

Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Ա.Ռ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

ՊՂՆՁԻ ՀԻՄՔՈՎ ԴԻՍՊԵՐՍ ԿԱՐԾՐԱՑՈՂ ԵՎ ԱՄՐԱՑՎՈՂ  
ՓՈՇԵԿՈՍՊՈՋԻՏՍՅՒՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ՏԱՔ ԱՐՏԱՄՂՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ  
ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Ցույց է տրված, որ կոնտակտային եռակցման էլեկտրոդների համար օգտագործվող փոշեկոմպոզիտային նյութերը պետք է լինեն պղնձի հիմքով, ընդ որում, մայրակի ամրացումը պետք է կատարվի դիսպերս մասնիկներով կարծրացման և դիսպերս հատիկներով ամրացման մեխանիզմներով՝ ջերմամշակմամբ, իսկ բարձր էլեկտրահաղորդականությունը, ջերմահաղորդականությունը և ջերմակայունությունն ապահովվեն շերտավոր կառուցվածքով կոմպոզիտային նյութերի օգտագործմամբ, որտեղ մակերևութային շերտի բարձր էլեկտրահաղորդականությունը և ջերմահաղորդականությունը պետք է ապահովի ցածր լեգիրված պղնձյա անձակոտկեն մարյակը, իսկ միջուկի բարձր մեխանիկական հատկությունները և ջերմակայունությունը՝ պղնձի հիմքով բարձր լեգիրված կոմպոզիտային անձակոտկեն կառուցվածքով նյութը, որոնց անձակոտկենության ապահովումը նպատակահարմար է իրականացնել տաք արտամղմամբ: Բացահայտվել է, որ տաք արտամղման դեպքում սահմանափակող գործոն է դառնում  $\lambda$  արտամղման գործակիցը, որի մեծանալով կտրուկ աճում են նյութի մեխանիկական հատկությունները: Ցույց է տրված, որ առավելագույն արժեքների դրանք հասնում են  $\lambda = 4...5$  դեպքում: Հետազոտվել են  $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{\text{տե}}$  բաղադրությամբ փոշեկոմպոզիտային նյութի կառուցվածքագոյացման մեխանիզմը և կինետիկան, տաք արտամղման դեպքում ընտրվել են օպտիմալ ռեժիմներ:

**Առանցքային բառեր.** փոշեկոմպոզիտային նյութ, մամլում, եռակալում, տաք արտամղում, դիսպերս կարծրացում, դիսպերս ամրացում, ջերմակայունություն, էլեկտրահաղորդականություն:

**Ներածություն.** Ժամանակակից տեխնիկայի զարգացմանը զուգընթաց՝ մեծ տեղ է հատկացվում հատկապես մետաղական հիմքով բարձրամուր և ֆունկցիոնալ նշանակությամբ կոմպոզիտային նյութերին (ԿՆ): Այս տեսակետից նշանակալից են պղնձի հիմքով կոմպոզիտային նյութերը, ինչպիսիք են դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող պղնձյա փոշեհամաձուլվածքները, որոնց պահանջարկը շատ մեծ է արդի տեխնիկայում, հատկապես կոնտակտային եռակցման էլեկտրոդների արտադրությունում [1]: Նշված արտադրատեսակներին ներկայացվող պահանջներն են բարձր էլեկտրահաղորդականություն և ջերմակայունությունը, որոնց ապահովման համար օգտագործվող նախապատրաստվածքները պետք է լինեն անձակոտկեն, և ցանկալի է՝ ունենան շերտավոր կառուցվածք, որում արտաքին շերտը կապահովի բարձր էլեկտրա-

հաղորդականություն, իսկ ներքին շերտը՝ բարձր ջերմակայունություն: Այսպիսի կառուցվածք գործնականում հնարավոր է ապահովել միայն փոշեմետալուրգիական եղանակներով, հատկապես շերտավոր մամլվածքների տաք արտամղման կամ ճնշմամբ մշակման միջոցով: Սակայն մինչև այժմ լիովին ուսումնասիրված չեն դիսպերս մասնիկներով (ֆազերով) կարծրացող և միաժամանակ դիսպերս հատիկներով ամրացվող փոշեկոմպոզիտային նյութերի տաք արտամղման տեսական և տեխնոլոգիական առանձնահատկությունները: Եվ քանի որ փոշեմետալուրգիան խիստ հեռանկարային է Հայաստանի Հանրապետության համար, որտեղ առկա են մետաղական հումքի մեծ պաշարներ, հատկապես պղնձի, հետևապես՝ հետագոտվող խնդիրը նույնպես հեռանկարային է և տարբերվում է ավանդական եղանակներից:

Ելնելով վերը նշվածից՝ աշխատանքի նպատակն է հետագոտել դիսպերս մասնիկներով (ֆազերով) կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ ու ջերմակայունությամբ օժտված պղնձի հիմքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի տաք արտամղման գործընթացը և ուսումնասիրել կառուցվածքագոյացման մեխանիզմը:

**Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը.** Կատարվել է կոմպոզիտային նյութերի ստացմանը և կառուցվածքի ու հատկությունների ձևավորմանը նվիրված հայրենական և արտասահմանյան գրականության վերլուծություն [1-6], այդ թվում՝ դիսպերս մասնիկներով (ինտերմետաղական ֆազերով) կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող շերտավոր նյութերի համար: Վերլուծության են ենթարկվել կոմպոզիտային նյութերի ստացման տեխնոլոգիաները [1, 7, 8], որի արդյունքում պարզվել է, որ բարձր կարծրությամբ, ամրությամբ, էլեկտրահաղորդականությամբ, ջերմահաղորդականությամբ և ջերմակայունությամբ օժտված համաձուլվածքները, որոնք կարող են կիրառվել կոնտակտային եռակցման էլեկտրոդներ պատրաստելու համար, պետք է լինեն պղնձի հիմքով և ցանկալի է, որ բաղկացած լինեն մակերևութային շերտից ու միջուկից, որոնց մայրակի կարծրացումը և ամրացումը պետք է կատարվի ջերմամշակմամբ՝ դիսպերս մասնիկներով (ինտերմետաղական ֆազերով) կարծրացման և դիսպերս հատիկներով ամրացման մեխանիզմներով: Մակերևութային շերտի բարձր էլեկտրահաղորդականությունը և ջերմահաղորդականությունը պետք է ապահովի ցածր լեգիրված պղնձյա անձակոտկեն մարյակը, իսկ միջուկի բարձր ամրությունը, կարծրությունը և ջերմակայունությունը՝ պղնձի հիմքով բարձր լեգիրված կոմպոզիտային անձակոտկեն կառուցվածքով նյութը, որոնց կոմպակտավորումը նպատակահարմար է իրականացնել տաք արտամղմամբ: Ամրային բարձր արդյունավետության հասնելու համար անհրաժեշտ է ապահովել նաև ամուր կապ «արտաքին շերտ - միջուկ» անցումային շերտում՝ կոմպոզիտային նյութի ստացման գործընթացում: Նշված

խնդիրները կարող են լուծում գտնել միայն փոշեմետալուրգիական մեթոդներով, չնայած որ այստեղ ևս կան որոշակի դժվարություններ, հատկապես շերտավոր անձակոտկեն կոմպոզիտային նյութի ստացման գործընթացում՝ ապահովելու համար շերտերի հավասարաչափ հոսք տաք արտամղման ժամանակ: Աշխատանք [6]-ից հայտնի է, որ շերտավոր անձակոտկեն կոմպոզիտային նյութ ստանալու լավագույն մեթոդը տաք արտամղումն է, երբ եռակալումը և կառուցվածքի ձևավորումը համատեղվում են, և ապահովվում է անցումային շերտի բարձր ամրություն: Մակայն պղնձի հիմքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի դեպքում այս ուղղությամբ հետազոտությունները քիչ են. չկա տաք արտամղման գործընթացի տեսական հիմնավորում, չեն ուսումնասիրվել հիմնական օրինաչափությունների մեխանիզմն ու խտացման կինետիկան, ինչպես նաև չի հետազոտվել շերտավոր կոմպոզիտային նյութում կառուցվածքագոյացման գործընթացը՝ կախված տաք արտամղման ռեժիմներից և դիսպերս մասնիկներով կարծրացնող ու դիսպերս հատիկներով ամրացնող ֆազերի պարամետրերից:

**Հետազոտության արդյունքները.** Ուսումնասիրվել են կոնտակտային եռակցման էլեկտրոդների աշխատանքային պայմանները և դրանց բնութագրերը [1]: Ցույց է տրված, որ էլեկտրոդներին ներկայացվող հիմնական պահանջներն են՝ բարձր էլեկտրահաղորդականություն, լայն ջերմաստիճանային տիրույթում բարձր մեխանիկական հատկություններ, բավարար մաշակայունություն, բարձր ջերմահաղորդականություն, կոռոզիակայունություն, ջերմակայունություն, հրակայունություն և այլն: Կոնտակտային եռակցման էլեկտրոդներից պահանջվող ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների և կառուցվածքի ուսումնասիրման արդյունքում ընտրվել և հիմնավորվել է նոր դասի փոշեհամաձուլվածք՝ պղնձի հիմքով դիսպերս մասնիկներով (ինտերմետաղական ֆազերով) կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող շերտավոր կոմպոզիտային նյութ, որը կարելի է ստանալ նախօրոք պատրաստված բովախառնուրդներից միջուկի և արտաքին շերտի (սնամեջ գլան) մամլման, դրանք մեկը մյուսի մեջ հավաքման, վերամամլման, տաքացման (եռակալման), տաք արտամղման և համապատասխան ջերմային մշակման միջոցով:

Որպես ելանյութեր օգտագործվել են ПМС-1 մակնիշի էլեկտրոլիտիկ պղնձի (ГОСТ 4960-75), ПХ1С մակնիշի քրոմի (ТУ 14-22-50-91), ПЛ1 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 երկկողմանի մամլմամբ պատրաստվել են սնամեջ գլանակալան ( $D_w=29,5$  մմ,  $D_n=21,5$  մմ,  $H=50$  մմ,  $\theta = 10, 15, 20, 25, 30\%$ ), իսկ միջուկի բովախառնուրդից՝ գլանակալան նմուշներ ( $D_n=21$  մմ,  $H=50$  մմ,  $\theta = 10, 15, 20, 25, 30\%$ ), այնուհետև հավասար ծակոտկենությամբ մամլվածքներն իրար մեջ հավաքելուց, վերամամլումից

և ջրածնի միջավայրում 900...950°C ջերմաստիճանում 1...1,5 ժ եռակալեյուց հետո ենթարկվել են տաք արտամղման մայրակի  $2\alpha=110^\circ$  և  $\lambda=4$  արտամղման գործակցով:

Տաք արտամղման գործընթացի հիմնավորման համար տեսական հիմք է հանդիսացել Գրինի կողմից առաջարկված ծակոտկեն նյութերի պլաստիկության տեսությունը [9], որն իր հետագա զարգացումն է ստացել պրոֆեսոր Գ. Պետրոսյանի կողմից [10, 11]: Համաձայն այս տեսության՝

$$\sigma_{\text{էլվ}} = \frac{1}{\beta^{n+0.5}} \cdot \left( \frac{3}{2} \cdot S_{ij} \cdot S_{ij} + 9\alpha^m \sigma_0^2 \right)^{1/2},$$

$$d\bar{\varepsilon}_{\text{էլվ}} = \beta^{2n-0.5} \cdot \left( \frac{2}{3} \cdot de_{ij} \cdot de_{ij} + \frac{d\varepsilon_0^2}{\alpha^m} \right)^{1/2},$$

$$d\varepsilon_{ij} = \frac{3d\bar{\varepsilon}_{\text{էլվ}}}{\beta^{3n} 2\sigma_{\text{էլվ}}} \cdot [\sigma_{ij} - (1 - 2\alpha^m)\delta_{ij}\sigma_0],$$

$$d\theta = \frac{9 \cdot \alpha^m (1 - \theta) \cdot \sigma_0 \cdot d\bar{\varepsilon}_{\text{էլվ}}}{\beta^{3n} \cdot \sigma_{\text{էլվ}}},$$

որտեղ  $\sigma_{\text{էլվ}}$ -ը համարժեք լարումն է,  $d\bar{\varepsilon}_{\text{էլվ}}$  -ը՝ պլաստիկ դեֆորմացմանը համարժեք աճը,  $de_{ij}$ ,  $d\varepsilon_{ij}$ ,  $S_{ij}$ ,  $\sigma_{ij}$ -ն՝ պլաստիկ դեֆորմացման և լարման դիստորսիաների և տենզորների կոմպոնենտների աճը,  $\sigma_0=1/3\delta_{ij}\sigma_{ij}$ -ն՝ միջին լարումը,  $d\varepsilon_0=1/3\delta_{ij}d\varepsilon_{ij}$ -ն՝ միջին դեֆորմացման աճը,  $\delta_{ij}$ -ն՝ Կրոնեկերի սիմվոլը,  $n$ -ը և  $m$ -ը՝  $\theta$  հարաբերական ծակոտկենության պարամետրերը,  $\alpha$ -ն և  $\beta$ -ն՝ ծակոտկենության ֆունկցիաները, որոնք որոշվել են հետևյալ բանաձևերով.

$$\alpha = \frac{1}{4} \left[ \frac{3(1 - \theta^{1/3})}{(3 - 2\theta^{1/4}) \ln \theta} \right]^2, \quad \beta = \left[ \frac{3(1 - \theta^{1/3})}{3 - 2\theta^{1/4}} \right]^2:$$

