

طراحی و ساخت مشعل پلاسما اسپری با الکترود کاتد توخالی جدید

حامد میرحسینی^۱، غلامرضا اطاعتی^۲ و میلاد عباسی^{۳*}^۱ پژوهشکده لیزر و پلاسما دانشگاه شهید بهشتی و hamedmirhoseini1368@gmail.com^۲ دانشگاه صنعتی امیر کبیر و etaati.reza@gmail.com^۳ پژوهشکده لیزر و پلاسما دانشگاه شهید بهشتی و milad.abbasi1985.1364@gmail.com^{*} آدرس رایانامه نویسنده مسئول: milad.abbasi1985.1364@gmail.com

کلید واژه: الکترود کاتد تو خالی، پلاسما اسپری، فرآیند لایه نشانی

چکیده

این مقاله طراحی و ساخت مشعل پلاسما اسپری توان پایین با یک الکترود کاتد تو خالی جدید را ارائه می‌دهد. در این ساختار می‌توان فرآیند لایه نشانی را با استفاده از توان اجرایی پایین‌تر و تزریق پودر از طریق محور جت پلاسما انجام داد. به عبارت دیگر، مسیر تزریق پودر هم راستا با محور پلاسما حرارتی بوده و موجب می‌شود که زمان ماندگاری پودر در ناحیه حرارتی با توان‌های ورودی پایین، افزایش یابد. تست‌های تجربی همچون سختی و چسبندگی از نمونه‌های نشاندۀ شده بر روی زیرلایه نشان دادند که آلومینا با نقطه ذوب بالا با استفاده از یک تراز توان پایین حدود ۴ کیلو وات به طور موفقیت آمیزی لایه نشانی گردید. بنابراین، این روش در مقایسه با مشعل‌های پلاسما اسپری متداول با توان بالا مقرون به صرفه می‌باشد.

Design and construction of plasma spray torch with novel hollow cathode electrode

hamed mirhoseini¹, gholamreza etaati² and milad abbasi³¹ Laser and Plasma Research Insititute, University of Shahid Beheshti² amir kabir University of Technology³ Laser and Plasma Research Insititute, University of Shahid Beheshti*corresponding e-mail: milad.abbasi1985.1364@gmail.com

Abstract

This article presents design and constructs a low power plasma spray torch with novel hollow cathode electrode. In this structure, process of coating can be conducted by using lower performance power and powder injection through plasma jet axis. In other words, the path of powder injection is parallel with axis of thermal plasma and caused to residual time of powder increased in thermal region with low input power. The experimental tests such as hardness and adherence of deposited samples on the substrate revealed that Al_2O_3 with high melting point is coated successfully using a low power level on the around 4KW. Thus, this method is economical compared with conventional high power plasma spray torches.

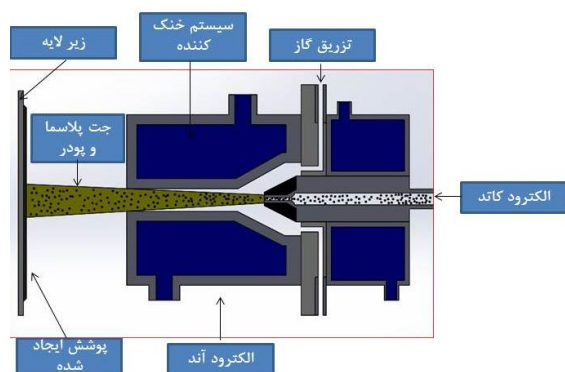
Keywords: coating process, hollow cathode electrode, plasma spray

مقدمه

بالا، موجود می‌باشد روش اسپری حرارتی است. روش اسپری حرارتی برای پوشش دهی مواد فلزی، سرامیک و بعضی مواد پلیمری به شکل پودر، میله و سیم مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش مواد تا دمایی بالاتر یا نزدیک به نقطه ذوبشان حرارت داده می‌شوند. قطرات ذوب شده یا نزدیک حالت ذوب، در جریان

پوشش دهی قطعات مختلف به منظور بالا بردن کیفیت آن‌ها اعم از سختی، خوردگی، تحمل دمایی، مقاومت الکتریکی و ... بسیار مورد توجه است. یکی از مهمترین روش‌های لایه‌نشانی که قادر به پوشش دهی درصد زیادی از مواد از جمله مواد با نقطه ذوب بسیار

فاصله مابین دو الکتروود تزریق می‌گردد. تزریق گاز شکل دهنده جت پلاسما به صورت مماسی به پایدار سازی قوس کمک می‌نماید. با عملکرد تریگر، قوس مابین دو الکتروود ایجاد می‌شود، در حالی که سوراخ مرکزی کاتد مسی با قطر ۳ میلیمتر به عنوان دروازه تزریق پودر عمل می‌کند.



