

Ն.Գ. ՄԱՀԱԿՅԱՆ

**ԲԱՐՁՐՁԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԱՅԻՆ ԻՆՔՆԱՏԱՐԱԾՎՈՂ ՄԻՆԹԵԶԻ ԵՂԱՆԱԿՈՎ
ԵՐԿԱԹ ԵՎ ՄԻԼԻՑԻՈՒՄ ՊԱՐՈՒՆԱԿՈՂ MAX-ՖԱԶԻ ՍՏԱՑՈՒՄԸ ԵՎ
ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ**

Քննարկվում են բազմաֆունկցիոնալ կոմպոզիտների նոր դասի ստացման և հատկությունների ուսումնասիրության հարցերը, որոնք ձեռք են բերվում տարբեր մետաղական փոշիների խառնուրդի բարձրջերմաստիճանային սինթեզի (ԲԻՍ) եղանակով: Նման կոմպոզիտներում ներառվում են MAX ֆազեր:

Կատարված գիտափորձերի արդյունքում ցույց է տվել, որ ֆերոսիլիցիումի, տիտանի, ալյումինիումի, ածխածնի փոշիների խառնուրդից ԲԻՍ մեթոդով կարելի է ստանալ փոշեման զանգված, որը պարունակում է 93% MAX-ֆազ բաղադրությամբ, $(\text{Fe,Ti})_3(\text{AlSi})\text{C}_2$ և 7% զանգվածի չափով ներառումներ, որոնք հարուստ են երկաթի բյուրեղներով՝ Fe_5Si_3 , Fe_3Si և FeSi , որոնք նյութին հաղորդում են մագնիսական հատկություններ, պարունակվում են նաև հիմնական ֆազում չլուծվող TiSi_2 և TiC - 2%-ի չափով:

Նման եղանակով ստացված MAX կոմպոզիտային նյութի միկրոկառուցվածքը, որը սինթեզվում է փոշեմետալուրգիայի (ԲԻՍ սինթեզ) մեթոդներով, ունի շերտավորված, լամինացված բնույթ և կարող է լավ հումք հանդիսանալ ստացված մետաղափոշին տարբեր մետաղափոշիների հետ լեգիրելու համար, որը, անշուշտ, կնպաստի Հայաստանում փոշեմետալուրգիայի զարգացման գործընթացին:

Առանցքային բառեր. MAX-ֆազ, մագնիսական հատկություններ, երկաթ, սիլիցիում, տիտան, միկրոռենտգենասպեկտրային անալիզ, ներդրումներ:

Ներածություն: Այսօր մեծ է հետաքրքրությունը նոր տիպի միացությունների՝ MAX-ֆազերի նկատմամբ, որոնք դասվում են դժվարահալ նյութերի դասին և ընդհանուր առմամբ նկարագրվում են հետևյալ բանաձևով՝ $\text{M}_{n+1}\text{AX}_n$, որտեղ M-ը անցումային կարգի d-մետաղ է (օրինակ, Ti, Fe, Mn, Cr, Co, Ni և այլն), A-ն՝ պարբերական համակարգի IIIA կամ IVA ենթախմբի տարր (օրինակ, Al, Si, Ge, S, Sn և այլն), X-ը՝ ածխածին կամ ազոտ: MAX-ֆազերն ունեն շերտավոր հեքսագոնալ բյուրեղային կառուցվածք, որոնցում կարբիդային կամ նիտրիդային խմբերը օկտաեդրում խիտ դասավորություն ունեցող $[\text{MeX}]$ ձևով բաժանված են իրարից մոնոշերտ A-ի ատոմներով [1, 2]: Շերտավոր բյուրեղային կառուցվածքը նմանեցվում է լամինատային կառույցի, որում գտնվում են մի քանի տասնյակ նանոմետրի

հասնող MAX-ֆազի հատիկների շերտեր: Շնորհիվ այդպիսի կառուցվածքի՝ MAX-ֆազերը ցուցաբերում են մետաղների և կոմպոզիտների կոմբինացված հատկություններ. մի կողմից՝ մետաղների նման ունեն բարձր էլեկտրական և մագնիսական հատկություններ, մյուս կողմից՝ կոմպոզիտների նման ցածր տեսակարար կշիռ, բարձր ամրություն և առաձգականության մոդուլ, ցածր ջերմային ընդարձակման գործակից, կայունություն օքսիդացման և ջերմային հարվածի նկատմամբ [3-5]:

