

شبیه‌سازی اجزای محدود فرآیند جوشکاری قوس پلاسما در فولاد زنگ نزن فریتی

علی معرفزاده^۱، مهدی احمدی نجف‌آبادی^۲
A_moarrefzadeh@yahoo.com

پذیرش مقاله: ۹۰/۰۲/۱۴

دریافت مقاله: ۸۹/۱۱/۲۸

چکیده

در این مقاله، جوشکاری قوس پلاسما مورد بررسی حرارتی قرار گرفته و میدان دمایی فولاد زنگ نزن فریتی در این فرآیند بدست آمده است. تاثیر حرارتی قوس پلاسما و میدان دمایی ناشی از آن در قطعه کار، کلید اصلی تحلیل و بهینه‌سازی این فرآیند جوشکاری است، که هدف اصلی این مقاله نیز در همین راستا تعریف شده است. شبیه‌سازی اجزا محدود فرآیند جوشکاری به روش SIMPLEX و به وسیله نرم افزار ANSYS با استفاده از حل گر FSI در جهت بدست آوردن میدان دمایی فولاد زنگ نزن، تاثیر تغییر پارامترها بر میدان دمایی و بهینه نمودن فرآیند برای حالت‌های مختلف گازهای پلاسما و محافظ (آرگون و هلیوم یا مخلوطی از هر دو گاز)، صورت پذیرفته است. در نهایت از نتایج مقالات، برای مقایسه صحت پاسخ‌های پایانی مقاله استفاده شده است. جواب‌های بدست آمده از میدان دمایی، اثر هر یک از پارامترهای جوشکاری را مشخص نموده و با استفاده از این موضوع به بهینه‌سازی فرآیند جوشکاری پلاسما در جهت افزایش کیفیت اتصالات جوش پرداخته شده است. نتایج حاصل از این شبیه‌سازی برای گازهای مختلف، نشان دهنده این است که به دلیل حرارت مخصوص گاز هلیوم، توانایی بیشتری نسبت به گاز آرگون در تنگ نمودن قوس پلاسما و متمرکز شدن حرارت ورودی روی فولاد زنگ نزن دارد.

کلید واژه:

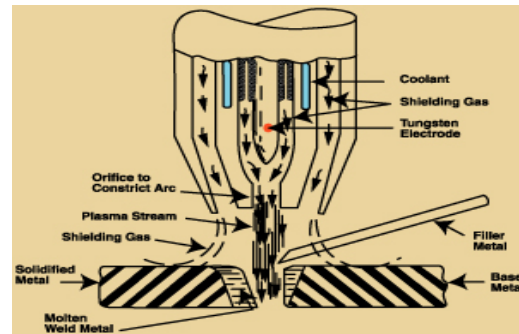
قوس پلاسما - گاز محافظ - گاز نازل - میدان دمایی - شبیه‌سازی اجزا محدود - فولاد زنگ نزن

۱- عضو هیات علمی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر دانشکده مهندسی مکانیک، تهران، ایران

۲- عضو هیات علمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ماهشهر، دانشکده مهندسی مکانیک، ماهشهر، ایران

۱- مقدمه

جوشکاری قوس پلاسما، فرآیند جوشکاری قوسی است، که طبق شکل (۱) قوسی به هم فشرده بین الکترود غیر مصرف شدنی و حوضچه‌ی جوش (قوس منتقل شده) یا بین الکترود و شیپوره‌ی تنگ‌کننده شیپوره (قوس منتقل نشده) بکار می‌برد. همانند جوشکاری قوس تنگستن، با یک الکترود، گاز درون محفظه را گرم کرده تا به دمای یونیزاسیون برسد و در این حالت هادی جریان الکتریسیته می‌باشد. این گاز یونیزه شده، تحت عنوان گاز پلاسما شناخته می‌شود. گاز پلاسما عموماً توسط یک منبع کمکی گاز، پشتیبانی می‌شود. این گاز محافظ می‌تواند یک گاز بی‌اثر مجزا یا ترکیبی از گازهای بی‌اثر باشد. و در اکثر موارد نوع هر دو گاز پلاسما و محافظ یکی است. فشار در این مرحله نقشی ندارد و فلز پرکننده را نیز می‌توان، در صورت نیاز مورد استفاده قرار داد.



