

بهینه‌سازی طرح‌بندی کلمپ فیکسچر ورق با انحراف اولیه بر اساس الگوریتم مورچگان

میلاذ خدابنده¹، مریم قصاب زاده سریزدی^{2*}، عبدالرضا واحدی³

1- کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

2- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

3- استاده، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

*تهران، صندوق پستی 15875-4413، mghsaryazdi@aut.ac.ir

چکیده	اطلاعات مقاله
فیکسچرها نقش قابل ملاحظه‌ای را در مهار ورق‌های فلزی در مرحله مونتاژ ایفا می‌کنند. انعطاف بالای ورق‌های فلزی و تعامل آن‌ها با فیکسچر، علاوه وجود انحراف اولیه در ورق‌های پرس‌کاری شده سبب ایجاد انحراف در محصول نهایی می‌شوند. طرح‌بندی بهینه نقاط کلمپ در فیکسچر تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر کاهش این انحراف و افزایش کیفیت محصول نهایی دارد. از طرف دیگر تعداد کلمپ‌های بکار رفته در فیکسچر بشدت در هزینه‌ی ساخت و نگهداری فیکسچر تأثیر گذار است، افزایش بیش از حد تعداد کلمپ‌ها موجب افزایش هزینه‌ی ساخت و کاهش آن باعث افزایش انحراف در محصول نهایی می‌شود. بنابراین تعداد کلمپ‌ها باید در طراحی بهینه‌ی فیکسچر مورد توجه قرار بگیرد. دستیابی به طرح بهینه برای فیکسچرها به دلیل دشواری در پیش‌بینی رفتار ورق و محدودیت محاسباتی امری چالش برانگیز است. در این مقاله ارتباط میان انحراف اولیه‌ی ورق با انحراف مجموعه‌ی پس از مونتاژ بررسی می‌شود و با ترکیب الگوریتم مورچگان و روش المان محدود به ارائه روشی پرداخته می‌شود که قابلیت بهینه‌سازی موقعیت نقاط کلمپ، با هدف کاهش انحراف مجموعه‌ی پس از مونتاژ و در عین حال کمینه کردن تعداد نقاط کلمپ را دارا می‌باشد. روش ارائه شده برای یک ورق مربعی همراه با انحراف اولیه بکار برده می‌شود و بر اساس تابع هزینه تعریف شده، تعداد و موقعیت بهینه کلمپ‌ها تعیین می‌گردد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که کاهش میزان انحراف ورق در فیکسچر منجر به کاهش انحراف مجموعه‌ی پس از مونتاژ می‌شود.	مقاله پژوهشی کامل دریافت: 16 آبان 1396 پذیرش: 19 بهمن 1396 ارائه در سایت: 19 اسفند 1396 کلید واژگان: طرح‌بندی فیکسچر بهینه‌سازی الگوریتم مورچگان ورق فلزی انحراف

Fixture's clamp layout optimization for sheet metal with initial variation based on ant colony algorithm

Milad Khodabandeh¹, Maryam Ghassabzadeh Saryazdi^{2*}, Abdolreza Ohadi¹

1- Department of Mechanical Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.

2- Vehicle Technology Research Institute, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.

* P.O.B. 15875-4413 Tehran, Iran, mghsaryazdi@aut.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 07 November 2017
Accepted 08 February 2018
Available Online 10 March 2018

Keywords:
Fixture layout
Optimization
Ant colony algorithm
Sheet metal
Deviation

ABSTRACT

The fixtures play a significant role in harnessing the metal sheets in the assembly stage. The high flexibility of the metal sheets and the initial deviation in the pressed sheets cause deviation in the final product. Using the optimal layout of the clamping points in the fixture can reduce the deviation effectively and raising the final product quality. On the other hand, the cost of construction is intensively influence by the number of clamps, rising the number of clamps causes the cost of construction to increase and reducing it cause the deviation in the final product to increase. Therefore, the number of clamps should be considered in the optimal design of the fixture. It is challenging to achieve optimal design for fixture due to the difficulty in predicting sheet behavior and computational constraints. In this paper the relationship between the initial deviation of sheet and the deviation of final product is investigated and a method is proposed by using ant colony algorithm and finite element method for optimizing the position of the clamping points to reducing the deviation of the product after assembly with considering the minimizing the number of clamping points. Finally the proposed method is applied to a simple square sheet with initial deviation and based on the cost function, the number of clamping points and their position are optimized. The results show that reducing the amount of sheet deviation in the fixture causes reduce the deviation of final product.

1- مقدمه

اصلی کلمپ، مقاومت در برابر نیروی وزن و تعیین موقعیت ورق در راستای عمود بر آن است، جاسازها وظیفه‌ی موقعیت‌دهی و جلوگیری از چرخش در صفحه را دارا می‌باشند. با توجه به انعطاف بالای ورق‌های فلزی، در حین عملیات اتصال ورق‌ها به یکدیگر مانند نقطه جوش، احتمال تغییر شکل

در صنایع مختلف از قبیل خودروسازی، هواپیماسازی برای مونتاژ ورق‌های فلزی به یکدیگر از فیکسچرها به‌منظور موقعیت‌دهی ورق‌ها در کنار هم استفاده می‌شود. اجزای اصلی فیکسچرها، کلمپ¹ و جاساز² می‌باشد. وظیفه‌ی

² Pin

¹ Clamp

Please cite this article using:

M. Khodabandeh, M. Ghassabzadeh Saryazdi, A. Ohadi, Fixture's clamp layout optimization for sheet metal with initial variation based on ant colony algorithm, Modares Mechanical Engineering, Vol. 18, No. 03, pp. 380-388, 2018 (in Persian)

برای ارجاع به این مقاله ذیل استفاده نمایید:

ورق‌ها در اثر نیروی وزن و نیروی تفنگ‌جوشکاری وجود دارد. به همین دلیل کیفیت مجموعه پس از مونتاژ، به شدت تحت تأثیر عملکرد فیکسچرها خواهد بود. در نتیجه بهینه‌سازی طرح‌بندی فیکسچر، در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. مقالات ارائه شده از لحاظ هدف بهینه‌سازی، به دو گروه کلی قابل تقسیم بندی هستند که در ادامه به ارائه آن‌ها پرداخته خواهد شد.

1. بهینه‌سازی با هدف کاهش تغییرشکل

سای و همکاران [1] به بهینه‌سازی موقعیت نقاط کلمپ پرداختند. هدف از بهینه‌سازی در این پژوهش، کاهش تغییر شکل ورق ساده مربعی بوده است. آن‌ها موفق به ارائه تئوری ای به نام N-2-1 برای طراحی و بهینه‌سازی موقعیت نقاط کلمپ شدند. تئوری N-2-1 بیان می‌دارد به منظور جلوگیری از تغییر شکل بیش از حد ورق و همچنین جلوگیری از پدیده کمانش، در مهار ورق باید قیدهای اضافی¹ استفاده شود. به عبارت دیگر همواره باید تعداد کلمپ‌ها در صفحه اولیه² بیشتر از سه عدد باشد. همچنین باید در صفحات ثانویه به ترتیب از 1 و 2 کلمپ برای جلوگیری از چرخش استفاده شود.

یان فنگ و همکاران [2]، یک روش دومرحله‌ای برای بهینه‌سازی موقعیت نقاط کلمپ فیکسچر بکار گرفتند. در مرحله اول سه محل برای کلمپ‌ها، بر اساس مدل صلب قطعه با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات³ (PSO) انتخاب می‌شود. در مرحله دوم، نقاطی دیگر با استفاده از روش RSM⁴ و الگوریتم RBF⁵ به صورت بهینه انتخاب می‌شوند. در این بهینه‌سازی، کاهش تغییر شکل یکی از اجزای بدنه خودرو، به عنوان تابع هزینه در نظر گرفته شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند، انتخاب بهینه‌ی نقاط کلمپ تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر میزان تغییر شکل ورق دارد. همچنین استفاده از روش دومرحله‌ای به منظور بهینه‌سازی، موجب افزایش راندمان محاسباتی و کاهش تعداد سعی و خطاها می‌شود.