شکل ۱: طرح شماتیک مشعل با کاتد تو خالی

از گاز آرگون به عنوان گاز شکل دهنده جت پلاسما و حامل پودر استفاده شد. جهت افزایش دمای جت و در نتیجه افزایش دمای ذرات از گاز ثانوی هلیوم استفاده گردید. زیر لایه از جنس استیل بوده و با ابعاد ۲*۲ سانتیمتر و ضخامت ۱ میلیمتر انتخاب شده است. پیش از فرآیند لایه نشانی، آماده سازی زیر لایه شامل سنگ زنی با استفاده از سنباده شماره ۱۰ و ۲۰، تمیز کاری با استفاده از هوای فشرده و چربی زدایی از طریق گرمایش و محلول استون انجام گرفت. همچنین زیر لایه در سه فاصله مختلف ۴، ۶ و ۸ سانتیمتری از دهانه خروجی مشعل قرار داده شد. بنابراین لایه نشانی حرارتی برای سه نمونه در سه فاصله مختلف انجام شد. لازم به ذکر است از پودر آلومینا با ابعاد ۳۰ میکرومتر جهت لایه نشانی استفاده شد. اجرایی آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: مشخصات اجرایی آزمایش

مشخصات	پارامتر
کاتد تو خالی	نوع سیستم
۴ کیلو وات	توان خروجی مشعل
۲۰ ولت	ولتاژ

گاز ایجاد شده شتاب می‌گیرند. این قطرات به سطح زیرلایه برخورد می‌کنند، پهن شده و اسپلت را تشکیل می‌دهند. این اسپلت‌ها با سرعتی در حدود 10^6 کلون بر ثانیه سرد می‌شوند و به طور نامنظم به سطح زیرلایه می‌چسبند و پوشش با ساختار لایه‌ای را تشکیل می‌دهند. به طور کلی اسپری حرارتی دارای چهار روش می‌باشد. این روش‌ها شامل: اسپری قوس الکتریکی، اسپری شعله، پلاسما اسپری و احتراق سوخت اکسیژن با سرعت بالا می‌باشد [۱].

در میان این روش‌ها، پردازش پلاسما اسپری یکی از روش‌های بسیار موثر به دلیل نرخ لایه نشانی بالای آن می‌باشد [۴-۲]. میکروساختارها و خواص پوشش‌های ایجاد شده به طراحی مشعل، پارامترهای اجرایی شامل توان ورودی مشعل، گازهای شکل دهنده پلاسما، نرخ‌های شار، فاصله اسپری کردن، تزریق پودر و نرخ آن، پارامترهای تزریق و ... بستگی دارد [۵، ۶]. در این مقاله مشعل پلاسما اسپری با ساختار جدیدی ارائه می‌گردد. مسیر تزریق پودر در این نوع مشعل بر خلاف مدل‌های سنتی که از طریق نازل یا خروجی نازل انجام می‌شد، از طریق الکتروود کاتد و هم راستا با جت پلاسمای تولید شده می‌باشد [۷]. نشان داده می‌شود که از این مشعل می‌توان در توان‌های پایین جهت لایه نشانی پودرهای سرامیکی از جمله آلومینا استفاده نمود. تست‌های سختی سنجی و چسبندگی لایه نشان دادند که لایه نشانی با استفاده از مشعل با کاتد تو خالی طراحی شده می‌تواند به لحاظ مصرف انرژی پایین بوده و از لحاظ اقتصادی به صرفه باشد.

