

Оптимизиране параметрите на процеса на възстановяване на чугунени детайли с електроден тел диаметър $d_t = 0,6 \text{ mm}$

Живко Колев, Даниел Бекана

Optimization of rebuilding Process Parameters with Arc CO_2 Weld Deposition of Cast Iron Machine Parts using Electrode Wire Diameter 0.6 mm. In this material the process parameters of deposition of carbon dioxide shielded arc weld coatings on worn out cast iron machine parts from the auto-tractors and agricultural technique have been researched. For this aim computer programs for statistics and optimization have been used.

Key words: Optimization; Automation Arc CO_2 Weld Deposition; Worn Out Cast Iron Machine Parts; Electrode Wire Diameter 0,6 mm.

Въведение

Процесите на възстановяване на износени чугунени детайли чрез електродъгово наваряване са съпътствани с твърде много проблеми, които се дължат на лошата технологична заваряемост на чугуните. Вследствие на това съществува обективна необходимост от изследване и усъвършенстване на съществуващите методи и процеси за наваряване на детайли от чугун [1, 2, 3, 4, 5].

Обект на настоящото изследване е процесът на наваряване на чугунени детайли при диаметър на електродния тел $d_T = 0,6 \text{ mm}$.

Проведен е многофакторен експеримент, като е използвана методиката на експериментално изследване, [3].

Изложение

На фиг.1 е показана кибернетичната схема на обекта на изследване (процеса на автоматично електродъгово наваряване на чугунени детайли в защитна среда от въглероден диоксид).

Резултатите от многофакторния анализ са получени с помощта на програма „STATISTIQS 7”.



Фиг.1. Кибернетична схема на обекта на изследване

Входните управляеми фактори, включени в кибернетичния модел са:

- ▶ X_1 - напрежение на наваряване U_H, V ;
- ▶ X_2 - стъпка на наваряване $S_H, \text{mm}/\text{min}^{-1}$;
- ▶ X_3 - скорост на подаване на електродния тел $V_T, \text{m}/\text{min}$.

Изходните параметри на модела са:

- ▶ Y_1 – коефициент на неравномерност на макронеравностите $K_{H.M.}, \%$;
- ▶ Y_2 – дебелина на наваръчното покритие a, mm .

Входните управляеми фактори с неизменящи се стойности са:

- ▶ изместване на електродния тел от зенита на образеца, $l = 2$ mm;
- ▶ дебит на защитен газ, $Q_{CO_2} = 20$ l/min;
- ▶ обороти на детайла, $n = 0,79$ min⁻¹;
- ▶ диаметър на детайла, $D = 50$ mm;
- ▶ излаз на електродния тел, $l_T = 10$ mm.

В табл.1 са показани нивата на вариране на входните фактори.

Таблица 1

Нива на вариране на факторите

	X_1	X_2	X_3	$X_1 \cdot X_2$	$X_1 \cdot X_3$	$X_2 \cdot X_3$	X_1^2	X_2^2	X_3^2	Y_1	Y_2
1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	37,77	3,46
2	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	19,38	3,20
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	100,25	3,24
4	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	63,12	3,12
5	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	62,73	4,04
6	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	13,35	3,60
7	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	120,33	3,86
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	48,04	3,42
9	-1	0	0	0	0	0	1	0	0	38,09	3,35
10	1	0	0	0	0	0	1	0	0	34,36	3,31
11	0	-1	0	0	0	0	0	1	0	22,18	3,39
12	0	1	0	0	0	0	0	1	0	61,78	3,38
13	0	0	-1	0	0	0	0	0	1	33,53	3,56
14	0	0	1	0	0	0	0	0	1	23,22	3,93

Таблица 2.

