

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله

بررسی بیناب نشری پَر پلاسما در جوشکاری ورق فلز st14 بوسیله لیزر Nd:YAG پالسی

سیامک دادرس مرنی، محمد جواد ترکمنی، جمشید صباغ زاده

آزمایشگاه فرآوری مواد با لیزر، مرکز تحقیقات لیزر پایا پرتو، تهران، ایران، صندوق پستی ۱۴۶۶۵-۵۷۶

چکیده - در این مقاله تأثیر شرایط کاری مختلف مانند پهنا و توان بیشینه پالس، نرخ شارش و نوع گاز محافظ بر جوش لیزری صفحات st14 توسط لیزر ۴۰۰W پالسی Nd:YAG با رویکرد بیناب نمایی مورد بررسی قرار گرفته است. مشخصات جوش مانند عمق نفوذ و پهنای آن با نتایج دمای الکترون بدست آمده از مشاهدات بیناب نمایی نشری پَر پلاسما مقایسه شده اند. همچنین نوعی ارتباط بین انحراف معیار دمای الکترون پَر پلاسما و کیفیت جوش لیزری در شرایط کاری مختلف مشاهده شد. نهایتاً با استفاده از نتایج مشاهدات بیناب نمایی و کیفیت جوش، مناسب ترین شرایط جوش لیزری برای این آلیاژ بدست آمد.

کلید واژه- بیناب نمایی نشری، پَر پلاسما، جوش لیزری، لیزر پالسی Nd:YAG st14، PACS - ۰۷۶۵

۱- مقدمه

این جذب با توان دوم طول موج نسبت مستقیم دارد [۲]. این اثر باعث خارج شدن پرتو از حالت کانونی شده، می-تواند بر روی عمق نفوذ اثر منفی بگذارد [۳]. اما میزان این اثر در مورد لیزر Nd:YAG که طول موج پایین تری دارد کمتر است و این موضوع امتیاز لیزر Nd:YAG را نسبت به CO₂ مشخص می کند [۳]. از طرفی شارش انرژی لحظه ای بالا در زمانی کوتاه و داشتن زمان کافی برای سرد شدن فلز در بین پالس های متوالی برای جلوگیری از بوجود آمدن ناحیه وسیع تحت تأثیر گرما (HAZ) می باشد نیز مزیت لیزر Nd:YAG بصورت پالسی را مشخص می کند [۲]. در این مقاله، با استفاده از بیناب نشری پَر پلاسما، تأثیر پارامترها و شرایط مختلف فرآیند در جوشکاری صفحات st14 بوسیله لیزر Nd:YAG پالسی مورد بررسی قرار گرفته است. دمای الکترون با استفاده از توزیع بولتزمن خطوط نشری انتخابی آهن خنثی در پَر پلاسما محاسبه شده است.

۲. تئوری بیناب نمایی نشری پلاسما

دمای الکترون

شدت $I_{pp'}$ یک خط نشری مربوط به گذار از تراز p به p' بصورت رابطه زیر بیان می شود [۴]:

$$I_{pp'} = n_p A_{pp'} h\nu_{pp'} \quad (1)$$

که $h\nu_{pp'}$ انرژی فوتون نشر شده، $A_{pp'}$ احتمال گذار و n_p چگالی جمعیت تراز بالا را نشان می دهند. از طرفی، چگالی جمعیت توسط توزیع بولتزمن بصورت زیر بیان می شود:

$$n_p = \frac{n}{Z(T_e)} g_p \exp\left[\frac{-E_p}{kT_e}\right] \quad (2)$$

بدست آوردن اطلاعات از پلاسماهای داخل حفره کلیدی^۱ در حین جوشکاری لیزری کاری تقریباً غیر ممکن می باشد و از آنجایی که جذب انرژی لیزر توسط پلاسماهای داخل حفره کلیدی و پلاسماهای خارج از سطح فلز (پَر پلاسما)^۲ کاملاً با هم مرتبطند، داشتن اطلاعات پَر پلاسما می تواند منجر به دانستن مشخصات پلاسماهای داخل حفره کلیدی و نهایتاً میزان جذب و انتقال انرژی به فلز شود. همچنین جذب و پراکندگی نور در داخل پَر پلاسما باعث اتلاف انرژی و خارج شدن از حالت کانونی می شود. بنابراین به منظور دسترسی به جوش بهینه و بیشینه انتقال انرژی به فلز، دانستن مشخصات پَر پلاسما می تواند مفید واقع شود.

در بین گزارش های جوش لیزری، اغلب از دو چشمه لیزر CO₂ و Nd:YAG استفاده شده است. در جوش با لیزر CO₂ اثر جذب در داخل پَر پلاسما قابل ملاحظه است [۱]. این گزارش ها نشان می دهند که جذب توسط پدیده برم-اشترالانگ معکوس^۳ که پدیده غالب در جذب مربوط به پَر پلاسما است، در حالت استفاده از لیزر CO₂ بالاست (ضریب

keyhole¹
plasma plume²
Inverse Bremsstrahlung³

۳. مواد، وسایل و روش های آزمایش

آلیاژ استفاده شده در آزمایش های جوش لیزری، صفحات st14 با ضخامت ۱mm بود که عناصر تشکیل دهنده آن در جدول ۱ آورده شده اند.

C	Si	Mn	P	Cr	Ni	S	Fe
۰.۲۵	۰.۳۵	۰.۳۵	>۰.۰۱	۰.۰۵	۰.۳۵	>۰.۰۰۵	Balance

جدول ۱: عناصر تشکیل دهنده st14 بر حسب درصد وزنی

برای انجام آزمایش های جوش لیزری، از یک لیزر پالسی Nd:YAG مدل "IQL-10" با بیشینه توان متوسط ۴۰۰W استفاده شد. گازهای محافظ استفاده شده در آزمایش ها نیز شامل Ar، N₂ هوای فشرده بودند. همچنین به منظور حرکت نمونه ها در هنگام جوشکاری از یک میز XYZ قابل کنترل بوسیله کامپیوتر استفاده شد. پارامترهای شرایط کاری هر آزمایش در جدول ۲ بطور خلاصه آورده شده اند. اندازه گیری های بیناب نمایی توسط یک دستگاه بیناب سنج "StellarNet Inc." مدل "EPP2000-UV" شامل یک توری پراش هولوگرافیک تخت ۱۲۰۰g/mm، یک آشکارساز CCD با ۲۴×۱۰۲۴ سلول و یک شکاف ۱۰μm که مجموعاً قابلیت تفکیک پذیری ۰/۴ nm در بازه طول موجی ۲۰۰-۶۰۰nm را برای بیناب سنج امکان پذیر می سازند، انجام گرفت.

که n چگالی جمعیت کل، g_p تبهگنی تراز p و $Z(T_e)$ تابع پارس اتم می باشند. نسبت شدت های یک جفت خط تابشی pp' و ss' مربوط به یک اتم بصورت زیر خواهد بود:

$$\frac{I_{ss'}}{I_{pp'}} = \frac{g_s \nu_{ss'} A_{ss'}}{g_p \nu_{pp'} A_{pp'}} \exp\left[-\frac{E_s - E_p}{kT_e}\right] \quad (3)$$

از آنجایی که شدت خطوط به تعداد فتون های رسیده به آشکارساز بیناب سنج و طول موج این خطوط بستگی دارد، خواهیم داشت:

$$\frac{I_{ss'}}{I_{pp'}} = \frac{n_{ss'} h \nu_{ss'}}{n_{pp'} h \nu_{pp'}} \quad (4)$$

که $n_{ss'}$ و $n_{pp'}$ اعداد متناسب با تعداد فتون های مربوط به دو طول موج انتخابی می باشند که توسط دستگاه نشان داده می شوند.

