

Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Ա.Ա. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Ա.Ս. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Գ.Ա. ՎԱՍԻԼՅԱՆ

**ՊՂՆՁԻ ՀԻՄՔՈՎ ԱՄՐԱՆԱՎՈՐՎԱԾ ԾԱԿՈՏԿԵԼ
ՓՈՇԵՀԱՄԱՁՈՒՎԱԾՔՆԵՐԻ ԴԵՖՈՐՄԱՑՄԱՆ
ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ**

Համալիր հետազոտությունների արդյունքում հիմնավորվել է տաք արտամղման գործընթացի առավելությունը ամրանավորված անծակոտկեն կոմպոզիցիոն փոշեհամաձուլվածքների ստացման համար: Սահմանվել են ամրանավորված փոշեհամաձուլվածքների տաք արտամղման հիմնական օրինաչափությունները և կառուցվածքային քայքայման մեխանիզմը: Ցույց է տրվել, որ տաք արտամղումը միակ եղանակն է անծակոտկեն փոշեհամաձուլվածքների ստացման համար, որի դեպքում թելքերի դեֆորմացիան դրական է ազդում կոմպոզիցիոն նյութի մեխանիկական հատկությունների վրա:

Առանցքային բառեր. կոմպոզիցիոն նյութ, մետաղափոշի, թելք, մայրակ, ծակոտկենություն, տաք արտամղում, դեֆորմացիա, փոշեհամաձուլվածք, ֆրակտոգրամա, ամրություն, կարծրություն:

Կոմպոզիցիոն նյութերն (ԿՆ) անիզոտրոպ են և նրանց անիզոտրոպիայի աստիճանը կախված է առաջին հերթին թելքերի կողմնորոշվածությունից: Առավելագույն մեխանիկական հատկությունները ստացվում են այն դեպքում, երբ բոլոր թելքերը միմյանց զուգահեռ են և դասավորված են կիրառված լարման ուղղությամբ: Մայրակի հարաբերական երկարացումը պետք է առնվազն հավասար լինի թելքերի հարաբերական երկարացմանը, որպեսզի ապահովվի համակարգի մոնոտոնությունը [1]:

ԿՆ հիմնական հատկությունները գլխավորապես կախված են թելքերի հատկություններից և թելք-մայրակ անցումային շերտի ամրությունից: Հայտնի է, որ տրված տրամագծի և թելքի որոշակի ծավալային պարունակության դեպքում դիսկրետ թելքերի դեպքում ԿՆ ամրությունը այնքան ավելի բարձր է, որքան երկար է թելքը, սակայն այն չի գերազանցում անընդհատ թելքերով ամրանավորված կոմպոզիցիոն նյութերի ամրության 90% [1]: Սակայն, չնայած դրան, համալիր հատկությունների ստացման և տեխնոլոգիական նպատակահարմարության տեսակետից հեռանկարային են դիսկրետ թելքերով ԿՆ-երը:

Որպես ամրանավորող բաղադրամաս օգտագործվող թելքերը պետք է օժտված լինեն հետևյալ հատկություններով՝ հալման բարձր ջերմաստիճանով, ցածր տեսակարար կշռով, բանվորական ջերմաստիճանների ամբողջ միջակայքում բարձր ամրությամբ, մայրակի մեջ նվազագույն լուծվելիությամբ, բավարար քիմիական կայունությամբ, բանվորական ջերմաստիճանների միջակայքում ֆազային փոխակերպումների, ինչպես նաև պատրաստման և շահագործման ընթացքում տոքսիկության բացակայությամբ:

Թելքերով ամրանավորման գլխավոր նպատակը լարումներն իրենց վրա կրելն է, իսկ մայրակը փոխանցում է լարումները թելքերին և բաշխում նրանց միջև:

Ելնելով տեսական և փորձագիտական հետազոտությունների վերլուծությունից [2 - 5], կատարվել են հետազոտություններ՝ տաք արտամղման միջոցով պղնձի հիմքով և պողպատյա թելքերով ամրանավորված բարձրամուր կոմպոզիցիոն նյութեր ստանալու

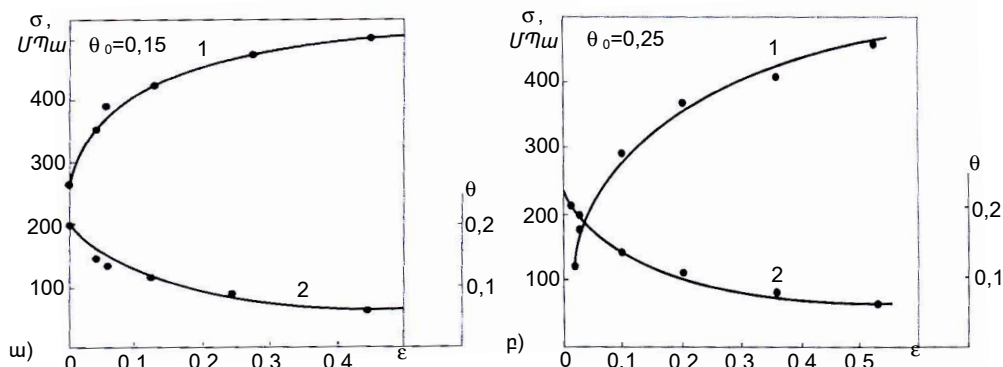
համար, որոնք կարող են ծառայել որպես մայրակ՝ չոր շփման պայմաններում աշխատող հակաշփական նյութերի համար:

Նմուշները պատրաստելու համար որպես ելանյութեր օգտագործվել են $\text{PMC}-1$ մակնիշի էլեկտրոլիտիկ պղնձի, $\text{ПНЭ}-1$ մակնիշի էլեկտրոլիտիկ նիկելի փոշիներ և $I_0=20$ մմ երկարությամբ X18H9T մակնիշի պողպատյա թելքեր ($d=280$ մկմ): Բովախառնուրդից երկկողմանի մամլմաբ պատրաստվել են գլանական նմուշներ ($D=40$ մմ, $H=50$ մմ, $\theta=10, 15, 20, 25, 30\%$): Ջրածնի միջավայրում $900\dots 950^\circ\text{C}$ և $1,5$ ժամ պահելուց հետո նմուշները ենթարկվել են տաք արտամղման՝ մայրակի $2\alpha_{\text{մ}}=110^\circ$ և $\lambda=4$ արտամղման գործակցով:

Փորձերը ցույց են տալիս, որ ինչքան փոքր է թելքերի I_0/d_0 հարաբերությունը, այնքան հեշտ է իրականացվում փոշի-թելք բովախառնուրդի պատրաստումը:

Քանի որ $I_0/d_0=20\dots 30$ դեպքում վերանում է բարդ «քեչայացման» աշխատատար օպերացիան, այդ իսկ պատճառով բովախառնուրդը պատրաստվել է սովորական խառնիչներում: Եվս մեկ նշանակալի առանձնահատկություն՝ որքան փոքր է I_0/d_0 հարաբերությունը, այնքան հեշտ է իրականացվում թելքի կողմնորոշումը տաք արտամղման ուղղությամբ: Վրջապես, տաք արտամղման ընթացքում թելքերի երկարացումը բավականաչափ փոքրացնում է թելքերի տրամագիծը: Դա մի կողմից բարձրացնում է նրա ամրությունը, իսկ մյուս կողմից թույլ է տալիս օգտագործել մեծ տրամագծերի մետաղալարեր, որոնք ավելի էժան են, և հեշտ է կատարել չափակտրում [3]:

Նմուշները (գլանական և տափակ) փորձարկվել են միառանցք սեղմման պայմաններում և ըստ փորձերի արդյունքների կառուցվել են սեղմման դիագրամները (նկ. 1), որոնք բնութագրում են ամրության կախվածությունները $(\sigma-\varepsilon)$ և $(\theta-\varepsilon)$ կոորդինատներում՝ կախված նախնական ծակոտկենությունից: Ինչպես և սպասվում էր, կորերի բնույթը ինչպես գլանական, այնպես էլ տափակ նմուշների համար նույնն է:



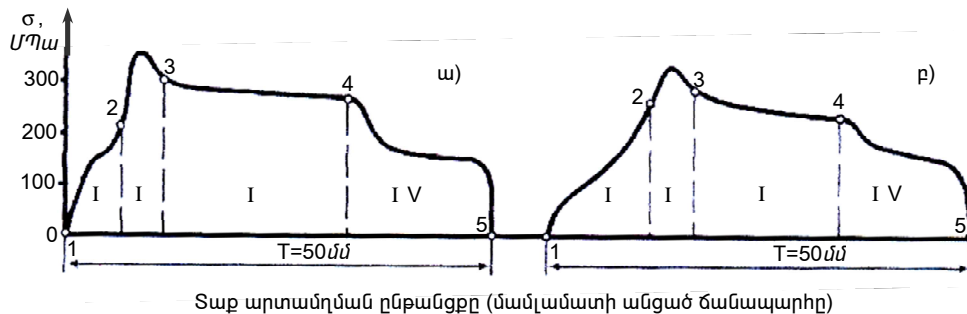
Նկ.1. Տափակ (ա) և գլանական (բ) նմուշների սեղմման փորձարկման ժամանակ ծակոտկենության փոփոխության դիագրամները $\ell/d=80$ դեպքում.

1- $(\sigma - \varepsilon)$ կոորդինատներում, 2- $(\theta - \varepsilon)$ կոորդինատներում

Հետազոտությունների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ նմուշների (գլանական և տափակ) մնացորդային ծակոտկենությունը $\theta_0=15\%$ դեպքում ավելի ցածր է, քան

$\theta_0 = 25\%$ դեպքում: Նման օրինաչափություն տեղի ունի ինչպես խտացման ստատիկ [6, 7], այնպես էլ իմպուլսային [8] եղանակների դեպքում: Դա նշանակում է, որ անծակոտկեն կառուցվածքների ստացման համար ավելի նպատակահարմար է ելային նախապատրաստվածքները խտացնել նվազագույն ծակոտկենությամբ:

Նախապատրաստվածքների սկզբնական ծակոտկենության փոքրացումով սեղմման կորերը ձգտում են նմանվել հոծ նյութերի դեֆորմացման դիագրամին, հատկապես երբ ծակոտկենությունը ձգտում է զրոյի: Այս օրինաչափությունը նկարագրվում է դեֆորմացման դիագրամներով, որոնք ցույց են տրված նկ. 2-ում, ինչը հաստատում է ծակոտկեն մարմինների պլաստիկության տեսության կիրառելիությունը կոմպոզիցիոն նյութերի համար, ինչպես նաև կատարված փորձերի ճշտությունը:



Տաք արտամղման ընթանցքը (մամլամատի անցած ճանապարհը)

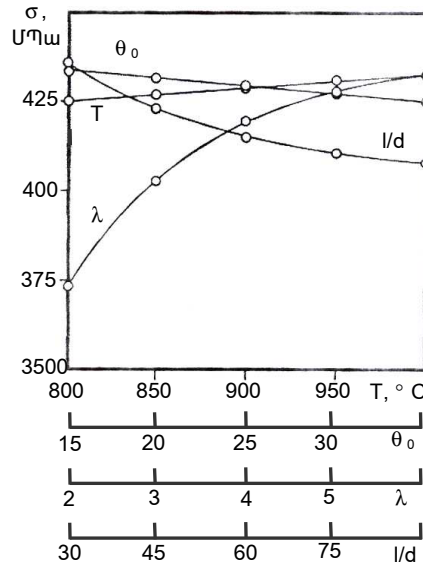
Նկ. 2. X18H9T թելքերի (ա) և Cu-Ni համաձուլվածքի (բ) տաք արտամղման P_0 ճնշման տիպային օսցիլոգրամները

Տաք արտամղման ուժային և տեխնոլոգիական պարամետրերի միջև քանակական կախվածությունների ուսումնասիրությունները կատարվել են թելքավոր (X18H9T), պղինձ-նիկել համաձուլվածքի փոշու և պողպատյա թելքերի (X18H9T) կոմպոզիցիայի վրա:

Թելքավոր և փոշեհամաձուլվածքի տաք արտամղման դինամիկայի համեմատական ուսումնասիրությունը չի արձանագրել որևէ տարբերություն: Նկ. 2-ում ցույց են տրված տաք արտամղման ժամանակ ճնշման տիպային օսցիլոգրամները: Տաք արտամղման ճիգերը (P_0 II և III հատվածներ) թելքավոր կոմպոզիցիայի մոտ փոքր-ինչ բարձր են ($P_0=380$ և 320 ՄՊա), քան Cu-Ni համաձուլվածքի մոտ ($P_0=280$ և 230 ՄՊա): Որոշակի հետաքրքրություն են ներկայացնում կոմպոզիցիոն նյութերի տաք արտամղման դիագրամները, որոնց վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ թելքերի ծավալային բաժնի մեծացումով տեղի է ունենում տաք արտամղման ճիգի օրինաչափ աճ:

Հիմնական պարամետրերի (θ_0 , ℓ/d , λ) օպտիմալացման հետ կապված՝ փորձերը կատարվել են քառսային կերպով կողմնորոշված պողպատե թելքերով (X18H9T) ամրանավորված Cu-Ni համաձուլվածքի փոշուց պատրաստված նախապատրաստվածքների վրա: Պարամետրերի միաժամանակյա ազդեցության բնույթը և աստիճանը որոշվել են 2^4 տիպի փորձերի գործոնների փոփոխման մաթեմատիկական պլանավորման եղանակով: Նկ. 3-ում ցույց է տրված տաք արտամղման ենթարկված կոմպոզիցիոն նյութերի ամրության կախվածությունը հիմնական գործոններից: Ինչպես և սպասվում էր, սահմանափակող գործոնը արտամղման λ գործակիցն է: Նրա մեծացումով կտրուկ աճում են մեխանիկական հատկությունները, այն է՝ σ_d և HB: Առավելագույն

արժեքների նրանք հասնում են $\lambda=5\ldots 6$ դեպքում: I/d մեծացումով (>30) թելքերի կողմնորոշումը տաք արտամղման ուղղությամբ լրջորեն դանդաղում է: Թելքավոր պողպատից պատրաստված նմուշների համար σ_d և HB-ն գրեթե նույնն են մնում I/d բոլոր հարաբերությունների համար: Դա վկայում է այն մասին, որ մետաղական թելքերի տաք արտամղման ժամանակ, թելքերի խճճման պատճառով, նրանց կողմնորոշում տեղի չի ունենում: Հետևաբար, կողմնորոշումը հնարավոր է միայն փոշեմայրակի մեջ թելքերի հավասարաչափ բաշխման դեպքում և երբ $\ell \gg d$:

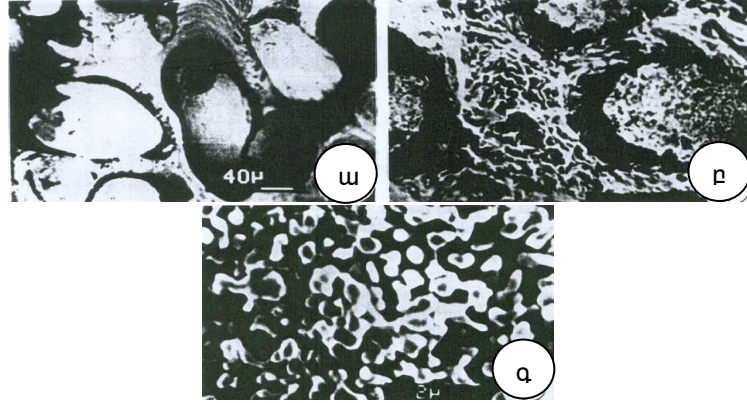


Նկ.3. Նմուշների ամրության կախվածությունը հիմնական գործոններից

Ժամանակակից մետաղագիտությունը մեծ ուշադրություն է դարձնում կոտրվածքների կառուցվածքի ուսումնասիրությանը (ֆրակտոգրամ), քանի որ այն կարևոր տեղեկատվություն է տալիս նյութի կառուցվածքային քայքայման մեխանիզմի մասին [9, 10]: Այդ իսկ պատճառով ուսումնասիրվել է X18H9T մակնիշի պողպատե թելքերով ($V_{\text{ծավ}}=25\%$, $d=0,28$ մմ, $I/d=20$) ամրանավորված պղնձի հիմքով կոմպոզիցիոն նյութերի քայքայման բնույթը: Կոտրվածքները ստացվել են $10 \times 10 \times 55$ մմ չափսի, $2,0$ մմ խորության կտրվածքով և $2,5$ մմ կլորացման շառավղով նախապատրաստվածքների հարվածային քայքայման արդյունքում:

Cu-Ni-X18H9T կոմպոզիցիաների կոտրվածքների ֆրակտոգրամները ցույց են տալիս, որ կառուցվածքում գոյություն ունի ամրանավորող ֆազի կողմնորոշվածություն, հավասարաչափ բաշխվածություն և փափուկ մայրակի հետ ամուր կապ: Նկ. 4-ում ընտրված հատվածը ցույց է տալիս քայքայված թելքեր, որոնց ծայրերը գտնվում են մոտավորապես մայրակի կտրման հարթությունում (նկ. 4բ): Բուն թելքի կառուցվածքը քայքայումից հետո հավասարաչափ հատիկավոր է, առանց խանգարումների (նկ. 4գ): Բարդ տեսքի կոտրման աստիճանները հավում են սակավաթիվ ֆասետների հետ: Հատիկասահմանային ֆասետները կողմնորոշված են դեֆորմացնող լարումների առանցքի նկատմամբ որոշակի անկյան տակ:

Այսպիսով, համաձուլվածքի քայքայման բնույթն առաջին հերթին բնորոշվում է լարվածա-դեֆորմացիոն վիճակում ամրանավորող նյութի վարքով: Կոդմնորոշ-



Նկ.4. Նյութի հարվածային քայքայման մակերեսը.

ա - մայրակի մեջ թելքերի բաշխվածությունը (x50), բ - նույնը՝ մեծացնելիս (x250),
գ - թելքի կառուցվածքը (x2500)

վածությունը և մայրակի հետ թելքերի կապակցման ամրությունը խոչընդոտում են թելքերի վրա վզիկների առաջացմանն ու զարգացմանը, ինչը բարենպաստ պայմաններ է ստեղծում ամբողջ թելքի երկայնքով հավասարաչափ պլաստիկ դեֆորմացիայի զարգացման համար: Այստեղից հետևում է, որ թելքերի հատկություններն օգտագործվում են 100%-ով: Դրանով են որոշվում ամրանավորված համաձուլվածքների բարձր մեխանիկական հատկությունները: Այս եզրակացությունը հաստատվում է նաև նրանով, որ ֆրակտոգրամներից ոչ մեկի վրա չեն հայտնաբերվել մայրակի միջից պոկված թելքեր:

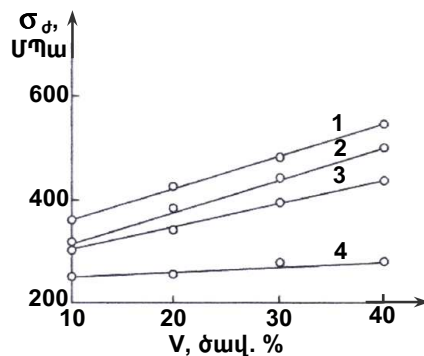
Ինչպես ցույց են տալիս փորձերը (նկ. 5), կոմպոզիցիոն նյութերի ամրությունը բոլոր ջերմաստիճաններում գծայնորեն կախված է թելքերի ծավալային պարունակությունից (մինչև 40 ծավ.%) և համընկնում է ադդիտիվության օրենքի հետ [1, 11], որը նկարագրվում է

$$(\sigma_{\sigma})_u = (\sigma_{\sigma})_t \cdot V_t \cdot \left[1 - (1 - \beta) \frac{L_{qn}}{L} \right] + \sigma_{\sigma} (1 - V_t), \quad 1 \geq V_t \geq V_{qn}, \quad (1)$$

$$(\sigma_{\sigma})_u = (\sigma_{\sigma})_{\sigma} \left((1 - V_t) + \frac{L_{qn}}{L} \beta V_t \right) (\sigma_{\sigma})_t, \quad 0 \leq V_t \leq V_{qn} \quad (2)$$

հավասարությամբ, որտեղ β – ն մեկից ցածր գործակից է, I-ը՝ թելքի երկարությունը:

Այս հավասարության մեջ մտնող σ_{σ} լարումը կոմպոզիցիոն նյութի քայքայման պահին մայրակի նյութի հոսունության սահմանն է: Արժեքները վերցվել են լարում-դեֆորմացիա գրաֆիկից: Նկ. 5-ի ուղիղների էքստրապոլացիան մինչև $V_{\text{ծավ}}=100\%$ տալիս է կոմպոզիցիայում թելքերի հարաբերական ամրությունը: Այսպես, 20°C-ում պողպատե լարերի ամրությունը կոմպոզիցիայում կազմում է 1400 ՄՊա: Համեմատելով ստացված տվյալները ելային լարերի ամրության հետ, հարկ է նշել, որ տաք արտամղված կոմպոզիցիոն նյութերում 100% իրացվում է թրծված պողպատի ամրությունը (1450 ՄՊա):



Նկ.5. X18H9T մակնիշի պողպատե թելքերով ամրանավորված պղնձի հիմքով կոմպոզիցիոն նյութերի ձգման ամրության կախվածությունը թելքերի ծավալային պարունակությունից (1-20°C, 2-100°C, 3-200°C, 4-300°C)

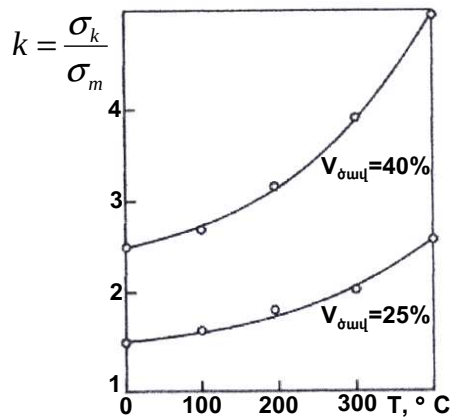
Բացի դրանից, տաք արտամղումն ամրանավորված նյութերի կոմպակտավորման միակ եղանակն է, որի ժամանակ թելքերի դեֆորմացիան (որպես կանոն երկարացումը) դրական է ազդում կոմպոզիցիայի ամրության վրա: Եվ որքան մեծ է դեֆորմացիայի աստիճանը, այնքան մեծ է ստացվում կոմպոզիցիայի ամրությունը [3]:

Ձգման ժամանակ մայրակի ամրության մեծացումը կարելի է նկարագրել ամրացման k գործակցով, որը տվյալ ջերմաստիճանում ԿՆ ամրության հարաբերությունն է մայրակի ամրությանը: k ամրացման գործակցի ջերմաստիճանային կախվածությունը խոսում է այն բանի մասին, որ k արժեքը աճում է թելքերի ծավալային պարունակության մեծացումով և փորձարկման ջերմաստիճանի աճով (նկ. 6): Որքան ցածր է մայրակի ամրությունը, այնքան մեծ է k արժեքը:

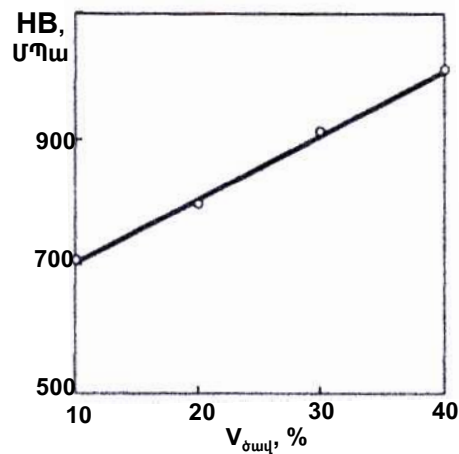
Ստացված տվյալները վկայում են ամրանավորման արդյունավետության մասին:

Թելքերի կոդմնորոշումը որոշում է ձգման ժամանակ ԿՆ քայքայման բնույթը: Կոդմնորոշման փոքր անկյունների դեպքում ԿՆ քայքայվում է առավելապես թելքերի պոկման հաշվին, մեծ անկյունների դեպքում ԿՆ քայքայումը տեղի է ունենում ըստ մայրակի սահքի, թելքերը չեն քայքայվում և նրանց բարձր ամրությունը չի օգտագործվում: Դա ևս մեկ անգամ հաստատում է տաք արտամղման արդյունավետությունը, որի ընթացքում ամրանավորող ֆազը հիմնականում կոդմնորոշվում է ազդող ուժերի ուղղությամբ: Հետևաբար, որքան ավելի մեծ է կոդմնորոշված թելքերի մասնաբաժինը, այնքան ավելի բարձր են կոմպոզիցիոն նյութի մեխանիկական հատկությունները:

Ինչպես արդեն նշվել է, ԿՆ ամրությունը կախված է նաև բուն թելքերի ամրությունից: Դա պարզ երևում է նկար 5-ից: Նմանատիպ օրինաչափությունը պահպանվում է նաև կարծրության համար (նկ. 7), թեև այս դեպքում ավելի ցայտուն, քան σ_{δ} -ի համար, զգացվում է բուն մայրակի ազդեցությունը: Ինչպես ցույց են տալիս փորձերը, մետաղաթելերի ծավալային պարունակության մեծացումով փոքրանում է հարվածային մածուցիկությունը:



Նկ.6. Մայրակի ամրացման գործակցի կախվածությունը ջերմաստիճանից



Նկ.7. Կոմպոզիցիոն նյութի կարծրության կախվածությունը թելքերի ծավալային պարունակությունից

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Современные композиционные материалы / Под.ред. **Л.Браутмана** и **Р.Крока**. -М.: Мир, 1970.-672с.
2. **Агбалян С.Г.** Теоретические и технологические основы формирования структуры и свойств порошковых материалов при экструзии: Автореф. дис. ... докт. техн. наук.-Ереван, 1992.-33с.
3. **Агбалян С.Г., Петросян А.С., Амалян Э.С., Василян Г.А.** Порошковые композиционные материалы, упрочненные волокнами //Порошковая металлургия.-Киев, 2000.-№11-12.-С.66-72.
4. Металлографическое исследование армированных композиционных материалов на основе железа и меди, полученных экструзией / **С.Г. Агбалян, А.С. Петросян, Э.С. Амалян** и др. // Порошковая металлургия.-Киев, 2004.- №9-10.-С.38-42.
5. **Աղբալյան Ս.Գ., Պետրոսյան Ա.Ա., Հովհաննիսյան Ս.Ա., Վասիլյան Գ.Ա.** Ամրանավորված կոմպոզիցիոն նյութերի ստացման տեսական և տեխնոլոգիական առանձնահատկությունները // Հայաստանի ճարտարագիտական ակադեմիայի լրաբեր.- Երևան, 2009.- Հատոր 6.- №1.-էջ 73 - 77:
6. **Грин Р.Д.** Теория пластичности пористых тел//Периодический сборник переводов иностранных статей.-М.: Механика, 1973.- №4.-С.109-120.
7. **Манукян Н.В., Петросян Г.Л., Погосян М.З.** Диаграмма деформирования пористого материала // Изв.вузов.Машиностроение.-1978.- №3.-С.16-20.
8. Напряженно-деформированное состояние пористых композиционных материалов при сжатии / **Н.В.Манукян, Г.Л.Петросян, Б.Ц.Минасян** и др.// Порошковая металлургия.-1982.- №1.-С.84-88.
9. **Браун М.П.** Фрактография, прокаливаемость и свойства сплавов.-Киев.: Наукова Думка, 1966.- 312с.
10. Приборы и методы физического металловедения. Выпуск 2 / Под.ред. **Ф.Вейнберга**. -М.: Мир, 1974.-363с.
11. **Ванин Г.А., Грошева В.М., Дебновечкая Е.Н.** Композиционные материалы волокнистого строения.-Киев: Наукова Думка, 1970.-403с.

ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն՝ 01.02.2009:

С.Г. АГБАЛЯН, А.А. ПЕТРОСЯН, А.С. АГБАЛЯН, Г.А. ВАСИЛЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОРМАЦИИ АРМИРОВАННЫХ ПОРИСТЫХ ПОРОШКОВЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ

В результате комплексных исследований обосновано преимущество процесса горячей экструзии для получения беспористых армированных композиционных порошковых сплавов. Установлены основные закономерности горячей экструзии армированных порошковых сплавов и механизм разрушения структуры. Показано, что горячая экструзия – единственный метод получения беспористых порошковых сплавов, при котором деформация волокон положительно влияет на прочностные свойства композиционного материала.

Ключевые слова: композиционный материал, металлический порошок, волокно, матрица, пористость, горячая экструзия, деформация, порошковый сплав, фрактограмма, прочность, твердость.

S.G. AGHBALYAN, A.A. PETROSYAN, A.S. AGHBALYAN, G.A. VASILYAN

RESEARCH OF THE REINFORCED POROUS POWDER ALLOYS DEFORMATION PROCESS ON THE BASIS OF COPPER

As a result of complex researches, advantage of hot extrusion process for reception of the non-porous reinforced composite powder alloys is proved. The basic laws of the reinforced powder alloy hot extrusion and the mechanism of structure destruction are established. It is shown that hot extrusion is a unique method of non-porous powder alloy obtaining at which deformation of fibres positively influences strengthening properties of a composite material

Keywords: composite material, metal powder, fibre, matrix, porosity, hot extrusion, deformation, powder alloy, fractograph, durability, hardness.