

تولید کامپوزیت پایه فلزی $TiO_2/Al5083$ به وسیله روش فراوری اصطکاکی اغتشاشی (FSP)

رضا عبدی بهنق^۱، رسول سالک رستم^۲، محمد کاظم بشارتی گیوی^۳

چکیده

جوش حالت جامد به روش جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی فرآیند جدیدی می باشد که دارای بازده بالا و بدون ضرر برای محیط زیست می باشد. جوش حالت جامد (FSW) به عنوان اختراعی مهم در جوش فلزات در یک دهه اخیر در نظر گرفته شده است. اخیراً فرآیند فراوری اصطکاکی اغتشاشی (FSP) برای بهسازی زیرساختاری مواد فلزی ابداع شده است که بر اصول روش جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی بنا گشته با این تفاوت که در این فرآیند جوشکاری در میان نیست و ابزار غیر مصرفی به درون قطعه رفته و دو ماده را مخلوط کرده و با تولید کامپوزیت پایه فلزی (MMC) خواص بهینه ای نسبت به فلز پایه حاصل می گردد. در این مقاله از ورق های $Al5083$ استفاده شده و کامپوزیت $TiO_2/Al5083$ را به وسیله ریختن پودر فلزی TiO_2 به درون ورق ها و استفاده از ابزارهای مختلف برای ایجاد کامپوزیت و مخلوط کردن پودر استفاده کرده ایم و بعد خواص مکانیکی کامپوزیت به وجود آمده را بررسی و با فلز پایه مقایسه کردیم. نتایج حاصل حاکی از آن است که خواص بسیار مطلوبی به دست آمده و سخت سازی سطح و ریز دانه کردن آلومینیوم مذکور که مد نظر بوده کاملاً به دست آمده است.

کلمات کلیدی: فراوری اصطکاکی اغتشاشی، $Al5083, TiO_2$ میکرو سختی، کامپوزیت پایه فلزی.

۱- مقدمه

(Friction Stir Processing) که جدیداً ابداع شده [۲]، یک روش اغتشاش ماده می باشد [۳]، که بر اصول فرآیند جوشکاری اصطکاکی استوار است [۴-۹]، اما در فرآیند مذکور که در این مقاله نیز از آن استفاده شده است، دو ورق فلز بر هم جوش نمی خورند بلکه خواص سطح و درون ورق های فلزی به وسیله پودر فلزی سخت که قابلیت ترکیب با فلز پایه را ندارد مخلوط شده و پس از گذشت زمان و سرد شدن تولید کامپوزیتی می کند که دارای خواص بهینه شده بسیار خوبی می باشد.

جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی (Friction stir welding) که اختصاراً به آن FSW گفته می شود. روش نوینی جهت جوشکاری آلیاژهای فلزی می باشد. این روش جوشکاری در سال ۱۹۹۱ توسط انستیتوی جوش انگلستان (TWI) به صنعت معرفی گردیده است [۱]. مهمترین مزیت این فرآیند، جوشکاری در حالت جامد بوده که سبب جلوگیری از بروز عیوب رایج در جوشکاری ذوبی می شود. فرآیند فراوری اصطکاکی اغتشاشی

۱-عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی ارومیه : r_abdi_b@yahoo.com

۲-کارشناسی ارشد ساخت و تولید

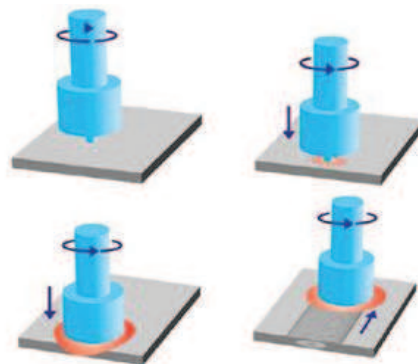
۳-دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تهران

در این فرآیند از یک ابزار غیرمصرفی استفاده می‌شود که با دارا بودن حرکت دورانی و پیشروی مناسب، وارد درز پر شده از پودر فلز شده و بدون ذوب ماده موجب اختلاط مواد می‌شود. شکل (۱) تصویرکلی از این فرآیند را به همراه نواحی متفاوت در فرایند نشان می‌دهد.