شکل (۱): مشعل جوشکاری قوس پلاسما [۱]

در سال ۲۰۰۷، گروهی از محققان دانشگاه Osaka ژاپن، به آنالیز اجزای محدود فرآیند جوشکاری قوس پلاسما پرداختند. هدف آنها بهینه‌سازی حرارتی و پایداری قوس پلاسما بود [۱]. همچنین به علت اینکه این موضوع دارای کاربردهای فراوان در صنعت می‌باشد، در استانداردهای موجود نیز روش‌های خوبی ارائه شده است. که توسط گورمن بیان شده است [۲]. با توجه به اینکه معادلات تعاملی سازه و سیال به صورت غیرخطی‌اند، راه‌حل‌های تحلیلی غالباً قابل استفاده نیستند، زیرا با ورودی‌ها و مقادیر اولیه که جهت حل به مسائل تعاملی داده می‌شود، مسئله بسیار پیچیده می‌شود و تکنیک‌های عددی تنها روشهایی هستند که برای دستیابی به راه‌حل‌های کامل در دسترس باشند. در این مقاله، شبیه‌سازی فرآیند به صورت کاملاً دقیق و با در نظر گرفتن میدان‌های جداگانه‌ای برای میدان جامد (فولاد زنگ نزن به عنوان قطعه کار) و همینطور برای میدان سیال (گازهای پلاسما و محافظ و محیط اطراف) آغاز شده است. معادله‌های این میدان‌ها استخراج شده و در پایان با استفاده از کوپل کردن، معادله‌های میدان‌های مختلف با هم حل شده‌اند. در نهایت با برنامه‌نویسی به وسیله‌ی حل گر FSI و به روش SIMPLEC، به بهینه‌سازی فرآیند پرداخته شده است. برای این کار متغیرهای طراحی شبیه‌سازی معرفی شده و سپس متغیرهای حالت به صورت تابعی از متغیرهای طراحی معرفی شده‌اند و تابع هدف که همان میدان دمایی فولاد زنگ نزن فریتی است، جهت نیل به میدان بهینه‌سازی شده بدست آمده است. که شرایط مطلوبی از نظر سرعت سرد شدن، کنترل توسعه‌ی منطقه متأثر از حرارت و کمینه بودن میزان انرژی مصرف شده جهت انجام فرآیند را دارا می‌باشد.

۲- مدل الکترود- قوس

الکترود تنگستنی (آند)، فولاد زنگ نزن فریتی (کاتد) و قوس پلاسما مطابق شکل (۲) در یک قاب ستوتی با تقارن محوری پیرامون محور قوس مدل‌سازی شده‌اند. قطر کاتد تنگستنی ۳/۲ میلی متر با نوک مخروطی ۶۰ درجه می‌باشد. جریان قوس در ۱۵۰ آمپر تنظیم شده است. گازهای پلاسما و محافظ را آرگون و هلیوم یا مخلوطی از هر دو گاز در نظر گرفته‌ایم. جریان آرام فرض شده و قوس پلاسما تحت تعادل ترمودینامیکی LTE است. شکل (۳) نیز تغییرات ظرفیت گرمایی، رسانندگی حرارتی و رسانندگی الکتریکی گازهای آرگون و هلیوم را برحسب دما نشان داده است [۲].

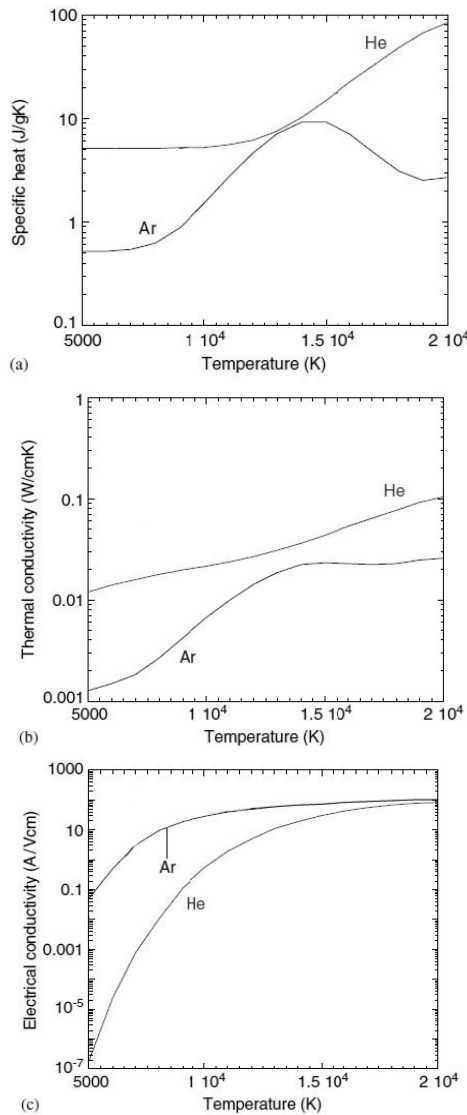
در بررسی‌های بعمل آمده توسط دانشمندان راه‌حل‌های مختلفی برای بررسی حرارتی جوشکاری ارائه گردیده است. در سال ۲۰۰۰، گروهی از دانشمندان آمریکایی، این فرآیند را شبیه‌سازی دو بعدی نمودند. هدف آنها از این شبیه‌سازی، بدست آوردن یک میدان دمایی بهینه برای مس و آلیاژهای آن بود. همین گروه در سال ۲۰۰۳ به مطالعه عددی این فرآیند پرداختند. و نقش گاز محافظ دی اکسید کربن را در جهت افزایش نفوذ جوش، نشان دادند [۴]. در سال ۲۰۰۶، گروهی از محققان دانشگاه شانگ‌های چین، به مطالعه دو بعدی نحوه انتقال حرارت در Standoff پرداختند. هدف آنها از این تحقیق، اثبات مناسب بودن انتخاب مخلوطی از گازهای آرگون و هلیوم جهت گاز روزنه و محافظ بود.

