Felezat.com

به نام خدا

موضوع: فرآیندهای ساخت کامپوزیت های زمینه فلزی **(MMC)**

گرد آوری:

مجید عقاب نشین

3-2 فرآیندهای ساخت کامپوزیت های زمینه فلزی (MMC)

در سالهای اخیر باتوجه به نقش مهم کامپوزیت های زمینه فلزی (MMC) در بهسازی آلیاژها ، فرآیندهای ساخت آنها بسیار مورد توجه قرار گرفته است. با انتخابم مواد تقویت کننده مختلف و انواع آنها به لحاظ ساختاری (ذره ای ، الیافی ، ....) می تواند روشهای ساخت متفاوت باشد.

فرآیند ساخت کامپوزیت های MMC را می توان مطابق شکل 2-6 تقسیم بندی نمود. در این نوع تقسیم بندی هم مراحل فرآیند و هم نوع فرآیندهای متفاوت لحاظ شده است.

مراحل فرآیند

مراحل فرآیند شامل 4 مرحله است:

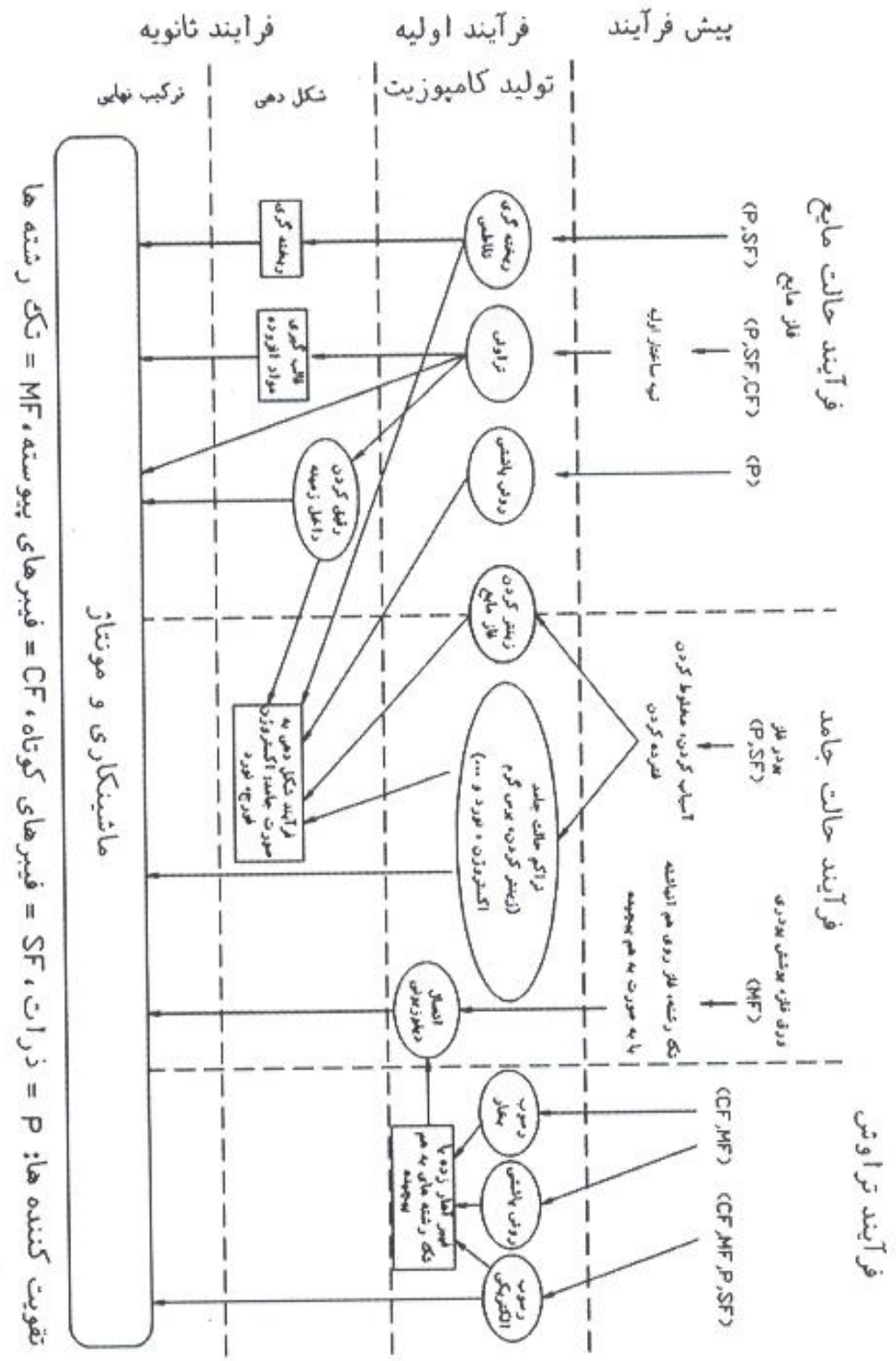
1-پیش فرآیند	Pro-Processing
2- فرآیند اولیه	Primery – Processing
3- فرآیند ثانویه	Secondary-Processing
4- ماشینکاری و اتصال	Machining and/ or Joining