نهایتاً دمای الکترون را می توان از دو رابطه اخیر بصورت زیر استخراج نمود:

$$T_e = \frac{E_p - E_s}{k \ln\left[\frac{n_{ss'} A_{pp'} g_p}{n_{pp'} A_{ss'} g_s}\right]} \quad (5)$$

از آنجایی که خطوط متعلق به یک حالت چندگانه نمی-توانستند برای محاسبه دما استفاده شوند، جفت هایی انتخاب شدند که شرط $E_p - E_s > kT_e$ را ارضا می کردند.

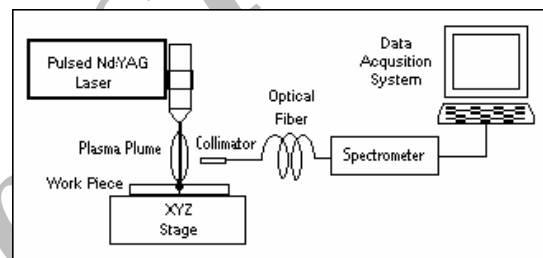
شرایط کاری آزمایش	نرخ تکرار پالس (Hz)	پهنای پالس (ms)	توان متوسط (W)	توان بیشینه پالس (W)	نوع گاز	نرخ شارش گاز (l/min)	سرعت جوش (m/min)
۱. توان متوسط ثابت و توان بیشینه متغییر	۲۰	۳	۲۲۰	۳۶۶۶	Ar	۵	۰/۶
		۵		۲۲۰۰			
		۷		۱۵۷۱			
		۹		۱۲۲۲			
۲. نوع گاز متغییر	۲۰	۵	۲۲۰	۲۲۰۰	Ar	۵	۰/۶
					N ₂		
					Compressed Air		
۳. نرخ شارش گاز متغییر	۲۰	۵	۲۲۰	۲۲۰۰	Ar	۵	۰/۶
						۱۰	
						۱۵	
						۲۰	
						۲۵	