Աշխատանքի նպատակն է սինթեզել երկաթ և սիլիցիում պարունակող մագնիսական հատկություններով օժտված $(\text{Fe,Ti})_3(\text{Si,Al})\text{C}_2$ տիպի MAX-ֆազ, համապատասխան փոշենման նյութերի՝ Ti-ի, FeSi-ի, Al-ի և ածխածնի էկվիմոլեկուլային հարաբերություններով խառնուրդի բարձրջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզի եղանակով: Այդ նպատակով կատարվել են փորձարարական հետազոտություններ:

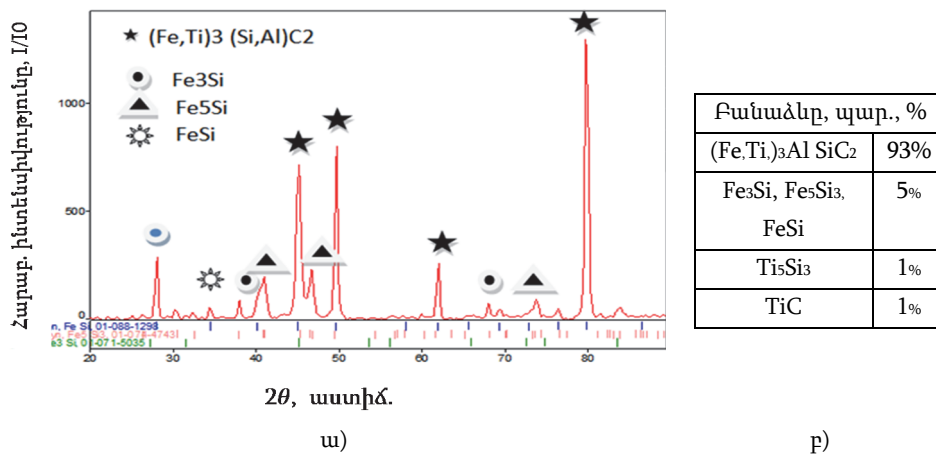
Խտրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը: Նմուշների սինթեզի համար օգտագործվել են հետևյալ փոշիները՝ FeSi - ΦC-75 (25% Si), 2 մկմ, տեխնիկական ածխածին (մուր) Π-701 մականիշի (99,5%, 2 մկմ), Ti ΠTC (մաքրությունը 98%, մասնիկների միջին չափսը 100 մկմ), ալյումին ΠA-4 (99%, 50 մկմ): Նշված նյութերի փոշիները զանգվածային որոշակի չափաբաժիններով խառնվել են ճենապակյա տարայի մեջ՝ մինչև համասեռ զանգվածի ստացումը: Սինթեզն իրականացվել է մթնոլորտային ճնշման պայմաններում տիտան-ռենիում համաձուլվածքից պատրաստված ռեակտորում, որի մեջ նախապես լցված է ավազ: Ավազի կենտրոնում փոս է արվել, որի մեջ տեղավորվել է բովախառնուրդը: Որպես հարուցիչ օգտագործվել է Ti և C-խառնուրդը: Շիկացած լարով սկիզբ է դրվում FհՄ գործընթացին: Այրման ալիքը տարածվում է վերնից ներքև, և սինթեզվում է համաձուլվածքը: Այրումը տևել է 25...30 մրկ, որից հետո համաձուլվածքը սառչում է: Մեխանիկական եղանակով համաձուլվածքն անջատվել է խարամից և ենթարկվել վերլուծության ռենտգենաֆազային անալիզի եղանակով: Ֆազային բաղադրության ուսումնասիրությունն իրականացվել է ռենտգենային Ultima IV (Rigaky) դիֆրակտորի միջոցով $\text{CuK}\alpha$ -ճառագայթմամբ: Նմուշների կառուցվածքի ուսումնասիրությունն իրականացվել է «Mira» տեսածրող էլեկտրոնային միկրոսկոպի միջոցով «Tescan» ֆիրմայի արտադրության (Չեխիա) «Aztec» անալիզատորով: FհՄ գործընթացով MAX-ֆազի ստացման սարքի աշխատանքը նկարագրված է [6,7] աշխատանքներում:

Հետազոտությունների արդյունքները: $(\text{Fe,Ti})_3(\text{Si,Al})\text{C}_2$ բանաձևով MAX-ֆազերի ստացման համար նախապատրաստվել է երեք բաղադրություն՝ FeSi – 10, 20 և 30% ավելցուկով: Նախնական բովախառնուրդը պատրաստվել է բաղադրիչների տարատեսակ ստեխիոմետրային հարաբերություններով՝ $3\text{Ti}-1(\text{Al,Si})-2\text{C}-1\text{FeSi}$,

3Ti-1Al-2C-2FeSi, 3Ti-1Al-2C-3FeSi: Լավագույն արդյունքները, ինչպես ենթադրվում էր, ստացվել է 30% FeSi-ի ավելցուկի դեպքում, քանի որ վերջինիս ավելացմանը զուգահեռ ավելացել է նաև երկաթի պարունակությունը, որն իր հերթին հանգեցնում է բարձր մագնիսական հատկություններով համաձուլվածքի ստացմանը:

ԲԻՄ մեթոդով վերը նշված խառնուրդներից ստացվել են մետաղական զանգվածներ, հետագայում դրանք օգտագործվել են որպես ուսումնասիրության նյութ տարբեր անալիզների ժամանակ:

Նկ. 1-ում ներկայացված են ստացված MAX-ֆազի ռենտգենաֆազային անալիզի ռենտգենագրերը (ա) և ֆազային կազմը (բ):

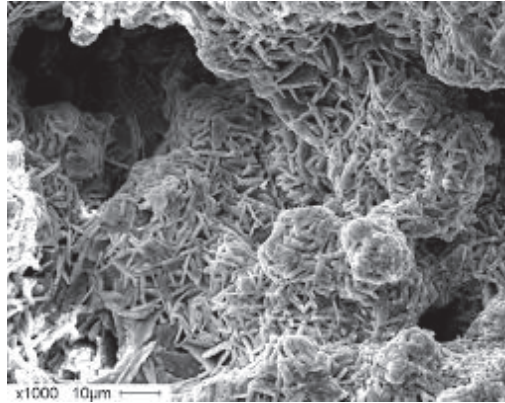


Նկ. 1. ԲԻՄ գործընթացով ստացված արգասիքի ռենտգենագիրը FeSi 30% ավելցուկի դեպքում (ա) և ֆազային կազմը (բ)

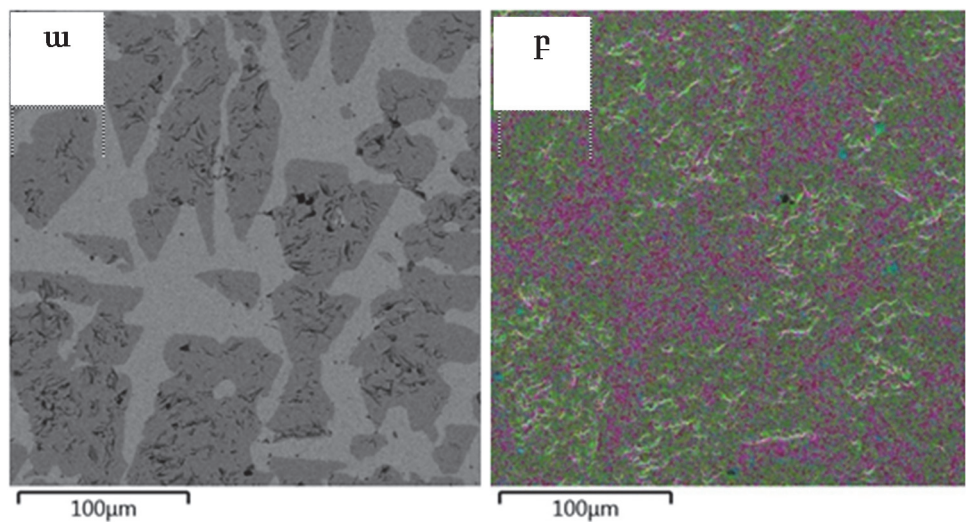
Ռենտգենաֆազային անալիզի տվյալների համաձայն՝ սինթեզի նյութերն են՝ հիմնական ֆազը (FeTi)₃(Al,Si)C₂, (93 զանգ.%), երկաթի սիլիցիդները (5 զանգ.%), ինչպես նաև տիտանի կարբիդը (1 զանգ.%) և սիլիցիդը Ti₅Si₃ (1 զանգ.%) (նկ. 1բ):

