

Պ.Բ. ԱՎԱԳՅԱՆ, Ն.Վ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Տ.Վ. ՎԱՆԴՈՒՆՑ, Զ.Ա. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

ԱՅՐՄԱՆ ՌԵԺԻՄՈՒՄ ՄԻՆԹԵԶՎԱԾ ՄԱԳՆԵԶԻՈՒՄ-ՑԻՆԿԱՅԻՆ ՖԵՐԻՏԻ ԹՐՕՈՒՄԸ

Մշակվել է 100HH մակնիշի մագնիսափափուկ ֆերիտին համաժեռք, ինքնատարածվող բարձրջերմաստիճանային սինթեզի մեթոդով ստացված $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ օքսիդային փոշեկոմպոզից խեցեղեն նմուշների թրծման տեխնոլոգիական գործընթացը: Ուսումնասիրվել են մամլման և պլաստիկացման լավագույն պայմանները, հետազոտվել է թրծման տեխնոլոգիական ռեժիմների ազդեցությունը ֆերիտային խեցու հատկությունների վրա:

Առանցքային բառեր. 100HH մագնիսափափուկ ֆերիտ, ինքնատարածվող բարձրջերմաստիճանային սինթեզ, թրծում, խեցի:

Էլեկտրոնիկայի բնագավառում կիրառվող նյութերի շարքում առանձնահատուկ տեղ են զբաղում ֆերիտները, որոնց արտադրության ծավալները, ինչպես նաև կիրառման ոլորտներն ու ստացման տեխնոլոգիաները շարունակում են անընդհատ ընդլայնվել: Որպես մագնիսափափուկ նյութեր՝ նիկել-ցինկային ֆերիտները, լայն կիրառություն ունեն միջին հաճախությունների տիրույթում, սակայն, պայմանավորված նիկելի սակավությամբ և բարձր գնով, դրանք հաջողությամբ փոխարինվում են իրենց համաժեռք $Mg-Zn$ ֆերիտներով [1, 2]:

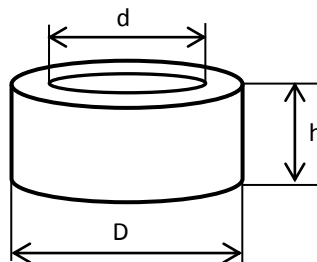
Պայմանավորված ֆերիտների անընդհատ աճող պահանջարկով, ներկայումս մշակված է ինքնատարածվող բարձրջերմաստիճանային սինթեզի (ԻԲՄ) մեթոդով ֆերիտների ստացման նոր և արդյունավետ տեխնոլոգիա, որը բնութագրվում է բարձր արտադրողականությամբ, տնտեսական արդյունավետությամբ, անվտանգությամբ և էկոլոգիական մաքրությամբ, իսկ ԻԲՄ մեթոդով ստացված ֆերիտներն ունեն ցածր ինքնարժեք, բարձր որակ և լավ հատկություններ [3, 4]: Ներկայումս մեծ հետաքրքրություն է ներկայացնում 100HH մակնիշի մագնիսափափուկ ֆերիտը: $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ օքսիդային նյութի հատկությունները լիովին բավարարում են 100HH մակնիշի ֆերիտին ներկայացվող պահանջները, որի ստացման համար վերջերս հաջողությամբ մշակվել և մանրամասն հետազոտվել է ինքնատարածվող բարձրջերմաստիճանային սինթեզման տեխնոլոգիա՝ $MgO-MnO-ZnO-Fe_2O_3-Fe-O_2$ համակարգում [5]:

Մշակվել է ԻԲՄ մեթոդով ստացված $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ օքսիդային փոշենյութից խեցեղեն նմուշների թրծման տեխնոլոգիական գործընթացը, ուսումնասիրվել են մամլման և պլաստիկացման լավագույն պայմանները, հետազոտվել են թրծման տեխնոլոգիական ռեժիմների ազդեցությունը ֆերիտային խեցու հատկությունների վրա:

Կոմպոզիցիոն խեցե նյութերի բարձրջերմաստիճանային թրծումը կարևորագույն տեխնոլոգիական փուլ է, որից գլխավորապես կախված է արտադրանքի որակը: Թրծման ժամանակ ջերմության ազդեցության տակ տեղի են ունենում նմուշի խտության մեծացում, կծկում, ծակոտկենության փոքրացում, մեխանիկական և ֆիզիկաքիմիական բնութագրերի փոփոխություն: Այս ամենի արդյունքում ձևավորվում է որոշակի միկրոկառուցվածքով և հատկություններով օժտված խիտ միաձույլ կիսաբյուրեղային նյութ, որի էլեկտրաֆիզիկական հատկությունների ձևավորման կինետիկայի վրա զգալիորեն ազդում են թրծման ջերմաստիճանային-ժամանակային ռեժիմները և գազային միջավայրը: Սակայն հատկությունների ձևավորման գործընթացների կինետիկայի վրա զգալի ազդեցություն են ունենում նաև էլանյութերի ֆիզիկաքիմիական վիճակը և նախապատրաստվածքների պատրաստման պայմանները [6, 7]:

ԻԲՄ տեխնոլոգիայով ստացված $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ օքսիդային փոշենյութը պլանետար աղացով ենթարկվել է չոր մանրացման մինչև հատիկների $d < 8$ մկմ չափի ապահովումը: Հետագոտությունը ցույց է տվել, որ բարձր խտությամբ և որակական լավ ցուցանիշներով խեցի ստանալու համար անհրաժեշտ է, որ էլանյութի հատիկների չափը լինի 1...8 մկմ [8]:

Թրծման տեխնոլոգիական գործընթացից առաջ, համապատասխան ձևաչափով փորձանմուշներ ստանալու նպատակով, մանրացված $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ փոշենյութերի մամլումը լավացնելու, հեշտացնելու համար դրան ավելացվել է պլաստիկացնող նյութ՝ 15%-ոց պոլիվինիլային սպիրտի 10%-ոց ջրային լուծույթ: Պլաստիկացնող նյութի ավելացումից հետո փոշենյութի զանգվածը խնամքով խառնվել է և LITOSTROJ հիդրավլիկ մամլիչով 8000 կգ/սմ² ճնշման տակ մամլվել պողպատյա մամլակաղապարում՝ օղակաձև 20x16x6 (Dxdxh, մմ) ձևաչափով (նկ. 1):



Նկ. 1. Մամլվածքների ձևաչափը

Փորձանմուշների մամլման գործընթացին հաջորդել է թրծման տեխնոլոգիական գործընթացը, որն իրականացվել է բարձրջերմաստիճանային (մինչև 1600 °C) վառարանի միջոցով: Թրծման հիմնական փուլից առաջ փորձանմուշները նախնական տաքացմամբ ենթարկվել են չորացման: Տաքացմանը զուգընթաց սկզբնական փուլում (300...350°C) տեղի է ունենում մեխանիկական և քիմիական կապով կապված

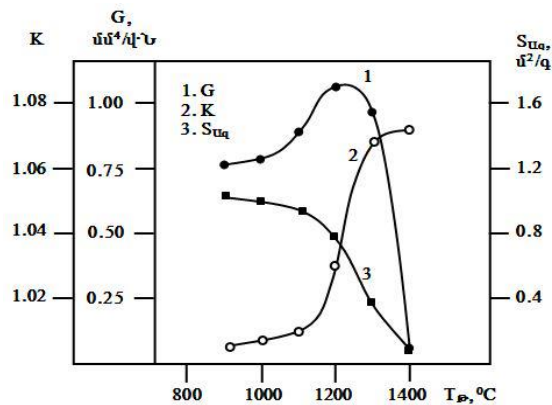
օրգանական նյութի այրում-հեռացում: Փորձանմուշները տաքացվել են ջերմաստիճանի շատ դանդաղ աճով ($5^{\circ}\text{C}/\text{րոպե}$), իսկ սկզբնական փուլում դրանք պահվել են 1...1,5 ժամ՝ պայմանավորված հետևյալ հանգամանքով. ջերմաստիճանի կտրուկ բարձրացման դեպքում նմուշների մակերևույթից օրգանական նյութերը հեռանում են ավելի ինտենսիվ, քան խորքերից, որի հետևանքով նմուշների մակերևութային մակերեսում կծկումները զգալի են, մինչդեռ խորքերում, որտեղ խոնավությունը բարձր է, կծկումները քիչ են, իսկ անհավասար կծկումների հետևանքով նմուշներում առաջանում են ճաքեր և շերտավորումներ: Հետազոտությունները ցույց են տվել, որ, կապված նմուշների անիզոտրոպիայի հետ, փորձանմուշների լայնական կտրվածքով կծկումներն ավելի մեծ են, քան բարձրության ուղղությամբ: Իսկ անիզոտրոպիան առաջանում է այն պատճառով, որ սեղմումը մամլման ժամանակ իրականացվում է մի ուղղությամբ:

Նկ. 2-ում բերված է $\text{Mg}_{0.69}\text{Mn}_{0.06}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ֆերիտի գազաթափանցելիության (G), գծային կծկման գործակցի (K) և ազատ մակերեսի ($S_{\text{ազ}}$) կախումը թրծման ջերմաստիճանից (T_{θ}): Փորձանմուշների գազաթափանցելիության ջերմաստիճանային կախումից երևում է, որ թրծման հիմնական փուլի սկզբում գազաթափանցելիությունը փոքր-ինչ աճում է՝ պայմանավորված այն հանգամանքով, որ հատիկների միջև հպատեղեր ձևավորվելիս առաջանում են գլանաձև խուղակային ծակոտիներ (նկ. 3) [4]: Այս փուլում հատիկների ազատ մակերեսը դանդաղ նվազում է: Սկսած 1200°C -ից՝ $\text{Mg}_{0.69}\text{Mn}_{0.06}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ֆերիտի գազաթափանցելիությունը կտրուկ ընկնում է, քանի որ մասնիկների միջև հպման մակերևույթը խիստ մեծանում է, իսկ գլանաձև խուղակային ծակոտիների կտրվածքը՝ խիստ փոքրանում: Միաժամանակ կտրուկ նվազում է մասնիկների ազատ մակերեսը, տեղի է ունենում փորձանմուշների ինտենսիվ կծկում, իսկ 1400°C -ից հետո փորձանմուշների գազաթափանցելիությունը համարյա վերանում է: Թրծման վերջնական փուլում պետք է ապահովել տաքացման մեծ արագություն, որպեսզի թրծման գործընթացը փորձանմուշի ողջ ծավալով միաժամանակ ընթանա. այդ դեպքում ստացվում է փորձանմուշի հատիկների հավասարաչափ աճ:

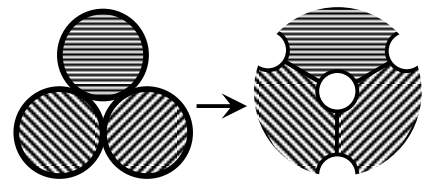
Փորձանմուշների գծային կծկումների և խտության փոփոխության հետազոտությունները, կախված թրծման ջերմաստիճանից, ցույց են տվել, որ $\text{Mg}_{0.69}\text{Mn}_{0.06}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$ փոշենյութից պատրաստված մամլվածքները սկսում են ուժեղ կծկվել 1100°C -ից հետո (նկ. 2): Կծկման ժամանակ մեծանում է մամլվածքի խտությունը, որի աճը համարյա ավարտվում է 1300°C -ում:

Հետազոտությունները ցույց են տվել, որ փորձանմուշները մանրահատիկ և ծակոտիկ են ստացվում ցածր ջերմաստիճաններում թրծման արդյունքում (1300°C -ից ցածր): Իսկ բարձր ջերմաստիճաններում թրծված խեցե փորձանմուշներն ունեն համասեռ և հատիկների եզրերի հստակ արտահայտված միկրոկառուցվածք (նկ. 4): Թրծման որոշակի բարձր ջերմաստիճանից սկսած՝ հատիկների միջին չափի մեծացումը հանգեցնում է դրանց չափերի բաշխվածության անհամասեռության մեծաց-

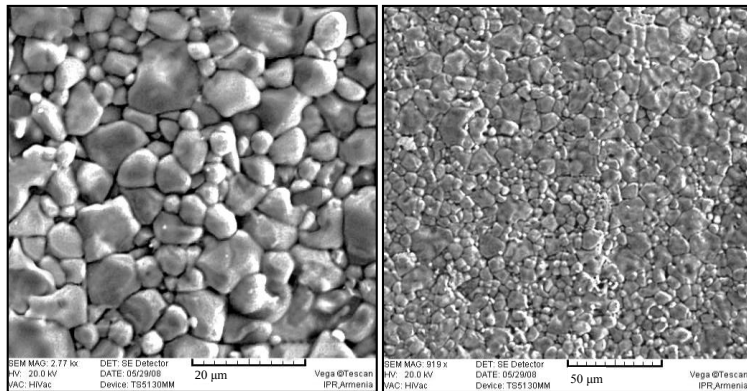
մանր, որի հետևանքով մեծանում է խեցենյութի էլեկտրահաղորդականությունը: Խեցե նմուշների միկրոկառուցվածքային բնութագրերն ուսումնասիրվել են VEGA TS 5130 MM տեսաձրային էլեկտրոնային մանրադիտակով, իսկ պատկերների հստակությունն ապահովելու համար նմուշները վակուումային YPM-3.279.026 մակնիշի տեխնոլոգիական տեղակայանքի միջոցով նախապես պատվել են արծաթի նուրբ թաղանթով:



Նկ. 2. $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ ֆերիտի գազաթափանցելիության (G), գծային կծկման գործակցի (K) և ազատ մակերեսի ($S_{\alpha q}$) կախումը թրծման ջերմաստիճանից (T_{θ})



Նկ. 3. Թրծման սկզբնական փուլում գլանաձև խուղակային ծակոտիների ձևավորման սխեման



Նկ. 4. Pt տեխնոլոգիայով ստացված $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ ֆերիտի միկրոկառուցվածքը ($T_{\theta}=1350^{\circ}C$)

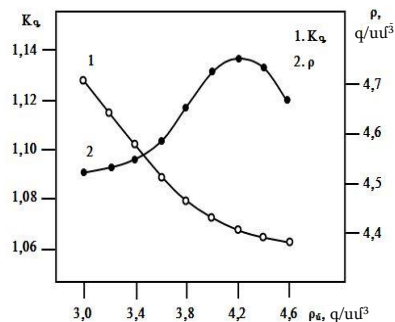
Փորձանմուշների էլեկտրամագնիսական և էլեկտրաֆիզիկական հատկությունների վրա զգալիորեն ազդում է մամլման ճնշումը: Բարձր ցուցանիշներով խեցու ստացման համար մամլման ճնշման լավագույն արժեքը ընտրվել է փորձնականո-

րեն: Քանի որ մամլման ճնշումից ուղղակիորեն կախված է մամլվածքի խտությունը, հետևապես կարևոր գործոն է նաև մամլվածքի խտության ազդեցությունը խեցե նյութի խտության և հատկությունների վրա:

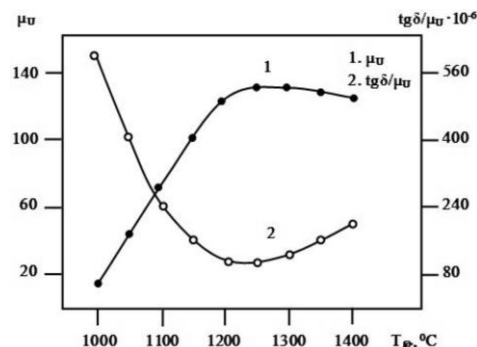
Նկ. 5-ում բերված է $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ ֆերիտի գծային կծկման գործակցի (K_d) և խտության (ρ) կախվածությունը մամլվածքի խտությունից (ρ_d): Թրծումն իրականացվել է 1350°C-ում, 5 ժամվա ընթացքում: Ինչպես երևում է նկարից, երբ մամլվածքի խտության մեծացմամբ ֆերիտի գծային կծկումները միալար նվազում են, ապա խեցե նյութի խտությունը մեծանալով հասնում է առավելագույն արժեքի, որից հետո նվազում է: Այս երևույթը պայմանավորված է նրանով, որ թրծման ընթացքում բարձր խտությամբ մամլվածքից օրգանական նյութերը դժվարությամբ են հեռանում, իսկ նրանցից անջատված գազերի ճնշման հետևանքով նմուշի վրա առաջանում են ճաքեր: Նկարից երևում է, որ մամլվածքի խտությունը պետք է կազմի 4,0...4,4 g/cm^3 : Այդ դեպքում թրծված ֆերիտի խտությունը գերազանցում է 4,7 g/cm^3 -ը, իսկ նրա էլեկտրամագնիսական պարամետրերն ունեն համեմատաբար բարձր ցուցանիշներ: Նմուշների իրական խտությունը որոշվել է պիկնոմետրի միջոցով:

Նկ. 6-ում պատկերված է $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ ֆերիտի սկզբնական մագնիսական թափանցելիության և կորուստների անկյան տանգենսի կախումը թրծման ջերմաստիճանից: Մագնիսական թափանցելիության և կորուստների անկյան տանգենսի չափումները կատարվել են $f=100$ կՀց հաճախության ու մագնիսական դաշտի $H=0,8$ Մ/լարվածության պայմաններում: Նկարից երևում է, որ 1280...1350°C ջերմաստիճանային տիրույթում ստացվում է բարձր ցուցանիշներով խեցի: 1350°C-ից բարձր ջերմաստիճաններում, ֆերիտների միկրոկառուցվածքում մեծ բյուրեղների ձևավորման պատճառով, մեծանում է նմուշի էլեկտրահաղորդականությունը, որի հետևանքով մեծանում են կորուստները: Ֆերիտների մագնիսական թափանցելիությունը և կորուստների անկյան տանգենսը չափվել են P5010 և E7-11 սարքերով:

$Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ ֆերիտի մագնիսական պարամետրերի վրա թրծման ջերմաստիճանի ազդեցության հետազոտությունները ցույց են տվել, որ թրծման ջերմաստիճանի մեծացումը նպաստում է մագնիսական բարձր ցուցանիշներով օժտված խեցու ստացմանը: Սակայն շատ բարձր ջերմաստիճաններում թրծումը հանգեցնում է հատկությունների վատացմանը: Նկ. 7-ում բերված է $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ ֆերիտի մագնիսական ինդուկցիայի հագեցման արժեքների և տեսակարար դիմադրության կախումը թրծման ջերմաստիճանից: Նկարում պատկերված կորերից երևում է, որ 1280...1350°C ջերմաստիճանային տիրույթում մագնիսական հագեցածության և տեսակարար դիմադրության արժեքները հասնում են առավելագույն արժեքի, իսկ ավելի բարձր ջերմաստիճաններում սկսում են նվազել: Այս հանգամանքը պայմանավորված է մեծ հատիկների ձևավորմամբ և խեցե նյութի էլեկտրահաղորդականության մեծացմամբ:

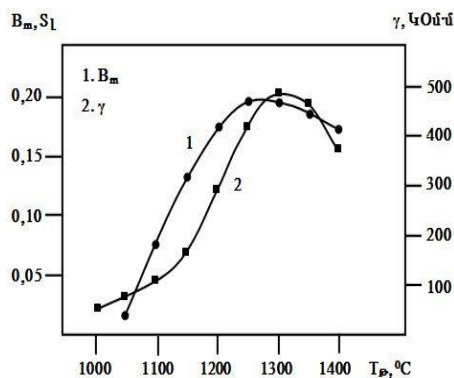


Նկ. 5. $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ ֆերիտի գծային կծկման գործակցի (K_d) և խտության (ρ) կախվածությունը մամլվածքի խտությունից (ρ_s)

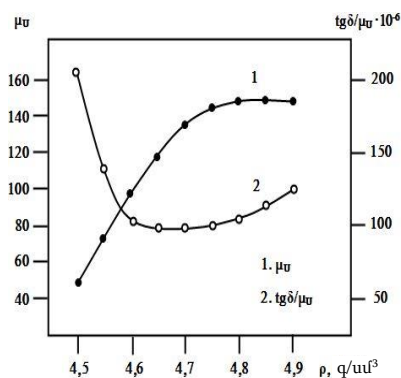


Նկ. 6. $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ ֆերիտի սկզբնական մագնիսական թափանցելիության և կորուստների անկյան տանգենսի կախումը թրծման ջերմաստիճանից

Նկ. 8-ում բերված է $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ ֆերիտի սկզբնական մագնիսական թափանցելիության և կորուստների անկյան տանգենսի կախումը խտությունից: Կորեքից երևում է, որ ֆերիտի սկզբնական մագնիսական թափանցելիության և կորուստների անկյան տանգենսի բավարար արդյունքներ ստացվում են, երբ խեցե նյութի խտությունը գերազանցում է $4,7 \text{ g/cm}^3$ -ը: Նմուշների տեսակարար դիմադրությունը (γ) որոշվել է P-341 նանովոլտմետրով, որը սնուցվել է Б5-48 սնման աղբյուրից:



Նկ. 7. $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ ֆերիտի մագնիսական ինդուկցիայի հագեցման (B_m) արժեքների և տեսակարար դիմադրության (γ) կախումը թրծման ջերմաստիճանից



Նկ. 8. $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ ֆերիտի սկզբնական մագնիսական թափանցելիության և կորուստների անկյան տանգենսի կախումը խտությունից

Այսպիսով, ԻԲՄ տեխնոլոգիայով ստացված $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ ֆերիտի խեցե նմուշների միկրոկառուցվածքի և հատկությունների ձևավորման վրա զգալիորեն