جدول ۲: شرایط کاری استفاده شده در آزمایش های جوش لیزری

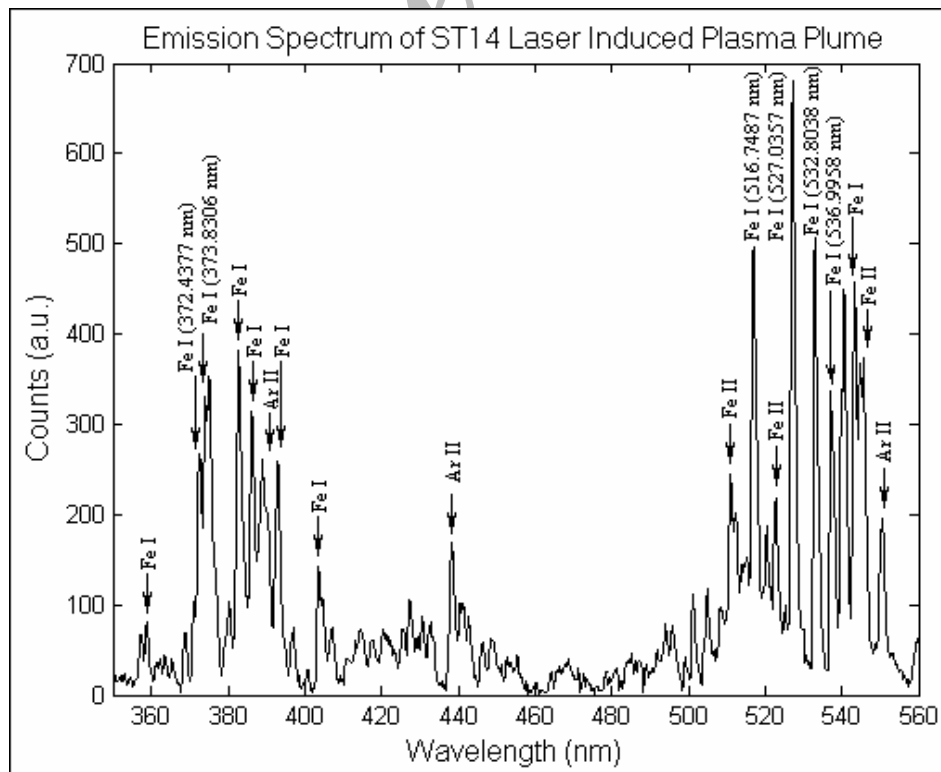
۴. نتایج و بحث

خطوط تابشی مشاهده شده بر روی یک پوش زمینه وسیع که ناشی از تابش نور سفید در پلاسما است، قرار داشتند. برای از بین بردن این پوش و همچنین تفکیک خطوط برهم نهاده به منظور اندازه گیری دقیقتر شدت خطوط تابشی، از نرم افزار *TableCurve* استفاده شد. شکل ۲ نمونه ای از بیناب نشری بدست آمده پس از حذف پوش را نشان می-دهد. خطوط تابشی مربوط به آهن یونیزه، عناصر آلیاژی و گاز محافظ به علت بالا بودن نوفه در اکثر بیناب ها قابل استناد نبودند. تعداد زیادی از خطوط تابشی آهن خنثی در بیناب های نشری پَر پلاسما مشاهده شدند. در جدول ۳ مشخصات تعدادی از خطوط بکار رفته در محاسبه دمای الکترون آهن خنثی ذکر شده اند [۵]. این خطوط انتخابی در شکل ۲ با طول موج های تابشی ذکر شده اند. دمای الکترون بدست آمده، میانگین دماهای محاسبه شده از هر یک از دو طول موج خطوط مذکور در تمامی اپیزود های ثبت شده می باشد. انحراف معیار این دما نیز از دمای میانگین بدست آمده از هر یک از اپیزودها محاسبه شده است.

تابش نشری پَر پلاسما توسط یک موازی ساز متشکل از دو میکرو لنز به درون یک فیبر نوری مقاوم به دما تزویج شده و توسط فیبر به روزنه ورودی دستگاه منتقل می شد. داده-های بیناب نمایی در هر آزمایش توسط نرم افزار *SpectraWiz* بصورت اپیزودی ثبت شده و با تفکیک پذیری ۰/۲۵nm نمایش داده می شدند. زمان جمع آوری داده (جاروب)، بازه زمانی بین هر دو جاروب و تعداد جاروب ها برای متوسط گیری به گونه ای تنظیم می شد که خطوط تابشی مشاهده شده تا حد امکان تیز و واضح باشند. داده-های هر متوسط گیری هر ۱ ثانیه بصورت یک اپیزود در کامپیوتر ذخیره می شد. شکل ۱ تصویری از چیدمان آزمایش را نشان می دهد.



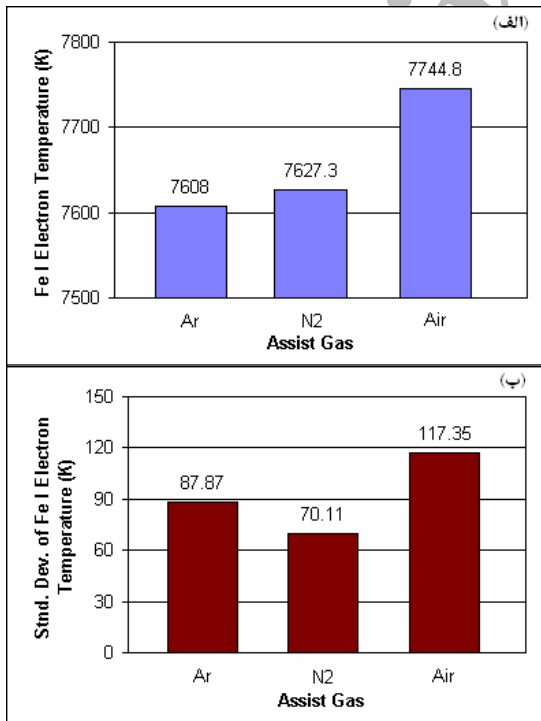
شکل ۱: تصویری از چیدمان استفاده شده در آزمایش های جوش لیزری



