

**ՄԵՏԱԼՈՒՐԳԻԱ, ՆՅՈՒԹԱԳԻՏԻԹՅՈՒՆ,
ԸՆԴԵՐՔՕԳՏԱԳՈՐԾՈՒՄ**

ՄԵՏԱԼՈՒՐԳԻԱ ԵՎ ՆՅՈՒԹԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ

ՀՏԴ 669.717:629.7

**Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Գ.Ա. ՎԱՍԻԼՅԱՆ, Տ.Ն. ՍԱՖԱՐՅԱՆ,
Ա.Ս. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Տ.Ա. ԴԵՄԻՐՉՅԱՆ**

**ԲԱՐՁՐ ՏԵՍԱԿԱՐԱՐ ԱՄՐՈՒԹՅԱՄԲ ԱԼՅՈՒՄԻՆԱՅԻՆ ԱՄՐԱՆԱՎՈՐՎԱԾ
ԴԵՖՈՐՄԱՑՎՈՂ ՀԱՄԱՁՈՒԿԱԾՔՆԵՐԻ ՍՏԱՑՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ
ՀԻՄՆԱՎՈՐՈՒՄԸ**

Կատարվել է այլումինի հիմքով Al-Cu-Fe-Si համակարգի դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող ու պողպատյա թելքերով ամրանավորված բարձր տեսակարար ամրությամբ այլումինային դեֆորմացվող համաձուլվածքների ստացման գործընթացի տեսական և տեխնոլոգիական հիմնավորում: Ցույց է տրված, որ կոմպոզիտային նյութերի հատկությունները կախված են մեծ թվով գործոններից, որոնց ճիշտ ընտրությունը թույլ կտա ստանալ տրված մեխանիկական հատկություններով օժտված մետաղական թելքերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութեր:

Առանցքային բաղեր. այլումինային համաձուլվածք, ամրանավորում, ձուլում, տաք արտամղում, ջերմամշակում, կոմպոզիտային նյութ, տեսակարար ամրություն, մետաղական թելքեր:

Ներածություն: Բարձր տեսակարար ամրությամբ, հրամրությամբ, պլաստիկությամբ և այլ արժեքավոր հատկություններով օժտված նոր նյութերի ստեղծման բնագավառում մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում մետաղական թելքերով ամրանավորված այլումինային կոմպոզիտային նյութերը [1-3], որոնք հիմնականում օգտագործվում են ինքնաթիռաշինության և տիեզերական սարքաշինության մեջ: Այս նյութերում մետաղական թելքերի տրամագիծը տատանվում է մեկ մկմ-ի մասերից մինչև մի քանի տասնյակ և հարյուր մկմ, իսկ ծավալային պարունակությունը՝ մի քանի %-ից մինչև 70 ծավ. % և ավելի:

Թելքավոր կոմպոզիտային նյութերի ստացման ցանկացած եղանակ պետք է ապահովի. արտադրատեսակի պահանջվող ձևի ստացում, թելքերի ներմուծում մայրակի մեջ՝ առանց քայքայման, մայրակի և թելքի միջև տեխնոլոգիական փոխազդեցության բացակայություն, բաժանման սահմանում ամուր կապի առկայություն, բավարար քանակությամբ թելքերի մատուցման հնարավորություն և մայրակում թելքերի հավասարաչափ կողմնորոշում, իսկ այս նյութերի ստացման

տեխնոլոգիական գործընթացը պետք է ներառի՝ բաղադրիչների նախապատրաստում, կոմպոզիցիայի հավաքում, բաղադրիչների միավորում և վերջնական գործընթացների իրականացում (տաք արտամղում և ջերմամշակում):

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը: Աշխատանքի նպատակն է հիմնավորել անընդհատ թելքերով ամրանավորված այլումինի հիմքով կոմպոզիտային նյութերի ծուլման, տաք արտամղման և ջերմային մշակման մեթոդներով ստացման եղանակը:

Սկզբում մայրակի նյութից, որը Al-Cu-Fe-Si համակարգի համաձուլվածք է, ձուլվում է հոծ գլան, հետո նրա վրա փաթաթվում են պողպատյա թելքեր կամ թելքերից գործված ցանց, և կատարվում արտաքին շերտի ձուլում՝ նույն մայրակի համաձուլվածքից: Այնուհետև նախապատրաստվածքը տաքացվում և ենթարկվում է տաք արտամղման ու ջերմամշակման: Կոմպոզիտային նյութերի ստացման ժամանակ տաք արտամղումը հանդիսանում է կառուցվածքագոյացման հիմնական գործընթացը, որը հնարավորություն է տալիս՝ ստանալու ոչ միայն անձակոտկեն կառուցվածք, այլ նաև փոքրացնելու թելքերի տրամագիծը՝ ըստ պահանջվող չափի, և հետագա ջերմամշակմամբ կառուցվածքը դարձնելու մանրահատիկ՝ ապահովելով բարձր մեխանիկական հատկություններ [4-6]:

Կոմպոզիտային նյութերը, այդ թվում՝ նաև այլումինի հիմքով, հանդիսանում են թերմոդինամիկորեն անհավասարակշռված համակարգեր, որոնցում առկա են բաղադրիչների բաժանման հարթություններ և քիմիական պոտենցիալների գրադիենտ, որոնք հանդիսանում են միջֆազային փոխազդեցության, մասնավորապես՝ փոխադարձ դիֆուզիայի և քիմիական ռեակցիաների շարժիչ ուժը: Այսպիսի փոխազդեցություններն անհրաժեշտ են լավարկված հատկություններով կոմպոզիտային նյութերի ստացման համար, սակայն փոխազդեցությունների ինտեսիվացումը հանգեցնում է կոմպոզիտային նյութի մեխանիկական հատկությունների վատացման [5, 7, 8]:

Ըստ դասակարգման՝ կոմպոզիտային նյութերը, կախված միջֆազային փոխազդեցության բնույթից, բաժանվում են 3 խմբի [9].

I խումբ - մայրակը և թելքը փոխադարձ անլուծելի են և չեն առաջացնում քիմիական միացություններ,

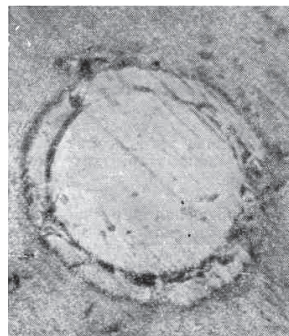
II խումբ - մայրակը և թելքն առաջացնում են իրար հետ պինդ լուծույթներ և չեն առաջանում քիմիական միացություններ,

III խումբ - մայրակը և թելքն առաջացնում են քիմիական միացություններ:

Կոմպոզիտային նյութերում բաղադրիչների միջև կապերը լինում են՝ 1 - մեխանիկական, 2 - թրջմամբ կամ լուծելիությամբ պայմանավորված, 3 - ռեակցիոն, 4 - ծավալառեակցիոն, 5 - օքսիդային և 6 - խառը:

Այլումին – պողպատ կոմպոզիտային նյութերի ստացման, ինչպես նաև շահագործման դեպքում, բաղադրիչների միջև ֆիզիկաքիմիական փոխազդեցությունների հետևանքով միջանկյալ շերտում կարող են առաջանալ փխրուն ինտերմետաղական ֆազեր՝ Fe_2Al_5 և $FeAl_3$ [10-14]: Al- չժանգոտվող պողպատ կոմպոզիցիաների դեպքում կարող են առաջանալ նաև քրոմ, նիկել և կոբալտ պարունակող ինտերմետաղական ֆազեր [9]:

Ռեակցիոն գոտու առկայությունը հանգեցնում է կոմպոզիտային նյութերի հատկությունների կտրուկ վատացման: Սակայն ցանկացած ջերմաստիճանում գոյություն ունի որոշակի ժամանակահատված, որի դեպքում ինտերմետաղական ֆազեր ընդհանրապես չեն առաջանում [5, 10-12, 15], որն, այսպես կոչված, լատենտային ժամանակահատվածն է և ունի շատ կարևոր տեխնոլոգիական նշանակություն: Փոխազդեցության սկզբում ինտերմետաղական ֆազերը հպման տեղամասում անջատվում են առանձին կղզյակների ձևով՝ ջերմաստիճանի բարձրացման կամ պահման տևողության մեծացման հետևանքով, ինտերմետաղական ֆազերով հարուստ շերտի հաստությունն աճում է: Կոմպոզիտային նյութի ստացման լավարկված ջերմաստիճանն այն ջերմաստիճանն է, որի դեպքում ապահովվում է բաղադրիչների միջև ամուր կապը և միջանկյալ, ինտերմետաղական ֆազերով հարուստ շերտի նվազագույն հաստությունը (նկ.): Ամրանավորման հետևանքով զգալիորեն աճում են բացարձակ և տեսակարար ամրությունները, հրամրությունը [10], և պահպանվում է բավարար պլաստիկություն [16]:



ա



բ

Նկ. Այլումին – չժանգոտվող պողպատի ցանցի կոմպոզիտային նյութի բաժանման հարթության միկրոկառուցվածքը. ա - $560^{\circ}C$, $P=15$ ՄՆ/մ², $\tau = 60$ րոպե