۳- مدلسازی اجزاء محدود

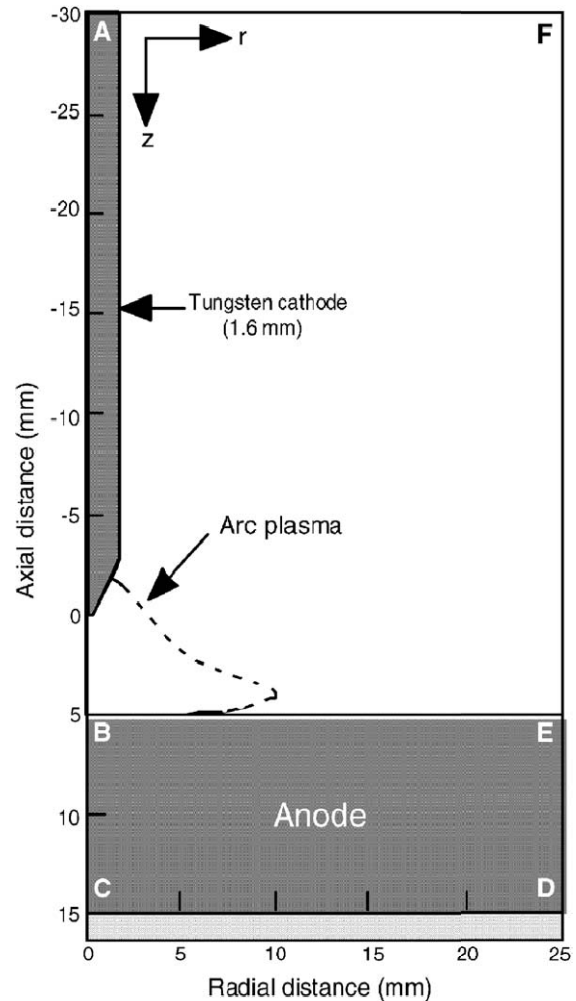
در شکل (۴) مدل اجزا محدود نشان داده شده است. مدل دو بعدی و با شرایط متقارن محوری است. در این مدل نحوه اجزای بندی به صورت دستی است. و ضخامت هر یک از اجزایها برابر 0.004 متر می باشد. این مش بندی به شکلی انجام شده است که اجزای های سیال و سازه کاملاً بر هم منطبق گردند. نوع اجزای بکار رفته در فولاد زنگ نزن به عنوان قطعه کار به دلیل بدست آوردن میدان دمایی آن، از زیر مجموعه Thermal Mass خانواده Solid و نوع اجزای PLANE 55 چهار گره ای انتخاب شده است. این اجزای، یک اجزای Axisymmetric با قابلیت تحلیل در شرایط تعاملی با سیال می باشد. و نوع اجزای بکار رفته شده در میدان سیال از مجموعه اجزای های FLOTRAN CFD از نوع Fluid141 می باشد. این اجزای دارای شرایطی است که می توان روش حرکت مش را اجرا نمود [۴].

۳-۱- کلیات حل عددی

الف) در حل عددی انجام شده به کمک کد ANSYS از روش اجزاء محدود به روش SIMPLEC، استفاده شده است.
ب) در حل عددی با توجه به تعامل سازه و سیال از حل گر FSI استفاده شده است.
ج) با توجه به به اینکه در جوشکاری قوس پلاسما، بارگذاری از ماهیت حرارتی برخوردار است و مشاهده نتایج با در نظر گرفتن حرکت های بسیار سریع می باشد، گام های زمانی بسیار کوچکی مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل (۳): تغییرات ظرفیت گرمایی، رسانندگی حرارتی و رسانندگی الکتریکی به ترتیب، برای گازهای آرگون و هلیوم با دما [۱]



شکل (۲): مدل متقارن شبیه سازی شده مشعل قوس پلاسما

تکرار ۴۰ بار در نظر گرفته شده است. در نهایت نوع آنالیز جابجایی زیاد از نوع گذرا فرض شده است و در قسمت کلی آنالیز نمو زمانی را نیز متناسب با نمو زمانی سیال و سازه در نظر گرفت که مقدار آن همان ۰/۰۱ می‌باشد [۴].

۳-۵- متغیرهای طراحی

در برنامه‌نویسی جهت بهینه‌سازی فرآیند جوشکاری قوس پلاسما، متغیرهای طراحی شبیه‌سازی عبارتند از شرایط هندسی میدان‌های جامد و سیال، فاصله نوک مشعل تا قطعه کار، زاویه راستای مشعل نسبت به قطعه کار، سرعت حرکت مشعل، دما و فشار هوای اطراف و دمای اولیه قطعه کار.

