

Մ.Գ. ՍՏԱԿՅԱՆ, Շ.Ջ. ՄԻՍԹԱՆԻ, Մ.Է. ՀԱՅԿԱԶՅԱՆ

ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՑԻՆ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՑԹՆԵՐԻ ԱՄՐԱՑՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ
ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՍՈՂԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ

Դիտարկվում են 40X մակնիշի պողպատից պատրաստված մեքենամասերի մակերևութային շերտերում միկրոկարծրությունների և միկրոանհարթությունների պարամետրերի փոփոխման առանձնահատկությունները մակերևութային պլաստիկ դեֆորմացման (ՄՊԴ) տեխնոլոգիայի կիրառման արդյունքում: Օգտագործելով տվյալների մշակման փոքրագույն քառակուսիների մեթոդը, որը լրացված է լավարկային ընթացակարգերով, կատարված է ամրացման գործընթացի ձևայնացում և ստացված են մաթեմատիկական մոդելներ մակերևութային շերտի ֆիզիկամեխանիկական պարամետրերի որոշման համար՝ կախված ամրացման ռեժիմային պայմաններից:

Առանցքային բառեր. մակերևութային պլաստիկ դեֆորմացում, միկրոկարծրություն, մակերևութային անհարթություններ, փոքրագույն քառակուսիների մեթոդ, մաթեմատիկական մոդել:

Մեքենամասերի և հանգույցների կրողունակության, երկարակեցության և հուսալիության բարձրացման նպատակով լայնորեն օգտագործվում են մակերևութային պլաստիկ դեֆորմացման (ՄՊԴ) մեթոդները, որոնց շնորհիվ աշխատանքային մակերևութային շերտերը ստանում են անհրաժեշտ դեֆորմացիոն ամրացում (մակակոպիում): ՄՊԴ-ն փոքրացնում է մակերևութային միկրոանհարթությունների բարձրությունները, բարձրացնում կարծրությունը և մակերևութային շերտերում ստեղծում մնացորդային սեղմող լարումներ, որոնց շնորհիվ բարձրանում են մեքենամասերի և հանգույցների շահագործական ցուցանիշները՝ հոգնածային և հարակցման դիմադրությունը, կոնտակտային դիմացկունությունը և մաշակայունությունը: Այն հատկապես արդյունավետ է կոնտակտային և տեխնոլոգիական բնույթի լարումների կոնտակտներ ունեցող մեքենամասերի համար [1,2]:

ՄՊԴ-ի ազդեցությունը նշված մեքենամասերի ֆիզիկամեխանիկական ցուցանիշների վրա ուսումնասիրելու նպատակով կատարված է փորձարարական հետազոտություն: Խառատային հաստոցի վրա տեղակայված դեֆորմացնող գործիքով, որի աշխատանքային տարրը շրջագլորման սկզբունքով գործող գնդիկ է, պողպատյա փորձանմուշների մի խմբաքանակ ենթարկված է մակերևութային ամրացման, իսկ այնուհետև կատարվել են մակերևութային շերտերի խորդուրորդությունների պարամետրերի և ըստ խորության՝ միկրոկարծրությունների չափումներ $K_{\text{Либр}}-210$ մակնիշի պրոֆիլաչափ-պրոֆիլագրով և ПМТ-3 սարքով: Փորձանմուշների քանակը՝ $n=15$, նյութը՝ կոնստրուկցիոն պողպատ 40X, ГОСТ4543-81, $\sigma_B = 870 \text{ ՄՊա}$, $H_B =$

=215...250: Նախնական մշակման ռեժիմներն են. $n=560$ պտ/րոպ, $V=50$ մ/րոպ, $S=0,1$ մմ/պտ, $t=0,5$ մմ, $d=35,5$ մմ, մշակման նախնական մակերևութային մաքրությունը՝ $R_a = 1,71$ մկմ, $R_z = 8,83$ մկմ, $R_{max} = 10,08$ մկմ: Փորձանմուշների արտաքին մակերևութները դեֆորմացնող գործիքի պտտվող գնդիկի ներխուժման և երկայնական մատուցման միջոցով ենթարկվել են ամրացման՝ կիրառելով քսայուղ (масло индустриальное, И-20А, ГОСТ 20799-88): Մակերևույթը մշակող գործիքի պարամետրերն են. գնդիկի տրամագիծը՝ $d_g = 8,731$ մմ, նյութը՝ պողպատ IIIХ15, ГОСТ 801-88, մակերևութային կարծրությունը՝ $HRC=62...65$: Ամրացման ռեժիմային պարամետրերն են. $F=100, 200, 300, 400, 500$ Ն, F -ի յուրաքանչյուր արժեքի համար $S=0,050, 0,100$ և $0,155$ մմ/պտ մատուցումներով: Կատարված են ամրացված մակերևութների միկրոանիսարթությունների R_a, R_z, R_{max} պարամետրերի չափումներ բոլոր 15 փորձանմուշների համար:

Պլաստիկ դեֆորմացված մակերևութային շերտերում $\Delta h = 0 \dots 0,3$ մմ խորությամբ միկրոկարծրությունների չափման նպատակով նուրբ հղկմամբ $\alpha = 2^\circ 20'$ անկյան տակ արտաքին մակերևութի վրա ստացվել են հարթակներ, որոնց համաչափության առանցքով կատարվել են այդ չափումները. $l_1 = 0 \dots 2$ մմ տեղամասում՝ $0,2$ մմ, իսկ $l_2 = 2 \dots 7$ մմ տեղամասում՝ $0,5$ մմ քայլերով (20 չափում):

Հետազոտության արդյունքների ընդհանրացման և ստացված առնչությունները հաշվարկանախագծային, տեխնոլոգիական, սպասարկման և շահագործման գործընթացներում օգտագործելու նպատակով անհրաժեշտ է ձևայնացնել պատասխանատու մեքենամասերի (լիսեռներ, ստամանիվներ, առանցքակալային վռաններ և այլն) աշխատանքային մակերևութների ամրացման գործընթացները և դուրս բերել մշակման տեխնոլոգիական ռեժիմային պարամետրերի առնչությունը մակերևութային շերտերի ֆիզիկամեխանիկական ցուցանիշների հետ, որոնք փաստորեն այդ գործընթացների մաթեմատիկական մոդելներն են: Ընդհանուր դեպքում դա արտահայտվում է բազմապարամետրական ֆունկցիոնալ կապով՝ $\varphi(\sigma_B, \sigma_T, HB, HV, l, \Delta h, V, S, t, F) = 0$, որը գործնական հաշվարկներում օգտագործելու նպատակով հարմար է ներկայացնել փոխկապակցված պարամետրական հավասարումների համակարգի տեսքով.

$$HV = f_1(\ell), HV = f_2(S), HV = f_3(F), R_a, R_z, R_{max} = f_{4,5,6}(F), \dots, \quad (1)$$

որը թույլ է տալիս հաշվարկներում կամ տեխնոլոգիական գործընթացներում, որն է ցուցանիշի արժեքն ապահովելու պահանջից ելնելով, համալիր կարգով որոշել ցուցանիշների ողջ համակարգը:

$HV = f_1(\ell)$ առնչության դուրսբերման նպատակով չափումները դասակարգված են 15 խմբաքանակներում (ըստ F, S -ի), իսկ $R_a, R_z, R_{max} = f_{4,5,6}(F)$ -ի համար՝ 9 խմբաքանակներում (ըստ S -ի): Փորձարկումների տվյալները վկայում են, որ նշված ֆունկցիաների տեսքի և գրադիենտի, ինչպես նաև $HV_{max}, \Delta h_{max}$ և $(R_a, R_z, R_{max})_{min}$

արժեքների վրա ազդող հիմնական գործոնը գրտնակիչի ճնշման F ուժն է: S մատուցման ազդեցությունը համեմատաբար ցածր է և այն հիմնականում բացահայտվում է միկրոանհարթությունների ձևավորման գործընթացում:

Նշված ֆունկցիաների դուրսբերման համար օգտագործված է փոքրագույն քառակուսիների մեթոդը, համաձայն որի՝ հետազոտվող $y_x = f(x, a_0, a_1, a_2, \dots, a_h)$ ֆունկցիոնալ կապի $a_0, a_1, a_2, \dots, a_h$ գործակիցները որոշվում են հետևյալ պայմանից՝

$$E = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - y_{xi})^2 = \sum [y_i - f(x, a_0, a_1, a_2, \dots, a_h)]^2 \Rightarrow \min,$$

որը բերվում է նորմալ հավասարումների համակարգի լուծմանը [3].

