

Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Ա.Ռ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Գ.Ա. ՎԱՍԻԼՅԱՆ, Ն.Ս. ՇՈՒԽՅԱՆ  
 ՏԱՔ ԱՐՏԱՄՂՄԱՄԲ ՍՏԱՑՎԱԾ ՇԵՐՏԱՎՈՐ ՓՈՇԵԿՈՄՊՈԶԻՏՍՅՈՒՆ  
 ՆՅՈՒԹԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՆԵՐՔԻՆ ՇՓՄԱՆ ՄԵԹՈՂՈՎ

Ներքին շփման մեթոդով հետազոտվել է ամրացման և դեֆորմացիայի աստիճանի միջև եղած կապը  $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{տն}$  և  $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{տն}$  բաղադրություններով շերտավոր փոշեկոմպոզիտային համակարգերի բաղադրիչների միջև տարբեր ջերմաստիճաններում: Բացահայտվել է, որ ներքին շփման կետերի առավելագույն բարձրություններին համապատասխանում են երկմետաղական համակարգերի առանձին բաղադրիչների դեֆորմացիայի օպտիմալ աստիճաններ, որոնք երաշխավորում են տաք արտամղման ժամանակ բարձր մեխանիկական հատկությունների և անհրաժեշտ խտության ստացումը: Ցույց է տրված, որ շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութի անցումային գոտու միկրոկառուցվածքն արդյունք է նիկելի և ալյումինի ակտիվ դիֆուզիայի, որի հաստությունն աճում է արտամղման գործակցի մեծացմամբ:

**Առանցքային բառեր.** մետաղ, համաձուլվածք, փոշեկոմպոզիտային նյութ, ներքին շփում, ամրացում, դեֆորմացիա, տաք արտամղում, դիֆուզիա, միկրոկառուցվածք:

**Ներածություն.** Հայաստանի Հանրապետության տնտեսության զարգացման գերակա ուղղություններից են մետալուրգիան և մետաղական հիմքով նոր համաձուլվածքների ու կոմպոզիտային նյութերի ստեղծումը, առանց որոնց անհնար է պատկերացնել տեխնիկական առաջընթացը, հատկապես մեքենաշինության և ռազմական արդյունաբերության հետագա զարգացումը: Այս ոլորտում ավելի մեծ տեղ է հատկացվում մետաղական հիմքով բարձրամուր և ֆունկցիոնալ նշանակության կոմպոզիտային նյութերին, ինչպիսիք են դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող պղնձյա փոշեհամաձուլվածքները, որոնց պահանջարկը շատ մեծ է հատկապես կոնտակտային եռակցման էլեկտրոդների արտադրությունում [1, 2]: Նշված արտադրատեսակներից պահանջվում է բարձր էլեկտրահաղորդականություն և ջերմակայունություն, որոնց ապահովման համար օգտագործվող նախապատրաստվածքները ցանկալի է՝ ունենան անձակոտկեն և շերտավոր կառուցվածք, որտեղ արտաքին շերտը կապահովի բարձր էլեկտրահաղորդականություն, իսկ ներքին շերտը՝ բարձր ջերմակայունություն: Այսպիսի կառուցվածք գործնականում հնարավոր է ապահովել միայն փոշեմետալուրգիական եղանակներով, հատկապես շերտավոր մամլվածքների տաք արտամղման և հետագա ջերմային մշակման միջոցով [3-7]: Սակայն մինչև այժմ լիովին ուսումնասիրված չէ դիսպերս մասնիկներով (ֆազերով) կարծրացող և

դիսպերս հատիկներով ամրացվող շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերի տաք արտամղման և ջերմային մշակման գործընթացների ազդեցությունը միկրոկառուցվածքի, ներքին լարումների ու շերտերի կցման ամրության վրա: Այս տեսակետից առաջարկվող աշխատանքը հեռանկարային է, շահավետ և տարբերվում է ավանդական եղանակներից:

Ելնելով վերը նշվածից, հետազոտության նպատակն է ուսումնասիրել դիսպերս մասնիկներով (ֆազերով) կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ ու ջերմակայունությամբ օժտված պղնձի հիմքով շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերի տաք արտամղման և ջերմային մշակման գործընթացների ազդեցությունը միկրոկառուցվածքի, ներքին լարումների ու շերտերի կցման ամրության վրա:

**Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը.** Կատարվել է կոմպոզիտային նյութերի ստացմանը և կառուցվածքի ու հատկությունների ձևավորմանը նվիրված հայրենական և արտասահմանյան գրականության վերլուծություն, այդ թվում՝ դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող շերտավոր նյութերի համար [8, 9]: Ցույց է տրված, որ կոնտակտային եռակցման էլեկտրոդներն աշխատում են բարդ պայմաններում, հատկապես՝ մեծ ճնշումների և բարձր ջերմաստիճանների ազդեցության տակ [1, 2, 10, 11]: Կախված եռակցվող մետաղներից, նրանց չափերից և սառեցման պայմաններից՝ էլեկտրոդի ծայրում ջերմաստիճանը բարձրանում է մինչև 500...600°C, իսկ տեսակարար ճնշումը՝ 300...400 ՄՊա:

Ելնելով վերը նշվածից՝ էլեկտրոդներից պահանջվում են բարձր մեխանիկական հատկություններ, էլեկտրահաղորդականություն, ջերմահաղորդականություն, ջերմակայունություն, բավարար մաշակայունություն, եռակցվող մետաղի հետ բարձր ջերմաստիճաններում չեռակցվելու հատկություն, կոռոզիակայունություն, ցածր արժեք և պարզ կառուցվածք: Այս հատկությունների ապահովման համար լավագույն նյութը պղինձն է և նրա հիմքով համաձուլվածքները, ընդ որում, մշակվել է մակերևութային շերտից և միջուկից բաղկացած շերտավոր կառուցվածքով էլեկտրոդների ստացման տեխնոլոգիա [6], որոնց մայրակի կարծրացումը և ամրացումը կատարվում է ջերմամշակմամբ՝ դիսպերս մասնիկներով կարծրացման և դիսպերս հատիկներով ամրացման մեխանիզմներով: Մակերևութային շերտի բարձր էլեկտրահաղորդականությունը և ջերմահաղորդականությունն ապահովում է ցածր լեգիրված պղնձյա անձակոտկեն մայրակը (1,0%Cr+0,8%Zr+Cu<sub>սն</sub>), իսկ միջուկի բարձր մեխանիկական հատկությունները և ջերմակայունությունը՝ պղնձի հիմքով բարձր լեգիրված կոմպոզիտային անձակոտկեն կառուցվածքով նյութը (13%Ni+3%Al+ +1,0%Cr+0,8%Zr+Cu<sub>սն</sub>), որոնց անձակոտկենության ապահովումն իրականացվում է տաք արտամղմամբ: Բարձր

ամրային արդյունավետության հասնելու համար անհրաժեշտ է ապահովել նաև ամուր կապ «արտաքին շերտ-միջուկ» անցումային շերտում՝ կոմպոզիտային նյութի ստացման գործընթացում: Սակայն պղնձի հիմքով շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերի համար այս ուղղությամբ հետազոտություններ քիչ են կատարվել, և չի ուսումնասիրվել դիսպերս մասնիկներով (ֆազերով) կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերի տաք արտամղման և ջերմային մշակման գործընթացների ազդեցությունը միկրոկառուցվածքի ձևավորման, ներքին լարումների ու շերտերի կցման ամրության վրա:

**Հետազոտման արդյունքները.** Որպես ելանյութեր օգտագործվել են ПМС-1 մակնիշի էլեկտրոլիտիկ պղնձի (ГОСТ 4960-75), ПХ1С մակնիշի քրոմի (ТУ 14-22-50-91), ПИ1 մակնիշի ցիրկոնիումի (ТУ 48-42-51-73), ПНЭ-1 մակնիշի նիկելի (ГОСТ 9722-79) և АПС-1А մակնիշի ալյումինի (ГОСТ 10096-76) փոշիներ: Արտաքին շերտի բովախառնուրդից (1,0%Cr+0,8%Zr+Cu<sub>սն</sub>) երկկողմանի մամլմամբ պատրաստվել են սնամեջ գլանական (D<sub>ա</sub>=29,5 մմ, D<sub>ն</sub>=21,5 մմ, H=50 մմ, θ=20%), իսկ միջուկի բովախառնուրդից (13%Ni+3%Al+1,0%Cr+0,8%Zr+Cu<sub>սն</sub>)՝ գլանական նմուշներ (D<sub>ն</sub>=21 մմ, H=50 մմ, θ=20%), այնուհետև մամլվածքներն իրար մեջ հավաքելուց, վերամամլումից և ջրածնի միջավայրում 900...950<sup>o</sup>C ջերմաստիճանում 1...1,5 ժ եռակալելուց հետո ենթարկվել են տաք արտամղման մայրակի 2α<sub>и</sub>=110<sup>o</sup> և λ=4 արտամղման գործակցով:

Մետաղների և համահավաճքների հատկությունների հետազոտման ժամանակ կառուցվածքագրայուն բնութագրերից մեկը ներքին շփումն է, որի միջոցով կարելի է ոչ միայն գնահատել երկմետաղի շերտերի կցման ամրության որակը, այլև հսկել դրա ստացումը: Այդ նպատակով պատրաստվել են (4 x 4)·10<sup>-3</sup>մ հատույթով և 0,03...0,05 մ երկարությամբ փորձանմուշներ 1,0%Cr+0,8% Zr+Cu<sub>սն</sub> (արտաքին շերտ) և 13%Ni+3%Al+1,0%Cr+0,8%Zr+Cu<sub>սն</sub> (ներքին շերտ) բաղադրությամբ կոմպոզիտային նյութերից, որոնք ստացվել են մետաղափոշիների բովախառնուրդի սառը մամլման, եռակալման և տաք արտամղման օպտիմալ ռեժիմներով: Դեֆորմացիայի աստիճանները տատանվել են ε=30-90% սահմաններում: Փորձանմուշի հաշվարկային երկարությունը որոշվել է առաձգականության մոդուլի և սահքի բանաձևով [12].