همچنین می‌توان از سرعت و دمای ورودی گاز پلاسما و سرعت و دمای ورودی گاز محافظ به عنوان متغیرهای حالت نام برد. همان‌گونه که در مقدمه نیز گفته شد، تابع هدف، میدان دمایی قطعه کار در نظر گرفته شده است.

۳-۴ بررسی فرم ضعیف شده تعامل سازه و سیال

حال فرم ضعیف شده برای میدان سیال را می‌توان به شکل زیر معرفی نمود:

(۱)

$$\partial \pi_F \int_{\Omega_F} \left[\frac{1}{C^2} \dot{P} + \nabla^2 P \right] = 0$$

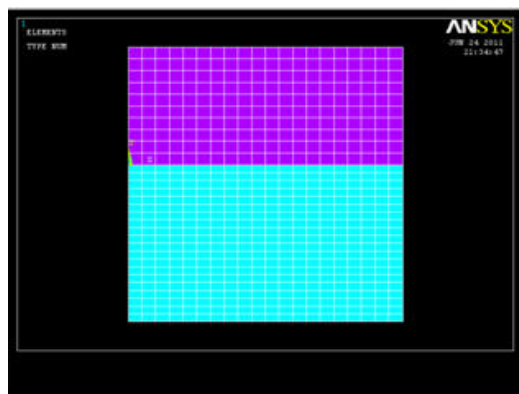
حال اگر بخواهیم تمام نواحی معرفی شده در بخش قبل را براساس شرایط مرزی میدان سیال به صورت معادله به فرم ضعیف شده نشان دهیم، خواهیم داشت:

$$\int_{\Omega} \partial P \left[\frac{1}{C^2} \dot{P} + (\nabla)^Y \nabla P \right] d\Omega + \int_{T_1} \partial P n^T \dot{u} dT + \int_{T_3} \frac{1}{8} \ddot{P} dT = 0 \quad (2)$$

در این معادله Ω_F دامنه کل سیال و T_i شرایط مرزی قسمت‌های تعریف شده می‌باشد.

حال بطور مشابه برای میدان جامد می‌توان فرم ضعیف شده را به شکل زیر بیان نمود.

$$\int_{\Omega} \partial u [P_s \ddot{u} + S^T D S u] d\Omega - \int_{T_1} \partial u^T \bar{t} dT = 0 \quad (3)$$



شکل (۴): مدل اجزا محدود میدان‌های سیال و جامد

۳-۲ مدل‌های ماده (معادلات مشخصه)

در تحلیل انجام شده برای سازه از مدل ایزو تروپیک و برای سیال از مدل سیال ایده آل استفاده شده است.

۳-۳ تعریف پارامتر

جهت تخصیص مقدار به کمیت‌های دما و سرعت سیال که اندازه آنها با زمان تغییر می‌کند به تعریف پارامتر پرداخته شده است. تا تغییرات این کمیت‌ها را از زمان روشن شدن دستگاه جوشکاری تا زمان خاموش شدن و بعد سرد شدن قطعه کار، در نرم افزار اعمال کرد.

۳-۴ پارامترهای کنترل

برای کنترل خروجی‌ها، کل زمان حل، زمان توقف حل و محاسبه شیب‌دار حل از لحاظ زمان و دقت محاسبات از پارامترهای کنترلی استفاده می‌شود. این تحلیل در دو مرحله صورت گرفته است. قسمت اول تنظیمات گزینه‌های سیالاتی و قسمت دوم تنظیمات تعاملی سازه و سیال می‌باشد.

در مرحله اول که مربوط به تنظیمات سیال می‌باشد، زمان کلی حل را ۵ ثانیه و هر گام ۰/۰۰۱ تعریف نموده که تعداد کلی گام‌ها بر اساس زمان کل بر زمان یک گام بدست می‌آید و زمان شرایط مرزی به صورت شیب‌دار و نه به صورت پله‌ای، تعریف شده است. در مرحله تنظیمات تعاملی سازه و سیال، بعد از تعریف گره‌هایی که شرایط فصل مشترکی سازه و سیال را دارند، این تنظیمات فعال می‌گردند و میزان همگرایی تحلیل که بستگی به حافظه دستگاه دارد به طور متوسط ۰/۰۱ فرض شده است. همچنین در قسمت تنظیم شرایط تعامل، تکرار حل به شکل گام به گام، باید حتما بزرگتر یا مساوی شرایط تکرار با تنظیمات سیالی باشند، که در این تحلیل شرایط