Նկ. 2-ում ցույց է տրված Ti-Fe-Si-Al-C համակարգում ԲԻՄ մեթոդով ստացված հիմնական նյութի մակերևույթի կառուցվածքը:

Նկ. 3-ում ներկայացված է ֆազերի անհավասար բաշխումը ինչպես հիմնական ֆազի (նկ.3ա) հատիկներում, այնպես էլ տեսածրոդ մանրադիտակի միջոցով ստացված պատկերներում (նկ. 3 բ):



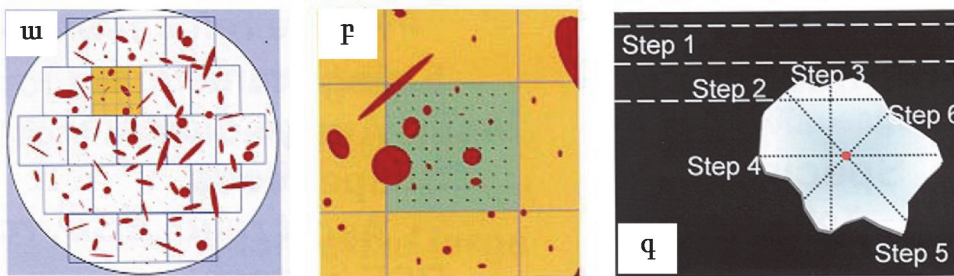
Նկ. 2. *Ti-Fe-Si-Al-C* համակարգում նյութի մակերևույթի կառուցվածքը՝ ստացված *FFU* մեթոդով



Նկ. 3. Ստացված *MAX*- ֆազի անհավասար բաշխումը. ա - հիմնական ֆազի հատիկներում ($\times 500$), բ – նույնը հանված է տեսածրոդ էլեկտրոնային մանրադիտակով

Ինչպես երևում է նկ. 3ա-ից, մետաղական ֆազը բաղկացած է հիմնական ֆազերից, ինչպես նաև երկաթի սիլիցիդների համար բնորոշ սև կետերից: Համասեռացման գործընթացում երկաթի սուլֆիդների ֆազերի փոխազդեցությունն ուղեկցվում է $(\text{Fe}, \text{Ti})_3(\text{Al}, \text{Si})\text{C}_2$ տիպի պինդ լուծույթների ձևավորմամբ՝ անկանոն կառուցվածքով: Երկաթի սիլիցիդներով հարստացված ֆազն առավելապես տեղակայված է մետաղի հատիկի սահմանի երկայնքով: Այդ ֆազերի հատիկները 25...50 մկմ չափսի են և հստակ պահպանում են իրենց սահմանները:

Ավելի ստույգ գնահատելու համար ստացված արգասիքների զարգացման ընթացքը և ներդրված սիլիցիդների բաշխումը ըստ չափսերի և ձևի, ընտրվել է վերլուծության նոր՝ ժամանակակից միկրոռենտգենասպեկտրային (ՄՌՄԱ) ավտոմատ եղանակը: Այդ եղանակով աշխատանքի սկզբունքը, որը վերաբերում է խառնուրդների վերլուծությանը, ներկայացված է նկ. 4 -ում:



Նկ. 4. Խառնուրդների ավտոմատ վերլուծությունը. ա - պատկերի բաժանումը դաշտերի, բ - էլեկտրոնների փնջի տեղափոխումը դաշտից դեպի գանգված, գ - մասնիկների չափերի որոշումը, որը կատարվում է յուրաքանչյուր մասնիկի վրա էլեկտրոնների փնջի բեկված ճառագայթների կենտրոնացմամբ՝ ըստ քայլերի, և դրա միջոցով բաղադրության որոշումը ՄՌՄԱ եղանակով

