

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

**ԲԱՐՁՐ ՏԵՍԱԿԱՐԱՐ ԱՄՐՈՒԹՅԱՄԲ ԱԼՅՈՒՄԻՆԱՅԻՆ ԱՄՐԱՆԱՎՈՐՎԱԾ
ԴԵՖՈՐՄԱՑՎՈՂ ՀԱՄԱՁՈՒՎԱԾՔՆԵՐԻ ՍՏԱՑՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ
ՏԵՍԱԿԱՆ ՀԻՄՆԱՎՈՐՈՒՄԸ**

Գրականության վերլուծության արդյունքում ցույց է տրված, որ մետաղական թել-
քերով ամրանավորված ալյումինային կոմպոզիտային նյութերից առավել մեծ հետաքրքրու-
թյուն են ներկայացնում պողպատյա թելքերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութերը,
որոնք խիստ սահմանափակ են լուծվում ալյումինում: Չուլման եղանակով կոմպոզիտա-
յին նյութերի ստացման դեպքում նախապատրաստվածքի տաք արտամղումը և հետագա
ջերմային մշակումը հանդիսանում են կառուցվածքագոյացման հիմնական գործընթաց-
ները, որոնք հնարավորություն են տալիս՝ ստանալու ոչ միայն անծակտկեն կառուցվածք,
այլև փոքրացնելու թելքերի տրամագիծը՝ ըստ պահանջվող չափի ու դիսպերս կարծրացման,
և ամրացման մեխանիզմներով կառուցվածքը դարձնել մանրահատիկ՝ ապահովելով բարձր
մեխանիկական հատկություններ: Կատարվել է ալյումինի հիմքով Al-Cu-Fe-Si համակարգի
դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող ու պողպատյա
թելքերով ամրանավորված բարձր տեսակարար ամրությամբ ալյումինային դեֆորմացվող
համաձուլվածքների ստացման գործընթացի տեսական և տեխնոլոգիական հիմնավորում:
Արդյունքում ցույց է տրված, որ կոմպոզիտային նյութերի հատկությունները կախված են
մեծ թվով գործոններից, որոնց ճիշտ ընտրությունը թույլ կտա ստանալ տրված մեխանի-
կական հատկություններով օժտված մետաղական թելքերով ամրանավորված կոմպոզի-
տային նյութեր:

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

Ներածություն. Բարձր տեսակարար ամրությամբ, հրամրությամբ, պլաստի-
կությամբ և այլ արժեքավոր հատկություններով օժտված նոր նյութերի ստեղծման
բնագավառում մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում մետաղական թելքերով
ամրանավորված ալյումինային կոմպոզիտային նյութերը [1-3], որոնք հիմնակա-
նում 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 պարու-
նակությունը՝ 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):

Կոմպոզիտային նյութերի ստացման եղանակներից առավել տարածվածը ձուլման եղանակն է՝ հեղուկ մետաղով թելքերի տոգորումը [4], որը կիրառում են, երբ բացակայում է մայրակի և թելքի միջև փոխազդեցությունը:

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

Սկզբում մայրակի նյութից, որը ներկայացնում է Al-Cu-Fe-Si համակարգի համաձուլվածք, ձուլվել է հոծ գլան, այնուհետև նրա վրա փաթաթվել են պողպատյա թելքեր կամ թելքերից գործած ցանց, և կատարվել է արտաքին շերտի ձուլում՝ նույն մայրակի համաձուլվածքից: Ձուլումից հետո նախապատրաստվածքը տաքացվել և ենթարկվել է տաք արտամղման և ջերմամշակման: Խնդրի լուծման համար որպես մայրակի նյութ ընտրվել է A5E մակնիշի ալյումինը, որը լեգիրվել է M0 մակնիշի պղնձով, իսկ որպես ամրանավորող թելքեր օգտագործվել են «պողպատ-40» մակնիշի մինչև 0,2 մմ տրամագծով լարեր: Կոմպոզիտային նյութերի ստացման ժամանակ տաք արտամղումը հանդիսանում է կառուցվածքագոյացման հիմնական գործընթացը, որը հնարավորություն է տալիս՝ ստանալու ոչ միայն անծակոտկեն կառուցվածք, այլև փոքրացնելու թելքերի տրամագիծն ըստ պահանջվող չափի և հետագա ջերմամշակմամբ կառուցվածքը դարձնելու մանրահատիկ՝ ապահովելով բարձր մեխանիկական հատկություններ [5-7]:

