

Գ.Լ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Հ.Ս. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Մ.Ա. ՄԱՐԳԱՐՅԱՆ, Ա.Ա. ԲԱԲԱՅԱՆ
ԵՌԱԿԱԼ ՎԱԾ ԱՍՏԻՃԱՆԱԶԵՎ ԿԼՈՐ ԶՈՂԻ ԱՐՏԱՄՂՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ
ԴԵՖՈՐՄԱՑԻՈՆ ՎԻՃԱԿԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳՉԱՅԻՆ ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ

Մոդելավորվել է եռակալված կլոր հատույթով աստիճանաձև նմուշի արտամղման չկայունացված գործընթացի սկզբնական ժամանակաշրջանի դեպքը «ABAQUS» ավտոմատացված ծրագրային միջավայրում: Գլանական նմուշի վերնի ճակատը ուղղահայաց ուղղությամբ հավասարաչափ տեղափոխվել է, որի հետևանքով այն դեֆորմացվել է: Ստացվել են Միզեսի լարման, դեֆորմացիաների ինտենսիվության, դեֆորմացիոն վիճակի բաղադրիչների և նյութի ծակոտկենության բաշխման գոտիները: Որոշվել են մամլամայր մտնելիս ($e-e$) և մամլամայրից դուրս գալիս ($ա-ա$) յոթական հանգույցների, դրանցից վերնի ու ներքնի վեցական տարրերի տվյալները: Բոլոր դեֆորմացիաների բաղադրիչները ծայրագույն արժեքներին հասնում են կոնական մամլամայրի հետ ձողի հպման գոտիներում:

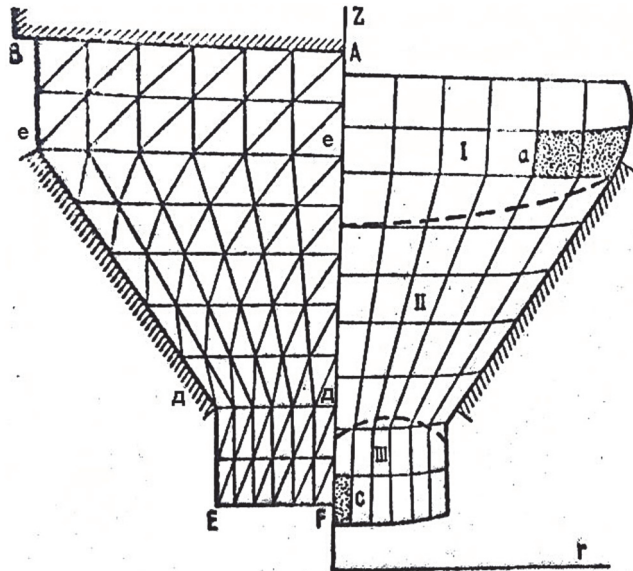
Դրանք հնարավորություն են տվել կառուցել $e-e$ և $ա-ա$ հատույթների վերնի տարրերի տվյալներով դեֆորմացիաների բաղադրիչների և դրանց հանգույցների ծակոտկենության փոփոխության գրաֆիկները: Դրանցից ամենամեծերը $e-e$ - ի գոտում սահքի և առանցքային սեղմող դեֆորմացիաներն են: $ա-ա$ - ի գոտում սահքի դեֆորմացիաները $e-e$ - ի նկատմամբ շատ փոքր են և փոխել են իրենց նշանը: Մյուս տվյալները որակապես համընկնում են ՅBM EC 1022 – ի վրա ՓՕՊԵԱԿ – IV ալգորիթական լեզվով կազմված ծրագրով հաշվարկված տվյալների հետ:

Առանցքային բառեր. եռակալված նյութ, ծակոտկենություն, արտամղում, դեֆորմացիոն վիճակ, համակարգչային մոդելավորում:

Ներածություն: Ներկայումս պլաստիկության տեսության տեխնոլոգիական խնդիրները լուծվում են վերլուծական մեթոդներով և ավտոմատացված ծրագրային միջավայրում (ԱՕՄ) մոդելավորմամբ: Եռակալված նյութից զլանական նախապատրաստվածքների արտամղման գործընթացների հետազոտումը վերլուծական եղանակով բավականին բարդ է՝ քիչ հետազոտված նյութում ծակոտկենության առկայության պատճառով [1]: ԱՕՄ – ում մոդելավորումը հնարավորություն է տալիս կարճ ժամանակում ստանալ բավականին մեծ ճշտությամբ արդյունքներ: Մոդելավորման նպատակահարմարությունն ապացուցվել է բազմաթիվ գիտագործնական աշխատանքների արդյունքներով: Մասնավորապես, կարելի է նշել «ABAQUS» -ի միջավայրում կատարված [2,3] աշխատանքները: Երբեմն, կախված խնդիրների տեսակից, դրանց լուծումներում օգտագործում են վերլուծական եղա-

նակի և ԱԾՄ-ի համադրման մեթոդները [4]: Ընդ որում, ԱԾՄ – ում մոդելավորմամբ լուծված հետազոտությունների մեծ մասում, ինչպես նաև [2-4] – ում հիմնականում ուսումնասիրվել և վերլուծվել են տեխնոլոգիական գործընթացների լարվածային վիճակները:

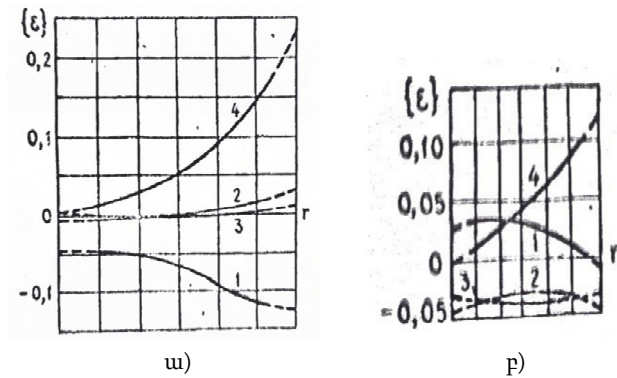
[5,6] – ում, օգտագործելով [1] – ում բերված եռակալված նյութերի համար մշակված վերջավոր տարրերի մեթոդի (ՎՏՄ) առանձնահատկությունները, հետազոտվել է աստիճանաձև կլոր հատույթով ձողի արտամղման գործընթացի սկզբնական չկայունացված ժամանակաշրջանի դեպքը (նկ.1): Հիմնականում կատարվել են դեֆորմացիոն վիճակի հաշվարկներ՝ ՅՅՄ EC 1022 – ի վրա $\Phi O P T E A H - IV$ ալգորիթմական լեզվով կազմված ծրագրով:



Նկ.1. Փոփոխական հատույթով դեֆորմացված գլանական նախապատրաստվածքի առանցքային հատույթը

Ինչպես տեսնում ենք, $e-e$ հատույթում նախապատրաստվածքի դեֆորմացիաների բաղադրիչները բավականին մեծ են $A-A$ – ում առաջացածների համեմատ: Ամենամեծ դեֆորմացիան սահքինն է, այնուհետև՝ առանցքայինը, որի նշանը $e-e$ – ում բացասական է (կարճացում), իսկ $A-A$ – ում՝ դրական (երկարացում): Սակայն բացակայում են տվյալները տեխնոլոգիական գործընթացի ամենակարևոր հպակային գոտու՝ վեցերորդ տարրի վերաբերյալ:

Նշենք, որ [6] – ում բերված կլոր հատույթով ձողի դեֆորմացիաների բաղադրիչների բաշխման նկ. 2 –ի տվյալներն օգտագործվել են մենուղորդված թելիկներով ամրանավորած բարձրորակ կոմպոզիցիոն նյութերի ստացման համար:



Նկ. 2. Առանցքային (1), շառավղային (2), շրջանային (3) և սահքի (4) դեֆորմացիաների գրաֆիկները (ա՝ e-e և բ՝ ժ-ժ հատույթների դեպքում)

Ինչ վերաբերում է այդ խնդրի ԱԾՄ – ում մոդելավորմանը, ապա այն ամբողջապես չի ուսումնասիրվել, հետևաբար՝ այդ ուղղությամբ աշխատանքներն արդիական են:

Աշխատանքի նպատակն է եռակալված նյութից գլանական աստիճանաձև ձողի արտամղման գործընթացի սկզբնական չկայունացված ժամանակաշրջանի դեֆորմացիոն վիճակի ԱԾՄ – ում մոդելավորմամբ հետազոտումը և ստացված արդյունքների համեմատումը ՅBM EC 1022 – ի վրա ՓՕՐՏԵԱԿ – IV ալգորիթմական լեզվով կազմված ծրագրով հաշվարկած տվյալների հետ:

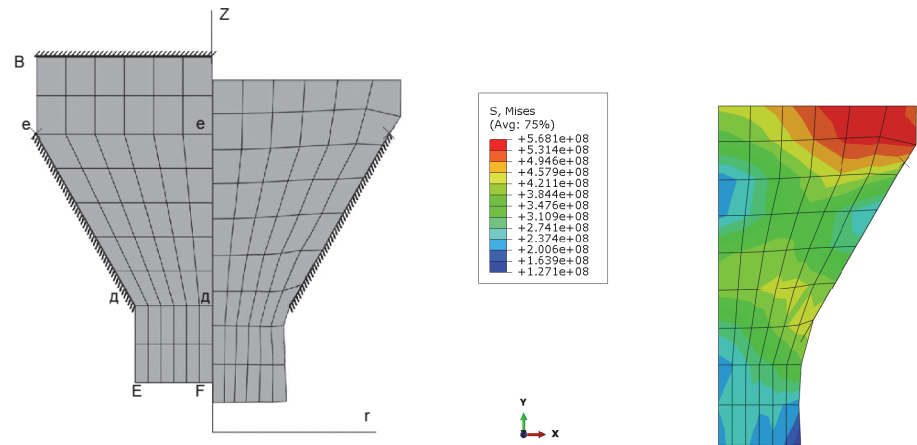
Համակարգչային մոդելավորման սկզբնական տվյալներն են. ձողի չափսերը՝ e-e հատույթի շառավղի շառավղի 22,8 մմ, ժ-ժ հատույթինը՝ 10 մմ, տեղափոխությունը մամլամայրում՝ 3 մմ: Հանգույցների քանակը՝ 70, տարրերի քանակը՝ 54 և տիպը՝ CAX4R: Հպակային շփման գործակիցը՝ 0,05: Աստիճանաձև ձողի նյութի խտությունը՝ 8000 կգ/մ³, Յունգի մոդուլը՝ 210 ԳՊա, Պուասսոնի գործակիցը՝ 0,3, ծակոտկենությունը՝ 16%, իսկ նյութի դեֆորմացման գրաֆիկի (ՆԴԳ) տվյալները ներկայացված են աղ.1 - ի տեսքով:

Աղյուսակ 1

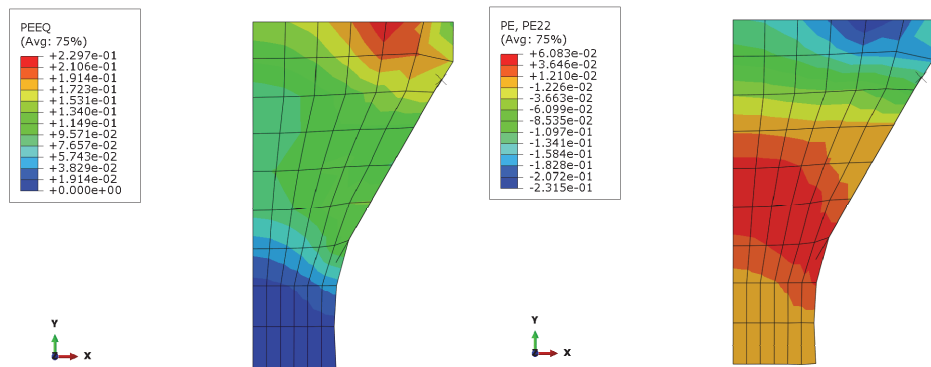
ՆԴԳ տվյալները

$\sigma_{eq}, ՄՊա$	ε_{eq}
350	0
385	0,0125
466	0,025
663	0,1
730	0,20

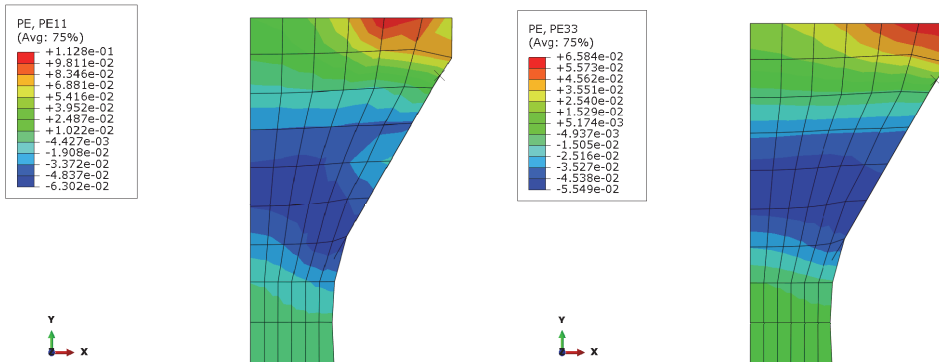
Նկ. 3 - 6 – ում բերված են համակարգչային մոդելավորման սխեման, Միզեսի լարման, դեֆորմացիաների բաղադրիչների և նյութի ծակոտկենության բաշխման գոտիները:



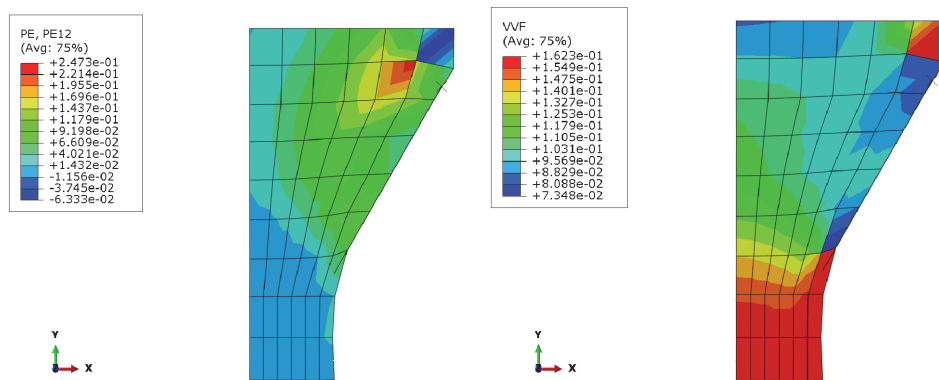
Նկ. 3. Համակարգչային մոդելավորման սխեման և Միզեսի լարման բաշխման գոտիները



Նկ. 4. Դեֆորմացիաների ինտենսիվության և առանցքային դեֆորմացիայի բաշխման գոտիները



Նկ. 5. Շառավղայի և շրջանային դեֆորմացիաների բաշխման գոտիները



Նկ. 6. Սահբի դեֆորմացիայի և նյութի ծակոտկենության բաշխման գոտիները

ԱՕՄ մոդելավորման տվյալներով e-e և ժ-ժ հատույթների յոթ հանգույցներում և դրանց վերևի ու ներքևի տարրերում (նկ. 3-6) որոշվել են Միզեսի լարման, դեֆորմացիաների ինտենսիվության և բաղադրիչների, ինչպես նաև նյութի ծակոտկենության արժեքները (աղ. 2-7):

Աղյուսակ 2

e-e հատույթի վերևի տարրերի տվյալները

Տարր	S, Mises, σ_i	PEEQ, ε_i	PE11, ε_r	PE22, ε_z	PE33, ε_θ	PE12, γ_{rz}	VVF, v
1	2.93E+08	8.99E-02	2.27E-03	-6.46E-02	8.58E-05	2.45E-02	1.06E-01
2	3.63E+08	1.03E-01	6.69E-03	-7.46E-02	3.13E-03	6.22E-02	1.04E-01
3	4.30E+08	1.25E-01	1.50E-02	-8.91E-02	6.43E-03	1.13E-01	1.00E-01
4	4.88E+08	1.51E-01	2.06E-02	-1.00E-01	9.78E-03	1.77E-01	9.89E-02
5	5.55E+08	1.85E-01	2.75E-02	-1.12E-01	1.22E-02	2.47E-01	9.69E-02
6	5.56E+08	2.13E-01	9.06E-02	-1.89E-01	1.54E-02	1.54E-01	8.69E-02

