

**Հ.Ս. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Վ.Ս. ՂՈՒԿԱՍՅԱՆ, Կ.Մ. ԱՐՇԱԿՅԱՆ**

**ԱՄՐԱՆԱՎՈՐՎԱԾ ԿՈՄՊՈԶԻՏՏԱՅԻՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ՀԵՂՈՒԿ ՖԱԶԱՅԻՆ  
ՀԱՄԱՏԵՂՈՒՄԸ**

Հետազոտված են տոգորման գործընթացները նորմալ և բարձր ճնշումների պայմաններում: Բերված են տեխնոլոգիական ռեժիմները և առանձին պարամետրերը: Ամրանավորող ֆազի հեղուկ մայրակով տոգորումն ապահովում է մայրակ-մետաղալար ամուր կորզումը: Հետևանքում ստացվում են մեխանիկական բարձր հատկություններով կոմպոզիտային նյութեր: Կառուցվածքում երևում են բաժանման կտրուկ մակերեսները: Ամրանավորումը կատարվում է և՛ անընդհատ, և՛ ընդհատվող թելքերով: Կիրառվում է ինչպես անընդհատ լցում, այնպես էլ կենտրոնախույս լցում ընդհատվող լարերով ձուլման գործընթացում:

**Առանցքային բաղեր.** կոմպոզիտային նյութ, տոգորում, բարձր ճնշում, մեխանիկական հատկություններ, կառուցվածքագոյացում կենտրոնախույս գոտում, անընդհատ ձուլում, կենտրոնախույս ձուլում:

**Ներածություն:** 21-րդ դարում տեխնիկական առաջընթացն անհնար է պատկերացնել առանց նոր նյութերի ստեղծման, որոնք կարող են աշխատել արտակարգ պայմաններում՝ բարձր ու ցածր ջերմաստիճաններում, քիմիապես ագրեսիվ միջավայրերում, ստատիկ ու դինամիկ բեռնվածությունների տակ և այլն: Բարձր տեսակարար ամրությամբ, հրամրությամբ, պլաստիկությամբ և այլ արժեքավոր հատկություններով օժտված նոր նյութերի ստեղծման բնագավառում մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում մետաղական հիմքով կոմպոզիտային նյութերը, որոնք ամրանավորված են մետաղական թելքերով [1]:

Թելքավոր կոմպոզիտային նյութերի անվանացանկը շատ մեծ է և նոր տեխնոլոգիաների կիրառմամբ կարող է զգալիորեն ընդլայնվել: Տեխնիկայում լայնորեն կիրառվում են հետևյալ կոմպոզիցիաները՝ Cu-W, Cu-Mo, Ni-W, պողպատ-Cu, Al-B, Al-W, Al-Mo, Al-չժանգոտվող պողպատ և այլն:

Այս բնագավառում մեծ տարածում են գտել հեղուկ մետաղով թելքերի տոգորման եղանակները, որոնք կիրառվում են այն դեպքում, երբ բացակայում է մայրակի և թելքի միջև փոխազդեցությունը: Առաջին անգամ այս եղանակը կիրառվել է Cu-W կոմպոզիցիայի ստացման համար [2]: Այն ունի որոշակի հեռանկար մետաղական և կերամիկական թելքերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութերի ստացման դեպքում հատկապես այն ժամանակ, երբ շատ հեռանկարային բորային և ածխածնային թելքերի մեթոդը կիրառելի չէ՝ հալույթի և թելքերի միջև փոխազդեցության պատճառով:

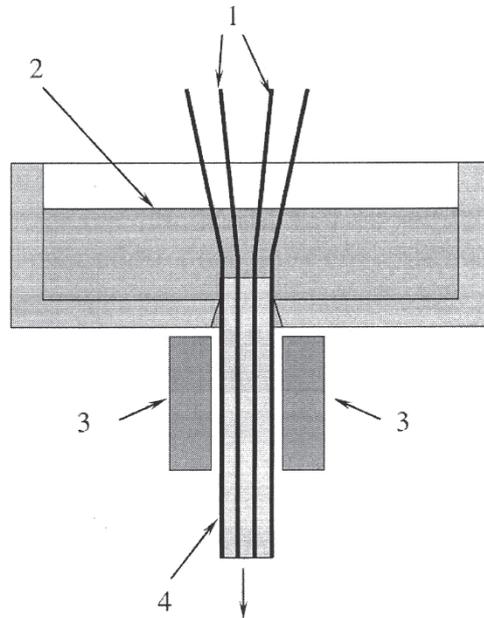
Ելնելով վերոհիշյալից՝ աշխատանքի նպատակն է հետազոտել ամրանավորված կոմպոզիտային նյութերի հեղուկ ֆազային համատեղումը և ուսումնասիրել կառուցվածքի ու հատկությունների ձևավորման գործընթացը, ինչը հանդիսանում է արդիական և հեռանկարային խնդիր:

**Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը:** Հետազոտությունները կատարվել են Cu+պողպատյա մետաղալար համակարգի համաձուլվածքի վրա: Մայրակի նյութը մատուցվում է հեղուկ ֆազային վիճակում: Ամրանավորող ֆազը (պողպատ 55) կարող է լինել առանձին՝ անընդհատ թելքերի ձևով, ընդհատվող թելքերով կամ լարերի փնջով: Կոմպոզիտային նյութ ստանալու համար օգտագործվել են ձուլման սարքեր: Տոգորումը կատարվում է ինչպես նորմալ ճնշման տակ, վակուումում կամ կապիլյար ներծծումով, այնպես էլ ճնշման տակ, գերծայնային և էլեկտրական դաշտերում՝ մագնիտադինամիկ տոգորում: Զգալի հաջողություններ են գրանցվել այս եղանակով այլումինային համաձուլվածք-սիլիցումի կարբիդի կամ սիլիցիումի նիտրիդի թելքերով կոմպոզիցիաների ստացման գործընթացում [3]:

Նորմալ ճնշման տակ տոգորումն իրականացվում է այն դեպքերում, երբ ամրանավորող լարերը լավ թրջվում են մայրակի նյութով (պղինձ), թերմոդինամիկորեն կայուն են այդ հալույթում կամ թույլ փոխազդում են մայրակի նյութերի հետ: Բացի դրանից, այդ դեպքում ստացվող կոմպոզիտային նյութի մեջ սահմանափակում է դրվում լարի ծավալի նկատմամբ, քանի որ մայրակի շերտը պետք է բավարար լինի միջլարային տարածություններում: Մայրակի նյութը պետք է լցնի միջլարային տարածություններն իր ծանրության ուժի շնորհիվ: Պարզագույն տարբերակում լարերը տեղադրվում են ձուլածևի մեջ, որը պատրաստված է ստանդարտ մետաղական համաձուլվածքից, որից հետո կատարում են հեղուկ մայրակի մատուցումը: Հեղուկ մայրակի բյուրեղանալուց հետո լարերը ծավալում կապվում են միմյանց հետ: Այս դեպքում օգտագործվում են անընդհատ լարերը՝ որպես ամրանավորող ֆազ [4, 5]:

Ընդհատվող լարերով ամրանավորման դեպքում օգտագործում են վառարանի ներսում պտտվող տիգել, որը լի է հեղուկ մայրակով (պղինձ) [6]: Պտտման ժամանակ լարերը հավասարաչափ բաշխվում են կոմպոզիտային նյութի ամբողջ ծավալով, որից հետո պտտման արագությունը նվազում է, և վերջապես սառչում է կոմպոզիտային նյութը:

Ավելի հեռանկարային և լայն կիրառում ստացած հեղուկ մայրակով տոգորման տարատեսակներից է նորմալ ճնշման տակ անընդհատ լցման եղանակով ձուլումը: Այս մեթոդի համաձայն (նկ. 1)՝ ամրանավորող ֆազերն անընդհատ մատուցվում են հեղուկ մայրակ և հավաքվում բյուրեղացուցիչի մեջ, որտեղ կազմավորվում է կոմպոզիտային նյութը:



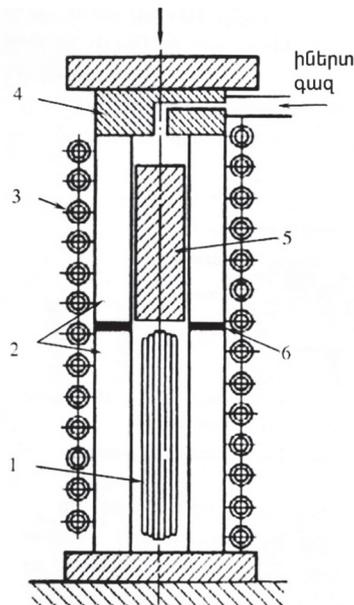
Նկ. 1. Շարունակական ձուլման գործընթացի սխեման.  
 1 - մանրաթել, 2 - հեղուկ մեխադ, 3 - կաղապար, 4 - կոմպոզիտ

Այս եղանակով կարելի է ստանալ տարբեր պրոֆիլներ՝ անկյունակներ, երկտավրներ, շվեյերներ, լիստեր, որոնք երկարությունը մինչև 1 մ է: Մայրակի նյութը չպետք է փոխազդի լարի նյութի հետ: Լայն կիրառում է ստացել ճնշման տակ տոգորումը, երբ կիրառվում է ավելի քան 0,1 ՄՊա ճնշում [7, 8]: Այս ճնշման տակ հեղուկ մայրակը մատուցվում է միջլարային տարածություն: Այս դեպքում մետաղական հալույթը ձևավորում է կոմպոզիտային նյութը, որը գտնվում է հատուկ սարքավորման մեջ: Կենտրոնախույս ձուլման եղանակով կարելի է պատրաստել խողովակներ, վռաններ, օղեր: Հարկ է նշել, որ ճնշման տակ տոգորումն իրականացվում է այն դեպքում, երբ լարերի միջև հեռավորությունը շատ փոքր է, կամ լարը վատ է թրջվում մայրակի նյութերով: Նկ. 2-ում պատկերված է այն սարքավորումը, որով իրականացվում է ածխաթելքերի ճնշման տակ տոգորումը հեղուկ Al-ով: Այն կազմված է 2 գրաֆիտե ձևերից (2), որոնք առանձնացված են միջադիրով (6) և տեղադրված են (3) ինդուկտորի մեջ: Ներքին մասում տեղադրված է թելքերի խուրձը (1), իսկ վերին կեսում՝ մետաղը, որը նախատեսված է տոգորման համար (5): Ճնշումը մատուցվում է (0,5-1 ՄՊա) արգոն գազով: Տևողությունը՝ մի քանի րոպե: Տոգորումից հետո շինվածքը արագ սառեցվում է: Նկ. 2-ում սխեմատիկորեն պատկերված է տոգորման տարբերակը:

**Հետազոտության արդյունքները:** Կոմպոզիտային նյութերի ստացման տեխնոլոգիայի ընտրության հիմքում դրված են հետևյալ կարևորագույն գործոնները.

1. Մայրակի և ամրացնող ֆազի ճիշտ ընտրություն:
2. Ամրացնող ֆազի ներդրումը մայրակ՝ առանց վնասվածքների առաջացման:
3. «Մայրակ – մետաղալար» սահմանագծի ամուր կապի ստեղծում:
4. Ամրացնող ֆազի հավասարաչափ բաշխում մայրակի նյութի մեջ:

Կոմպոզիտային նյութի ստացման հեղուկ ֆազային եղանակի հիմքում



Նկ. 2. Ինդրո գազով ճնշման տակ տոգորման սարքավորման սխեման.

- 1 – թելեր,
- 2 – գրաֆիտե ձևեր,
- 3 – ինդուկտոր,
- 4 – գազամղիչ,
- 5 – մեղաղ,
- 6 – ջերմամեկուսիչ ներդիր

դրված է հեղուկ մայրակի կիրառումը, որով տոգորելով ամրանավորող ֆազը՝ ստացվում է բարձրամուր կոմպոզիտային նյութ: Լավ են տոգորվում Al, Cu, Ag-ի միկրոմոնոբյուրեղները, ինչպես նաև որոշ մետաղալարեր: Փորձերում օգտագործվել են հեղուկ պղինձ և պողպատյա թելքեր (պողպատ 55 մակնիշի): Դժվարահալ մետաղների տոգորումը կատարվում է տաք մամլումով: Կատարվում է ջերմաստիճան – ժամանակ – միջավայր պարամետրերի ճիշտ ընտրություն:

Մետաղական հիմքով կոմպոզիտային նյութերի ստացման բոլոր տեխնոլոգիական գործընթացների համար ընդհանուր են հետևյալ փուլերը՝

- ամրացնող ֆազի մաքուր մակերևույթի ապահովում,
- բաղադրիչների նախապատրաստում և բովախառնուրդի պատրաստում (մետաղափոշիների ամրանավորում),
- կոմպակտ կոմպոզիտային նյութերի ստացման պլաստիկ դեֆորմացիան փոշեմետալուրգիական կամ ձուլման մեթոդներով:

Կոմպոզիտային նյութերի ստացման հեղուկ ֆազային եղանակը յուրօրինակ է նրանով, որ մայրակը հեշտ կարող է տոգորվել ամրացնող ֆազով ինչպես մասնակի ձևով, այնպես էլ համակցված՝ ամբողջական ձևերով (օգտագործելով առանձին լարերի խորձ՝ քառասյին կամ կարգավորված դասավորությամբ):

Տոգորման գործընթացի առավելություններն են՝

- գործնականում անձակոտկեն նյութերի ստացումը,
- ամրացնող ֆազի հավասարաչափ բաշխումը մայրակի նյութի մեջ,
- ամրացնող ֆազի կարգավորված կառուցվածքի ապահովումը,
- կարելի է ստանալ ցանկացած երկրաչափական կառուցվածք՝ առանց

լրացուցիչ մեխանիկական մշակման:

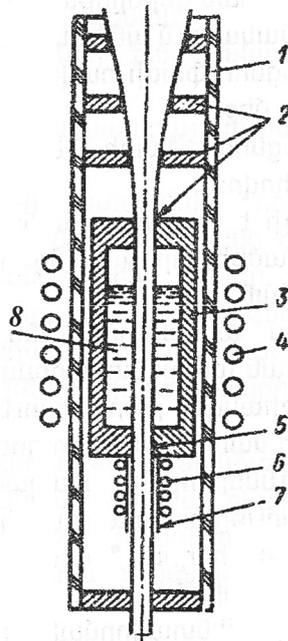
Սակայն այս առավելությունների կողքին առկա են նաև մի շարք տեխնոլոգիական բարդություններ: Այսպես, մայրակի և լարի սահմանային գոտում հնարավոր են քիմիական փոխազդեցություններ, որոնք առաջացնում են միջանկյալ արգասիքներ: Այս երևույթը սահմանափակում է դնում կոմպոզիտային նյութերի ստացման հեղուկ ֆազային եղանակի արտադրական հնարավորությունների նկատմամբ:

Հայտնի են տոգորման մի շարք եղանակներ.

- տոգորում նորմալ ճնշման տակ,
- վակուում ներծծում,
- պիզմենտավորում բարձր ճնշման տակ,
- համակցված եղանակներ:

Հեղուկ տոգորման մասնավոր դեպքերից է լարերի ձգումը հեղուկ մայրակի միջով, որն այլ կերպ կոչվում է կոմպոզիտային նյութերի ստացման անընդհատ ձգման մեթոդ: Այս եղանակով կարելի է ստանալ բարդ կառուցվածքի արտադրանք, այդ թվում՝ նաև խողովակներ: Այս մեթոդը կարելի է ստանալ թերմոդինամիկորեն կայուն ամրացնող ֆազի դեպքում, որը կայուն է մայրակի նյութի նկատմամբ: Տեխնոլոգիական գործընթացը իրականացվում է ամրացնող ֆազի խրձերի վրա հեղուկ մայրակի ծանրության ուժի տակ լցման միջոցով (նկ. 3): Այստեղ կարելի է կիրառել արտադրական գալազանգված և գալակադապարներ:

Նկ. 3-ում բերված է նորմալ ճնշման տակ ամրացնող ֆազի հեղուկ մայրակի նյութի տոգորման գործընթացի տեխնոլոգիական պատկերը: Տոգորման ժամանակ լարերը, անցնելով հեղուկ մայրակով լցված վաննաներով, առանց իրար հետ կոնտակտ կազմելու՝ անցնում են ձգման ֆիլիերով, բարձրացնելով «մայրակ – մետաղալար» կառչման ամրությունը: Այս եղանակով ստացվող բոլոր տեսակի պրոֆիլները բերված են նկ. 4-ում: Որպես թերություն հարկ է նշել ծակոտիների առաջացումը, որն արդյունք է ֆազի նորմից ավելի քանակության ներդրումը հեղուկ մայրակի մեջ ( $V_{\Delta} = 40-80\%$ ): Այս երևույթը հանգեցնում է կոմպոզիտային նյութի ամրության նվազեցմանը: Նշված երևույթից խուսափելու համար ամրացնող ֆազի ծավալային պարունակությունը վերցվում է  $V_{\Delta} = 25_{\text{սսվ.}}\%$ -ից ոչ ավելի:



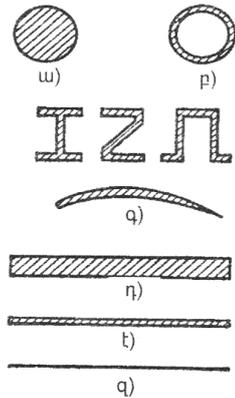
Նկ. 3. Մեքաղալարերի անընդհատ փոփոխման սարքավորման սխեման.  
 1 – քվարցե խողովակ; 2 – լարի կոլիմատորներ; 3 – տիգել; 4 –ինդուկտոր; 5 – ձևավորող անցք; 6 – սառնարան; 7 – բյուրեղացուցիչ; 8 - հալոյթ

Ընդհատվող կարճ լարերով տոգորման գործընթացն իրականացվում է հեղուկ մետաղով լցված պտտվող տիգելների մեջ, որոնք տեղադրում են վառարաններում: Պտտվող տիգելներում կարճ լարերը լրիվ թռջվում են հեղուկ մայրակով (պղնձով), և տիգելի պտտման արագության փոքրացմանը զուգընթաց կոմպոզիտային նյութը աստիճանաբար սառչում է:

Հեղուկ ֆազային գործընթացին հատուկ է շշաձև մայրակը: Դժվարահալ մետաղներից պատրաստված մետաղական ցանցը (TiC, TaC, WC) տոգորելով հեղուկ Cu-ով՝ ստացվում է կոմպոզիտային նյութ, որն օժտված է բարձր հակաշփական հատկություններով: Ամրացնող ֆազերի մեծ մասը տոգորման բարձր ջերմաստիճաններում ընդունակ է օքսիդանալու, որը բացասաբար է ներգործում ամրացնող ֆազ-մայրակ բաժանման սահմանի ամրության և ստացվող կոմպոզիտային նյութի ընդհանուր հատկությունների վրա: Հետևաբար՝ հեղուկ մայրակով ամրացնող ֆազի տոգորումը բարձր ջերմաստիճաններում իրականացվում է կամ պաշտպանիչ միջավայրերում, կամ վակուումում: Վերջինս առավել գնահատելի է ամրացնող ֆազի մակերևութային ակտիվացման և ամրացման կոնտակտային ֆազի ապահովման տեսակետից: Վակուում միջավայրը կիրառվում է ոչ միայն օքսիդացման պրոցեսներն արգելակելու, այլև վակուում -

մթնոլորտային ճնշում տարբերություն ապահովելու համար, որը նպաստում է որոշակի ուժով տոգորում իրականացնելուն: Այս մեթոդով կոմպոզիտային նյութերի ստացումն իրականացվում է արտադրական վակուումային վառարաններում:

Cu-ի հետ տարբեր մետաղալարերով կամ կերամիկական բնույթի միկրոմասնիկներով կոմպոզիտային նյութերի ստացման ժամանակ նախապես լարերը մաքրում ենք քիմիական եղանակով, ապահովելով  $\ell/d = 20...30$  չափսերը: Պատրաստի լարերը ենթարկվում են ծածկապատման Cu-ով գալվանական վաննաներում, հետո՝ թրծման ու լցվում պտտվող տիգելների մեջ: Վերջում դրանք սառեցվում են, և ստացվում Cu-պողպատ 55 կոմպոզիտային նյութ, պողպատի տարբեր ծավալների համար՝  $V_p=10, 20, 30$  ծավ. %, և որոշվում է ստացված կոմպոզիտային նյութի  $\sigma_{\sigma}$  ու HB: Կառուցվում է HB -  $V_p$  գրաֆիկ պատկերը, և կատարվում միկրոկառուցվածքային վերլուծություն (նկ. 4):



Նկ. 4. Մետաղալարային փնջի տոգորման մեթոդով ստացված շինվածքներ

**Եզրակացություն:** Հեղուկ ֆազային ամրանավորումը կոմպոզիտային նյութին տալիս է բարձր ամրություն, կարծրություն և կառուցվածքային հոմոգենություն:

#### ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Портной К.И., Салибеков С.Е., Светлов И.Л., Чубаров В.М.** Структура и свойства композиционных материалов.- М.: Машиностроение, 1979.- 225 с.
2. **Иванова В.С., Копьев И.М.** Упрочнение металлов волокнами: Монография.- М.: Наука, 1973.- 207 с.
3. **Иванова В.С., Копьев И.М., Елагин Ф.М.** Алюминиевые и магниевые сплавы, армированные волокнами.- М.: Наука, 1974.- 199 с.
4. **Cunningham A.L., Davies L.G., Alexander J.A.** The characteristics of the Mg-B composite system // 14-th National Symposium SAMPE.- 1968, Nov.- P. 11-1B-2.
5. **Dolowy J.F., Shimizu H., Taylor R.J., Webb B.A.** Fabrication – Testing - Design of Al-B Composite Materials // 14-th National Symposium SAMPE.- 1968, Nov.- P. 11-1B-1.

6. Патент США N 3753694, 1973.
7. **Заболоцкий А.А., Салибеков С.Е.** Разработка и исследование углеалюминиевого композиционного материала // *Металловедение и термическая обработка металлов.*- 1978.- N 10.- У. 49-51.
8. Факторы, влияющие на формирование структуры и свойств композиционных материалов системы алюминия – углеродное волокно / **С.Е. Салибеков, А.А. Заболоцкий, В.А. Турченков и др.** // *Порошковая металлургия.*- 1977.- N 2.- С. 58-64.

**А.С. ПЕТРОСЯН, В.С. ГУКАСЯН, К.М. АРШАКЯН**

### **СОПОСТАВЛЕНИЕ ЖИДКОЙ ФАЗЫ В АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ**

Исследованы процессы пропитки при высоком и низком давлении. Приведены технологические режимы и отдельные параметры процессов. Пропитка упрочняющей фазы жидкой матрицей обеспечивает прочную связь матрица-волокно. В итоге получают высокопрочные механические свойства композиционного материала. Обеспечена резкая граница матрица-волокно. Армирование проходит как для непрерывного действия упрочняющих фаз, так и для упрочнения дискретными волокнами. Применяются процессы как непрерывного литья, так и центробежного литья для дискретного армирования.

**Ключевые слова:** композиционный материал, пропитка, высокое давление, механические свойства, структурообразование, непрерывное литье, центробежное литье.

**H.S. PETROSYAN, V.S. GHUKASYAN, K.M. ARSHAKYAN**

### **COMPARISON OF THE LIQUID PHASE IN REINFORCED COMPOSITE MATERIALS**

The processes of impregnation at high and low pressures have been studied. The technological regimes and individual process parameters are presented. The impregnation of the strengthening phase with a liquid matrix provides a strong bond between the matrix and fiber. As a result, high-strength mechanical properties of the composite material are obtained, as well as a sharp matrix-fiber interface is provided. Reinforcement takes place as a continuous action of strengthening phases, as well as hardening with discrete fibers. Both continuous casting processes and centrifugal casting for discrete reinforcement are used.

**Keywords:** composite materials, impregnation, high pressure, mechanical properties, structure formation, continuous casting, centrifugal casting.