

Оптимизационен синтез на манипулатор за гравитационно наваряване на плоски детайли

Марин Ковачев Кристина Дякова Митко Николов Петър Коев

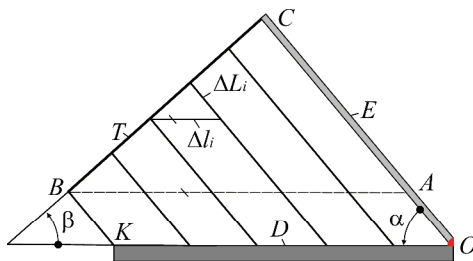
Optimization of fusion welding gravity handle of the flat parts: Created in geometric terms, mathematical model for optimizing synthesis parallelogram handle gravitational welding flat parts. The quality of the process is judged by the degree of fluctuation of the transverse dimensions of weld seam. Imposed restrictions are technological.

Keywords: gravitational welding, flat parts, parallelogram manipulator, optimizing synthesis.

ВЪВЕДЕНИЕ

Гравитационното наваряване е икономически много ефективен метод за възстановяване на плоски детайли [1]. Това се дължи на обстоятелствата: използването на широко разпространени електроди; голямата простота на съответната уредба, с която се осъществява процесът; движението на електрода се осигурява от действието на гравитационните сили, откъдето идва и наименованието на метода. То може да се осъществи с различни, в структурно отношение, уредби (манипулатори).

През 1977 г., в катедра "Ремонт, надеждност и химични технологии" на Русенски университет, е създадена от инж. М. Ковачев уредба за гравитационно наваряване на плоски детайли, в която се използва паралелограмен шарнирен четиривъзник. В [2] са направени, в геометричен аспект, някои изследвания на тази уредба, която за краткост ще наричаме паралелограмен манипулатор. Не ни се удаде да намерим в литературата разработки, в които да е направен синтез този манипулатор.



Фиг. 1. Желано преместване на

Целта на работата е изградяване на подход за оптимизационен синтез, в геометричен аспект, на паралелограмния манипулатор за наваряване на плоски детайли. За постигане на тази цел е необходимо: 1) Създаване на механо-математичен модел на манипулатора – описание на технологичния процес и изградяване на критерий за оценяване качеството на наварения шев. 2) Създаване на софтуер за решаване на оптимизационната задача.

ИЗЛОЖЕНИЕ

1. Няколко обстоятелства

На фиг. 1 са показани детайлът D и няколко положения на транслационно движещия се електрод E , сред които са и двете крайни положения. С $L_0=l_{OC}$ е означена дължината на електрода в началото на процеса, с $L_k=l_{BK}$ – дължината му в края на процеса наваряване, а с α – ъгълът между електрода и детайла.

За да се получи равномерен слой, е необходимо

$$k = \frac{\Delta l_i}{\Delta L_i} = \frac{l}{L} = \text{const}, \quad (1)$$

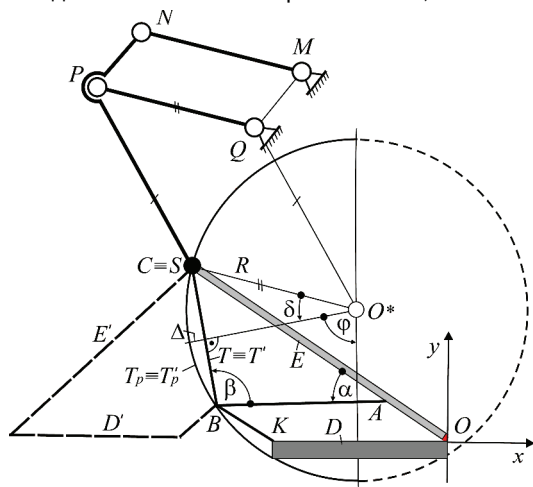
където ΔL_i е текущото изменение на дължината на наварения участък, ΔL_i – текущо изменение на дължината на стопената част от електрода, $l=l_{OK}=l_{AB}$ – дължината на наварения слой, а $L=l_{AC}$ – дължината на стопената част от електрода. Това условие ще бъде изпълнено, ако негорящият край на електрода се движи по права линия. Всъщност, поради крайните размери на електрода, желаната траектория T на този край от него ще бъде праволинейна отсечка. Величината k характеризира напречните размери на шева по неговата дължина. Нека я наречем желан коефициент на напречните размери на наварения шев.

2. Механо-математичен модел

За постигане на поставената цел, както вече отбелязахме, ще изградим, в геометричен аспект, механо-математичен модел, при което: 1) ще разглеждаме като идеално твърди тела електрода и звената на манипулатора; 2) ще пренебрегнем хлабините в шарнирите му.

