

Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Գ.Ա. ՎԱՍԻԼՅԱՆ, Վ.Գ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Ա.Ռ. ՄԱՐԳՍՅԱՆ,
Ս.Գ. ԲՈՅԱԶՅԱՆ

**ԴԻՍԿՐԻՍ ՄԱՍՆԻԿՆԵՐՈՎ ԱՍՐԱՑՎՈՂ ԿՈՄՊՈԶԻՑԻՈՆ ՆՅՈՒԹԵՐՈՆ ԵՎ
ԴՐԱՆՑ ՍՏԱՑՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ**

Տեսական վերլուծությամբ և փորձնական եղանակով ցույց է տրված, որ դիսպերս մասնիկներով ամրացվող (դիսպերս-կարծրացող) կոմպոզիցիոն նյութերն օժտված են բարձր ամրությամբ, կարծրությամբ և սողքի փոքր արագությամբ, որն արդյունք է դիսպերս մասնիկներով դիսլոկացիաների ազատ սահքի արգելակման:

Առաջադիմ բառեր. համաձուլվածք, կոմպոզիցիոն նյութ, դիսպերս մասնիկներ, դիսլոկացիա, ամրություն, կարծրություն, սողք:

Ներածություն: 21-րդ դարում տեխնիկական առաջընթացն անհնար է պատկերացնել առանց նոր նյութերի ստեղծման, որոնք կարող են աշխատել արտակարգ պայմաններում՝ ջերմաստիճանային լայն միջակայքում, քիմիապես ագրեսիվ միջավայրերում, ստատիկ ու դինամիկ բեռնվածությունների տակ և այլն: Բարձր տեսակարար ամրությամբ, ջերմակայունությամբ, հրամրությամբ, պլաստիկությամբ, էլեկտրահաղորդականությամբ և այլ արժեքավոր հատկություններով օժտված նոր նյութերի ստեղծման բնագավառում ուշագրավ են հատկապես մետաղական հիմքով և դիսպերս մասնիկներով ամրացված (դիսպերս-կարծրացող) կոմպոզիցիոն նյութերը, որոնցում դիսպերս մասնիկների չափերը տատանվում են 10...100 նմ, իսկ ծավալային պարունակությունը՝ 1...15 ծավ. % [1,2]: Կոմպոզիցիոն նյութերը բնութագրվում են ամրացման գործակցով, որը կոմպոզիցիոն նյութի և մայրակի հոսունության սահմանների հարաբերությունն է (σ_{hk}/σ_{hd}):

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը: Դիսպերս մասնիկներով ամրացվող (դիսպերս-կարծրացող) նյութերում, այդ թվում՝ նաև փոշեկոմպոզիցիոն նյութերում, մայրակն իր վրա է կրում հիմնական բեռնվածությունը: Դիսպերս մասնիկներն արգելակում են մետաղական մայրակում դիսլոկացիաների շարժմանը: Մայրակի ամրացման աստիճանը համեմատական է այն դիմադրությանը, որ ցուցաբերում են մասնիկները դիսլոկացիաների շարժմանը [3,4]: Հիմնական փոփոխականները, որոնցից կախված է ամրացման արդյունավետությունը, հանդիսանում են մայրակում մասնիկների միջև եղած L միջին ազատ ճանապարհը և նրանց միջև գոյություն ունեցող միջակայքը՝ D : Այս մեծությունները կապված են մասնիկների տրամագծից (d) և նրանց ծավալային կոնցենտրացիայից ($V\%$) հետևյալ հարաբերակցությամբ՝

$$L = (2d/3V\%)(1-3V\%), \quad (1)$$

$$D_h = (2d^2/3V_\delta)^{1/2} (1 - V_\delta): \quad (2)$$

Դիսպերս մասնիկների միջով դիսոլկացիայի անցման համար կիրառված լարումը պետք է լինի բավարար և հնարավորություն տա դիսոլկացիային ծովելու և վերափոխվելու կիսակլոր օղակի: Դիսոլկացիայի ծոման կորության նվազագույն շառավիղը՝ ըստ π ներքին լարումների դաշտի ազդեցության, արտահայտվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$R = G_d b / 2\tau_i, \quad (3)$$

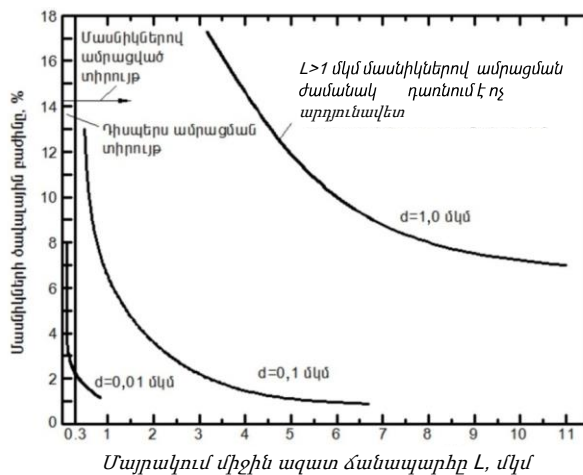
որտեղ G_d -ը մայրակի սահքի մոդուլն է, իսկ b -ն՝ Բյուրգերսի վեկտորը: Համապատասխանաբար, եթե մասնիկների միջև հեռավորությունը հավասար է D_h , ապա մասնիկի շուրջը դիսոլկացիայի կորացման համար անհրաժեշտ լարումը կլինի.

$$\tau_i = G_d b / D_h, \quad (4)$$

քանի որ

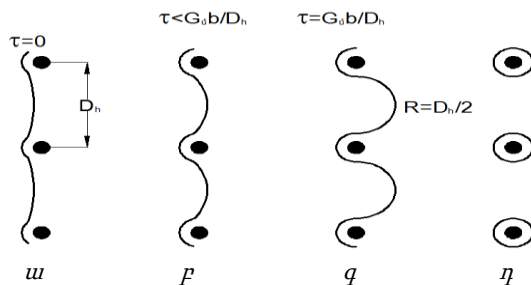
$$2R = D_h: \quad (5)$$

Եթե լարման մեծությունը բավարար է $R = D_h/2$ կորության շառավղով դիսոլկացիայի ծոման համար, ապա դիսոլկացիայի հանգույցն ընդարձակվում է ինքնաբերաբար՝ արդեն առանց լարման մեծացման: Մասնիկների միջև վերին և ներքին սահմանների միջակայքը կարելի է գնահատումով որոշել՝ վերցնելով որպես ներքին լարման սահման, որն անհրաժեշտ է մասնիկի շուրջը հանգույցի ընդարձակման համար, մաքուր մայրակի հոսունության սահմանը, որը հավասար է $G_d/1000$, իսկ որպես վերին սահման՝ տեսական ամրությունը, որը սահքի ժամանակ հավասար է $G_d/30$: Տեղադրելով այս արժեքները (4) հավասարման մեջ և ընտրելով b Բյուրգերսի վեկտորի մոդուլի մեծությունը հավասար 0,3 նմ, կստանանք, որ արդյունավետ կերպով ամրացման համար մասնիկների միջև հեռավորությունը պետք է լինի 10-ից մինչև 300 նմ սահմաններում: Բայց, եթե հաշվի չառնենք ամրության բարձրացման և սողքի դիմադրության դեպքերը, ապա մշտապես նպատակահարմար է պահպանել մայրակի ավելի շատ հատկություններ, ինչպիսիք են պլաստիկությունը, էլեկտրահաղորդականությունը, ջերմահաղորդականությունը և հարվածային մածուցիկությունը: Այս վերջին սահմանափակումը պահանջում է, որ մասնիկների ծավալային կոնցենտրացիան պահպանվի ցածր մակարդակի վրա: (1) հավասարումը 0,01, 0,1 և 1,0 մկմ չափերով մասնիկների համար գրաֆիկորեն բերված է նկ. 1-ում: Ինչպես երևում է գրաֆիկից, որպեսզի պահպանենք մայրակում միջին ազատ ճանապարհի մեծությունը 0,01 մինչև 0,3 մկմ մասնիկների ծավալային բաժնի մինչև 15 տոկոսի սահմաններում, ապա մասնիկների տրամագիծը չպետք է գերազանցի 0,1 մկմ: Այս պարամետրերը դիսպերս-ամրացվող կոմպոզիցիոն նյութերում պետք է պահպանել հետևյալ սահմաններում՝ $L = 0,3$ մինչև $0,01$ մկմ, $D_h = 0,3$ մինչև $0,01$ մկմ, $V_\delta = 0,01$ մինչև $0,15$, $d = 0,1$ մկմ փոքր:



Նկ. 1. Երեք տարբեր չափերի դիսպերս մասնիկներով ամրացված կոմպոզիցիոն նյութի դիսպերս մասնիկների ծավալային չափաբաժնի կապը մայրակուլում միջին ազատ տարածության հետ

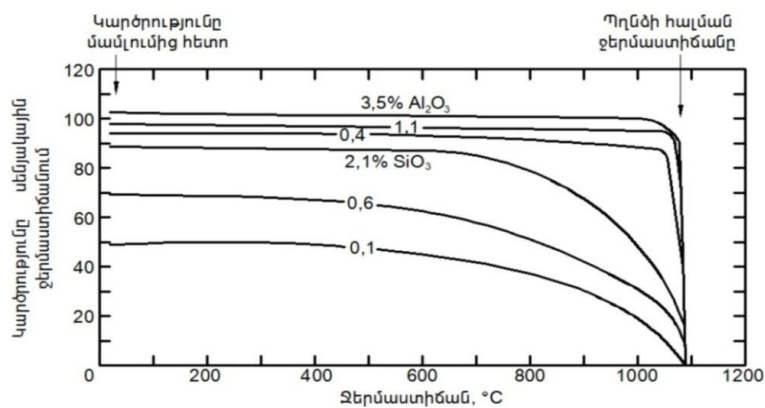
Նկ. 2-ում ցույց են տրված լարման ազդեցության ներքո դիսլոկացիայի կորացման հաջորդական փուլերը: Կիրառված լարման բարձրացման ժամանակ $\tau=0$ մինչև $\tau=G_0 b/D_h$ (ա...գ փուլ), դիսլոկացիան աստիճանաբար կորանում է ավելի շատ, մինչև (գ) փուլում մասնիկների միջև եղած տարածությամբ շարժվելու հնարավորության առաջացումը՝ առանց լրացուցիչ լարման բարձրացման: Քանի որ դիսլոկացիայի ծոման R շառավիղը չի կարելի հասցնել մինչև 0, հետևաբար՝ նրա անցումից հետո դիսպերս մասնիկների շուրջը մնում են դիսլոկացիոն օղակներ (դ փուլ): Այս օղակները զգալի չափով նվազեցնում են մասնիկների միջև D_h հեռավորությունը: Դրա համար մասնիկների միջև հաջորդ դիսլոկացիոն օղակների անցումը պահանջում է արդեն ավելի մեծ լարումներ (4): Լարման լրացուցիչ բարձրացումը, որը պահանջվում է մասնիկների միջև հաջորդ դիսլոկացիաների անցման համար, բացատրվում է դիսպերս-ամրացվող նյութերի դեֆորմացիոն ամրացման բարձր աստիճանով:



Նկ. 2. Դիսպերս մասնիկների ցանցի միջև դիսլոկացիաների անցման փուլերի (ա - դ) հաջորդականությունը

Մակայն դիսպերս-ամրացվող նյութերի գլխավոր առավելությունը ոչ թե հոսունության ամրության բարձրացումը կամ համաձուլվածքի մայրակի դեֆորմացիոն ամրացումն է սենյակային ջերմաստիճաններում, այլ բարձրացված հոսունության սահմանի և նրան նպաստող առավել բարձր սողքի դիմադրության պահպանումը լայն ջերմաստիճանային միջակայքում՝ մինչև մայրակի հալման ջերմաստիճանի 80%-ը:

Դիսպերս մասնիկներով ամրացման արդյունավետությունը կախված չէ ջերմաստիճանի բարձրացումից, մինչդեռ դիսպերս-կարծրացող համաձուլվածքների ամրությունը փոքրանում է բարձր ջերմաստիճաններում՝ գերծերացման հետևանքով: Այդպիսի կոմպոզիցիաներն ամրացվում են օքսիդների, կարբիդների, բորիդների և այլ մասնիկներով, որոնք չեն լուծվում մայրակում և նրա հետ չեն գտնվում կոհերենտ կապի մեջ: Նկ. 3-ից երևում է, թե որքան լավ է պահպանված $Cu - SiO_2$ և $Cu - Al_2O_3$ դիսպերս-ամրացված կոմպոզիցիաների կարծրությունը ջերմաստիճանային լայն տիրույթում:



Նկ. 3. Դիսպերս-ամրացվող $Cu-SiO_2$ և $Cu-Al_2O_3$ համակարգի կոմպոզիցիաների կարծրության կախվածությունը թրծման ջերմաստիճանից (մասնիկների պարունակությունը ցույց է տրված ծավալային տոկոսներով)

Հետազոտության արդյունքները: Դիսպերսացիայի տեսությունը դիսպերս-ամրացվող կոմպոզիցիոն նյութի սողքի արագության բացահայտման և հաշվման գլխավոր միջոցն է: Այդպիսի կոմպոզիցիաների սողքի արագության նվազեցումը, համեմատած մայրակի կամ նույնիսկ սովորական համաձուլվածքների հետ, դիսպերս-ամրացվող նյութերի ամենահնարավոր հետազոտման արդյունք է: Եվ քանի որ գոյություն ունեն մի շարք հավասարումներ, որոնք բնութագրում են սողքի արագությունը, այստեղ կսահմանափակվենք դրանցից երկուսի արտածումով, որպեսզի արտապատկերենք՝ ինչպես է դա կատարվում:

Մինչև G/bD^2 մեծության լարման դեպքում, որն անհրաժեշտ է դիսպերսացիայի կորացման համար և որն առաջանում է երկու բլոկավորված մասնիկների միջև, սողքը որոշվում է այդ մասնիկների միջև դիսպերսացիաների վերասողքով, որովհետև

ըստ մեխանիզմի լարումը բավարար չէ դիսլոկացիայի այդպիսի կորացման համար, ինչը բերված է նկ. 2-ում:

Ցածր ջերմաստիճաններում և մինչև Gb/D_h լարման դեպքում սողք չի առաջանում, քանի որ դիսլոկացիայի ծոման համար լարումը բավարար չէ, իսկ դիֆուզիոն վերասողքի համար ցածր է ջերմաստիճանը: Սողքի արագությունը հավասար է դեֆորմացված միավոր ծավալում դիսլոկացիայի գործող աղբյուրների խտության, որոնք առաջացնում են դիսլոկացիա՝ ծռումով մինչև կրիտիկական շառավիղը, և մեկ աղբյուրով դիսլոկացիոն հանգույցների առաջացման արագության արտադրյալին: Հետևաբար՝

$$\varepsilon = (M\pi D h^2 / 8) b R, \quad (6)$$

որտեղ R -ը մեկ աղբյուրով դիսլոկացիոն հանգույցների առաջացման արագությունն է, իսկ M -ը՝ գործող աղբյուրների խտությունը: Աղբյուրից դիսլոկացիայի հանգույցի առաջացման արագությունը հավասար է դիսլոկացիայի վերասողքի արագության հարաբերությանը մասնիկների տրամագծին, այսինքն՝

$$R = V/d: \quad (7)$$

Դիսպերս մասնիկի տրամագիծը (d) այն հեռավորությունն է, որի վրայով պետք է սողք կատարի դիսլոկացիան, որպեսզի անցնի այդ մասնիկը: Հանգույցի R -ի առաջացման արագությունը չի կարող բարձր լինել V/d հարաբերությունից, քանի որ այն կհանգեցնի դիսլոկացիայի կուտակման և հանգույցի դիսպերս մասնիկների պարունակման և ոչ թե սողքի: Որպեսզի խանգարվի դիսլոկացիայի հանգույցի ընդարձակումը, պահանջվում է դիսլոկացիայի 3 աղբյուր: Հետևաբար՝ D_h տրամագիծ ունեցող մասնիկների ծավալը d -ի մեծացմամբ պետք է պարունակի մոտավորապես 3 դիսլոկացիոն աղբյուր: Այսինքն՝