زیشان احمد و همکاران [3] یک روش برای بهینه‌سازی موقعیت نقاط کلمپ فیکسچرها به نام N-3-2-1 ارائه دادند. روش ارائه شده از ترکیب المان محدود و الگوریتم ژنتیک⁶ به دست آمده است. تابع هزینه مورد نظر در این پژوهش، مجموع تغییر شکل گره‌ها در نظر گرفته شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که با کاهش تغییر شکل ورق، انحراف‌های⁷ هندسی مجموعه در حین ساخت نیز کاهش می‌یابد.

زونکی وانگ و همکاران [4] به بهینه‌سازی موقعیت یک کلمپ در مجموعه، با هدف کاهش تغییر شکل یک ورق ساده پرداختند. آن‌ها با ایجاد مدل پیش‌بینی‌کننده⁸ تغییر شکل که با بکارگیری شبکه‌های عصبی RBF و BP به دست آمده، موفق به ایجاد ارتباط بین موقعیت کلمپ مورد بررسی، با جابه‌جایی ورق شدند و در پایان با رسم نمودار سطح پاسخ⁹ تابع هزینه، بر حسب موقعیت کلمپ مورد بررسی، به موقعیت بهینه کلمپ دست یافتند. در ادامه زونکی و همکاران [5, 6] با اضافه کردن الگوریتم‌های بهینه‌سازی از قبیل الگوریتم خفاش¹⁰، الگوریتم دارکوب¹¹ به مدل‌های پیش‌بینی‌کننده‌ای که با روش‌هایی مانند RBFNN، Kriging ایجاد شده بودند، بهینه‌سازی موقعیت یک کلمپ در مجموعه را با هدف کاهش تغییر شکل ورق‌های ساده و

منحنی دنبال نمودند.

زونکی وانگ و همکاران [7] با استفاده از روش‌های الگوریتم ژنتیک، الگوریتم تجمع ذرات و الگوریتم دارکوب به بهینه‌سازی نقاط کلمپ، با هدف کاهش تغییر شکل پرداختند. در این مقاله، موقعیت تمامی کلمپ‌ها در صفحه اصلی بهینه گردید، اما تعداد کلمپ‌ها در حین بهینه‌سازی ثابت در نظر گرفته شد. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم دارکوب نسبت به الگوریتم ژنتیک و تجمع ذرات، توانایی بالاتری در پیدا کردن پاسخ بهینه دارد.

2. بهینه‌سازی با هدف کاهش انحراف در مجموعه‌ی پس از مونتاژ

لیائو [8] در پژوهشی با استفاده از الگوریتم ژنتیک به بهینه‌سازی تعداد و موقعیت نقاط کلمپ پرداخت. در این مقاله، بهینه‌سازی در دو مرحله برای یک ورق صنعتی، به منظور کاهش تغییر شکل ورق، با در نظر گرفتن اثرات نیروی وزن و انحراف اولیه‌ی ورق انجام شده است. یکی از نقایص روش ارائه شده در این مقاله، در نظر نگرفتن تعداد کلمپ‌ها در تابع هزینه می‌باشد. بنابراین الگوریتم پیشنهادی قادر به برقراری توازن میان تغییرشکل و انحراف ورق با تعداد کلمپ نخواهد بود. از دیگر مشکلات روش پیشنهادی، می‌توان به وابسته بودن تعداد کلمپ‌های بهینه به تعداد دفعات انتخاب تصادفی کاراکتر مربوط به کلمپ‌ها در رشته در حین مرحله جهش اشاره کرد. این موضوع سبب ایجاد این ابهام می‌شود که در صورت انجام تعداد جهش بیشتر بر روی کاراکترهای مربوط به کلمپ‌ها ممکن است پاسخ بهینه با تعداد کلمپ کمتر ایجاد شود.

جیمی و همکاران [9]، به بهینه‌سازی نقاط کلمپ فیکسچر یک ورق ساده، با هدف کاهش انحراف در مجموعه‌ی نهایی پرداختند. همچنین در این مقاله تأثیر عوامل مختلف انحراف از قبیل انحراف‌های ورق اولیه، فیکسچر و تفنگ جوش کاری بر انحراف مجموعه‌ی پس از مونتاژ، با استفاده از روش ضرایب تأثیر بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهند که با صرف نظر کردن از انحراف تفنگ جوش و انحراف در فیکسچر، انحراف مجموعه‌ی پس از مونتاژ فقط تابعی از انحراف اولیه ورق خواهد بود و در صورت وجود انحراف در فیکسچر به منظور کاهش انحراف مجموعه‌ی پس از مونتاژ، توصیه می‌شود که فاصله کلمپ‌ها از محل نقطه جوش تا حد امکان افزایش یابد.

سای [10] در پژوهشی به بهینه‌سازی نقاط کلمپ، در فیکسچر مربوط به دو ورق ساده با در نظر گرفتن اثر انحراف در تفنگ جوشکاری پرداخت. تابع هزینه در این بهینه‌سازی، بهبود کیفیت ابعادی مجموعه‌ی پس از مونتاژ در نظر گرفته شده است. تابع هزینه در این بهینه‌سازی از مقدار 11.78 به 1.58 کاهش می‌یابد.

لیائو [11] با در نظر گرفتن انحراف در ورق اولیه و همچنین انحراف در فیکسچر به بهینه‌سازی موقعیت نقاط کلمپ برای یک ورق ساده پرداختند. در این بهینه‌سازی از روش MPS¹² استفاده شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که بهینه کردن موقعیت نقاط کلمپ، انحراف مجموعه را به شدت کاهش می‌دهد. همچنین روش MPS از راندمان محاسباتی بهتری نسبت به سایر روش‌های بهینه‌سازی از قبیل گرادیان و الگوریتم ژنتیک برخوردار است. کامبیز حاجی کولی و همکاران [12]، بهینه‌سازی فیکسچر را با هدف کاهش انحراف در مجموعه‌ی پس از مونتاژ بررسی کردند. در این پژوهش به منظور مدل کردن انتشار انحراف، از روش ضرایب تأثیر استفاده شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که با افزایش تعداد کلمپ‌ها لزوماً میزان بازگشت فنری¹³ و انحراف در مونتاژ کاهش نمی‌یابد.

¹ Over constraint

² Primary datum plane

³ Particle Swarm Optimization

⁴ Response Surface Modeling

⁵ Radial Basis Function.

⁶ Genetic Algorithm

⁷ Deviation

⁸ Prediction Model

⁹ Response surfaces

¹⁰ Bat algorithm

¹¹ Cuckoo algorithm

¹² Mode Pursuing Sampling

¹³ Spring Back

نامی نقطه‌جوش دچار انحراف هستند. در مدل‌سازی، انحراف در تفنگ جوشکاری به‌صورت فاصله بین موقعیت نامی و موقعیت واقعی تعریف می‌شود. در عمل به‌منظور تولید ورق‌های فلزی از روش پرس کاری و برای تولید فیکسچر از فرایند ماشین کاری استفاده می‌شود. به دلیل پدیده بازگشت فنری در پرس کاری، انحراف در ورق اولیه به‌مراتب بزرگ‌تر از انحراف فیکسچر و تفنگ جوشکاری می‌باشد. به همین دلیل می‌توان از اثرات انحراف در فیکسچر و تفنگ جوش در مقابل انحراف ورق اولیه صرف‌نظر نمود.

در شکل‌های 1 تا 3 مراحل مونتاژ دو ورق فلزی با انحراف اولیه به نمایش درآمده است. اگر چه به‌منظور سادگی در نمایش، ورق‌ها به‌صورت دوبعدی نشان داده‌شده‌اند، اما نتایج از تحلیل‌های سه‌بعدی به‌دست‌آمده‌اند. همچنین برای وضوح بیشتر در نمایش انحرافات، بزرگنمایی شده است. ابتدا ورق‌ها در داخل فیکسچر قرار داده می‌شوند و کلمپ‌ها بسته می‌شوند. همانند شکل 1 به دلیل وجود انحراف اولیه، ورق از حالت نامی خود در محل نقطه‌جوش v_1 فاصله می‌گیرد. در مرحله بعد تفنگ جوشکاری با اعمال نیرو به ورق‌ها باعث ایجاد تغییر شکل و جابجایی ورق به محل نامی در ناحیه نقطه‌جوش می‌شود (شکل 2). پس از پایان عملیات نقطه‌جوش زنی و باز شدن کلمپ‌ها، بر اثر پدیده بازگشت فنری، مجموعه دچار انحراف نسبت به حالت نامی می‌شود (شکل 3).