1-3-2 پیش فرآیند Pro-Processing

تمام مراحلی که قبل از فرآیند اولیه انجام می شود پیش فرایند گویند. مانند عملیات سطحی روی اجزاء ترکیبی کامپوزیت ، تهیه ساختار اولیه Preform[1] برای انجام فرآیندهای ثانویه ، تهیه پودر فلز شامل عملیات اسیاب کردن ، فشرده کردن ، مخلوط کردن و تولید تک رشته ها و یا الیاف چندرشته ای به صورت انباشته یا بهم پیچیده است. تهیه ذرات و الیاف کوتاه تقویت کننده و هرگونه انجام عملیات سطحی جهت اماده سازی زمینه نیز از مراحل پیش فرایند است.

[1] - perform=prearranged fibers configuration

Felezat.com



شکل ۲-۶ فرایند های ساخت کامپوزیت زمینه فلزی

2-3-2 فرآیند اولیه تولید کامپوزیت زمینه فلزی

Primary Processing of composite

در این مرحله ، مواد کامپوزیتی توسط اتصال اجزاء ترکیبی مواد توسط فرایندهای فاز مایع ، فرایندهای فاز جامد و فرایندهای رسوبی تولید می شوند. اما ضرورتاً شکل نهائی یا میکرواستراکچر نهایی تشکیل نمی شود. فرایند اولیه تولید کامپوزیت زمینه فلزی الیاف پیوسته مانند اتصال دیفوزیونی فویل – الیاف – فویل استفاده از فرایند نورد یا درون تراوری است.

3-3-2 فرآیند ثانویه Secondary Processing

فرآیند ثانویه ، فرآیندی است که بعد از فرآیند اولیه انجام می شود و هدف آن تغییر دادن شکل یا میکرواستراکچر مواد است. فرایندهای ریخته گری ، فورجینگ ، نورد ، اکستروژن و عملیات حرارتی ، و ... از فرآیندهای ثانویه به شمار می آیند. بعد از انجام این فرایند ، فازهای موجود در ترکیبات و شکل نهایی کامپوزیت تغییر میکند..

فرایندهای ثانویه شامل تحکیم کامپوزیت زمینه فلزی consolidation of MMC ، ریخته گری مواد افزوده کامپوزیت زمینه فلزی MMC insertion casting و کامپوزیت زمینه فلزی در جای خود in situ MMC که در آن فاز تقویت کننده در مرحله اول طی انجام واکنش تولید می شود مانند (TiB_2 برای تشکیل Tic در تعدادی از فلزات توسط افزایش کربن واکنش ایجاد می کند)