این فرایند حالت جامد می‌تواند باعث کاهش تخلخل هیدروژنی که در هنگام تولید آلیاژها ممکن است بوجود بیاید گردد و از این جهت هم برای رفع این عیوب مفید واقع می‌شوند و همچنین بر بقیه روشهای تولید کامپوزیت‌های پایه فلزی برتری محسوسی دارند. همچنین دانه‌های ریز و همگن نیز می‌توانند حاصل گردند [۱۰-۱۲].

جدول (۱): ترکیب شیمیایی آلیاژ

عنصر	Ti	Zn	Cr	Mg	Mn	Cu	Fe	Si
مقدار آنالیز	۰/۰۲۶	۰/۰۲	۰/۱	۴/۲۷	۰/۶۱	۰/۰۴	۰/۳۱	۰/۱
مقدار اسمی	<۰/۲۵	<۰/۲۵	۰/۰۳-۰/۲۵	۰/۴-۰/۹	۰/۱-۰/۴	<۰/۱	<۰/۰۴	<۰/۴



شکل (۱): نمایی کلی از فرایند FSP

ابزار مورد استفاده در فرآیند فرآوری اصطکاکی اغتشاشی از دو قسمت اصلی پین و شانه تشکیل شده است. پین ابزار وظیفه‌ی ایجاد حرارت اصطکاکی و کرنش‌های پلاستیک در اثر دوران ابزار و سپس اکستروژن و تلاطم ماده از جلوی پین به پشت آن در اثر تلفیق حرکت دورانی و پیشروی ابزار را دارد. بنابراین در این قسمت از ابزار می‌توان با تعیین ماده مناسب برای پین از سایش آن جلوگیری نمود و بر عمر ابزار افزود و با طراحی پارامترهای مناسب برای پین، میزان اصطکاک و نحوه اکستروژن مواد پلاستیک شده در اثر حرارت را کنترل نمود. مهم‌ترین نقشی که شانه ابزار بر عهده داشته، تمرکز حرارت اصطکاکی به وسیله جلوگیری از فرار و دور شدن ماده پلاستیک شده از ناحیه متلاطم شده می‌باشد و طی این پروسه، پودری که در طول خط حرکت پین ریخته شده است با ماده پلاستیک شده مخلوط شده و در صورت بهینه کردن پارامترها، به صورت کاملاً همگن درون

ماده مخلوط شده و کامپوزیت مذکور را به وجود می‌آورد. لازم به ذکر است که دمای ایجاد شده در این فرآیند حداکثر به ۸۰٪ دمای ذوب فلز پایه (۰/۸TM) خواهد رسید. با توجه به اهمیت تأثیر ابزار لازم است جنس ابزار طوری در نظر گرفته شود که توانایی تحمل دماهای بالا را داشته باشد.

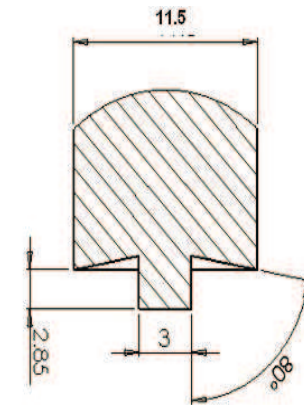
۲- آزمایشات عملی

در این مقاله برای فلز پایه آلیاژ Al5083 انتخاب شده است که در جدول (۱) مشخصات و ترکیبات آن را می‌بینید. ورق‌های به ضخامت ۶mm را انتخاب کرده‌ایم و ابتدا بر روی ورق‌ها شیاری به عمق ۲mm و عرض ۱mm به وسیله یک ابزار چرخان شیار زن ایجاد کرده‌ایم.