Разширена матрица на експеримента и получени опитни стойности за Y_1 и Y_2

Фактори	X_1 (U_H), V	X_2 (S_H), mm/min ⁻¹	X_3 (V_T), m/min
Основно ниво	24	5,3	7,90
Горно ниво	26	5,8	8,35
Долно ниво	22	4,8	7,45

При изменението на управляемите фактори X_1 , X_2 и X_3 в интервала от -1 до +1, параметърът Y_1 се изменя в широки граници (от 13,35 % до 120,33 %). Това означава, че обектът се поддава на управление, а с това и на оптимизация. Най-добрият резултат по отношение на Y_1 (13,35 %) се получава в 6-ти опит, при който X_1 и X_3 са на горно ниво а X_2 – на долно ниво. Най-лошият резултат се получава в опит №7, където X_2 и X_3 са на горно ниво а X_1 - на долно ниво. При същото изменение на управляемите фактори, параметърът Y_2 се изменя в не голям диапазон (от 3,12 mm до 4,04 mm). Най-добрият резултат за Y_2 се получава в опит № 4, а най-лошият – в опит № 5.

В табл.3 и табл.4 са показани коефициентите на регресия, коефициентите на определеност и стойностите на критерия на Фишер за изходните параметри Y_1 и Y_2 . С по-тъмен шрифт са отбелязани значимите коефициенти а с по-светъл шрифт – незначимите.

Таблица 3.

Коефициенти на регресия В, коефициент на определеност R^2
и критерий на Фишер F за параметъра Y_1 при $\alpha = 0,2$

N = 14	R = 0,967, $R^2 = 0,935$, F(9, 4) = 6,437, $p < 0,044$		
	B	t(4)	p - ниво
b_0	24,229	2,677	0,0554
X_1	-18,092	-4,028	0,0158
X_2	23,811	5,302	0,0061
X_3	1,362	0,303	0,7768
$X_1 \cdot X_2$	-5,206	-1,037	0,3584
$X_1 \cdot X_3$	-8,269	-1,647	0,1750
$X_2 \cdot X_3$	-1,741	-0,347	0,7462
X_1^2	11,996	1,325	0,2558
X_2^2	17,751	1,961	0,1214
X_3^2	4,146	0,460	0,6708

където R е коефициент на корелация;

R^2 - коефициент на детерминираност;

F(9, 4) - критерий на Фишер със степени на свобода 9 и 4;

p - равнище на значимост за критерия на Фишер;

B – коефициенти на регресия;

t(4) – стойности на критерия на Стюдънт със степен на свобода 4;

p – ниво - равнище на значимост за критерия на Стюдънт.

Коефициентът на детерминираност (определеност) $R^2 = 0,97$, от което следва, че 97 % от изменението на Y_1 се дължи на управляемите фактори и само 3 % - на неуправляемите фактори, което е незначително.

Таблица 4.

Коефициенти на регресия В, коефициент на определеност R^2
и критерий на Фишер F за параметъра Y_2 при $\alpha = 0,2$

N = 14	R = 0,977, $R^2 = 0,954$, F(9,4) = 9,196, $p < 0,024$		
	B	t(4)	p - ниво
b_0	3,4838	50,5742	0,000001
X_1	-0,1300	-3,8038	0,019041
X_2	-0,0670	-1,9604	0,121493
X_3	0,2270	6,6421	0,002667
$X_1 \cdot X_2$	0,0175	0,4580	0,670731
$X_1 \cdot X_3$	-0,0625	-1,6357	0,177243
$X_2 \cdot X_3$	-0,0075	-0,1963	0,853957
X_1^2	-1,1538	-2,2320	0,089411
X_2^2	-0,0988	-1,4336	0,224991
X_3^2	0,2613	3,7926	0,019226

Коефициентът на детерминираност $R^2 = 0,94$, от което следва, че 94 % от изменението на Y_1 се дължи на управляемите фактори и 6 % - на неуправляемите фактори.

Критерият на Фишер при $F(9, 4) = 6,44$ на което отговаря нивото $p < 0,044 < p_{\text{табл.}}$, тоест регресионният модел е адекватен.

