

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА РЕЖИМА НА ЗАВАРЯВАНЕ ПОД ВОДА

Доц.Н.Ников, Инж.Б.Ников, Инж.Д.Ников, Инж.И.Табаков

Направените технологични изследвания до настоящия момент показват, че един от най-важните фактори при заваряване под вода е скоростта на заваряване, която в голяма степен определя качествата на заваръчното съединение [1,3,4].

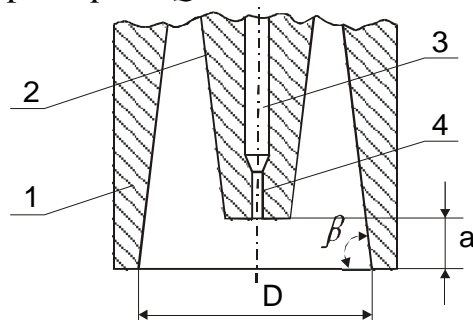
Основната задача на настоящото изследване е определяне на оптималните стойности на геометричните и технологичните фактори, осигуряващи максимална скорост на заваряване при получаване на минимален брой дефекти в завар. шев. Планиране на експеримента е извършено при параметър на оптимизация- скорост при заваряването и ограничение- дефекти на единица дължина от заваръчното съединение. Експеримента е осъществен в лабораторни условия в басейн с размери 1000x800x600mm, като за заваряване е използвана апаратура Прометей-АПРЗ-2М, а за осъществяване на постъпателното движение е ползвана система “Бугоматик”.

Опитните образци 200x150x12mm са от стомана: О9Г2. Заваряването е осъществено на дълбочина 350mm при следните условия: защитна среда CO₂+Ar (съотношение 70÷30%); тел-Св08Г2; de =1,2 mm; ток- постоянен с обратна полярност; дължина на кабелите на силовата верига 2x25m.

Табл.1

Входящи фактори	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅
	β[°]	a[mm]	D[mm]	Q[л/мин.]	V _{пк} [V]
Z _g min.	87,57	3,50	17,70	12,90	51,90
Z _g max.	89,43	8,50	23,30	17,60	51,10
Z _g ср.	88,50	6,00	20,50	15,25	55,00
λ _g	0,93	2,50	2,81	2,34	3,12

Факторите β, a и D са геометрични и са показани на фиг.1, а факторите Q и V_{пк} са технологични фактори от режимите на заваряване.



- 1-външна дюза
- 2-вътрешна дюза
- 3-канал за ел.тел;
- 4-токоподаваща част

Фиг.1 Схема на крайниците за заваряване.

Всички останали фактори, влияещи на процеса по време на експеримента се запазват постоянни.

За оценяване на зависимостта между скоростта на заваряване V [м/час] (параметър на оптимизацията) и входните факторите: ъгъл на разширение на корпуса на дюзата β [°]; разстоянието между вътрешната и външната дюза a [mm]; вътрешен диаметър на външната дюза D [mm]; разход на газ Q [л/мин.]; напрежение на празен ход на източника V_{nx} [V] бяха проведени експерименти по подходящ за случая ортогонален, централно композиционен план с матрица на планирането 43×27 .

Обработката на получените статистически данни е осъществено чрез програма на "MATLAB", което позволи да се построи следния регресионен модел:

а) в кодирани променливи:

$$V = 0,64 \cdot x_4 + 0,65 \cdot x_5 + 0,29 \cdot x_3 \cdot x_5 - 0,51 \cdot x_2^2 + 12,95 \quad (1)$$

където $x_{1,2,\dots,5}$ са кодирани променливи (фактори):

$$x_1 = \frac{z_1 - 88,5}{1,5}; \quad x_2 = \frac{z_2 - 6}{4}; \quad x_3 = \frac{z_3 - 20,5}{4,5}; \quad x_4 = \frac{z_4 - 15,25}{3,75}; \quad x_5 = \frac{z_5 - 55}{5};$$

$$\Delta z_1 = 1,5; \quad \Delta z_2 = 4; \quad \Delta z_3 = 4,5; \quad \Delta z_4 = 3,75; \quad \Delta z_5 = 5;$$