برای برقراری ارتباط بین انحراف ورق‌های اولیه با انحراف مجموعه‌ی پس از مونتاژ از رابطه (1) که در سال 2004 توسط جیمی ارائه‌شده، استفاده می‌شود [9].

$$v_a = [k_a]^{-1}[k_1]M_1v_1 + [k_a]^{-1}[k_2]M_2v_2 \quad (1)$$

در رابطه (1) k_a ماتریس سختی مجموعه‌ی پس از مونتاژ، k_1 ماتریس سختی ورق اول، k_2 ماتریس سختی ورق دوم، M_1 ماتریس تغییر موقعیت در ورق اول، M_2 ماتریس تغییر موقعیت در ورق دوم، v_1 انحراف اولیه‌ی ورق اول، v_2 انحراف اولیه‌ی ورق دوم و v_a انحراف مجموعه‌ی مونتاژ شده می‌باشند. در رابطه (1) ماتریس تغییر موقعیت بدون بعد می‌باشد و مطابق با رابطه (2) تعیین می‌گردد.

$$M = \left[\frac{v_u}{x_2 - x_{Q1}} - 1 \quad \frac{-v_u}{x_2 - x_{Q1}} \right] \quad (2)$$

همچنین جیمی نشان داد که ترم‌های $[k_a]^{-1}[k_1]M_1$ و $[k_a]^{-1}[k_2]M_2$ با تغییر محل نقاط کلمپ تقریباً ثابت می‌مانند. بنابراین با کاهش ترم‌های v_1 و v_2 می‌توان انحراف در مجموعه‌ی پس از مونتاژ را کاهش داد. به همین دلیل در ادامه به کمینه کردن انحراف یکی از ورق‌ها پرداخته خواهد شد و مراحل بکار رفته برای ورق دیگر تکرار می‌شود.

3- تابع هزینه

همان‌گونه که در بخش 2 اشاره شد، به‌منظور کاهش انحراف مجموعه‌ی پس از مونتاژ، باید انحراف ورق در فیکسچر تا حد امکان کمینه شود. از طرف دیگر کاهش تعداد نقاط کلمپ که منجر به کاهش هزینه‌ی ساخت و تعمیر و نگهداری و مصرف انرژی می‌شود، باید در بهینه‌سازی موردتوجه قرار بگیرد.

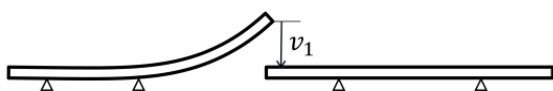


Fig. 1 Placing the work piece with the initial deviation in the fixture

شکل 1 قرارگیری ورق با انحراف اولیه در فیکسچر

وای سانگ و همکاران [13] با ارائه‌ی روش تکمیلی الگوریتم مورچگان¹، به بهینه‌سازی نقاط کلمپ فیکسچرهای خط تولید بدنه‌ی خودرو، با در نظر گرفتن چندین ایستگاه مونتاژ پرداختند. در این بهینه‌سازی، هدف کاهش انحراف مجموعه‌ی پس از مونتاژ بوده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که روش تکمیلی الگوریتم مورچگان از پایداری بهتر و راندمان محاسباتی بالاتر و جواب‌هایی با دقت بیشتری نسبت به الگوریتم مورچگان برخوردار است.

یان فنگ و همکاران [14] به بهینه‌سازی نقاط کلمپ برای فیکسچر یکی از اجزا بدنه‌ی خودرو پرداختند. در این بهینه‌سازی، تابع هزینه به‌صورت ترکیبی از مجموع تغییر شکل‌ها در گره‌ها و انحراف مجموعه‌ی پس از مونتاژ در نظر گرفته‌شده است. برای بهینه‌سازی از دو روش NSGA-II² و NSGA-II³ استفاده‌شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که روش NSGA-II نسبت به روش NSGA-II از دقت و سرعت همگرایی بیشتری برخوردار است.

معمولاً در صنعت برای باز و بسته کردن کلمپ‌ها از چک‌های پنوماتیک استفاده می‌شود. به همین دلیل، افزایش بیش‌ازحد تعداد کلمپ‌ها در صفحه اصلی، منجر به افزایش هزینه‌ی ساخت و نگهداری فیکسچر و مصرف انرژی خواهد شد. بعلاوه افزایش تعداد کلمپ‌ها، دسترسی به نقاط مختلف ورق برای انجام عملیات‌های مختلف را دشوار می‌سازد. از طرف دیگر کاهش تعداد کلمپ‌ها، سبب افزایش تغییر شکل در ورق می‌شود که این امر بسیار نامطلوب است. تعامل انحرافات اولیه ورق با کلمپ‌ها و همچنین اثر نیروی وزن، سبب ایجاد تغییر شکل‌های نامطلوب در ورق می‌شود که این موضوع به‌شدت بر کیفیت مجموعه پس از مونتاژ تأثیرگذار است. بنابراین تعیین بهینه موقعیت کلمپ‌ها موضوعی است که باید به آن در کنار تعیین تعداد بهینه کلمپ‌ها توجه شود.

این مقاله به ارائه روشی خواهد پرداخت که در حین کمینه کردن تعداد کلمپ‌ها، موقعیت آن‌ها را نیز به‌گونه‌ای بهینه می‌کند که انحراف مجموعه‌ی پس از مونتاژ کاهش یابد. بخش 2 به بررسی اثر انحراف اولیه‌ی ورق بر مجموع پس از مونتاژ می‌پردازد. در بخش 3 تابع هزینه و قیدهای حاکم بر مسئله تعریف و الگوریتم بهینه‌سازی توضیح داده می‌شود. در بخش 5 روش ارائه شده برای یک ورق ساده مربعی با انحراف اولیه بکاربرده می‌شود. نتایج بدست آمده از طرح بهینه، در بخش 6 با سایر طرح‌ها مقایسه می‌شود.

2- عوامل مؤثر بر انحراف مجموعه‌ی پس از مونتاژ

به‌طورکلی عوامل مؤثر بر انحراف مجموعه‌ی پس از مونتاژ عبارت‌اند از: انحراف در ورق اولیه، انحراف در فیکسچر، انحراف تفنگ جوش [9]. ورق‌ها با استفاده از پروسه‌های مختلف ساخت از قبیل پرس کاری، ماشین کاری و غیره تولید می‌شوند که در عمل این فرآیندها ایده‌آل نیستند و سبب ایجاد انحراف در ورق تولیدی نسبت به ورق نامی می‌شوند که به این انحراف، انحراف اولیه گفته می‌شود و در مدل‌سازی این انحرافات، به‌صورت اختلاف بین ورق اصلی و ورق نامی تعریف می‌گردد.

در صنعت از روش نقطه‌جوش برای اتصال ورق‌های فلزی به یکدیگر به‌طور گسترده استفاده می‌شود. این فرایند توسط تفنگ جوشکاری که به‌وسیله ربات حمل می‌شود انجام می‌پذیرد. این ربات‌ها در رسیدن به محل

¹ Augmented Ant Colony Algorithm

² Non-Domination Sorting Social Radiation Algorithm

³ Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II

راندمان محاسباتی و صرفه‌جویی در زمان، اقدامات زیر به ترتیب انجام می‌شود:

- در اولین گام یک مدل المان محدود از ورق مورد بررسی ایجاد می‌شود. شبکه بندی مدل المان محدود باید به اندازه کافی ریز باشد تا از دقت جواب‌ها و عدم وابستگی آن‌ها به شبکه‌بندی اطمینان حاصل شود.
- در مرحله دوم، قیدهای هندسی به مدل المان محدود اعمال می‌شود و نودهایی که قیدهای هندسی را ارضا نمی‌کنند، از مجموعه‌ی نودهای قابل انتخاب توسط مورچه‌ها، برای قرارگیری کلمپ حذف می‌شوند.
- با توجه به این‌که تغییرات جزئی در موقعیت نقاط کلمپ، باعث ایجاد تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای در مقدار تابع‌هزینه نمی‌شود، با در نظر گرفتن شرط فاصله بین نقاط کاندید، تعداد نودهای امکان‌پذیر برای قرارگیری کلمپ‌ها کاهش می‌یابد. (در این مقاله این فاصله حدود 2 سانتی‌متر در نظر گرفته شده است.)

