

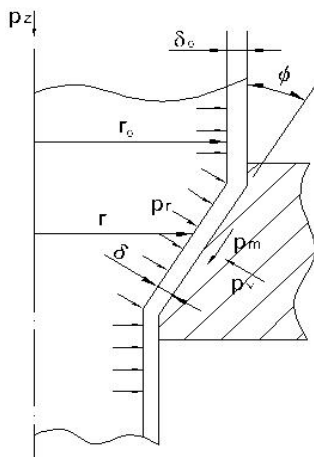
Գ.Լ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Հ.Հ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Վ.Գ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

ԱՐՏԱՔԻՆ ՓԱՓՈՒԿ ՇԵՐՏՈՎ ԵՐԿՄԵՏԱՂԱԿԱՆ ՁՈՂԻ ՄԱՍԼՄԱՆ
ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳԶԱՅԻՆ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՈՒՄ

Օգտագործվել են ժամանակակից ծրագրային փաթեթներ՝ MATHCAD, MS EXCEL և ABAQUS. Որոշվել են երկմետաղական ձողի մամլման գործընթացի իրականացման համար անհրաժեշտ պարամետրերի սկզբնական արժեքները, երբ ձողի միջուկը համեմատաբար ավելի ամուր է, քան արտաքին շերտը : Ուսումնասիրվել են մամլման լոնական մասում ձողի լարվածային վիճակի բաղադրիչների մեծությունների փոփոխության օրինաչափությունները և կատարվել է ստացված արդյունքների վերլուծություն:

Առանցքային բառեր. երկմետաղական ձող, կոնական մամլման, լարվածային վիճակ, համակարգչային մոդելավորում:

Կոնական մամլման երկմետաղ ձողերի մամլման գործընթացը (նկ. 1) լայն կիրառություն ունի արդյունաբերության մեջ: Կոնական մամլման երկմետաղ ձողերում դժվար դեֆորմացվող նյութերից պատրաստված նախամատրաստվածքների մամլման ժամանակ աշխատանքային մեծ մամլող ուժերի առկայության պատճառով տեղի է ունենում գործիքի



Նկ. 1. Մամլման գործընթացի գծապատկերը

արագ մաշում և մամլվածքի քայքայում: Տեխնոլոգիական գործընթացի տարբեր պարամետրերի (կոնականության անկյուն, դեֆորմացման ջերմաստիճան, գործընթացի արագություն, հպակային պայմաններ և դեֆորմացման աստիճան) ընտրությամբ հնարավոր է կառավարել մամլման գործընթացը՝ ցածրացնել գործիքի մաշումը և բարձրացնել մամլվածքի որակը: Հետազոտությունները ցույց են տալիս [1], որ նշված պարամետրերից հպակային պայմանների կարգավորմամբ (փոքրացնելով մետաղի շփումը գործիքի հետ) կարելի է հասնել նախապատրաստվածքի՝ ինչպես դեֆորմացիոն վիճակի անհամասեռության պակասեցման, այնպես էլ դեֆորմացվող ուժերի էական փոքրացման: Դա բացատրվում է հետևյալ կերպ. միջուկի լայնական հատույթի կենտրոնում շոշափող լարումները

բացակայում են, դրանք աստիճանաբար մեծանում են հատույթի շառավղի մեծացմանը զուգընթաց և հասնում են մեծագույն արժեքին միջուկի եզրում (մամլման մոտ): Ստեղծված յուղի շերտը նպաստում է շոշափող լարման մեծագույն արժեքների փոքրացմանը և, իհարկե, նաև լայնական հատույթի բոլոր կետերի լարումների և մետաղի դեֆորմացման անհամասեռության փոքրացմանը, ինչը բարձրացնում է գործիքի կայունությունը: Այսպիսով, յուղման հետևանքով մամլման ուժերը գրեթե ամբողջությամբ յուղի

շերտի միջոցով ծախսվում են օգտակար աշխատանքի վրա պահանջվող դեֆորմացման մակարդակ ստանալու համար, ինչը հանգեցնում է դեֆորմացվող մետաղի պլաստիկ հատկությունների լրիվ օգտագործման [1]:

[2]-ում արտաքին փափուկ շերտով (կապարից) երկմետաղական խողովակների կալակավոր մամլման փորձարարական հետազոտությունների արդյունքները ցույց են տալիս, թե ինչպես կապարի արտաքին շերտը փակում է միջուկի բոլոր ազատ մակերևույթները՝ ստեղծելով հիդրոմամլման էֆեկտ:

[3]-ում կատարվել է տեխնոլոգիական գործընթացում կարևոր նշանակություն ունեցող բարակապատ մետաղական թաղանթի մեջ դրված ծակոտկեն ձողերի մամլման գործընթացին նվիրված աշխատանքների վերլուծություն և, չամրացող միջուկի համար օգտագործելով ծակոտկեն նյութերի հոսունության տեսության բանաձևերը, հետազոտվել են երկմետաղի բաղադրիչների լարվածադեֆորմացիոն վիճակները: Սակայն [1-3] և այլ աշխատանքների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ մամլման գործընթացի վերաբերյալ բազմաբնույթ խնդիրներ դեռ ուսումնասիրված չեն, և այդ հետազոտություններում քիչ են օգտագործված ժամանակակից համակարգչային տեխնոլոգիաներ:

Նշենք որ կոնական մամլամայրում երկմետաղական ձողեր մամլելիս հնարավոր են երկու դեպքեր. ա) երբ ձողի միջուկը համեմատաբար ավելի փափուկ է, քան արտաքին շերտը և բ) հակառակը: Առաջին դեպքը բարակ հատույթների մեթոդով ուսումնասիրված է [4]-ում, որտեղ վերլուծական եղանակով ստացվել են գործընթացի լարվածային վիճակը բնութագրող բաղադրիչները երկմետաղական ձողի միջուկի և արտաքին շերտի համար:

Աշխատանքի նպատակն է՝ որոշել երկմետաղական ձողի մամլման գործընթացի իրականացման համար անհրաժեշտ պարամետրերի սկզբնական արժեքները և ուսումնասիրել մամլամայրի կոնական մասում ձողի լարվածային վիճակն արտահայտող մեծությունների փոփոխության օրինաչափությունները, երբ այդ ձողի միջուկը համեմատաբար ավելի ամուր է, քան արտաքին շերտը:

Երկմետաղական ձողի մամլման գործընթացը բնութագրող գծապատկերից (նկ. 1) երևում է, որ երկմետաղը բաղկացած է միջուկից (որի սկզբնական շառավիղը r_0 է՝ ընթացիկը՝ r) և արտաքին շերտից (որի սկզբնական հաստությունը δ_0 է՝ ընթացիկը՝ δ): Միջուկը դիտարկում ենք որպես ձող, որի համար [2]-ում դուրս է բերված առանցքային ճնշման (p_z) փոփոխության հետևյալ բանաձևը.

$$dp_z = 2(Bp_z + (1+B)\sigma_{hl})dr/r, \quad (1)$$

որտեղ $B = f \cdot ctg\varphi$: Բարակ հատույթների մեթոդի ընդունելություններից է շառավղային և անկյունային լարումների հավասարությունը՝ $p_r = p_\theta$, որոնց համար Հուբեր-Միզեսի պլաստիկության պայմանից ստանում ենք.

$$p_r = p_z + \sigma_{hl}, \quad (2)$$

որտեղ σ_{hl} - ը միջուկի նյութի հոսունության սահմանն է:

Արտաքին շերտի բարակության և շոշափող լարումների փոքրության պատճառով ընդունվում է, որ գլխավոր լարումներն են. միջօրեական՝ σ_m , շրջանային՝ σ_θ և խողովակի մակերևույթին նորմալ շառավղային՝ $\sigma_r = -p_r$ [3] լարումները: Այդ դեպքում, պլաստիկության հոսունության տեսության հիման վրա,

σ_m -ի փոփոխության համար ստացվում է հետևյալ արտահայտությունը.