$\alpha$ -ի և  $\beta$ -ի որոշակի արժեքների դեպքում կարելի է ծակոտկեն նյութերի բանաձևերից անցում կատարել հոծ նյութերի պլաստիկության տեսությանը և տրված նյութի համար փորձնականորեն որոշել  $n$  և  $m$  պարամետրերը:  $n$  և  $m$  պարամետրերի որոշումը և դեֆորմացման դիագրամի կառուցումը կատարվել են վերը նշված բովախառնուրդներից պատրաստված ծակոտկեն գլանաձև նմուշի միառանցքանի սեղմման փորձարկման արդյունքների հիման վրա: Այս դեպքում գլխավոր լարումը  $\sigma_1=\sigma_2=0$ ,  $\sigma_3=-\sigma$ , ընդ որում՝  $\sigma=P/F$  առանցքային լարումն է (մամլման ճնշումը), իսկ  $P$ -ն և  $F$ -ը՝ նմուշի սեղմման ուժը և լայնակի կտրվածքի

մակերեսը: Հետևաբար, միատանցքանի լարվածային վիճակի դեպքում վերը նշված կախվածությունները կունենան հետևյալ տեսքը՝

$$\sigma_{\text{էլլ}} = K_1 \sigma; \quad d\bar{\varepsilon}_{\text{էլլ}} = K_2 d\varepsilon ,$$

$$d\theta = \frac{3 \cdot \alpha^m (1 - \theta)}{1 + \alpha^m} \alpha \cdot \varepsilon ,$$

$$K_1 = \frac{\sqrt{1 + \alpha^m}}{\beta^{n+0.5}}; \quad K_2 = \frac{\beta^{2n-0.5}}{\sqrt{1 + \alpha^m}} ,$$

որտեղ  $d\varepsilon$ -ն առանցքի ուղղությամբ պլաստիկ դեֆորմացման աճն է,  $\varepsilon = \ln h_0/h$ -ը՝ առանցքի ուղղությամբ պլաստիկ դեֆորմացումը,  $h_0$ -ն և  $h$ -ը՝ նախապատրաստվածքի սկզբնական և ընթացիկ բարձրությունը, իսկ  $k_1$  և  $k_2$ -ը՝ լարման և պլաստիկ դեֆորմացման աճին համարժեք գործակիցները:

Մտացված փորձնական արդյունքների տեսական հիմնավորման նպատակով կատարվել է անդրադարձ ծակոտկեն մարմնի պլաստիկության տեսության կախվածություններին: Բացառելով  $d \sum_{ij}$ -ը, կստանանք.

$$d\theta = \frac{6 \cdot \alpha^m (1 - \theta) \cdot \sigma_0}{\sigma_{ij} - (1 - 2\alpha^m) \cdot \delta_{ij} \cdot \sigma_0} \cdot d\varepsilon_{ij} :$$

Մյուս կողմից՝ կոշտ գլանաձև մամլամայրերում մամլման դեպքում (եռանցքանի սեղմում,  $\varepsilon_\theta$  շրջանային և  $\varepsilon_r$  շառավղային դեֆորմացումները բացակայում են, և նախապատրաստվածքի դեֆորմացված վիճակը բնութագրվում է առանցքային դեֆորմացման իրական չափով.

$$\varepsilon = \ln \frac{h_0}{h} ,$$

որտեղ  $h$ -ը և  $h_0$ -ն նախապատրաստվածքի ընթացիկ և սկզբնական բարձրություններն են: Ընդունենք, որ շփման ուժերը կոնտակտային մակերևույթներում բացակայում են, այսինքն՝  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_r = \sigma_\theta$ ,  $\sigma_3 = -\sigma$ , և հաշվի առնելով, որ  $d\varepsilon_\theta = d\varepsilon_r = 0$ , կստանանք

$$\sigma_\theta = \sigma_r = -\frac{1 - 2\alpha^m}{1 + 4\alpha^m} \cdot \sigma ,$$

որտեղ  $\sigma$ -ն մամլման ճնշումն է:

Հետևաբար՝  $\sigma_{\text{էլլ}}$  համարժեք լարումը և պլաստիկ դեֆորմացման համարժեք աճը կընդունի հետևյալ տեսքը՝

$$\sigma_{\text{էկվ}} = \frac{3\sigma}{\beta^{n+0.5}} \sqrt{\frac{\alpha^m}{1+4 \cdot \alpha^m}},$$

$$d\bar{\varepsilon}_{\text{էկվ}} = \frac{\beta^{2n-0.5}}{3} \cdot d\varepsilon \sqrt{\frac{1+4 \cdot \alpha^m}{\alpha^m}} :$$

dθ ծակոտկենության աճը ևս արտահայտենք առանցքային դեֆորմացման աճի միջոցով, այդ դեպքում կստանանք.

$$d\theta = \frac{6 \cdot \alpha^m (1 - \theta) \cdot (\sigma_z + \sigma_r + \sigma_\theta)}{2\sigma_z - \sigma_r - \sigma_\theta + 2\alpha^m (\sigma_z + \sigma_r + \sigma_\theta)} \cdot d\varepsilon_z :$$