2-4- الگوریتم مورچگان

در این مقاله از الگوریتم مورچگان برای بهینه‌سازی استفاده می‌شود. این الگوریتم که توسط دارینگو ارائه شده است، قابلیت بسیار بالایی را در حل مسائل غیر خطی و گسسته دارا می‌باشد. پس از اتمام مرحله پیش‌پردازش، اطلاعات مربوط به نودهای قابل انتخاب وارد الگوریتم مورچگان می‌شود، تا براساس آن‌ها پاسخ‌ها توسط مورچه‌ها ایجاد شوند.

روند تولید پاسخ‌ها توسط مورچه‌ها به کمک تصویر فرضی شکل 5 قابل توصیف می‌باشد. شکل 5 مسیر حرکت یک مورچه از نود فرضی شروع تا نود فرضی پایان را نشان می‌دهد. در این تصویر هر یک از خطوط عمودی نماینده یکی از نودهای قابل انتخاب است و بر روی هر یک از خط‌ها دو حالت 0 و 1 در نظر گرفته شده است که عدد 0 بیانگر عدم انتخاب و عدد 1، بیانگر انتخاب آن نود می‌باشد. هر مورچه برای ایجاد پاسخ از نود شروع، آغاز به حرکت می‌کند تا به نود پایان برسد. در طول حرکت با توجه به ماتریس فرومون¹ و قاعده احتمالی رابطه‌ی (7) [15]، هر یک از دو حالت 0 و 1 روی هر یک خط را انتخاب می‌کند و به این صورت یک پاسخ توسط یک مورچه ایجاد می‌گردد.

$$p_{i \rightarrow j}^k = \frac{\tau_{ij}^{\alpha} \eta_{ij}^{\beta}}{\sum_{m \in N_i^k} \tau_{im}^{\alpha} \eta_{im}^{\beta}} \quad j \in N_i^k \quad (7)$$

در رابطه‌ی (7)، τ_{ij} ماتریس فرومون، η_{ij} ماتریس اطلاعات ذهنی²، α ضریب وزنی توانی فرومون، β ضریب وزنی توانی اطلاعات ذهنی و N_i^k مسیرهای در دسترس مورچه‌ها در هر مرحله می‌باشند.

پس از ایجاد پاسخ‌ها توسط مورچه‌ها، پاسخ‌های ایجاد شده بر مبنای تابع‌هزینه‌ای که در قسمت 3 معرفی گردید، ارزیابی می‌شوند. در این مرحله برای محاسبه تابع‌هزینه نیاز به محاسبه تغییر شکل ورق تحت نیروی وزن و نیرو وارد شده از طرف کلمپ‌ها است که این محاسبات توسط روش المان محدود صورت می‌گیرد.

در فاز افزایش فرومون، تنها به بهترین مورچه اجازه فرومون‌ریزی داده می‌شود. میزان افزایش فرومون مطابق با رابطه‌ی (8) تعیین می‌شود.

$$\Delta \tau_{ij} = \begin{cases} \frac{Q}{c(\psi^*)} & l_{ij} \in \psi^* \\ 0 & l_{ij} \notin \psi^* \end{cases} \quad (8)$$

¹ Pheromones

² Heuristic information

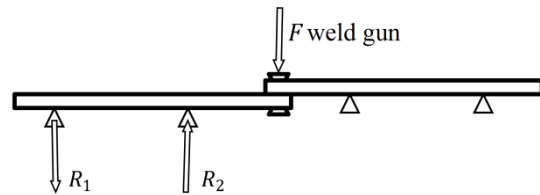


Fig. 2 Deflection on sheet metal applied by force of welding gun

شکل 2 ایجاد تغییر شکل در ورق توسط نیروی اعمالی از طرف تفنگ جوش

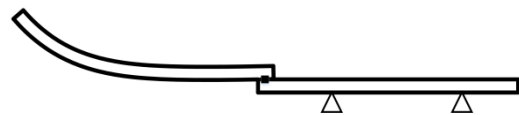


Fig. 3 spring back in assembled system

شکل 3 بازگشت فنری مجموعه‌ی مونتاژ شده

بنابراین تابع‌هزینه مطابق با رابطه‌ی (3) تعریف می‌شود.

$$c = \sum_{i=1}^n w_i (v_i + uz_i(x, y))^2 + 0.001 \times m \quad (3)$$

در رابطه‌ی (3) c تابع‌هزینه، v_i انحراف اولیه در هر نود، uz_i جابجایی در راستای عمود بر صفحه در هر نود که بر اثر نیروی وزن و نیروی وارد از طرف کلمپ‌ها ایجاد می‌شود، n تعداد نود در مدل المان محدود، m تعداد نقاط کلمپ، x و y موقعیت نقاط کلمپ می‌باشند. به دلیل اهمیت ویژه انحراف در محل نقاط جوش، از ضریب وزنی w_i در تابع‌هزینه استفاده شده است، w_i مطابق با رابطه‌ی (4) تعیین می‌شود.

$$w_i = \begin{cases} 1 & \text{ناحیه جوش} \\ 2 & \text{نواحی دیگر} \end{cases} \quad (4)$$

قیدهای هندسی حاکم بر مسئله به صورت رابطه‌ی (5) قابل بیان است. در این رابطه $x_{feasible}$ و $y_{feasible}$ طول و عرض نقاطی از ورق است که قیدهای هندسی و فیزیکی را ارضا می‌کنند.

$$\begin{cases} x \in X_{feasible} \\ y \in Y_{feasible} \end{cases} \quad (5)$$

اگرچه کاهش تعداد نقاط کلمپ مطلوب است، اما در عمل، تعداد نقاط کلمپ به دلیل مشکلات عدم پایداری نمی‌تواند کمتر از 3 باشد.

$$m \geq 3 \quad (6)$$

4- الگوریتم بهینه‌سازی

در این مقاله با برقراری ارتباط مستقیم میان روش المان محدود و الگوریتم مورچگان ابزار بسیار قدرتمندی برای بهینه‌سازی بوجود می‌آید. در روش ارائه شده در ابتدا یک مدل المان محدود از ورق ایجاد می‌شود. از این مدل برای محاسبه جابجایی‌های ورق، تحت طرح‌های مختلف فیکسچر در حین اجرای الگوریتم استفاده می‌شود. با توجه به اینکه که در المان محدود قیدها باید به نودها اعمال شوند و برای جلوگیری از مش بندی دوباره‌ی مدل در هر تکرار، فقط نودها، قابلیت انتخاب به‌عنوان نقاط کلمپ را دارا می‌باشند. به‌عبارت‌دیگر مسئله بهینه‌سازی به صورت گسسته حل می‌شود. همانگونه که در شکل 4 مشخص است، الگوریتم از دو بخش، پیش‌پردازش و الگوریتم مورچگان تشکیل می‌شود.