4-2 فرآیندهای حالت جامد Solid state methods

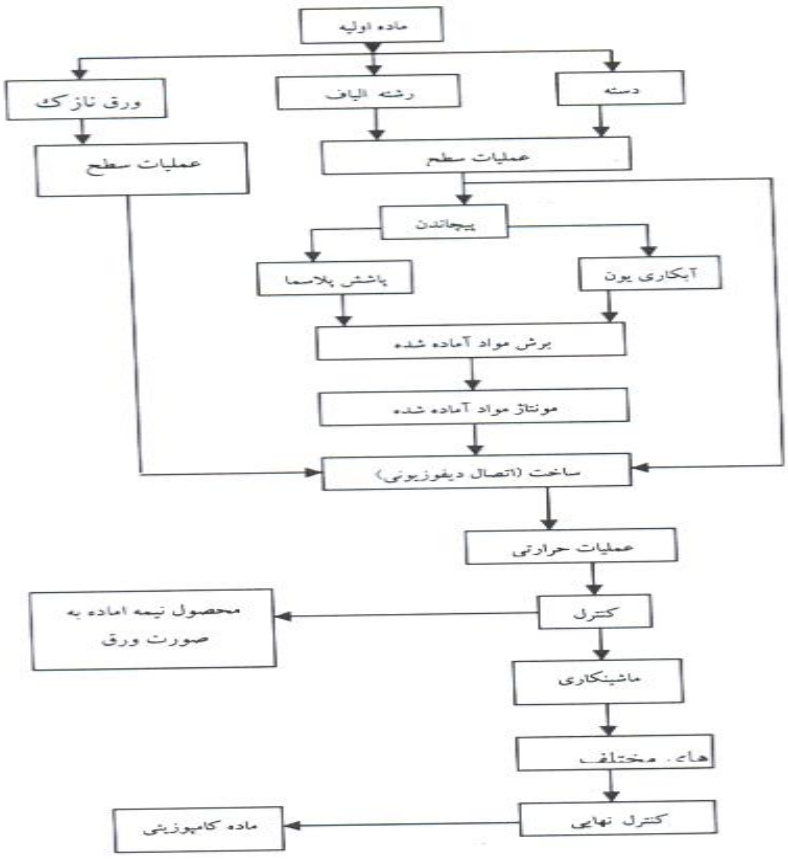
این فرآیندها شامل فرآیند اتصال دیفوزیونی ، نورد گرم ، اکستروژن ، مفتول کشی ، جوشکاری انفجاری ، روش متالوژی پودر PM و ... می باشد. اما در میان آنها ، فرایندهای اتصال دیفوزیونی و متالورژی پودر به طور گسترده مورد استفاده قرار می گیرد.

Felezat.com

2-4-1 اتصال دیفوزیونی Diffusion bonding

معمولاً این روش در ساخت کامپوزیت زمینه فلزی که مواد تقویت کننده الیاف و مواد زمینه ورق و یا فویل هستند ، استفاده می شود. نمودار 2-7 مراحل فرایند ساخت MMC را به روش اتصال دیفوزیونی نشان می دهد.

ابتدا در این روش ، مواد زمینه و تقویت کننده به طور شیمیایی تحت عملیات سطح قرار می گیرند. الیاف روی ورق های نازک فلز در جهت از قبل تعیین شده قرار داده می شوند و اتصال به وسیله پرسکاری ایجاد می شود. بنابراین گهگاه الیاف قبل از اتصال دیفوزیونی ، توسط پاشش پلاسما یا آبکاری یون ، پوشش داده می شوند تا استحکام پیوند را بالا ببرند. بعد از اتصال ، ماشینکاری ثانویه انجام می شود. با اتصال قطعات و کنترل نهایی ، کامپوزیت زمینه فلزی تهیه شده است. فشار و درجه حرارت اعمالی ، در فرآیند اتصال دیفوزیونی در سیستم های کامپوزیت به راحتی تغییر می یابد. بهرحال این روش ، روش پرهزینه برای ساخت کامپوزیت زمینه فلزی است.



نمودار ۲-۷ مراحل فرآیند اتصال دیفوزیونی

2-4-2 روش متالورژی پودر (PM) Powder Metallorgy

روش متالورژی پودر ، بیشتر برای تهیه کامپوزیت زمینه فلزی که با الیاف ناپیوسته ، ذرات و ویسکردها تقویت شده اند ، استفاده می شود... نمودار 2-8 مراحل فرایند ساخت کامپوزیت را به روش متالورژی پودر PM نشان می دهد. در فرآیند اصلی ، ابتدا پودرهایی از مواد زمینه و تقویت کننده در هم آمیخته می شوند. سپس داخل یک قالب با شکل مطلوب ، تغذیه می شوند. پس از آن فشار به سیستم وارد می شود تا تماس بیشتر بین پودر ایجاد شود (پرسکاری سرد) به منظور اتصال بهتر ، ذرات پودر (ذرات به هم پیوسته) تا درجه حرارتی که زیر نقطه ذوب است ، حرارت داده می شوند. افزایش درجه حرارت باید به قدری کافی باشد تا نفوذ حالت جامد (زینتر کردن) انجام شود. سپس بعد از انجام عملیات ثانویه (اکستروژن ، نورد ، فورج) به عنوان کامپوزیت مورد استفاده قرار می گیرد. این روش در مقابل سایر روشها قابلیت اطمینان بیشتری دارد بنابراین عمومی تر است ، اما مرحله ترکیب و مخلوط کردن آن وقت گیر است وگران نیز می باشد. به علاوه ، توزیع درست ذرات محصول مشکل است و استفاده از پودر نیازمند تمیزی زیاد در آنها است. و اگر اینگونه نباشد، وجود آخال های به هم پیوسته در محصول باعث اثر زیان آور بر روی چقرمگی شکست ، طول عمر خستگی و غیره می شود.