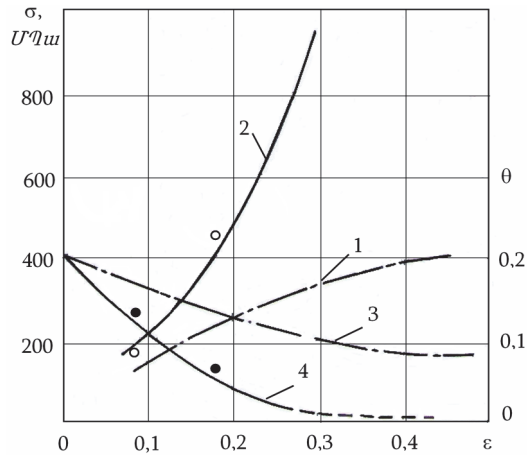
Ինտեգրենք ստացված հավասարումը՝ հաշվի առնելով  $\sigma_\theta$ -ի բանաձևը, կգտնենք

$$\theta = 1 - (1 - \theta_0) \exp \varepsilon ,$$

որտեղ  $\theta_0$ -ն սկզբնական հարաբերական ծակոտկենությունն է:

Վերը նշված հավասարումները բացահայտում են  $\sigma$  ճնշման և  $\theta$  ծակոտկենության կախվածությունը դեֆորմացման աստիճանից մեկ և եռառանցքանի սեղմման դեպքում կոշտ գլանաձև մայրակում: Իմանալով  $d\varepsilon$ -ն,  $n$  և  $m$  պարամետրերը, ինչպես նաև  $\theta_0$  սկզբնական ծակոտկենությունը և օգտվելով  $\sigma_{\text{էկվ}}$ -ի և  $d\theta$ -ի կամ  $d\varepsilon_{\text{էկվ}}$ -ի և  $d\theta$ -ի բանաձևերից, հաշվարկվել է  $\theta$ -ն և  $\int d\bar{\varepsilon}_{\text{էկվ}}$ -ը: Այնուհետև դեֆորմացման դիագրամից գտնվել է  $\sigma_{\text{էկվ}}$ -ի համապատասխան արժեքը, իսկ  $\sigma_{\text{էկվ}}$ -ի բանաձևերից՝ մամլման ճնշումը: Արդյունքում՝ կառուցվել են  $(\theta - \varepsilon)$  և  $(\sigma - \varepsilon)$  կախվածության գրաֆիկները՝ 13%Ni+3%Al+1,0%Cr+0,8%Zr+Cu մն բաղադրությամբ բովախառնուրդից պատրաստված  $\theta_0=0,2$  հարաբերական ծակոտկենությամբ ծակոտկեն փորձանմուշների համար (նկ.):

Ինչպես տեսնում ենք, եռառանցքանի սեղմման դեպքում 2-րդ կորը տեղաբաշխված է զգալիորեն բարձր, քան միառանցքանի սեղմման դեպքում (1 կոր): Այդպես էլ պետք էր ակնկալել, քանի որ եռառանցքանի սեղմմամբ նյութի ծակոտկենությունը (4 կոր) նվազում է ավելի արագ, քան միառանցքանի դեպքում (3 կոր): Ծակոտկենության արժեքները մեկ և եռառանցքանի սեղմման դեպքերում, որոնք հաշվարկված են  $d\theta$ -ի և  $\theta$ -ի բանաձևերով, բերված են աղյուսակում, որից տեսնում ենք, որ եռառանցքանի սեղմման դեպքում ծակոտկենությունը նվազում է այնքան ինտենսիվ, որքան փոքր է նմուշի սկզբնական հարաբերական ծակոտկենությունը: Այսպես, օրինակ, նյութի ծակոտկենությունը եռառանցքանի սեղմման դեպքում նվազում է 2,15 անգամ ավելի շատ, քան միառանցքանի սեղմման դեպքում: Սկզբնական ծակոտկենության փոքրացումը մեծացնում է այս հարաբերությունը, և արդեն  $\theta_0=0,1$  դեպքում այն հասնում է 4,60-ի:



Նկ. 13%Ni+3%Al+1,0%Cr+0,8%Zr+Cu<sub>մե</sub> բաղադրությամբ բովախառնուրդից պատրաստված ծակոտկեն փորձանմուշների սեղմման դիագրամը տարբեր բեռնվածությունների դեպքում. 1, 2 - ( $\sigma - \epsilon$ ) կորորդինատային համակարգում, 3, 4 - ( $\theta - \epsilon$ ) կորորդինատային համակարգում, 1, 3- միառանցքանի սեղմում, 2, 4- եռառանցքանի սեղմում