Կոմպոզիտային նյութերի ստացման համար մեծ նշանակություն ունի մայրակի նյութի ընտրությունը: Այն իրին տալիս է ձև, դարձնում միաձույլ, ամրակցում թեթքերը, պաշտպանում վերջիններիս մեխանիկական վնասվածքներից և օքսիդացումից: Մայրակի դերը նաև արտաքին բեռնվածքի՝ իր վրա կրելը և

թելքերին փոխանցելն է: Առավել կարևոր նշանակություն ունի բաժանման հարթությունը, քանի որ դրանից է կախված բաղադրիչների միջև կապը: Բաղադրիչների միջև բավարար կապի առկայության դեպքում հնարավոր կլինի օգտագործել ամրանավորող թելքի ամբողջ ամրությունը՝ դրանով իսկ հասնելով կոմպոզիտային նյութի տեսական ամրությանը: Կոմպոզիտային նյութի ստացման տեխնոլոգիական առանձնահատկություններից կախված՝ կիրառում են առաջնային ալյումինը, դեֆորմացվող և ձուլման ալյումինային համաձուլվածքները:

Կոմպոզիտային նյութերը հիմնականում ամրանավորվում են վոլֆրամի, մոլիբդենի, բերիլիումի, տիտանի, նիոբիումի և պողպատի թելքերով:

Մետաղական լարը թելքերից առավել մատչելի է և իր կառուցվածքային ամրությամբ գերազանցում է այլ արտադրատեսակների: Այն ավելի տեխնոլոգիական է, շահավետ՝ տնտեսական առումով, հուսալի՝ շահագործման համար և, ի տարբերություն ածխածնային ու բորային լարերի, օժտված է բարձր պլաստիկությամբ, որի արդյունքում հեշտությամբ դեֆորմացվում է:

Կոմպոզիտային նյութերի ամրանավորման համար առավել հաճախ օգտագործում են 20...1500 մկմ տրամագիծ ունեցող բարձրաձխածնային և ցածր լեգիրված, չժանգոտվող ու մարտենսիտային ծերացող պողպատյա լարեր: Բարձրամուր չժանգոտվող պողպատի թելքերն առավել տարածված ամրանավորող թելքերն են կոմպոզիտային նյութերում, սակայն կոմպոզիտի ստացման և շահագործման բարձր ջերմաստիճանների դեպքում պողպատում առկա Cr-ը և Ni-ը քիմիապես փոխազդում են ալյումինային մայրակի հետ, որի արդյունքում թելքի հարթ գլանական մակերևույթը դառնում է խորդուբորդ: Արդյունքում նվազում է թելքի և, հետևաբար նաև, ամբողջ կոմպոզիտային նյութի ամրությունը:

Հետազոտության արդյունքները: Բարձրամուր ալյումինային դեֆորմացվող համաձուլվածքի համար վերցվել է ալյումին - պողպատյա թելք կոմպոզիցիան: Որպես մայրակի նյութ՝ ընտրվել է A5E մակնիշի ալյումինային համաձուլվածքը (Al=99,5%, Fe=0,35%, Si=0,12%, Cu=0,02%, Zn=0,04%, Ti=0,01%, այլ տարրեր-0,02%), իսկ որպես ամրանավորող տարր՝ պողպատ 55-ից պատրաստված մինչև 0,2մմ տրամագծով ամրանավորող լարերը: A5E համաձուլվածքի մեխանիկական հատկությունները լավացնելու նպատակով այն լեգիրվել է MO մակնիշի պղնձով:

Կոմպոզիտային նյութերի (ԿՆ) հիմնական հատկությունները գլխավորապես կախված են թելքերի հատկություններից և թելք-մայրակ սահմանում կապի ուժերից: Հայտնի է [13], որ տրված տրամագծով թելքի և դրա որոշակի ծավալային պարունակության դեպքում դիսկրետ թելքերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութի ամրությունն այնքան ավելի բարձր է, որքան երկար է թելքը,

սակայն այն չի գերազանցում անընդհատ թելքերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութի ամրության 90% -ին:

Թելքերը՝ որպես ամրանավորող նյութ, պետք է օժտված լինեն հետևյալ հատկություններով՝ հալման բարձր ջերմաստիճան, ցածր տեսակարար կշիռ, բանվորական ջերմաստիճանների ամբողջ միջակայքում բարձր ամրություն, մայրակի մեջ փոքր լուծվելիություն, բավարար քիմիական կայունություն, բանվորական ջերմաստիճանների միջակայքում ֆազային փոխակերպությունների, ինչպես նաև պատրաստման և շահագործման ընթացքում թունավորության բացակայություն:

Թելքերով ամրանավորման գլխավոր նպատակը լարումներն իրենց վրա կրելն է, իսկ մայրակը փոխանցում է լարումները թելքերին և այն բաշխում դրանց միջև: Եթե մայրակը և թելքերը դեֆորմացվում են առաձգականության տիրույթում, ապա մայրակի դեֆորմացիայի կապը թելքերի դեֆորմացիայի հետ որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$\varepsilon_{y\delta} = \varepsilon_{y\theta} \left[\frac{2V_{\theta}}{V_{\theta} + 0,8} \left(\frac{E_{\delta}}{E_{\theta}} - 1 \right) + 1 \right]^{-1}, \quad (1)$$

որտեղ $\varepsilon_{y\delta}$ -ը և $\varepsilon_{y\theta}$ -ը մայրակի և թելքերի հարաբերական դեֆորմացիաներն են ձգման ժամանակ y առանցքի ուղղությամբ, V_{θ} -ն՝ արմրանավորող թելքերի ծավալային մասնաբաժինը, իսկ E_{δ} և E_{θ} -ը՝ մայրակի և թելքերի Յունգի մոդուլները: Ինչպես երևում է բանաձևից, մայրակի դեֆորմացիայի մեծությունը կախված է մայրակի և թելքերի առաձգականության մոդուլների հարաբերությունից և թելքերի ծավալային մասնաբաժնից (V_{θ}): Սահմանային դեպքում, երբ $V_{\theta} \rightarrow 1$, ապա մայրակի դեֆորմացիան պետք է գերազանցի ընդհանուր կոմպոզիտային նյութի դեֆորմացիային E_{δ}/E_{θ} անգամ:

(1) բանաձևից հետևում է, որ բարձրացնելով թելքերի ծավալային մասնաբաժինը (V_{θ}), կարելի է ստանալ կոմպոզիտային նյութերի առավելագույն ամրություն: Սակայն, ինչպես ցույց է տալիս (1) բանաձևը, եթե մայրակի երկարացումը սահմանափակ է, ապա V_{θ} -ի մեծ արժեքի դեպքում կարող է խախտվել համակարգի միասնությունը: Ուստի նյութի օպտիմալ կազմի ընտրության ժամանակ պետք է հաշվի առնել կոմպոզիտային նյութի ամրության նվազեցումը թելքերի ծավալային պարունակության սահմանափակման հետևանքով, ինչպես նաև բացասական երևույթները (շերտավորում, ճաքագոյացում), որոնք կարող են ի հայտ գալ թելքերի չափազանց խիտ դասավորության դեպքում: Դրանցից կարելի է խուսափել՝ օգտվելով թելքերի միջև մայրակի δ շերտի հաստության, թելքի d_{θ}

տրամագծի, քայքայման ժամանակ թելքերի ε_p և մայրակի ε_d հարաբերական երկարացումների միջև եղած կապից՝

$$\delta \geq \frac{d_p}{\frac{\varepsilon_d}{\varepsilon_p} - 1} : \quad (2)$$

Անընդհատ թելքերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութերի ամրության սահմանը որոշվել է թելքերի և թելքերի կտրման ժամանակ մայրակի ամրության սահմանների գումարով [4]: Ձգման փորձարկման դեպքում երկբաղադրիչ կոմպոզիտային նյութի ամրության սահմանը մաթեմատիկորեն կարելի է արտահայտել հետևյալ բանաձևով՝

$$\sigma_{\sigma, \text{կԱ}} = \sigma_{\sigma, \text{P}} V_p + \sigma'_d (1 - V_p), \quad (3)$$

որտեղ $\sigma_{\sigma, \text{կԱ}}$ և $\sigma_{\sigma, \text{P}}$ -ն համապատասխանաբար կոմպոզիտային նյութի և թելքերի ամրության սահմաններն են, σ'_d -ը՝ մայրակի մեջ լարումը թելքերի խզման պահին, իսկ V_p -ն՝ թելքերի ծավալային բաժնետեսը: Այս դեպքում ընդունվել է, որ մայրակը և թելքերը դեֆորմացվում են միևնույն մեծությամբ, այսինքն լարման և դեֆորմացման կապը ենթարկվում է Հուկի օրենքին; թելքերը տեղակայված են ձգման առանցքին զուգահեռ և չեն հպվում իրար; արտաքին բեռնվածքը փոխանցվում է թելքերին շոշափող լարումների միջոցով բաժանման հարթությամբ; բոլոր թելքերն օժտված են հավասար ամրությամբ, ունեն նույն չափսը և ձևն ու ամուր կցորդված են մայրակին; լարումները որոշվում են վերջիններիս դեֆորմացիայի և առածգականության մոդուլի արժեքներից, և կոմպոզիտային նյութը կազմող բաղադրիչների մեխանիկական հատկությունները չեն փոխվում վերջիններիս համատեղ դեֆորմացիայի արդյունքում [4]:

Գործնականում վերը նշվածն անհնար է ապահովել, այդ իսկ պատճառով հավասարման մեջ ներմուծվել են համապատասխան գործակիցներ՝ համաձայն որի (3) հավասարումը ստացել է հետևյալ տեսքը՝

$$\sigma_{\sigma, \text{կԱ}} = \sigma_{\sigma, \text{P}} V_p k_p + \sigma'_d (1 - V_p) k_d, \quad (4)$$

որտեղ k_p և k_d կոմպոզիտային նյութում համապատասխանաբար թելքի ու մայրակի աշխատանքային պայմանները հաշվի առնող գործակիցներ են, որոնք որոշվել են փորձնական ճանապարհով: (4) ադիտիվության բանաձևը հաշվի է առնում թելքերի և մայրակի միջև բոլոր տեսակի փոխազդեցություններն ամբողջական տեսքով, սակայն հաշվի չի առնում կոմպոզիտային նյութի քայքայման մեխանիզմը:

Երբ կոմպոզիտային նյութում մայրակն ավելի պլաստիկ է, քան թելքերը, ապա առաջանում է թելքերի նվազագույն կոնցենտրացիայի որոշման խնդիր: Այս դեպքում, երբ կոմպոզիտային նյութում թելքերի ծավալային բաժնեմասը (V_p) փոքր է որոշակի նվազագույն արժեքից՝ $V_p < V_{min}$, ապա դեֆորմացման ժամանակ թելքերի խզմամբ ամբողջ կոմպոզիտային նյութը չի քայքայվում, քանի որ չքայքայված մայրակն իր վրա է վերցնում այդ լարումները: Լարումների հետագա մեծացումը հանգեցնում է թելքերի կտրտմանը փոքր մասերի [14], այսինքն տեղի է ունենում բազմակի քայքայում: Երբ $V_p > V_{min}$, ապա արտաքին լարումների պայմաններում, երբ դրանք հավասարվում են թելքերի ամրությանը և շարունակում են աճել, տեղի է ունենում թելքերի խզում: Այս դեպքում թելքերի վրա ազդող լարումները, վերաբաշխվելով մայրակում, որի ամրությունը բավարար չէ ազդող լարումներին դիմադրելու համար, տեղի է ունենում կոմպոզիտային նյութի շատ արագ քայքայում. բոլոր թելքերը և մայրակը քայքայվում են միանգամից: Կոմպոզիտային նյութում թելքերի նվազագույն ծավալային բաժնեմասը որոշվել է

$$\sigma_{\sigma,p} V_{min} + \sigma'_{\sigma}(1-V_{min}) = \sigma_{\sigma,u}(1-V_{min})$$

պայմանից և հավասար է՝

$$V_{min} = \frac{\sigma_{\sigma,u} - \sigma'_{\sigma}}{\sigma_{\sigma,p} + \sigma_{\sigma,u} - \sigma'_{\sigma}} : \quad (5)$$

Թելքերի ծավալային կրիտիկական քանակ ($V_{կր}$) կոչվում է թելքերի ծավալային այն բաժնեմասը, որի դեպքում կոմպոզիտային նյութի ամրությունը հավասարվում է չամրանավորված մայրակի ամրությանը, որոշվում է

$$\sigma_{\sigma,p} V_{կր} + \sigma'_{\sigma}(1-V_{կր}) = \sigma_{\sigma,u}$$

պայմանից և հավասար է՝

$$V_{կր} = \frac{\sigma_{\sigma,u} - \sigma'_{\sigma}}{\sigma_{\sigma,p} - \sigma'_{\sigma}} : \quad (6)$$

Երբ թելքերն օժտված են ավելի բարձր պլաստիկությամբ, քան մայրակը, ապա անցումը միանգամյա քայքայումից բազմակի քայքայման տեղի է ունենում թելքերի V'_p ծավալային պարունակության դեպքում, որը որոշվել է

$$\sigma_{\sigma,p} V'_p = \sigma_{\sigma,u}(1-V'_p) + \sigma'_p \sigma'_p$$

պայմանից և հավասար է՝

$$V'_p = \frac{\sigma_{d,u}}{\sigma_{d,p} + \sigma_{d,u} - \sigma'_p}, \quad (7)$$