ազդում են ելային փոշենյութի հատիկների չափը, նախապատրաստվածքում կապակցող օրգանական նյութի քանակությունը, մամլվածքի խտությունը և թրծման պայմանները: Հետազոտությունները ցույց են տվել, որ խեցե փորձանմուշների բարձր որակական ցուցանիշներ ստացվում են, երբ ելային փոշենյութի մամլվածքում օգտագործվում է 15% պոլիվինիլային սպիրտի 10%-ոց ջրային լուծույթ, մամլվածքի խտությունը կազմում է 4,1...4,3 g/cm^3 , թրծման ջերմաստիճանն ընկած է 1280...1350°C ջերմաստիճանային տիրույթում, իսկ թրծված ֆերիտի խտությունը գերազանցում է 4,7 g/cm^3 -ը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Пасынков В.В., Сорокин В.С.** Материалы электронной техники. - М.: Высшая школа, 1986. - 367 с.
2. **Левин Б.Е., Третьяков Ю.Д.** Физико-химические основы получения, свойства и применение ферритов. - М.: Металлургия, 1979. - 472 с.
3. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез ферритов / **А.Г. Мержанов, А.М. Салдугей, П.Б. Авакян, М.Д. Нерсисян и др.** // Разработка и промышленное освоение новой высокоэффективной технологии: Материалы на Госпремию России. - Черноголовка, ИСМАН, 1995. - 99 с.
4. SHS of Magnesioferrites / **P.B. Avakyan, V.G. Andreev, N.W. Martirosyan, et al** // Int. Journ. of SHS. - 2002. - Vol. 11, № 3. - P. 299-306.
5. Մագնեզիում-ցինկային ֆերիտի սինթեզն այրման ռեժիմում / **Պ.Բ. Ավագյան, Ն.Վ. Մարտիրոսյան, Տ.Վ. Վանդունց և ուրիշ.** // Հայաստանի ճարտարագիտական ակադեմիայի Լրաբեր (ՀՀԱԱ). - 2008. - Հ. 5, № 2. - Էջ 250-253:
6. The impact of powder particle size and thermal treatment on the product microstructure and properties / **P.B. Avakyan, E.L. Nersisyan, G.D. Grigoryan, et al** // Inf. Technol. and Management. - 2001. - Vol. 2. - P. 98-105.
7. **Avakyan P.B., Andreev V.G., Saldughey A.M.** Influence of powder particle size on formation of microstructure and properties of Manganese-Zinc ferrites // Intern. Journ. of SHS. - 1995. - Vol. 4, № 3. - P. 287-292.
8. **Шаривкер С.Ю., Мержанов А.Г.** СВС-порошки и их технологическая переработка / Под ред. И.П. Боровинской. - Черноголовка, 2000. - 123 с.

ՀղճՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 01.04.2014:

П.Б. АВАКЯН, Н.В. МАРТИРОСЯН, Т.В. ВАНДУНЦ, З.А. ГРИГОРЯН
ОТЖИГ МАГНИЕВО-ЦИНКОВОГО ФЕРРИТА, СИНТЕЗИРОВАННОГО В
РЕЖИМЕ ГОРЕНИЯ

Разработан технологический процесс спекания керамических образцов оксидного порошкового материала $\text{Mg}_{0.69}\text{Mn}_{0.06}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$, равноценный 100НН магнитомягкого феррита, полученного методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Изучены лучшие условия прессования и пластификации, исследовано влияние технологических режимов спекания на свойства ферритовой керамики.

Ключевые слова: 100НН магнитомягкий феррит, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, отжиг, керамика.

P.B. AVAKYAN, N.W. MARTIROSYAN, T.V. VANDUNDS, Z.A. GRIGORYAN
SINTERING THE MAGNESIUM-ZINC FERRITE SYNTHESIZED
UNDER THE COMBUSTION MODE

A technological process of sintering 100НН magnetosoft ferrite equivalent ceramic samples from $\text{Mg}_{0.69}\text{Mn}_{0.06}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$ oxide powder produced through the method of self-propagating high-temperature synthesis is developed. The best conditions for pressing and plastification are studied, and the impact of technological regimes of sintering on the properties of the ferrite ceramics are investigated as well.

Keywords: 100НН magnetosoft ferrite, self-propagating high-temperature synthesis, sintering, ceramics.