

Գ.Լ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Ա.Հ. ԴԱՎԹՅԱՆ, Գ.Ռ. ԿԵՍՈՅԱՆ

**ՀԱՐԹ ԼԱՐՎԱԾԱՅԻՆ ՎԻՃԱԿՈՒՄ ՈւՂԱՆԿՑՈՒՆ ՆՄՈՒՇՆԵՐԻ
ԿՈՐԶԱՆՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՏԱՐԲԵՐ ՀՊԱԿԱՅԻՆ ՇՓՄԱՆ
ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ**

Հարթ լարվածային վիճակում վերլուծական մեթոդով հետազոտվել են սեպաձև մամլամայրում ուղղանկյուն հատույթով նմուշի կորզանման գործընթացի լարվածային վիճակի բաղադրիչները տարբեր հպակային շփման պայմաններում: Օգտագործվել է բարակ հատույթների մեթոդը, ըստ որի ստացվել են լարվածային վիճակի կորզանող և ձևավորող լարումների բանաձևերը, որոնք չափագուրկ տեսքով կիրառելի են և՛ հոծ, և՛ եռակաված նյութերի դեպքում: Թվային հաշվարկի միջոցով իրականացվել է նաև հարթ լարվածային և դեֆորմացիոն վիճակների խնդիրների համեմատական վերլուծություն:

Առանցքային բառեր. սեպաձև մամլամայր, ուղղանկյուն հատույթով նմուշ, կորզանում, եռակաված նյութ, հարթ լարվածային վիճակ, հպակային շփում:

Ներածություն: Կորզանումը մետաղների ճնշումով մշակման ամենակարևոր և տարածված գործընթացներից մեկն է: Ուշագրավ են մետաղների ճնշումով մշակման մեխանիկայում հետազոտությունները տարբեր հպակային շփման պայմաններում, առավել ևս, եթե դրանք վերաբերում են ուղղանկյուն լայնական հատույթով եռակաված նմուշներին:

[1] -ում կատարված հաշվարկների հիման վրա երաշխավորվել է հպակային շփման գործակցի արժեքը փոքրացնել մինչև $f = 0,02$, առանց արտադրանքի որակի կորստի կորզանման արագության մեծացման: Հաշվարկային տվյալների վերլուծությամբ ապացուցվել է այդ առաջարկի արդյունավետությունը մեծ արագությամբ բարձրածխածնային պողպատների կորզանման դեպքում: Մակայն, քանի որ կորզանման արտադրամասի տեխնոլոգը չի կարող ճշգրիտ իմանալ գործող ռեժիմներում գործընթացի ընթացքում իրական հպակային շփման գործակցի մեծությունը, ինչպես նաև դրա որոշման հավաստի եղանակը, ապա խորհուրդ է տրվում փոքրացնել հպակային շփման լարումները՝ կորզանման ընթացքում ջերմաստիճանի աճը սահմանափակելու համար:

Նշված խնդիրների արդյունքում անհրաժեշտություն առաջացավ՝ ուսումնասիրելու [2] աշխատանքը, ըստ որի՝ հպակային շփման մեծության ազդեցությունը բավականին մեծ է մետաղալարում ջերմանջատման վրա: Գործընթացի ժամանակ

ջերմաստիճանային բաշխման գոտիները ցույց են տվել, որ հպակային շփման գործակցի $f = 0,05$ արժեքի փոքրացումը մինչև $f = 0,02$, որը կարելի է ստանալ հատուկ տեխնոլոգիայով, փոքրացնում է մետաղալարի ջերմաստիճանի առավելագույն միջակայքը $344...394^{\circ}\text{C}$ -ից մինչև $249...270^{\circ}\text{C}$: Արդյունքում՝ հպակային շփման գործակցի փոքրացման հատուկ տեխնոլոգիայի առկայության դեպքում դրա $f = 0,02$ արժեքի համար կորզանման արագությունը կարելի է բարձրացնել մինչև 8 մ/վ , որը 37% -ով ավելի բարձր է արտադրությունում ընդունված տեխնոլոգիական արագությունից:

[3] -ում հարթ դեֆորմացիայի պայմաններում վերլուծական մեթոդով հետազոտվել է ուղղանկյուն հատույթով եռակալված նմուշի կորզանման գործընթացի լարվածադեֆորմացիոն վիճակը (ԼԴՎ): Խնդրի լուծման համար օգտագործվել է բարակ հատույթների մեթոդը: Համատեղ լուծելով տարրի հավասարակշռության հավասարումը (ՀՀ) Տրեսկա – Սեն-Վենանի պլաստիկության պայմանը (ՊՊ) հաշվի առնելով՝ ստացվել են նյութի լարվածային վիճակի չափագույրկ մեծությունները: Հարթ դեֆորմացիայի հետևանքով նմուշի լայնությունը կորզանման ընթացքում մնում են անփոփոխ, այսինքն փոփոխվում են նմուշի հաստությունը և երկարությունը:

Հոծ և եռակալված նյութերի դեպքում [4] -ում իրականացվել է խնդրի «ABAQUS» ավտոմատացված ծրագրային միջավայրում (ԱՕՄ) մոդելավորումը, ինչպես հոծ նյութի սխեմայով, այնպես էլ նյութին տարբեր սկզբնական հարաբերական խտություններ հաղորդելով: Ստացված նմուշը ձևավորող, ձգող և լայնական լարումների արժեքները համեմատվել են վերլուծական մեթոդով [3] ստացված տվյալների հետ: Նմուշի՝ մամլամայրի հետ հպակային և առանցքային հանգույցներում դուրս են բերվել ծակոտկենության բաշխվածությունները, և վերջավոր տարրերով ցանցի բաժանման հորիզոնական ուղղությամբ հանգույցների ծակոտկենության միջինացված մեծությունները համեմատվել են վերլուծական մեթոդով [3] ստացվածների հետ:

[5] -ում նախագծվել է սեպաձև մամլամայրի նախնական մոդելը՝ քննարկելով դրա կառուցվածքային առավելությունները: Նախագծված սեպաձև մամլամայրում իրականացվել է հոծ նյութի կորզանման գործընթացի մոդելավորում, ուսումնասիրելով տարբեր սեպերի թեքության անկյունների դեպքերում ԼԴՎ բաղադրիչների բաշխվածությունը: [6] - ը հանդիսանում է [5] - ի շարունակությունը, որտեղ համակցված մեթոդով հետազոտվել են եռակալված նյութի կորզանման ԼԴՎ բաղադրիչները տարբեր սեպերի թեքության անկյունների դեպքում: Նշենք, որ համակցված մեթոդի դեպքում խնդիրը սկզբում մոդելավորվել է «ABAQUS» ԱՕՄ – ում հոծ նյութի համար, այնուհետև, օգտագործելով մոդելավորման արդյունքում ստացված նյութի ԼԴՎ բաղադրիչները և ծակոտկեն նյութերի պլաստիկ

դեֆորմացիոն տեսության (ՄՆՊՏ) բանաձևերը, հաշվարկվել են եռակալված նյութի դեպքում սկզբնական ծակոտկենության փոփոխությունները:

Արդյունքում ուղղանկյուն հատույթով հոծ և եռակալված խնդիրների վերլուծական մեթոդով հետազոտումը հեղինակների կողմից իրականացվել է հարթ դեֆորմացիայի պայմաններում, այսինքն y առանցքի ուղղությամբ (նկ.1) դեֆորմացիան բացակայում է: Իսկ ինչ վերաբերում է հարթ լարվածային վիճակին, երբ y առանցքի ուղղությամբ լարումը բացակայում է, ապա այդ խնդիրը լուծված չէ, հետևաբար՝ այդ ուղղությամբ աշխատանքներն արդիական են:

Աշխատանքի նպատակն է հարթ լարվածային վիճակում և տարբեր հպակային շփման պայմաններում սեպաձև մամլամայրում ուղղանկյուն հատույթով նմուշի կորզանման գործընթացի բարակ հատույթների մեթոդով հետազոտումը և համեմատումը հարթ դեֆորմացիոն վիճակի հետ:

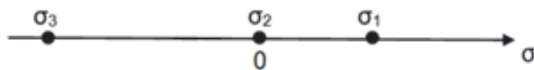
Բարակ հատույթների մեթոդով օգտագործվում է դեֆորմացվող նմուշից dz հեռավորությամբ երկու լայնական հատույթներով անջատված տարրի (նկ. 1) ՀՀ -ն [3, 7]: Նկ.1-ում p_1 -ը կորզանող ուժն է, x_0 -ն և x_1 -ը՝ համապատասխանաբար սկզբնական և վերջնական հաստությունները:

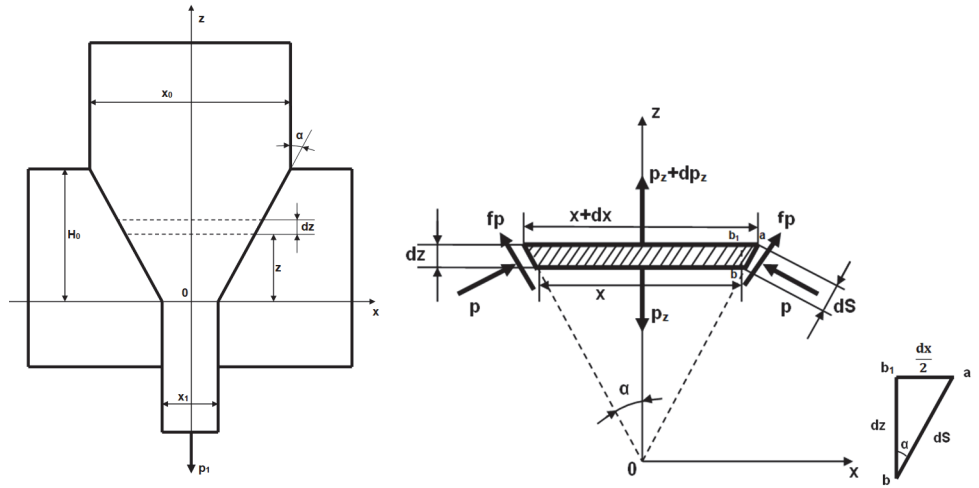
Խնդրի դրվածքը: Խնդիրը լուծելու համար ընդունվում է, որ այդ հատույթներում առանցքային p_z լարումները բաշխված են հավասարաչափ [7], իսկ նմուշի և սեպաձև մամլամայրի հպակային գոտիներում ազդում են նորմալ p և շոշափող $\tau = fp$ լարումներ, որտեղ f -ը շփման գործակիցն է:

Դիտարկվում է կորզանման դեպքում նմուշի պլաստիկ դեֆորմացման այն դեպքը, երբ դրա b լայնության չափը փոփոխական է, այսինքն այդ ուղղությամբ σ_y նորմալ լարումը բացակայում է ($\sigma_y = 0$), և ստացվում է հարթ լարվածային վիճակ: Հետևաբար, սեպի թեքության փոքր անկյունների և նմուշի ու մամլամայրի միջև փոքր շփման գործակիցների դեպքում առաջացած σ_1, σ_2 և σ_3 -ը գլխավոր լարումներն են.

$$\sigma_1 = p_z, \sigma_2 = \sigma_y = 0, \sigma_3 \approx -p, \quad (1)$$

որոնք լարումների առանցքի վրա կդասավորվեն հետևյալ կերպ.





Նկ. 1. Կորզանման գործընթացի պրոյեկցիան y առանցքին ուղղահայաց հարթության մեջ և նմուշի տարրը համապատասխան չափերով ու դրա վրա ազդող լարումներով [7]

Օգտվելով բարակ հատույթի մեթոդից, ըստ նկ. 1-ի սխեմայի՝ $\sum z = 0$, ՀՀ - ն կունենա հետևյալ տեսքը.

$$(p_z + dp_z)(x + dx)b + 2pdSbs\sin\alpha + 2fpdSb\cos\alpha - p_zxb = 0: \quad (2)$$

Ըստ նկ. 1-ի՝ H_0 -ն մամլամայրի սեպաձև մասի բարձրությունն է, z -ը՝ տարրի հեռավորությունը x առանցքից, $dS = dz/\cos\alpha$ -ն՝ մամլամայրի հետ տարրի հավաքյին գոտու չափը, և $dz = (dx/2)\operatorname{ctg}\alpha$:

(2) – ի ձևափոխության ժամանակ առաջացող $dp_z dx$ մեծությունը, որպես երկրորդ կարգի փոքր մեծություն անտեսելով ($dp_z dx \approx 0$), կարող ենք (2) հավասարումը ներկայացնել հետևյալ կերպ.

$$p_z dx + dp_z x + 2pdz\operatorname{tg}\alpha + 2fpdz = 0: \quad (3)$$

x փոփոխականը ներկայացնելով z -ով՝

$$x = x_1 + 2z\operatorname{tg}\alpha, \quad (4)$$

և (3) հավասարումը աստիճանաբար ձևափոխելով՝ կստանանք.

$$\begin{aligned} p_z dx + 2p(dx/2) + 2fp(dx/2)\operatorname{ctg}\alpha &= -dp_z x, \\ dx(p_z + p + fp\operatorname{ctg}\alpha) &= -dp_z x, \\ dx[p_z + p(1 + f\operatorname{ctg}\alpha)] &= -dp_z x, \\ \frac{dp_z}{p_z + p(1 + f\operatorname{ctg}\alpha)} &= -\frac{dx}{x}: \end{aligned} \quad (5)$$