Уравнението на регресия за Y_1 има вида:

$$Y_1 = 24,23 - 18,09X_1^0 + 23,81X_2^0 + 136X_3^0 - 5,21X_1^0X_2^0 - 8,27X_1^0X_3^0 - 1,74X_2^0X_3^0 + 12,00X_1^0{}^2 + 17,75X_2^0{}^2 + 4,15X_3^0{}^2 \quad (1)$$

Уравнението на регресия за Y_1 след изключване на незначимите коефициенти е следното:

$$Y_1 = 24,23 - 18,09X_1^0 + 23,81X_2^0 - 8,27X_1^0X_3^0 + 12,00X_1^0{}^2 + 17,75X_2^0{}^2 \quad (2)$$

Коефициентът на детерминираност $R^2 = 0,95$, от което следва, че 95 % от изменението на Y_2 се дължи на управляемите фактори и 9 % - на неуправляемите фактори.

Критерият на Фишер при $F(9, 4) = 9,196$ на което отговаря нивото $p < 0,024 < p_{\text{табл.}}$, тоест регресионният модел е адекватен.

С помощта на критерият на Стюдънт се установява, че факторът X_2 не оказва съществено влияние върху параметъра Y .

Уравнението на регресия за Y_2 има вида:

$$Y_2 = 3,48 - 0,130X_1^0 - 0,067X_2^0 + 0,227X_3^0 + 0,018X_1^0X_2^0 - 0,063X_1^0X_3^0 - 0,008X_2^0X_3^0 - 0,154X_1^0{}^2 - 0,099X_2^0{}^2 + 0,261X_3^0{}^2 \quad (3)$$

Уравнението на регресия за Y_2 след изключване на незначимите коефициенти е следното:

$$Y_2 = 3,48 - 0,130X_1^0 + 0,227X_3^0 - 0,154X_1^0{}^2 + 0,261X_3^0{}^2 \quad (4)$$

За определяне влиянието на отделните входни фактори върху изходните параметри се извършва чрез последователно изключване на факторите един по един и отразяването на това върху коефициента на определеност R^2 . Входния фактор, при чието изключване това намаление е най-голямо е този фактор, който оказва най-силно влияние върху дадения изходен параметър.

В табл.5 е показано подреждане на входните фактори с намаляващо влияние върху дадения изходен параметър, при $\alpha = 0,05$.

Таблица 5.

Подреждане на входните фактори, според влиянието им върху изходните параметри

Изходен параметър		Y_1	Y_2
Подреждане на входните фактори	1.	X_2	X_3
	2.	X_1	X_1
	3.	X_3	X_2

На фиг.2 е показана повърхнината на отклика на Y_1 в координатна система X_1X_2 (комбинацията от двата по-силно влияещи входни фактора).

На фиг.3 са показани линиите на еднакъв отклик на Y_1 в координатна система X_1X_2 .

На фиг.4 е показана повърхнината на отклика на Y_2 в координатна система X_1X_3 (комбинацията от двата по-силно влияещи входни фактора).

На фиг.5 са показани линиите на еднакъв отклик на Y_2 в координатна система X_1X_3 .

След многофакторния анализ е извършено оптимизиране на изходните параметри като е използвана програма за оптимизация "MATHCAD".

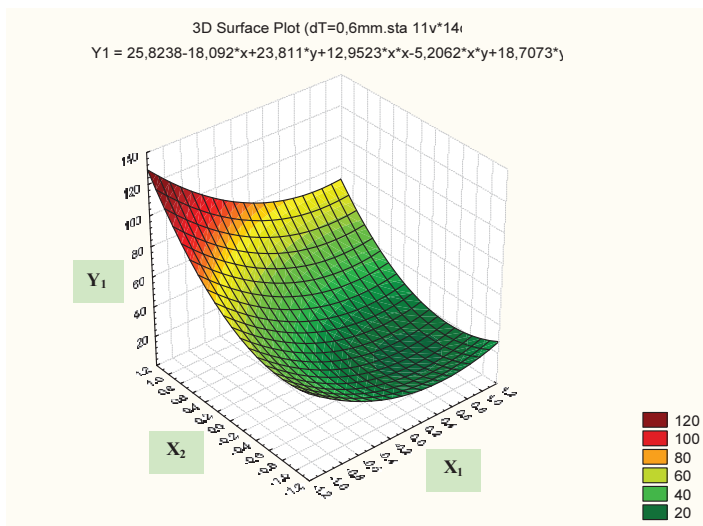
Резултатите от извършената оптимизация са следните:

Оптимални натурални стойности на входните фактори спрямо Y_1 :

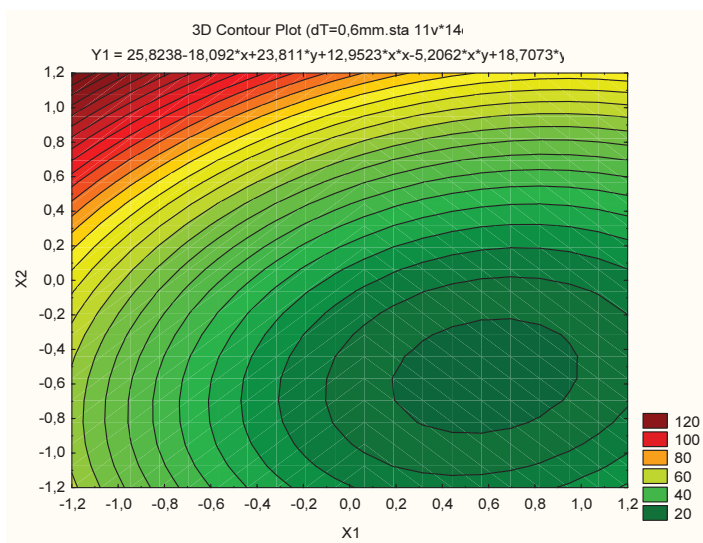
- ▶ $X_1 (U_H) = 25,66 \text{ V}$;
- ▶ $X_2 (S_H) = 5,04 \text{ mm/min}^{-1}$;
- ▶ $X_3 (V_T) = 8,15 \text{ m/min}$.

Оптимални натурални стойности на входните фактори спрямо Y_2 :

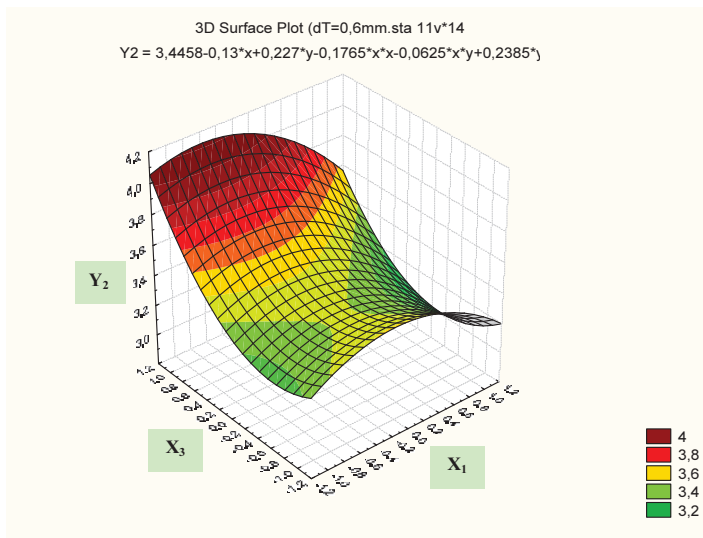
- ▶ $X_1 (U_H) = 26,00 \text{ V}$;
- ▶ $X_2 (S_H) = 4,80 \text{ mm/min}^{-1}$;
- ▶ $X_3 (V_T) = 7,77 \text{ m/min}$.