2-4-3 روش پیچی Wire Winding

در این روش ، مواد اولیه MFRM با سیمهای فلزی و الیاف سرامیکی تولید می شوند و برای عملیات بعدی مانند اتصال دیفوزیونی ، از نوع پرس گرم آماده می شوند.

2-4-4 روش پوشش پودری Powder Cloth Method

نوعی از روش Foil-Fibre-Foil برای تولید MERM است. در این روش پودرهای فلز زمینه با چسب مخلوط می شوند و داخل یک پوشش یا فویل قبل از دسته بندی قرار می گیرند.

2-4-5 تحکیم پودر Powder Consolidation

در یک اتصال دیفوزیونی (اولیه) زمینه به شکل پودر ، مخلوط شده و با فشار یا بدون فشار در درجه حرارت مورد ارزیابی با جزء تقویت کننده تحکیم می شود.

2-4-6 زینتر کردن MMC MMC Sintering

ترکیب مواد مجتمع در درجه حرارتهای مورد نظر بدون کاربرد فشار.

2-4-7 پرس گرم MMC MMC Hot Pressing

ترکیب مواد مجتمع توسط اتصال دیفوزیونی با کاربرد فشار توسط پیستون (پرس گرم) در درجه حرارتهای بالا به قدر کافی مؤثر در زینتر کردن همزمان زمینه که زمینه های فلز معمولاً بالاتر از درجه حرارت تبلور مجدد زمینه است.

2-4-8 پرس سرد MMC MMC Cold Pressing

ترکیب جزء مواد با کاربرد فشار توسط پیستون ، در درجه حرارت پایین و مؤثر در زینتر همزمان زمینه که در زمینه های فلزی معمولاً زیر درجه حرارت تبلور مجدد زمینه است.

2-4-9 پرس ایزواستاتیک گرم MMC Hot Isostatic Pressing (HIP)

اتصال دیفوزیونی جزء مواد با کاربرد فشار هیدوراستاتیک توسط گاز ، در درجه حرارت های به قدر کافی بالا برای زینتر کردن همزمان زمینه که در زمینه های فلزی بالاتر از درجه حرارت تبلوار مجدد است.

2-4-10 پرس ایزواستاتیک سرد MMC Cold Isostatic Pressing (CIP)

پرس سرد جزء مواد با کاربرد فشار هیدرواستاتیکی به وسیله مایع یا گاز ، در درجه حرارتهای به قدر کافی مؤثر در زینتر کردن همزمان زمینه ، که در مورد زمینه های فلزی معمولاً زیر درجه حرارتهای تبلور مجدد است.

2-4-11 نورد پور MMC MMC Powder Rolling

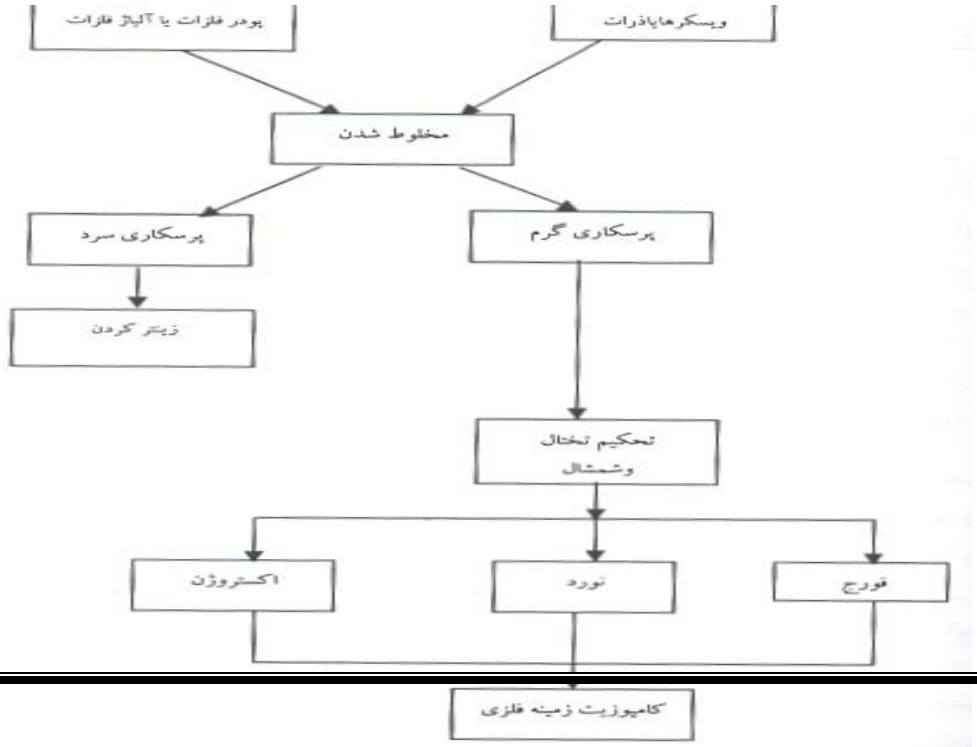
ترکیب اجزاء مواد با کاربرد فشار به وسیله غلتک های نورد ، نورد سرد زیر درجه حرارت تبلور مجدد فلز و نورد گرم در درجه حرارتهای بالا از تبلور مجدد انجام می شود.