$z_{1,2,3,4,5}$ - натурални променливи;

б) в натурални променливи:

$$V = 0,3825 \cdot z_2 - 0,7089 \cdot z_3 + 0,1707 \cdot z_4 - 0,1342 \cdot z_5 + 0,01289 \cdot z_3 \cdot z_5 - 0,031188 \cdot z_2^2 + 16,5821 \quad (2)$$

Извършената проверка на модела с използване на t - статистиката и F -критерия показва статистическата зависимост на коефициентите на модела и неговата адекватност с експерименталните данни при възприетия 5% ниво на значимост.

В израза (1) липсва член с участие на фактора x_1 , което показва несъществена статистическа връзка между скоростта на заваряване и величината на ъгъла β . Вижда се че, зависимостта между факторите: разход на газ (x_4), напрежение на празен ход (x_5) и скоростта на заваряване (V) е правопрпорционална и увеличаването на x_4 и x_5 води до положителен ефект (увеличаване на V). Присъстват и два нелинейни ефекта на взаимодействие- първия с положителен ефект е от взаимодействие между факторите: диаметър (x_3) и напрежение (x_5), а втория с отрицателен квадратен ефект от изменението на разстоянието a (x_2).

Теоретичния анализ на израза (1), както и намирането на неговият максимум, позволи да се твърди обосновано, че максималната скорост на заваряване в изследвания диапазон може да се получи при поддържане на факторите x_3 , x_4 и x_5 на горно ниво (+1), а фактора x_2 на основно ниво (0). За случая бе получена стойността $V^* = 14,52$ [м/ч].

Изследването показва голяма гладкост и плавност при изменение на повърхността на целевата функция (скоростта на заваряване). Ако се приеме диапазона на изменение на кодираните променливи $2/\Delta x_i = 2$ за 100%, то едновременното изменение на всички фактори с по 50% в областта на оптимума води до изменение на целевите функции спрямо оптималната стойност само с около 11%.

Чрез оценка на градиента на целевата функция в оптималната точка, отделните фактори могат да се подредят според степента на значимостта на своето влияние върху скоростта на заваряване по следния начин:

Градиент на скоростта на заваряване (направление на най-бързото нарастване на целевата функция V):

$$\text{grad}V = \begin{bmatrix} \frac{dV}{dx_1} \\ \frac{dV}{dx_2} \\ \cdot \\ \frac{dV}{dx_5} \end{bmatrix}; \quad \text{grad}V = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0,29 \\ 0,64 \\ 0,94 \end{bmatrix} \quad (3) \text{ и } (4)$$

в точката (неопр. 0;+1;+1;+1);

Най-важен фактор се явява напрежението на празен ход (x_5). Втори по значимост фактор е разхода на газ (x_4). Следващи по важност фактори са: диаметър на външната дюза (x_3) и разстояние между челата на дюзите "а" (x_2). За да се увеличи V , е необходимо факторите x_5, x_4, x_3 да се увеличават. Фактор, който не влияе върху скоростта на заваряване е ъгъла на разширение (x_1).

Трябва да се подчертае, че изменението на целевата функция в областта на оптимума, при изменение само на един от посочените фактори е също твърде незначително – то не надхвърля 2 % при изменение на факторите с по 10%.

Поради ограничение в обема на настоящата публикация, фигурите на изолиниите на взаимовръзката на факторите и скоростта на заваряване и изолиниите на % дефекти в заваръчния шев няма да са включени, затова ще се спрем само с тяхното описание и анализ.