2.1. Желана и реализирана траектории

Паралелограмният манипулатор $MNPQS$ за гравитационно наваряване е изобразен на фиг. 2. Траекторията на точката S , в която се закрепва електродът, е окръжност, чиито радиус е $R=l_{MN}=l_{PQ}$. От тази траектория може да се използва коя да е от двете ѝ части – нека приемем тази, която е изобразена с цяла линия. На фигура-



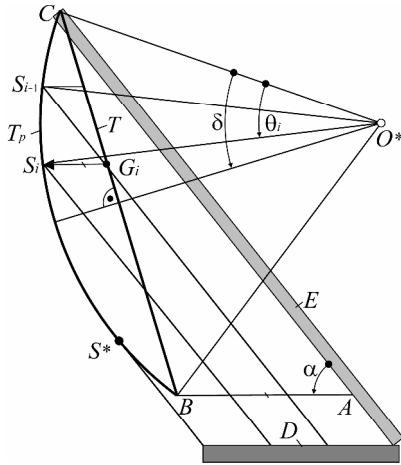
Фиг. 2. Паралелограмен манипулатор за наваряване

та са показани също електродът E , детайлът D , (повърхността, която се наварява лежи в хоризонталната равнина), желаната траектория T , траекторията T_p (дъгата определена от точките B и C), която реализира манипулаторът. От близостта на двете траектории зависи качеството на наваряването. Възможно е и друго разположение – E' , D' и $T' \equiv T$, – при което движението на дъгата е в обратна посока. Нека първия случай означим като Вариант I, а втория – като Вариант II. Изобразените дължини на електрода и на шева при втория вариант са различни от тези при първия. За да останат те без изменение и при движение на дъгата в обратна посока, т. е. при Вариант II, необхо-

димо е траекторията T' да се разположи на подходящо място в горната част на полуокръжността, която описва т. S от манипулатора.

Добро качество на наваряването ще се получи при голяма близост между двете траектории. Това се постига чрез подходящо взаимно разполагане на манипулатора и детайла. Нека опишем това, въз основа на Вариант I, в дясноориентираната координатна система Oxy , началото на която съвпада с началото на наварявания шев, а оста x е хоризонтална, т. е. лежи върху наваряваната повърхност на детайла. Величините, с които може да се моделира близостта на желаната и реализираната траектории, са R, l, L, L_k, α . Тези величини по-нататък ще наречаме геометрични параметри на гравитационното наваряване на плоски детайли с паралелограмен

манипулатор (за краткост – параметри на процеса или само параметри). Първият от тях има конструктивен характер, докато останалите са от технологично естество.



Всички геометрични величини, които дефинират еднозначно манипулатора, освен R , не влияят на реализираната траектория. Те са обект на друга задача – задачата за конструиране на манипулатора, – поради което тук отпадат от разглеждане.

От фиг. 1 може да се намерят зависимостите

$$l_m = \sqrt{l^2 + L^2 - 2lL \cos \alpha}$$

$$\beta = \arccos \frac{l^2 + l_m^2 - L^2}{2ll_m},$$

където с $l_m = l_{BC}$ е означена дължината на желаната траектория, а с β – ъгълът между детайла и тази траектория. От фиг. 2 за координатите на т. O^* се получава

Фиг. 3. Реално преместване на електрода

$$\begin{aligned} x_{O^*} &= R \sin(\varphi - \delta) - v(l + L_k \cos \alpha) \\ y_{O^*} &= R \cos(\varphi - \delta) + L_k \sin \alpha \end{aligned}$$

където $\varphi = \pi - \beta$ и $v = +1$ за Вариант I, $\varphi = \beta$ и $v = -1$ за Вариант II и

$$\delta = \arcsin \left(\frac{l_m}{2R} \right).$$

При зададени стойности на параметрите и изчисляване стойностите на координатите на т. O^* , взаимното положение на детайла и манипулатора, в началния момент на процеса, е дефинирано еднозначно. За технологични цели, вместо параметъра α , е по-удобно да се използва една от координатите на т. C

$$\begin{aligned} x_C &= -v(L + L_k) \cos \alpha \\ y_C &= (L + L_k) \sin \alpha \end{aligned}$$

2.2. Показатели за качество

За качеството на наварения шев може да се съди по максималното отклонение

$$\Delta = R(1 - \cos \delta) \quad (2)$$

между траекториите – реализираната и желаната. Тази оценка обаче е косвена.