2-4-12 اکستروژن پودرMMC MMC Powder Extrusion

ترکیب اجزاء مواد با کاربرد فشار به وسیله پرس اکستروژن ، اکستروژن سرد زیر درجه حرارت تبلور مجدد فلز و اکستروژن گرم در درجه حرارت های بالاتر انجام می شود.

2-4-13 فورجینگ پودر MMC MMC Powder Forjing

ترکیب اجزاء مواد با کاربرد فشار به وسیله پرس فورجینگ . فورجینگ سرد زیر درجه حرارت تبلور مجدد و فورجینگ گرم در درجه حرارت های بالاتر انجام می شود.



5-2 فرآیندهای حالت مایع Liquid state methods

اغلب کامپوزیت های زمینه فلزی توسط فرایندهای حالت مایع ساخته می شوند. در این روش ذرات سرامیکی داخل فلز مذاب با استفاده از فرآیندهای مختلف به هم پیوسته اند. کامپوزیت مایع حالت آبکی دارد و به شکلهای گوناگون قالب ریزی می شود ، این کار توسط روشهای ریخته گری معمولی یا داخل قالب ریخته گری ، برای فرآیندهای ثانویه انجام می شود. مزیت اصلی این فرایند ، تولید MMC با هزینه پایین است و مشکل اصلی این روش ، عدم مرطوب کردن ذرات توسط آلومینیوم مایع و در نتیجه طرد ذرات از مذاب می باشد و مشکل دیگر توزیع غیریکنواخت ذرات ناشی از جداسازی و واکنش سریع فصل مشترک است. تولید کامپوزیت زمینه فلزی از طریق روش مایع / فلز انجام می شود. با درون تراوی فلز مذاب به درون دسته الیاف و مخلوط کردن فلز مذاب با ذرات تقویت کننده ، فرآیند در درجه حرارت بالا همراه با خطر انجام واکنش های شیمیایی انجام می شود. این فرآیند به صورت های مختلف می تواند انجام شود. در درون تراوی خودبخودی ، بدون اعمال نیرو ، زمینه به طور خودبخودی نفوذ می کند. مانند مس داخل تنگستن توسط رطوبت مستقیم و یا پوشش نیکل روی تقویت کننده برای درون تراوی با آلومینیوم با کنترل کردن اتمسفر . نوع دیگر فرآیند ، درون تراوی با نیرو است (Foreced infiltration) که این فرآیند خودبخودی نیست و نیاز به بکارگیری نیرو در زمینه و یا تقویت کننده دارد و یا درون تراوی تحت فشار است (Pressure infiltration) این فرآیند همراه با فشار هیدرواستاتیکی در سطح زمینه مذاب ، برای راندن مایع به داخل ساختار اولیه است. ممکن است فشار هیدرواستاتیکی به کار گرفته شده توسط هوا داخل زمینه ذوب ، آن را به ساختار اولیه خلاء براند. بعضی فرایندهای خلاء خود تولیدی است. (واکنش منیزیم با هوا یا اکسیژن در ساختار اولیه). این فرآیند را درون تراوری تحت خلاء نیز می گویند. (Vaccum infiltration)

2-5-1 درون تراوی فلز مایع Liquid metal infiltration

این فرآیند می تواند تراوش الیاف نیز نامیده شود. الیاف فیبری می تواند با گذراندن از یک حمام فلز مذاب درون تراوری شود. معمولاً الیاف باید در جریان این فرآیند با رطوبت بالا ، پوشش داده شوند. فقط یک مرتبه سیمهای تراوش شده تولید می شود بنابراین باید به شکل ساختار اولیه مونتاژ شود و طی فرآیند ثانویه یک ترکیب را تولید کنند.