որտեղ σ'_p -ը թելքում լարումն է մայրակի դեֆորմացման ժամանակ նրա քայքայման պահին: Պլաստիկ մայրակով կոմպոզիտային նյութերը քայքայվում են միանգամյա քայքայման մեխանիզմով թելքերի բարձր կոնցենտրացիայի դեպքում, իսկ փխրուն մայրակով կոմպոզիտային նյութերը՝ թելքերի փոքր կոնցենտրացիայի դեպքում:

Միակողմանի ուղղորդված թելքերով կոմպոզիտային նյութի տեսակարար ամրությունը երկարության ուղղությամբ, երբ $V_p > V_{min}$, որոշվել է հետևյալ բանաձևով՝

$$\sigma_{տես} = \frac{[\sigma'_u + (\sigma_{d,p} - \sigma'_u)V_p]}{[\gamma_u + (\gamma_p - \gamma_u)V_p]}, \quad (8)$$

որտեղ γ_u և γ_p համապատասխանաբար մայրակի և թելքի խտություններն են: Երբ $V_p < V_{min}$, ապա կոմպոզիտային նյութի տեսակարար ամրությունը հավասար է՝

$$\sigma_{տես} = \frac{\sigma_{d,u} (1 - V_p)}{[\gamma_u + (\gamma_p - \gamma_u)V_p]}: \quad (9)$$

V_{min} -ը կախված է մայրակի և թելքի խտություններից և որոշվել է (5) բանաձևով:

Կոմպոզիտային նյութերում թելքերի կրիտիկական տեսակարար ծավալային բաժնետեսը ($V_{կր.տես}$), երբ ձգման ժամանակ նրա տեսակարար ամրությունը հավասարվում է չամրանավորված մայրակի տեսակարար ամրությանը, ի տարբերություն V_{min} -ի, կախված է ոչ միայն բաղադրիչների ամրային բնութագրերից, այլ նաև նրանց խտությունից և որոշվել է հետևյալ հարաբերությամբ՝

$$V_{կր.տես} = \left[1 + \frac{\sigma_{d,p} - \frac{\sigma_{d,u} \gamma_p}{\gamma_u}}{\sigma_{d,u} - \sigma'_u} \right]^{-1}: \quad (10)$$

$\gamma_p \neq \gamma_u$ դեպքում $V_{կր.տես}$ -ն աճում է γ_p/γ_u հարաբերության մեծացմանը զուգընթաց, իսկ $\gamma_p/\gamma_u=1$ դեպքում՝ $V_{կր.տես} = V_{կր}$, որը որոշվել է (6) բանաձևով: Այն դեպքում, երբ մայրակը և թելքն ունեն նույն տեսակարար ամրությունը, ապա $V_{կր.տես}=1 - V_p$ -ի ցանկացած արժեքների դեպքում, և կոմպոզիտային նյութի տեսակարար ամրությունը չի կարող գերազանցել մայրակի տեսակարար ամրությանը: Երբ $\gamma_p < \gamma_u$, ապա (10) հավասարումը կորցնում է իր ֆիզիկական իմաստը:

Ընդհատ թելքերով ամրանավորման ժամանակ մեծ նշանակություն ունի թելքի երկարությունը: Ինչպես հայտնի է, կոմպոզիտային նյութերում արտաքին բեռնվածքը մայրակից թելքին է փոխանցվում շոշափող լարումների միջոցով թելքի և մայրակի բաժանման հարթությունում: Գոյություն ունի թելքի որոշակի կրիտիկական երկարություն ($l_{կր}$), որից փոքրի դեպքում՝ $l_p < l_{կր}$, կիրառված ձգող լարումները բավարար չեն թելքի խզման համար, և այս դեպքում թելքը ձգվում և դուրս է գալիս մայրակից, որի հետևանքով ամբողջությամբ չի օգտագործվում նրա ամրությունը: Երբ $l_p > l_{կր}$, ապա արտաքին ձգող լարումների ազդեցության տակ թելքերը խզվում են, ընդ որում՝ l_p -ի մեծացմանը զուգընթաց կոմպոզիտային նյութի ամրությունն աճում է: Կոմպոզիտային նյութում թելքի կրիտիկական երկարությունը ($l_{կր}$) այն ամենափոքր երկարությունն է, որի դեպքում տեղի է ունենում թելքի խզում, և որոշվել է հետևյալ բանաձևով [13].

$$\frac{l_{կր}}{d} = \frac{\sigma_{\sigma,p}}{2\tau_u}, \quad l_{կր} = \frac{\sigma_{\sigma,p} d}{2\tau_u}, \quad (11)$$

որտեղ d -ն թելքի տրամագիծն է, τ_u -ն՝ թելք – մայրակ բաժանման սահմանի ամրությունը սահքի ժամանակ: τ_u -ի փոքրացմանը և $\sigma_{\sigma,p}$ մեծացմանը զուգընթաց $l_{կր}$ -ը մեծանում է:

Զուգահեռ դասավորված ընդհատ թելքերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութերի ամրությունը ($\sigma'_{\sigma,p}$) որոշվել է ադիտիվության հավասարումներով՝ հաշվի առնելով թելքերի ծայրամասերում լարումների կոնցենտրացիան: Երբ $l < l_{կր}$, ապա կոմպոզիտային նյութի քայքայումն ուղեկցվել է մայրակից թելքերի դուրս գալով, իսկ ամրությունը որոշվել է հետևյալ բանաձևով.

$$\sigma'_{\sigma,p} = \left(\frac{\tau_u l}{d} \right) V_p + \sigma_{\sigma,u} (1 - V_p): \quad (12)$$

Այսպիսի կոմպոզիտային նյութերի ամրությունը, V_p -ի, τ_u -ի և l/d -ի մեծացմանը զուգընթաց աճում է, մնալով փոքր անընդհատ թելքերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութի ամրության համեմատ: $l_p > l_{կր}$ դեպքում՝

$$\sigma'_{\sigma,p} = \sigma_{\sigma,p} \left[1 - (1 - k) \frac{l_{կր}}{l} \right] V_p + \sigma'_u (1 - V_p), \quad (13)$$

որտեղ k -ն 1-ից փոքր գործակից է [13]: $k \approx 0,5$ միջին արժեքի դեպքում ընդհատ թելքերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութի ամրության հարաբերությունը անընդհատ թելքերով կոմպոզիտային նյութի ամրությանը որոշվել է հետևյալ կախվածությամբ.

$$\frac{\sigma'_{\sigma, \rho}}{\sigma_{\sigma, \rho}} = 1 - \frac{1}{\frac{2\ell}{\ell_{\text{կր}}} \left[1 + \frac{\sigma'_\sigma}{\sigma_{\sigma, \rho}} \left(\frac{1}{V_\rho} - 1 \right) \right]} : \quad (14)$$

Փորձերը ցույց են տալիս, որ $\ell/\ell_{\text{կր}} > 10$ դեպքում ընդհատ թելքերով կոմպոզիտային նյութի ամրությունը կարող է հասնել անընդհատ թելքերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութի ամրության մոտավորապես 90%-ին:

Ընդհատ թելքերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութերում թելքերի կրիտիկական բաժնեմասը որոշվել է հետևյալ բանաձևով՝

$$V'_{\text{կր}} = \frac{\sigma_{\sigma, \sigma} - \sigma'_\sigma}{\sigma_{\sigma, \rho} \left[1 - (1 - k) \frac{\ell}{\ell_{\text{կր}}} \right] - \sigma'_\sigma}, \quad (15)$$

որը միշտ մեծ է անընդհատ թելքերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութի թելքերի կրիտիկական բաժնեմասից:

Այսպիսով, կատարված տեսական վերլուծությունից պարզ է դառնում, որ կոմպոզիտային նյութերի հատկությունները կախված են մեծ թվով գործոններից, որոնց ճիշտ ընտրությունը թույլ կտա ստանալ տրված մեխանիկական հատկություններով օժտված մետաղական թելքերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութեր:

Եզրակացություն: Թելքերով ամրանավորված այլումինային կոմպոզիտային նյութերի կառուցվածքային առանձնահատկությունների վերլուծության արդյունքում պարզվել է, որ առավել մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում պողպատյա թելքերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութերը, քանի որ վերջիններս օժտված են խիստ սահմանափակ լուծվելիությամբ այլումինում:

Կատարվել է այլումինի հիմքով դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող ու պողպատյա թելքերով ամրանավորված բարձր տեսակարար ամրությամբ այլումինային դեֆորմացվող համաձուլվածքների ստացման գործընթացի տեսական և տեխնոլոգիական հիմնավորում: Արդյունքում հիմնավորվել է, որ կոմպոզիտային նյութերի հատկությունները կախված են մեծ թվով գործոններից, որոնց ճիշտ ընտրությունը թույլ կտա ստանալ տրված մեխանիկական հատկություններով օժտված մետաղական թելքերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութեր:

