

**G.L. PETROSYAN, M.A. MARGARYAN, H.H. KHACHATRYAN,
H.G. PETROSYAN**

**MODELING THE PROCESS OF HOT EXTRUSION OF THE THIN-WALLED
SINTERED TUBE IN A CONICAL MATRIX IN THE AUTOMATED
SOFTWARE ENVIRONMENT ABAQUS**

The process of hot extrusion of a sintered thin-walled pipe is modeled in the environment "ABAQUS". According to the used method: at first, in the ASE, modeling of the deformation of the pipe by the scheme of a solid material for various initial wall thicknesses and densities is carried out. From the obtained numerous data on the stress-strain state scheme, only various cases of deformation of the pipe are analyzed, compiled by the data of the zones of equivalent plastic deformation.

Keywords: thin-walled tube, hot extrusion, sintered material, equivalent plastic deformation.

ՀՏԴ 621.762, 620.10

Ա.Ղ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

**ԿԼՈՐ ՀԱՏՈՒՅԹՈՎ ՆՄՈՒՇԻ ԶԳՄԱՆ ՏԱՐԲԵՐ ԱՍՏԻՃԱՆՆԵՐՈՒՄ ՆՅՈՒԹԻ
ԾԱԿՈՏԿԵՆՈՒԹՅԱՆ ԲԱՇԽՄԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ**

Որոշվել են կլոր հատույթով նմուշի վրա մինչև վզիկի առաջանալը և դրանից հետո վզիկի փոքրագույն հատույթի տարբեր կետերում նյութի ծակոտկենության արժեքները: Ստացված թվային տվյալները ցույց են տալիս, որ նմուշի վտանգավոր կետը վզիկի փոքրագույն հատույթի կենտրոնն է, որտեղից սկսվում է նմուշի քայքայումը: Կատարվել է համեմատություն գրականության մեջ առկա տվյալների հետ:

Առանցքային բառեր. ծակոտկենություն, համասեռ դեֆորմացիա, վզիկ, կլոր հատույթով նմուշ, ծավալային լարվածային վիճակ, նյութի դեֆորմացման գրաֆիկ:

Ներածություն: Կլոր հատույթով նմուշների առանցքային ձգման փորձարկումը նյութի մեխանիկական հատկությունների որոշման ամենակարևոր մեթոդն է: Սակայն առանցքային ձգման ժամանակ նմուշի համասեռ դեֆորմացումը կատարվում է միայն պայմանական փոքր պլաստիկ դեֆորմացիաների դեպքում՝ մինչև նմուշի վրա վզիկի առաջանալը, որից հետո փոխվում է նմուշի լարվածային վիճակը. այն միառանցքայինից դառնում է եռառանցքային, տեղի է ունենում լարումների համակենտրոնացում, և խնդրի լուծումը բավականին բարդանում է: Վզիկի ամենափոքր հատույթի տեղամասում առաջ են գալիս պլաստիկ մեծ դեֆորմացիաներ, հոծ նյութում եղած սկզբնական միկրոծակոտկենությունը մեծանում է, ոչ մետաղական մասնիկների (ներխառնուկների) մեջ առաջանում են լրացուցիչ ծակոտիներ, որոնք միմյանց միանալով՝ գոյացնում են ճաքեր, և նմուշը քայքայվում է:

Աշխատանքի նպատակն է որոշել նյութի ծակոտկենության փոփոխությունը կլոր հատույթով նմուշում՝ դրա վրա մինչև վզիկի առաջանալը և դրանից հետո:

Խնդիրը լուծվում է երկու փուլով: Սկզբում հոծ նյութերի դասական պլաստիկության տեսության հիման վրա լուծելով խնդիրը՝ որոշվում են լարվածադեֆորմացիոն վիճակի բաղադրիչները, այնուհետև, օգտագործելով այդ տվյալները, ծակոտկեն նյութի պլաստիկության դեֆորմացիոն տեսության (ԾՆՊԴՏ) ծակոտկենության որոշման բանաձևով [1] ստացվում են ծակոտկենության արժեքները նմուշի համասեռ դեֆորմացման տարբեր աստիճաններում և վզիկի ամենափոքր լայնական հատույթի տարբեր կետերում:

Խնդրի լուծումը հոծ նյութի դասական պլաստիկության տեսության հիման վրա իրականացվում է նյութի դեֆորմացման գրաֆիկի որոշակի արժեքի համար, որը կհամապատասխանի նյութի սկզբնական ծակոտկենության արժեքին: Օրինակ, հոծ նյութից նմուշի առանցքային ձգման դեպքում խնդիրը լուծվում է՝ ընդունելով, որ նյութի v_0 -ն շատ փոքր մեծություն է, ասենք՝ $v_0=0,01$ կամ 1%: Այնուհետև ստացված լարվածադեֆորմացիոն վիճակների բաղադրիչների տվյալների հիման վրա, օգտագործելով ԾՆՊԴՏ-ն նյութի ծակոտկենության որոշման բանաձևը, մինչև վզիկի առաջանալը կորոշենք նյութի ծակոտկենության փոփոխված արժեքները նմուշի դեֆորմացման տարբեր աստիճաններում և վզիկ առաջանալիս՝ ծակոտկենության բաշխումը վերջինիս ամենափոքր լայնական հատույթի տարբեր կետերում:

Մինչև վզիկի առաջանալը նմուշից անջատված տարրի վրա ազդում է լարումների հիմնական բաղադրիչը՝ նմուշի z առանցքի ուղղությամբ ազդող σ_z լարումը, իսկ մյուս՝ շառավղային σ_r և շրջանային σ_t լարումները բացակայում են.

$$\sigma_z = F/A, \quad \sigma_r = \sigma_t = 0, \quad (1)$$

հետևաբար՝ σ_i - լարումների ինտենսիվությունը՝

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad (2)$$

կունենա հետևյալ տեսքը՝

$$\sigma_i = \sigma_z = F/A, \quad (3)$$

որտեղ F -ը նմուշի դեֆորմացման տվյալ աստիճանում ձգող ուժն է, A -ն՝ դրա լայնական հատույթի մակերեսը, $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ -ը՝ գլխավոր լարումները:

Վզիկի առաջանալուց հետո դրա ամենափոքր լայնական հատույթում առաջանում է ծավալային լարվածային վիճակ, որի լարումները, համաձայն [2]-ի, որոշվում են հետևյալ բանաձևերով՝

$$\sigma_z = \sigma_i \left(1 + \frac{r_{10}^2 - r^2}{2r_{10}\rho} \right), \quad \sigma_r = \sigma_t = \sigma_i \frac{r_{10}^2 - r^2}{2r_{10}\rho}, \quad (4)$$

որտեղ r_{10} և r -ը վզիկի լայնական հատույթի փոքրագույն և դրա ընթացիկ հաստություններն են, ρ -ն՝ վզիկի եզրագծի կորության շառավիղը:

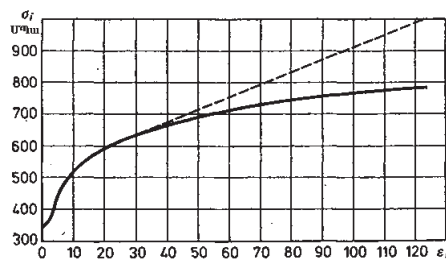
Այդ դեպքում լարումների ինտենսիվությունը որոշվում է [2]