همان طور که گفته شد، ابزار فرآیند فرآوری اصطکاکی اغتشائی دارای یک پین و شانه است که در این مقاله قطر پین ۳ mm و قطر شانه ۱۱/۵ mm می باشد که از پارامترهای مهم می باشند.



شکل (۲): فرزند مورد استفاده برای آزمایش FSP



شکل (۲): پارامترهای ابعادی ابزار FSP

همچنین جنس ابزار در این فرآیند بسیار مهم است زیرا انتخاب جنس مناسب برای ابزار موجب کاهش ساییدگی و افزایش عمر ابزار می شود، ضمناً اساساً ساختار کامپوزیتی مناسب زمانی حاصل می گردد که سایش ابزار ایجاد نگردد. در این مقاله ابزار ما از جنس تنگستن کار باید یک تکه انتخاب شده است. لازم به ذکر است که در فرآیند فرآوری اصطکاکی اغتشاشی به دو ابزار نیازمندیم، یک ابزار بدون پین و یک ابزار دارای پین که ابزار بدون پین کاملاً مشابه ابزار اصلی است با این تفاوت که پین ندارد. شکل (۳) ابزار مورد استفاده در فرآیند FSP در این مقاله را نشان می دهد.

پس از اعمال و تنظیم پارامترهای مذکور، ابزار دوم را بسته و وارد قطعه می کنیم، پین باید تا جایی وارد قطعه شود که شانه ابزار در تماس کامل با قطعه کار باشد، اگر میزان فروروی کمتر باشد، شانه با ورق ما درگیر نشده بنابراین گرمای لازم ایجاد نمی شود و فرآیند قابل انجام نیست. حتی امکان شکستن پین نیز می باشد، اگر فروروی بیش از اندازه باشد، شانه شروع به جرقه زدن کرده و ساختار را خراب می کند، بنابر این عمق نفوذ عامل بسیار مهمی است. پس از درگیری مناسب شانه با قطعه کار، زمانی را باید صبر کنیم تا این حرکت دورانی بدون پیشروی خطی، ورق آلومینیم ما را کاملاً گرم و خمیری کند که این زمان در این مقاله ۲۰ ثانیه در نظر گرفته شد. سپس به ابزار در حال دوران، پیشروی خطی به صورت اتوماتیک می دهیم تا فرآیند فرآوری اصطکاکی اغتشاشی را انجام دهد.

پس از شیار زنی قطعه، درون شیار را با پودر TiO_2 کاملاً پر می کنیم، سپس ابزار اول که فقط دارای یک شانه به قطر ۱۵ mm می باشد را بر روی ماشین فرز عمودی CNC مورد استفاده بسته و با استفاده از سرعت چرخش ۶۵۰ rpm و پیشروی خطی

پس از شیار زنی قطعه، درون شیار را با پودر TiO_2 کاملاً پر می کنیم، سپس ابزار اول که فقط دارای یک شانه به قطر ۱۵ mm می باشد را بر روی ماشین فرز عمودی CNC مورد استفاده بسته و با استفاده از سرعت چرخش ۶۵۰ rpm و پیشروی خطی



شکل (۳): ابزار مورد استفاده در فرآیند تولید کامپوزیت

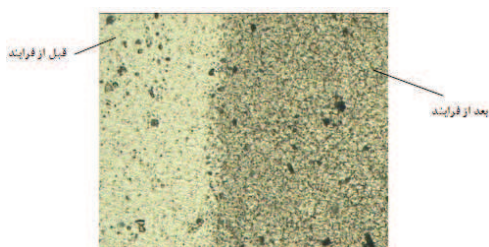
در این مقاله ساختارها در دو بزرگ نمایی مختلف مطالعه شده‌اند چون بعضی عیوب در بزرگ نمایی پایین قابل مشاهده نیستند و برای اطمینان از ساختاری مناسب و بی عیب نیاز به بزرگ نمایی‌های بالاتر می‌باشد. شکل (۷) نشان دهنده تصویر ماکرو ساختار سطح مقطع کامپوزیت $TiO_2/Al5083$ با بزرگنمایی که با میکروسکوپ نوری گرفته شده است می‌باشد که همان طور که در شکل مشاهده می‌شود توزیع پودر کاملاً همگن باعث ایجاد کامپوزیت مطلوب گردیده و عیوبی چون آگلومراسیون اصلاً در ساختار مشاهده نمی‌شود.