4-1- پیش‌پردازش

در ابتدای اجرای الگوریتم، پیش‌پردازش بر روی مدل المان محدود صورت می‌گیرد. در این مرحله برای اعمال قیدهای هندسی و همچنین افزایش

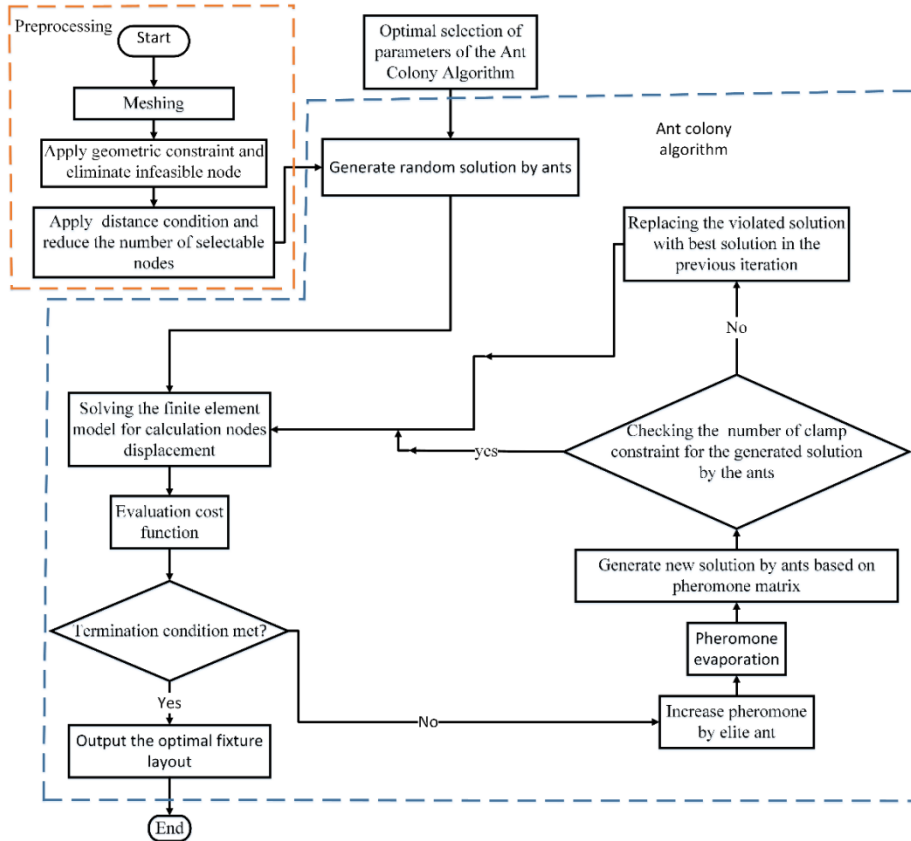


Fig. 4 Fixture optimization flowchart

شکل 4 فلوجارت بهینه‌سازی فیکسچر

ایجادشده در دور قبل جایگزین می‌شود. در اجرای الگوریتم پیشنهادی از نرم افزار متلب^۲ برای کدنویسی و برای حل مدل المان محدود از نرم‌افزار انسیس^۳ استفاده می‌شود.

5- مطالعه موردی

هندسه ورق مورد بررسی، مربعی با ابعاد 0.5×0.5 متر و ضخامت 1 میلی‌متر می‌باشد. جنس ورق از فولاد با مدول یانگ 200×10^9 پاسکال و ضریب پواسون 0.3 می‌باشد. در عمل نقاط نزدیک به لبه‌ها، برای محل قرارگیری کلمپ مناسب نمی‌باشند. فرض می‌شود ورق از لبه بالایی به ورق دیگری نقطه‌جوش می‌شود. همچنین نواحی مرکزی ورق نیز، به دلیل وجود محدودیت‌هایی از قبیل دشواری دسترسی، وجود قطعات دیگر و... مناسب برای قرارگیری نقاط کلمپ نمی‌باشند. بنابراین ناحیه‌ای امکان‌پذیر مطابق با شکل 6 با هاشور مشخص می‌شود. برای ورق مورد بررسی، روابط (4) و (5) به صورت روابط (11) و (12) بازنویسی می‌شوند.

$$w_i = \begin{cases} 1 & -250 \leq x_i \leq 250, -250 \leq y_i < 250 \\ 2 & -250 \leq x_i \leq 250, y_i = 250 \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} x \in [-200, -50] \cup [50, 200] \\ y \in [-200, -50] \cup [50, 200] \end{cases} \quad (12)$$

در این مقاله، انحرافات اولیه ورق به صورت رابطه‌ی (13) فرض می‌شود. در شکل 7 کانتور انحراف اولیه در ورق نمایش داده شده است.

$$v_{in} = 0.0002 \sin(4.4\pi x) + 0.0002 \cos(4.8\pi y) \quad (13)$$

در رابطه‌ی (8)، مقدار فرومون در اختیار هر مورچه، ψ^* پاسخ مربوط به بهترین مورچه و $C(\psi^*)$ تابع هزینه‌ی مربوط به بهترین مورچه می‌باشند. پس از تعیین میزان افزایش فرومون، ماتریس فرومون بر اساس پاسخ ایجاد شده توسط بهترین مورچه در هر سعی و خطا که مطابق با رابطه‌ی (9) بروزسانی می‌شود [15].

$$\tau_{ij}^{new} = \tau_{ij}^{old} + \Delta\tau_{ij} \quad (9)$$

در رابطه‌ی (9)، ماتریس فرومون اولیه در هر تکرار و τ_{ij}^{new} ماتریس فرومون بروزسانی شده می‌باشد. در مرحله تبخیر فرومون از رابطه‌ی (10) استفاده می‌شود [15].

$$(1 - \rho)\tau_{ij}^{new} = \tau_{ij} \quad (10)$$

در رابطه‌ی (10) ماتریس فرومون و ρ ضریب تبخیر فرومون^۱ می‌باشند. مراحل بالا در تکرارهای بعدی الگوریتم نیز بترتیب انجام می‌شود. یکی دیگر از قیدهایی که باید در روند اجرای الگوریتم در نظر گرفته شود، این است که تعداد کلمپ در صفحه‌ی اصلی نباید کمتر از سه عدد باشد. به همین منظور پاسخ‌های ایجادشده در هر مرحله بررسی می‌شوند، در صورت ایجاد پاسخی با تعداد کلمپ کمتر از سه عدد، آن پاسخ با بهترین پاسخ

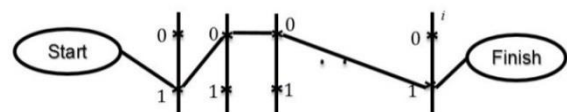


Fig. 5 An hypothetical image of how ants create reply

شکل 5 تصویر فرضی از نحوه ایجاد پاسخ توسط مورچه‌ها

² MATLAB
³ ANSYS

¹ Pheromone evaporation rate

مورچگان می‌باشد، بنابراین بررسی حساسیت پاسخ‌ها نسبت به پارامترها، ضروری است. پارامترهای اولیه الگوریتم مورچگان عبارت‌اند از: تعداد مورچه‌ها pop ، فرمون اولیه τ_0 ، ضریب تبخیر فرمون ρ ، ضریب وزنی اطلاعات فرمونی α ، ضریب وزنی اطلاعات ذهنی β .

از آنجا که برای تشکیل دادن اطلاعات ذهنی نیاز به اطلاعاتی کلی از طرح بهینه است و پیش از اجرای الگوریتم این اطلاعات در دسترس نیست، در مسئله مورد بررسی امکان تشکیل اطلاعات ذهنی وجود ندارد. بنابراین از تأثیرات ضریب وزنی توانی اطلاعات فرمونی و ضریب وزنی اطلاعات ذهنی بر جواب صرف‌نظر می‌شود. در این مقاله $\alpha = 1$ و $\beta = 0$ در نظر گرفته می‌شود. برای مشاهده‌ی تأثیر پارامترهای دیگر، هنگامی که یک پارامتر تغییر داده می‌شود دیگر پارامترها ثابت نگه‌داشته می‌شوند. با توجه به ماهیت تصادفی الگوریتم مورچگان، برای هر سری از پارامترها، الگوریتم سه بار تکرار می‌شود و از میانگین جواب‌ها برای تصمیم‌گیری و نمایش در نمودارها استفاده خواهد شد. در شکل 8 نمودار تغییرات جواب بهینه به ازای $\tau_0 = 50$ رسم شده است. با توجه به شکل 8 الگوریتم با تعداد مورچه‌ی کم، توانایی یافتن پاسخ بهینه‌ی کلی را دارا نیست و به سمت پاسخ‌های بهینه‌ی محلی همگرا می‌شود. با افزایش جمعیت مورچه‌ها، احتمال یافتن پاسخ بهینه‌ی کلی نیز افزایش می‌یابد. افزایش بیش‌ازحد ضریب تبخیر، سبب همگرایی سریع الگوریتم به جواب‌های بهینه‌ی محلی می‌شود. همان‌گونه که شکل 8 نشان می‌دهد الگوریتم به ازای $\rho = 0.2$ و $pop = 17$ پاسخ بهینه را به دست می‌آورد.