$$\partial E / \partial a_0 = 0, \quad \partial E / \partial a_1 = 0, \quad \partial E / \partial a_2 = 0, \quad \dots, \quad \partial E / \partial a_h = 0, \quad (2)$$

որտեղ e_i -ն շեղումն է y_i փորձարարական և դրան համապատասխանող y_{xi} հաշվարկային տվյալների միջև: (2) համակարգերի տեսքերն ուղղագծային, քառակուսային և խորանարդային պարաբոլական, ինչպես նաև աստիճանային հիպերբոլական առնչությունների համար՝

$$y_x = a_0 + a_1 x, \quad (3)$$

$$y_x = a_0 + a_1 x + a_2 x^2, \quad (4)$$

$$y_x = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3, \quad (5)$$

$$y_x = a_0 + a_1 x^{-(m+\Delta m)}, \quad (6)$$

տրված են [3,4]-ում: (3)-(6) ֆունկցիաներից որևէ մեկի ճիշտ ընտրությունը կարևոր նշանակություն ունի հետագա հաշվարկներում պարամետրերի քանակական գնահատման համար, մանավանդ, երբ դա վերաբերում է քիչ հետազոտված գործընթացների և երևույթների ուսումնասիրմանը: ՓՔՄ-ը թույլ է տալիս իրականացնել այդ համեմատական վերլուծությունը, եթե հաշվարկներում ներմուծվի լրացուցիչ լավարկային ընթացակարգ՝ ներկայացված մաթեմատիկական մոդելներից ընտրելու այն տարբերակը, որն ապահովում է հետևյալ պայմանը.

$$\min(E \Rightarrow \min) : \quad (7)$$

Նման մոտեցումը նշանակալիորեն ապահովում է մաթեմատիկական մոդելի համապատասխանությունը հետազոտվող գործընթացին և բացառում է դրա ընտրության սուբյեկտիվ բնույթը [4]: Զգալի ծավալի հաշվարկներ կատարելու համար ստեղծված է կիրառական ծրագրային փաթեթ, որը ներառում է նշված հաշվարկային ընթացակարգերը [4]:

Հաշվարկներն ըստ (1)-(7)-ի (աղ. 1) բացահայտում են ամրացման գործընթացի հիմնական գործոնի՝ ճնշման F ուժի տարաբնույթ ազդեցությունը մակերևութային շերտերում $HV = f_1(\ell)$ միկրոկարծրությունների փոփոխման օրինաչափությունների վրա (նկ. 1): $F=100$ Ն-ի դեպքում HV -ի գրադիենտը թույլ է, որն էլ արտահայտվում է (3) ուղղագծային կապով, $F=100...400$ Ն միջակայքում HV -ի գրադիենտը հետզհետե աճում է, որը բնութագրվում է (5) խորանարդային պարաբոլական առնչությամբ. այն նաև գերակշռում է մյուսների համեմատ (թթ. 1, 4...10 և 13 փորձանմուշներում): $F=300...400$ Ն միջակայքում, որտեղ նշագրվել են HV_{max} արժեքները, գերադասելի են (6) աստիճանային հիպերբոլական առնչությունները (նկ. 1 գ):

$R_a, R_z, R_{max} = f_{4,5,6}(F)$ ֆունկցիաների համար դիտարկված (3)-(6) առնչություններից որպես մաթեմատիկական մոդել գերադասելի է (5) խորանարդային պարաբոլականը, որը փորձարկումների ողջ խմբաքանակի համար ապահովում է $min(E_{min})$ պայմանը (աղ. 2): Համեմատական կարգով այլընտրանքային է (4) քառակուսային պարաբոլական առնչությունը, որը հատկապես $R_a = f_4(F)$ ֆունկցիայի համար շատ մոտ է (5)-ին: Նույն ֆունկցիայի համար այնուհետև կարելի է նշել նաև (1) զծային առնչությունը, սակայն $R_z = f_5(F)$, $R_{max} = f_6(F)$ -ի համար առաջնայինը (5) առնչությունն է (նկ. 2):