Սկզբում խնդիրը լուծենք հոծ նյութերի դեպքում և ստացված (5) հավասարումը լուծելու համար օգտվենք Ջոնսոնի մոտարկումով ստացված ՊՊ -ից [8]՝

$$\sigma_1 - \sigma_3 = k\sigma_h, \quad (6)$$

որտեղ k -ն հաստատուն է:

Նշենք, որ (6) բանաձևը ճարտարագիտական խնդիրներ լուծելու համար կարելի է համարել ընդհանրացված ՊՊ, քանի որ դրանից $k = 1$ -ի դեպքում ստացվում է Տրեսկա – Սեն-Վենանի ՊՊ -ն, որն արդյունք է Միգեսի ՊՊ -ի մոտարկման:

Հաշվի առնելով (1)-ը՝ կստանանք.

$$p = k\sigma_h - p_z, \quad (7)$$

որտեղ σ_h -ն նյութի հոսունության սահմանն է:

Հաշվի առնելով (6)-ը, (5) հավասարումը ներկայացնենք հետևյալ տեսքով.

$$\frac{dp_z}{p_z fctg\alpha - k\sigma_h(1 + fctg\alpha)} = \frac{dx}{x}.$$

Ստացված դիֆերենցիալ հավասարումը լուծելու համար ինտեգրենք այն հետևյալ հաջորդականությամբ.

$$\begin{aligned} \int \frac{dp_z}{p_z fctg\alpha - k\sigma_h(1 + fctg\alpha)} &= \int \frac{dx}{x}, \\ \int \frac{d[p_z fctg\alpha - k\sigma_h(1 + fctg\alpha)]}{p_z fctg\alpha - k\sigma_h(1 + fctg\alpha)} &= fctg\alpha \int \frac{dx}{x}, \\ \ln[p_z fctg\alpha - k\sigma_h(1 + fctg\alpha)] &= fctg\alpha \cdot \ln(x) + \ln C, \\ \ln[p_z fctg\alpha - k\sigma_h(1 + fctg\alpha)] &= \ln(x)^{fctg\alpha} + \ln C, \\ \ln[p_z fctg\alpha - k\sigma_h(1 + fctg\alpha)] &= \ln(x^{fctg\alpha} \cdot C), \end{aligned} \quad (8)$$

որտեղ C -ն ինտեգրման հաստատունն է:

Կատարելով նշանակում՝ $c = fctg\alpha$ ու տեղադրելով (8)-ի մեջ, կստանանք.

$$cp_z - k\sigma_h(1 + c) = (x)^c \cdot C: \quad (9)$$

Նմուշի սեպաձև մամլամայրում կորզանման դեպքում օգտվենք հետևյալ եզրային պայմանից, երբ $x = x_0$, $p_z = 0$ և (9)-ից որոշենք C ինտեգրման հաստատունը.

$$C = \frac{-k\sigma_h(1+c)}{(x_0)^c}: \quad (10)$$

(10)-ից C - ի արժեքը տեղադրելով (9)-ի մեջ՝ կստանանք ուղղանկյուն հատույթով նմուշի առանցքի ուղղությամբ ձգման լարման p_z -ի որոշման բանաձևը՝ կախված x փոփոխականի արժեքից.

$$cp_z - k\sigma_h(1+c) = \frac{(x)^c}{(x_0)^c} \cdot [-k\sigma_h(1+c)],$$

$$cp_z = \left(\frac{x}{x_0}\right)^c \cdot [-k\sigma_h(1+c)] + k\sigma_h(1+c),$$

$$p_z = k\sigma_h \frac{1+c}{c} \left[1 - \left(\frac{x}{x_0}\right)^c\right]: \quad (11)$$

p_z -ի արժեքը (11)-ից տեղադրելով (6) պլաստիկության պայմանի մեջ՝ կստանանք նմուշի վրա մամլամայրի ազդող նորմալ p ճնշման բանաձևը.

$$p = k\sigma_h \left(1 - \frac{1+c}{c} \left[1 - \left(\frac{x}{x_0}\right)^c\right]\right): \quad (12)$$

Կատարենք p_z , p և σ_y լարումների հետևյալ չափագուրկ նշանակումները՝

$$\overline{p_z} = p_z / \sigma_h, \overline{p} = p / \sigma_h, \overline{\sigma_y} = 0: \quad (13)$$