На фиг. 3 са показани няколко дискретни положения на електрода, текущото му състояние $\Delta L'_i = l_{S_{i-1}G_i}$ и текущото преместване $\Delta l'_i = l_{G_i S_i}$ на дъгата. По аналогия с (1) дефинираме коефициента

$$k_{r,i} = \frac{\Delta l'_i}{\Delta L'_i}, \quad (3)$$

по изменението на който ще съдим за промяната на напречните размери на шева. Отклонението на *текущия коефициент* $k_{r,i}$ на напречните размери от желания кое-

коэффициент k е по-добра оценка, отколкото показателя (2). Приемаме да оценяваме текущо качеството на наварения шев с показателя

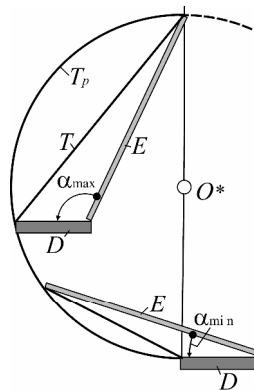
$$s_i = 100 \frac{k - k_{r,i}}{k}, \quad (4)$$

чието измерение е [%], като функция на обобщената координата θ_i на манипулатора за редица от n на брой дискретни положения в интервала $[\theta_{\min}, \theta_{\max}]$. За граничните стойности е валидно $\theta_{\min}=0, \theta_{\max}=2\delta$. Този показател дава информация за относителното отклонение на коефициента (3) от желаните коефициент k . Нека наричаме s_i *степен на неравномерност* на напречните размери на наварения шев. Нека още наричаме *желани напречни размери* на шева тези, които се получават при точно осъществяване на желаната траектория T . При $s_i=0$ се получава шев с еднакви напречни размери с желаните, при $s_i<0$ – намаляване, а при $s_i>0$ увеличаване на реалните напречните размери в сравнение с желаните. Нека за (4) приемем условното означение $s_i=s(R, l, L, L_k, \alpha, \theta_i)$.

3. Оптимизационен синтез

3.1. Параметри на синтеза

По принцип параметрите R, l, L, L_k, α , с които се описва в геометричен аспект разглежданият процес, е възможно да се използват, чрез вариране (за някои от тях не е трудно да се прецени в каква посока трябва да се изменят), за получаване на решения с добро качество. Поради това можем да ги наричаме още *параметри на синтеза*. Тук обаче ще подходим прагматично. На първите четири от тези параметри, при синтеза, ще задаваме конкретни стойности. Мотивите за това са: 1) В практиката с един и същи манипулатор се налага да се наваряват детайли с различни размери. 2) Дължината на шева се предопределя от единия размер на наваряваната повърхност. 3) Дължината на електрода е стандартизирана величина. 4) Дължината на остатъка от електрода е икономически изгодно да бъде минимална, която пък дължина от друга страна е ограничена от технологията на процеса. Параметрите R, l, L, L_k ще наричаме *задавани*, а параметърът α – *свободен*, т. е. свободен за вариране.



Фиг. 4. Гранични положения

3.2. Ограничения

При синтеза, стойността на свободния параметър α ще променяме в интервала $[\alpha_{\min}, \alpha_{\max}]$. Тези гранични стойности обаче не можем да задаваме свободно – те са функционално предопределени, посредством задаваните параметри, от изискването за едноразмерно завъртане на звената на манипулатора в процеса на наваряване. На фиг. 4 са показани двете положения на взаимно разполагане на електрода, детайла и траекторията, която описва т. S от манипулатора. От тази фигура и фиг. 3 за граничните стойности на α може да се получи

$$\alpha_{\min} = 2 \operatorname{arctg} \frac{2lR - \sqrt{4L^2R^2 - (L^2 - l^2)^2}}{(L+l)^2},$$

$$\alpha_{\max} = 2 \operatorname{arctg} \frac{2lR + \sqrt{4L^2R^2 - (L^2 - l^2)^2}}{(L+l)^2}.$$

Изискването

$$\alpha \in [\alpha_{\min}, \alpha_{\max}] \quad (5)$$

е задължително. Нека приемем дискретно да променяме стойността на свободния параметър и нека това да става в интервала му за m на брой последователно разположени точки.

За получаване на шев с добро качество, освен изискването – показателят s_i да получава близки до нулата стойности, – има и още едно. Това е – еднопосочност на движението на дъгата. На фиг. 3 са изобразени няколко последователни положения на електрода като функция на обобщената координата θ . При движение на т. S от манипулатора по траекторията T_p , от т. C до т. S^* , преместването на дъгата ще бъде от дясно на ляво, а от т. S^* до т. B – обратно. Това явление не бива да се допуска. Еднопосочното движение на дъгата е гарантирано при

$$\operatorname{sign}(\overline{G_i S_i}) = \operatorname{const}, \quad (6)$$

т. е. ако насочената отсечка $\overline{G_i S_i}$, във всичките си дискретни положения, не променя своя знак.