Աղյուսակ 1

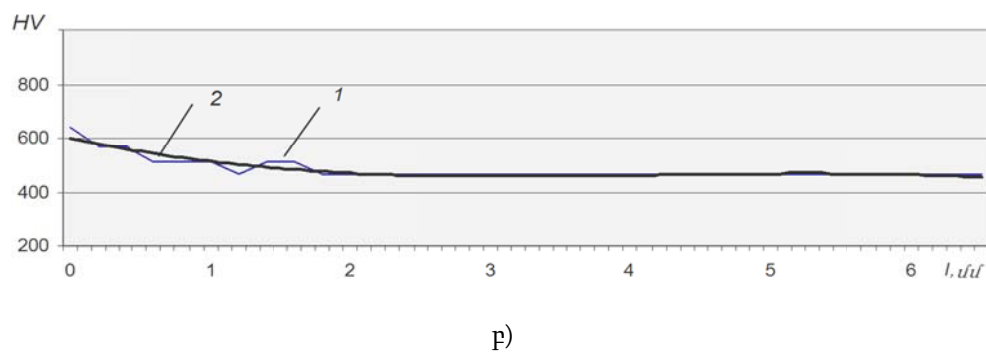
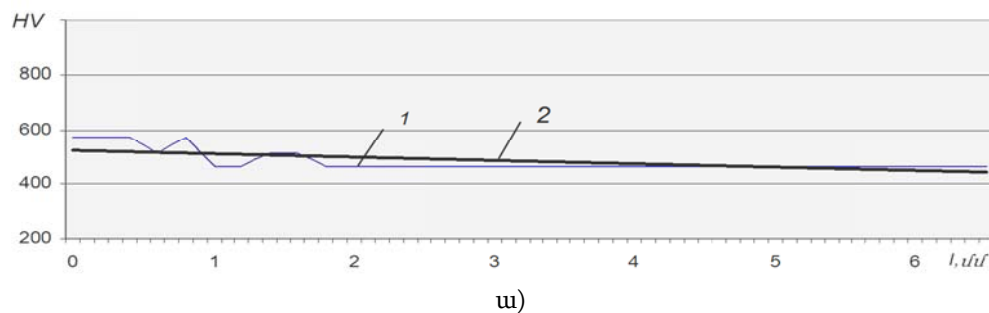
Տվյալների մաթեմատիկական միջարկման արդյունքներն ըստ $HV = f_1(\ell)$ -ի

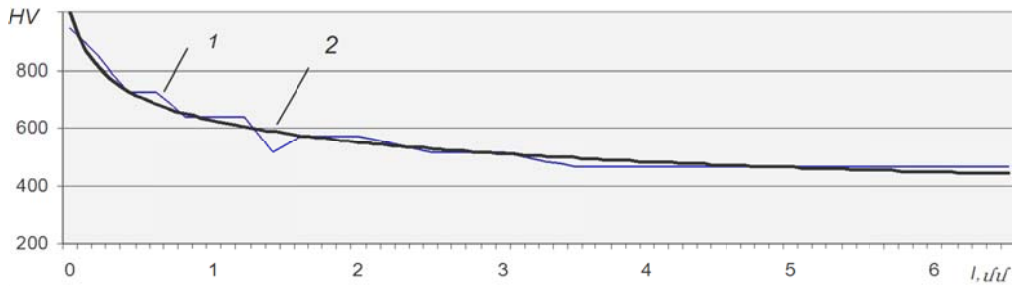
Փորձանմուշի համարը	$F, \text{Ն}$	E-ի արժեքներն ըստ (3), (4), (5), (6) ֆունկցիաների				E_{min} արժեքներն ապահոված (3), (5), (6) ֆունկցիաների պարամետրերը				
		զծային (3)	քառակուսային (4)	խորանարդային (5)	հիպերբոլային (6)	m	a_0	a_1	a_2	a_3
1	100	41030,62	18901,09	17722,33	26009,37	-	592,12	-7,5304	0,1372	-0,0008
2		51371,97	57591,24	64083,70	65675,60		521,93	-1,2273	-	-
3		52399,02	24345,15	17029,04	14214,00		0,0891	0	652,9200	-
4	200	37154,87	16119,08	10011,12	12432,61	-	614,65	-12,1990	0,3039	-0,0024
5		46196,20	23775,08	22615,83	22771,75		637,81	-12,5120	0,2863	-0,0021
6		184760,55	68805,13	32712,89	41464,48		818,66	-26,4570	0,6354	-0,0049
7	300	245454,96	52107,85	16322,83	68472,01	-	866,72	-28,039	0,6200	-0,0044
8		61400,97	29167,51	15429,13	19269,56		641,06	-14,8070	0,3769	-0,0030
9		84034,57	25842,75	12592,61	20683,13		705,97	-17,8410	0,4176	-0,0031
10	400	301741,60	153313,03	61198,09	30101,03	-	847,34	-34,8850	0,9329	-0,0076
11		214159,12	62787,99	42466,31	36999,40		0,1964	0	1001,1000	-
12		220598,90	72811,48	47293,63	35828,95		0,1896	0	969,7900	-
13	500	4316,88	1262,91	626,38	687,45	-	855,85	-27,9740	0,6502	-0,0049
14		95873,71	38089,74	32502,25	29884,23		0,1560	0	869,0400	-
15		2003008,58	35630,22	9488784,94	29951,63		0,1134	0	707,6400	-