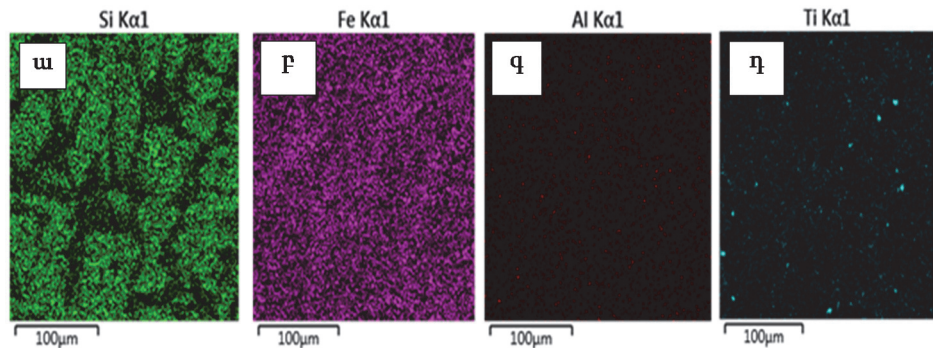
Աղյուսակում ցույց է տրված առանձին տարրերի բաշխումը MAX-ֆազի կազմի մեջ՝ ըստ սպեկտրների: Առանձնացված են 3 սպեկտրներ:

Աղյուսակ

Տարրերի ընդհանուր պարունակությունը

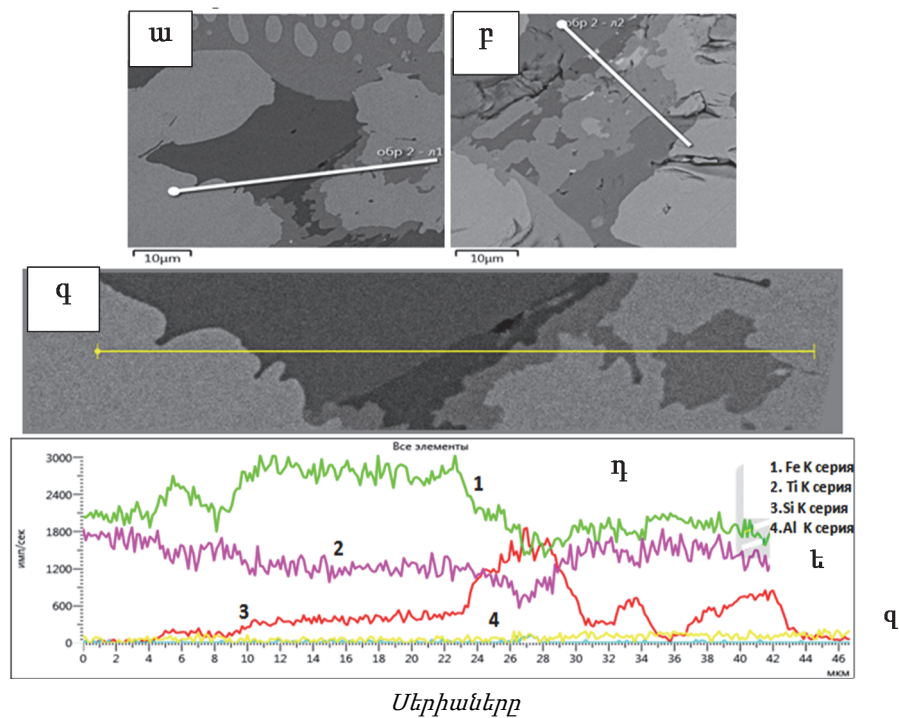
Սպեկտրի համարը	Al	Si	Ti	C	Fe
Սպեկտր 1	0,54	22,65	7,68	1,18	67,95
Սպեկտր 2	0,6	22,84	6,85	1,33	68,52
Սպեկտր 3	0,38	22,82	6,76	0,93	68,95
Միջինը	0,46	22,82	7,04	0,81	68,47

Ինչպես երևում է աղյուսակի թվերից, համաձուլվածքում առանձին տարրերի բաշխումը նույնպես անհավասար է: Հիմնականում համաձուլվածքում գերակշռում են սիլիցիդումը (նկ. 5ա), երկաթը (նկ. 5բ) և տիտանը (նկ. 5դ) Այլումինի քանակությունը փոքր է (նկ. 5 գ), որը, ըստ երևույթին, պայմանավորված է նրա՝ խարամի մեջ անցնելով:



Նկ. 5. *ԲԲՄ մեթոդով ստացված փորձանմուշում տարրերի բաշխվածությունը.*
ա – Si-ի բաշխումը, Բ – Fe-ի բաշխումը, գ – Al-ի բաշխումը, դ – Ti-ի բաշխումը

Նկ. 6.-ում ներկայացված են միկրոռենտգենասպեկտրային վերլուծության արդյունքները՝ ըստ 1 և 2 գծերի:



Նկ. 6. *Միկրոռենտգենասպեկտրային վերլուծության արդյունքները. ա – մինչև 9 մկմ չափսի մասնիկների բաշխվածությունը (x5000), Բ – մինչև 9 մկմ չափսի առաջացած նոր մասնիկների բաշխվածությունը (x5000), գ – 24...30 մկմ չափսի մասնիկների բաշխվածությունը (x10000), դ – Fe-ի բաշխվածությունը, ե – Ti-ի բաշխվածությունը, զ – Si-ի բաշխվածությունը*

Ինչպես երևում է նկ. 6-ից (գիծ 1դ, 2ե և 3գ), միկրոռենտգենասպեկտրային վերլուծության արդյունքները ցույց են տալիս, որ հիմնական ֆազերը երկաթը, տիտանը և սիլիցիումն են:

Ըստ 1-գծի (նկ. 6 ա, գ, դ)՝ 0...9 *մկմ* չափսերի մասնիկները գտնվում են հոմոգեն ֆազում: Սակայն երևում է (նկ. 6 դ), որ կոռերի տեսքը փոխվում է՝ կապված նոր ֆազերի առաջացման հետ:

0...9 *մկմ* չափսերի մասնիկները զբաղեցնում են բավականին մեծ տիրույթ, որոնք հիշեցնում են երկաթի սիլիցիդը (FeSi_3), որը կրկնվում է նաև 34...40 *մկմ* տիրույթում: 24...30 *մկմ* չափսի մասնիկներն առանձնանում են նորագոյացումներով, որոնք ձգվում են մինչև 34...42 *մկմ* տիրույթ: Այդ սիլիցիդները գտնվում են հոմոգեն MAX-ֆազում: Գծի վերևի մասում նկատվում են սև կետեր, որոնք հիշեցնում են տիտանի և ալյումինի զանազան կարբիդներ և սիլիցիդներ: Դա, ըստ երևույթին, կապված է երկաթով հարուստ սիլիցիդների գոյության հետ (FeSi_3 , Fe_3Si , FeSi), որոնք ունեն տարբեր չափսեր:

Ըստ 2-գծի (նկ. 6 գ, ե, զ)՝ 8 *մկմ* չափսի մասնիկները գտնվում են հոմոգեն ֆազում: 8...9 *մկմ* չափսի մասնիկների տիրույթը կապված է նոր ֆազերի առաջացման հետ, որոնք նման են խորանարդների: Ըստ երևույթին, այդ ֆազը հիշեցնում է տիտանի կարբիդը (TiC) և սիլիցիդը (TiSi_2): 9...11 չափսի մասնիկների զբաղեցրած տիրույթը կապված է ֆազային փոփոխության հետ: Այդ կոնգլոմերատը կապված է երկաթի սիլիցիդի առկայության հետ (FeSi_3):

Հետագա 11...14 չափսեր ունեցող մասնիկների ֆազային փոփոխությունները կապված են նոր ֆազի առաջացման հետ, որը հիշեցնում է երկաթի եռսիլիցիդը (FeSi): 14...15 չափսի մասնիկների զբաղեցրած տիրույթում գտնվող տարրերը հիշեցնում են երկաթի զանազան տեսակներով հարուստ ֆազերի գոյությունը: 15...16 *մկմ* չափսի մասնիկներն ունեն կլորացած տեսք: 16...25 և 28...30 *մկմ* չափսեր ունեցող մասնիկները բնորոշ են հիմնականում MAX-ֆազերին: Սրանց արանքում 0...8 *մկմ* չափսեր ունեցող տարածքում գտնվում է հոմոգեն ֆազը:

Այսպիսով, կարելի է ասել, որ ստացված MAX – ֆազն ունի անհավասարաչափ կառուցվածք: Հիմնական հոմոգեն զանգվածում գտնվում են կուտակումներ, որոնք հիշեցնում են երկաթի զանազան տեսակներով հարուստ սիլիցիդների՝ Fe_3Si -ի, FeSi_3 -ի և FeSi -ի առկայությունը: Չի բացառվում նաև տիտանի ու երկաթի և ալյումինի զանազան կարբիդների և սիլիցիդների առկայությունը, ինչպես դա ցույց են տալիս ռենտգենագրերը (նկ. 1բ):

Եզրակացություն: Փորձերը ցույց են տվել, որ ֆերոսիլիցիումի, տիտանի, ալյումինի փոշիներից կարելի է ստանալ MAX-ֆազ (փուլ), $(\text{Fe,Ti})_3(\text{Al,Si})\text{C}_2$ -ի ոչ

միատարր կառուցվածքով զանգված և տիտանի և երկաթի սիլիցիդների և կարբիդների տարատեսակ պինդ լուծույթներ: Հարկ է նշել, որ ֆազերի ձևավորման ընթացքում տիտանը և երկաթը դրսևորվում են միատեսակ կերպով՝ սիլիցիդների և կարբիդների համեմատ:

Հայտնաբերվել են սինթեզվող ֆազի $(\text{Fe,Ti})_3\text{AlSiC}_2$ բյուրեղային-գրաֆիկական հիմնական պարամետրերը: Որոշվել է, որ այն ներկայացնում է պինդ լուծույթ՝ մի կառուցվածքով, որտեղ Ti և Fe ատոմները կանոնավոր կերպով տեղակայված են մետաղածխածնային շերտում՝ կառուցվածքում ունենալով հավասարազոր դիրքեր: Երկաթով հարուստ սիլիցիդների առկայությունը ստացված MAX-ֆազին հաղորդում է մագնիսական հատկություններ: Վերջինիս ստացումից հետո մամլման ճանապարհով ստացվում է նյութի փոշին:

Այսպիսով, ֆերոսիլիցիումի, տիտանի, ալյումինի, ածխածնի ԲԻՍ մեթոդով փոշիների խառնուրդից կարելի է ստանալ փոշենման զանգված, որը պարունակում է 93% MAX-ֆազ բաղադրությամբ, $(\text{Fe,Ti})_3(\text{AlSi})\text{C}_2$ և 7% զանգվածի չափով ներառումներ: Դրանք հարուստ են երկաթի բյուրեղներով՝ Fe_5Si_3 , Fe_3Si և FeSi , որոնք նյութին հաղորդում են մագնիսական հատկություններ: Պարունակվում են նաև հիմնական ֆազում չլուծվող Ti_5Si_2 և TiC 2%-ի չափով:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Barsoum M.W.** The MN+1AXN phases: A new class of solids: Thermodynamically stable nanolaminates // Progress in Solid State Chemistry. – 2000. – №28. – P.201–281.
2. **Barsoum M.W.** MAX phases. Properties of Machinable Ternary Carbides and Nitrides. – Wiley, VCH, 2013. – 437 p.; **Radovic M., Barsoum M.W.** MAX phases: Bridging the gap between metals and ceramics // American Ceramic Society Bulletin. – 2014. – V. 92, No. 3. – P. 20-27.
3. **Chun-Cheng Zhu, Jia Zhu, Hua Wu, Hong Lin.** Synthesis of Ti_3AlC_2 by SHS and thermodynamic calculation based on first principles // Rare Metals. – 2015. – V. 34, No. 2. – P. 107-110.
4. Влияние газифицирующих добавок на фазовый состав продуктов горения при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе MAX-фаз в системе Ti-C-Al / **А.Ф. Федотов, А.П. Амосов, Латухин Е.И. и др.** // Известия Самарского научного центра РАН. – 2014. – Т. 16, № 6. – С. 50-55.
5. $(\text{Cr}_{2/3}\text{Ti}_{1/3})_3\text{AlC}_2$ and $(\text{Cr}_{5/8}\text{Ti}_{3/8})_4\text{AlC}_3$: New MAX-phase Compounds in Ti-Cr-Al-C System / **Zhimou Liu, Liya Zheng, Luchao Sun, Yuhai Qian, et al** // J. Am. Ceram. Soc. – 2014. – V.97, No.1. – P. 67-69.