Համաձայն (13)-ի, ՊՊ (6) ընդունում է հետևյալ տեսքը.

$$\overline{p} = k - \overline{p_z}: \quad (14)$$

Հետևաբար, $\overline{p_z}$ և $\overline{p}$ չափագուրկ լարումները կորոշվեն.

$$\overline{p_z} = k \frac{1+c}{c} \left[1 - \left(\frac{x}{x_0}\right)^c\right], \overline{p} = k \left(1 - \frac{1+c}{c} \left[1 - \left(\frac{x}{x_0}\right)^c\right]\right): \quad (15)$$

Այսպիսով, ստացանք ուղղանկյուն հատությամբ նմուշի կորզանման ժամանակ առաջացած ԼԴՎ չափագուրկ բաղադրիչները, որոնք կիրառելի են ինչպես ցանկացած պլաստիկ դեֆորմացված նյութի, այնպես էլ եռակալված նյութերի դեպքում: Նյութերի իրական p_z և p լարումների որոշման համար բավական է ունենալ դրանց հոսունության սահմանների σ_h արժեքները: Եռակալված նյութերի դեպքում σ_{hv} -ն կախված կլինի նյութի սկզբնական ծակոտկենությունից հետևյալ բանաձևով՝

$$\sigma_{hv} = \sigma_h(1-v)^{n+0.5}, \quad (16)$$

որտեղ σ_h -ը հիմնանյութի հոսունության սահմանն է, իսկ n -ը՝ ծակոտկենության երկրորդ պարամետրը [9]:

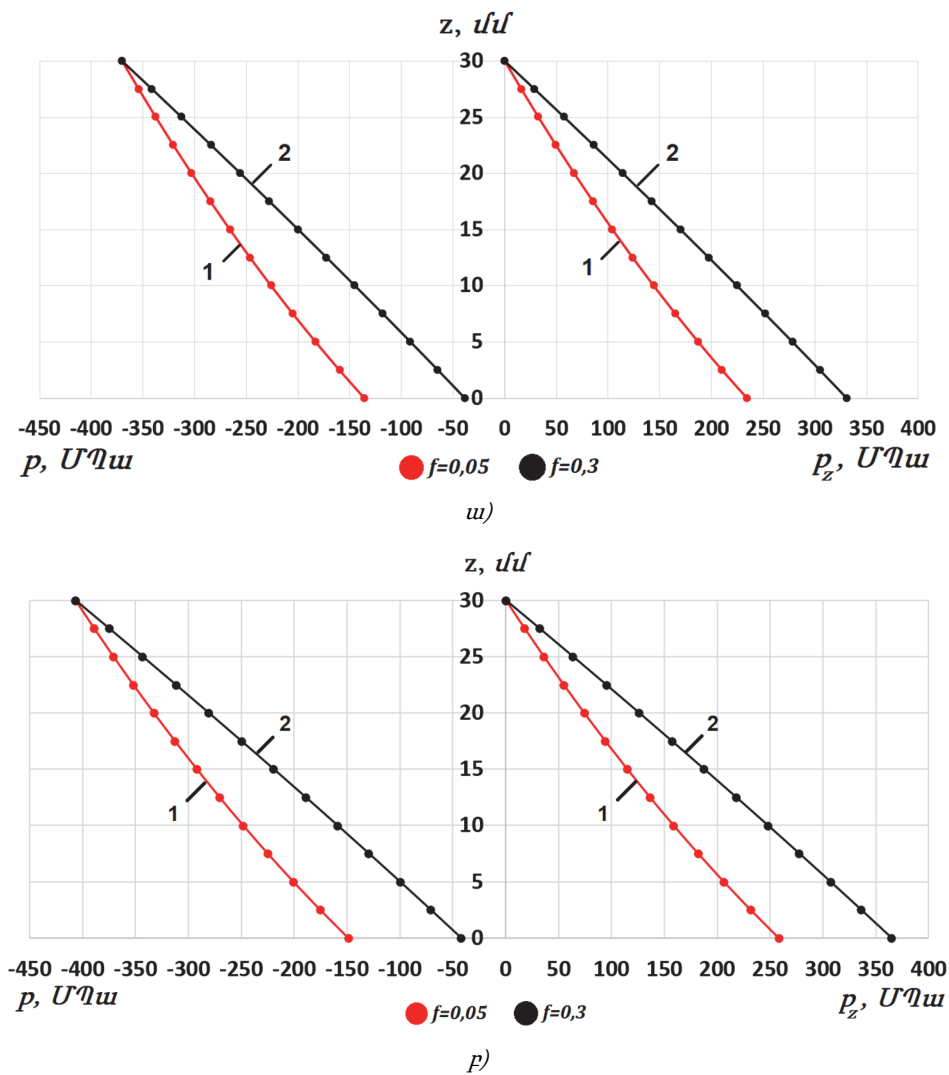
Թվային օրինակ: Ընդունենք՝ $x_1 = 20$ մմ, $H_0 = 30$ մմ (նկ. 2), $f = 0,05$ և $0,3$, $\alpha = 14^\circ$, $k = 1$ և $1,1$, $\sigma_h = 370$ ՄՊա [10], նյութը՝ չկոփված պողպատ 45: Երբ $z = H_0$ ($x = x_0$), (4)-ից կստանանք՝

$$x_0 = x_1 + 2H_0 \operatorname{tg} \alpha: \quad (17)$$

Այժմ, որպեսզի ստանանք ԼԴՎ բաղադրիչների գրաֆիկները, կախված z փոփոխականից (11), (12) բանաձևերը ձևափոխենք՝ օգտվելով (4)-ից ու (17)-ից.

$$p_z = k\sigma_h \frac{1+c}{c} \left[1 - \left(\frac{x_1 + 2ztg\alpha}{x_1 + 2H_0tg\alpha} \right)^c \right], p = k\sigma_h \left(1 - \frac{1+c}{c} \left[1 - \left(\frac{x_1 + 2ztg\alpha}{x_1 + 2H_0tg\alpha} \right)^c \right] \right): \quad (18)$$

Excel ծրագրային միջավայրում ստացված բանաձևերով կատարվել են թվային հաշվարկներ, կազմվել են ԼԴՎ բաղադրիչների բաշխման գրաֆիկները (նկ. 2):



Նկ. 2. Կորզանող և ձևավորող լարումների գրաֆիկները տարբեր հպակային շփման պայմաններում՝ $f = 0,05$ (1 կոր) և $f = 0,3$ (2 կոր), երբ $k = 1$ (ա) և $k = 1.1$ (բ)

Նկ. 2-ից նկատելի է, որ շփման գործակցի աճին համապատասխան կորգանող լարման մեծությունն աճում է, քանի որ կորգանման ուղղությամբ նմուշի նյութի շարժման դիմադրությունը մեծանում է: Ձևավորող լարումների դեպքում՝ հարթ դեֆորմացիոն վիճակում դրանք մամլամայրի մուտքային հատվածում ընդունում են ավելի մեծ արժեքներ, քան հարթ լարվածային վիճակում, որը բացատրվում է նմուշի՝ լայնության ուղղությամբ դեֆորմացվելու հնարավորությամբ:

Այժմ հաշվարկենք նյութում ծակոտկենության բաշխվածությունը: Ուղղանկյուն լայնական հատույթով հոծ և եռակալված նախապատրաստվածքների կորգանման գործընթացի պլաստիկ դեֆորմացման բնութագրերը տարբեր սկզբնական ծակոտկենությունների դեպքում որոշվում են, օգտվելով ԾՆՊԴՏ հայտնի դեֆորմացիաների և լարումների կապի բանաձևից.

$$\varepsilon_z = \frac{3\varepsilon_{eq}}{2(1-\nu_0)^{3n}\sigma_{eq}} [\sigma_z - (1 - 2\nu_0^m)\sigma_0], \quad (19)$$

որտեղ ε_z -ը կորգանման ուղղությամբ դեֆորմացիան է, ε_{eq} և σ_{eq} -ը՝ դեֆորմացիաների և լարումների համարժեքայինները, ν_0 -ն՝ եռակալված նյութի սկզբնական ծակոտկենությունը, σ_z -ը՝ կորգանման լարումը, σ_0 -ն՝ միջին նորմալ լարումը, m -ը և n -ը՝ ծակոտկենության պարամետրերը:

(19) հավասարումից գտնում ենք դեֆորմացիաների համարժեքայինը և հաշվի առնելով (16) -ը՝ ստացվում է.

