

## Изследване и оптимизиране режимите на наваряване на износени детайли от земеделската и автотракторната техника

Даниел Любенов, Иван Митев, Даниел Бекана

**Research on Parameters of Arc Weld Deposition on Worn out Machine Parts from Auto-tractors and Agricultural Techniques:** In this material the process parameters of the depositing of carbon dioxide arc welding coatings on worn out cast iron machine parts from the auto-tractors and agricultural technique have been researched using computer programs for statistics and optimization. The gas arc welding process has a lot of applications because of its high productivity, simplicity of performance, low price of the materials and the equipment and high quality of the welding coatings.

**Key words:** Process Parameters; CO<sub>2</sub> Arc Weld Deposition; Statistics; Optimization.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Планирането на експеримента, оптималното проектиране, изучаването и оптимизацията на сложните процеси са обективна необходимост за всяко инженерно изследване [3]. Експерименталното изследване е важно условие за получаването на ценни за практиката резултати [4].

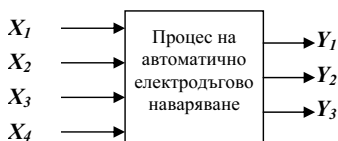
При наличието на голяма алтернативност по отношение изборът не само на методи, но и на режими на наваряване, за възстановяване работоспособността на износените детайли от земеделската и автотракторната техника, възниква въпросът относно изборът на такива критерии, които да осигурят оптимални технико икономически показатели на наварените повърхнини. От тук следва, че е необходимо не само да се избере рационален метод за възстановяване, но да се подбере и съответният режим на наваряване съобразно специфичните особености на структурните характеристики на детайлите подлежащи на възстановяване.

Ето защо предмет на настоящото изследване е определяне на функционалната зависимост между управляемите фактори и изходните параметри намираща пряко отражение върху качеството на сформирание на шева, определянето ограничителните параметри свързани с границите на приложимост на изследваните методи и себестойността на възстановяване.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

Целта на общия подход при експерименталните изследвания е да се създаде възможност за въвеждането на обща терминология, означение и методика на експерименталните изследвания за всички области и за всички обекти на планиране в дадената област. Този подход е разработен на базата на един от принципите на кибернетиката известен като принцип на "черната кутия". Съгласно този принцип всеки обект от която и да е област може да бъде изучен и управляван само по неговите реакции породени от едни или други външни въздействия без да се познават процесите протичащи вътре в обекта. Това непознаване дава названието "черна кутия" [1, 2, 3].

На фиг. 1 е представен кибернетичен модел на многофакторния експеримент. За определяне на режима на наваряване в защитна среда от въглероден диоксид са проведени опити върху пробни тела от Ст 45 с диаметър 80 mm. Използвана е електродна тел марка "Св-08Г2С" с диаметър на тела  $d_T = 1,6$  mm.



Фиг. 1. Кибернетичен модел на обекта на изследване

Входните управляеми фактори, включени в кибернетичния модел са:

$X_1$  – Скорост на наваряване ( $V_H$ , m/min);  $X_2$  – Скорост на подаване на тела ( $V_T$ , m/min);  $X_3$  – Стъпка на наваряване ( $S_H$ , mm);  $X_4$  – Напрежение на наваряване ( $U_H$ , V).

Изходните параметри на модела са:

$Y_1$  – Коефициент на неравномерност на макронеравностите ( $K_R$ , %);  $Y_2$  – Дебелина на покритието ( $a$ , mm);  $Y_3$  – Загуби на метал ( $G_{заг}$ , g).

Планът на многофакторния експеримент на е от типа “ $B_m$ ”, при  $m = 4$ . Планът на експеримента се състои от ядро на плана, което представлява дробен факторен експеримент (ДФЕ) от вида  $2^{4-1}$ .

При този тип многофакторен експеримент уравнението на регресия има вида:

$$Y_1 = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{14}X_1X_4 + b_{23}X_2X_3 + b_{24}X_2X_4 + b_{34}X_3X_4 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 + b_{44}X_4^2, \quad (1)$$

където  $b_i$  са коефициентите на регресия. В табл.1 са показани нивата на вариране на входните фактори.