$$E = 1,6388 \cdot 10^{-9} \cdot (l_0/d)^4 \cdot m/l_0 \cdot f_u \cdot \mathcal{U}/l^2,$$

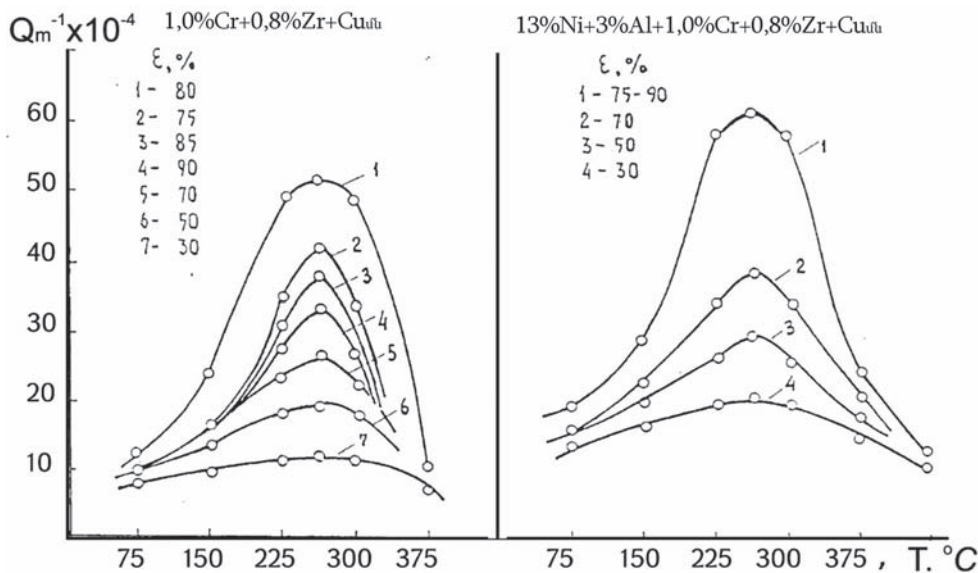
$$G = 5,193 \cdot 10^{-9} \cdot l_0/d \cdot m \cdot f_k \cdot \mathcal{U}/l^2,$$

որտեղ l<sub>0</sub>-ն նմուշի երկարությունն է՝ մ, d-ն՝ տրամագիծը՝ մ, m-ը՝ նմուշի զանգվածը՝ կգ, f<sub>u</sub>-ն և f<sub>k</sub>-ն՝ նմուշի ծռման և ոլորման տատանումներից առաջացած սեփական հաճախականությունը՝ Հց: Առաձգականության մոդուլի որոշման ժամանակ՝

ըստ [12] տվյալների, ամենամեծ հարաբերական սխալը կազմում է (0,5...0,8%):  
 Ներքին շփման մեծությունը ( $\Delta$  - տատանումների նվազանքը) որոշվել է հաշվիչի  
 միջոցով՝ կախված տատանումների  $n$  քանակից, որը համապատասխանում է  
 ընդունված էլեկտրական ազդանշանների ամպլիտուդի փոքրացմանը  $V_0$ -ից  
 մինչև  $V_n$ .

$$\Delta = \ln(V_0/V_n)/n:$$

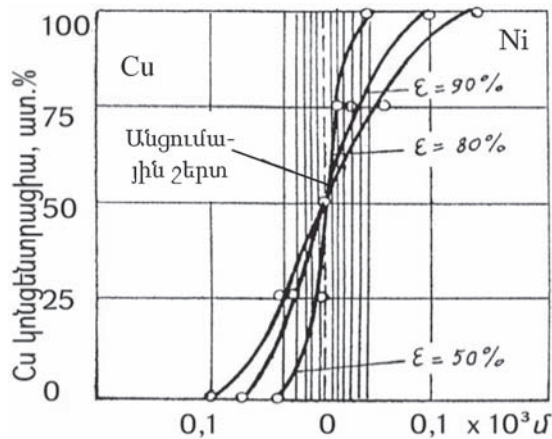
Նկ. 1-ում բերված են ներքին շփման գրաֆիկները՝ կախված ջերմաստի-  
 ճանից և  $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{մն}$  ու  $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{մն}$  բաղադրություն-  
 ներով կոռոզիոնային նյութերի դեֆորմացիայի աստիճանից:



Նկ. 1.  $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{մն}$  և  $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{մն}$  բաղադրություններով  
 փոշեկոռոզիոնային նյութերի ներքին շփման կախվածությունը ջերմաստիճանից և  
 դեֆորմացման աստիճանից