$$d\sigma_m = dr/r [c_1\sigma_\theta - c_2rp_r/\delta - \sigma_m(1 + rd\delta/\delta dr)], \quad (3)$$

որտեղ

$$c_1 = 1 + 2f \operatorname{ctg} \varphi / (2r + \delta \cos \varphi), \quad c_2 = f(2r - \delta \cos \varphi) / (2r + \delta \cos \varphi) \sin \varphi:$$

$d\delta$ արտաքին շերտի հաստության փոփոխությունը և σ_θ շրջանային լարումը որոշվում են

$$d\delta = -\delta(2p_r + \sigma_\theta + \sigma_m)dr/r(2\sigma_\theta - \sigma_m + p_r), \quad (4)$$

$$\sigma_\theta = (\sigma_m - p_r - Q)/2 \quad (5)$$

բանաձևերով, որտեղ

$$Q = \sqrt{4\sigma_{h2}^2 - 3\sigma_m^2 - 3p_r^2 - 6p_r\sigma_m} : \quad (6)$$

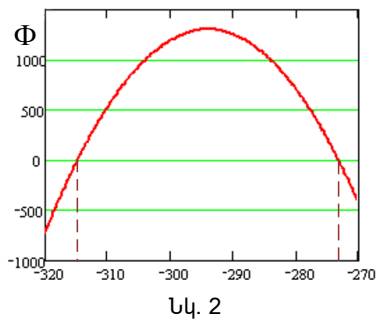
(6) արտահայտությունում Q -ի իրական արժեք ստանալու համար անհրաժեշտ է, որ արմատատակ արտահայտության դրական անդամները (1-ինը և 4-րդը) ավելի մեծ լինեն, քան բացասականները (2-րդը և 3-րդը): [1]-ում նկարագրված դեպքում $\sigma_{h1} \ll \sigma_{h2}$, հետևաբար, (2)-ից հետևում է, որ $p_r \ll \sigma_{h2}$: Այս դեպքում Q -ի արմատատակ արտահայտության 1-ին և 4-րդ անդամների գումարը հիմանականում շատ ավելի մեծ է ստացվում, քան 2-րդը և 3-րդը միասին:

Դիտարկվող խնդրում, այսինքն, երբ երկմետաղական ձողի միջուկը զգալիորեն ավելի ամուր է, քան արտաքին շերտը՝ $\sigma_{h1} \gg \sigma_{h2}$ և, հետևաբար, $p_r \ll \sigma_{h2}$, (6)-ում արմատատակ արտահայտության 1-ին և 4-րդ դրական անդամները միշտ չէ, որ մեծ են 2-րդ և 3-րդ բացասական անդամներից: Այսպիսով, ստացվում է հետևյալ անհավասարությունը.

$$\Phi = 4\sigma_{h2}^2 - 3\sigma_m^2 - 3p_r^2 - 6p_r\sigma_m \geq 0: \quad (7)$$

Բարակ հատույթների մեթոդով երկմետաղական խնդիրը լուծելիս առաջին հերթին ստանում ենք միջուկի պարամետրերը, այսինքն, մինչև (6) արտահայտությանը հասնելը մեզ արդեն հայտնի են լինում միջուկի ճնշումը արտաքին շերտին՝ p_r -ը և σ_{h2} -ը, որը ունենք սկզբնական տվյալներից: Այսպիսով, (7) պայմանը բավարարելու համար ստանում ենք σ_m -ից կախված քառակուսի անհավասարություն, որի լուծման արդյունքում կստանանք σ_m -ի արժեքների այն միջակայքը, որոնց դեպքում Q -ի արժեքները կլինեն իրական:

Հաշվարկները կատարվել են երկմետաղ ձողի համար, որի արտաքին շերտը կապար է՝ $\sigma_{h1} = 18 \text{ ՄՊա}$, իսկ միջուկը՝ արույր՝ $\sigma_{h2} = 200 \text{ ՄՊա}$: Միջուկի սկզբնական շառավիղը՝ $r = 10 \text{ մմ}$, արտաքին շերտի հաստությունը՝ $\delta = 2 \text{ մմ}$, մամլամայրի կոնականության անկյունը՝ $\varphi = 15^\circ$: Թաղանթի բարակության պատճառով ընդունվել է, որ երկմետաղի շերտերի և արտաքին շերտի ու մամլամայրի միջև շփման գործակիցները հավասար են և տվյալ դեպքում ընդունվել են հավասար 0,1-ի: Նշված սկզբնական արժեքներին և եզրային պայմաններին համապատասխան σ_m -ի արժեքների միջակայք գտնելու համար դիտարկվել է (6)-ի՝

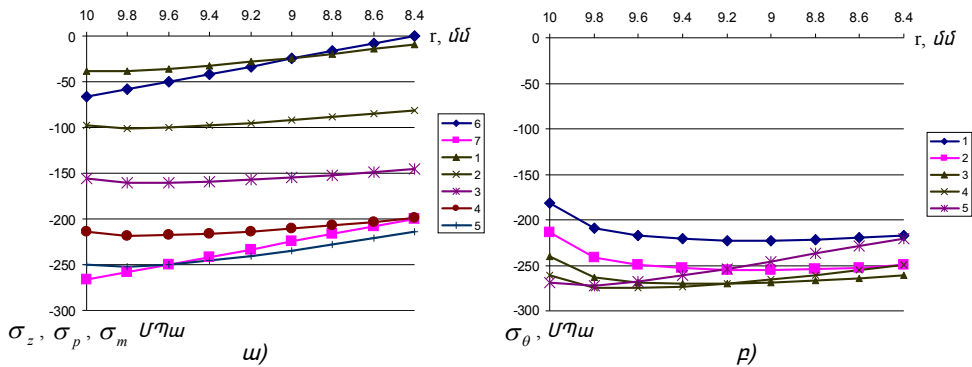


իրական արմատներ ունենալու պայմանը: MATHCAD ծրագրային փաթեթի հիման վրա կառուցվել է Φ -ի կախվածության գրաֆիկը σ_m -ից (նկ. 2):

Երկմետաղական ձողի մամլման խնդիրը լուծվել է MS EXCEL ծրագրի օգնությամբ, որը հնարավորություն է տալիս արդյունքները ներկայացնել մատչելի տեսքով (նկ.3) և անհրաժեշտության դեպքում նույն հաշվարկները շատ արագ կատարել շփման տարբեր

գործակիցների մեծությունների և երկմետաղական նախապատրաստվածքի չափերի համար:

Ցույց են տրվում արտաքին բարակ շերտի (թաղանթի) նյութի հոսունության սահմանի՝ $\sigma_{h2} = 200, 150, 100, 50$ և 18 ՄՊա արժեքների դեպքերում երկմետաղի լարվածային վիճակի բաղադրիչների բախշման գրաֆիկները կոնական մամլամայրի բարձրությունից (կամ երկմետաղի r շառավղից) կախված, երբ $f = 0,01$, $\delta = 2$ մմ (նկ.3):



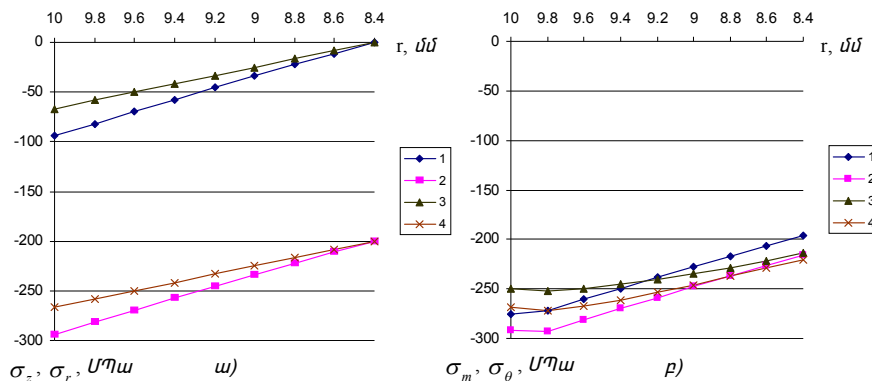
Նկ.3. Երկմետաղի միջուկի եւ արտաքին շերտի լարումների բաշխման գրաֆիկները տարբեր σ_{h2} -ի դեպքում, երբ $f=0,01$, $\delta = 2$ մմ (1-5 - σ_m և σ_θ , 6- σ_z , 7- $\sigma_\theta = \sigma_r$)

Գրաֆիկից (նկ. 3) երևում է, որ թաղանթի σ_{h2} - ի փոքրացմամբ σ_m - ի արժեքները մեծանում են (նկ. 1 ա, համապատասխանաբար 1-5 կորերը) և կորն աստիճանաբար մոտենում է ամենամեծ սեղմող արժեքներ ունեցող σ_θ - ի կորերի խմբին (նկ. 1 բ, 1-5 կորեր): Քանի որ այդ կորերի խմբում է նաև միջուկի $\sigma_{01} = \sigma_{r1}$ - կորը (նկ. 1 ա, 7), ապա փոքր σ_{h2} - ների դեպքերում թաղանթը կենթարկվի մոտավորապես մամլամայրի բարձրությամբ եռառանցք հավասարաչափ սեղմման:

Ցույց են տրված շփման գործակիցների՝ $f_1=0,1$ և $f_2=0,01$ արժեքների դեպքերում երկմետաղի լարվածային վիճակի բաղադրիչների բախշման գրաֆիկները՝ r -ից կախված (համապատասխանաբար 1,2 և 3,4 կորերը), երբ

$\sigma_{h2} = 18 \text{ ՄՊա}$, $\delta = 2 \text{ մմ}$ (նկ. 4):

Ստացված արդյունքները ցույց են տալիս, որ շփման փոքրացման դեպքում. ա) միջուկի σ_z և σ_r լարումների բացարձակ արժեքները փոքրանում են, բ) թաղանթի σ_m և σ_θ լարումների բացարձակ արժեքները մամլամայրի կոնական մասի մոտի մոտ ($r = 10 \text{ մմ}$) փոքրանում են, իսկ ելքի մոտ ($r = 8,4 \text{ մմ}$)՝ նեծանում: Այսինքն, շփման փոքրացման դեպքում ևս մոտավորապես եռառանցք հավասարաչափ սեղմման պայմաններ են ստեղծվում թաղանթի համար:



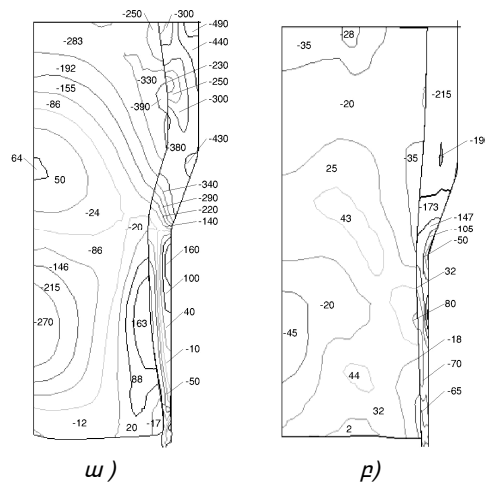
Նկ.4. Երկմետաղի միջուկի եւ արտաքին շերտի լարումների բաշխման գրաֆիկները տարբեր f -ի դեպքում, երբ $\sigma_{h2} = 18 \text{ ՄՊա}$, $\delta = 2 \text{ մմ}$ (1,3 - σ_z , σ_r և 2,4 - σ_m , σ_θ)

Ինչ վերաբերում է թաղանթի պատի հաստության (δ) փոփոխությանը՝ r -ից կախված, ապա այն տարբեր սկզբնական հաստությունների դեպքում տարբեր կերպով է արտահայտվում. ա) $\delta = 2 \text{ մմ}$ - ի դեպքում, երբ $\sigma_{h2} = 18 \text{ ՄՊա}$ և $f = 0,1$, δ - ն սկզբում 3% - ով մեծանում է և, աստիճանաբար փոքրանալով, մնում է սկզբնականից մեծ (1%) , բ) $\delta = 2 \text{ մմ}$ - ի դեպքում, երբ $\sigma_{h2} = 18 \text{ ՄՊա}$ և $f = 0,01$, δ -ն սկզբում 1,4% - ով մեծանում է և, արագ փոքրանալով, սկզբնականից շատ բարակում է (10,5%) , գ) $\delta = 1 \text{ մմ}$ - ի դեպքում, երբ $\sigma_{h2} = 18 \text{ ՄՊա}$ - ի և $f = 0,01$ δ -ն սկզբում չնչին՝ 0,55% - ով մեծանում է և արագ փոքրանալով սկզբնականից շատ բարակում է (4,5%), իսկ, երբ $\sigma_{h2} = 18 \text{ ՄՊա}$ և $f = 0,1$, խնդրի լուծումը չի իրականանում: Դա բացատրվում է թաղանթի պատի հաստության 0 - ի հավասարվելով:

Խնդիրը մոդելավորվել է նաև ABAQUS [5] ծրագրային միջավայրում, որը համակարգչային ավտոմատ նախագծման բնագավառի առաջատար համակարգերից մեկն է: Նշված ծրագրային փաթեթը, որի հիմքում ընկած է վերջավոր տարրերի մեթոդը, ներառում է նյութերի պլաստիկ դեֆորմացման գործընթաց բնութագրող բոլոր բաղադրիչները, ինչպես նաև հաշվի է առնում խնդրի մոդելավորման համար անհրաժեշտ բոլոր ժամանակակից մեթոդները: Ընդունվել է,

որ մամլամայրը և մամլամատը բացարձակ կոշտ են: Երկմետաղի միջուկի և արտաքին շերտի համար նյութերը և չափսերը ներմուծվել են բարակ հատույթների մեթոդի տվյալներին համապատասխան: Ի տարբերություն վերջինիս, խնդրի լուծումն իրականացվել է ոչ միայն մամլամայրում, այլ նաև նրա վերևի (կոնտեյներ) և ներքևի (չափաբերող) մասերում: Խնդրի առանձնահատկությունները հաշվի առնելով՝ ընտրվել է CAX4R վերջավոր տարրը [5]: Որոշվել են երկմետաղի լարվածադեֆորմացիոն վիճակի բոլոր բաղադրիչների (մասնավորապես՝ առանցքային, շրջանային, շառավղային և շոշափող լարումների, ինչպես նաև լարումների ինտենսիվության) բաշխվածության առանձնահատկությունները նախապատրաստվածքի բարձրության բոլոր տեղամասերում:

Նշենք, որ երկմետաղի մամլման վերաբերյալ ստացված համալիր տվյալների այդպիսի քանակության վերլուծությունն ունի կարևոր նշանակություն և ներկայացվելու է հետագա աշխատանքներում: Քննարկենք միայն տարբեր շփման գործակիցների համար ($f_1 = 0,1$ և $f_2 = 0,01$) միջուկի առանցքային՝ σ_z և թաղանթի միջօրեական՝ σ_m լարումների բաշխվածության պատկերները (տեսքերը)՝ երկմետաղում ձգող լարումների առաջացման տեսանկյունից (նկ. 5):



Նկ. 5. Առանցքային σ_z լարումների բաշխման գոտիները երկմետաղական ձողի մամլման դեպքում, ըստ ABAQUS-ի՝ ա - $f = 0,1$; բ - $f = 0,01$

Նկ. 5-ից երևում է՝

ա) $f_2 = 0,01$ - ի դեպքում թաղանթի բոլոր σ_m - երը բացասական են (բացառությամբ չափաբերող մասի փոքր շերտի), իսկ $f_1 = 0,1$ - ի դեպքում չափաբերող մասում գտնվող երկմետաղի արտաքին շերտի դրական լարումների գոտին բավականին մեծ է,

բ) $f_2 = 0,01$ - ի դեպքում, միջուկի կոնական մասի առանցքից սկսած լայն գոտիով մինչև չափաբերող մասի վերջը արտաքին մակերևույթով սահմանափակված, անընդհատ դրական են, իսկ $f_2 = 0,1$ - ի դեպքում, այդ դրական լարումների գոտին մեջտեղից ընդհատվում է և փոքրանում: Կոնական մասի մեջտեղում և չափաբերող արտաքին մակերևույթում դրական լարումների մեծությունները համապատասխանաբար ստանում են 64 և 163 ՄՊա արժեքները:

Մեր կարծիքով, նշված գոտիներում դրական σ_z լարումների առկայությամբ կարելի է բացատրել նաև նախապատրաստվածքների կենտրոնական մասերում և արտաքին մակերևույթում փորձնականորեն հայտնաբերված ճաքերը [1]: Նշենք, որ [1]-ում ճաքերի առաջացումը բացատրվում է միայն շոշափող լարումների ազդեցությամբ:

Այսպիսով, կատարվել է արտաքին փափուկ շերտով երկմետաղական ձողի մամլման գործընթացի համակարգչային մոդելավորում՝ օգտագործելով ժամանակակից հետևյալ ծրագրային փաթեթները՝ MATHCAD, MS EXCEL և ABAQUS. Որոշվել են երկմետաղական ձողի մամլման գործընթացի իրականացման համար անհրաժեշտ պարամետրերի սկզբնական արժեքները, երբ ձողի միջուկը համեմատաբար ավելի ամուր է, քան արտաքին շերտը: Ուսումնասիրվել են մամլամայրի կոնական մասում ձողի լարվածային վիճակն արտահայտող մեծությունների փոփոխության օրինաչափությունները և կատարվել է ստացված արդյունքների վերլուծություն:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Колпашников А.И.** и др. Горячее гидропрессование металлических материалов. - М.: Машиностроение, 1977. - 270 с.
2. **Mamalis A.G., Petrosyan G.L., Manolakos D.E., Safaryan M.B., Petrosyan H.G.** Investigation of Bimetallic Tubes Manufacturing Processes in Cases of Different Conditions of Contact Between Layers // Modern Problems of Deformable Bodies Mechanics, Collection of Papers. - Yerevan, 2005. - P.155-163.
3. **Петросян Г.Л.** Пластическое деформирование порошковых материалов. - М.: Металлургия, 1988. - 153 с.
4. **Խաչատրյան Հ.Հ.** Փափուկ նյութից միջուկով երկմետաղ ձողերի մամլման գործընթացի հետազոտումը // ՀՊՀՀ տարեկան գիտաժողով. - Երևան, 2005.- էջ 416-418:
5. **ABAQUS, Inc.** ABAQUS Theory Manual. - 2004. - 841 p.

ՀՊՀՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն՝ 11.04.2006:

Г.Л. ПЕТРОСЯН, Г.Г. ХАЧАТРЯН, В. Г. ПЕТРОСЯН

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРЕССОВАНИЯ
БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТЕРЖНЕЙ С МЯГКИМ ВНЕШНИМ СЛОЕМ**

Использованы современные пакеты программ MATHCAD, MS EXCEL и ABAQUS. Определены величины необходимых начальных параметров для осуществления процессов прессования биметаллического стержня, когда сердцевина стержня сравнительно прочнее внешнего слоя. Изучены закономерности изменения величин компонентов напряженно-деформированного состояния стержня в конической части матрицы и приведен анализ полученных данных.

Ключевые слова: биметаллический стержень, коническая матрица, напряженное состояние, компьютерное моделирование.

G.L. PETROSYAN, H.H. KHACHATRYAN, V.G. PETROSYAN

**COMPUTER MODELLING OF BIMETALLIC BAR PRESSING PROCESS
WITH SOFT EXTERNAL LAYER**

The modern packet program MATHCAD, MS EXCEL and ABAQUS are used. The core of bimetallic bar is relatively stronger than the external layer. The values of necessary initial parameters for realizing the bar pressing process are determined. The value change laws of stress-strain components in conical die are stated and the obtained data analysis is given.

Keywords: bimetallic rod, conical die, stress state, computer modelling.