$$\sigma_{in} = \frac{(\sigma_z)_m}{1 + (r_{10}/(4\rho))} \quad (5)$$

բանաձևով, որտեղ

$$(\sigma_z)_m = \frac{F}{\pi r_{10}^2} : \quad (6)$$

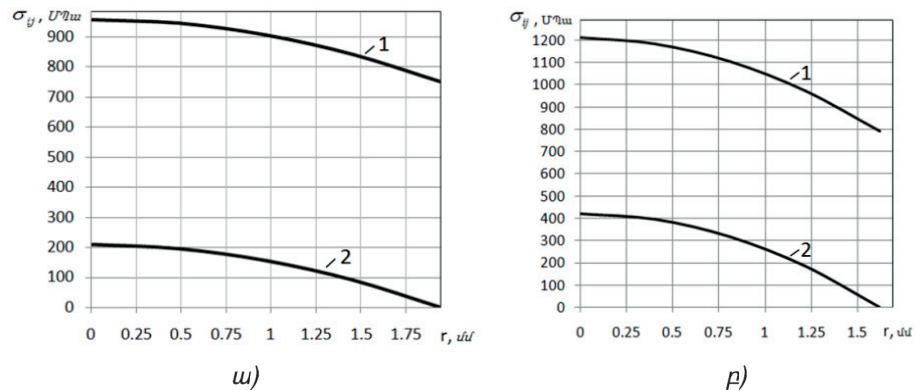
Խնդիրը լուծվում է քայլերի հետևյալ հաջորդականությամբ. սկզբում կառուցվում է դեֆորմացիայի և միջին լարման կապի գրաֆիկը, որը մինչև նմուշի քայքայումը մոտարկվում է ուղիղ գծով, ուստի դրա կառուցման համար բավական է որոշել միջին լարումը քայքայման պահին՝ $(\sigma_z)_m = \frac{F_p}{A_p}$ և դրան համապատասխան լուգարիթմական դեֆորմացիաների ինտենսիվությունը $\bar{\varepsilon}_l = \ln \frac{A_0}{A_p}$, որտեղ $F_p - p$ և A_p -ը՝ քայքայման պահի ուժը և լայնական հատույթի մակերեսն են, իսկ A_0 -ն՝ նմուշի հատույթի սկզբնական մակերեսը: Որպեսզի գրաֆիկը կառուցվի ավելի ճշգրիտ, նպատակահարմար է որոշել միջին լարումը և համապատասխան դեֆորմացիաները՝ մի քանի այլ կետերի համար: Վերը նկարագրված մեթոդով [3]-ում կառուցվել է պողպատ 20Г2-ի դեֆորմացման գրաֆիկը՝ առանց առաձգական դեֆորմացիայի հաշվառման (նկ. 1):



Նկ. 1. Պողպատ 20Г2-ի դեֆորմացման գրաֆիկը [3]

Նկ. 2-ում ցույց են տրված վզիկի ամենափոքր հատույթում (4) բանաձևով ստացված առանցքային (1 կորերը) և միմյանց հավասար շրջանային ու շառավղա-

յին (2 կորերը) լարումների բաշխման գրաֆիկները սկզբնական 6.0մմ տրամագծով 20Г2 պողպատից պատրաստված նմուշների դեֆորմացման տարբեր աստիճաններում. ա) $\bar{\varepsilon}_i = 0.87$, $r_{10} = 1.94mm$, $\rho = 3.50mm$, բ) $\bar{\varepsilon}_i = 1.23$, $r_{10} = 1.62mm$, $\rho = 1.52mm$: Ընդ որում, նմուշի դեֆորմացման աստիճանի որոշման համար օգտագործվել է $\bar{\varepsilon}_i = \ln(A_0/A)$ բանաձևը, իսկ ρ -ի արժեքները վերցված են [3]-ում բերված փորձարարական տվյալներից:



Նկ. 2. Նմուշի վզիկի փոքրագույն հատույթում (4) բանաձևով ստացված առանցքային (1 կորերը) և միմյանց հավասար շրջանային ու շառավղային (2 կորերը) լարումների բաշխման էպյուրները՝ նմուշի դեֆորմացման տարբեր աստիճաններում

Ինչպես տեսնում ենք, նմուշի դեֆորմացման աստիճանի մեծացման հետ մեծանում է նաև լարումների բաշխման անհամասեռությունը: Նշենք նաև, որ այդ արդյունքները հնարավորություն են տալիս հոծ նյութերի համար բավականին մեծ ճշտությամբ կառուցել նյութի դեֆորմացման գրաֆիկը:

Այժմ որոշենք նյութի ծակոտկենության փոփոխված արժեքները նմուշի դեֆորմացման տարբեր աստիճաններում և վզիկ առաջանալիս՝ ծակոտկենության բաշխումը վերջինիս ամենափոքր լայնական հատույթի տարբեր կետերում: Դրա համար օգտագործում ենք ԾՆՊԴՏ-ն նյութի ν ընթացիկ ծակոտկենության որոշման հետևյալ բանաձևը [2].

$$\nu = 1 - (1 - \nu_0) \exp \left(- \frac{9\nu_0^m \sigma_0 \varepsilon_i}{(1 - \nu_0)^{3n} \sigma_i} \right), \quad (7)$$

