

Արդի գիտության և տեխնիկայի զարգացումը պահանջում է ֆունկցիոնալ հատկություններով նոր նյութերի մշակում, որոնց ստացումը տեսականորեն հնարավոր է այդ նպատակով օգտագործվող ելանյութերի հատկությունները համատեղելու ճանապարհով: Այդպիսի բնութագրերով ստացված նյութերը ստացել են MAX-ֆազ տեխնիկական անվանումը, որոնք կառուցվածքով լինելով բազմաշերտ՝ ունեն մի շարք ոլորտներում կիրառման համար պահանջվող հատկություններ, ինչպիսիք են բարձր էլեկտրահաղորդականությունը և ջերմահաղորդականությունը, բարձր տեսակարար ամրությունը, հրակայունությունը, պլաստիկությունը, քիմիական և ջերմային ազդեցությունների նկատմամբ կայունությունը, ծակոտկենությունը, ջերմային ընդարձակման ցածր գործակիցը, կայունությունը բարձրջերմաստիճանային օքսիդացման նկատմամբ, մեխանիկական լավ մշակվելիությունը, բարձր հալման ջերմաստիճանը, կայունությունը 1000°C-ից բարձր ջերմաստիճաններում և այլն: Նշված հատկությունների համատեղ առկայությունը MAX-ֆազերում բացատրվում է դրանց բազմաֆազ և շերտավոր կառուցվածքով, որոնք իրենց բաղադրության մեջ ներառում են տարբեր քանակությամբ մետաղների կարբիդներ, սիլիցիդներ, ինչպես նաև միջմետաղական ֆազեր:

Հայտնի է նաև MAX-ֆազերի քիմիական բանաձևը, ըստ որի դրանք որոշակի բաղադրությամբ եռաշերտ միացություններ են, ինչպիսին է $M_{n+1}AX_n$ ($n = 1, 2, 3, \dots$), որտեղ M -ը անցումային d-մետաղն է (Ti, Fe, Ni, Co, V, Cr, Mo և այլն), A -ն՝ p-տարր (օրինակ, Si, Ga, Ge, Al, Sn և այլն), իսկ X -ը՝ ածխածին կամ ազոտ: MAX-ֆազերի շարքում, որպես տեխնիկական առումով ուշագրավ նյութ, առանձնանում է Ti_3AlC_2 ֆազը, որը կարող է դառնալ բարձրջերմաստիճանային պայմաններում աշխատող կոմպոզիտային նյութերի մայրակ: Նման նյութերի ստացման հեռանկարային մեթոդներից

մեկը բարձրջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզն է (ԲԻՍ), որն իրականացվում է 1700...2000°C ջերմաստիճանային միջակայքում: ԲԻՍ գործընթացին մասնակցող տարրերից յուրաքանչյուրը կատարում է որոշակի գործառույթ: Օրինակ՝ C-ն հանդիսանում է որպես վերականգնիչ և նպաստում է գազային պղպջակների առաջացմանը՝ նյութին հաղորդելով ծակոտկենություն և նվազեցնելով խտությունը: Ti-ը հանդիսանում է առանցքային տարր և փոխազդելով ածխածնի ու ալյումինի հետ՝ առաջացնում է TiC և Ti-Al միացություններ, որոնք հետագայում փոխազդում են՝ առաջացնելով Ti_3AlC_2 և հարակից ֆազեր: Al-ը նույնպես ունի էական նշանակություն. նպաստում է անհրաժեշտ ջերմային պայմանների ստեղծմանը և մեծացնում սինթեզի ակտիվությունը:

Բացի նշվածից, վերջին տարիներին աճել է հետաքրքրությունը ֆերոմագնիսական հատկություններով օժտված MAX-ֆազերի նկատմամբ, որոնք պարունակում են Fe, Ni, Co տարրեր և մեծ կիրառություն են գտել միկրոէլեկտրոնիկայում և սպինտրոնիկայում: Կարող են կիրառվել նաև բարձր ջերմաստիճաններում աշխատող սարքերում, էլեկտրական կոնտակտներում, ինչպես նաև ատոմային էներգետիկայում:

Վերը նշվածը վկայում է, որ աշխատանքն ունի կիրառական մեծ նշանակություն և բխում է ինչպես արդի տեխնիկական պահանջներից, այնպես էլ Հայաստանի գիտատեխնիկական զարգացման հեռանկարներից: MAX-ֆազերի ստացման, հատկությունների կառավարման և որոշակի ուղղությամբ կատարվող հետազոտությունները կարող են հիմք հանդիսանալ ժամանակակից մետալուրգիական և նյութագիտական մեթոդներով այդ նյութերի ստացման համար, որոնց պահանջարկը մեծ է բարձր տեխնոլոգիաների ոլորտում:

Ատենախոսական աշխատանքի նպատակն է բարձրջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզի եղանակով մշակել երկաթով և սիլիցիումով լեգիրված MAX-ֆազային կառուցվածքով համաձուլվածքների ստացման տեխնոլոգիա և հետազոտել Ti-ի, FeSi-ի և Al-ի մետաղափոշիների ու ածխածնափոշու էկվիմոլյար խառնուրդից սինթեզված Ti_3AlC_2 համաձուլվածքի հիմքով $(Fe,Ti)_3(Al,Si)C_2$ MAX-ֆազի կառուցվածքազոյացման ու հատկությունների ձևավորման գործընթացները:

ԱՏԵՆԱԽՈՍԱԿԱՆ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

Նինա Գագիկի Սահակյանի կողմից պաշտպանության ներկայացված ատենախոսական աշխատանքը բաղկացած է ներածությունից, հինգ գլխից, ընդհանուր

եզրակացություններից, 157 անուն օգտագործված գրականության ցանկից: Այն շարադրված է 145 համակարգչային տպագիր էջերի վրա, ներառում է 43 նկար և 18 աղյուսակ:

Ատենախոսական աշխատանքի սեղմագիրը շարադրված է 23 համակարգչային տպագիր էջերի վրա, ներառում է աշխատանքի ընդհանուր բնութագիրը և ատենախոսության համառոտ բովանդակությունը: Սեղմագրում բերված են ատենախոսության հիմնական արդյունքները և եզրակացությունները, ինչպես նաև նշված են տպագրված 14 աշխատանքները, որոնք համապատասխանում են ատենախոսական աշխատանքի դրույթներին և թեմայի ուղղվածությանը: Բոլոր հոդվածները տպագրվել են ՀՀ ԲԿԳԿ կողմից ընդունված ցուցակում ընդգրկված հրատարակություններում, որոնցից երկուսը առանց համահեղինակների են, իսկ երկուսը՝ տպագրվել են միջազգային շտեմարաններում ընդգրկված հրատարակչություններում: Ատենախոսության դրույթները և հանձնարարականները զեկուցվել ու քննարկվել են Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի 2018...2025թթ. տարեկան գիտաժողովներում:

Ատենախոսական աշխատանքի ներածությունում հիմնավորված է թեմայի արդիականությունը և հրատապությունը, շարադրվել են նպատակը, առաջադրված խնդիրներն ու պաշտպանության ներկայացվող դրույթները, հետազոտության առարկան, ինչպես նաև ձևակերպվել են գիտական նորույթը և աշխատանքի կիրառական նշանակությունը:

Առաջին գլխում կատարվել է գրականության վերլուծություն: Ցույց է տրվել, որ MAX-ֆազերի ստացումը բարձրջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզի (ԲԻՍ) եղանակով խիստ արդիական է և հեռանկարային: Այն ավանդական մեթոդների նկատմամբ ունի մի շարք առավելություններ, հատկապես պետք է նշել ցածր էներգատարողությունը և բարձր արտադրողականությունը: Եղանակը հնարավորություն է ընձեռում ստանալու տարբեր բաղադրությամբ կոմպոզիտային նյութեր և համաձուլվածքներ, որոնցից են Ti_3SiC_2 , Ti_2AlC , Ti_3AlC_2 , Ti_2AlN և այլն: Վերլուծության արդյունքում ցույց է տրվել, որ $Ti-Si-Al-C$ համակարգի կոմպոզիտային նյութերի գլխավոր թերությունը դրանց ցածր ֆերոմագնիսական թափանցելությունն է, ինչը, բնականաբար հանգեցնում է կիրառական հնարավորությունների նվազմանը: Հիմնավորվել է, որ ֆերոմագնիսական հատկությունների լավացման նպատակով MAX-ֆազերը պետք է լեգիրել երկաթով, նիկելով, կոբալտով կամ դրանց համաձուլվածքներով:

Երկրորդ գլխում ընտրվել և հիմնավորվել են հետազոտությունների համար անհրաժեշտ նյութերը, ուսումնասիրվել են դրանց բնութագրերը և ընտրվել ու մշակվել հետազոտության մեթոդիկան: Կատարվել է բովախառնուրդի նախնական մեխանա-քիմիական ակտիվացում և $(\text{Fe,Ti})_3(\text{Al,Si})\text{C}_2$ բաղադրությամբ MAX-ֆազի ստացում բարձրջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզի եղանակով, որի համար նախագծվել և պատրաստվել է օդի մուտքը փոխազդեցության տարածք արգելափակող փորձնական սարքավորում: Տեխնոլոգիական ռեժիմների վերահսկման նպատակով ընտրվել են ժամանակակից չափիչ և հսկիչ սարքավորումներ:

Բարձրջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզի գործընթացի արդյունքների գնահատման նպատակով ընտրվել և հիմնավորվել են ֆազային փոխակերպությունների և կառուցվածքային վերլուծության, միկրոկառուցվածքի և բնութագրերի ուսումնասիրման, ֆիզիկաքիմիական և թերմոդինամիկական հիմնավորման, մեխանաքիմիական ակտիվացման և մանրացման մեթոդներ ու սարքավորումներ:

Երրորդ գլխում կատարվել է երկաթ և սիլիցիում պարունակող MAX-ֆազերի բարձրջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզի եղանակով ստացման գործընթացի թերմոդինամիկական հիմնավորում և փորձարարական հետազոտություններ: Ցույց է տրվել, որ MAX-ֆազերի ստացման գործընթացում երկաթն ու տիտանը կարող են մասնակցել կարբիդային և սիլիցիդային ֆազերի առաջացման ռեակցիաներին՝ թերմոդինամիկորեն գրեթե միևնույն հավանականությամբ:

Ըստ Fe-Si վիճակի դիագրամի՝ երկաթի և սիլիցիումի օքսիդների ալյումինաթերմային վերականգնման արդյունքում տեսականորեն հնարավոր է FeSi , Fe_3Si , Fe_2Si_3 և FeSi_2 ֆազերի ստացման գործընթացը: Ցույց է տրվել Գիբսի էներգիաների փոփոխության արժեքները՝ (ΔG_f°), բացասական են և գտնվում են 50...25 կՋ/մոլ սահմաններում: Այս հանգամանքը վկայում է, որ տարբեր տարրերի (Fe, Ti, Si, C) համակցված ներկայությունը չի արգելակում MAX-ֆազի ձևավորմանը, այլ կարող է նպաստել դրա ստացման արդյունավետությանը՝ պայմանով, որ պահպանվեն ռեակցիայի համամասնությունները և ճշգրիտ վերահսկվեն սինթեզի ջերմաստիճաններն ու միջավայրը:

Չորրորդ գլխում կատարվել են քրոմ, տիտան, երկաթ և սիլիցիում պարունակող MAX-ֆազերի բարձրջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզի ալյումինաջերմային եղանակով ստացման գործընթացի փորձարարական հետազոտություններ:

Բացահայտվել է, որ ֆերոսիլիցիումի, տիտանի, ալյումինի և ածխածնի դիսպերս փոշիների բովախառնուրդից սինթեզված MAX-ֆազը ստացվում է Ti_2AlC և Ti_3AlC_2 ֆազի գերակշռությամբ՝ 95%, իսկ 5%-ը՝ TiC կարբիդն է: Բովախառնուրդի նախնական մեխանաակտիվացման դեպքում, ԲԻՍ գործընթացի ընթացքում հիմնական MAX-ֆազի ելքը մեծանում է, ընդ որում, ստացվում է Ti_3AlC_2 քիմիական բանաձևին համապատասխան գրեթե միաֆազ MAX-ֆազ:

Ուսումնասիրվել է $Ti-Al-C$ համակարգում ֆազագոյացման գործընթացը: Պարզվել է, որ $500^{\circ}C$ -ից բարձր ջերմաստիճանում ալյումինը սկսում է լուծվել տիտանի մեջ՝ առաջացնելով պինդ լուծույթ: Արդյունքում առաջանում է $TiAl_3$ -ով հարստացված միջմետաղական միացություններ, ինչպես նաև մնում են ազատ Ti և Al : Նմուշի տաքացման ցածր արագությունը նպաստում է բաղադրիչների հպման տեղամասերում միջմետաղական միացությունների դանդաղ առաջացմանը, որը հանդես է գալիս որպես դիֆուզիոն արգելք:

Շերտավոր համակարգում $(Ti+Al)/(Ti+C)$ կատարված փորձերի արդյունքում $TiAl_3$ և TiC ֆազերից կազմված սկզբնական շերտերի $(Ti+Al)$ և $(Ti+C)$ միջև հաստատվել է $TiAl_3$ և TiC ֆազերից կազմված Ti_2AlC MAX-ֆազի վրա հիմնված անցումային շերտի ձևավորումը, որն ամրացնում է ստացված կառուցվածքը: Նյութի կառուցվածքն իրենից ներկայացնում է գնդաձև TiC կարբիդային ֆազի հատիկներ ալյումինով հարստացված միջմետաղական մայրակում: Անցումային շերտը պարունակում է Ti_2AlC ֆազի երկարացված ասեղաձև հատիկներ:

Կատարվել է ստացված նմուշների մեխանիկական հատկությունների ուսումնասիրման փորձարկումներ, համաձայն որի շերտավորված նմուշների քայքայումը տեղի է ունենում ոչ թե ԲԻՍ գործընթացում ձևավորված անցումային գոտում, այլ ավելի փխրուն շերտի ծավալում: Ստացված արդյունքը ցույց է տալիս, որ Ti_2AlC կամ Ti_3SiC_2 -ի վրա հիմնված MAX-ֆազ պարունակող ձևավորված անցումային շերտն ունի ավելի բարձր ամրության բնութագրեր և բարձր կաշունություն $Ti-Al$ շերտին:

Բացահայտվել է, որ բովախառնուրդի մեխանաքիմիական ակտիվացման ժամանակ փոշեհատիկների դեֆորմացիայի պարամետրերը և առաջին հերթին դեֆորմացիայի արագությունը մեծ ազդեցություն ունեն նյութի կառուցվածքի ձևավորման վրա, ինչպիսիք են չափի փոփոխությունը, ձևը և հատիկների փոխադարձ դասավորությունը: Ցույց է տրվել, որ փոխելով այս պարամետրերը լայն տիրույթում,

հնարավոր է փոխել ստացված փոշու որակը և դրա ձևաչափերը: Արդյունքում ֆերոսիլիցիումի, տիտանի, ալյումինի և ածխածնի փոշիներից պատրաստված բովախառնուրդի մեխանաակտիվացմամբ և ԲԻՍ եղանակով մշակմամբ ստացվել է ֆերոմագնիսական բնութագրերով օժտված բաղադրանյութ, որը պարունակում է 93% $(\text{Fe,Ti})_3(\text{AlSi})\text{C}_2$ բաղադրությամբ MAX-ֆազ և 5% խառնուրդներ, որոնք հարուստ են երկաթի սիլիցիդի (Fe_5Si_3 , Fe_3Si , FeSi) բյուրեղներով, ինչպես նաև 1% Ti_5Si_2 և 1% TiC -ով: Ցույց է տրվել, որ $(\text{Fe,Ti})_3(\text{Al,Si})\text{C}_2$ ֆազն իրենից ներկայացնում է վեցանկյուն կառուցվածքով նյութ, որում Ti և Fe ատոմները տեղակայված են մետաղակարբիդային շերտում՝ կառուցվածքի մեջ ունենալով հավասարազոր դիրքեր: Վերջինիս մանրացման ճանապարհով ստացվում է MAX-ֆազի դիսպերս փոշի, որը կարելի է օգտագործել փոշեմետալուրգիայում որպես երկաթով հարուստ սիլիցիդների պարունակությամբ մագնիսական MAX-ֆազեր:

Համալիր հետազոտությունների արդյունքում բացահայտվել է, որ ֆերոսիլիցիումի, տիտանի, ալյումինի և ածխածնի նախապես մեխանաակտիվացված բովախառնուրդի ԲԻՍ մեթոդով մշակումով հնարավոր է ստանալ դիսպերս փոշու տեսքով համակցված բաղադրանյութ, որի մայր ֆազը՝ 93%, $(\text{Fe,Ti})_3(\text{AlSi})\text{C}_2$ բաղադրությամբ MAX-ֆազն է: Այն պարունակում է նաև 5 զանգ. % երկաթի միացություններ՝ Fe_5Si_3 , Fe_3Si և FeSi , որոնք արգասիքին հաղորդում են ֆերոմագնիսական հատկություններ: Բացի դրանից, վերջնանյութում պարունակվում են նշված ֆազում չլուծվող 2%-ի չափով Ti_5Si_2 և TiC : Այստեղից հետևում է, որ ելանյութերի նախնական մեխանաքիմիական ակտիվացումը դրական է ազդում է ԲԻՍ գործընթացի վարքի վրա, ինչը ելանյութերի հատիկների մասնիկների մակերևույթի մեծացման և ամորֆ մասնիկների չափի նվազման հետևանք է:

Հետազոտվել է առանձին տարրերի բաշխումը MAX-ֆազի մեջ՝ ըստ սպեկտրների: Ցույց է տրված, որ համաձուլվածքում առանձին տարրերի բաշխումը նույնպես անհավասար է: Հիմնականում համաձուլվածքում գերակշռում են սիլիցիումը, երկաթը և տիտանը: Ալյումինի քանակությունը փոքր է, որը, ըստ երևույթին, պայմանավորված է խարամի մեջ նրա անցնելով:

Միկրոռենտգենասպեկտրային վերլուծությամբ հիմնավորվել է, որ հիմնական ֆազերն են երկաթի, տիտանի և սիլիցիումի հիմքով միացությունները: Ցույց է տրված, որ երկաթով և սիլիցիումով լեգիրումը բազմակողմանի ազդեցություն ունի ֆազային

հավասարակշռության վրա, ինչը հանգեցնում է ստացված համաձուլվածքների հատկությունների փոփոխությունների:

Ստացված նմուշների միկրոկառուցվածքային վերլուծությամբ բացահայտվել են միկրոկառուցվածքի ձևաբանության, ֆազային բաշխման օրինաչափությունների և հատիկների չափի հիմնական տարբերությունները՝ կախված լեգիրող տարրի տեսակից: Մայրակի մեջ դիտվել են միջմետաղական ֆազերի և մանրահատիկ կարբիդների կլորացված ներառումներ: Հատիկներն ավելի փոքր են և կազմում են մոտավորապես 5,7 մկմ, ինչը պայմանավորված է սիլիցիումի ազդեցությամբ հատիկների աճի դանդաղեցման վրա: Բացահայտվել են ֆազերի և տարրերի կառուցվածքի ձևի ձևավորման հիմնական օրինաչափությունները՝ MAX-ֆազային համաձուլվածքների՝ երկաթով և սիլիցիումով լեգիրման ընթացքում:

Ուսումնասիրվել են MAX-ֆազային համաձուլվածքների որոշ հատկություններ կախված տաքացման ջերմաստիճանից: Ցույց է տրված, որ ջերմային ընդարձակման գործակիցը, էլեկտրահաղորդականությունը և օքսիդացման կայունությունը սերտորեն կախված են նյութերի միկրոկառուցվածքային դասավորությունից, էլեկտրոնային կառուցվածքի և ֆազային կազմից:

Հինգերորդ գլխում ներկայացված է հայցորդի կողմից մշակված երկաթով և սիլիցիումով լեգիրված MAX-ֆազի կառուցվածքով համաձուլվածքների ստացման տեխնոլոգիան: Ստացված համաձուլվածքները բազմաֆազ նյութեր են և պարունակում են մինչև 93 % $(\text{Fe,Ti})_3(\text{Al,Si})\text{C}_2$ բաղադրությամբ MAX-ֆազ, ինչպես նաև բյուրեղային տեսքով երկաթի սիլիցիդ (Fe_5Si_3 , Fe_3Si , FeSi) և փոքր քանակությամբ Ti_3Si_3 , TiC ֆազեր: Բարձրջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզի ալյումինաթերմային եղանակով երկաթ և սիլիցիում պարունակող $(\text{Fe,Ti})_3(\text{Al,Si})\text{C}_2$ բաղադրությամբ MAX-ֆազի ստացումը հիմնավորված է տեսական և փորձարարական մեթոդներով. այն տնտեսապես շահավետ է և հնարավորություն է տալիս՝ ստանալու բարձր մաքրությամբ, մագնիսական և մեխանիկական հատկություններով օժտված կայուն փոշեզանգված:

ԳԻՏԱԿԱՆ ԴՐՈՒՅԹՆԵՐԻ ԵՎ ԵԶՐԱՀԱՆԳՈՒՄՆԵՐԻ ՃՇՏՈՒԹՅՈՒՆԸ

Աշխատանքում ներկայացված են 4 գիտական դրույթներ, որոնք հիմնված են երկաթով և սիլիցիումով լեգիրված MAX-ֆազային կառուցվածքով համաձուլվածքների ստացման գործընթացների տեսական վերլուծության և գիտափորձերի արդյունքների

վրա: Գիտական դրույթների ճշտությունը հավաստի են և հիմնված ժամանակակից գիտափորձական տվյալների վրա: Հետազոտությունների ընթացքում օգտագործվել է հիմնավորված վերլուծության միջոցներ, այդ թվում՝ մետաղագրական, ռենտգենակառուցվածքային, ռենտգենասպեկտրային, քիմիական, որոնք հեղինակին հնարավորություն են տվել հաջողությամբ իրագործել հետազոտական ծրագիրը և ստանալ գիտափորձերի հավաստի արդյունքներ: Հիմնական արդյունքները և եզրակացությունները ներկայացված են 8 կետով, որոնք հաստատագրված են գիտափորձական հետազոտություններով ու տեսական դրույթներին դրանց համապատասխանեցմամբ՝ ունեն գիտական և գործնական նշանակություն:

ՍՏԱՑՎԱԾ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԻ ՆՈՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ՀԻՄՆԱՎՈՐՄԱՆ ԱՍՏԻՃԱՆԸ

Հայցորդի կողմից առաջին անգամ սինթեզվել է տիտանի կարբոսիլիցիդի հիմքով նոր MAX-ֆազ՝ $(\text{Fe,Ti})_3(\text{Al,Si})\text{C}_2$ բաղադրությամբ, որում տիտանի մի մասը փոխարինվել է երկաթով, իսկ ալյումինի մի մասը՝ սիլիցիումով: Այն, բացի մետաղներին և կոմպոզիտային նյութերին բնորոշ հատկություններից, դրսևորում է նաև արժեքավոր ֆերոմագնիսական հատկություններ: Բացի այդ, երկաթը և սիլիցիումը ներմուծվում են համաձուլվածքի մեջ ոչ թե մաքուր մետաղների, այլ մետալուրգիական գործարանների թափոնախարամներից ստացված և էժան FeSi լիգատուրայի ձևով: Շնորհիվ երկաթի և սիլիցիումի առկայության՝ ստացված MAX-ֆազի մեջ առաջանում են Fe_5Si_3 , Fe_3Si և FeSi ֆազեր, որոնք համաձուլվածքին հաղորդում են լրացուցիչ ֆերոմագնիսական հատկություններ: Արդյունքում միաժամանակ ձևավորվում են տիտանի և երկաթի թե՛ սիլիցիդներ և թե՛ կարբիդներ:

Բացահայտվել է, որ մեխանաքիմիական ակտիվացումն նպաստում է ելանյութերի դիսպերս կառուցվածքի ձևավորմանը, անհրաժեշտ աստիճանի ակտիվացմանը և սկզբնական կառուցվածքային վերադասավորմանը, ինչը անհրաժեշտ է MAX-ֆազի միատեսակ և կայուն սինթեզի համար: Այն մեծացնում է նաև ռեակցիայի մեջ մտնող ելանյութերի մակերևույթի մակերեսը, ստեղծում է կառուցվածքային միկրոարատներ և բարձրացնում տարբեր բաղադրիչների փոխազդեցության արագությունն ու հոմոգենությունը: Արդյունքում մեխանաքիմիական ակտիվացումը թույլ է տալիս ստանալ ավելի բարձր ելքով MAX-ֆազեր, ինչպես նաև փոքրացնում է ռեակցիայի ընթացքի ժամանակը և ապահովում ֆերոմագնիսական ու մեխանիկական հատկությունների բարելավված համադրություն:

**ՀԵՂԻՆԱԿԻ ԿՈՂՄԻՑ ՍՏԱՑՎԱԾ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԻ ԿԱՐԵՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆԸ
ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԱՐԴՅՈՒՆԱԲԵՐՈՒԹՅԱՆ ՈԼՈՐՏՈՒՄ**

Հեղինակի կողմից ստացված արդյունքները կարևոր նշանակություն ունեն ժամանակակից գիտության և արդյունաբերության ոլորտներում: Աշխատանքը տալիս է նոր գիտելիքներ MAX-ֆազերի բաղադրության, կառուցվածքի և սինթեզի մեխանիզմների մասին, հատկապես Fe-Ti-Si-Al-C համակարգում, բացահայտելով նոր կոմպոզիտային ֆերոմագնիսական MAX-ֆազերի ձևավորման պայմաններն ու բնութագրերը: Սինթեզված և բարդ կառուցվածք ունեցող (Fe,Ti)₃(Al,Si)C₂ բաղադրությամբ ու լրացուցիչ մագնիսական հատկություններով օժտված նոր MAX-ֆազը կարող է օգտագործվել միկրոէլեկտրոնիկայում և հատուկ տեխնիկայում: Նշված MAX-ֆազից ստացված փոշիներից փոշեմետալուրգիական եղանակով կարող են պատրաստվել ֆունկցիոնալ հատկություններով արտադրատեսակներ, որոնք բացի բարձր տեսակարար ամրությունից, հրակայունությունից, կոռոզիակայունությունից, մաշակայունությունից և շերտավոր, գրաֆիտանման կամ լամինատային ծակոտկեն կառուցվածքից միաժամանակ կունենան նաև ֆերոմագնիսական և էլեկտրական հատկություններ:

Ատենախոսությունում առաջադրված խնդիրներն ու նպատակներն ունեն բարձր արդիականություն, իսկ կատարված հետազոտությունները ներկայացնում են նշանակալի գիտական և գործնական արժեք: Աշխատանքում մշակվել և առաջադրվել է նոր տեխնոլոգիա վերը նշված նյութերի ստացման համար, որը տեխնոլոգիական առումով ունի ակնհայտ առավելություն առկա մոտեցումների նկատմամբ:

**ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱՊԱՏԱՍԽԱՆՈՒԹՅՈՒՆԸ ՀՀ ԲԿԳԿ-Ի ԳԻՏԱԿԱՆ
ԱՍՏԻՃԱՆԱՇՆՈՐՀՄԱՆ ԿԱՆՈՆԱԿԱՐԳԻ 6-ՐԴ, 7-ՐԴ, 10-ՐԴ, 11-ՐԴ և 13-ՐԴ
ԿԵՏԵՐԻ ՊԱՀԱՆՋՆԵՐԻՆ**

Հայցորդ Նինա Գագիկի Սահակյանի թեկնածուական ատենախոսությունը հանդիսանում է ինքնուրույն ավարտուն գիտական աշխատանք, որտեղ հեղինակը մշակել է երկաթով և սիլիցիումով լեգիրված MAX-ֆազային կառուցվածքով համաձուլվածքների ստացման ժամանակակից տեխնոլոգիա: Բացահայտել է, որ ստացված (Fe,Ti)₃(Al,Si)C₂ բաղադրությամբ ֆազն իրենից ներկայացնում է վեցանկյուն կառուցվածքով նյութ, որում Ti և Fe ատոմները տեղակայված են մետաղակարբիդային շերտում: Վերջինիս մանրացման ճանապարհով ստացվում է MAX-ֆազային դիսպերս փոշեզանգված, որը կարելի է օգտագործել փոշեմետալուրգիայում՝ որպես երկաթով հարուստ և սիլիցիդների պարունակությամբ մագնիսական MAX-ֆազեր:

Ատենախոսությունը բավարարում է ՀՀ ԲԿԳԿ-ի գիտական աստիճանաշնորհման կանոնակարգի 6, 7, 10, 11 և 13 կետերի պահանջներին, համաձայն որի այն կիրառական կարևոր խնդրի լուծումն ապահովող գիտականորեն հիմնավորված տեխնիկական և տեխնոլոգիական մշակում է: Ատենախոսությունը համապատասխանում է ՀՀ գիտական աստիճանաշնորհման անվանացանկի «Մետալուրգիա» մասնագիտությանը (թվանիշ Ե.16.02): Սեղմագիրը և հրատարակված 10 գիտական հոդվածներն ընդգրկում են ատենախոսության հիմնական բովանդակությունը:

Ընդհանուր եզրակացությունները ներկայացված են 8 կետով, որոնք ընդգծում են, որ մշակված $(\text{Fe,Ti})_3(\text{Al,Si})\text{C}_2$ MAX-ֆազի ստացման տեխնոլոգիան ունի մեծ գիտական և կիրառական նշանակություն:

ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ ԱՌԿԱ ԵՆ ՀԵՏԵՎՅԱԼ ԴԻՏՈՂՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

1. Աշխատանքում հիմնավորված չէ տիտանի ընտրությունը որպես մայրակի նյութ: Ցանկալի կլիներ այդ մասին նշվեր աշխատանքում:

2. Հայտնի է, որ համաձուլվածքների հատկությունները խիստ կերպով կախված են միկրոկառուցվածքից: Աշխատանքում չի նշվում ստացված նյութի հատկությունների վրա հատիկների չափի, անիզոտրոպիայի և երկրորդային ֆազերի ազդեցության մասին:

3. Հայտնի է, որ իրական սինթեզի գործընթացները հաճախ ընթանում են ոչ հավասարակշռային պայմաններում: Արդյունքում, որոշ ֆազերի առկայությունը կարող է պայմանավորված լինել ոչ միայն թերմոդինամիկական կայունությամբ, այլև կինետիկական գործոններով՝ դիֆուզիայի արագությամբ, միջանկյալ ֆազերի առաջացմամբ կամ պայմանավորված ռեակցիայի տարբեր ժամանակային ռեժիմներով: Այս հանգամանքը ցույց է տալիս, որ ցանկալի կլիներ ուշադրություն դարձվեր նաև դինամիկ ռեժիմներին և տրվեր համապատասխան գնահատականներ:

Միաժամանակ հարկ եմ համարում նշել, որ այս դիտողությունները չեն նվազեցնում աշխատանքի գիտական արժեքը: Հայցորդ Նինա Գագիկի Սահակյանի կողմից առաջադրված խնդիրներն իրենց արդիականությամբ, գիտական և գործնական արժեքներով գնահատվում են որպես էական ներդրում արդի մետալուրգիայի բնագավառում և կարող է նպաստել ոլորտի գիտատեխնիկական առաջընթացին, իսկ կատարված աշխատանքը վկայում է հեղինակի՝ մետալուրգիայի ոլորտում ինքնուրույն մտածելու, տարբեր մոտեցումներ համադրելու և արդյունքները գիտական

համատեքստում տեղադրելու կարողության մասին:

Արդիականությամբ, գիտական և գործնական արժեքներով պաշտպանության ներկայացված ատենախոսական աշխատանքն ամբողջությամբ համապատասխանում է ՀՀ ԲԿԳԿ-ի գիտական աստիճանաշնորհման կանոնակարգի պահանջներին, այդ թվում «Դրույթների» 6, 7, 10, 11 և 13 կետերին և «Մետալուրգիա» մասնագիտությանը (դասիչ Ե.16.02), իսկ հայցորդ Նինա Գագիկի Սահակյանն արժանի է տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի շնորհմանը:

ՀԱՊՀ «Մետալուրգիա և նյութագիտություն»

ամբիոնի դոցենտ, տ.գ.թ.

Դավիթ Գագիկի Վարդանյան

Դավիթ Գագիկի Վարդանյանի ստորագրության իսկությունը հաստատում եմ՝

ՀԱՊՀ գիտական քարտուղար,

տ.գ.թ., դոցենտ

Ծ.Ս. Հովհաննիսյան

"09" 02 2026թ.