در روش ارائه‌شده زمان‌برترین بخش، مربوط به حل مدل المان محدود می‌باشد. بنابراین کاهش تعداد دفعات محاسبه‌ی تابع هزینه، به معنی کاهش زمان محاسبات است. در شکل 9 تعداد دفعات محاسبه‌ی تابع هزینه برای رسیدن به نقطه همگرایی به ازای مقادیر مختلف جمعیت مورچه‌ها و ضریب تبخیر مشخص شده است. با توجه به شکل 9 مشخص می‌شود به ازای 17 مورچه و ضریب تبخیر 0.2 الگوریتم با 170 بار محاسبه تابع هزینه، قادر به رسیدن به جواب بهینه است. در این مقاله از $pop = 17$ و $\rho = 0.2$ استفاده می‌شود. به‌عنوان پارامترهای بهینه‌ی ورودی به الگوریتم $\tau_0 = 50$ ، $\alpha = 1$ و $\beta = 0$ به‌عنوان پارامترهای بهینه‌ی ورودی به الگوریتم استفاده می‌شود.

6- نتایج

در این قسمت به ارائه‌ی نتیجه‌ی بهینه‌سازی پرداخته می‌شود. در شکل 10

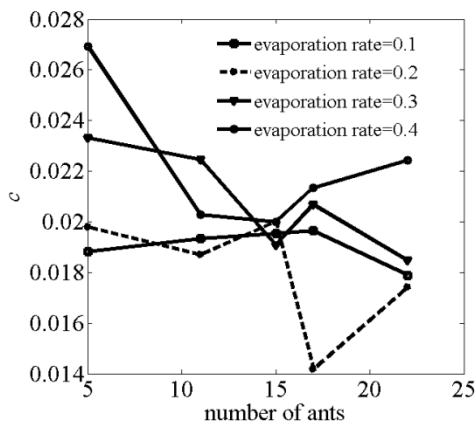


Fig. 8 The variation of optimized cost function with respect to evaporation and ant numbers

شکل 8 تغییرات تابع هزینه بهینه به ازای تغییر در ضریب تبخیر و تعداد مورچه‌ها

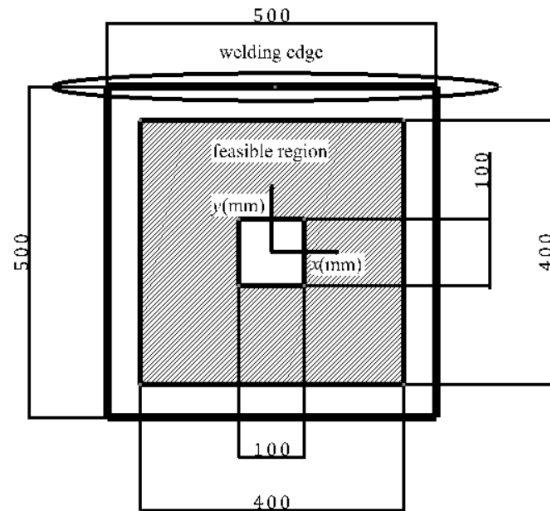


Fig. 6 Schematic image of the sheet

شکل 6 تصویر شماتیک از ورق (تمامی ابعاد بر واحد میلی‌متر می‌باشد)

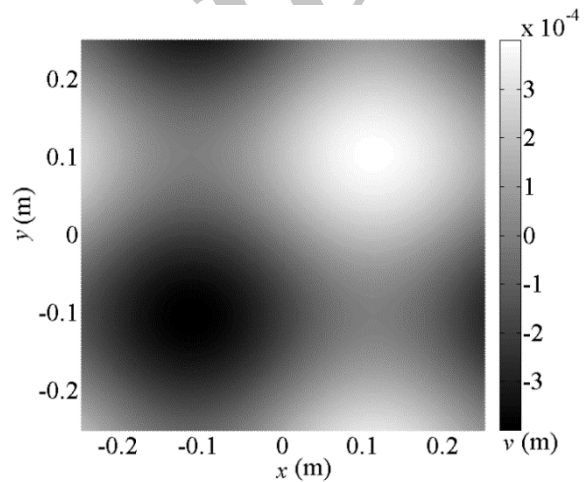


Fig. 7 Initial deviation contour

شکل 7 کانتر توزیع انحراف اولیه

5-1- مدل المان محدود

ورق با المان‌های مربعی هشت نود پوسته¹ مدل و برای دستیابی به دقت مورد نیاز و همگرایی در جواب‌ها در مدل المان محدود از 40000 المان و 40401 نود استفاده می‌شود. پس از اعمال قیدهای اشاره‌شده در قسمت 1-4 تعداد نقاط کاندید برای نقاط کلمپ به 364 عدد می‌رسد. در مدل‌سازی فرض می‌شود که تغییر شکل‌ها در ناحیه‌ی الاستیک قرار دارند، همچنین نیروهای داخل صفحه‌ای (مانند نیروی اصطکاک) صرف‌نظر می‌شود. نیروی وزن در راستای عمود بر صفحه ورق در نظر گرفته می‌شود. فرض می‌شود کلمپ‌ها نسبت به ورق، صلب هستند. طراحی فیکسچر بر اساس شکل هندسی ورق نامی صورت می‌گیرد، این در حالی است که ورق واقعی نسبت به حالت نامی دارای انحراف می‌باشد. به همین دلیل بسته شدن کلمپ‌ها، باعث اعمال جابه‌جایی در راستای عمود بر ورق و مقید شدن 5 درجه‌ی آزادی نودهای محل قرارگیری کلمپ می‌شود.

5-2- تعیین پارامترهای الگوریتم مورچگان

کیفیت جواب‌های بهینه، به‌شدت تحت تأثیر پارامترهای اولیه‌ی الگوریتم

¹ Shell181

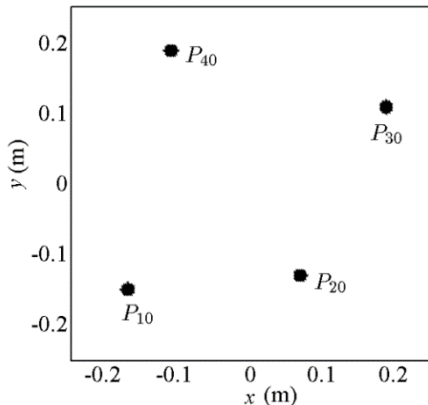


Fig. 11 Optimal position of clamp points

شکل 11 موقعیت بهینه نقاط کلمپ

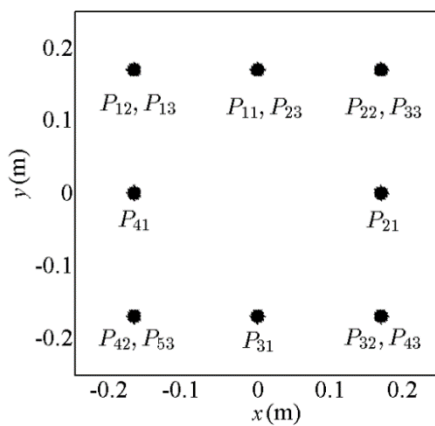


Fig. 12 Position of the clamp points in 1st, 2d and 3d layout

شکل 12 موقعیت نقاط کلمپ در طرح‌های 1، 2 و 3

در رابطه‌ی (14) vw_i انحراف اولیه نود i ام در لبه‌ی جوش، uzw_i جابجایی نود i ام در لبه‌ی جوش و n_w تعداد نود در لبه‌ی جوش می‌باشد. پارامتر $cost_1$ معرف میزان انحراف در سرتاسر ورق است و از رابطه‌ی (15) محاسبه می‌شود.