Աղյուսակ

Չեֆորմացման սխեմայից կախված ( $m=0,75, n=0,2$ ) նյութի ծակոտկենության փոփոխումը

$\theta_0$	$\alpha$	d $\theta$		d $\theta_2/d\theta_1$
		միառանցքանի սեղմում, d $\theta_1$	եռառանցքանի սեղմում, d $\theta_2$	
0,1	0,0342	-0,0391	-0,18	4,60
0,2	0,0535	-0,0464	-0,16	3,45
0,3	0,0750	-0,0511	-0,14	2,74
0,4	0,0990	-0,0533	-0,12	2,25
0,5	0,11400	-0,0465	-0,10	2,15

Կոմպակտավորման հաշվարկային արժեքները ստուգվել են փորձնակա- նորեն: Նկարում կետերով ցույց են տրված կոնտակտային եռակցման էլեկտրոդ- ների միջուկի համար նախատեսված փորձանմուշների ծակոտկենության փորձ- նական արդյունքները եռառանցքանի սեղմման դեպքում (2, 4 կորեր), որոնք պատրաստվել են տաք արտամղմամբ 3%Ni+3%Al+1,0%Cr+0,8%Zr+Cu<sub>մե</sub> բաղադ- րությամբ բովախառնուրդից: Քանի որ ստատիկ մամլմամբ անծակոտկեն կա- ռուցվածքի ստացումը շատ դժվար է, մեզ չի հաջողվել ստանալ փորձնական կե- տեր 2 և 4 կորերի ամբողջ երկայնքով, այսինքն՝ մինչև  $\epsilon=0,3$ : Ինչպես տեսնում ենք,  $\epsilon$ -ի արժեքի մի քանի տիրույթներում փորձնական տվյալները մոտ են տեսա- կանին, ինչը հնարավորություն է տալիս կիրառելու Գրինի և Գ. Պետրոսյանի տե- ստությունները կոմպոզիտային իզոտրոպ նյութերի դեպքում: Հետևաբար, մետա-

ղափռչուց արտադրատեսակների ստացման համար անհրաժեշտ է օգտագործել այնպիսի տեխնոլոգիական գործընթացներ, որոնց դեպքում նյութը կենթարկվի ավելի մեծ աստիճանի պլաստիկ դեֆորմացումների, այդ թվում՝ սահքի դեֆորմացման: Այդպիսի գործընթաց է տաք արտամղումը:

Հետազոտությունների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ նմուշների մնացորդային ծակոտկենությունը  $\theta_0=15\%$  նախնական ծակոտկենության դեպքում ավելի ցածր է, քան  $\theta_0=30\%$  նախնական ծակոտկենության դեպքում: Նման օրինաչափություն տեղի ունի ինչպես խտացման ստատիկ, այնպես էլ իմպուլսային եղանակների դեպքում: Դա նշանակում է, որ անծակոտկեն կառուցվածքների ստացման համար ավելի նպատակահարմար է ելային նախապատրաստվածքները պատրաստել նվազագույն ծակոտկենությամբ:

Տաք արտամղման ժամանակ դիսպերս մասնիկներով կարծրացող (ինտերմետաղական ֆազերով) և դիսպերս հատիկներով ամրացվող շերտավոր ծակոտկեն փոշեկոմպոզիտային մետաղական նյութերի դեֆորմացված լարվածային վիճակի և կառուցվածքագոյացման մեխանիզմի վերլուծման արդյունքում բացահայտվել է, որ արտամղման ժամանակ արտամղվող շերտավոր փոշեկոմպոզիտային մետաղական նյութի օղակաձև շերտերը ենթարկվում են ոչ միայն առանցքային և լայնական, այլ նաև սահքի դեֆորմացման: Վերջինս ներքին շերտերից դեպի մակերևութային շերտեր աճում է: Աճում են նաև երկարացմանը նպաստող հիմնական լարումները և սահքի դեֆորմացումների գումարը: Ցույց է տրված, որ մամլման մասի ելքի մոտ երկարացմանը նպաստող գլխավոր լարումների ուղղությունները տարբեր են. դրանք կազմում են մամլման առանցքի հետ որոշակի անկյուն, որը նույնպես աճում է դեպի մակերևութ: Արդյունքում՝ ցույց է տրված, որ գլխավոր շառավղային և շրջանագծային դեֆորմացումները արգելակող դեֆորմացումներ են: Միաժամանակ, ներքին շերտերի գոտում լրացուցիչ սեղմող լարումները, վերադրվելով հիմնական սեղմող լարումներին, չեն փոխում մետաղի լարվածային վիճակը. այն մնում է նույնը, այսինքն՝ բոլոր կողմերից անհավասարաչափ սեղմված: Արտաքին շերտերի գոտում ձգման լրացուցիչ լարումները, վերադրվելով հիմնական սեղմող երկայնական լարումներին, փոքրացնում են դրանք, իսկ որոշ պայմանների դեպքում, գերազանցելով դրանց, փոխում են մետաղի լարվածային վիճակի տեսքը և բոլոր կողմերից անհավասարաչափ սեղմումը ձևափոխում երկկողմանի (ընդլայնական) սեղմման և երկայնական ձգման:

Եռակալված շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերի (արտաքին շերտ -  $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{տն}$ , ներքին շերտ -  $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{տն}$ ) տաք արտամղման գործընթացների հետազոտումը ցույց է տվել, որ նույն մետաղական հիմքով, բայց տարբեր քիմիական բաղադրությամբ շերտերի միջև ապահովվում է ֆիզիկական կոնտակտի առաջացում՝ ամուր մետաղական կապի գոյացումով:



Վճռորոշը ոչ միայն տնտեսական գործոնն է, այլև սկզբունքորեն նոր նյութերի ստեղծումը, որոնց ստացումն անհնար է մետալուրգիական ավանդական եղանակներով:

Տաք արտամղումից հետո մշակված շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութը ենթարկվել է ջերմամշակման՝ թրծման, միման, ճնշմամբ մշակման և ծեբացման: Թրծման ջերմաստիճանն ընտրվել է մեխանիկական հատկությունների ջերմաստիճանային կախվածության գրաֆիկից, համաձայն որի այն գտնվում է համեմատաբար նեղ տիրույթում՝  $T_{վ}=650...700^{\circ}C$ , իսկ տևողությունը վերցվել է 1...2 ժ կախված վառարանի բեռնավորման աստիճանից:

Համալիր գիտափորձական հետազոտությունների արդյունքում որոշվել են ամրացնող ջերմային մշակման (միում, ծրացում) լավարկված պարամետրերը՝  $T_{մ}=1000\pm 25^{\circ}C$ ,  $\tau_{մ}=1...1,5$  ժ,  $T_{ծեբ}=450\pm 25^{\circ}C$ ,  $\tau_{ծեբ}=6$  ժ, որոնց դեպքում ապահովվում են ոչ միայն բարձր մեխանիկական հատկություններ՝  $\alpha$ -պինդ լուծույթի հիմքով արտաքին շերտի  $\sigma_{\partial}=550...600$  ՄՊա,  $HB=1550...1850$  ՄՊա,  $\delta=10...20\%$ , իսկ  $\alpha$ -պինդ լուծույթի հիմքով ներքին շերտի  $\sigma_{\partial}=900...950$  ՄՊա,  $\delta=10...15\%$ ,  $HB=2500...2600$  ՄՊա, այլև արտաքին շերտի բարձր ջերմահաղորդականություն ( $\chi=70$  Վտ/Կ.ս), էլեկտրահաղորդականություն՝ պղնձի հաղորդականության  $\approx 80\%$ -ը և ներքին շերտի ջերմակայունություն՝ մինչև  $500^{\circ}C$ :

**Եզրակացություն.** Տեսական վերլուծությամբ և փորձնական եղանակով հիմնավորվել է տաք արտամղման գործընթացի առավելությունը դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող փոշեհամաձուլվածքների կոմպակտավորման ժամանակ: Սահմանվել են պղնձի հիմքով դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող փոշեկոմպոզիտային նյութերի տաք արտամղման հիմնական օրինաչափությունները՝ կախված ջերմաստիճանից, պահման տևողությունից, նախնական ծակոտկենությունից, մայրակի անկյունից և արտամղման գործակցից: Բացահայտվել են  $13\%Ni + 3\%Al + 1,0\%Cr + 0,8\%Zr + Cu_{\text{մ}}$  բաղադրությամբ փոշեկոմպոզիտային նյութերի տաք արտամղման դեպքում կառուցվածքագոյացման օրինաչափությունները: Գիտափորձերի արդյունքների մշակմամբ արտածվել են ամրության և կարծրության կախվածությունները տաք արտամղման պարամետրերից, որի արդյունքում կատարվել են տաք արտամղման լավարկված ռեժիմների ընտրում և հիմնավորում: Արտամղման ջերմաստիճանը՝  $T_{\text{մ}}=900...950^{\circ}C$ , արտամղման ջերմաստիճանում պահման տևողությունը՝  $\tau_{\text{մ}}=1...1,5$  ժ, մայրակի կոնական անկյունը՝  $2\alpha_{\text{մ}}=110^{\circ}$  և արտամղման գործակցիցը՝  $\lambda=4...5$ :

*Հետազոտությունը կատարվել է Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի «Նյութագիտություն և մետալուրգիա» բազային գիտահետազոտական լաբորատորիայում:*

## ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Николаев А.К., Розенберг В.М.** Сплавы для электродов контактной сварки.- М.: Металлургия, 1978.- 96 с.
2. Современные композиционные материалы / Под ред. **И.Л. Светлова**.- М.: Мир, 1970.- 672 с.
3. **Карпинос Д.М., Тучинский Л.И., Вишняков Л.Р.** Новые композиционные материалы.- Киев: Вища школа, 1977.- 312 с.
4. **Ковальченко М.С.** Теоретические основы горячей обработки пористых материалов давлением.- Киев: Наукова думка, 1980.- 240 с.
5. **Манукян Н.В.** Технология порошковой металлургии.- Ереван: Айастан, 1986.- 230 с.
6. **Агбалян С.Г.** Теоретические и технологические основы формирования структуры и свойств порошковых материалов при экструзии: Автореф. дис.... докт. техн. наук.- Ереван, 1992.- 33 с.
7. **Չափրյան Գ.Ս.** Պղնձի հիմքով բարձրամուր կոմպոզիցիոն նյութերի ստացման տեխնոլոգիայի մշակումը: Տ. գ. թ. ատենախոսության սեմինար.- Երևան, 2013.- 23 էջ:
8. **Агбалян С.Г., Василян Г.А., Саркисян А.Р., Бояджян С.Г.** Разработка технологии получения высокопрочных композиционных материалов для электродов контактной сварки // Вестник ГИУА: Металлургия, материаловедение, недропользование.- Ереван, 2015.- № 2.- С. 20-32.
9. **Грин Р.Дш.** Теория пластичности пористых тел // Механика: Периодический сборник переводов иностранных статей.- М., 1973.- № 4 (140).- С. 109-120.
10. **Петросян Г.Л.** О теории пластичности пористых тел // Изв. Вузов. Сер. Машиностроение.- 1977.- № 5.- С. 10-13.
11. **Петросян Г.Л.** Деформационная теория пластичности пористых материалов // Изв. Вузов. Сер. Машиностроение.- 1978.- № 11.- С. 5 - 8.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 22.06.2017:

С.Г. АГБАЛЯН, А.Р. САРКИСЯН

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕГО ВЫДАВЛИВАНИЯ  
ПОРОШКОВЫХ ДИСПЕРСНО-ТВЕРДЕЮЩИХ И УПРОЧНЯЕМЫХ  
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ**

Показано, что используемые порошковые композиционные материалы для электродов контактной сварки должны быть на основе меди, причем упрочнение матрицы должно производиться термообработкой с механизмом твердения дисперсными частицами и упрочнения дисперсными зёрнами, а высокие электропроводность, теплопроводность и термостойкость должны обеспечиваться использованием композиционных материалов со слоистой структурой. При этом высокие электропроводность и теплопроводность наружного слоя должна обеспечивать низколегированная медная матрица, а высокие механические свойства и термостойкость сердцевины – высоколегированный композиционный материал с беспористой структурой на основе меди, причем беспористость целесообразно обеспечить горячим выдавливанием. Выявлено, что при горячем выдавливании ограничивающим фактором является коэффициент вытяжки  $\lambda$ , с увеличением которого резко возрастают механические свойства материалов. Показано, что максимальные их значения достигаются при  $\lambda = 4...5$ . Исследованы механизмы структурообразования и кинетика горячей экструзии порошкового композиционного материала с составами  $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{ост}$  и выбраны оптимальные режимы.

**Ключевые слова:** порошковый композиционный материал, прессование, спекание, горячее выдавливание, дисперсионное твердение, дисперсионное упрочнение, термостойкость, электропроводность.

S.G. AGHBALYAN, A.R. SARKISYAN

**INVESTIGATING THE PROCESS OF HOT EXTRUSION OF POWDER  
COPPER-BASED DISPERSELY-HARDENING AND STRENGTHENING  
COMPOSITE MATERIALS**

It is shown, that powder composite materials used for contact welding electrodes should be based on copper hot extrusion. In that case, the matrix strengthening should be carried out by heat treatment by hardening with disperse particles and strengthening with disperse grains while high electric and heat conductivity, as well as heat resistance should be ensured by using composite with a layered structure. At that the high electric and thermal conductivity of the outer layer should be ensured by the low- alloyed copper matrix, while the high mechanical properties and heat resistance of the core- be the high – alloyed non-porous structure copper- based composite material, and in this case non-porosity should be ensured by hot extrusion. It is revealed that at hot extrusion, a limiting factor is the stretching coefficient  $\lambda$ , whose growth causes an increase in the mechanical properties of the materials. It is shown that their maximal values are achieved at  $\lambda=4...5$ . The mechanisms of structurization and the kinetics of hot extrusion of powder composite materials with compositions  $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{ост}$  are investigated, and optimal modes are selected.

**Keywords:** powder composite material, pressing, roasting, hot extrusion, dispersed hardening, disperse strengthening, thermal resistance, electrical conductivity.