Նկ. 1-ից երևում է, որ դեֆորմացիայի աստիճանը մեծացնելով՝ ներքին  
 շփման կետերի ամենամեծ արժեքների բարձրությունը մեծանում է, ընդ որում,  
 $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{մն}$  բաղադրությամբ փոշեկոռոզիոնային նյութի դեպքում դիտ-  
 վում է ամենամեծ արժեքների փոփոխության երկու փուլ. առաջին փուլում՝ մեծա-  
 ցում (դեֆորմացիայի աստիճանը՝ 30...80%), երկրորդում՝ փոքրացում (80...90%):  
 Նշված պատկերը հստակ երևում է  $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{մն}$  և  $13\%Ni+3\%Al+$   
 $+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{մն}$  բաղադրություններով փոշեկոռոզիոնային նյութերի հա-  
 մակարգում, ընդ որում,  $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{մն}$  փոշեկոռոզիոնային նյութի համար  
 ստացվել է ցածր ջերմաստիճան (250°C), իսկ  $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{մն}$

փոշեկոմպոզիտային նյութի համար՝ համեմատաբար բարձր ջերմաստիճան (275°C): Դեֆորմացիայի աստիճանի մեծացմանը զուգընթաց աճում է նաև շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութի անցումային շերտում լուծվող տարրերի կոնցենտրացիան (նկ. 2): Նշված պայմաններում պղնձի ատոմները խոչընդոտում են նիկելի ատոմների ներթափանցմանը: Պղնձի և նիկելի այդպիսի կառուցվածքային և դիֆուզիան անհամապատասխանությունը բնութագրվում է նաև դրանց մեխանիկական հատկությունների տարբերությամբ. նիկելի համար՝  $HB = 750 \dots 800 \text{ ՄՊա}$ ,  $\sigma_{\partial} = 400 \dots 500 \text{ ՄՊա}$ ,  $H\mu = 1760 \text{ ՄՊա}$ , պղնձի համար՝  $HB = 300 \dots 400 \text{ ՄՊա}$ ,  $\sigma_{\partial} = 240 \dots 250 \text{ ՄՊա}$ ,  $H\mu = 841 \text{ ՄՊա}$ :



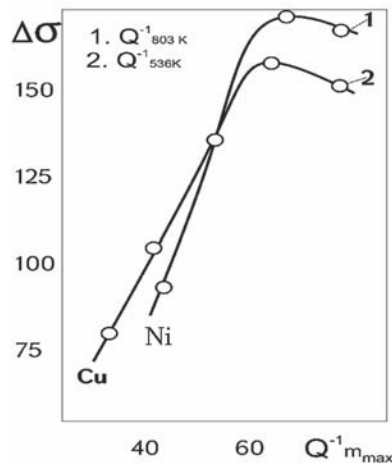
Նկ. 2. 1,0%Cr+0,8%Zr+Cu<sub>տն</sub> և 13%Ni+3%Al+1,0%Cr+0,8%Zr+Cu<sub>տն</sub> բաղադրություններով շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերում Cu-ի և Ni-ի փոխադարձ դիֆուզիան խորության կոնցենտրացիոն կորերը

Որոշակի նշանակություն ունեն նաև տվյալ մետաղների դիֆուզիայի հաստատունները: Եթե նիկելի համար դիֆուզիայի հաստատունը  $D_0 = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ մ}^2/\text{վ}$ , իսկ ակտիվացման էներգիան՝  $Q = 279,7 \text{ ԿՋ/մոլ}$ , ապա պղնձի համար՝  $D_0 = 0,2 \cdot 10^{-4} \text{ մ}^2/\text{վ}$  և  $Q = 197,2 \text{ ԿՋ/մոլ}$ :

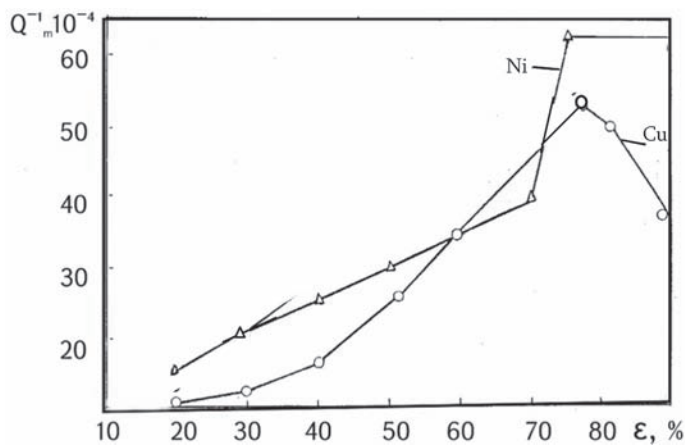
Նկ. 3-ում ցույց են տրված պղնձի և նիկելի փորձանմուշների ամրացման աստիճանները՝ ըստ ներքին շփման գազաթի բարձրության, որը որոշվել է ըստ ամրության սահմանի [12]՝ որպես ամրացված ( $\sigma_{\partial}$ ) և թրծված նյութերի ( $\sigma^{\circ\partial}$ ) ամրության սահմանների տարբերություն, այսինքն՝  $\Delta\sigma = \sigma_{\partial} - \sigma^{\circ\partial}$ :