شکل (۵): تصویر ماکرو ساختار کامپوزیت تولید شده

همچنین بررسی مرز دانه‌ها و اندازه دانه می‌تواند در تشخیص مفید بودن عملیات بسیار کمک کند، اینچنین انتظار می‌رود که ماده در اثر گرم شدن تا دماهای بالا و فرآوری توسط ابزار دچار پدیده دانه بندی مجدد شده و ساختار ریزدانه شود که این عامل در سخت شدن و تشکیل کامپوزیت $TiO_2/Al5083$ سخت‌تر بسیار مفید می‌باشد.

شکل (۸) نشان دهنده اندازه دانه‌ها قبل از فرآیند فرآوری اصطکاکی اغتشاشی و بعد از آن با بزرگنمایی ۵۰۰ می‌باشد، همانگونه که از شکل در می‌یابیم، اندازه دانه‌ها به طور کاملاً محسوس و قابل توجهی کوچک گشته، بنابراین با توجه به ریز ساختار، کامپوزیت $TiO_2/Al5083$ کاملاً مطلوبی به دست آورده‌ایم.



شکل (۶): تصویر میکرو ساختار نمونه مورد آزمایش

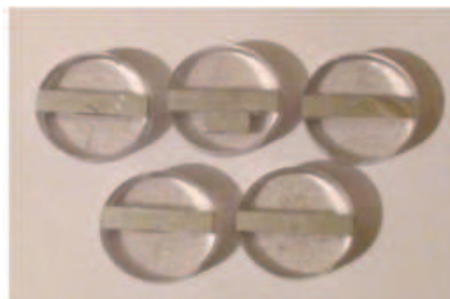
$TiO_2/Al5083$ از محلول کلر استفاده شد. شکل (۵) نمونه کامپوزیت ایجاد شده توسط فرآیند اصطکاکی اغتشاشی را از نمای روی سطح ورق نشان می‌دهد.



شکل (۳): نمونه کامپوزیت ایجاد شده توسط فرآیند اصطکاکی اغتشاشی

۳- نتایج

آماده سازی نمونه‌ها شامل برش، مانت کردن، پالیش کردن و اچ کردن انجام شد، شکل (۶) یک نمونه آماده شده را نشان می‌دهد.



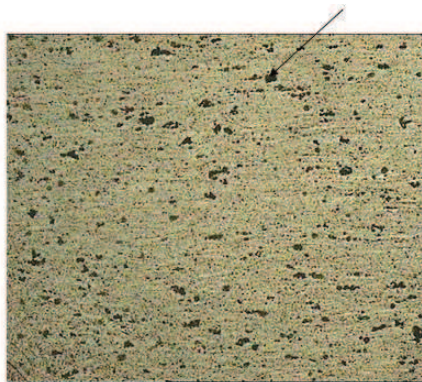
شکل (۴): نمونه‌های مانت شده برای انجام آزمایشات

۳-۱- ریز ساختار میکرو و ماکرو

از آن جا که فرآیند فرآوری اصطکاکی اغتشاشی (FSP) فرآیند حالت جامد بوده برای عیوبی همچون حفره پینی (Pin hole)، ایجاد تونل و ترک‌ها و غیره مستعد می‌باشد. ایجاد جریان نامناسبی از ماده پلاستیک و انجماد و ترکیب نامناسب فلز در ناحیه FSP و همچنین عدم پخش مناسب پودر فلزی جهت ایجاد کامپوزیت مناسب می‌تواند موجب ایجاد این عیوب شوند. مشاهده ماکرو و میکرو ساختار متد گسترده‌ای برای بررسی هر گونه عیب عمده در کامپوزیت ایجاد شده به روش FSP است.