$$cost_1 = \sum_{i=1}^n w_i (v_i + uz_i(x, y))^2 \quad (15)$$

در رابطه‌ی (15)، v_i انحراف اولیه در نود i ام، uz_i جابجایی در نود i ام، n تعداد نود و w_i ضریب وزنی که مطابق با رابطه‌ی (11) محاسبه می‌شود. در طرح 1 از چهار کلمپ استفاده می‌شود. با توجه به جدول 2 طرح بهینه نسبت به طرح 1 با تعداد کلمپ برابر از عملکرد بسیار بهتری برخوردار است، بگونه‌ای که مقدار انحراف در لبه‌ی جوش (d) در طرح بهینه به میزان 80.24 درصد و مقدار انحراف در کل ورق ($cost_1$) در طرح بهینه 17.66 درصد و مقدار تابع هزینه در طرح بهینه 43.09 درصد است. کاهش می‌یابد. در طرح 2 همانند طرح بهینه از چهار کلمپ استفاده می‌شود. در این طرح، وضعیت انحراف در لبه‌ی جوش نسبت به طرح بهینه بهتر است. بطوری که مقدار پارامتر d در طرح بهینه نسبت به طرح 2 به مقدار 54.8 درصد افزایش می‌یابد، در مقابل پارامتر $cost_1$ در طرح بهینه نسبت به طرح 2 کاهش 4.92 درصدی را از خود نشان می‌دهد. طرح 2 از لحاظ عملکردی بسیار نزدیک به طرح بهینه است که علت این موضوع نزدیک انتخاب شدن محل قرارگیری کلمپ‌ها به طرح بهینه است. با این وجود مقدار تابع هزینه

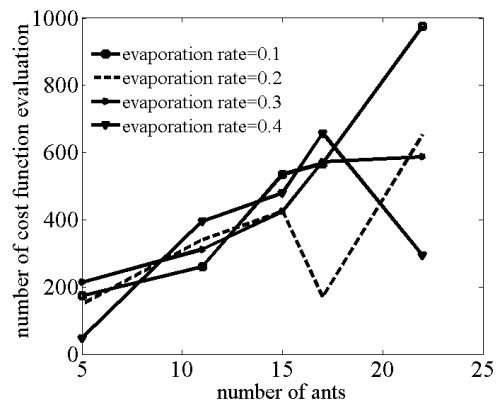


Fig. 9 The number of cost function evaluation to reach the convergence

شکل 9 تعداد دفعات محاسبه تابع هزینه برای رسیدن به همگرایی

نمودار همگرایی الگوریتم رسم شده است که در آن مقدار تابع هزینه از 0.17 به 0.005582 می‌رسد که معادل 96.7165 درصد کاهش می‌باشد. در اولین سعی و خطا، الگوریتم از 162 عدد کلمپ برای مهار ورق استفاده می‌کند. این تعداد در سعی و خطاهای بعدی به ترتیب به مقادیر 66، 104، 33، 17، 12 و 4 کاهش می‌یابد. الگوریتم در تکرارهای اولیه تعداد کلمپ‌ها را به تعداد بهینه کاهش می‌دهد و در ادامه به بهینه کردن موقعیت آن‌ها می‌پردازد.

پس از اجرای الگوریتم بهینه‌سازی تعداد بهینه نقاط کلمپ به 4 عدد کاهش می‌یابد. موقعیت نقاط بهینه کلمپ در شکل 11 نشان داده و در جدول 1 مختصات موقعیت نقاط بهینه ارائه گردیده است.

برای مقایسه عملکرد طرح بهینه با سایر طرح‌ها، تابع هزینه و انحراف ورق برای سه طرح بندی، دو طرح با چهار عدد کلمپ (طرح 1 و طرح 2) و یک طرح با پنج عدد کلمپ (طرح 3) محاسبه می‌شوند. موقعیت کلمپ‌ها در این سه طرح در شکل 12 نشان داده شده است. نقطه P_{ij} موقعیت کلمپ i ام از طرح j ام نشان می‌دهد. همچنین مختصات کلمپ‌ها در جدول 1 آمده است. مقدار انحراف اولیه ورق در همه طرح‌ها مطابق با شکل 7 است. در جدول 2 پارامترهای d ، $cost_1$ و همچنین مقدار تابع هزینه در طرح‌های مختلف آمده است. پارامتر d بیانگر میزان انحراف در لبه‌ی جوش پس از بسته شدن کلمپ‌ها است و از رابطه (14) بدست می‌آید.

$$d = \sum_{i=1}^{n_w} (vw_i + uzw_i(x, y))^2 \quad (14)$$

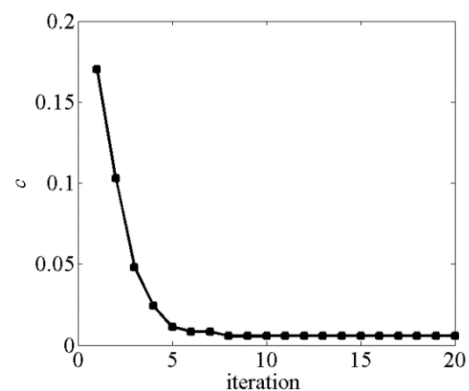


Fig. 10 Cost function variation with respect to iteration number

شکل 10 تغییرات تابع هزینه بر حسب تعداد تکرار

جدول 1 مختصات کلمپها در طرح بندی های مختلف (تمامی ابعاد برحسب متر است)

شماره کلمپ	طرح بهینه $j = 0$	1 $j = 1$	طرح 2 $j = 2$	طرح 3 $j = 3$
P_{1j}	(-0.17,-0.15)	(0,0.17)	(-0.17,0.17)	(-0.17,0.17)
P_{2j}	(0.07,-0.13)	(0.17,0)	(0.17,0.17)	(0,0.17)
P_{3j}	(0.19,0.11)	(0,-0.17)	(0.17,-0.17)	(0.17,0.17)
P_{4j}	(-0.11,0.1925)	(-0.17,0)	(-0.17,-0.17)	(0.17,-0.17)
P_{5j}	-	-	-	(-0.17,-0.17)

جدول 2 مقایسه عملکرد طرح بهینه با سایر طرحها

طرح 1	طرح 2	طرح 3	طرح بهینه	
8.240×10^{-5}	1.051×10^{-5}	3.639×10^{-6}	1.627×10^{-5}	d
0.002780	0.001664	0.001225	0.001582	$cost_1$
0.006780	0.005664	0.006225	0.005582	c

در طرح بهینه نسبت به طرح 2 به مقدار 1.44 درصد کاهش پیدا می کند. در طرح 3 از پنج کلمپ استفاده می شود و به همین دلیل وضعیت انحراف در لبه ی جوش و انحراف در کل ورق نسبت به طرح بهینه بهتر است. با وجود بهبود پارامترهای d و $cost_1$ در طرح 3 نسبت به طرح بهینه، اما مقدار تابع هزینه در طرح بهینه نسبت به طرح 3 به میزان 10.32 درصد کاهش می یابد.

در شکل های 13 و 14 به ترتیب کانتور انحراف نهایی نسبت به حالت نامی، پس از بسته شدن کلمپها برای طرح 1 و طرح بهینه به نمایش درآمده است. ماکزیمم و مینیمم مقدار انحراف در طرح 1 به ترتیب برابر با 0.12248 و -1.28782 میلی متر می باشد که این مقادیر در طرح بهینه به ترتیب برابر با 0.32810 و -0.84128 میلی متر هستند. با مقایسه دو طرح مشخص می شود که بازه انحرافات نهایی در طرح بهینه، نسبت به طرح 1، 17.082 درصد کاهش می یابد. کاهش بازه انحرافات به معنی وجود ورقی هموارتر در مرحله ی مونتاژ است و در نتیجه انحراف در مجموعه ی پس از مونتاژ نیز کاهش خواهد یافت.