Աղյուսակ 3

e-e հատույթի հանգույցների տվյալները

Հանգույց	S, Mises, σ_i	PEEQ, ε_i	PE11, ε_r	PE22, ε_z	PE33, ε_θ	PE12, γ_{rz}	VVF, v
1	2.09E+08	8.00E-02	-9.87E-03	-3.80E-02	-1.10E-02	2.47E-02	1.09E-01
2	2.56E+08	8.67E-02	-9.09E-03	-4.15E-02	-1.03E-02	4.41E-02	1.07E-01
3	3.42E+08	1.03E-01	-6.08E-03	-5.00E-02	-8.70E-03	8.57E-02	1.04E-01
4	4.05E+08	1.22E-01	-3.99E-03	-5.71E-02	-7.19E-03	1.28E-01	1.00E-01
5	4.53E+08	1.43E-01	-7.90E-03	-5.73E-02	-6.84E-03	1.66E-01	9.72E-02
6	4.32E+08	1.63E-01	3.59E-03	-7.70E-02	-7.40E-03	1.44E-01	8.93E-02
7	3.87E+08	1.71E-01	1.89E-02	-9.85E-02	-7.65E-03	1.04E-01	8.34E-02

Աղյուսակ 4

e-e հատույթի ներքնի տարրերի տվյալները

Տարր	S, Mises, σ_i	PEEQ, ε_i	PE11, ε_r	PE22, ε_z	PE33, ε_θ	PE12, γ_{rz}	VVF, v
1	1.24E+08	7.01E-02	-2.20E-02	-1.14E-02	-2.21E-02	2.50E-02	1.12E-01
2	2.42E+08	8.42E-02	-2.33E-02	-1.52E-02	-2.22E-02	6.46E-02	1.07E-01
3	3.33E+08	1.01E-01	-2.27E-02	-2.12E-02	-2.21E-02	1.03E-01	1.03E-01
4	3.71E+08	1.10E-01	-2.89E-02	-1.79E-02	-2.29E-02	1.18E-01	9.95E-02
5	4.00E+08	1.24E-01	-5.09E-02	9.70E-04	-2.65E-02	1.22E-01	9.34E-02
6	2.18E+08	1.28E-01	-5.29E-02	-7.60E-03	-3.07E-02	5.35E-02	7.98E-02

Աղյուսակ 5

դ-դ հատույթի վերնի տարրերի տվյալները

Տարր	S, Mises, σ_i	PEEQ, ε_i	PE11, ε_r	PE22, ε_z	PE33, ε_θ	PE12, γ_{rz}	VVF, v
1	1.88E+08	1.99E-02	-1.11E-02	8.32E-03	-1.06E-02	-3.76E-03	1.49E-01
2	2.37E+08	2.40E-02	-1.43E-02	1.15E-02	-1.22E-02	-1.03E-02	1.47E-01
3	2.94E+08	3.20E-02	-2.16E-02	1.98E-02	-1.47E-02	-1.68E-02	1.46E-01
4	3.37E+08	4.33E-02	-3.14E-02	2.92E-02	-1.85E-02	-2.00E-02	1.43E-01
5	3.94E+08	5.76E-02	-4.35E-02	4.53E-02	-2.32E-02	-3.03E-02	1.42E-01
6	4.60E+08	7.65E-02	-5.66E-02	7.94E-02	-3.00E-02	-3.28E-03	1.56E-01