۲-۳- نحوه پخش و اتصال ذرات TiO_2

پس از مشاهده ریز ساختار و اندازه دانه، مشاهده شد که ذرات مورد نظر به خوبی درون زمینه $Al5083$ پخش شده‌اند (شکل ۹).



شکل (۷): تصویر ذرات TiO_2 در کامپوزیت ایجاد شده

۴- نتیجه گیری

با بررسی و مشاهده نمونه‌های انجام شده نتایج زیر بدست آمد:
 ۱- وضعیت سطح مشترک کامپوزیت پایه فلزی تولید شده نشان می‌دهند که کامپوزیت $TiO_2/Al5083$ دارای پیوندهای خوبی بین ذرات TiO_2 و زمینه $Al5083$ می‌باشد که باعث ایجاد کامپوزیت پایه فلزی مطلوبی گشته است.

به روشنی مشخص است که به دلیل کار مکانیکی شدید و مکانیزم تبلور مجدد اندازه دانه‌های موجود در منطقه متاثر از فرایند بسیار ریزتر از دانه‌بندی اولیه است و دانه‌ها به صورت همگن در آمده‌اند.

۲- به روشنی مشخص است که به دلیل کار مکانیکی شدید و مکانیزم تبلور مجدد اندازه دانه‌های موجود در منطقه متاثر از فرایند بسیار ریزتر از دانه‌بندی اولیه است و دانه‌ها به صورت همگن در آمده‌اند.

مراجع:

- 1- Thomas WM, Nicholas ED, Needham JC, Church MG, Templesmith P, Dawes CJ., GB patent application 9125978.8, December 1991; US patent 5460317, October 1995
- 2- Mishra RS, Ma ZY., "Friction stir welding and processing". Mater. Sci. Eng. R., Vol. 50, pp.1-78, 2005.
- 3- Sinha P, Muthukumar S, Mukherjee SK. "Analysis of first mode of metal transfer in friction stir welded plates by image processing technique", J Mater Process Tech, 197(1-3), pp.17-21, 2008.
- 4- Surekha K, Murty BS, Prasad Rao K., "Microstructural characterization and corrosion behavior of multipass friction stir processed AA2219 aluminium alloy", Surf. Coat. Tech., Vol. 202, pp. 4057-4068, 2008.
- 5- Liming K.E., Xing L.I., and Indacochea J.E., "Material flow patterns and cavity model in friction-stir welding of aluminum alloys", Metallurgical and Materials Transactions B, 35B, pp. 153-160, February 2004.
- 6- Surekha K, Murty BS, Prasad Rao K., "Microstructural characterization and corrosion behavior of multipass friction stir processed AA2219 aluminium alloy", Surf. Coat. Tech., 202, pp. 4057- 4068, 2008.
- 7- Lee WB, Jung SB. "The joint properties of copper by friction stir welding", Mate. Lett., Vol. 58, pp.1041- 1046, 2004.
- 8- Uzun H., "Friction stir welding of SiC particulate reinforced AA2124 aluminium alloy matrix composite", Mater. Des., 28, pp.1440-1446, 2007.
- 9- Ma ZY, Mishra RS, Mahoney MW., "Superplastic deformation behaviour of friction stir processed 7075Al alloy", Acta Mater., 50 (17), pp.4419-4430, 2002.
- 10- Hautala T, Tiainen T., Trends in Welding Research, Pro. Sixth. Inter. Conf., USA, pp. 324-328, 2003.
- 11- Rajamanickam N, Balusamy V., "Effect of process parameter on mechanical properties of friction stir welds using design of experiments", Indian Jour. of Eng and Mater. Sci., 15, pp.293-299, 2008.
- 12- Estrin Y, Isaev NV, Lubenets SV, Malykhin SV, Pugachov, AT, Vustovalov VV, Reshetnyak EN, Fomenko VS, Fomenko LS, Shumili SE, Janecek M, Hellmig RJ., "Effect of microstructure on plastic deformation of Cu at low homologous temperatures", Acta Mater, 54, pp.5581-5590, 2006.