مواد و روش‌ها

شکل ۱ طرح شماتیک مشعل پلاسما اسپری کاتد تو خالی را نشان می‌دهد. مشعل از الکتروود آند مسی با قطر داخلی ۶ میلیمتر و یک کاتد تو خالی از جنس مس با نازل ساخته شده از جنس تنگستن تشکیل یافته است. هر دو الکتروود توسط سیستم خنک سازی با آب خنک می‌شوند. شار گاز چرخشی از طریق سوراخ‌هایی که به صورت مماسی بر روی دیواره قطعه عایق ایجاد شده است در

جدول ۲: مشخصات اجرایی مشعل در توان‌های مختلف

توان (وات)	۲۰۱۰	۲۴۶۰	۲۸۸۴	۳۴۰۸	۳۹۷۸	۴۵۴۰
ولتاژ (ولت)	۲۰/۱	۲۰/۵	۲۰/۶	۲۱/۳	۲۲/۱	۲۲/۷
جریان (آمپر)	۱۰۰	۱۲۰	۱۴۰	۱۶۰	۱۸۰	۲۰۰
طول شعله (میلیمتر)	۷	۸	۱۰	۱۱/۵	۱۲	۱۴

ب) تست سختی سنجی

یکی از پارامترهایی که به طور گسترده برای کنترل لایه استفاده می‌شود، سختی ماده نشانده شده می‌باشد که نشان دهنده توانایی ماده در برابر تغییرات است. به عبارت دیگر، سختی نشان دهنده مقاومت ماده لایه نشانی شده در برابر نیروی اعمالی خارجی است. از روش‌های مختلفی همچون ماکرو تورفتگی، میکرو تورفتگی و نانو تورفتگی برای اندازه‌گیری سختی لایه استفاده می‌شود. در این مقاله از روش میکرو تورفتگی در محدوده دامنه گواهینامه استاندارد ICE/IC17025 و استاندارد مرجع ASTM 384-17 جهت آنالیز سختی پوشش استفاده شده است. خلاصه شرایط آزمایش و نتایج بدست آمده از آنالیز سختی سنجی پوشش‌ها برای سه نمونه در فواصل ۴، ۶ و ۸ سانتیمتر از دهانه خروجی مشعل در جدول ۳ و جدول ۴ آمده است.

جدول ۳: شرایط آزمایش سختی سنجی

روش	فرو رونده	نیروی اعمالی	استاندارد مرجع
ویکرز	هرم الماسه	Grf۲۵	ASTM E 384-17

جدول ۴: نتایج آزمایش سختی سنجی

ردیف	موقعیت سختی سنجی	عدد سختی (HV)		
		سختی ۱	سختی ۲	سختی ۳
نمونه اول	سطح پوشش	۱۸۷۰	۱۹۱۰	۲۰۵۰
نمونه دوم	سطح پوشش	۱۳۲۰	۱۴۰۴	۱۵۸۰
نمونه سوم	سطح پوشش	۱۰۰۳	۱۰۹۷	۱۲۰۶

نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که هر چقدر فاصله زیر لایه از دهانه خروجی نازل کمتر باشد، سختی پوشش نشانده شده بیشتر می‌شود. در واقع پودر ذرات آلومینا پس از ذوب شدن و شتاب گرفتن در کانال جت پلاسما به سمت زیر لایه حرکت کرده و بر

جریان	۲۰۰ آمپر
نرخ گاز شکل دهنده جت پلاسما	۳۰ لیتر بر دقیقه
نرخ شار گاز ثانوی	۵ لیتر بر دقیقه
نرخ شار گاز حامل	۱۰ لیتر بر دقیقه
نرخ تزریق پودر	۱۰ گرم بر دقیقه
قطر نازل	۶ میلیمتر
فاصله اسپری	۴، ۶ و ۸ سانتیمتر

نتایج و بحث

الف) اجرای مشعل

شکل ۲ اجرای مشعل پلاسما اسپری طراحی و ساخته شده را بدون و با تزریق پودر نشان می‌دهد. جدول ۲ نتایج بدست آمده از اجرای مشعل پلاسما اسپری را در توان‌های مختلف نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش توان، طول شعله پلاسما تا حدودی افزایش می‌یابد. همچنین شدت جت پلاسما و میزان درخشندگی آن نیز افزایش خواهد یافت. این بدان علت است که افزایش توان منجر به افزایش جریان شده و نرخ یونیزاسیون به ازای فلوی ثابت گاز ورودی، افزایش می‌یابد. از طرف دیگر افزایش توان منجر به افزایش سرعت جت و افزایش طول آزاد میانگین ذرات باردار و پر حرارت شده و باعث افزایش طول جت پلاسما می‌گردد. فلوی گاز آرگون در این تست ثابت و برابر ۳۳ لیتر بر دقیقه (۲ متر مکعب بر ساعت) در نظر گرفته شد.