Изолиниите на $V=V(x_2, x_3)$ при $x_4=x_5=+1$ представляват проекциите на сеченията на повърхнината от типа наклонен параболичен цилиндър и се оформят като части от елипси с ос на симетрия x_3 , спрямо която са ориентирани. Аналогични по характер са изолиниите представляващи проекции на сечения по повърхнините $V=V(x_2, x_4)$ и $V=V(x_2, x_5)$. Изолиниите $V=V(x_3, x_4)$ представляват семейство успоредни прави, проекции на равнинната повърхност. Подобни на тях са изолиниите $V=V(x_4, x_5)$. В този случай изменението на скоростта е монотонно, което не

Прилагайки специална програма за търсене на екстремум, позволи да се намерят условията при които % съдържание на дефектите става минимално:

- долно ниво на фактор x_1 , x_3 и x_5 : (-1);
- горно ниво на фактор x_4 : (+1);
- междинно ниво на фактор x_2 : (-0,306);

За случая бе получена стойността $F^*=21,62\%$.

Повърхнината на целевата функция $F(x_1...x_5)$ не е гладка, а силно нагъната, като в изследвания диапазон (-1;+1) на кодираните фактори тя променя стойността си с до $\pm 45\%$ спрямо средната си стойност $\bar{F}_\%=39\%$. Чрез изчисляване на градиента на целевата функция в оптималната точка, се определя подреждането на отделните фактори според степента на тяхното влияние върху $F_\%$.

За случая градиента се определя като:

$$\text{grad}F_\%^* = \begin{bmatrix} \frac{dF}{dx_1} \\ \cdot \\ \cdot \\ \frac{dF}{dx_5} \end{bmatrix}; \quad \begin{array}{l} \text{в точка } (-1;-0,366;-1;+1;-1) \\ \text{където:} \\ dF / dx_1 = 0,27-0,40 \cdot x_2 \cdot x_4 + 0,27 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4; \\ dF / dx_2 = 0,29 \cdot x_5 - 0,40 \cdot x_1 \cdot x_4 + 0,27 \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot x_4 + 1,24 \cdot x_2; \\ dF / dx_3 = 0,27 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_4; \\ dF / dx_4 = 0,24 \cdot x_5 - 0,40 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,27 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3; \\ dF / dx_5 = 0,25 + 0,29 \cdot x_2 + 0,24 \cdot x_4; \end{array} \quad (7) \text{ и } (8)$$

Стойността на градиента в оптималната точка (-1; 0,306; -1; +1; -1) е следната:

$$\text{grad}F_\%^* = \begin{bmatrix} + 0,4754 \\ - 0,00006 \\ + 0,08276 \\ - 0,4454 \\ + 0,4011 \end{bmatrix} \quad (9)$$

По значимост факторите се подреждат така:
-най-важен фактор: разход на газ (x_4) трябва да се намалява за да се намали % на дефектите;
-по-маловажни фактори: x_3 и x_2 , като x_3

трябва да се намалява слабо, а x_2 – да се увеличава, за да се намали % на дефектите. Фактор (x_5) трябва да се намалява.

Поради ограничение в обема на настоящата публикация, фигурите с проекциите на сеченията (изолинии) от повърхнината на целевата функция $F_\%=F_\%(x_1,... x_5)$ в пространството на факторите няма да бъдат публикувани, затова ще се спрем само с тяхното описание и анализ.

При $x_3=-1$; $x_4=+1$; $x_5=-1$ изолиниите $F_\%=F(x_1,x_2)$ представляват, проекции на сечения от хиперболически параболид при фиксирани оптимални съчетания на факторите x_3 , x_4 и x_5 . Централната зона представлява проекция на “седлова” форма с двойна кривина –вдълбната в направление ос x_2 и изпъкнала в направление на ос x_1 . Изображението на

изолиниите при $x_3=x_4=x_5=+1$ представляват проекции на сечения на параболоичен цилиндър. Областта на експерименталното факторно пространство се характеризира с висока степен на дефекти (x_1, x_2) и (x_1, x_3).

Изолинии $F\%=F(x_1, x_5)$ и $F\%=F(x_3, x_5)$ представляват прави линии-проекции на сечения на наклонени равнини във факторното пространство. Изолиниите $F\%=F(x_2, x_5)$ при $x_1=x_3=x_4=+1$, представляват проекции на сечения на параболоичен цилиндър. Аналогични са изолиниите $F\%=F(x_3, x_4)$; $F\%=F(x_1, x_3)$. Централната зона се характеризира с висок % на дефектите.