Աղյուսակ 6

Դ-ճ հատույթի հանգույցների տվյալները

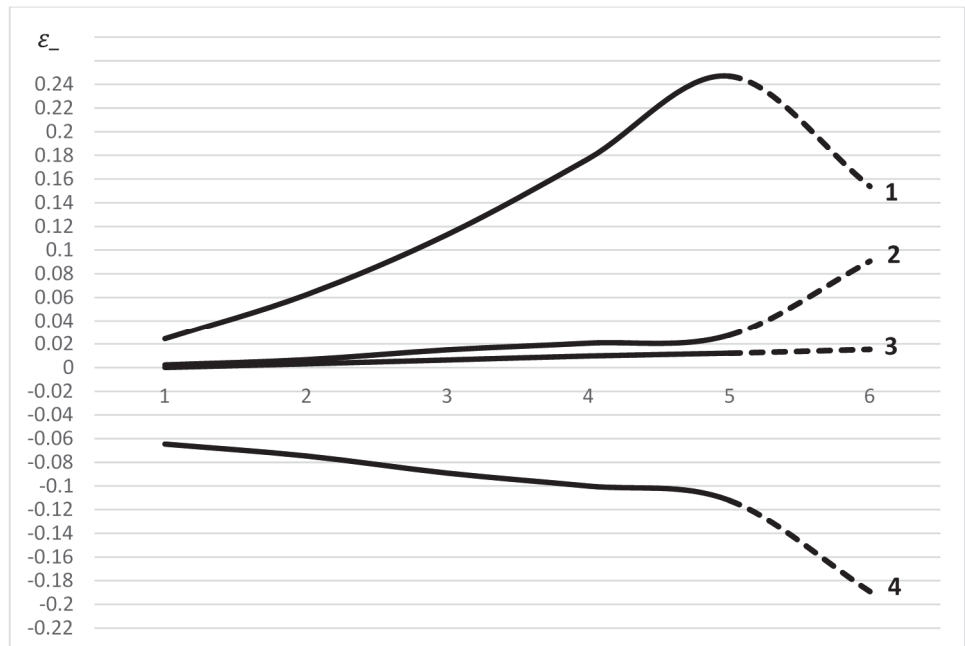
Հանգույց	S, Mises, σ_i	PEEQ, ε_i	PE11, ε_r	PE22, ε_z	PE33, ε_θ	PE12, γ_{rz}	VVF, v
1	2.19E+08	1.20E-02	-4.61E-03	1.79E-03	-4.47E-03	-1.41E-03	1.54E-01
2	2.35E+08	1.31E-02	-5.33E-03	2.57E-03	-4.81E-03	-2.95E-03	1.54E-01
3	2.67E+08	1.64E-02	-7.64E-03	5.23E-03	-5.73E-03	-6.07E-03	1.53E-01
4	2.93E+08	2.09E-02	-1.20E-02	1.01E-02	-7.27E-03	-8.50E-03	1.52E-01
5	3.12E+08	2.86E-02	-1.73E-02	1.73E-02	-9.32E-03	-8.19E-03	1.52E-01
6	3.51E+08	4.10E-02	-2.31E-02	3.05E-02	-1.20E-02	4.27E-03	1.56E-01
7	3.79E+08	4.81E-02	-2.65E-02	3.95E-02	-1.37E-02	1.56E-02	1.60E-01

Աղյուսակ 7

Դ-ճ հատույթի ներքին տարրերի տվյալները

Swpp	S, Mises, σ_i	PEEQ, ε_i	PE11, ε_r	PE22, ε_z	PE33, ε_θ	PE12, γ_{rz}	VVF, v
1	2.51E+08	4.23E-03	1.89E-03	-4.74E-03	1.66E-03	-9.38E-04	1.59E-01
2	2.63E+08	4.30E-03	2.16E-03	-4.82E-03	1.86E-03	-1.34E-03	1.60E-01
3	2.76E+08	5.12E-03	3.22E-03	-5.64E-03	2.09E-03	-1.43E-03	1.60E-01
4	2.66E+08	3.06E-03	1.64E-03	-2.97E-03	1.97E-03	-1.28E-03	1.60E-01
5	2.53E+08	1.05E-02	4.04E-03	-2.18E-03	2.42E-03	-1.62E-02	1.63E-01
6	2.98E+08	1.96E-02	3.73E-03	-3.77E-04	2.62E-03	-3.45E-02	1.65E-01

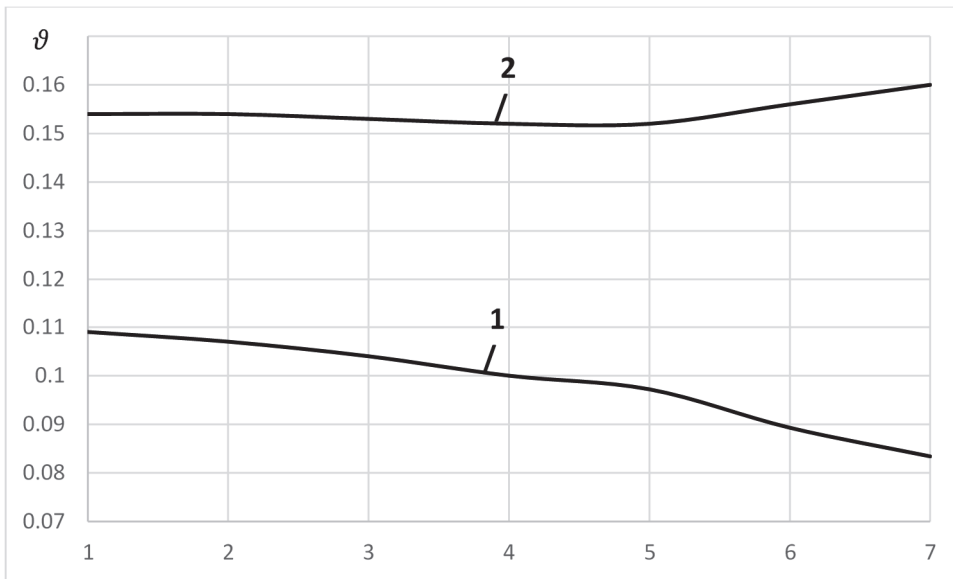
Նկ. 7 և 8 – ում բերված են e-e և Դ-ճ հատույթների վերնի տարրերի դեֆորմացիաների բաղադրիչների գրաֆիկները, իսկ նկ. 9 – ում՝ դրանց հանգույցների տվյալներով կառուցված ծակոտկենության փոփոխության գրաֆիկները:



Նկ. 7. e-e հատույթի վերնի տարրերի տվյալներով կառուցված դեֆորմացիաների բաղադրիչների գրաֆիկները
(1 - սահքի, 2 - շառավղային, 3 - շրջանային և 4 - առանցքային)



Նկ. 8. ռ-ռ հատույթի վերնի տարրերի տվյալներով կառուցված դեֆորմացիաների բաղադրիչների գրաֆիկները
(1 - սահքի, 2 - շառավղային, 3 - շրջանային և 4 - առանցքային)



Նկ. 9. e-e (1) և 2) հատվածների հանգույցների տվյալներով կառուցված ծակոտկենության փոփոխության գրաֆիկները

Եզրակացություն.

1. Կատարվել են եռակալված նյութից գլանական աստիճանաձև ձողի արտադրման գործընթացի սկզբնական չկայունացված ժամանակաշրջանի դեֆորմացիոն վիճակի ABAQUS ԱՕՄ-ում մոդելավորումը՝ բացարձակ կոշտ մամլամատին հաղորդելով 3 մ/մ ուղղահայաց տեղափոխություն, և ստացված տվյալների վերլուծում ու արդյունքերի համեմատում ՅBM EC 1022-ի վրա ՓՕՐՄԱԿ-IV ալգորիթմական լեզվով կազմված ծրագրով հաշվարկված տվյալների հետ:

2. Հետազոտվել են մամլամայրում ձողի e-e և և-և հանգույցների, դրանցից վերևի և ներքևի տարրերի աղյուսակային տվյալները (Միզեսի լարման, դեֆորմացիաների ինտենսիվության և բաղադրիչների, ինչպես նաև նյութի ծակոտկենության արժեքները), որոնցից ընտրվել են գործընթացը բնութագրող մեծությունները, և կառուցվել են դրանց գրաֆիկները (դեֆորմացիաների բաղադրիչների և ծակոտկենության փոփոխության):

3. Բոլոր դեֆորմացիաների բաղադրիչները ծայրագույն արժեքներին հասնում են կոնական մամլամայրի հետ ձողի հպակային գոտիներում: Դրանցից ամենամեծերը e-e-ի գոտում սահքի (0,247) և առանցքային սեղմող դեֆորմացիաներն (-0,19) են, որոնց պատճառով նյութի ծակոտկենությունը 16%-ից փոքրանում է 8,3%-ի (նկ. 9), իսկ շառավղային և շրջանային դեֆորմացիաները դրական են ու փոքր և ձողի առանցքից հաշված՝ առաջին հինգ տարրերում շատ մոտ են մեկը

մյուսին: $d-d$ – ի գոտում ամենամեծը առանցքային ձգող դեֆորմացիան է (0,08), իսկ մյուսները բացասական են:

4. ԱՕՄ–ում մոդելավորմամբ ստացվել են տվյալներ տեխնոլոգիական գործընթացի ամենակարևոր հպակային գոտու՝ վեցերորդ տարրի համար, ինչպես նաև ցույց է տրվել, որ, ի տարբերություն [6] – ի, $d-d$ – ի գոտում ամրանավորած մենուղղորդված թելիկների համար վտանգավոր սահքի դեֆորմացիաները $e-e$ -ի համեմատ շատ փոքր են և փոխել են իրենց նշանը: Ինչ վերաբերում է ԱՕՄ–ում ստացված մյուս արդյունքներին, ապա դրանք որակապես համընկնում են ЭВМ ЕС 1022–ի վրա ФОРТРАН–IV ալգորիթմական լեզվով կազմված ծրագրով հաշվարկված տվյալներին:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Petrosyan G.L., Verlinski S.V., Hakobyan N.G., Margaryan M.A.** Investigation of wide stripe pure bending plastic deformation in freely supported and restrained beam schemes// AIP Conference Proceedings 2166, 020014 (2019); <https://doi.org/10.1063/1.5131601> Published Online: 25 October 2019.- P.1-7.
2. **Маргарян М.А.** Компьютерное моделирование процесса прессования круглого спеченного образца в конических матрицах // Известия НАН РА. Механика. – 2020. - Т. 73, №3. - С. 44-53.
3. **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.
4. **Петросян Г.Л.** Пластическое деформирование порошковых материалов.- М.: Металлургия, 1988.- 153 с.
5. **Петросян Г.Л., Нерсисян Г.Г., Малхасян С.А., Петросян А.С.** Уплотнение пористых материалов в жестких конических и цилиндрических матрицах // Порошковая металлургия. - 1982. - №5. - С. 22-27.
6. **Манукян Н.В., Петросян Г.Л., Галоян Г.В., Петросян А.С.** О прочности композиционных материалов, армированных однонаправленными волокнами // Межвузовский тематический сборник научных трудов по ПМ: Теория и практика ПМ.- Ереван, 1982.- С. 71-78.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 23.12.2021:

Г.Л. ПЕТРОСЯН, А.С. ПЕТРОСЯН, М.А. МАРГАРЯН, А.А. БАБАЯН

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ ПРОЦЕССА ЭКСТРУЗИИ СТУПЕНЧАТОГО СПЕЧЕННОГО
КРУГЛОГО СТЕРЖНЯ**

Проведено моделирование случая начального периода неустойчивого процесса экструзии ступенчатого спеченного образца круглого сечения в автоматизированной программной среде ABAQUS. В верхней части цилиндрического образца дано равномерное перемещение в вертикальном направлении, по причине чего он деформируется. Получены зоны распределения напряжения Мизеса, интенсивности деформаций, компонентов деформированного состояния и пористости материала. Найдены данные по семи узлам при входе (е-е) и выходе (д-д) из матрицы, а также по шести элементам сверху и снизу от них, которые представлены в виде таблицы. Все значения деформаций достигают максимума в зонах контакта матрицы со стержнем.

Полученные данные дали возможность построить графики зависимостей компонентов деформированного состояния верхних элементов сечений е-е и д-д и пористости в узлах этих сечений. Самые большие из этих в зоне е-е - осевые деформации сжатия и деформации сдвига. В зоне д-д деформации сдвига, по сравнению с е-е, очень малы и поменяли свой знак. Остальные данные качественно совпадают с расчетными данными программы, составленной с помощью алгоритмического языка ФОРТРАН – IV на ЭВМ ЕС 1022.

Ключевые слова: спеченный материал, пористость, экструзия, деформированное состояние, компьютерное моделирование.

G.L. PETROSYAN, H.S. PETROSYAN, M.A. MARGARYAN, A.A. BABAYAN

**COMPUTER MODELING OF THE DEFORMED STATE OF THE
STEPPED SINTERED BAR EXTRUSION**

The case of an unstable period at the initial stage of extrusion of a stepped sintered sample with a circular cross-section was simulated in the ABAQUS software environment. From the top of the cylindrical sample, uniform movement in the vertical direction is given, because of which it was deformed. Zones of von Mises stress, strain intensity, components of the deformation state and porosity of the material are obtained. The data were found for seven nodes at the entrance (e-e) and exit (d-d) from the matrix, as well as for six elements above and below them, which are presented in the form of a table. All values of deformations reach a maximum in the zones of contact between the matrix and the bar.

The data obtained made it possible to plot the graphs of the components of the deformation state of the upper elements of the sections e-e and д-д and changes in porosity at the nodes of these sections. The largest of these in the e-e zone are axial deformations compression and shift deformations. In the zone д-д, shift deformations are very small compared to e-e and have changed their sign. The rest of the data qualitatively coincide with the calculated data of the program compiled in the algorithmic language FORTRAN-IV on the ЭС 1022 computer.

Keywords: sintered material, porosity, extrusion, deformed state, computer simulation.