شکل ۲: مشعل پلاسما اسپری طراحی و ساخته شده با کاند تو خالی

در این تحقیق مشعل پلاسما اسپری با کاتد توخالی طراحی و ساخته شد. نتایج بدست آمده از این تحقیق می تواند به صورت زیر خلاصه گردد:

۱- مشخص گردید با استفاده از این مشعل در توان های پایین می توان پودرهای سرامیکی مانند آلومینا را لایه نشانی نمود.

۲- آنالیز سختی سنجی نشان داد که با افزایش فاصله تخلخل در پوشش نشانه شده بیشتر شده و در نتیجه سختی کاهش می یابد.

۳- همچنین با استفاده از تست چسبندگی مشخص گردید که در فاصله های کم قدرت چسبندگی بیشتر است.

مرجع ها

[1] Lech Pawlowski, 2008. The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings, *The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings, Second Edition*, John Wiley & Sons Ltd, England

[2] W. Haessler, R. Thielsch, N. Mattern, *Mater. Lett.* **24** (1995), p. 387.

[3] K.A. Khor, Z.L. Dong, Y.W. Gu, *Mater. Lett.* **38** (1999), p. 437

[4] R. Montanari, B. Riccardi, R. Volterri, L. Bertamini, *Mater. Lett.* **52** (2002), p. 100.

[5] P. Fauchais, A. Vardelle, *Int. J. Therm. Sci.* **39** (2000) 852.

[6] M. Prystay, P. Gougeon, C. Moreau, *J. Thermal Spray Technol.* **10** (2001) 67.

[7] S. Yugeswaran, V. Selvarajan, D. Seo, K. Ogawa, Effect of critical plasma spray parameter on properties of hollow cathode plasma sprayed alumina coatings, *Surface & Coatings Technology* **203** (2008) 129-136

روی آن می نشینند. هر چقدر فاصله زیر لایه از خروجی نازل و کانال جت پلاسما بیشتر باشد، دما و سرعت ذراتی که بر روی زیر لایه می نشینند، کاهش می یابد. به همین جهت ناهمگنی در پودر ذرات ذوب شده بیشتر شده و موجب کاهش میزان سختی لایه نشانه شده می شود.

ج) تست چسبندگی

در مسائل مربوط به کاربرد لایه های نازک، حداقل میزان پذیرش کیفیت پوشش بستگی زیادی به میزان چسبندگی لایه و سطح دارد. در این مقاله از روش PULL OFF و با استاندارد مرجع ASTM(D907-70) جهت آنالیز چسبندگی پوشش نشانه شده استفاده شده است. خلاصه نتایج آزمایش بدست آمده از آنالیز چسبندگی سنجی پوشش ها در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵: نتایج آزمایش چسبندگی

ردیف	موقعیت چسبندگی	قدرت چسبندگی (MP)			میانگین
		چسبندگی ۱	چسبندگی ۲	چسبندگی ۳	
نمونه اول	سطح پوشش	۱۳	۱۲/۷	۱۳/۵	۱۳/۰۶
نمونه دوم	سطح پوشش	۱۱	۹/۱	۱۰/۴	۱۰/۱۶
نمونه سوم	سطح پوشش	۶/۱	۷/۴	۷/۱	۶/۸۶

با توجه به نتایج بدست آمده مشخص می گردد که با افزایش فاصله قدرت چسبندگی پوشش کاهش می یابد. این بدان علت است که با افزایش فاصله دمای ذرات ذوب شده کاهش و در نتیجه تخلخل بیشتر شده و قدرت چسبندگی کاهش می یابد. البته با افزایش توان و در نتیجه افزایش دمای ذرات می توان در فاصله های زیاد قدرت چسبندگی را افزایش داد.

نتیجه گیری