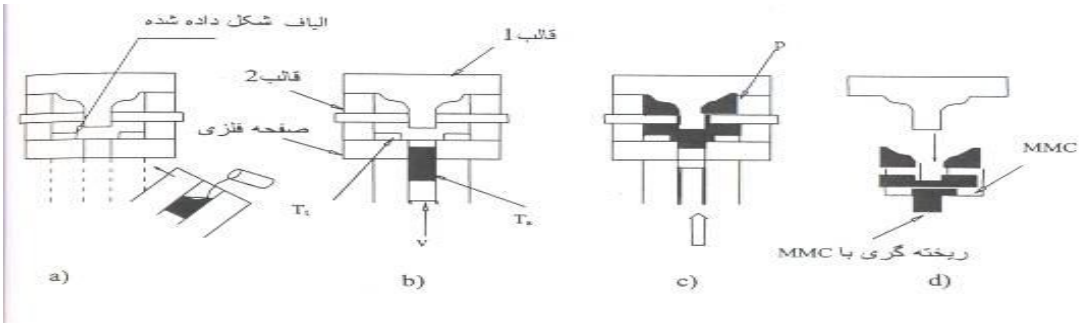
فرآیند ساخت کامپوزیت زمینه فلزی به وسیله درون تراوی فلز تحت خلا توسط Chapman انجام شده است. این محقق الیاف اکسید آلومینیوم FP (الیاف چند کریستال) را استفاده کرده است. دراین روش ، مانند مرحله اول ، الیاف FP در یک نوار ملموس با یک چسب آلی ، طی یک فرآیند شبیه تولید یک کامپوزیت زمینه پلیمر preperg ساخته می شود. نوارهای FP الیاف را برداشته و سپس در جهت مطلوب می خوابانند ، بار حجمی الیاف و شکل ، مشخص است ، پس از آن در یک قالب ریخته گری که از جنس فولاد یا ماده مناسب دیگری می باشد ، قرار می دهند. چسب آلی ، سست و نسوز است ، و الیاف با فلز مذاب درون تراوری شده و اجازه داده می شود تا به حالت جامد در بیاید. فلزاتی مثل آلومینیوم ، منیزیم ، نقره ، مس به عنوان مواد زمینه در فرآیند درون تراوی مایع به دلیل نقطه ذوب نسبتاً پایین آنها ، استفاده می شوند.. این روش در تولید نمونه های کامپوزیتی با اندازه کوچک که خواص غیرجهتدار دارند، مطلوب می باشد.

2-5-2 ریخته گری فشاری Squeeze casting

ریخته گری فشاری یک مرحله اولیه از فرآیند شکل دهی فلز است. در این فرآیند مقدار تعیین شده ای از فلز مایع در یک قالب که قابلیت استفاده مجدد را دارد ، تحت فشار بالا (50 Mpa تا 100) در معرض انجماد سریع قرار می گیرد و محصولی با تلرانس دقیق و شکل نهایی با دقت بالا ، تولید می کند. فرآیند ساخت MMC به وسیله ریخته گری فشاری در شکل 2-7 نشان داده شده است. ساختار اولیه الیاف سرامیکی تا چند صد درجه سانتی گراد زیر درجه حرارت ذوب زمینه پیش گرم شده و سپس داخل قالب فلزی قرار داده می شوند. آلیاژ آلومینیوم یا منیزم تا بالاتر از درجه حرارت

ذوب گرم می شوند و سپس داخل ساختار اولیه الیاف به وسیله پرس هیدرولیک فشرده می شود تا مخلوطی از الیاف و فلز مذاب را تشکیل دهند.

این فرآیند می تواند برای ساخت در مقیاس بزرگ استفاده شود. اما این عملیات نیازمند کنترل دقیق متغیرهای فرآیند ، شامل الیاف و درجه حرارت پیش گرم فلز مایع ، عناصر آلیاژی فلز ، سرد کردن خارجی ، کیفیت ذوب ، درجه حرارت ابزار ، تأخیر زمانی بین بستن در قالب و تنظیم فشار درونی آن ، سطح فشار و مدت آن و سرعت بار ریز ریخته گری است. کنترل ناقص متغیرهای فرآیند منجر به عیوب مختلف می گردد. شامل تغییر شکل ساختار اولیه ، سستی الیاف ، آخال های اکسیدی و دیگر عیوب های معمولی ریخته گری . بنابراین در استفاده کاربردی ، ریخته گری فشاری ، روش بسیار مؤثری در ساخت قطعات ماشین با اشکال پیچیده و در زمان کوتاه است.