Հեղագրությունները կատարվել են Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի «Նյութագիտություն և մեխանիկա» բազային գիտահեղագրական լաբորատորիայում կատարվող գիտական թեմայի շրջանակներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Портной К.И.** Важнейшие свойства и области применения композиционных материалов // В кн.: Композиционные металлические материалы.- М.: ОНТИ, 1972.- С. 7-14.
2. **Кутыинов В.Ф., Андриенко В.М., Сухобокова Г.П., Рубина А.Л.** Применение композиционных материалов в силовых конструкциях летательных аппаратов // В кн.: Композиционные металлические материалы.- М.: ОНТИ, 1972.- С. 15-40.
3. Применение композиционных материалов в технике. Композиционные материалы. Т. 3 / Пер. с англ.; **Под ред. С.Е. Салибекова.**- М.: Машиностроение, 1978.- 507 с.
4. **Агбальян С.Г.** Теоретические и технологические основы формирования структуры и свойств порошковых материалов при экструзии: Автореф. дис. ... докт. техн. наук.- Ереван, 1992.- 33с.
5. Волокнистые композиционные материалы с металлической матрицей / **Под ред. М.Х. Шоршорова.** - М.: Машиностроение, 1981.- 272 с.
6. **Тучинский Л.И., Вишняков Л.Р., Фефер В.Я.** Энергетические затраты при свободной ковке металлических армированных композиций // Порошковая металлургия.- 1975.- № 6.- С. 20-26.
7. **Иванова В.С., Копьев И.М.** Упрочнение металлов волокнами: Монография.- М.: Наука, 1973.- 207 с.
8. **Карпинос Д.М., Тучинский Л.И., Вишняков Л.Р.** Новые композиционные материалы.- Киев: Вища школа, 1979.- 312 с.
9. **Меткалф А.Г.** Введение в обзор // В кн.: Поверхности раздела в металлических композитах: Композиц. материалы.- Т.4. - М.: Мир, 1978.- С. 11- 41.
10. Композиционные материалы: Справочник / **Под ред. Д.М. Карпиноса.**- Киев: Наукова думка, 1985.- 592 с.
11. **Карпинос Д.М., Зильберберг В.Г., Кадыров В.Х.** Исследование условий получения композиционного материала на основе алюминия, армированного стальными волокнами, с использованием метода плазменного напыления // Порошковая металлургия.- 1974.- N 8. - С. 41-44.
12. Композиционный материал на основе алюминия, армированный проволокой из стали ВНС-9 / **И.Н. Фридляндер, В.П. Северденко, С.А. Юдина, Н.А. Конова-лова и др.** // В кн.: Волокнистые и дисперсноупрочненные композиционные материалы.- М.: Наука, 1976.- С. 128-132.
13. Современные композиционные материалы / **Под ред. Л. Браутмана, Р. Крока.**- М.: Мир, 1970.- 676 с.
14. **Портной К.И.** Волокнистые композиционные материалы // В кн.: Волокнистые и дисперсноупрочненные композиционные материалы.- М.: Наука, 1976.- С. 106-110.
15. **Patinaik A., Lowley A.** Effect of elevated temperature exposure on the structure, stability and mechanical behavior of aluminum-stainless steel composites // Met. Trans.- 1974.- V. 5, N 1.- P. 111-122.

16. **Jaе-Do Kwon, Jeong-Ju Ahn, Sang-Tae Kim, and Hitoshi Ishii.** The Fatigue Life Prediction of SiC Whisker Reinforced Al6061 Alloy Composite by Monte-Carlo Simulation // Journal of Composite Materials.- 1998.- V. 32, N10.- P. 910-928.

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

**ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ АРМИРОВАННЫХ
АЛЮМИНИЕВЫХ ДЕФОРМИРУЕМЫХ СПЛАВОВ С ВЫСОКОЙ
УДЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТЬЮ**

Проведено теоретическое и технологическое обоснование процесса получения высокопрочных алюминиевых деформируемых сплавов системы Al-Cu-Fe-Si, дисперснотвердеющих, дисперсноупрочненных и армированных стальными волокнами. Показано, что свойства композиционных материалов зависят от большого количества факторов, правильный выбор которых позволит получить композиционные материалы, армированные металлическими волокнами, с заданными механическими свойствами.

Ключевые слова: алюминиевый сплав, армирование, литье, горячая экструзия, термообработка, композиционный материал, удельная прочность, металлические волокна.

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

**SUBSTANTIATION OF THE PRODUCTION PROCESS OF
REINFORCED ALUMINUM DEFORMABLE ALLOYS WITH HIGH
SPECIFIC STRENGTH**

The theoretical and technological substantiation of the process of obtaining high-strength aluminum wrought alloys of the Al-Cu-Fe-Si system, precipitation-hardening, dispersion-hardened and reinforced with steel fibers has been carried out. As a result, it was shown that the properties of composite materials depend on a large number of factors, the correct selection of which will make it possible to obtain composite materials reinforced with metal fibers with specified mechanical properties.

Keywords: aluminum alloy, reinforcement, casting, hot extrusion, heat treatment, composite material, specific strength, metal fibers.