Таблица 1. Стойности на основните нива и нивата на вариране на входните фактори

N	Фактори	Променливи величини			
		$V_H$	$V_T$	$S_H$	$U_H$
1	Размерност	m/min	m/min	mm	V
2	Основно ниво ( $X_i = 0$ )	1,1	1,9	3,1	22
3	Интервал на вариране ( $\Delta_i = 0$ )	0,5	0,4	0,2	2
4	Горно ниво ( $X_i = +1$ )	1,6	1,5	3,3	24
5	Долно ниво ( $X_i = -1$ )	0,6	2,3	2,9	20
6	Код	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$

### Резултати от изследването.

Резултатите от регресионния експеримент са получени чрез използване на компютърна програма за статистическа обработка “STATISTIQS”.

В табл. 2 са показани матрицата на експеримента и получените опитни стойности за  $Y_1$ ,  $Y_2$  и  $Y_3$ .

При изменението на управляемите фактори  $X_1$ ,  $X_2$  и  $X_3$  и  $X_4$  в интервала от -1 до +1, параметърът  $Y_1$  се изменя в широки граници (от 5,0 % до 40,0 %). Това означава, че обектът се поддава на управление, а с това и на оптимизация. Най-добрият резултат по отношение на  $Y_1$  (5,0 %) се получава в 5-ти опит, при който  $X_1$  е на долно ниво,  $X_2$  на горно ниво,  $X_3$  на долно ниво, а  $X_4$  на горно ниво.

Табл.2 Матрица на експеримента и получени опитни стойности за  $Y_1$ ,  $Y_2$  и  $Y_3$ .

N	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$
1	+1	-1	+1	+1	-1	12	1,84	6,44
2	+1	+1	+1	+1	+1	25	1,23	7,79
3	+1	-1	-1	+1	+1	15	1,46	5,79
4	+1	+1	-1	+1	-1	40	1,00	11,88
5	+1	-1	+1	-1	+1	5	2,03	1,56
6	+1	+1	+1	-1	-1	20	1,36	7,67
7	+1	-1	-1	-1	-1	13	1,50	4,34
8	+1	+1	-1	-1	+1	33	0,88	8,52
9	+1	+1	0	0	0	31	1,07	8,10
10	+1	-1	0	0	0	8	1,60	2,04
11	+1	0	+1	0	0	13	1,46	3,72
12	+1	0	-1	0	0	15	1,19	4,29
13	+1	0	0	+1	0	17	1,23	4,67
14	+1	0	0	-1	0	9	1,45	2,05
15	+1	0	0	0	+1	11	1,30	2,69
16	+1	0	0	0	-1	13	1,37	3,59
17	+1	0	0	0	0	12	1,33	3,22

В табл.3 са показани коефициентите на регресия, коефициентите на детерминираност и стойността на критерия на Фишер за параметъра  $Y_1$ .

Таблица 3. Коефициенти на регресия, коефициент на детерминираност и критерий на Фишер за параметъра  $Y_1$

Regression Summary for Dependent Variable: y1 (CO2)						
R= ,98762753 R <sup>2</sup> = ,97540814 Adjusted R <sup>2</sup> = ,92130604						
F(11,5)=18,029 p<.00254 Std.Error of estimate: 2,7021						
N=17	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(5)	p-level
Intercept			12,57303	1,180935	10,64668	0,000126
x1	0,787926	0,070131	9,60000	0,854469	11,23504	0,000098
x2	-0,336510	0,070131	-4,10000	0,854469	-4,79830	0,004891
x3	0,238019	0,070131	2,90000	0,854469	3,39392	0,019379
x4	-0,073868	0,070131	-0,90000	0,854469	-1,05329	0,340426
x12	-0,155998	0,070131	-2,12500	0,955326	-2,22437	0,076706
x13	0,027529	0,070131	0,37500	0,955326	0,39254	0,710838
x23	0,027529	0,070131	0,37500	0,955326	0,39254	0,710838
x11	0,359793	0,089878	6,83146	1,706537	4,00311	0,010292
x22	0,070124	0,089878	1,33146	1,706537	0,78021	0,470570
x33	0,017457	0,089878	0,33146	1,706537	0,19423	0,853641
x44	-0,035210	0,089878	-0,66854	1,706537	-0,39175	0,711381

където  $R^2$  е коефициентът на детерминираност;  $R$  – коефициентът на корелация;  $B$  – коефициентите на регресия;  $F(11, 5)$  – критерият на Фишер със степени на свобода 11 и 5;  $p$  – равнището на значимост за критерия на Фишер;  $t(5)$  – критериите на Стюдънт със степен на свобода 5;  $p-level$  – равнищата на значимост за критерия на Стюдънт.