որտեղ $\sigma_0 = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$ –ն միջին լարումն է, ν_0 -ն՝ նյութի սկզբնական ծակոտկենությունը, m և n -ը՝ ծակոտկենության պարամետրերը:

Համասեռ դեֆորմացիայի դեպքում $\sigma_0 = \sigma_z/3 = \sigma_i/3$, հետևաբար՝ ծակոտկենության որոշման բանաձևը այս դեպքում կունենա հետևյալ տեսքը՝

$$\nu = 1 - (1 - \nu_0) \exp\left(-\frac{3\nu_0^m \varepsilon_i}{(1 - \nu_0)^{3n}}\right); \quad (8)$$

Օգտվելով նկ. 1-ի տվյալներից՝ կունենանք σ_i -ի և ε_i -ի արժեքները համասեռ դեֆորմացման մի քանի կետերում, որին համապատասխան կորոշենք ծակոտկենության արժեքները մինչև վզիկի առաջանալը:

Նյութի ծակոտկենության մեծացման արժեքները մինչև վզիկի առաջանալը (աղ. 1) և նմուշի քայքայման ժամանակ վզիկի տարբեր կետերում որոշվել են (աղ. 2 և 3) հետևյալ տվյալների դեպքում. $m=1$, $n=0,25$, $\nu_0 = 0.01$:

Աղյուսակ 1

Նյութի ծակոտկենության որոշման տվյալները
համասեռ դեֆորմացման դեպքում

ε_i	σ_i , ՄՊա	ν
0.1	510	0.013
0.2	600	0.016
0.3	645	0.019

MS EXCEL ծրագրային միջավայրում մուտքագրված բանաձևն ունի հետևյալ տեսքը.

1. համասեռ դեֆորմացման դեպքում (մինչև վզիկի առաջանալը)՝

$$\nu = 1 - (1 - D4) * \exp(-(3 * \text{POWER}(D4, B4) * O4) / (\text{POWER}(1 - D4, 3 * C4))),$$

2. վզիկի առաջանալուց հետո՝

$$\nu = 1 - (1 - C2) * \exp(-(9 * \text{СТЕПЕНЬ}(C2; A2) * F2 * E2) / (\text{СТЕПЕНЬ}(1 - C2; 3 * B2) * D2));$$

Աղյուսակ 2

Նյութի ծակոտկենության որոշման տվյալները,
երբ $r_{10}=1.94$, $m=1$, $n=0,25$, $\nu_0 = 0.01$

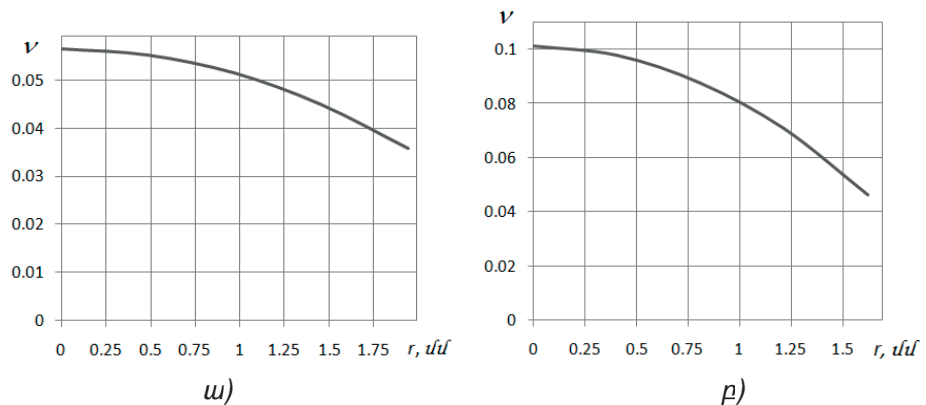
r_{10} , մմ	σ_z , ՄՊա	$\sigma_r = \sigma_\theta$, ՄՊա	σ_ϕ , ՄՊա	ν
0	958	208	458	0.057
0.485	945	195	445	0.055
0.97	906	156	406	0.051
1.455	841	91	341	0.045
1.94	750	0	250	0.036

Աղյուսակ 3

Նյութի ծակոտկենության որոշման
տվյալները, երբ $r_{10}=1.62$, $m=1$, $n=0,25$, $\nu_0 = 0.01$

r_{10} մմ	σ_z ՄՊա	$\sigma_r = \sigma_\theta$ ՄՊա	σ_θ ՄՊա	ν
0	421	1211	684	0.101
0.405	395	1185	658	0.098
0.81	316	1106	579	0.088
1.215	184	974	448	0.071
1.62	0	790	263	0.046

Տվյալները որոշված են վզիկի համապատասխանաբար $r = 1.94$ մմ և $r = 1.62$ մմ փոքրագույն հատույթի կետերում, ընդ որում, առաջին դեպքում $\varepsilon_i = 0.87$, $\sigma_i = 750$ ՄՊա, իսկ երկրորդ դեպքում՝ $\varepsilon_i = 1.23$, $\sigma_i = 790$ ՄՊա: Դրանց հիման վրա կառուցվել է նմուշի վզիկի ամենափոքր լայնական հատույթում նյութի ծակոտկենության բաշխման գրաֆիկը (նկ.3):



Նկ. 3. Ծակոտկենության բաշխման գրաֆիկը վզիկի փոքրագույն հատույթում՝
ա) $r_{10}=1.94$, բ) $r_{10}=1.62$

Ստացված տվյալների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ նմուշի վտանգավոր կետը գտնվում է վզիկի ամենափոքր լայնական հատույթի կենտրոնում, որտեղ 1% սկզբնական ծակոտկենությունը դարձել է $\approx 9\%$:

Այսպիսով, որոշել է նյութի ծակոտկենության փոփոխությունը կլոր հատույթով նմուշում մինչև դրա վրա վզիկի առաջանալը և դրա առաջանալուց հետո: Թվային օրինակի լուծման հիման վրա որոշվել են նմուշի համասեռ դեֆորմացման տարբեր աստիճաններում ծակոտկենության արժեքները, ինչպես նաև կառուցվել է նմուշի վզիկի ամենափոքր լայնական հատույթում նյութի ծակոտկենության բաշխման գրաֆիկը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Петросян Г.Л., Петросян А.Г., Левонян Г.Л.** Усовершенствование инженерного метода использования формулы для определения пористости спеченных материалов// Материалы секции “Наука и технологии будущего” Международного конгресса, посвященного 160-летию со дня рождения выдающегося русского инженера В.Г. Шухова, 17-18 апреля 2014 года. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015.- С. 211-217.
2. **Петросян Г.Л.** Пластическое деформирование порошковых материалов. - М.: Металлургия, 1988. - 153 с.
3. **Малинин Н.Н., Петросян Ж.Л.** Напряжения в наименьшем сечении шейки растянутого круглого образца // Известия вузов. Сер. Машиностроение. – 1967. - № 6. - С. 34-39.

Ա.Կ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРИСТОСТИ ОБРАЗЦА КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ В РАЗНЫХ СТЕПЕНЯХ РАСТЯЖЕНИЯ

Получены значения пористости материала в образце круглого сечения до и после появления шейки в различных точках наименьшего поперечного сечения шейки. Полученные численные данные показывают, что опасная точка образца находится в центре наименьшего поперечного сечения шейки, откуда и начинается разрушение образца. Дается сравнение полученных результатов с имеющимися экспериментальными данными, определена пористость образца после его деформирования.

Ключевые слова: пористость, однородная деформация, шейка, образец круглого сечения, напряженное состояние, диаграмма деформации материала.

A.G.H. KARAPETYAN

INVESTIGATING THE DISTRIBUTION OF THE CIRCULAR CROSS-SECTION SAMPLE POROSITY OF DIFFERENT DEGREES OF EXTENSION

The material porosity values in the circular cross-section sample before the neck, and after the occurrence of the neck at different points of the smallest cross-section of the neck are obtained. The numerical data show that the dangerous point of the sample is in the center of the smallest cross-section of the neck, at which the sample's destruction starts. The obtained results are compared with the available experimental data, the porosity of the sample after its deformation is determined.

Keywords: porosity, homogeneous deformation, neck, sample of circular cross-section, stress state, strain diagram of the material.