Ծանոթություն. ստվերված են E_{min} արժեքները:

Հավարկային մաթեմատիկական մոդելի ընտրությունը R_a , R_z , $R_{max} = f_{4,5,6}(F)$ - ի համար

N	E-ի արժեքներն ըստ (1)- (4) ֆունկցիաների				(3) ֆունկցիայի			
	գծային (3)	քառակուսային(4)	խորանարդային (5)	հիպերբոլային (6)	a_0	a_1	$a_2 \times 10^{-6}$	$a_3 \times 10^{-8}$
R_a								
1	0,12497	0,04877	0,03643	0,09245	1.67389	-0.0068	15.0	-1.00
2	0,05915	0,02434	0,02240	0,10959	1.68246	-0.0050	7.2	-0.50
3	0,02885	0,02633	0,02596	0,17596	1.68349	-0.0028	-1.0	0.24
R_z								
4	8,15596	2,98566	0,58210	0,67342	8.68063	-0.0572	180	-20
5	2,93168	1,43301	0,53977	2,13913	8.70008	-0.0389	110	-10
6	1,47331	1,31988	0,95628	4,60133	8.64794	-0.0264	63	-7
R_{max}								
7	10,50625	3,40120	0,83553	1,60877	9.90444	-0.0616	190	-20
8	5,15267	1,32974	0,43086	0,67569	9.97048	-0.0443	120	-10
9	1,91078	0,92061	0,68876	2,00305	9.91516	-0.0275	61	-6

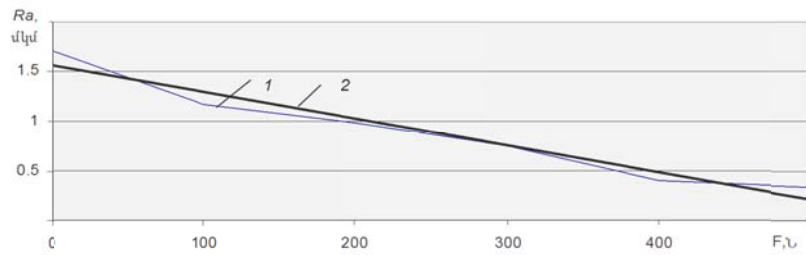




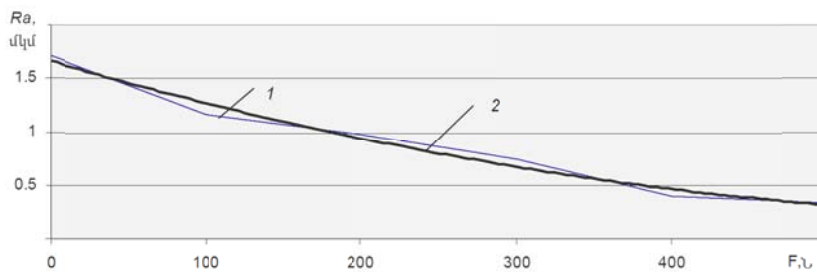
գ)

Նկ. 1. E_{min} արժեքներն ապահոված $HV = f_1(\ell)$ ֆունկցիաները .

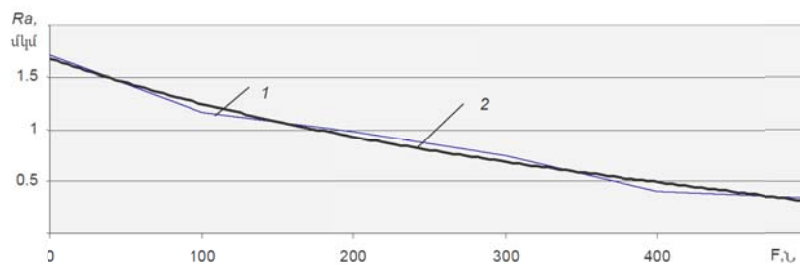
ω – ուղղագծային (3), թ. 2, p – խորանորդային պարաբոլ (5), թ. 4, q – հիպերբոլային (6), թ. 11 փորձանմուշների համար. 1 – փորձարարական բեկյալ գծերը, 2 – $HV = f_1(\ell)$ ֆունկցիաները