شکل ۲: نمونه ای از بیناب نشری پَر پلاسمای ناشی از جوش لیزری

این رفتار با تغییرات شدید در شرایط حفره کلیدی که باعث بوجود آمدن پاشش از درون آن و کاهش کیفیت سطح جوش می شود، قابل توجیه است [۶]. در بین جوش های انجام شده، به نظر می رسد جوش با پهنای پالس ۵ms به علت نفوذ کامل (دمای الکترون بالا) و کیفیت بالای سطح جوش (انحراف معیار پایین در دمای الکترون) بهترین شرایط جوش را داشته باشد که با گزارشات قبلی همین گروه در زمینه کیفیت جوش مطابقت دارد [۶].

در آزمایش ۲، با تنظیم پارامترهای جوش، مطابق با شرایط کاری بهینه بدست آمده از آزمایش ۱، اثر گاز های Ar، N₂ و هوای فشرده بر نتایج بیناب نمایی و کیفیت جوش بررسی شد. با توجه به نتایج بدست آمده از داده های بینابی، تفاوت چندانی در دمای الکترون و انحراف معیار آن در پَر پلاسما در دو حالت استفاده از گازهای Ar و N₂ در مقایسه با هوای فشرده دیده نمی شود. (شکل ۴. الف، ب). اما در حالت استفاده از هوای فشرده به علت اکسید شدن پلاسما یونیزه در پَر پلاسما و حفره کلیدی، میزان جذب پلاسما بالا رفته [۷] و دما و انحراف معیار دمای الکترون این دو محیط افزایش پیدا می کنند (شکل ۴. الف، ب) که این موضوع باعث بوجود آمدن ناحیه جوش اکسید شده با نفوذ کامل و سطح جوش نسبتاً ناهمگن و HAZ بزرگ می شود.