3.3. Критерий

Критерият F за оценяване на получаваните при синтеза решения ще изградим въз основа на показателя за качество (4)

$$F = \min_{j=1, m} \max_{i=1, n} |s(R, l, L, L_k, \alpha_j, \theta_i)|. \quad (7)$$

Оптималното решение на така формулираната задача за синтез е това, при което ограниченията (5) и (6) са изпълнени и критерият (7) получи възможната минимална стойност. Добре е като краен резултат, заедно с оптималното решение, да получим обозрима гама решения. Това ще даде възможност за по-добра оценка на получените резултати. В тази връзка на получаваните от критерия текущи стойности ще наложим ограничение

$$F_j \leq F^+, \quad j = 1, m. \quad (8)$$

Нека за стойността на критерия и стойността на свободния параметър на оптималното решение приемем съответно означенията F_{opt} и α_{opt} .

4. Числени примери

За решаване на формулираната оптимизационна задача е създаден подходящ софтуер. С него са решени множество числени примери. Ще приведем два от тях, отнасящи се за Вариант I, с които ще покажем част от възможностите на подхода за оптимизационен синтез на манипулатора.

Пример I: За стойностите на задаваните параметри приемаме – $R=770$ mm, $l=300$ mm, $L=400$ mm, $L_k=50$ mm. За броя на дискретните стойности на параметъра α приемаме $m=100$, а за броя на дискретните стойности на обобщената координата θ на манипулатора – $n=100$. За допустимата стойност на критерия задаваме – $F^+ = 10$ %.

За оптималното решение се получава $F_{\text{opt}} = 5,2$ %, т. е. колебанията на напречните размери на шева не надминават $\pm 5,2$ %, и $\alpha_{\text{opt}} = 11,778^\circ$. Стойностите на координатите на т. O^* са $x_{O^*} = 116,1$ mm, $y_{O^*} = 623,9$ mm, а на т. C – $x_C = -440,5$ mm, $y_C = 91,9$ mm.

Ограничението (8) на критерия е изпълнено за $\alpha \in [5,0^\circ; 30,757^\circ]$. Броят r_1 на получените решения, включвайки и оптималното, в този интервал за α е $r_1=20$.

Като допълнителна информация, за стойността на показателя (2) се получава $\Delta=2,4$ mm, а за дължината на желаната траектория – $l_m=122,7$ mm.

Пример II: Различието на входната информация в този пример, спрямо предходния, е само в стойността на дължината на наварения слой – приемаме $l=350$ mm.

За оптималното решение се получава $-F_{\text{opt}}=1,2\%$, $\alpha_{\text{opt}}=5,459^\circ$, $x_{O^*}=53,0$ mm, $y_{O^*}=627,6$ mm, $x_C=-448,0$ mm, $y_C=42,8$ mm. Наложеното ограничение за критерия е изпълнено при $\alpha \in [1,539^\circ; 34,201^\circ]$, а броят на получените решения е $r_{II}=26$. Стойностите на величините от допълнителната информация са $\Delta=0,6$ mm и $l_m=61,4$ mm.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведените и многото други числени примери на решаваната задача показват:

1) За получаване на добро качество на шева при гравитационното наваряване на плоски детайли с паралелограмен манипулатор, за всеки набор от стойности на задаваните параметри, от много съществено значение е подходящият избор на стойност за параметъра α .

2) Най-доброто, т. е. оптималното решение, е единствено.

Влиянието на задаваните параметри върху качеството на наваряването ще бъде обект на друга разработка.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Василев, В. и др. Технология на възстановяване на детайлите. Русе, Печатна база на РУ "Ангел Кънчев", 1996.
- [2] Ковачев, М., Уредба за гравитационно наваряване. Научни трудове на ВИММЕСС, т. XIX, с. 7, 1977.

За контакти:

Инж. Марин Ковачев, тел: 082-893823

Кристина Дякова, e-mail: kreis@abv.bg

Доц. д-р инж. Митко Николов, Катедра „Ремонт, надеждност и химични технологии“, Русенски университет „Ангел Кънчев“, тел: 082-888 458, e-mail:mnikolov@uni-ruse.bg

Доц. д-р инж. Петър Коев, Катедра „Теория на механизмите и машините, подемно-транспортна техника и технологии“, Русенски университет „Ангел Кънчев“, тел: 082-888 486, e-mail: pkoev@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.