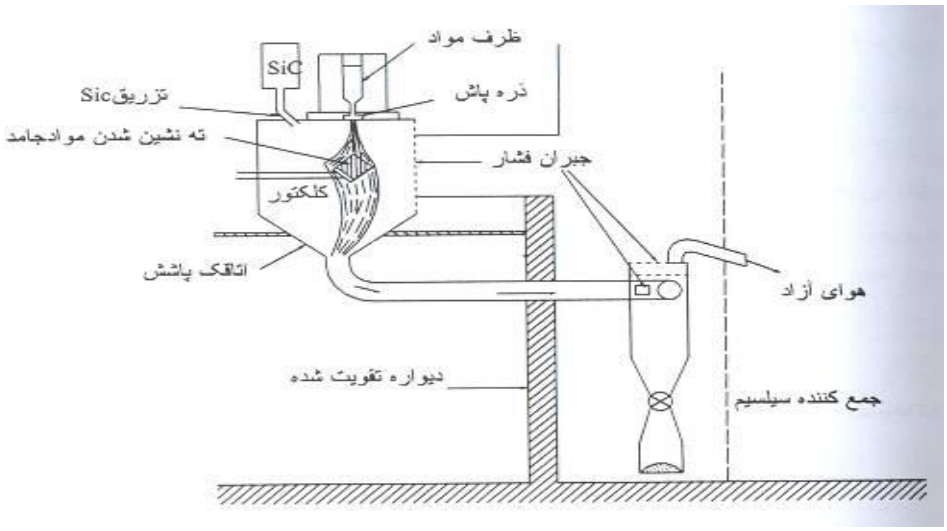


شکل 2-7 فرآیند ریخته گری با یک ماشین عمودی
a) ماشین b) ریختن ماده c) ریخته گری d) پرس کردن

2-5-3 روش هم نشست پاششی Spray co-deposition method

این روش یک روش اقتصادی برای تولید کامپوزیت ذره ای است. شماتیکی از این فرایند در شکل 2-8 نشان داده شده است. آلیاژی که اسپری می شود ، در یک بوته توسط گرمای القایی ذوب می شود. فشار بوته تنظیم شده و فلز از یک نازل که داخل آن یک ذره پاش قرار دارد ، پاشیده می شود. در زمان مشخص ، ذرات (تقویت کننده) داخل فلز اتمایز شده از نازل تزریق می شوند و روی زمینه از پیش گرم شده در مسیر جریان اسپری کردن به حالت رسوب قرار می گیرند. رسوب جامد روی جمع

کننده (کلکتور) ایجاد می شود. نوار رسوب شده ، هنگامی که سرد شد ، برای نورد بعدی منتقل می شود. شکل محصول نهایی به شرایط پاشش فلز ، شکل و حرکت جمع کننده بستگی دارد.