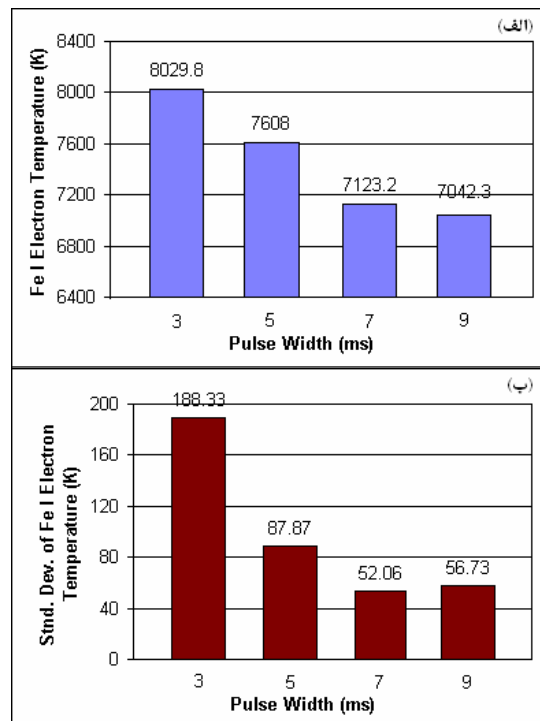


شکل ۴: (الف) تغییرات دما و (ب) انحراف معیار دما بر حسب تغییرات گاز محافظ

λ_{pp} (nm)	E_p (cm ⁻¹)	g_p	A_{pp} (10 ⁸ s ⁻¹)
۳۷۲/۴۳۷۷	۴۵۲۲۶/۷۶	۷	۱/۳×۱۰ ^{-۱}
۳۷۳/۸۳۰۶	۵۳۰۹۳/۵۲۱	۱۳	۳/۸×۱۰ ^{-۱}
۵۱۶/۷۴۸۷	۳۱۳۲۲/۶۱۱	۷	۲×۱۰ ^{-۲}
۵۲۷/۰۳۵۷	۳۱۹۳۷/۳۱۶	۳	۲/۵×۱۰ ^{-۲}
۵۳۲/۸۰۳۸	۲۶۱۴۰/۱۷۷	۷	۱/۱۵×۱۰ ^{-۲}
۵۳۶/۹۹۵۸	۵۴۸۷۴/۲۶	۱۱	۴/۷×۱۰ ^{-۱}

جدول ۳: مشخصات خطوط تابشی انتخابی برای محاسبه دمای الکترون اتم آهن خنثی

در آزمایش ۱، ضمن ثابت نگه داشتن توان متوسط (به بیان دیگر انرژی پالس)، با افزایش پهنای پالس لیزر، قله توان کمتری به فلز اعمال شد. با توجه به محاسبات انجام شده، هر چه قله توان بیشتر باشد، یعنی انرژی ثابتی در پهنای پالس کوچکتری به فلز انتقال یابد، دمای پَر پلاسما بیشتر خواهد بود (شکل ۳. الف). این افزایش دما با دستیابی زود هنگام به حفره کلیدی که باعث جذب بهتر و جوش عمیق تر در فلز می شود [۶] رابطه مستقیم دارد. همچنین این نتیجه با گزارش مربوط به پهنای پالس های کمتر از ۵ms [۳] مطابقت دارد. از طرف دیگر، در بررسی پایداری دمای پَر پلاسما مشاهده می شود که با کاهش پهنای پالس، انحراف معیار دمای الکترون افزایش می یابد (شکل ۳. ب).



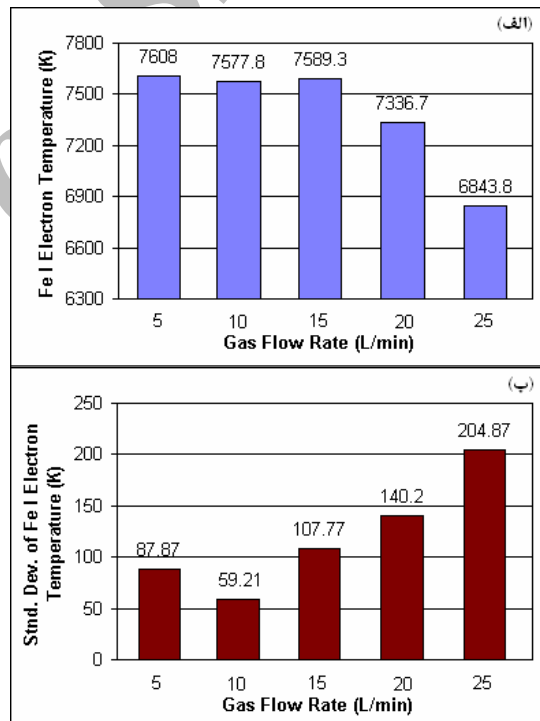
شکل ۴: (الف) تغییرات دما و (ب) انحراف معیار دما بر حسب تغییرات پهنای پالس