Նկ. 4-ում բերված են ներքին շփման կետերի բարձրությունների կախվածությունը համապատասխան ջերմաստիճաններում 1,0%Cr+0,8%Zr+Cu<sub>տն</sub> և 13%Ni+3%Al+1,0%Cr+0,8%Zr+Cu<sub>տն</sub> բաղադրություններով շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերի բաղադրիչների դեֆորմացիայի աստիճանից: Ներքին շփման գազաթնակետերի առավելագույն բարձրություններին համապատասխանում են

երկմետաղական համակարգերի առանձին բաղադրիչների դեֆորմացիայի օպտիմալ աստիճանները, որոնք երաշխավորում են բարձր մեխանիկական հատկությունների և խտության ստացումը:



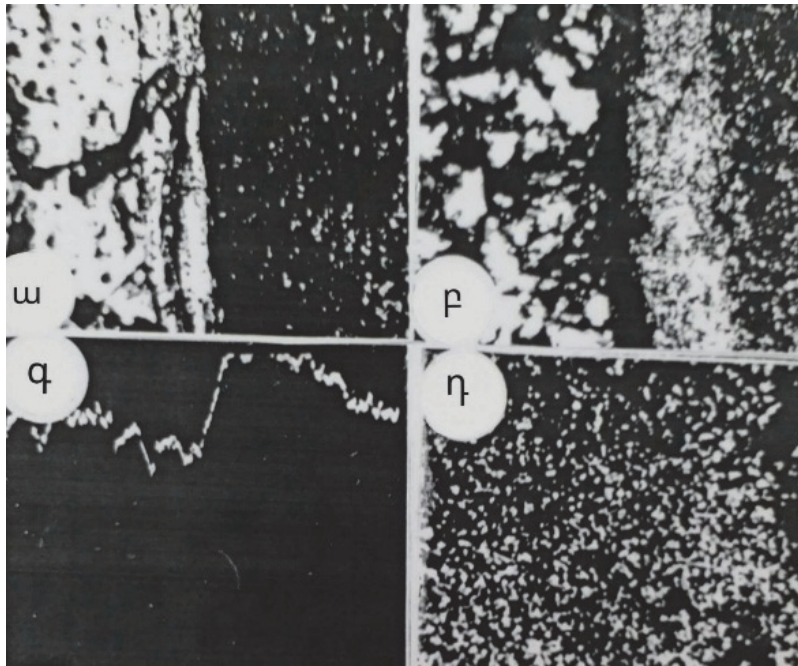
Նկ. 3. Պղնձե և նիկելի փորձանմուշների ամրության աստիճանը՝ կախված ներքին շփման զազաթնակետերի բարձրություններից (Ni-Cu)



Նկ. 4. Ներքին շփման զազաթերի բարձրությունների (մաքսիմումների) կախումը Cu-Ni երկմետաղ համակարգերի բաղադրիչների դեֆորմացիայի աստիճանից. Cu (263°C), Ni (263°C)

Նկ. 5-ում ցույց է տրված պղնձի հիմքով 1,0%Cr+0,8%Zr+Cu<sub>մն</sub> և 13%Ni+3%Al+1,0%Cr+0,8%Zr+Cu<sub>մն</sub> բաղադրություններով փոշեկոմպոզիտային նյութերի համասեռ համակարգում ստացված երկմետաղական արտադրատեսակների անցումային գոտու միկրոկառուցվածքը և նիկելի բաշխումը: Միկրոկառուցվածքում (նկ. 5ա) լավ երևում է անցումային շերտը, որն առաջանում է նիկելի ակտիվ

դիֆուզիայի արդյունքում: Միտումից և հատկապես նրան հաջորդող սառը ճնշմամբ մշակումից հետո (նկ. 5, բ) անցումային գոտում ճաքեր և շերտավորվածություններ չեն առաջանում: Միկրոռենտգենասպեկտրային վերլուծությունը (նկ. 5, գ,դ) ցույց է տալիս, որ ներքին շերտի նիկելը դիֆուզվում է արտաքին շերտ՝ առաջացնելով ~15 մկմ հաստությամբ դիֆուզված գոտի:



Նկ. 5.  $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu$  և  $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu$  բաղադրություններով շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութի անցումային շերտի միկրոկառուցվածքը և նիկելի ինտենսիվության տեղաբաշխումը. ա) թրծումից հետո, բ, գ, դ) միտումից հետո, բ) նիկելի բաշխվածության ինտենսիվության կորը նմուշի խորությամբ, գ) նիկելի բաշխվածությունը նմուշի մակերևույթին ( $\times 500$ )

Դիտարկենք շերտավոր նախապատրաստվածքի կառուցվածքի ձևավորումը  $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu$  (արտաքին շերտ) և  $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu$  (ներքին շերտ) բաղադրություններով փոշեկոմպոզիտային նյութի օրինակով:  $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu$  բաղադրությամբ փոշեկոմպոզիտային նյութի համար  $900\dots 950^\circ C$ -ի դեպքում  $\sigma_n$ -ն կազմում է  $270 \text{ ՄՊա}$  [13], իսկ  $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu$  բաղադրությամբ փոշեկոմպոզիտային նյութի համար՝  $400 \text{ ՄՊա}$  [13]: Աղ. 1-ում բերված են միջուկի հաշվարկային երկրաչափական չափերը մինչև արտամղումը ( $R_{\Delta n, սկ.}$ ) և արտամղումից հետո ( $R_{\Delta n}$ )՝ տաք արտամղման տարբեր գործակիցների ( $\lambda$ ) դեպքում: Փորձանմուշները արտամղել են օպտիմալ ռեժիմներով  $T_{արտ}=850\dots 900^\circ C$ ,  $\tau_{արտ}=0,25\dots 0,30 \text{ ժ}$ ,  $\lambda=1,58, 2,22$  և  $3,74$ ,  $\alpha_i=55^\circ$ : Տաքացումը կատարվել է ջրածնի

միջավայրում: Կտրման եղանակով շերտերի կցման ամրության փորձարկումների արդյունքները ներկայացված են աղ. 2-ում:

Աղյուսակ 1

1,0%Cr+0,8%Zr+Cu<sub>տն</sub> (արտաքին շերտ) և 13%Ni+3%Al+1,0%Cr+0,8%Zr+Cu<sub>տն</sub> (ներքին շերտ)  
բաղադրությամբ շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութի նախապատրաստվածքի սկզբնական և հաշվարկային երկրաչափական պարամետրերը

λ	D <sub>հաստ</sub> , մմ	D <sub>սկ</sub> , մմ	D <sub>վ</sub> , մմ	D <sub>ք</sub> , մմ	Արտաքին շերտի պատի հաստ. տաք արտամղումից հետո $\delta_w = \frac{(D_v - D_{\text{հաստ}})}{2}$	Ներքին շերտի պատի հաստ. տաք արտամղումից հետո $\delta_n = \frac{(D_{\text{հաստ}} - D_n)}{2}$	D <sub>հաստ</sub> , մմ
1,58	12,70	30	24,50	9	5,90	1,85	14,4
2,22	11,40	30	21,21	9	4,90	1,20	13,8
3,74	10,00	30	17,32	9	3,86	0,50	12,4

Աղյուսակ 2

1,0%Cr+0,8%Zr+Cu<sub>տն</sub> (արտաքին շերտ) և 13%Ni+3%Al+1,0%Cr+0,8%Zr+Cu<sub>տն</sub> (ներքին շերտ)  
կառուցվածքով շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նախապատրաստվածքի ամրային հատկությունները (τ<sub>մ</sub>)

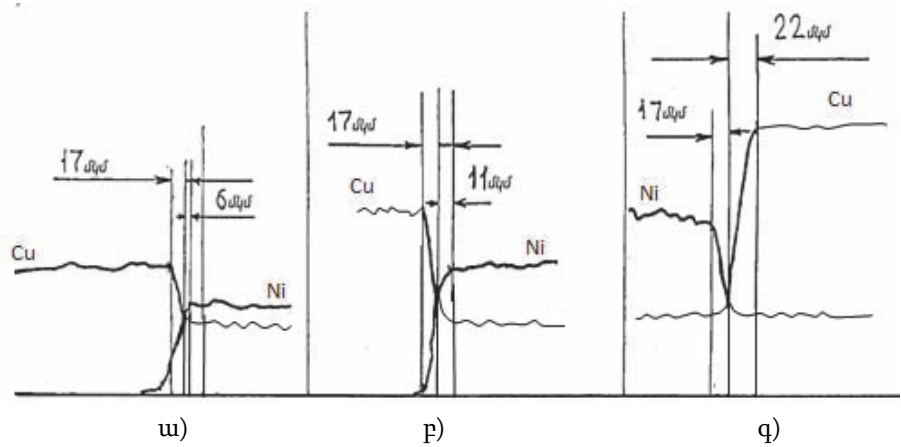
λ	D <sub>λ</sub> <sup>*</sup> , մմ	τ <sub>մ</sub> <sup>*</sup> , մմ	D <sub>λ</sub> , մմ	τ <sub>մ</sub> , մմ	D <sub>λ</sub> <sup>**</sup> , մմ	τ <sub>մ</sub> <sup>**</sup> , մմ
1,58	11,2	110	12,7	140	17,10	35
2,22	9,9	120	11,4	150	15,40	110
3,74	-	-	10,0	180	14,32	140