Значимите коефициенти при ( $\alpha = 0,1$  – равнище на значимост) са:  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{11}$ .

Коефициентът на детерминираност (определеност)  $R^2 = 0,975$ , от което следва, че 98 % от изменението на  $Y_1$  се дължи на управляемите фактори и само 2 % - на неуправляемите фактори, което е незначително. След изключване на членовете с незначими коефициенти уравнението на регресия за  $Y_1$  има вида:

$$Y_1 = 12,57 + 9,67X_1 - 4,1X_2 + 2,9X_3 - 2,13X_1X_2 + 6,83X_1^2 \quad (2)$$

Критерий на Фишер  $F(11;5) = 18,029$  и съответната му вероятност  $p < 0,00254$  е  $< 0,05$  показват, че параболичният модел е адекватен.

#### Определяне на степента на влияние на отделните фактори.

Интерес представлява определяне влиянието на отделните фактори върху изходните параметри. Това се извършва чрез последователно изключване на факторите един по един и отразяването на това върху коефициента на определеност  $R^2$ . При изключване на най-силния фактор  $R^2$  получава най-малка стойност.

Табл. 4. Коефициенти на регресия при изключен фактор  $X_1$  за параметъра  $Y_1$

Regression Summary for Dependent Variable: y1 (CO2)						
R= ,59846683 R <sup>2</sup> = ,35458075 Adjusted R <sup>2</sup> = -----						
F(10,6)=3,29633 p<.94128 Std.Error of estimate: 12,637						
N=17	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(6)	p-level
Intercept			12,57303	5,522816	2,27656	0,063097
x2	-0,336510	0,327978	-4,10000	3,996052	-1,02601	0,344459
x3	0,238019	0,327978	2,90000	3,996052	0,72572	0,495333
x4	-0,073868	0,327978	-0,90000	3,996052	-0,22522	0,829281
x12	-0,155998	0,327978	-2,12500	4,467722	-0,47563	0,651157
x13	0,027529	0,327978	0,37500	4,467722	0,08394	0,935838
x23	0,027529	0,327978	0,37500	4,467722	0,08394	0,935838
x11	0,359793	0,420329	6,83146	7,980871	0,85598	0,424868
x22	0,070124	0,420329	1,33146	7,980871	0,16683	0,872983
x33	0,017457	0,420329	0,33146	7,980871	0,04153	0,968219
x44	-0,035210	0,420329	-0,66854	7,980871	-0,08377	0,935966

Табл. 5 Коефициенти на регресия при изключен фактор  $X_2$  за параметъра  $Y_1$

Regression Summary for Dependent Variable: y1 (CO2)						
R= ,92853062 R <sup>2</sup> = ,86216911 Adjusted R <sup>2</sup> = ,63245097						
F(10,6)=3,7532 p<.05955 Std.Error of estimate: 5,8396						
N=17	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(6)	p-level
Intercept			12,57303	2,552189	4,92637	0,002640
x1	0,787926	0,151565	9,60000	1,846645	5,19862	0,002018
x3	0,238019	0,151565	2,90000	1,846645	1,57042	0,167373
x4	-0,073868	0,151565	-0,90000	1,846645	-0,48737	0,643290
x12	-0,155998	0,151565	-2,12500	2,064612	-1,02925	0,343055
x13	0,027529	0,151565	0,37500	2,064612	0,18163	0,861852
x23	0,027529	0,151565	0,37500	2,064612	0,18163	0,861852
x11	0,359793	0,194241	6,83146	3,688099	1,85230	0,113428
x22	0,070124	0,194241	1,33146	3,688099	0,36102	0,730459
x33	0,017457	0,194241	0,33146	3,688099	0,08987	0,931313
x44	-0,035210	0,194241	-0,66854	3,688099	-0,18127	0,862125