با جمع بندی نتایج بدست آمده از مشاهدات بیناب نمایی و کیفی جوش ها در شرایط مختلف، جوش با پهنای پالس ۵ms، توان بیشینه ۲۲۰۰W (توان متوسط ۲۲۰W)، سرعت جوشکاری ۰/۶m/min به همراه گاز محافظ Ar و نرخ شارش گاز ۵l/min بعنوان مناسب ترین شرایط جوش صفحات st14 با ضخامت ۱mm بدست آمد. از مشاهدات بیناب نمایی پُر پلاسمای جوش لیزری می توان برای محاسبات چگالی الکترون و ضریب جذب برم اشترالانگ معکوس و اثرات این جذب در تضعیف شدت لیزر و خارج شدن پرتو لیزر از کانون استفاده کرد. همچنین با استفاده از بیناب سنج های با سرعت و حساسیت بالاتر می توان شرایط پُر پلاسم را بصورت همزمان با جوش آشکارسازی کرده و کیفیت جوش را با تغییر شرایط کاری بالاتر برد.

مراجع

- [1] Beyer, E., Behler, K., Herziger, G., "Plasma absorption effects in welding with CO₂ lasers ", **Proc. SPIE**, 1020, pp. 84-95, 1988.
- [2] Duley, W. W., "Laser Welding", John Wiley & Sons Inc., 1998.
- [3] Lacroix, D., Jeandel, G., Boudot, C., "Spectroscopic Characterization of laser-induced plasma created during welding with a pulsed Nd:YAG laser", **J. Appl. Phys.**, 81(10), pp. 6599-6606, 1997.
- [4] Griem, H., "Plasma Spectroscopy", p. 377, McGraw-Hill, 1964.
- [5] National Institute of Standards and Technology Database, http://physics.nist.gov/cgi-bin/atdata/lines_form.
- [6] Torkamany, M. J., Hamed, M. J., Malek, F., Sabbaghzadeh, J., "The effect of process parameters on keyhole welding with a 400W Nd:YAG pulsed laser", **J. Phys. D: Appl. Phys.**, Forth Coming Article.
- [7] Biro, E., Weckman, D. C., Zhou, Y., "Pulsed Nd:YAG laser welding of copper using oxygenated assist gases", **Metallurgical and Materials Transactions A**, 33A, p. 2019, 2002.

در آزمایش ۳، این بار با تنظیم پارامترهای جوش، مطابق با شرایط کاری بهینه بدست آمده از آزمایش ۱، اثر نرخ شارش گاز Ar بر نتایج بیناب نمایی و کیفیت جوش بررسی شد. نتایج بدست آمده از محاسبات بینابی نشان می دهند که دمای الکترون برای نرخ های شارش بالاتر از ۱۵l/min رفتار کاهشی و انحراف معیار آن رفتار افزایشی دارد (شکل ۵الف،ب) که این رفتار در نواحی جوش بصورت عمق نفوذ کوچک تر، پهنای جوش بیشتر و سطح جوش نامنظم تر نمود پیدا میکند. کاهش دمای الکترون می تواند به علت افزایش سرعت دمش گاز محافظ و خنک شدن پُر پلاسم و افزایش انحراف معیار آن نیز به علت بالا بودن فشار گاز که باعث پخش شدن مواد درون حوضچه مذاب^۱ می شود، باشد.



شکل ۵: الف) تغییرات دما و ب) انحراف معیار دما بر حسب تغییرات نرخ شارش گاز

Emission Spectroscopy of Plasma Plume induced in Pulsed Nd:YAG Laser Welding of St 14

S. Dadras, M. J. Torkamany, J. Sabbaghzadeh

Paya Partov Laser Research Centre, Tehran, Iran, Po. Box 14665-576

Abstract: Spectroscopic approach was used to study the effects of different operating parameters on st14 sheet metal welding with a 400W maximum average power pulsed Nd:YAG laser. The parameters included pulse duration and peak power, assist gas type and flow rate. Weld features, e.g. penetration depth and width have been compared with FeI electron temperature obtained from the spectroscopic observations of plasma plume. A correlation between the standard deviation of the electron temperature and the quality of welding has been found as well.

Keywords: Emission Spectroscopy, Laser Welding, Nd:YAG Pulsed Laser, Plasma Plume, st14

PacsNo: o765

Archive of SID

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله