ISSN 0002-306X. ՀԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղ. Տեխն. գիտ. սերիա. 2018. Հ. LXXI, N3.

*Հ*SԴ 621.762, 620.10

ՄԵՔԵՆԱՇԻՆՈՒԹՅՈՒՆ

Ն.Գ. ՀԱԿՈԲՅԱՆ

ՏԱՐԲԵՐ ԾԱԿՈՏԿԵՆՈՒԹՅԱՄԲ ԵՌԱԿԱԼՎԱԾ, ԾՌՄԱՆ ԵՆԹԱՐԿՎԱԾ ՇԵՐՏԵՐԻ ՇՐՋԱՆԱՅԻՆ ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Դիտարկվել է եռակալված նյութից տարբեր ծակոտկենությամբ շերտերի մաքուր ծռումը հարթ դեֆորմացման պայմաններում։ Օգտագործվել են ծակոտկեն նյութերի պլաստիկության դեֆորմացիոն տեսության հավասարումների համարժեքային լարման և շառավղային լարումով արտահայտված շրջանային լարման ընդհանուր բանաձները։ Մտացվել են տարբեր ծակոտկենությամբ նյութերի հոսունության սահմանների արժեքները և շրջանային լարումների որոշման բանաձները, ինչպես նաև կառուցվել են ծակոտկենությունից կախված դրանց գրաֆիկները։

Առանցքային բառեր. պլաստիկ մաքուր ծռում, եռակալված շերտ, ծակոտկենություն, հարթ դեֆորմացում, շրջանային լարումներ։

Հոծ նյութից թերթի ծռումը հարթ դեֆորմացման պայմաններում (նկ. 1) դիտարկված է [1,2]-ում, որտեղ նյութն ընդունվում է կոշտ-պլաստիկ։ Որոշված են չեզոք շերտի շառավիղը և լարումները` ձգված ու սեղմված գոտիներում։ Կոշտպլաստիկ ամրացումով նյութի դեպքում թերթի ծռման խնդիրը լուծված է [1]-ում։ Կիրառված են Հուբեր–Միզեսի և Տրեսկա-Մեն–Վենանի պլաստիկության պայմանները, և թվային հաշվարկները կատարվել են [1]-ի մեթոդով։

[2]-ում դիտարկված են մաքուր ծռման ենթարկված լայն շերտի *s* – հաստությամբ, *R*_w - արտաքին, *R*_b - ներքին և *r*₂ – չեզոք մակերևույթների միջև գոյություն ունեցող տարբեր կապակցությունները. շերտի նյութի ամրացման բացակայության և առկայության, ինչպես նաև պլաստիկ դեֆորմացման գոտու առաջացման և ընդարձակման դեպքերը։ [2]-ում առանձնահատուկ ուշադրություն է դարձվել շրջանային և շառավղային լարումների որոշմանը, դրանց գրաֆիկների կառուցմանը և վերլուծմանը։ Ընդ որում, շրջանային և շառավղային լարումների բանաձևերը համընկնում են [1]-ում բերված թերթի ծոման բանաձևերին։

[3]-ում մշակվել և լուծվել է էներգետիկ պլաստիկության պայմանի օգտագործմամբ նեղ շերտի մաքուր ծռման խնդիրը։ Հաստատվել է շրջանային և շառավղային լարումների բաշխումը շերտի հատույթում` կախված վերլուծական բանաձևով արտահայտված շերտի կորության շառավղի պարամետրերից։ Ներառվել է չեզոք անկյուն հասկացությունը, և ստացվել է չեզոք անկյան կապի բանաձևը ներքին և արտաքին կորության շառավղների հարաբերությունից, ինչպես նաև կապ է հաստատվել չեզոք շառավղի և չեզոք անկյան միջն։ Որոշվել են ներքին և արտաքին կորության շառավիղների հարաբերության թույլատրելի սահմանները։ Բերվել է չեզոք մակերևույթի տեղափոխության գործակից հասկացությունը, կառուցվել է այդ գործակցի կախվածության գրաֆիկը շերտի հաստությունից։ Կատարվել է նշված չափերով շերտի լարվածային վիճակի հաշվարկ էներգետիկ և առավելագույն շոշափող լարումների պլաստիկության չափանիշների օգտագործմամբ։ Հաստատվել է, որ որոշ կետերում շրջանային լարումների այս պլաստիկության պայմանով ստացված արժեքների տարբերությունը հասնում է 13%-ի։



Նկ.1. Մաքուր ծոման ենթարկված լայն շերտի սխեման

[4]-ում դիտարկվել է եռակալված չամրացվող նյութից լայն շերտի մաքուր ծռումը հարթ դեֆորմացման պայմաններում։ Ծակոտկեն նյութերի պլաստիկության դեֆորմացիոն տեսության (ԾՆՊԴՏ) հավասարումներից համարժեքային լարման բանաձևի հիման վրա [5] ստացվել է σ_r շառավղային լարումով արտահայտված σ_{θ} շրջանային լարումների որոշման բանաձևը։ Նախ ուսումնասիրվել է հոծ նյութի շերտի մաքուր ծռման խնդիրը։ Գնահատվել են գլխավոր լարումների մեծությունները, որոնք առաջանում են հարթ դեֆորմացված շերտերի ձգման և սեղմման գոտիներում։ Բերվել են շրջանային և շառավղային չափազուրկ լարումների, ինչպես նաև տարբեր նյութերի դեպքում դրանց մեծությունների բանաձևերը։

Առաջին դեպքում ընդունվել է, որ հոծ նյութի նման` եռակալված շերտի շրջանային լարման որոշման համար կարելի է օգտագործել դրա հոսունության սահմանը` կախված նյութի ծակոտկենությունից։ Դրա համար օգտագործվում է ԾՆՊԴՏ համարժեքային լարման բանաձևը։ Ցույց է տրվել, որ ծակոտկեն նյութերի հոսունության սահմանը՝ y_{հv}-ն, արտահայտվում է ծակոտկենության երկրորդ ֆունկցիայով և ունի հետևյալ տեսքը՝

$$\sigma_{h\nu} = \sigma_h \cdot \beta^{n+0.5},\tag{1}$$

որտեղ σ_{b} -ը հոծ նյութի հոսունության սահմանն է, β -ն՝ ծակոտկենության երկրորդ ֆունկցիան, n-ը՝ ծակոտկեն նյութի մեխանիկական հատկությունները հոծ նյութի հատկությունների բերման պարամետրը։

Երկրորդ դեպքում, բացի համարժեքային լարման բանաձևից, օգտագործվում են նաև հարթ դեֆորմացման պայմանը և ԾՆՊԴՏ դեֆորմացման ու լարումների միջև կապի բանաձևը, որոնք թույլ են տալիս համարժեքային լարումը ներկայացնել շրջանային և շառավղային լարումներով։ Դրա արդյունքում ստացվում է շրջանային լարման քառակուսային հավասարում, որի լուծումով շրջանային լարման բանաձևը ներկայացվում է հետևյալ տեսքով.

$$\sigma_{\theta} = \frac{-\sigma_r (2\alpha^{2m} + \alpha^m - 1) \pm (\alpha^m + 1) \sqrt{-12\sigma_r^2 \alpha^m (\alpha^m + 1) + \sigma_r^2 (4\alpha^{2m} + 5\alpha^m + 1)(2\beta^{n+0.5})^2/3}}{(4\alpha^{2m} + 5\alpha^m + 1)}, (2)$$

որտեղ α -ն ծակոտկենության առաջին ֆունկցիան է, m-ը` նյութի իրական ծակոտկենության պարամետրը։

Նշենք, որ գրականության մեջ չկան տվյալներ տարբեր ծակոտկենությամբ շերտերի ծոման վերաբերյալ։ Հետևաբար, այդ հիմնախնդիրների լուծումները բավականին արդիական են։

Աշխատանքի նպատակն է ստանալ գործնականում մեծ կիրառություն ունեցող տարբեր ծակոտկենությամբ նյութերի հոսունության սահմանների և շրջանային լարումների որոշման բանաձևերը։

Տարբեր ծակոտկենությամբ նյութերի σ_{hv} հոսունության սահմանների որոշման համար օգտագործվում են (1) բանաձևը, ծակոտկենության պարամետրերի արժեքները և պարզագույն ծակոտկենության ֆունկցիաները՝ n = 0,25, m = 1 և $\alpha_0 = v = v_0, \beta = 1 - v$: Այդ դեպքում (1) – ը կընդունի հետևյալ տեսքը՝

$$\sigma_{h\nu} = \sigma_h \cdot \beta^{n+0.5} = \sigma_h (1-\nu)^{0.75}$$
(3)

Տալով շերտի հիմնանյութի (նյութի հոծ մասի) հոսունության սահմանի արժեքը, (3) – ով կորոշենք տվյալ ծակոտկեն նյութի ծակոտկենությամբ արտահայտված *տ_{ռ v}* հոսունության սահմանների լարումները։

Որպես օրինակ $\sigma_h = 200 U \eta u$ - ի դեպքում կունենանք.

$$\sigma_{h\ 0} = 200, \sigma_{h\ 5\%} = 193, \sigma_{h\ 10\%} = 185, \sigma_{h\ 15\%} = 177,$$

$$\sigma_{h\ 20\%} = 169, \sigma_{h\ 25\%} = 161, \sigma_{h\ 30\%} = 153 U^{\text{A}}uv.$$
(4)
243

(4)-ում բերված տվյալների հիման վրա կառուցվել է $\sigma_{h\,v}\ -\ v$ գրաֆիկը (նկ.2)։



Նկ. 2. σ_{h v} հոսունության սահմանների լարումները՝ արտահայտված նյութի ծակոտկենությամբ

(4)-ի տվյալները հնարավորություն կտան (2) - ով ստանա
լ σ_{θ} — ի համար հետևյալ բանաձևերը.

$$\sigma_{\theta \ 0} = \sigma_r \pm \sqrt{200^2 \cdot 4/3} = \sigma_r \pm 231,$$

$$\sigma_{\theta \ 5\%} = 0.746\sigma_r \pm 0.83\sqrt{62224 - 0.63\sigma_r^2},$$

$$\sigma_{\theta \ 10\%} = 0.570\sigma_r \pm 0.71\sqrt{70125 - 1.32\sigma_r^2},$$

$$\sigma_{\theta \ 15\%} = 0.438\sigma_r \pm 0.63\sqrt{76903 - 2.07\sigma_r^2},$$

$$\sigma_{\theta \ 20\%} = 0.330\sigma_r \pm 0.55\sqrt{82426 - 2.88\sigma_r^2},$$

$$\sigma_{\theta \ 25\%} = 0.250\sigma_r \pm 0.50\sqrt{86667 - 3.75\sigma_r^2},$$

$$\sigma_{\theta \ 30\%} = 0.180\sigma_r \pm 0.45\sqrt{89324 - 4.68\sigma_r^2};$$

Աղյուսակում բերված են շերտի լայնական AC հատույթում σ_r և σ_{θ} լարումների արժեքները տարբեր սկզբնական v_0 ծակոտկենությունների դեպքերում, երբ $R_w = 80 \iota u, R_b = 40 \iota u, r_s = \sqrt{R_w R_b} = 56,57 \iota u.$

Աղյուսակ

80 75 70 65 60 56.57 56.57 55 50 **4**5 40 r -231,2 231,2 216,0 200,4 183,2 164,8 151,2 -311,2 -282,6 258,4 $\sigma_{\theta \, v_0 = 0}$ -304,6 -15,3 -66,4 -80,0 -80,0 -73,6 -51,6 -27,2 0 $\sigma_{r\,v_0=0}$ 0 -30,8 -48,0 209,9 198,9 172,9 157,6 145,87 261,34 -257,7 -244,5 -228,8 -209,9 186,7 $\sigma_{\theta v_0=0.05}$ 0 0 14,35 -29,64 -46,2 -63,9 -76,98 -76,98 -70,82 -49,65 -26,17 $\sigma_{r v_0 = 0.05}$ 193 184,7 175,3 164,1 151,14 140,9 -225,4 -223,5 -216,2 -206,2 -193 $\sigma_{\theta v_0=0.1}$ 0 -13,8 -28,5 -61,4 -73,9 -47,7 -25,2 0 $\sigma_{r\,v_0=0.1}$ -44,4 -73,9 -68,0 178,8 171,9 165,1 153,6 141,2 135,9 197,9 -197,3 -194,1 -187,9 -178,7 $\sigma_{\theta v_0=0.15}$ 0 14,35 -27,26 -46,2 -63,9 -70,82 70,82 -65,15 -46,7 -24,07 0 $\sigma_{r v_0 = 0.15}$ 166,3 161,7 155,8 148,3 138,9 131,04 -176,4 -176,15 -175,7 172,56 -166,3 $\sigma_{\theta v_0=0.2}$ 0 0 12,62 -26,05 -40,6 56,16 -67,67 -67,67 -62,25 -43,64 -23,01 $\sigma_{r v_0 = 0.2}$ 155,3 151,8 147,2 141,03 133,01 126,07 -158,3 -159,1 160,38 -159,3 -155,3 $\sigma_{\theta v_0=0.25}$ 0 0 12,03 -24,82 -38,7 -53,52 -59,32 -21,92 $\sigma_{r v_0 = 0.25}$ -64,48-64,48 -41,6 145,25 142,7 139,1 134,01 127,9 121,06 -143,3 -144,52 -147,14 -147,6 -145,25 $\sigma_{\theta v_0=0.3}$ 0 0 11,42 -23,57-36,73-50,81 -61,22 -61,22 -56,32 -39,48 -20,81 $\sigma_{rv_0=0.3}$

 \mathcal{C} եрипի լшуնшијши AC hшипијрпи d σ_r h σ_{θ} լшрпи d h ph шр d h ph b m ph ph u h q ph ши и v_0 δ шијпи h h h и ph ph ph u h ph ph ph h m ph h = 200 U m u, $\alpha_0 = v_0$, $\beta = 1 - v = 1 - v_0$, m = 1, n = 0,25

Աղյուսակի մգացված տվյալների հիման վրա կառուցվել է շրջանային լարման ծակոտկենությունից կախման σ_{θ} – v գրաֆիկը, որտեղ *A*-ով նշված են ձգված լարումների մեծագույն արժեքները (նկ.1, $R_{uu} = 80 uu, 30\%$ սկզբնական ծակոտկենության դեպքում, σ_{θ} -ի մեծությունը հոծ նյութի դեպքում փոքրացել է 37,2%-ով), B_1 -ով՝ չեզոք շերտում ձգված լարումների փոքրագույն արժեքները ($r_{z} = 56,57 uu,$ այս դեպքում σ_{θ} -ի մեծությունը հոծ նյութի դեպքում փոքրացել է 20%-ով), B_2 -ով՝ չեզոք շերտում սեղմված լարումների փոքրագույն արժեքները ($r_{z} = 56,57 uu,$ այս դեպքում՝ 54%-ով) և *C*-ով՝ սեղմված լարումների մեծագույն արժեքները ($R_{u}=40 uu,$ այս դեպքում՝ 37,2%-ով):

Աղյուսակի չմգացված սյուների արժեքները համապատասխանում են տվյալ ծակոտկենության տվյալներին, օրինակ՝ 5% ծակոտկենության դեպքում դրանք գտնվում են նկ.3-ում նշված *ab* և *cd* միջակայքում։



 U_{μ} . 3. Շրջանային լարման ծակոտկենության կախման σ_{θ} – v գրաֆիկը

Եզրակացություն. Ծակոտկեն նյութերի պլաստիկության դեֆորմացիոն տեսության հավասարումների համարժեքային լարման և շառավղային լարումով արտահայտված շրջանային լարման ընդհանուր բանաձների հիման վրա մշակվել է շերտի լարվածային վիճակի բաղադրիչների որոշման ալգորիթմ։ MathCad ծրագրային միջավայրում կատարվել են թվային հաշվարկներ հոծ, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% և 30% ծակոտկենությամբ շերտերի շառավղային և շրջանային լարումների որոշման համար, ինչպես նաև նշված ծակոտկենությունների դեպքում որոշվել են հոսունության սահմանների մեծությունները։ Ստացված նյութերի հոսունության սահմանների մեծությունները։ Ստացված նյութերի հոսունության սահմանների և շրջանային լարումների որոշման բանաձների հիման վրա կառուցվել են ծակոտկենությունից կախված գրաֆիկները, և կատարվել է դրանց վերլուծությունը։ Ցույց է տրվել, որ նյութի ծակոտկենության առկայության դեպքում դրանց բացարձակ արժեքները փոքրանում են։ Ընդ որում, *A* կորը, 30% սկզբնական ծակոտկենության դեպքում, հոծ նյութի դեպքում փոքրացել է 37,2%-ով, *B*₁ կորը՝ 20%-ով, *B*₂՝ 54%-ով, *C*-ն՝ 37.2%- ով։

Ուշագրավ է, որ նկ.3-ում տարբեր ծակոտկենությամբ նյութերի և շերտերի հաստության ցանկացած կետերի σ_{θ} շրջանային լարումների բոլոր արժեքները գտնվում են գրաֆիկի մգացված տիրույթներում։

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

- 1. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. -М.: Машиностроение, 1975. - 399с.
- 2. Сторожев М.Б., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. -М.: Машиностроение, 1977. -423с.
- 3. **Молтасов А.В., Мотрунич С. И.** Исследование чистого изгиба полосы при больших деформациях на основании энергетического критерия пластичности/ИЭС им. Е.О. Патона, НАН Украины. - Киев, Украина, 2014.- С.152-158.
- 4. Петросян Г.Л., Акопян Н.Г., Левонян Г.Л. Исследование напряженного состояния изогнутой спеченной широкой полосы//Вестник НПУА: Механика, Машиноведение, Машиностроение.- 2018.-N 1.- С. 9-17.
- 5. **Петросян Г.Л.** Пластическое деформирование порошковых материалов.- М.: Металлургия, 1988. -153с.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան։ Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 22.06.2018։

Н.Г. АКОПЯН

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОКРУЖНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ СПЕЧЕННОЙ ПОЛОСЫ С РАЗЛИЧНОЙ ПОРИСТОСТЬЮ, ПОДВЕРГНУТОЙ ИЗГИБУ

Рассматривается чистый изгиб полосы из спеченного неупрочняющегося материала в условиях плоской деформации. Используются эквивалентное напряжение деформационной теории пластичности пористых материалов и общее уравнение окружных напряжений, выраженных радиальными напряжениями. Получены величины пределов текучести материалов с различными пористостями и формулы для определения окружных напряжений, а также построены их графики в зависимости от пористости.

Ключевые слова: пластический чистый изгиб, спеченная полоса, пористость, плоская деформация, окружные напряжения.

N.G. AKOBYAN

THE PACULIARITIES OF DEFINING THE CIRCUMFERENTIAL STRESS OF A SINTERED STRIP WITH VARYING POROSITY

A pure bending of a strip of sintered non-reinforced material under the conditions of planar deformation is considered. The equivalent stress of the deformation theory of plasticity of porous materials and the general equations of circumferential stress expressed by radial stresses are used. The boundary values of various porous materials and the formulae for determining the circumferential stresses, as well as their graphs depending on the porosity are plotted.

Keywords: plastic pure bending, sintered strip, porosity, flat deformation, circumferential stresses.