6. **Мартirosyan В.А., Айвазян А.А., Хачатрян А.Р., Талако Т.Л.** Исследование процессов механохимического и термического обогащения хромитов в присутствии хлоридов и получение порошкообразного хрома // Десятая Международная научно-техническая конференция: “Новые материалы и технологии: Порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка”, 12-14 сентября, 2012 г.- Минск, Беларусь, 2012.- С. 50-52.
7. **Martirosyan V., Sasuntsyan M.** The role of preliminary mechanical activation in the process of obtaining powder-like ferrosilicium from metallurgical slags // Journal of surface engineered materials and advanced technology.- 2016.- №6.- P. 11-17.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 06.12.2021:

Н.Г. СААКЯН

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЖЕЛЕЗО- И КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИХ МАХ-ФАЗ МЕТОДОМ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА

Обсуждаются вопросы получения и исследования свойств нового класса мультифункциональных композитов с использованием самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) различных металлических порошков. К классу таких композитов относятся МАХ-фазы.

Проведен синтез МАХ-фаз типа $(\text{Fe,Ti})_3(\text{Si,Al})\text{C}_2$ путем СВС смеси Ti, FeSi, Al и углерода в эквимольных отношениях. Синтезированная основная фаза проявляет магнитные свойства благодаря содержанию железа и кремния. Эксперименты показали, что из смеси порошков ферросилиция, титана, алюминия, углерода методом СВС можно получить порошкообразную основную массу, содержащую 93% МАХ-фазового состава типа $(\text{Fe,Ti})_3(\text{AlSi})\text{C}_2$ по массе и 7% внедрений, богатых кристаллами железа Fe_5Si_3 , Fe_3Si и FeSi, которые придают материалу магнитные свойства, а также содержат нерастворимые в основной фазе Ti_5Si_2 и TiC-2% по массе.

Микроструктура такого МАХ-материала, синтезированного методами порошковой металлургии (СВ синтеза), имеет слоистую, ламинатную природу и может стать хорошим сырьем для дальнейшего легирования данного соединения с различными металлами с целью развития порошковой металлургии в Армении.

Ключевые слова: МАХ-фаза, магнитные свойства, железо, кремний, титан, микрорентгеноструктурный анализ, внедрения.

N.G. SAHAKYAN

**OBTAINING AND STUDYING THE PROPERTIES OF IRON AND
SILICON-CONTAINING MAX-PHASES BY THE METHOD OF SELF-
PROPAGATING HIGH-TEMPERATURE SYNTHESIS**

The paper discusses the preparation and properties of a new class of multifunctional composites, which are obtained by high-temperature self-propagating synthesis (SHS) of various metal powders. The class of such composites includes MAX phases.

The aim of this work is to synthesize a MAX-phase of the $(\text{Fe,Ti})_3(\text{Si,Al})\text{C}_2$ type by self-propagating high-temperature synthesis of a mixture of Ti, FeSi, Al and carbon in equimolar ratios. The synthesized main phase exhibits magnetic properties due to its iron and silicon content. Experiments have shown that from a mixture of powders of ferrosilicon, titanium, aluminum, carbon by the SHS method, it is possible to obtain a powdery base mass containing 93% of the MAX-phase composition of the type $(\text{Fe,Ti})_3(\text{Al,Si})\text{C}_2$ by mass, and 7% embedded in rich crystals iron Fe_5Si_3 , Fe_3Si and FeSi, which impart magnetic properties to the material, also contain Ti_5Si_2 and TiC-2% by weight insoluble in the main phase. In order to accurately assess the size distribution of embedded products in the main phase, a new analysis method was chosen - modern automatic microradiographic analysis (MRSA). The principle of the analysis was presented.

The microstructure of such a MAX material, synthesized by powder metallurgy (SHS synthesis) methods, has a layered, laminate nature and can become a good raw material for further alloying of this compound with various metals for the development of powder metallurgy in Armenia.

Keywords: MAX-phase, magnetic properties, iron, silicon, titanium, X-ray diffraction microanalysis, rooted.