

N.H. AKOPYAN

## FORCE ANALYSIS OF A STATICALLY BALANCED EXOSKELETON

The force analysis of a statically balanced plane three-link exoskeleton is performed. The maximum loaded state of the exoskeleton, and the reactions in the kinematic pairs in the function from its generalized coordinates are determined.

**Keywords:** static balancing, exoskeleton, force analysis.

ՀՏԴ 676.2.017.26

Ա.Ա. ՄԱՐԳԱՐՅԱՆ, Ս.Վ. ՎԵՐԼԻՆՍԿԻ

### ՏՊԱԳԼԱՆՆԵՐԻ ՀՊՄԱՆ ԳՈՏՈՒՄ ԼԱՐՎԱԾԱԴԵՖՈՐՄԱՑԻՈՆ ՎԻՃԱԿԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՎԵՐՋԱՎՈՐ ՏԱՐՐԵՐԻ ՄԵԹՈԴՈՎ

Դիտարկվել են տպագրական գլանների առաձգական և կոշտ աշխատանքային մակերևութային շերտերում առաջացած լարվածադեֆորմացիոն վիճակը, հպման դեպքում դեֆորմացումների և հարաբերական տեղաշարժերի ստատիկան՝ կոշտության հաշվառմամբ, որոնց ընդհանրացված արդյունքով հնարավոր է ապահովել տպագրման որակը: Տպագլանների հպման գոտին մոդելավորված և հետազոտված է ANSYS համակարգչային ծրագրով, որը գործում է վերջավոր տարրերի մեթոդով:

**Առանցքային բառեր.** օֆսեթ գլան, լարվածադեֆորմացիոն վիճակ, հարաբերական տեղաշարժ, ANSYS ծրագիր, վերջավոր տարրերի մեթոդ:

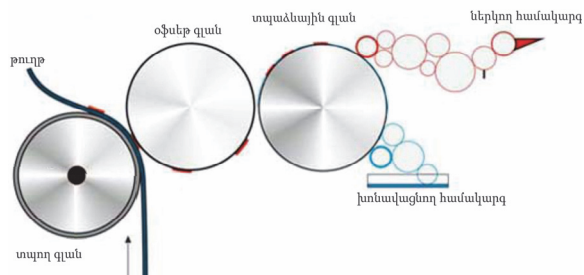
**Ներածություն:** Պոլիգրաֆիական սարքավորումների տպագլանների հպման գոտում իրականացված հետազոտություններում լիովին բացահայտված չեն ժամանակակից թերթային օֆսեթ տպագրական մեքենայի տպող համակարգի աշխատանքի առանձնահատկությունները: Վերջին տասնամյակում տպագրության արտադրողականության կտրուկ մեծացմանը զուգընթաց՝ անհրաժեշտություն է առաջանում կատարել հավելյալ տեսական և փորձարարական հետազոտություններ՝ տպվածքի որակի վրա տպագլանների շրջանային տեղաշարժի ազդեցությունը գնահատելու համար [1]:

Այդ նկատառումներից ելնելով՝ նպատակահարմար է գլանների հպման գոտիներում կատարել առաձգական շերտերի հարաբերական տեղաշարժերի գնահատում և որոշել աշխատանքային մակերևութային լարվածադեֆորմացիոն վիճակի ազդեցությունը տպագրման որակի վրա:

Սարքավորումների տպագլանների հպման գոտում առաջացող լարվածադեֆորմացիոն վիճակի պարամետրերը կախված են բեռնվածության բնույթից,

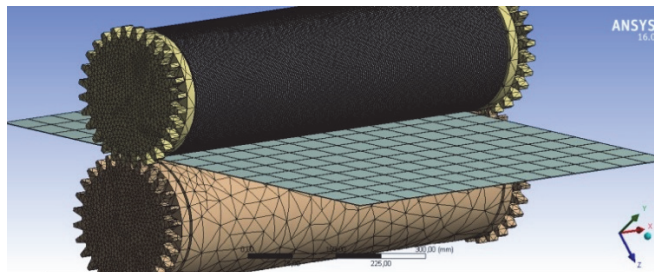
գլանների մակերևութային շերտերի կոշտության աստիճանից և հպման գոտով անցնող տպաթղթի մեխանիկական հատկություններից: Այդ տեսակետից տպագրողում առաջացող վիճակը բավականին առանձնահատուկ է և կախված է հպման գոտում առաջացած ճնշումից, որը կարող է տարբեր լարվածադեֆորմացիոն վիճակներ ստեղծել գլաններում և առաջացնել հարաբերական տեղաշարժեր, որոնք կազդեն տպագրական արտադրանքի որակի վրա: Սա էլ թելադրում է հպման գոտու լարվածադեֆորմացիոն վիճակի հետազոտումը և դրա ազդեցության գնահատումը արտադրանքի որակի վրա, որն առաջնային խնդիր է նշված բնագավառում:

**Աշխատանքի մեթոդաբանությունը:** Դիտարկված է տպամեքենայի տպող և օֆսեթ գլանների հպման գոտում (նկ.1) առաջացած լարվածադեֆորմացիոն վիճակը տպագրական թղթի անցման ընթացքում: Հպման գոտում լարվածադեֆորմացիոն վիճակը բացահայտելու նպատակով կիրառված է վերջավոր տարրերի մեթոդը (ՎՏՄ) [2-4]:



Նկ. 1. Օֆսեթ տպող մեքենայի սխեման

Վերջավոր տարրերի տեսակի, ձևի և չափի ընտրությունը կախված է մարմնի ձևից և լարվածադեֆորմացիոն վիճակից: Եռանկյան կամ քառակուսու տեսքով հարթ երկչափ վերջավոր տարրերը կիրառվում են հարթ լարվածային կամ դեֆորմացիոն վիճակը մոդելավորելու համար (նկ.2):



Նկ. 2. Տպող գլանների տրոհումը վերջավոր տարրերի

Դեֆորմացվող մարմինների այն հատվածները, որտեղ սպասվում են լարվածային բարձր գրադիենտներ, վերցվում են համապատասխանաբար փոքր տարրեր:

Հանգույցի հավասարակշռության պայմանից, ինչպես նաև բոլոր վերջավոր տարրերի մոդելներում կիրառվող մեթոդների անհամապատասխանությունից կազմվում է հետազոտվող դեֆորմացվող մարմնի մոդելի բոլոր վերջավոր տարրերի հավասարակշռության հավասարումների համակարգը: Ստատիկ խնդիրների համար այն ունի հետևյալ տեսքը [4].

$$[K]\{U\} = \{P\} + \{P\}^a + \{P\}^g + \{P\}^{\varepsilon_0} + \{P\}^{\sigma_0}, \quad (1)$$

$$\{U\} = \begin{Bmatrix} U_1 \\ \dots \\ U_i \\ \dots \\ U_n \end{Bmatrix}, \{P\} = \begin{Bmatrix} P_1 \\ \dots \\ P_i \\ \dots \\ P_n \end{Bmatrix}, \quad (2)$$

որտեղ  $[K]$ -ն վերջավոր տարրերի մեթոդի մոդելի կոշտության ընդհանուր մատրիցն է,  $\{U\}$ -ն՝ տարրերի հանգուցային տեղաշարժերի վեկտորը,  $\{P\}$ -ն՝ հանգուցների արտաքին ուժերի ընդհանուր վեկտորը,  $\{P\}^a, \{P\}^g, \{P\}^{\varepsilon_0}, \{P\}^{\sigma_0}$ -ն՝ հանգուցային ուժերի ընդհանուր վեկտորները՝ համապատասխան համարժեք մակերևութային և զանգվածային ուժերին, սկզբնական դեֆորմացումներին և լարումներին (նշված վեկտորների մատրիցները նույնական են (2) -ին):

Ստատիկ գծային առաձգական մարմնի մոդելի համար ՎՏՄ-ով ստացված հավասարակշռության հավասարումների ընդհանուր համակարգը մաթեմատիկական տեսանկյունից համարվում է գծային հանրահաշվական հավասարումների համակարգ:

Հարթ և ծավալային տարրերի համար, դիֆերենցելով տարրերի ներսում տեղաշարժման ֆունկցիայի մոտարկումը, գտնում են դեֆորմացումը և Հուկի օրենքով հաշվարկում են լարումները:

**ANSYS փաթեթում վերջավոր տարրերի մեթոդի իրականացումը:** Հաշվի առնելով տպագոտում առաջացող բարդ լարվածադեֆորմացիոն վիճակը՝ ամրության և երկարակեցության քանակական գնահատումներ կատարելու համար ընտրված է ՎՏՄ-ը: Այդ նպատակով կիրառվում է ANSYS համակարգչային ծրագիրը, որը ՎՏՄ-ով աշխատող ծրագրերի շարքում համարվում է լավագույններից մեկը: Այս ծրագիրը ներառում է տարբեր եզրային խնդիրների լուծման համապիտանի ալգորիթմներ [5,6]:

ANSYS համակարգչային փաթեթը ՎՏՄ-ով լուծում է անշարժ և շարժական, գծային և ոչ գծային խնդիրներ ֆիզիկայի տարբեր ոլորտներից, այդ թվում՝ կոշտ դեֆորմացվող մարմինների մեխանիկայից: Կառուցվածքի դեֆորմացումները որոշելու համար ՎՏՄ-ում կիրառվում է տեղափոխությունների եղանակը: Հիմնարար պարամետրերը, որոնք հաշվարկվում են ANSYS-ի կիրառման դեպքում, հանգուցային կետերի տեղաշարժերն են, որոնց միջոցով էլ որոշվում են կոնստրուկցիոն տարրերի հակազդումները, տեղաշարժերը, լարումները և դեֆորմացումները:

Ինտերակտիվ ռեժիմում աշխատանքն իրականացվում է կամ ANSYS ծրագրի (GUI) գրաֆիկական ինտերֆեյսի միջոցով կամ նորաստեղծ Workbench հարթակում: Այս ենթածրագրերը կազմված են հրամանների մենյուից և պատուհաններից: Ինտերակտիվ մոդելավորման դեպքում մենյու մուտքագրվող յուրաքանչյուր հրաման անմիջապես իրականացվում է, իսկ արդյունքը կամ դրա վերաբերյալ հաղորդագրությունը ներկայացվում են համապատասխան պատուհանում: Ինտերակտիվ մոդելավորման հիմնական ռեժիմն է. նույնիսկ փաթեթների ռեժիմի հրամանների ֆայլերը հիմնականում ստեղծվում են ինտերակտիվ ռեժիմի գործիքներով:

ՎՏՄ եղանակով խնդրի լուծումը ANSYS ծրագրում իրականացվում է երեք ենթադրյալ փուլերով [7]:

**Առաջին փուլ** – հետազոտվող մարմնի հիմնական մոդելի կառուցում, որը ներառում է հետևյալ գործընթացները.

1. սահմանվում են խնդրի ֆիզիկական տեսակը (օրինակ՝ կոշտ մարմնի դեֆորմացման մեխանիկան), և կարգաբերվում է համապատասխան ծրագիրը,
2. ընտրվում է վերջավոր տարրի տեսակը՝ կախված օբյեկտի չափից և այլ հատկություններից. կարող են տրված լինել տարրի որոշ բնութագրիչներ,
3. ընտրվում է օբյեկտի նյութը, և նշվում դրա անհրաժեշտ հատկությունները, որոնք կարող են մուտքագրվել ստեղծաշարով կամ ընտրվել ANSYS ծրագրի գրադարանից: Հատկությունները որոշում են նյութի մոդելը (գծային առաձգական, առաձգապլաստիկ և այլն), ինչն ազդում է ՎՏՄ-ի որոշիչ հավասարումների ընտրության վրա,
4. ստեղծվում է օբյեկտի կոշտ երկրաչափական մոդելը: Workbench-ում կիրառվում է Design Modeler մոդուլը: Երկրաչափական մոդելը կարելի է տեղափոխել ցանկացած CAD փաթեթից,
5. երկրաչափական մոդելը տրոհվում է վերջավոր տարրերի,
6. կոնտակտային խնդիրների դեպքում տրվում է հավող զույգը, որոշվում են հպման մոդելը և դրա բնութագրերը:

**Երկրորդ փուլ** – մոդելի վրա անհրաժեշտ ֆիզիկական պայմանների առաջադրում. խնդրի լուծումը կատարվում է երեք քայլով.

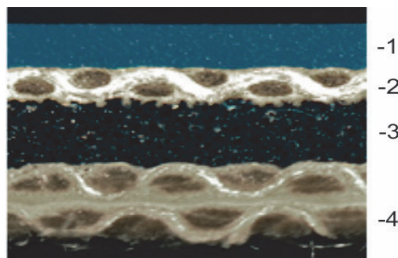
1. տրվում են սահմանային պայմանները՝ ուժեր, տեղափոխություններ և այլն,
2. ընտրվում է վերլուծության տեսակը (ստատիկ, դինամիկ, մոդալ և այլն),
3. ՎՏՄ-ով իրականացվում է հավասարման համակարգի լուծումը:

Լուծման արդյունքում ձևավորվում է արդյունքների ֆայլը, որը պարունակում է որոշված ազատության աստիճանների վեկտորը (հանգույցների տեղաշարժ, հանգույցների ջերմաստիճան և այլն):

**Երրորդ փուլ** – հաշվարկների արդյունքների վերլուծություն: ՎՏՄ –ով հաշվարկված ֆիզիկական մեծությունները (տեղափոխություններ, դեֆորմացումներ, լարումներ և այլն) ներկայացվում են ANSYS գրաֆիկական պատուհանում՝ նկարի, աղյուսակի, գրաֆիկի կամ անիմացիայի տեսքով:

Խնդրի լուծման վերը նշված փուլերի իրականացումը համակարգչում ստեղծում է տվյալների բազա, որը պարունակում է մոդելի վերաբերյալ ամբողջական տեղեկոյթը:

**Գիտափորձի կազմակերպումը և արդյունքների քննարկումը:** Հայման գոտում լարվածադեֆորմացիոն վիճակը մոդելավորելու նպատակով դիտարկված են Printmaster PM 74 մակնիշի տպագրական մեքենայի օֆսեթ գլանի ( $L=750$  մմ,  $D=213,4$  մմ) մակերևութային շերտերի տեղաշարժերը, որտեղ կիրառված է քառաշերտ ռետինե գործվածք ( նկ. 3):



Նկ. 3. Օֆսեթ գլանի մակերևութի ռետինե շերտերը.

1- քլորոպրենային կաուչուկ ( $h_1 = 0,36$  մմ), 2- գործվածքային ռետին ( $h_2 = 0,30$  մմ), 3-ծակոտկեն ռետին ( $h_3 = 0,49$  մմ) 4- գործվածքային ռետին ( $h_4 = 0,80$  մմ)

Կազմված է մակերևութային շերտի տարրերի ցանցային սխեման, որի ծայրամասերում լարումների բարձր գրադիենտի պատճառով վերցված են եռանկյունի և համեմատաբար փոքր չափերի տարրեր (նկ.1): Մոդելն ունի 1830141 հանգույցներ և 861145 տարր, որոնք բաշխված են տպագլանների մակերևութային շերտերում և տպաթղթի վրա: Վիրտուալ գիտափորձի ընթացքում հայման գո-

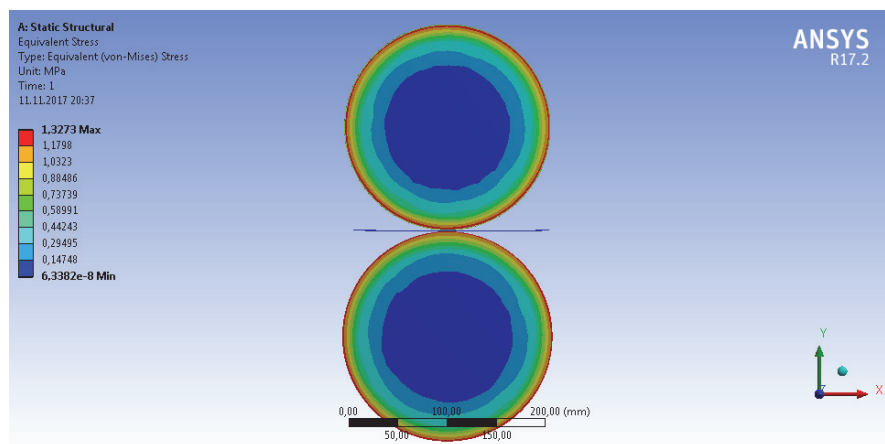
տում գտնվող տպագլանների վրա կիրառված է 0,8 ՄՊա ճնշում: Որպես տպաթուղթ վերցված են ոչ կավճապատ օֆսեթ մակնիշի 3 տարբեր տեսակներ  $h = 0,07 \dots 0,15$  մմ հաստությամբ և  $\rho = 0,642 \dots 0,800$  գ/սմ<sup>3</sup> տեսակարար կշռով: Տպագոտում կիրառված նյութերի մեխանիկական հատկությունները տրված են աղ.1-ում:

Աղյուսակ 1

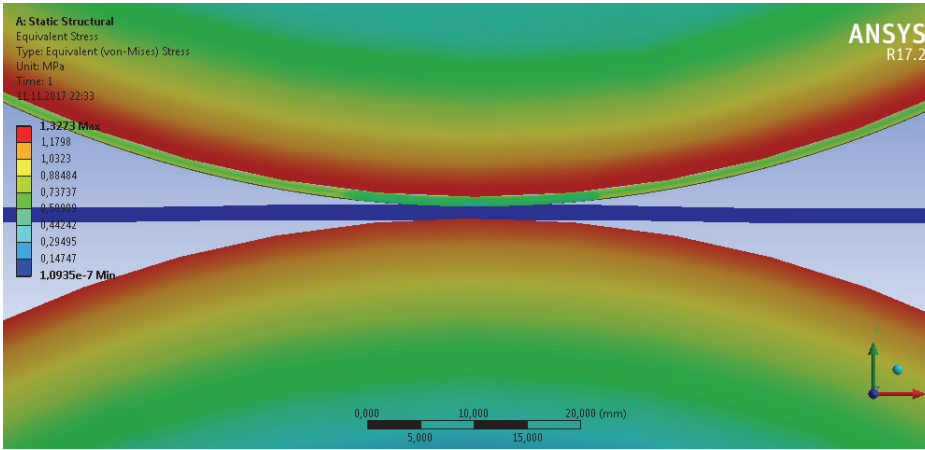
Տպագոտու նյութի մեխանիկական հատկությունները

N	Տեսակարար ծավալ, $q, \text{գ/սմ}^2$	Տեսակարար կշիռ, $\rho, \text{գ/սմ}^3$	Հաստություն, $h, \text{մմ}$	Յունգի մոդուլ, $E, \text{Պա}$	Պուասոնի գործակից, $\mu$
1.	Տպագլանի նյութը (Պողպատ 45)				
1.1.	-	7,85	-	$2 \cdot 10^{11}$	0,3
2.	Տպագրական թուղթ				
2.1.	45	0,642	0,07	9174,33	0,26
2.2.	60	0,750	0,08	9440,10	0,27
2.3.	120	0,800	0,15	11349,08	0,26
3	Ռետինի շերտերը				
3.1.	-	1,2	0,36	$5,0 \cdot 10^6$	0,40
3.2.		1,1	0,30	$3,2 \cdot 10^6$	0,40
3.3.		1,0	0,49	$2,5 \cdot 10^6$	0,45
3.4.		1,1	0,80	$3,2 \cdot 10^6$	0,40

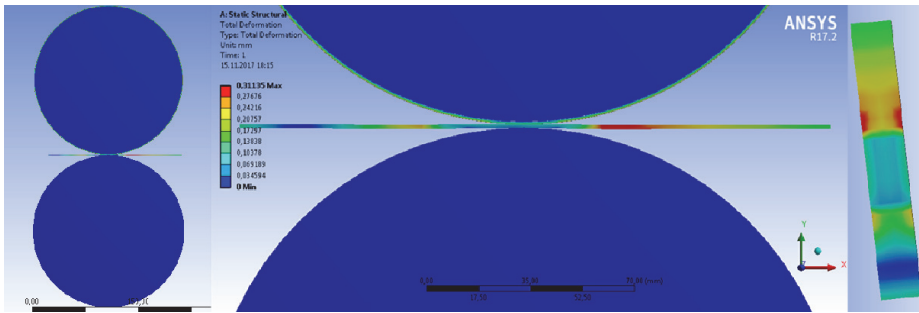
Նկ. 4 և 5-ում բերված են լարումների բաշխվածությունը, իսկ նկ.6-ում դեֆորմացումները համան գոտում:



Նկ. 4. Լարումների բաշխման ընդհանուր տեսքը



Նկ. 5. Հարումների բաշխումը հպման գոտում



Նկ. 6. Դեֆորմացումները տպագրում

Տպագրտում հպման, առավելագույն լարումների և դեֆորմացումների արժեքները տրված են աղ. 2-ում:

Աղյուսակ 2

Հարումները և դեֆորմացումները

Թղթի տեսակը	Առավելագույն լարում, ՄՊա	Հպման լարում, Պա	Առավելագույն դեֆորմացումներ, մմ
1	1,3272	241,39	0,30
2	1,3273	245,73	0,55
3	1,3274	264,39	0,70

Աղ. 2-ից երևում է, որ հպման գոտում լարումներն ու դեֆորմացումներն ավելանում են թղթի տեսակից, իսկ առավելագույն լարումները, որոնք առաջանում են աշխատանքի ընթացքում, չեն փոփոխվում՝ կախված թղթի հաստությունից:

**Եզրակացություն:** Դիտարկվել է տպագրական գլանների առաձգական աշխատանքային մակերևույթներում առաջացած լարվածադեֆորմացիոն վիճակը, երբ երկու գլանների միջև տեղադրված է թուղթ: Ստացված են դեֆորմացումները և լարումները գլանների և թղթի տարբեր տեսակների համար:

#### ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Солонец В.И.** Исследование жесткостных свойств многослойных упругих покрышек офсетных цилиндров//Вестник МГУП.-2008.- №1.-С.207-214.
2. ANSYS Basic Analysis Procedures Guide. ANSYS Release 11. ANSYS Inc., 2008.
3. **Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф.** ANSYS для инженеров. – М.: Машиностроение, 2004.- 506 с.
4. **Лукьянова А.Н.** Моделирование контактной задачи с помощью программы ANSYS.-Самара: Самар.гос.техн. ун.-т, 2010.-52с.
5. **Клебанов Я.М., Фокин В.Г., Давыдов А.Н.** Современные методы компьютерного моделирования процессов деформирования конструкций. -Самара: СамГТУ, 2004.-100 с.
6. **Давыдов А.Н.** Решение статических задач с использованием пакета программ ANSYS. -Самара: СамГТУ, 1999.
7. **Инженерный анализ в ANSYS Workbench / В.А. Бруйка, В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова и др.-** Самара: СамГТУ, 2010.-271 с.

**А.А. МАРГАРЯН, С.В. ВЕРЛИНСКИЙ**

#### ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В КОНТАКТЕ ПЕЧАТНЫХ ЦИЛИНДРОВ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Рассмотрены напряженно-деформированное состояние, возникающее в поверхностных слоях жесткой и упругой рабочих поверхностей печатных цилиндров, а также статика деформаций и относительных перемещений в зоне контакта с учетом жесткости, обобщенным результатом которых возможно обеспечение качества печати. Контактная зона печатных цилиндров смоделирована и исследована с применением компьютерной программы ANSYS, действующей методом конечных элементов.

**Ключевые слова:** офсетный цилиндр, напряженно-деформированное состояние, относительное перемещение, программа ANSYS, метод конечных элементов.

A.A. MARGARYAN, S.V. VERLINSKI

**STUDYING THE STRAIN-STRESS STATE IN THE CONTACT OF  
PRINTING CYLINDERS BY THE METHOD OF FINITE ELEMENTS**

The stress-strain state occurring in the surface layers of hard and elastic printing cylinder working surfaces, as well as the statics of deformations and relative displacements in the contact zone are considered, taking into account the stiffness, by whose generalised results, it is possible to ensure the printing quality. The contact zone of the printing cylinders is modeled and investigated using the finite element software program ANSYS.

**Keywords:** offset cylinder, stress-strain state, relative displacements, ANSYS program, method of finite elements.

ՀՏԴ 620.186:621.981.635

Մ.Ս. ԹՈՐՈՍՅԱՆ, Մ.Գ. ՍՏԱԿՅԱՆ

**ԱՄՐԱՑՆՈՂ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆԵՐԻ ԱՉԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՄԵՔԵՆԱՄԱՍԵՐԻ  
ՑԻԿԼԱՅԻՆ ԱՄՐՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԵՐԿԱՐԱԿԵԳՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ**

Բացահայտված են ռեգրեսիայի կապեր պողպատ 40X – ից պատրաստված և աշխատանքային մակերևույթները պլաստիկ դեֆորմացված լիսեռների քվանտիլային հոգնաձային գծերի պարամետրերի միջև: Ստացված կապերը թույլ են տվել, առանց աշխատատար և երկարատև հոգնաձային փորձարկումներ կատարելու, հաշվարկային եղանակով որոշել դիմացկունության սահմանների և ցիկլային երկարակեցությունների հավաստի արժեքները՝ դրանք ամրության և երկարակեցության հաշվարկներում օգտագործելու համար:

**Առանցքային բաներ.** լիսեռ, հոգնաձային կորի պարամետրեր, մակերևութային պլաստիկ դեֆորմացում, հուսալիություն, մաթեմատիկական մոդել:

Ժամանակակից մեքենաշինության մեջ լայն տարածում են գտնում մեքենամասերի և հանգույցների երկարակեցության հաշվարկները: Ձգտումը՝ նյութական նվազագույն ծախսերով ստեղծել բարձր արտադրողական մեքենա, ստիպում է օգտագործել ոչ միայն կոնստրուկցիայի հուսալիության պաշարները՝ ի հաշիվ մեքենամասերի պատրաստման տեխնոլոգիայի և հաշվարկային մեթոդների բարելավման, այլ նաև կանխատեսել մեքենայի ծառայության երաշխիքային ժամկետը, որի սահմաններում ապահովվում է մեքենամասերի և հանգույցների աշխատունակությունը:

Մակերևութային պլաստիկ դեֆորմացման (ՄՊԴ) բարձր արդյունավետությունը, որն անհրաժեշտ է մեքենամասերի հոգնաձային դիմադրության բարձրացման համար, պայմանավորված է մնացորդային սեղմող լարումների բարենպաստ