۵- بررسی معادلات انتقال حرارت

اگر انتقال حرارت به روش رسانندگی در یک بعد به صورت زیر باشد:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \rho v_r^2) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho v_z v_r) = -\frac{\partial \rho}{\partial r} - j_z B_\theta + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (2r\eta \frac{\partial v_r}{\partial r}) + \frac{\partial}{\partial z} (\eta \frac{\partial v_r}{\partial z} + \eta \frac{\partial v_z}{\partial r}) - 2\eta \frac{v_r}{r^2} \quad (12)$$

معادله شتاب محوری پایا:

$$q_X = -k_{xx} \frac{dT}{dx} \quad (4)$$

بنابراین رابطه بالا در دو بعد را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \rho v_r v_z) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho v_z^2) = -\frac{\partial \rho}{\partial z} + j_r B_\theta + \frac{\partial}{\partial z} (2\eta \frac{\partial v_z}{\partial z}) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r\eta \frac{\partial v_r}{\partial z} + r\eta \frac{\partial v_z}{\partial r}) \quad (13)$$

معادله انرژی حرارتی:

$$\frac{\partial}{\partial x} (k_{xx} \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (k_{yy} \frac{\partial T}{\partial y}) + Q = 0 \quad (5)$$

که در آن K_{xx} و K_{yy} ضرایب رسانندگی حرارتی می‌باشند. در ضمن انتقال حرارت به روش همرفتی نیز به صورت:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \rho v_r h) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho v_z h) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\frac{rk}{c_p} \frac{\partial h}{\partial r}) + \frac{\partial}{\partial z} (\frac{k}{c_p} \frac{\partial h}{\partial z}) + j_r E_r + j_z E_z - R \quad (14)$$

معادله بقای جریان:

$$q_h = h(T - T_\infty) \quad (6)$$

می‌باشد، با استفاده از روابط بالا برای انتقال حرارت با در نظر گرفتن اثر همرفتی داریم:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r j_r) + \frac{\partial}{\partial z} (j_z) = 0 \quad (15)$$

معادله بقای شارژ الکتریکی:

$$\frac{\partial}{\partial x} (k_{XX} \frac{\partial T}{\partial x}) + Q = PC \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{hP}{A} (T - T_\infty) \quad (7)$$

با بهره‌گیری از روابط ارائه شده می‌توان معادله پتانسیل انتقال حرارت را به صورت زیر نوشت:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\sigma r \frac{\partial \phi}{\partial r}) + \frac{\partial}{\partial z} (\sigma \frac{\partial \phi}{\partial z}) = 0 \quad (16)$$

قانون اهم:

$$\Pi p = u + \Pi v + \Pi q + \Pi h \quad (8)$$

$$u = \frac{1}{2} \iiint_V [k_{XX} (\frac{\partial T}{\partial x})^2 + k_{YY} (\frac{\partial T}{\partial y})^2] dv \quad (9)$$

$$\Pi_V = -\iiint_V Q T dv, \pi_q = -\iint_{S_2} q + ds, \pi_h = \frac{1}{2} \iint_{S_1} h(T-T_\infty)^2 dS \quad (10)$$

$$j_r = -\sigma E_r, j_z = -\sigma E_z \quad (17)$$

بطوریکه، t بیانگر زمان، h آنتالپی، P فشار، v_r, v_z به ترتیب بیانگر سرعت شعاعی و سرعت محوری، J_z, J_r به ترتیب بیانگر چگالی جریان شعاعی و محوری، g شتاب گرانشی، K رسانندگی حرارتی، C_p ظرفیت گرمایی ویژه، ρ چگالی، η ویسکوزیته و σ رسانندگی الکتریکی می‌باشد [۶].

۶- فرمول بندی مدل

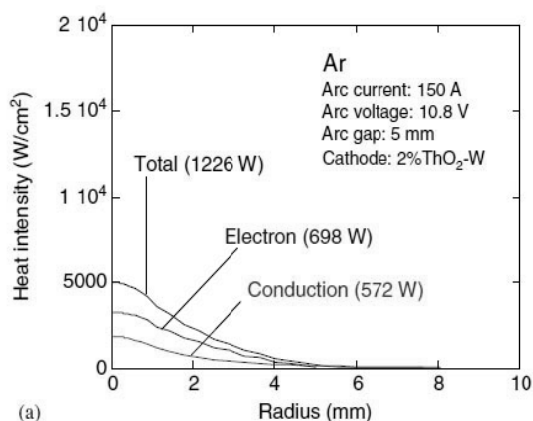
با توجه به شرایط مرزی و روش مدل‌سازی عددی، معادلات زیر حل می‌شوند:

معادله بقای جرم:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \rho v_r) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho v_z) = 0 \quad (11)$$