Табл. 6. Коэффициенти на регресия при изключен фактор  $X_3$  за параметъра  $Y_1$

Regression Summary for Dependent Variable: y1 (CO2)						
R= .95851705 R <sup>2</sup> = .91875494 Adjusted R <sup>2</sup> = .78334651						
F(10,6)=6.7851 p<.01462 Std.Error of estimate: 4.4834						
	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(6)	p-level
Intercept			12.57303	1.959468	6.41656	0.000676
x1	0.787926	0.116365	9.60000	1.417779	6.77115	0.000507
x2	-0.336510	0.116365	-4.10000	1.417779	-2.89185	0.027627
x4	-0.073868	0.116365	-0.90000	1.417779	-0.63480	0.548987
x12	-0.155998	0.116365	-2.12500	1.585126	-1.34059	0.228580
x13	0.027529	0.116365	0.37500	1.585126	0.23657	0.820857
x23	0.027529	0.116365	0.37500	1.585126	0.23657	0.820857
x11	0.359793	0.149131	6.83146	2.831573	2.41260	0.052388
x22	0.070124	0.149131	1.33146	2.831573	0.47022	0.654804
x33	0.017457	0.149131	0.33146	2.831573	0.11706	0.910634
x44	-0.035210	0.149131	-0.66854	2.831573	-0.23610	0.821207

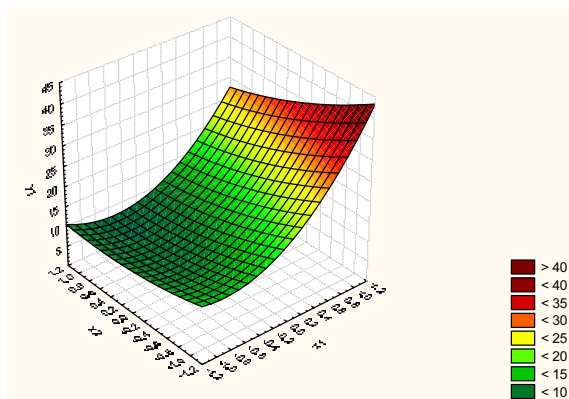
Табл. 7. Коэффициенти на регресия при изключен фактор  $X_4$  за параметъра  $Y_1$

Regression Summary for Dependent Variable: y1 (CO2)						
R= .98486123 R <sup>2</sup> = .96995165 Adjusted R <sup>2</sup> = .91987105						
F(10,6)=19.368 p<.00087 Std.Error of estimate: 2.7266						
	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(6)	p-level
Intercept			12.57303	1.191653	10.55091	0.000043
x1	0.787926	0.070768	9.60000	0.862225	11.13399	0.000031
x2	-0.336510	0.070768	-4.10000	0.862225	-4.75514	0.003142
x3	0.238019	0.070768	2.90000	0.862225	3.36339	0.015166
x12	-0.155998	0.070768	-2.12500	0.963997	-2.20436	0.069682
x13	0.027529	0.070768	0.37500	0.963997	0.38901	0.710703
x23	0.027529	0.070768	0.37500	0.963997	0.38901	0.710703
x11	0.359793	0.090694	6.83146	1.722026	3.96711	0.007391
x22	0.070124	0.090694	1.33146	1.722026	0.77319	0.468764
x33	0.017457	0.090694	0.33146	1.722026	0.19248	0.853714
x44	-0.035210	0.090694	-0.66854	1.722026	-0.38823	0.711248

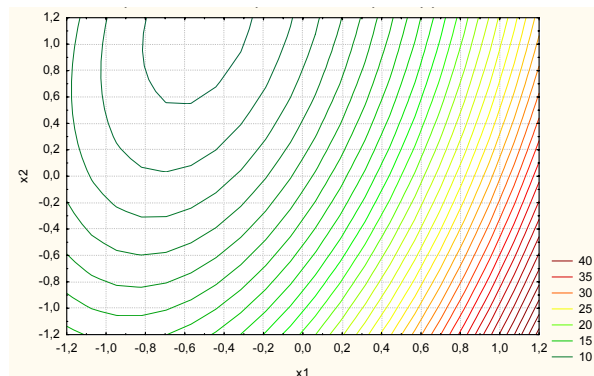
От сравняване на  $R^2$  (табл. 4, 5, 6 и 7) следва, че най-силно влияние върху  $Y_1$  има  $X_1$ , след това са съответно  $X_2$ ,  $X_3$  и  $X_4$ .