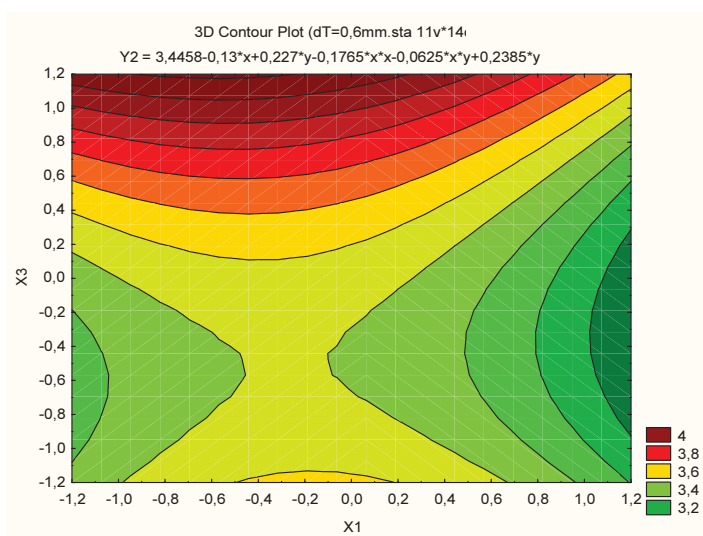
Фиг.2. Повърхнина на отклика на Y_1 в координатна система $X_{10}X_2$



Фиг.3. Линии на еднакъв отклик на Y_1 в координатна система $X_{10}X_2$



Фиг.4. Повърхнина на отклика на Y_2 в координатна система $X_{10}X_3$



Фиг.5. Линии на еднакъв отклик на Y_2 в координатна система $X_{10}X_3$

След проведена компромисна оптимизация като комбинация от оптимални параметри на процеса на наваряване е избран опит №6 от таблица 2 ($U_H = 26$ V; $S_H = 4,8$ mm/min⁻¹; $V_T = 8,35$ m/min).

Заклучение

1. В резултат на направените проверки по нивата на значимост за критерия на Фишер се следва, че модела е адекватен и за двата изходни параметъра.

2. На фигури 2 и 3 се вижда че оптимума по отношение на изходния параметър Y_1 може да бъде достигнат при използваните нива на входните фактори X_1 и X_2 .

3. От резултатите, илюстрирани на фиг. 4 и 5 следва, че оптимумите на повърхнините (минималните стойности на Y_2) се намират извън границите на графиките, което се дължи на технологични съображения относно избора на нивата на входните фактори X_1 и X_3 .

4. След проведена компромисна оптимизация като комбинация от оптимални параметри на процеса на наваряване е избран опит №6 от таблица 2.

4. Литература

[1] Белоев, Хр., Ж. Колев, Д. Бекана. Многофакторно изследване на комбинирана технология за нанасяне на наваръчни възстановителни покрития при поддържането и ремонта на земеделска и автотракторна техника. Списание "Селскостопанска техника", София, том 6, 2008 г., стр. 25–36.

[2] Колев, Ж., Д. Бекана. Изследване на комбинирана технология за нанасяне на възстановителни покрития върху износени чугунени детайли от земеделски машини. Научни трудове на РУ "А. Кънчев", том 44, допълнително издание, Русе, 2005 г., стр. 53-57.

[3] Колев Ж., Хр. Белоев, Д. Бекана. Изследване режима на автоматично електродръгово наваряване в защитна среда от въглероден диоксид на износени чугунени детайли от автотракторната и земеделската техника. Селскостопанска техника, София, 2006, брой 5, стр. 12-20.

[4] Василев В. С., и др. Технология на възстановяване на детайлите. Русе: РУ "Ан. Кънчев", 1996.

[5] Todorov E., Nikolov M., Tonchev G., Kangalov Pl. The influence of the composition of the gas mixture on the Electrical parameters of vibrating electrode arc welding of steel and cast iron parts in the sphere of automobile and tractor and agricultural technologies. The National Conference with International Participation – Automobile, Environment and Agricultural Machinery "AMMA- 2002", Cluj-Napoca: 2002, стр. 27...32.

За контакти:

Гл. ас. д-р Ж. Колев, Катедра "Топлотехника, хидро и пневмотехника", РУ "Ангел Кънчев", тел.: +359 888 701, e-mail: zkolev@uni-ruse.bg

Доц. д-р Д. Бекана, Катедра "Ремонт надеждност и химични технологии", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: +359 888 701, e-mail: dbekana@uni-ruse.bg

Рецензент: Доц. д-р Ив. Митев