Ինչպես կոմպոզիտային նյութերի մեծ մասը, այնպես էլ ալյումինային կոմպոզիտային նյութերը, հանդիսանում են թերմոդինամիկորեն անհավասարակշռված համակարգեր, որոնցում առկա են բաղադրիչների բաժանման հարթություններ և քիմիական պոտենցիալների գրադիենտ: Քիմիական պոտենցիալների գրադիենտը հանդիսանում է միջֆազային փոխազդեցության, մասնավորապես՝ փոխադարձ դիֆուզիայի և քիմիական ռեակցիաների շարժիչ ուժ: Սահմանափակ տիրույթում այդպիսի փոխազդեցություններն անհրաժեշտ են լավարկված հատկություններով կոմպոզիտային նյութերի ստացման համար, սակայն փոխազդե-

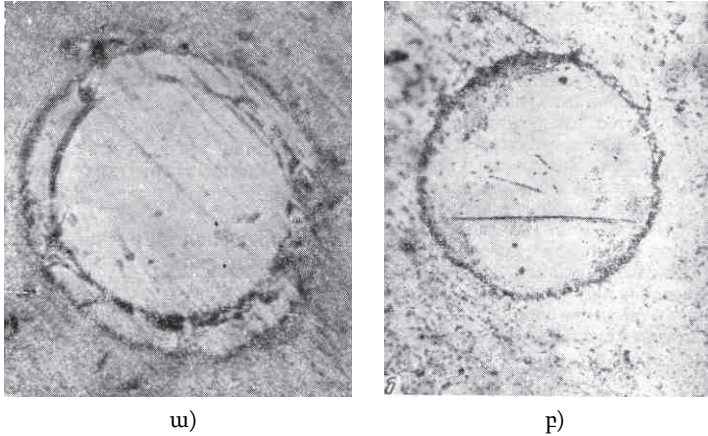
ցությունների ինտեսիվացումը հանգեցնում է կոմպոզիտային նյութի մեխանիկական հատկությունների վատացման [4, 6, 8]:

Քիմիական փոխազդեցությունը կարող է տեղի ունենալ ինչպես կոմպոզիտային նյութի ստացման, այնպես էլ շահագործման ժամանակ: Կայուն հատկություններով կոմպոզիտային նյութերում կոմպոնենտները պետք լինեն քիմիապես համակցելի [9], ներկայացնեն թերմոդինամիկ և կինետիկ համակցությունները [10]: Թերմոդինամիկապես անհամակցելի բաղադրիչները որոշակի ջերմաստիճանա-ժամանակային տիրույթում կարող են լինել կինետիկապես համակցից և հաջողությամբ շահագործվել կոնստրուկցիաներում [6]: Քիմիական համակցության հետ մեկտեղ պետք է ապահովվի նաև բաղադրիչների մեխանիկական համակցությունը, քանի որ վերջինիս առկայության պայմաններում է հնարավոր բաժանման հարթությամբ լարումների արդյունավետ փոխանցումը [4, 11]:

«Al – պողպատ» կոմպոզիտային նյութերի ստացման, ինչպես նաև շահագործման ժամանակ բաղադրիչների միջև ֆիզիկաքիմիական փոխազդեցությունների հետևանքով միջանկյալ շերտում կարող են առաջանալ փխրուն ինտերմետաղական ֆազեր՝ Fe_2Al_3 և FeAl_3 [10, 11]: «Al- չժանգոտվող պողպատ» կոմպոզիցիաների դեպքում կարող են առաջանալ նաև քրոմ, նիկել և կոբալտ պարունակող ինտերմետաղական ֆազեր:

Ռեակցիոն գոտու առկայությունը հանգեցնում է կոմպոզիտային նյութերի հատկությունների կտրուկ վատացման: Սակայն ցանկացած ջերմաստիճանում գոյություն ունի որոշակի ժամանակահատված, որի դեպքում ինտերմետաղական ֆազեր ընդհանրապես չեն առաջանում [6, 11-14], որը, այսպես կոչված, լաթենտային 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 ջերմաստիճանի դեպքում ապահովվում են բաղադրիչների միջև ամուր կապը և միջանկյալ, ինտերմետաղական ֆազերով հարուստ շերտի նվազագույն հաստությունը (նկ. 1) [15, 16]: Պողպատյա թելքերով ամրանավորված ալյումինային համաձուլվածքներում պահպանվում է բավարար պլաստիկություն [17]: Ամրանավորման հետևանքով զգալիորեն աճում են բացարձակ և տեսակարար ամրություններն ու հրամրությունը [11]:

Կոմպոզիտային նյութերի ստացման ժամանակ մեծ նշանակություն ունի մայրակի նյութի ընտրությունը: Այն իրին տալիս է ձև, դարձնում միաձուլ, ամրակցում թելքերը, պաշտպանում վերջիններիս մեխանիկական վնասվածքներից և օքսիդացումից: Մայրակի դերը նաև արտաքին բեռնվածքն իր վրա կրելը և թելքերին փոխանցելն է:



Նկ. 1. «Al– չժանգոտվող պողպատյա ցանց» կոմպոզիտային նյութի բաժանման հարթության միկրոկառուցվածքը. ա - 560°C, P=15 ՄՆ/մ², τ = 60 րոպե, բ- 460°C, P=15 ՄՆ/մ², τ = 60 րոպե

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: Բաղադրիչների ընտրության ժամանակ պետք է հաշվի առնել բազմաթիվ գործոններ, այդ թվում՝ բաղադրիչներում ընթացող ֆազային փոխակերպությունները, դրանց միջև փոխադարձ դիֆուզիան և այլն: Մայրակը պետք է թրջի, բայց չլուծի թելքը: Այդ է պատճառը, որ հիմնարար հետազոտությունների ժամանակ կիրառվել են փոխադարձ չլուծվող բաղադրիչներ:

Այլումինի և նրա համաձուլվածքների հատկություններին ներկայացվող հիմնական պահանջներն են՝ ամրանավորող թելքերի հետ համակցությունը կոմպոզիցիայի ստացման և շահագործման ջերմաստիճաններում, սենյակային և բարձր ջերմաստիճաններում ամրության և պլաստիկության բարձր ցուցանիշները, տեխնոլոգիական հատկություններն ու կոռոզիակայունությունը:

Տեխնիկական մաքրությամբ այլումինային համաձուլվածքները հաճախ կիրառում են ինչպես հեղուկ, այնպես էլ պինդֆազային մեթոդներով կոմպոզիտային նյութերի ստացման համար: Կոմպոզիտային նյութերը հիմնականում ամրանավորվում են վոլֆրամի, մոլիբդենի, բերիլիումի, տիտանի, նիոբիումի և պողպատի թելքերով:

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 թել-

քերն 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 ստացման համար ընտրվել է «Al - 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 %, ալտարեր - 0,02 %), իսկ որպես ամրանավորող տարր՝ «պողպատ 40»-ից պատրաստված ամրանավորող լարերը: A5E մակնիշի համաձուլվածքի մեխանիկական հատկությունները լավացնելու նպատակով այն լեգիրվել է M0 մակնիշի պղնձով:

Կոմպոզիտային նյութերի (ԿՆ) հիմնական հատկությունները գլխավորապես կախված են թելքերի հատկություններից և «թելք-մայրակ» սահմանում կապի ուժերից: Հայտնի է [18], 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:

Որպես ամրանավորող նյութ՝ թելքերը 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 բաշխում դրանց միջև: Եթե մայրակը և թելքերը դեֆորմացվում են առաձգականության տիրույթում, ապա մայրակի դեֆորմացիայի կապը թելքերի դեֆորմացիայի հետ որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