**Графично представяне на резултатите.**

На фиг. 3 е показана повърхнината на отклика на  $Y_1 = f(x_1, x_2)$ .



Фиг. 2 Повърхнина на отклика на  $Y_1 = f(x_1, x_2)$



Фиг. 3 Линии на еднакъв отклик  $y_1 = f(x_1, x_2)$

От фиг. 3 се вижда, че най-малък коефициент на неравномерност на макро неравностите ( $K_R$ ) имаме, когато  $X_1 = -0,5$ , а  $X_2 = 1$

### **Оптимизиране на режима на наваряване за параметър $Y_1$**

Оптимизацията на входните фактори спрямо изходните параметри е извършена чрез използване на компютърна програма за оптимизация „ОПТИМА 4“ разработен в средата „MATCAD“.

За оптималните кодирани стойности на входните фактори спрямо изходният параметър  $Y_1$  се получава:  $X_1 = -0,5$ ;  $X_2 = 1$ ;  $X_3 = -1$   $X_4 = 0,1$ ;

Оптималните натурални стойности на входните фактори спрямо изходният параметър  $Y_1$  са:  $X_1 (V_H) = 0,85 \text{ m/min}$ ;  $X_2 (V_m) = 2,3 \text{ m/min}$ ;  $X_3 (S_H) = 2,9 \text{ mm/об}$ ;  $X_4 (U_H) = 22,2 \text{ V}$ .

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В резултат от проведеното изследване могат да бъдат оформени следните изводи:

1. Критерий на Фишер и съответната му вероятност показват, че параболичният модел спрямо  $Y_1$  е адекватен.

2. Най-силно влияние върху изходния параметър  $Y_1$  има входния фактор  $X_1$ , след това са съответно  $X_2$ ,  $X_3$  и  $X_4$ .

3. Оптималните натурални стойности на входните фактори спрямо изходният параметър  $Y_1$  са:  $X_1 (V_H) = 0,85 \text{ m/min}$ ;  $X_2 (V_m) = 2,3 \text{ m/min}$ ;  $X_3 (S_H) = 2,9 \text{ mm/об}$ ;  $X_4 (U_H) = 22,2 \text{ V}$ .

Чрез извършения регресионен анализ и оптимизация са определени: адекватността на модела, уравненията на регресия, степента на влияние на отделните входни фактори върху изходните параметри, оптималните стойности на входните фактори спрямо изходните параметри.

### **ЛИТЕРАТУРА**

[1] Деликостов, Т. Оптимизиране параметрите на подфлюсово наваряване при използване на електродна лента. Селскостопанска техника, №3, София, 2005. с. 14-18.

[2] Деликостов, Т. и др. Многокритериално оптимизиране на параметрите на качеството при подфлюсово наваряване с различни електродни материали. Международна научна конференция “ТРАНСПОРТ 2006”, ВТУ “Тодор Каблешков”, София, 2006.

[3] Митков, А., Минков, Д., 1985. Математични методи на инженерните изследвания. Русе.

[4] Капица, П.Л. Эксперимент. Практика. Теория. Статъи, выступления, М., Мир, 1984, 352с.

### **За контакти:**

Инж. Даниел Любенов, катедра “Транспорт”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, Тел.: 082 888605, E-mail: dliubenov@ru.acad.bg

Доц. д-р инж. Иван Митев, катедра “Ремонт, надеждност и химични технологии”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, Тел.: 082 888701, E-mail: imitev@ru.acad.bg

Доц. д-р инж. Даниел Бекана, катедра “Ремонт, надеждност и химични технологии”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, Тел.: 082 888701, E-mail: imitev@ru.acad.bg

**Докладът е рецензиран.**