\*) փոքրացված չափերը D<sub>հաստ</sub> - 1,5 մմ,

\*\*) մեծացված չափերը D<sub>հաստ</sub> - 4 մմ:

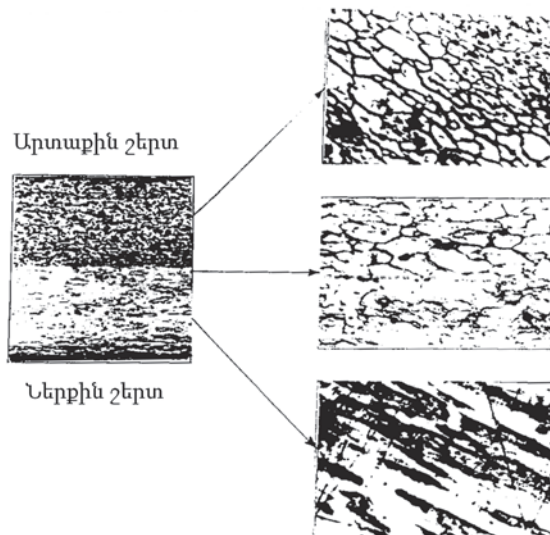
Ինչպես և սպասվում էր, λ-ի մեծացմամբ աճում է երկմետաղի շերտերի կցման ամրությունը, ընդ որում, τ<sub>մթ</sub> առավելագույն արժեքները ստացվել են յուրաքանչյուր λ-ի համար հաշվարկային D<sub>հաստ</sub>-ի դեպքում: Ni և Cu-ի բաշխման ինտենսիվության կորերը կախված λ-ից՝ նմուշի հատույթի և մակերևույթի դիֆուզիոն շերտում, բերված է նկ. 6-ում: Ինչպես երևում է նկարից, դիֆուզված շերտի հաստությունն աճում է λ-ի մեծացմամբ: Նիկելի դիֆուզիայի արդյունքում առաջանում է պղնձի հիմքով պինդ լուծույթ: Լուծվելիության խորությունն աճում է 6 մկմ-ից (λ=1,58) մինչև 17 մկմ (λ=3,74): Al-ի դիֆուզիայի դեպքում Cu-ում դարձյալ ձևավորվում է պինդ լուծույթ: Cu և Ni լուծվելիությունները λ=3,74-ի դեպքում հասնում են ~3,0%-ի: Համապատասխանաբար մեծանում է նաև լուծված շերտի խորությունը՝ λ=1,58-ի դեպքում 17 մկմ-ից մինչև 22 մկմ λ=3,74-ի դեպքում, հետևաբար՝ աճում է նաև երկմետաղի շերտերի կցման ամրությունը կտրմամբ (աղ. 2):





Նկ. 6. D $\alpha$ -ի հաշվարկմամբ ստացված շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութի անցումային շերտում Ni-ի և Cu-ի բաշխման ինտենսիվությունները՝ կախված  $\lambda$  արտամղման գործակցից. ա)  $\lambda=1,58$ , բ)  $\lambda=2,22$ , գ)  $\lambda=3,74$  (x 300)

1,0%Cr+0,8%Zr+Cu<sub>տն</sub> (արտաքին շերտ) և 13%Ni+3%Al+1,0%Cr+0,8%Zr+ Cu<sub>տն</sub> (ներքին շերտ) կառուցվածքով շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութի կառուցվածքային հետազոտությունները կատարվել են  $\lambda=4$  արտամղման գործակցով ստացված փորձանմուշների վրա: Նկ. 7-ում ներկայացված է շերտերի բաժանման սահմանը, որի ուղղագծությունը պահպանվում է փորձանմուշի ամբողջ երկարությամբ:



Նկ. 7. 1,0%Cr+0,8%Zr+Cu<sub>տն</sub> (արտաքին շերտ) և 13%Ni+3%Al+1,0%Cr+0,8% Zr+Cu<sub>տն</sub> (ներքին շերտ) կառուցվածքով շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութի անցումային շերտերի միկրոկառուցվածքները (x250)

**Եզրակացություն.** Բացահայտվել է, որ ներքին շփման կետերի առավելագույն բարձրություններին համապատասխանում են երկմետաղական համակարգերի առանձին բաղադրիչների դեֆորմացիայի օպտիմալ աստիճանները, որոնք երաշխավորում են արտամղման ժամանակ բարձր մեխանիկական հատկությունների և անհրաժեշտ խտության ստացումը:

Բացահայտվել է  $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{տն}$  և  $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{տն}$  բաղադրություններով փոշեկոմպոզիտային նյութերից ստացված երկմետաղական արտադրատեսակների անցումային գոտու միկրոկառուցվածքում անցումային շերտի գոյությունը, որն առաջանում է նիկելի ակտիվ դիֆուզիայի արդյունքում: Մխումից և հատկապես նրան հաջորդող սառը ճնշմամբ մշակումից հետո անցումային գոտում ճաքեր և շերտավորվածություններ չեն առաջանում, իսկ բաղադրիչ շերտերի բաժանման սահմաններն ուղղաձային են փորձանմուշի ամբողջ երկայնքով: Միկրոռենտգենասպեկտրային վերլուծության արդյունքում բացահայտվել է, որ ներքին շերտից արտաքին շերտ նիկելի դիֆուզման արդյունքում առաջանում է դիֆուզված շերտ, որի հաստությունն աճում է արտամղման գործակցի մեծացման հետևանքով:

#### ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Николаев А.К., Розинберг В.М.** Сплавы для электродов контактной сварки.- М.: Металлургия,1978.- 96с.
2. **Слюзберг С.К., Чулошников П.Л.** Электроды контактной сварки.- Л.: Машиностроение, 1972.- 96 с.
3. **Манукян Н.В.** Технология порошковой металлургии.- Ереван: Айастан, 1986.- 232с.
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. **Աղբալյան Ս.Գ., Սարգսյան Ա.Ռ.** Պղնձի հիմքով դիսպերս կարծրացող և ամրացվող փոշեկոմպոզիտային նյութերի տաք արտամղման գործընթացի հետազոտումը // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. ՏԳ սերիա.- 2017.- Հատ. LXX, №3.- էջ 289-299:
6. **Աղբալյան Ս.Գ., Սարգսյան Ա.Ռ.** Բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ և ջերմակայունությամբ պղնձի հիմքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի ստացման տեխնոլոգիայի մշակումը // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. ՏԳ սերիա.- 2017.- Հատ. LXX, №4.- էջ 411-419:
7. **Աղբալյան Ս.Գ., Սարգսյան Ա.Ռ.** Պղնձի հիմքով շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերի տաք արտամղման գործընթացի հետազոտումը // Հայաստանի ճարտարագիտական ակադեմիայի Լրաբեր.- Երևան, 2017.- Հատ. 14, №4.- էջ 586-592:
8. **Современные композиционные материалы / Под ред. И.Л. Светлова.** - М.: Мир, 1970. - 672 с.

9. Карпинос Д.М., Тучинский Л.И., Вишняков Л.Р. Новые композиционные материалы. - Киев: Вища школа, 1977. - 312 с.
10. Чулошников П.Л. Точечная и роликовая электросварка легированных сталей и сплавов.- М.: Машиностроение, 1974.- 232 с.
11. Кутковский С.И. Электроды контактных электросварных машин.- Л.: Машиностроение, 1964.- 112 с.
12. Электронная аппаратура ультразвуковых колебаний для исследования свойств твердого тела / М.А. Криштал, Б.Е. Пестов, В.В. Давыдов и др.- М.: Энергия, 1947.- 224 с.
13. Пресняков А.А. Пластичность металлических сплавов.- Алма-Ата: АН КазССР, 1959.- 210 с.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 12.12.2018:

**С.Г. АГБАЛЯН, А.Р. САРКИСЯН, Г.А. ВАСИЛЯН, Н.С. ШУХЯН**

**ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОИСТЫХ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ГОРЯЧИМ ВЫДАВЛИВАНИЕМ, МЕТОДОМ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ**

Исследована зависимость прочности от степени деформации методом внутреннего трения между компонентами слоистых порошковых композиционных материалов состава 1,0%Cr+0,8%Zr+Cu<sub>ост</sub> и 13%Ni+3%Al+1,0%Cr+0,8%Zr+Cu<sub>ост</sub> при разных температурах. Обнаружено, что максимальным высотам точек внутреннего трения соответствуют оптимальные степени деформации отдельных компонентов биметаллических систем, которые гарантируют высокие механические свойства и необходимую плотность при горячей экструзии. Показано, что микроструктура переходных зон слоистых порошковых композиционных материалов является результатом активной диффузии никеля и алюминия, толщина которого увеличивается с увеличением коэффициента экструзии.

**Ключевые слова:** металл, сплав, порошковый композиционный материал, внутреннее трение, прочность, деформация, горячая экструзия, диффузия, микроструктура.

**S.G. AGHBALYAN, A.R. SARKISYAN, G.A. VASILYAN, N.S. SHUKHYAN**

**RESEARCH OF LAYERED POWDER COMPOSITE MATERIALS OBTAINED  
BY HOT EXTRUSION BY THE METHOD OF INTERNAL FRICTION**

The dependence of strength on the deformation degree is investigated by the method of internal friction between the components of layered powder composite materials of the structure  $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{res.}$  and  $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{res.}$  at different temperatures. It is revealed that to the maximum heights of points of internal friction correspond the optimum extents of deformation of separate components of bimetallic systems, guaranteeing the high mechanical properties and the necessary density at hot extrusion. It is shown that the microstructure of transitional zones of the layered powder composite materials is a result of active diffusion of nickel and aluminum whose thickness increases with the increase in the coefficient of extrusion.

**Keywords:** metal, alloy, powder composite material, internal friction, durability, deformation, hot extrusion, diffusion, microstructure.