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

որտեղ $\varepsilon_{y\alpha}$ -ը և $\varepsilon_{y\theta}$ -ը մայրակի և թելքերի հարաբերական դեֆորմացիաներն են ձգման ժամանակ y առանցքի ուղղությամբ, V_{θ} -ն՝ ամրանավորող թելքերի ծավալային մասնաբաժինը, իսկ E_{α} 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_p): Սահմանային դեպքում, երբ $V_p \rightarrow 1$, ապա մայրակի դեֆորմացիան պետք է գերազանցի ընդհանուր կոմպոզիտային նյութի դեֆորմացիային E_d/E_p անգամ:

Ամրավորված կոմպոզիտային նյութերի միատարրության ապահովման համար անհրաժեշտ են այնպիսի մայրակներ, որոնց հարաբերական երկարացումը մի քանի անգամ կարող է գերազանցել կոմպոզիտային նյութի միջին դեֆորմացմանը: Բարձրացնելով թելքերի V_p -ն՝ կարելի է ստանալ կոմպոզիտային նյութերի առավելագույն ամրություն: Սակայն, ինչպես ցույց է տալիս (1) բանաձևը, եթե մայրակի երկարացումը սահմանափակ է, ապա V_p -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_p 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՝

$$\sigma_{d,kn} = \sigma_{d,p} V_p + \sigma'_d (1 - V_p), \quad (3)$$

որտեղ $\sigma_{d,kn}$ և $\sigma_{d,p}$ -ն համապատասխանաբար կոմպոզիտային նյութի և թելքերի ամրության սահմաններն են, σ'_d -ը՝ մայրակի մեջ լարումը թելքերի խզման պահին, իսկ V_p -ն՝ թելքերի ծավալային բաժնեմասը:

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 չափսն ու ձևը և ամուր կցորդված են մայրակին,

- լարումները որոշվում են վերջիններիս դեֆորմացիայի և առաձգականության մոդուլի արժեքներից,

- կոմպոզիտային նյութը կազմող բաղադրիչների մեխանիկական հատկությունները չեն փոխվում վերջիններիս համատեղ դեֆորմացիայի արդյունքում [4]:

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

$$\sigma_{d,կն} = \sigma_{d,թ} V_{թ} K_{թ} + \sigma'_{ս}(1 - V_{թ}) K_{ս}, \quad (4)$$

որտեղ $K_{թ}$ և $K_{ս}$ 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 ($V_{թ}$) փոքր է որոշակի նվազագույն արժեքից՝ $V_{թ} < V_{min}$, 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 կտրտման փոքր մասերի [19], այսինքն տեղի է ունենում բազմակի քայքայում: Երբ $V_{թ} > V_{min}$, ապա արտաքին լարումների ազդեցությամբ, 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, առաջացնում են կոմպոզիտային նյութի շատ արագ քայքայում: Բոլոր թելքերը և մայրակը քայքայվում են միանգամից: Կոմպոզիտային նյութում թելքերի նվազագույն ծավալային բաժնեմասը որոշվել է

$$\sigma_{d,թ} V_{min} + \sigma'_{ս}(1 - V_{min}) = \sigma_{d,ս}(1 - V_{min})$$

պայմանից և հավասար է՝

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

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

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

պայմանից և հավասար է՝

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

Երբ թելքերն օժտված են ավելի բարձր պլաստիկությամբ, քան մայրակը, ապա անցումը միանգամյա քայքայումից բազմակի քայքայման տեղի է ունենում թելքերի $V'_{\text{թ}}$ ծավալային պարունակության դեպքում, որը որոշվել է

$$\sigma_{\text{d.}\text{p}} V'_{\text{թ}} = \sigma_{\text{d.}\text{u}} (1 - V'_{\text{թ}}) + \sigma'_{\text{p}} V'_{\text{թ}}$$

պայմանից և հավասար է՝

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

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:

Թելքերի քայքայման մեխանիզմով է բացատրվում կոմպոզիտային նյութի ձգման դիագրամի սղոցանման տեսքը: Երբ մայրակը պլաստիկ է, իսկ թելքը՝ փխրուն, ապա տարբեր կտրվածքներում թելքերի խզման դեպքում լարումները, որոնք կրում է թելքը, փոխանցվում են մայրակին, իսկ ձգման դիագրամի վրա առաջանում է ատամ, որի մեծությունը համեմատական է այդ լարումներին (նկ. 2): Հետագա դեֆորմացման ժամանակ մայրակում տեղի է ունենում տեղային կոփում, և լարումը մեծանում է այնքան, մինչև որ այն առաջացնի նոր քայքայում մեկ այլ կտրվածքում:

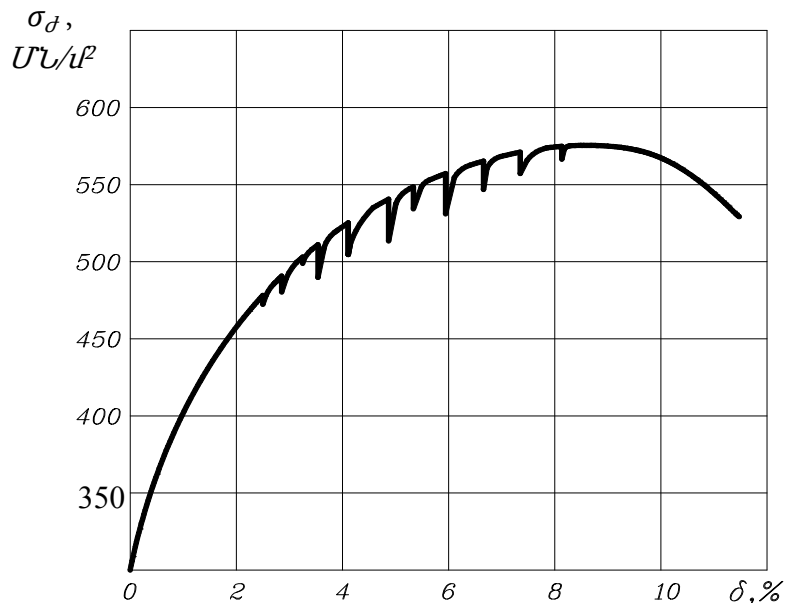
Միակողմանի ուղղորդված թելքերով կոմպոզիտային նյութի տեսակարար ամրությունը երկարության ուղղությամբ, երբ $V_p > V_{min}$, որոշվել է հետևյալ բանաձևով՝

$$\sigma_{տես} = \frac{[\sigma'_{\delta} + (\sigma_{\delta,p} - \sigma'_{\delta})V_p]}{[\gamma_{\delta} + (\gamma_p - \gamma_{\delta})V_p]}, \quad (8)$$

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

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

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



Նկ. 2. «Al – պողպատյա թելք» կոմպոզիտային նյութի ձգման դիագրամը

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

$$V_{\text{կր.տես}} = \left[1 + \frac{\sigma_{\text{ժ.թ}} - \frac{\sigma_{\text{ժ.ձ}} \gamma_{\text{թ}}}{\gamma_{\text{ձ}}}}{\sigma_{\text{ժ.ձ}} - \sigma'_{\text{ձ}}} \right]^{-1} : \quad (10)$$

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

Ընդհատ թելքերով ամրանավորման ժամանակ մեծ նշանակություն ունի թելքի երկարությունը: Ինչպես հայտնի է [5], կոմպոզիտային նյութերում արտաքին բեռնվածքը մայրակից թելքին է փոխանցվում շոշափող լարումների միջոցով թելքի և մայրակի բաժանման հարթությունում: Գոյություն ունի թելքի որոշակի կրիտիկական երկարություն ($\ell_{\text{կր}}$), որից փոքրի դեպքում՝ $\ell_{\text{թ}} < \ell_{\text{կր}}$, 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 $\ell_{\text{թ}} > \ell_{\text{կր}}$, ապա արտաքին ձգող լարումների ազդեցության տակ թելքերը խզվում են, ընդ որում՝ $\ell_{\text{թ}}$ -ի մեծացմանը զուգընթաց կոմպոզիտային նյութի ամրությունն աճում է: Կոմպոզիտային նյութում թելքի կրիտիկական երկարությունը ($\ell_{\text{կր}}$) այն ամենափոքր երկարությունն է, որի դեպքում տեղի է ունենում թելքի խզում և որոշվում է հետևյալ բանաձևով [18].

$$\frac{\ell_{\text{կր}}}{d} = \frac{\sigma_{\text{ժ.թ}}}{2\tau_u}, \quad \ell_{\text{կր}} = \frac{\sigma_{\text{ժ.թ}} d}{2\tau_u}, \quad (11)$$

որտեղ d -ն թելքի տրամագիծն է, τ_u -ն՝ «թելք – մայրակ» բաժանման սահմանի ամրությունը սահքի ժամանակ: τ_u -ի փոքրացմանը և $\sigma_{\text{ժ.թ}}$ մեծացմանը զուգընթաց $\ell_{\text{կր}}$ -ը մեծանում է:

Զուգահեռ դասավորված ընդհատ թելքերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութերի ամրությունը ($\sigma'_{\text{ժ.թ}}$) որոշվել է ադիտիվության հավասարումներով՝ հաշվի առնելով թելքերի ծայրամասերում լարումների կոնցենտրացիան: Երբ $\ell < \ell_{\text{կր}}$, ապա կոմպոզիտային նյութի քայքայումն ուղեկցվում է մայրակից թելքերի դուրս գալով, իսկ ամրությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

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

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: $\ell_p > \ell_{up}$ դեպքում՝

$$\sigma'_{d,p} = \sigma_{d,p} \left[1 - (1 - k) \frac{\ell_{up}}{\ell} \right] V_p + \sigma'_u (1 - V_p), \quad (13)$$

որտեղ k -ն 1-ից փոքր գործակից է [18]: $k \approx 0,5$ միջին արժեքի դեպքում ընդհատ թելքերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութի ամրության հարաբերությունը անընդհատ թելքերով կոմպոզիտային նյութի ամրությանը որոշվել է հետևյալ կախվածությամբ.

$$\frac{\sigma'_{d,p}}{\sigma_{d,p}} = 1 - \frac{1}{\frac{2\ell}{\ell_{up}} \left[1 + \frac{\sigma'_u}{\sigma_{d,p}} \left(\frac{1}{V_p} - 1 \right) \right]}: \quad (14)$$

Փորձերը ցույց են տալիս, որ $\ell/\ell_{up} > 10$ 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 (V'_{up}) որոշվել է հետևյալ բանաձևով՝

$$V'_{up} = \frac{\sigma_{d,u} - \sigma'_u}{\sigma_{d,p} \left[1 - (1 - k) \frac{\ell}{\ell_{up}} \right] - \sigma'_u}, \quad (15)$$

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

Եզրակացություն. Կատարվել է ալյումինի հիմքով դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող ու պողպատյա թելքերով ամրանավորված բարձր տեսակարար ամրությամբ ալյումինային 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 ամրանալորված կոմպոզիտային նյութեր:

Հետազոտությունները կատարվել են Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի «Նյութագիտություն և մետալուրգիա» բաժանի գիտահետազոտական 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.- Т. 3: Композиционные материалы / Пер. с англ.; Под ред. **С.Е. Салибекова**.- М.: Машиностроение, 1978.- 507 с.
4. **Иванова В.С., Копьев И.М.** Упрочнение металлов волокнами: Монография.- М.: Наука, 1973.- 207 с.
5. **Агбалин С.Г.** Теоретические и технологические основы формования структуры и свойств порошковых материалов при экструзии: Автореф. дис. ... докт. техн. наук.- Ереван, 1992.- 33с.
6. Волокнистые композиционные материалы с металлической матрицей / Под ред. **М.Х. Шоршорова**. - М.: Машиностроение, 1981.- 272 с.
7. **Тучинский Л.И., Вишняков Л.Р., Фефер В.Я.** Энергетические затраты при свободной ковке металлических армированных композиций // Порошковая металлургия.- 1975.- № 6.- С. 20-26.
8. **Карпинос Д.М., Тучинский Л.И., Вишняков Л.Р.** Новые композиционные материалы.- Киев: Вища школа, 1979.- 312 с.
9. **Портной К.И., Заболоцкий А.А., Турченков В.А.** К оценке взаимодействия и совместимости компонентов в волокнистых композиционных материалах // Порошковая металлургия.- 1978.- N 10.- С. 64-71.
10. Композиционные материалы с металлической матрицей.-Т. 4: Композиционные материалы / Пер. с англ.; Под ред. **К.И. Портного**.- М.: Машиностроение, 1978.- 502 с.
11. Композиционные материалы: Справочник / Под ред. **Д.М. Карпиноса**.- Киев: Наукова думка, 1985.- 592 с.
12. **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.

13. Композиционный материал на основе алюминия, армированный проволокой из стали ВНС-9 / **И.Н. Фридляндер, В.П. Северденко, С.А. Юдина и др.** // В кн.: Волокнистые и дисперсноупрочненные композиционные материалы.- М.: Наука, 1976.- С. 128-132.
14. **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.
15. **Zhang L.P., Zhao Y.Y.** Mechanical Response of Al Matrix Syntactic Foams Produced by Pressure Infiltration Casting // *Journal of Composite Materials.*- 2007.- V. 41, N 17.- P. 2105-2117.
16. **Shuhua Liang, Zhikang Fan, and Liang Fang.** Effect of Powder Characteristic on Al Internal Oxidation to Prepare Al_2O_3 -Cu Composite // *Journal of Composite Materials.*- 2004.- V.38, N1.- P.31-39.
17. **Jae-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.
18. Современные композиционные материалы / Под ред. **Л. Браутмана, Р. Крока.** - М.: Мир, 1970.- 676 с.
19. **Портной К.И.** Волокнистые композиционные материалы // В кн.: Волокнистые и дисперсноупрочненные композиционные материалы.- М.: Наука, 1976.- С. 106-110.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 18.01.2022:

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

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ АРМИРОВАННЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ ДЕФОРМИРУЕМЫХ СПЛАВОВ

Анализ литературных данных показал, что из алюминиевых композиционных материалов, армированных металлическими волокнами, наибольший интерес представляют материалы, армированные стальными волокнами, поскольку последние обладают ограниченной растворимостью в алюминии. Горячая экструзия и дальнейшая термическая обработка заготовки, полученной методом литья, являются основными факторами структурообразования в производстве композиционных материалов. Это позволяет не только получить беспористую структуру, но и уменьшить диаметр волокон до требуемого размера, а также получить мелкозернистую структуру посредством механизмов дисперсионного твердения и упрочнения, обеспечивая высокие механические свойства. Проведено теоретическое и технологическое обоснование процесса получения высокопрочных алюминиевых деформируемых сплавов

системы Al-Cu-Fe-Si, дисперсионно–твердеющих, дисперсионно–упрочненных 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: 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**

THEORETICAL SUBSTANTIATION OF THE PRODUCTION PROCESS OF HIGH-STRENGTH REINFORCED ALUMINUM DEFORMABLE ALLOYS

The analysis of literature has shown that of the aluminum composite materials reinforced with metal fibers, the most interesting are composite materials reinforced with steel fibers, since the latter have a very limited solubility in aluminum. Hot extrusion and further heat treatment of the billet obtained by the casting method are the main factors of structure formation during the production of composite materials. This makes it possible to obtain not only a non-porous structure, but also to reduce the fiber diameter to the required size, through precipitation hardening and hardening mechanisms to obtain a fine-grained structure, providing high mechanical properties. 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. It is shown that the properties of composite materials depend on a large number of factors, the correct choice of which will make it possible to obtain composite materials reinforced with metal fibers with specified mechanical properties.

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