Трябва да се отбележи че зависимостта на скоростта на заваряване и посочените фактори трябва да се разглежда винаги съвместно с ограничителни зависимости на % на дефектите, коефициента на наваряване, коефициент на формата на шева и др. Единствения фактор, чието изменение е еднопосочно за увеличаване на скоростта и за намаляване на дефектите, се явява разхода на газ (x_4). Той е втори по значимост фактор и в двата разгледани случая. Факторът β (x_1) не влияе върху скоростта. Останалите фактори влияят разнопосочно върху изследваните процеси. Затова е необходимо те да бъдат поддържани на такова ниво при което дефектите не надхвърлят определена стойност, например 25(20)%. Това налага да се направят допълнителни експерименти за уточняване оптималния режим на скоростта $F(-1; -0,3065; -1; +1; -1)$.

Задачата за определяне на оптималните условия на заваряване чрез съвместно отчитане на скоростта на заваряване и неговите качествени параметри като ниво (%) на дефекти в заваръчния шев, коефициенти на наваряване α_n и др. представлява сложен много критериев оптимизационен проблем, чието пълно решение в общ вид едва ли е възможно. Прилагат се три принципни подхода:

- задачата се свежда до еднокритериална (най-често се максимизира скоростта на заваряване), като допустимите стойности на качествените параметри се интерпретират като ограничения върху целевата функция. Например: Търси се максимална скорост при ниво на дефектите $\leq 25\%$.

- построяване на обобщен скаларен критерий или обобщена целева функция, които включват сумата от показателите на заваръчния процес, умножени по съответните мащабни коефициенти или коефициент на относителна важност на отделните показатели. Подбирането на тези коефициенти се извършва по експериментален път.

- прилагат се т.н. декомпозиция на общата задача, като се разбива на частни задачи с последователно прилагане на различните критерии за правилния ход на процеса.

Засега като най-перспективен от изложените подходи се очертава първия способ. Математически задачата има вида:

$$\min f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Резултатите от оптимизацията по скорост и ниво на дефекти:

$x_1 = -1,60$	$z_1 = 86,10 /^\circ/$
$x_2 = -1,10$	$z_2 = 1,25 /mm/$
$x_3 = -1,60$	$z_3 = 13,30 /mm/$
$x_4 = +1,60$	$z_4 = 21,25 /л/мин/$
$x_5 = -1,60$	$z_5 = 47,00 /V/$

Оптимални стойности на функцията за скорост на заваряване при ограничение до 25% дефекти във завар. шев е:

$$V = 12,95 + 0,64X_4 + 0,65X_5 + 0,29X_3X_5 - 0,51X_2$$
$$V_{\text{опт.}} = 12,80 \text{ м/ч}; \quad (17)$$

ИЗВОДИ:

1. Основните фактори, влияещи върху намаляването на количеството на дефектите при заваряване е разхода на защитен газ и напрежението на празен ход на източника.

2. Оптимална скорост на заваряване – 12,8 м/ч при количество на дефектите- не по-голямо от 25% се получава при следните стойности на факторите, влияещи на процеса: ъгъл на конуса на външната дюза - 86°, разстояние между вътрешната и външната дюза – 1,25 мм; диаметър на външната дюза – 13,3 мм; разход на защитен газ- 21,3 л/мин и напрежение на празен ход – 47V.

ЛИТЕРАТУРА:

1. В.Лебедев, *Влияние характеристик источника питания на процесс сварки порошковой проволокой под водой*, Автоматическая сварка – 1989г. – N 1, стр.1.

2. Г. Лесков, *Энергетические параметры дуги в условиях гидростатического давления до 5 Мра*, Автоматическая сварка – 1999г. – N 1, стр.15.

3. А. Аснис, *Современное состояние и пути развития подводной сварки и резки*, Подводная сварка и резка металов, Киев: ИЭС – 1985г., стр.3.

4. E. Sadowski, *Underwater wet welding with nickel base and stainless steel electrodes*, Welding Journal – 1980 –N 7, p30.