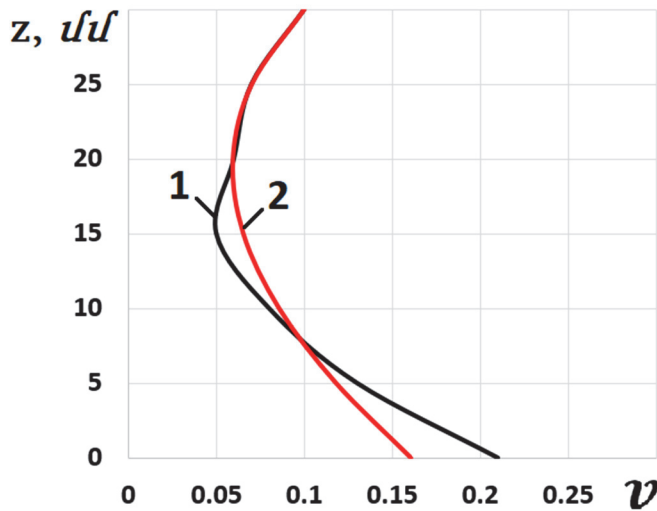
$$\varepsilon_{eq} = \frac{2(1-\nu_0)^{3n}(1-\nu_0)^{n+0.5}\sigma_h\varepsilon_z}{3[\sigma_z - (1-2\nu_0^m)\sigma_0]} = \frac{2(1-\nu_0)^{4n+0.5}\sigma_h\varepsilon_z}{3[\sigma_z - (1-2\nu_0^m)\sigma_0]}. \quad (20)$$

(20) -րդ բանաձևով հաշվարկներ կատարելուց հետո դեֆորմացիաների համարժեքայինի տվյալները տեղադրում ենք ԾՆՊԴՏ ծակոտկենության հաշվարկման բանաձևի մեջ.

$$\nu = 1 - (1 - \nu_0) \exp\left(-\frac{9\nu_0^m\sigma_0\varepsilon_{eq}}{(1-\nu_0)^{3n}\sigma_{eq}}\right). \quad (21)$$

(21) -ով հաշվարկներ կատարելուց հետո կառուցվել են ծակոտկենության բաշխման գրաֆիկները հարթ լարվածային վիճակի դեպքում, և որպես համեմատական բնութագիր ցուցադրվել է նաև հարթ դեֆորմացիոն վիճակում [1] ծակոտկենության բաշխվածության կորը:

Ծակոտկենության բաշխվածությունների (նկ. 3) համեմատական վերլուծություն իրականացնելուց պարզ դարձավ, որ չնայած այն հանգամանքին, որ հարթ դեֆորմացիոն վիճակի դեպքում նյութի սկզբնական 10% ծակոտկենությունը մինչև մամլամայրի բարձրության կեսը ավելի փոքր արժեքներ է ընդունում, հարթ լարվածային վիճակում ծակոտկենությունը մամլամայրի ելքային հատվածում ընդունում է ~16% արժեք, իսկ հարթ դեֆորմացիոն պայմաններում՝ ~21%:



Նկ. 3. Ծակոտկենության բաշխվածության կորերը կորզանման ժամանակ՝ հարթ դեֆորմացիոն վիճակ (1 կոր), հարթ լարվածային վիճակ (2 կոր)

Եզրակացություն. Վերլուծական մեթոդով լուծվել է ուղղանկյուն լայնական հատությամբ նմուշի սեպաձև մամլամայրում կորզանման գործընթացի խնդիրը հարթ լարվածային վիճակում և տարբեր հպակային շփման պայմաններում: Համեմատական ուսումնասիրություն է իրականացվել հարթ լարվածային և դեֆորմացիոն վիճակների խնդիրների լարվածային վիճակի բաղադրիչների միջև, հաշվի առնելով նաև շփման գործակցի փոփոխման ազդեցությունը: Նկատվել է, որ շփման գործակցի աճին համապատասխան կորզանող լարման մեծությունն աճում է, քանի որ կորզանման ուղղությամբ նմուշի նյութի շարժման դիմադրությունը մեծանում է: Ձևավորող լարումների դեպքում՝ հարթ դեֆորմացիոն վիճակում, դրանք մամլամայրի մուտքային հատվածում ընդունում են ավելի մեծ արժեքներ, քան հարթ լարվածային վիճակում, որը բացատրվում է նմուշի լայնության ուղղությամբ դեֆորմացվելու հնարավորությամբ:

Ծակոտկենության բաշխվածությունների համեմատական վերլուծություն իրականացնելուց պարզ դարձավ, որ չնայած այն հանգամանքին, որ հարթ դեֆորմացիոն վիճակի դեպքում նյութի սկզբնական 10% ծակոտկենությունը մինչև մամլամայրի բարձրության կեսը ավելի փոքր արժեքներ է ընդունում, հարթ լարվածային վիճակում ծակոտկենությունը մամլամայրի ելքային հատվածում ընդունում է ~16% արժեք, իսկ հարթ դեֆորմացիոն պայմաններում՝ ~21%:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Гурьянов Г.Н.** Методы определения коэффициента трения при волочении круглого сплошного профиля // Заводская лаборатория. Диагностика материалов.- 2016.- Том 82, №8.- С. 60-68.
2. Численное моделирование и исследование влияния контактного трения на распределение температурных полей и напряженно-деформированное состояние в стальной проволоке при высокоскоростном волочении / **М.Н. Верещагин, Ю.Л. Бобарикин, М.Ю. Целуев, А.В. Веденеев, О.И. Игнатенко** // Литье и металлургия.- 2009.- №4 (53).- С. 126-129.
3. **Պետրոսյան Գ.Լ., Դավթյան Ա.Հ.** Ուղղանկյուն հատույթով եռակաված նմուշի սեպաձև մամլամայրում կորզանման գործընթացի հետազոտումը // ՀԱՊՀ-ի Լրաբեր.- Երևան, 2020.- Մաս 2.- էջ 295-304:
4. **Петросян Г.Л., Давтян А.А.** Компьютерное моделирование процессов волочения сплошного и спеченного образцов прямоугольного сечения в клиновидной матрице // Вестник НПУА: Механика, Машиноведение, Машиностроение.- Ереван, 2020.- №1.- С. 37-47.
5. **Դավթյան Ա.Հ.** Սեպաձև մամլամայրում ուղղանկյուն հատույթով նմուշի կորզանման համակարգչային մոդելավորումը սեպի տարբեր թեքությամբ անկյունների դեպքում // ՀԱՊՀ -ի Լրաբեր.- Երևան, 2021.- Մաս 1.- էջ 90-99:
6. **Петросян Г.Л., Давтян А.А.** Исследование напряженно-деформированного состояния процессов волочения спеченных образцов прямоугольного сечения в клиновидных матрицах различных наклонов комбинированным методом // Международный сборник научных трудов ДонНТУ: Прогрессивные технологии и системы машиностроения.- Донецк, 2021.- №4 (75).- С. 69-79.
7. **Hosford W.F., Caddell R.M.** Metal forming mechanics and metallurgy.- Cambridge, 2007.- 312p.
8. **Джонсон У., Меллор П.Б.** Теория пластичности для инженеров. - М.: Машиностроение, 1979.- 567 с.
9. **Петросян Г.Л.** Пластическое деформирование порошковых материалов.- М.: Металлургия, 1988.- 153с.
10. **Феодосьев В.И.** Сопротивление материалов: Учебник для вузов.- М.: Наука, 1986.- 512с.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան, «ՔԵՆՏԷ» սինթրոտրոնային հետազոտությունների ինստիտուտ, «Մամլիչ-ՆԿ» ՍՊԸ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 16.12.2022:

Г.Л. ПЕТРОСЯН, А.А. ДАВТЯН, Г.Р. КЕСОЯН

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ
ОБРАЗЦОВ В ПЛОСКОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ ПРИ
РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ КОНТАКТНОГО ТРЕНИЯ**

В плоском напряженном состоянии аналитическим методом исследованы компоненты напряженного состояния процесса волочения образца прямоугольного сечения в клиновидной матрице при различных условиях контактного трения. Используя метод тонких сечений, получены формулы напряжений волочения и формирующих напряжений напряженного состояния, которые в безразмерном виде применимы как для сплошных, так и для спеченных материалов. С помощью численного расчета проведен сравнительный анализ задач плоского напряженного состояния и плоского деформированного состояния.

Ключевые слова: клиновидная матрица, образец прямоугольного сечения, волочение, спеченный материал, плоское напряженное состояние, контактное трение.

G.L. PETROSYAN, A.H. DAVTYAN, G.R. KESoyAN

**INVESTIGATING THE DRAWING PROCESS OF RECTANGULAR
SAMPLES IN A FLAT STRESS STATE UNDER VARIOUS CONDITIONS
OF CONTACT FRICTION**

In the flat stress state, the components of the stress state of the drawing process of a rectangular cross-section sample in a wedge-shaped die under various conditions of contact friction are analytically investigated. Using the method of thin sections, formulas of drawing stresses and forming stresses of the stress state are obtained, which, in the dimensionless form, are applicable for both solid and sintered materials. With the help of numerical calculation, a comparative analysis of the problems of a flat stress state with a flat deformation state is also carried out.

Keywords: wedge-shaped die, rectangular section sample, drawing, sintered material, flat stress state, contact friction.