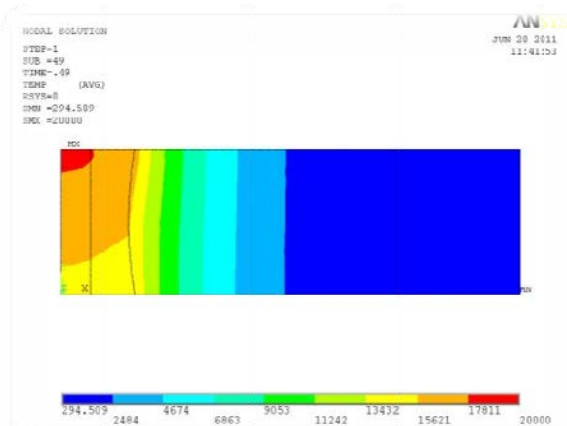
معادله شتاب شعاعی پایا:

۷- ارائه نتایج و بحث
نتایج برای میدان دمایی سیال، میدان دمایی سازه و الکتروود، به صورت کامل و با نشان دادن نحوه انتقال حرارت بین گاز پلاسما و گاز محافظ و بین گاز محافظ و هوای اطراف، با دماها و سرعت‌های



شکل (۶): شدت حرارت ورودی روی سطح فولاد زنگ نزن فریتی به ترتیب برای گازهای آرگون و هلیوم

میدان دمایی سیال خروجی از مشعل به صورت کامل و با نشان دادن نحوه انتقال حرارت بین گاز پلازما و گاز محافظ و هوای اطراف، با دماهای مربوطه در شکل (۷) رسم شده است. برای بررسی تغییرات دما در ستون پلازما و چگونگی نحوه انتقال حرارت آن به گاز محافظ، مطابق نمودار شکل (۸)، میدان دمایی ستون پلازما در محور تقارنش برحسب فاصله Standoff رسم شده است.



شکل (۷): نتایج میدان دمایی سیال (گازها مخلوطی از آرگون و هلیوم)

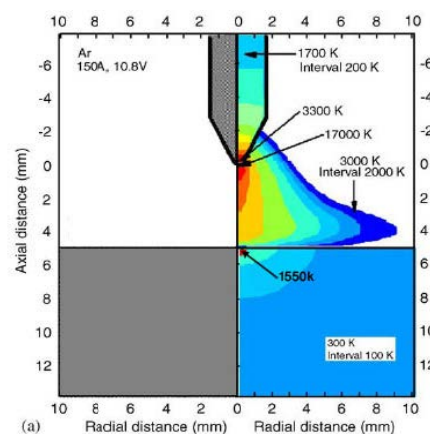
جریان برای گازهای مختلف آرگون و هلیوم مطابق شکل (۵) نشان داده شده است.

دما و سرعت پلاسمای خروجی نزدیک کاتد بخاطر رسانایی گرمایی بالای هلیوم تقریباً بالاتر از حالت آرگون-PAW است.

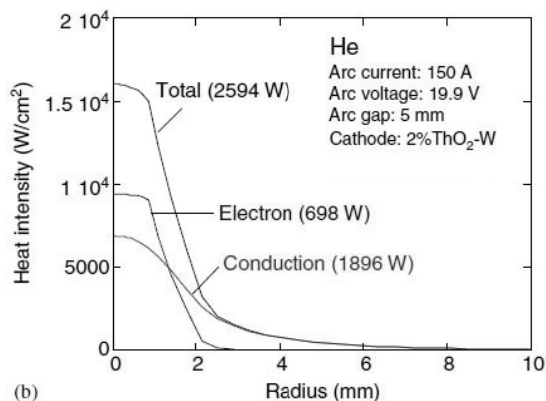
به دلیل شرایط رسانایی هلیوم نسبت به آرگون، در حالت هلیوم-PAW نسبت به حالت آرگون-PAW، قطر کانال پلاسمای خروجی از دهانه مشعل کاهش می‌یابد و باعث ایجاد فشار و در نتیجه افزایش حرارت ورودی روی سطح قطعه کار می‌گردد.

شدت حرارت ورودی با توزیع شعاعی روی سطح میدان جامد که همان فولاد زنگ نزن فریتی است، مطابق شکل (۶) برای گازهای آرگون و هلیوم، به صورت جداگانه آورده شده است.

اکنون با توجه به اهمیت حالتی که مخلوطی از آرگون و هلیوم را داشته باشیم، میدان دمایی سیال (گاز پلازما، گاز محافظ و هوای اطراف) و میدان دمایی جامد (فولاد زنگ نزن فریتی) را هر یک به صورت جداگانه رسم می‌گردد.

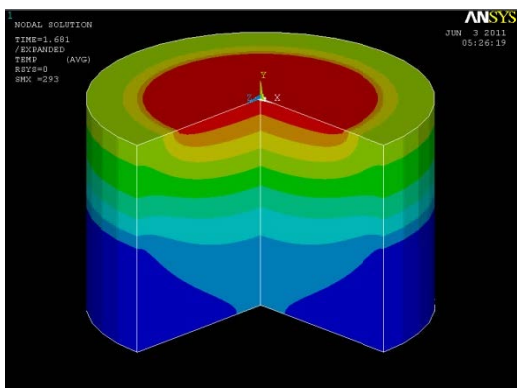


شکل (۵): نتایج میدان دمایی به ترتیب برای گازهای آرگون و هلیوم



(b)

همچنین میدان دمایی در فولاد زنگ نزن فریتی، به صورت برش خورده، در شکل (۱۰) نشان داده شده است.



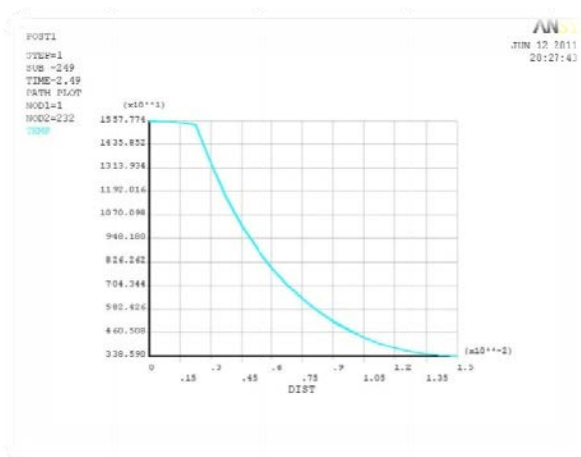
شکل (۱۰): میدان دمایی در فولاد زنگ نزن به صورت برش خورده (گازها مخلوطی از آرگون و هلیوم)

در ضمن تغییرات دما در خط مشترک میدان سیالها و میدان جامد در نمودار شکل (۱۱) آمده است. جهت بررسی این نمودار آنرا به سه بخش مجزا تقسیم می‌کنیم:

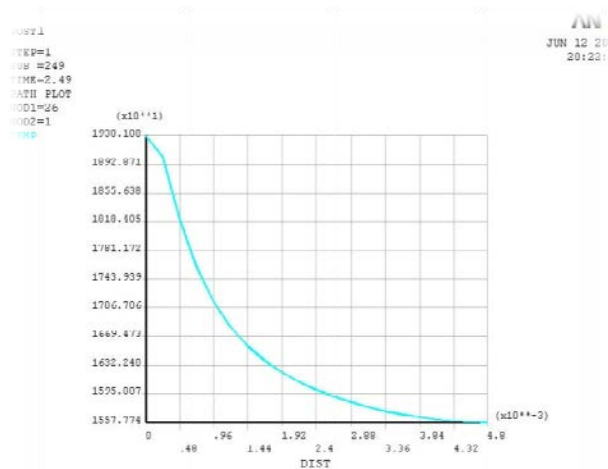
بخش اول (نشان دهنده منطقه متأثر از حرارت می‌باشد. و تقریباً می‌توان گفت که تغییرات دما ثابت است. یا با کاهش خطی بسیار ناچیز.

بخش دوم) کاهش دما در سطح قطعه کار را نشان می‌دهد.

بخش سوم (تغییرات دما بسیار ناچیز است و سطحی از قطعه کار است که به صورت مستقیم با دهانه مشعل در تماس نیست. سطح قطعه کار با هوای اطراف در تماس است (۳۰۰ درجه کلین)).



شکل (۱۱): تغییرات دما در خط مشترک میدان سیالها و میدان جامد (گازها مخلوطی از آرگون و هلیوم)



شکل (۸): تغییرات میدان دمایی بر حسب فاصله Standoff در محور تقارن ستون پلاسما (گازها مخلوطی از آرگون و هلیوم)

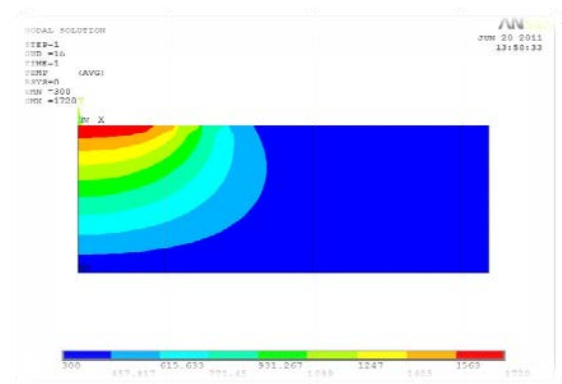
در این نمودار می‌توان در هر فاصله‌ای از دهانه مشعل تا سطح قطعه کار، دمای مورد نظر را بر حسب درجه کلین بدست آورد. این نمودار را می‌توان به سه بخش مجزا تقسیم نمود:

بخش اول) کاهش دمای گاز پلاسما بر حسب فاصله Standoff، به صورت خطی با شیب ثابت است.

بخش دوم) کاهش دمای گاز پلاسما بر حسب فاصله Standoff، با شیب بیشتر و به صورت سهموی است.

بخش سوم) دمای گاز پلاسما به یک ثابت می‌رسد. و به صورت تقریباً ثابت بر حسب فاصله Standoff، تغییر می‌کند (محل برخورد گاز پلاسما با سطح قطعه کار).

میدان دمایی در فولاد زنگ نزن، مطابق شکل (۹) آمده است.



شکل (۹): میدان دمایی در فولاد زنگ نزن (گازها مخلوطی از آرگون و هلیوم)

- [2] M. Ushio, and H. Terasaki, "plasma arc keyhole welding" *Welding Journal*, pp. 331-340, September 2005.
- [3] E. Gorman, "New developments an application in plasma welding" *Welding Journal*, pp. 547-556, July 2004.
- [4] Y. Wang, and Q. Chen, "On-line quality monitoring in Plasma arc welding " *Journal of Materials Processing Technology*, pp. 270-274, January 2005.
- [5] H. Kyselica, "High-Frequency reversing arc switch for plasma welding of Aluminum" *Welding Journal* 2005, pp. 31-35, 2005.
- [6] G. Langford, "Plasma keyhole arc welding of structural stainless steel joints" *Welding Journal*, pp.102-113, Feb 2005.
- [7] Adams CM, Corrigan DA. Mechanical and metallurgical behaviour of restrained welds in submarines steels. MIT Report, May 1966
- [8] H. Miller, "Automated GTA welding for aerospace fabrication" *Welding Journal*, pp.439-501, June 2005.
- [9] Matsuda F, Nakagawa H, Kihara H. Evaluation of transformation expansion and its beneficial effect on cold crack susceptibility using Y-slit crack test instrumented with strain gauge. *Trans. JRWI* 1984
- [10] Bourges Ph, Bocquet P, Varcin E. Weldability of martensitic stainless steel Z5CN17-4. 25^e mes JourneHes des Aciers SpeHciaux Cercle d'ED tudes des MeHtaux, Saint-Etienne , pp. 21-23 May 1986. *Journal*, pp. 23-29, March 2008.
- [11] ANSYS Help system , Analysis Guide & Theory Reference Ver. 9,10
- [12] J. Martikainen, "Conditions for achieving high-quality welds in TIG welding of Nickel" *Journal of Materials Processing Technology*, pp.68-75, May 2005.
- [13] B. Nasser, M. Bensafi, A. Mahmoudi, and R. Soltani. "Experimental Study of the Behavior of Welded Connections Under Cyclic Loading" *IREME Journal*, Marc 2008, Vol. 2 n. 2, pp. 256-261
- [14] L. Kherredine, A. Amirat, N. Zeghib, "Prediction and Measurement of the Damping Properties of Carbon-Fibre Reinforced Plastics Rectangular Plates" *IREME Journal*, Vol. 2 n. 2, pp. 207 – 214, March 2008.

در نهایت از نتایج مقالات [۲ و ۱]، برای مقایسه صحت پاسخهای پایانی مقاله استفاده شده است. جوابهای بدست آمده از میدان دمایی فولاد زنگ نزن، اثر هر یک از پارامترهای جوشکاری را مشخص نموده و با استفاده از این موضوع به بهینه‌سازی فرآیند جوشکاری قوس پلاسما در جهت افزایش کیفیت اتصالات جوش پرداخته شده است.

۸- نتیجه گیری

۱- با توجه به نتایج بدست آمده از آنالیز میدان کوبله و در نتیجه مقایسه میدان دمایی و نحوه انتقال حرارت در جوشکاری قوس پلاسما در مقایسه با سایر فرآیندها بخصوص جوشکاری تیگ، مشخص می‌گردد که جوشکاری قوس پلاسما دارای طول قوس بیشتر، تمرکز انرژی بالاتر، پایداری قوس بهتر و عمق بیشتر جوش نسبت به پهنا می‌باشد.

۲- دما در ستون پلاسما بر حسب فاصله Standoff، به صورت تابع درجه دو (۲) می‌باشد. بنابراین کاهش دما در ستون پلاسما به این فاصله بسیار حساس است.

۳- حالت هلیم-PAW بدلیل حرارت مخصوص گاز هلیم، توانایی بیشتری نسبت به حالت آرگون-PAW در تنگ نمودن قوس پلاسما و متمرکز شدن حرارت ورودی روی فولاد زنگ نزن دارد. (شکل ۶ و ۵)

۴- در حالت هلیم-PAW نسبت به حالت آرگون-PAW، دمای و سرعت جریان پلاسما بالاتر است. همچنین شدت حرارت ورودی و سرعت انتقال الکترون‌ها روی سطح کار بسیار بالاتر است (شکل ۶و۵).

۵- حالت آرگون-هلیم، حالتی بهینه است که قوسی بسیار شدید و فوق العاده قوی را ایجاد می‌کند. در نتیجه طول قوس بیشتر، تمرکز انرژی بالاتر، پایداری قوس بهتر و عمق جوش بیشتری را ایجاد می‌کند. این نتایج بدست آمده با نتایج تجربی استاندارد AWS مطابقت دارد.

۹- مراجع

- [1] A. Moarrefzadeh, "Choosing suitable shielding gas for thermal optimization of GTAW process" *IREME Journal*, Sep 2010.