$$M\pi D h^2 d / 4 = 3, \quad (8)$$

$$D_h = (12/\pi M d)^{1/2}: \quad (9)$$

Վերասողքի ամենամեծ արագությունը, որը դեռևս թույլ է տալիս վականսիայի կոնցենտրացիայի հավասարակշռում դիսլոկացիոն հանգույցի անմիջական մոտեցման դեպքում, հաշվարկված է եղել Վեքսլերի [5] կողմից հետևյալ տեսքով՝

$$V = V_{max} = \sigma b^2 D / K T, \quad (10)$$

որտեղ D -ն ինքնադիֆուզիայի գործակիցն է, σ -ն՝ կիրառված լարումը, T -ն՝ ջերմաստիճանը, K -ն՝ Բոլցմանի հաստատունը: (6)-ի մեջ տեղադրելով (7), (9) և (10) հավասարումները, կստանանք սողքի արագության համար հետևյալ հավասարումը՝

$$\varepsilon = 1,5 \sigma b^3 D / d^2 K T, \quad (11)$$

որը ճիշտ է մինչև $t = Gb/D_h$ լարման մեծության համար: $Al-Al_2O_3$ համակարգի դիսպերս-ամրացվող կոմպոզիցիայի համար սողքի արագությունը հաստատուն ջերմաս-

տիճանի դեպքում համեմատական է կիրառված լարմանը, որը համընկնում է ստացված հավասարմանը:

G_0b/D_h հարաբերությունը գերազանցող լարման դեպքում դիսլոկացիաները կտրանում են դիսպերս մասնիկների շուրջը և անցնում են նրանց միջով՝ թողնելով սահքի D_h հարթություններում փակ օղակներ, ինչպես դա ցույց է տված նկ. 2-ում: Այդ պայմաններում սողքի արագությունը որոշվում է այդպիսի օղակներում մնացած դիսլոկացիաների վերասողքի արագությամբ:

Դիսլոկացիաների թիվը, որոնք կուտակվում են D_h երկարությամբ տեղամասում, հավասար է.

$$n = \sigma D_h / G_0 b \quad (12)$$

Նման կերպով մնացած դիսլոկացիոն հանգույցը պետք է վերասողք կատարի հետևյալ հեռավորության վրա՝

$$L = G_0 b / \sigma n = G_0^2 b^2 / \sigma^2 D_h \quad (13)$$

Վերասողքի արագությունը մնում է այնպիսին, ինչպիսին (10) հավասարման մեջ, բայց այստեղ լարումը պետք է այնպիսին լինի, որ ազդի զլխամասի կորացման դիսլոկացիայի վրա, այսինքն՝ $n\sigma$: Արդյունքում կստացվի.

$$v = n \sigma b^2 D / KT = \sigma^2 D_h b D / G_0 KT \quad (14)$$

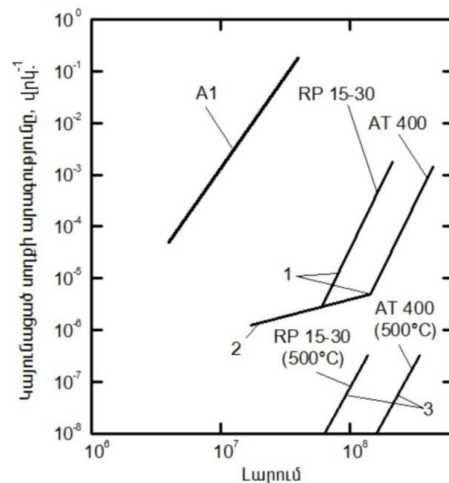
Դիսլոկացիայի առաջացման արագությունը հավասար է վերասողքի արագության և ճանապարհի երկարության հարաբերությանը՝ ծածկված վերասողքի հանգույցով, այսինքն՝ $R = v/L$, այստեղից՝

$$R = D_h^2 D \sigma^4 / G_0^3 b KT \quad (15)$$

Տեղադրելով (9) և (14) հավասարումները (6)-ի մեջ, կստանանք.

$$\mathcal{E} = \frac{\pi D_h^2 D \sigma^4}{2 G_0^3 K T d} \quad (16)$$

հետևաբար, սողքի արագությունը համեմատական է լարման մեծության 4-րդ աստիճանին: Այս հավասարումը ճիշտ է մինչև $n\sigma b^3/KT$ մեծությամբ լարման դեպքում: Նկ. 4-ում ցույց է տրված, թե ինչպես է այս կախվածությունը պահպանվում $Al-Al_2O_3$ համակարգի մի քանի դիսպերս-ամրացվող կոմպոզիցիոն նյութերի դեպքում:



Նկ. 4. AT400 և RP15-0 ($Al-Al_2O_3$ համակարգի համաձուլվածքներ) վերաբյուրեղացած համաձուլվածքների կայունացված սողի արագության փոփոխությունը $500^\circ C$ -ում և բարձր մաքրությամբ Al -ի համար՝ $483^\circ C$ -ում, կախված կիրառված լարումից (զծերը համապատասխանում են AT400 և RP15-30 համաձուլվածքների կայունացված սողին, որը որոշվում է ըստ (16) հավասարման)։ 1-բարձր լարումների դեպքում տեսական կախվածությունը $500^\circ C$ -ում, 2-ցածր լարումների դեպքում տեսական կախվածությունը $500^\circ C$ -ում, 3-ըստ փորձարկված տվյալների

Եզրակացություն: Ելնելով վերը նշվածից, փոշեմետալուրգիայի եղանակով կարելի է ստանալ ֆունկցիոնալ հատկություններով փոշեհամաձուլվածքներ, ինչպիսիք են, օրինակ, պղնձի հիմքով կոնտակտային եռակցման էլեկտրոդները, ալյումինի և պղնձի հիմքով հակաշփական համաձուլվածքները և այլն, որոնք ամրացվում են մեծ դիսպերսայնությամբ, և հալման բարձր ջերմաստիճան ունեցող օքսիդներով կամ կարծր մասնիկներով, որոնց չափերը չեն գերազանցում 100 նմ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Карпинос Д.М., Тучинский Л.И., Вишняков Л.Р.** Новые композиционные материалы.- Киев: Вища школа, 1977.- 312 с.
2. **Современные композиционные материалы / Под ред. И.Л. Светлова.- М.: Мир, 1970.- 672 с.**
3. **Աղբալյան Ս.Գ.** Բյուրեղագրություն և մետաղների բյուրեղային ցանցի արատները.- Երևան, 2005.- 190 էջ:
4. **Новиков И.И.** Дефекты кристаллического строения металлов.- М.: Металлургия, 1983.- 232 с.
5. **Wecrfwman J.** // Apple. Phys.- 1957.- 28.-P.1185.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 20.09.2014:

**С.Г. АГБАЛЯН, Г.А. ВАСИЛЯН, В.Г. ВАРДАНЯН, А.Р. САРГСЯН,
С.Г. БОЯДЖЯН**

**КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, УПРОЧНЕННЫЕ ДИСПЕРСНЫМИ
ЧАСТИЦАМИ, И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ**

Теоретическим анализом и экспериментальным методом показано, что композиционные материалы, упрочненные дисперсными частицами (дисперсно-твердеющие), обладают высокими прочностью, твердостью и низкой скоростью ползучести, что является результатом торможения свободных сдвигов дислокации.

Ключевые слова: сплав, композиционный материал, дисперсные частицы, дислокация, прочность, твердость, ползучесть.

**S.G. AGHBALYAN, G.A. VASILYAN, V.G. VARDANYAN, A.R. SARGSYAN,
S.G. BOYAJYAN**

**COMPOSITE MATERIALS HARDENED BY DISPERSE PARTICLES AND THE
TECHNOLOGICAL PECULIARITIES OF THEIR GENERATION**

By theoretical analysis and an experimental method it is shown that composite materials hardened by disperse particles (dispersion-hardening) possess high durability, solidity and low creep rate being the result of dislocation free glide breaking.

Keywords: alloy, composite material, disperse particles, dislocation, durability, solidity, creep.