در شکل 15 انحرافها در لبه ای که تحت عملیات نقطه جوش قرار می گیرد، برای طرح بهینه و دیگر طرحها به نمایش درآمده است. با توجه به شکل 15 دامنه انحرافات لبه ی جوش (اختلاف بین ماکزیمم و مینیمم انحراف) در طرح بهینه و طرح های 1، 2 و 3 به ترتیب برابر است با 6.2891×10^{-4} ، 0.0011 و 3.8691×10^{-4} و 2.7935×10^{-4} متر

7- نتیجه گیری

برای کمینه کردن انحراف مجموعه پس از مونتاژ باید انحراف ورق قرار گرفته شده در فیکسچر تا حد امکان کمینه شود. در این مقاله از ترکیب المان

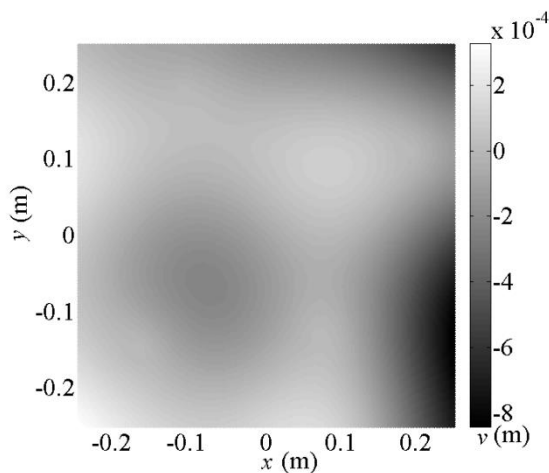


Fig. 14 Deviation contour for optimal fixture layout

شکل 14 کانتور انحراف طرح بهینه

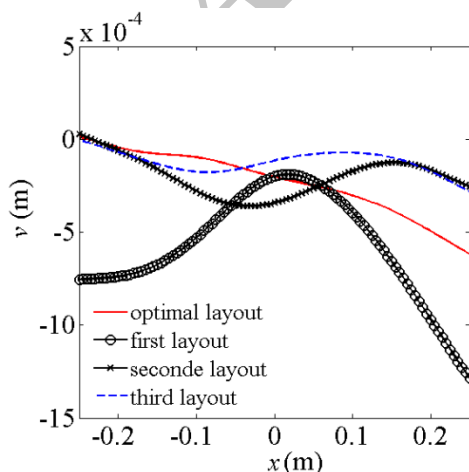


Fig. 15 Deviation at the edge of the welding for different layouts

شکل 15 انحراف در لبه ی جوشکاری برای طرح بندی های مختلف

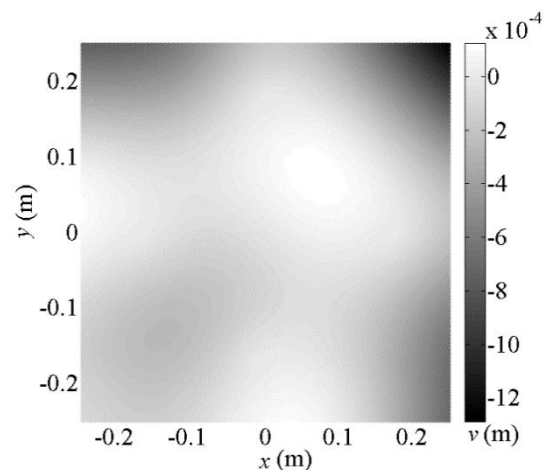


Fig. 13 Deviation contour for first layout

شکل 13 کانتور انحراف طرح 1

- [4] Z. Wang, B. Yang, Y. Kang, Y. Yang, Development of a prediction model based on RBF neural network for sheet metal fixture locating layout design and optimization, *Computational Intelligence and Neuroscience*, Vol. 2016, No. 127, pp1-6, 2016.
- [5] Z. Wang, Y. Yang, B. Yang, Y. Kang, Optimal sheet metal fixture locating layout by combining radial basis function neural network and bat algorithm, *Advances in Mechanical Engineering*, Vol. 8, No. 12, pp. 1-10, 2016.
- [6] B. Yang, Z. Wang, Y. Yang, Y. Kang, X. Li, Optimum fixture locating layout for sheet metal part by integrating kriging with cuckoo search algorithm, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 91, No. 1-4, pp. 327-340, 2017.
- [7] B. Yang, Z. Wang, Y. Yang, Y. Kang, C. Li, Optimization of fixture locating layout for sheet metal part by cuckoo search algorithm combined with finite element analysis, *Advances in Mechanical Engineering*, Vol. 9, No. 6, pp. 1-10, 2017.
- [8] Y. G. Liao, A genetic algorithm-based fixture locating positions and clamping schemes optimization, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 217, No. 8, pp. 1075-1083, 2003.
- [9] J. A. Camelio, S. J. Hu, D. Ceglarek, Impact of fixture design on sheet metal assembly variation, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 23, No. 3, pp. 182-193, 2004.
- [10] W. Cai, Fixture optimization for sheet panel assembly considering welding gun variations, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, Vol. 222, No. 2, pp. 235-246, 2008.
- [11] X. Liao, G. G. Wang, Simultaneous optimization of fixture and joint positions for non-rigid sheet metal assembly, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 36, No. 3-4, pp. 386-394, 2008.
- [12] K. H. Hajikolaie, G. G. Wang, Optimization of fixture and joint positions in sheet metal assembly: the effect of fixture numbers and constraints, *Proceeding of American Society of Mechanical Engineers*, Washington, DC, Usa, August 28-31, pp. 743-750, 2011.
- [13] W. Xie, Z. Deng, B. Ding, H. Kuang, Fixture layout optimization in multi-station assembly processes using augmented ant colony algorithm, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 37, pp. 277-289, 2015.
- [14] Y. Xing, M. Hu, H. Zeng, Y. Wang, Fixture layout optimisation based on a non-domination sorting social radiation algorithm for auto-body parts, *International Journal of Production Research*, Vol. 53, No. 11, pp. 3475-3490, 2015.
- [15] M. Dorigo, V. Maniezzo, A. Colomi, Ant system: Optimization by a colony of cooperating agents, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, Vol. 26, No. 1, pp. 29-41, 1996.

محدود با الگوریتم مورچگان یک روش برای بهینه‌سازی فیکسچر ارائه شده است که توانایی کمینه کردن تعداد نقاط کلمپ، همزمان با کمینه کردن انحرافات را دارا می‌باشد. در روش ارائه شده به منظور افزایش راندمان محاسباتی در ابتدا قیدهای هندسی به مدل اعمال می‌شوند. برای افزایش عملکرد الگوریتم و تعیین بهینه‌ی پارامترهای اولیه، آنالیز حساسیت بر روی پارامترهای اولیه الگوریتم مورچگان صورت می‌گیرد. در پایان به منظور بررسی عملکرد الگوریتم، به بهینه‌سازی نقاط کلمپ برای یک ورق ساده همراه با انحراف اولیه پرداخته می‌شود. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که اگرچه ممکن است پارامترهای دیگر از قبیل مجموعه انحرافات در کل ورق و یا مجموعه انحرافات در لبه‌ی جوش در طرح‌هایی به غیر از طرح بهینه از وضعیت بهتری نسبت به طرح بهینه برخوردار باشند، ولی طرح بهینه همواره از تابع هزینه کمتری نسبت به سایر طرح‌ها برخوردار است. از دیگر مزیت‌های طرح بهینه می‌توان به ایجاد توازن میان تعداد کلمپ و انحراف ورق اشاره کرد و این موضوع در حالی است که در سایر طرح‌ها این توازن وجود ندارد. روش ارائه شده قابلیت اعمال بر روی ورق‌هایی با پیچیدگی بالا را نیز دارا می‌باشد.

8- مراجع

- [1] W. Cai, S. J. Hu, J. Yuan, Deformable sheet metal fixturing: principles, algorithms, and simulations, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol. 118, No. 3, pp. 318-324, 1996.
- [2] Y. Xing, Y. Wang, Fixture layout design based on two-stage method for sheet metal components, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 227, No. 1, pp. 162-172, 2013.
- [3] Z. Ahmad, M. Zoppi, R. Molino, Fixture layout optimization for large metal sheets using genetic algorithm, *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, Vol. 7, No. 7, pp. 1487-1492, 2013.

Archive