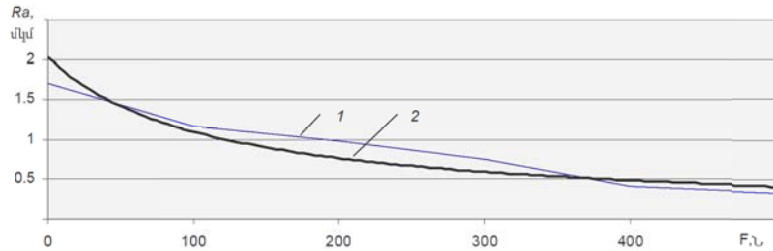
ա)



բ)



գ)



դ)

Նկ. 2. $R_a = f_4(F)$ առնչության լավարկային մաթեմատիկական մոդելի ընտրությունը թ. 2 փորձարկումների խմբաքանակի համար (աղ. 2, $S=0,1$ մմ/սմ). ա), բ), գ), դ)-ն համապատասխանում են (3)-(6) ֆունկցիաներին.

1-փորձարարական տվյալները, 2-(3) - (6) ֆունկցիաները

Ստացված արդյունքները վկայում են, որ մշակված կիրառական ծրագրային փաթեթը զգալիորեն ընդլայնում է ՓՔՄ-ի հնարավորությունները, թույլ տալով հետազոտության շրջանակներում քանակականից անցնելու նաև որակական գնահատումների, քանի որ հաշվարկներում (7) պայմանի ընդգրկումը հնարավորություն է ընձեռում կատարելու լավարկային և այլընտրանքային լուծումներ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Систани Ш. Дж.** Повышение несущей способности и надежности логистического оборудования применением упрочняющих технологий // Мат. Междунар. науч.-практ. конф. Арм.-Польск. экон. фор.: “Логистика, упаковка, полиграфия - 2011”, г. Ереван, 17-18 окт. 2011г. – Ереван: Арменпак, 2012. – С. 60-67.
2. **Дашенко А.Ф., Кравчук В.С., Иоргачев В.Д.** Несущая способность упрочненных деталей машин. - Одесса: Астропринт, 2004.-160 с.
3. **Ստախյան Մ.Գ.** Գիտափորձի արդյունքների վիճակագրական մշակման մեթոդները.- Երևան: ՀՊՃՀ հրատ., 2003.-100 էջ:
4. **Стакян М.Г., Маргарян Э.А., Ильев Д.Б.** Расширение возможностей метода наименьших квадратов, применяемого в различных исследованиях // Международный научный журнал (г. Москва). - 2011.- N4.- С.65-70.

ՀՊՃՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 22.05.2012:

М.Г. СТАКЯН, Ш.ДЖ. СИСТАНИ, М.Э. АЙКАЗЯН

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРОЧНЕНИЯ
РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

На основе технологии поверхностного пластического деформирования рассматриваются особенности изменения микротвердостей и параметров микронеровностей на поверхностных слоях деталей, изготовленных из стали 40Х. Используя метод наименьших квадратов для обработки данных, который дополнен оптимизационными процедурами, произведена формализация процесса упрочнения и получены математические модели для определения физико-механических параметров поверхностного слоя в зависимости от режимных параметров упрочнения.

Ключевые слова: поверхностное пластическое деформирование, микротвердость, поверхностные неровности, метод наименьших квадратов, математическая модель.

M.G. STAKYAN, SH.J. SISTANI, M.E. HAYKAZYAN

MATHEMATICAL MODELING OF THE SURFACE STRENGTHENING PROCESS

On the basis of the surface plastic deformation technology, the peculiarities of changes in microhardnesses and unevenness parameters on the surface layers of the parts made of steel 40X are considered. By using the method of the least squares supplemented by optimization procedures for data elaboration, formalization of the strengthening process is carried out and mathematical models for defining the physical and mechanical parameters of the surface layer depending on the regime parameters of strengthening are obtained.

Keywords: surfaces plastic deformation, microhardness, surface unevennesses, method of the least squares, mathematical model.