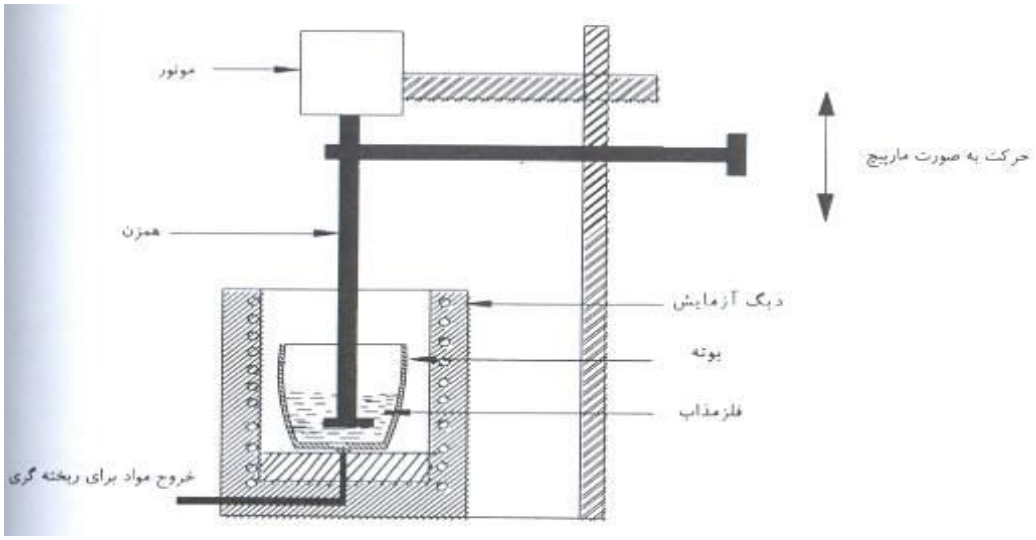


شکل 2-8 تجهیزات هم نشست پاششی

2-5-4 ریخته گری تلاطمی Stir casting

اخیراً ساده ترین و اقتصادی ترین روش تولید کامپوزیت زمینه فلزی ، روش ریخته گری تلاطمی است. (شکل 2-9) در این روش ، مخلوط مکانیکی از ذرات تقویت کننده داخل حمام فلز مذاب تشکیل میشود این مخلوط توسط همزن یکنواخت می شود و به طور مستقیم به قالبی که از قبل تعیین شده است انتقال می یابد ، سپس سرد شده وانجماد تکمیل می گردد. در این فرایند، ایجاد رطوبت خوب بین ذرات تقویت کننده و فلز مذاب یک مشکل بحرانی است. ساختار میکروسکپی

ناهمگن می تواند باعث آلگومره شدن قابل توجه ذرات و رسوب در مذاب در مدت انجماد گردد. ناهمگنی در توزیع تقویت کننده در این کامپوزیت های ریختگی می تواند در نتیجه فعل و انفعال شیمیایی میان ذرات سرامیکی معلق شده و حرکت فصل مشترک جامد – مایع در مدت انجماد ، ایجاد شود. مزیت اصلی این فرآیند ، تولید کامپوزیت زمینه فلزی با هزینه پایین است.



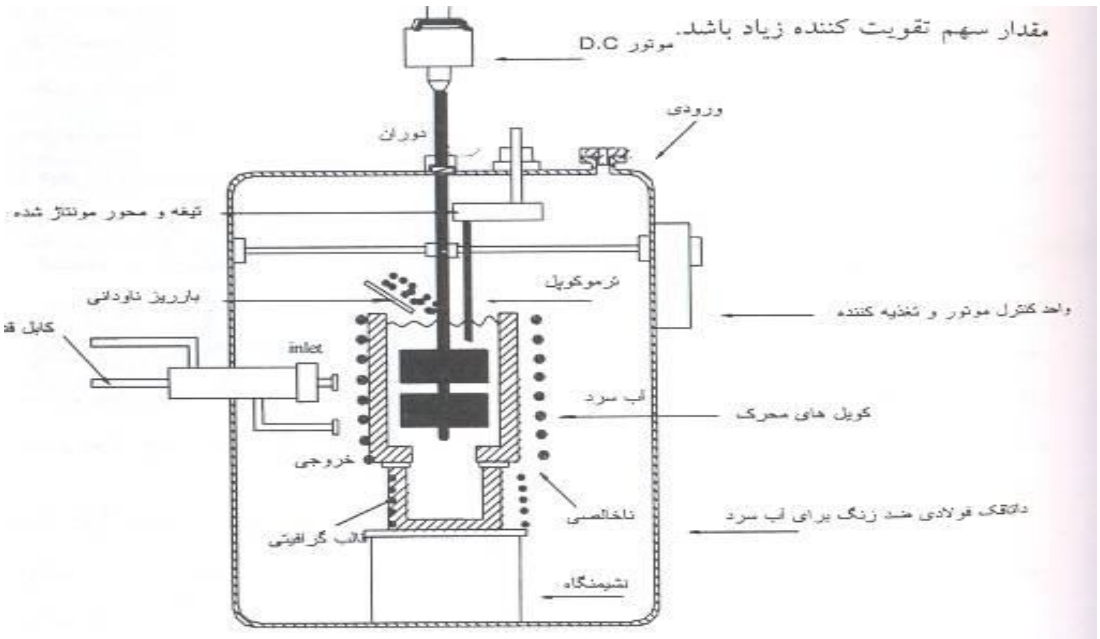
شکل 2-9 ساخت MMC به روش ریخته گری تلاطمی

2-5-5 ریخته گری ترکیبی Compocasting

بعد از روش متالورژی پودر (PM) اسپری حرارتی ، اتصال دیفوزیونی و ریخته گری فشاری با فشار بالا ، روش ریخته گری ترکیبی برای ساخت کامپوزیت با الیاف ناپیوسته (الیاف ریز ریز شده ، ویسکرها و ذرات) روشی اقتصادی است. این فرآیند ، اصلاح شدهٔ فرآیند ریخته گری پوسته ای یا تلاطمی است. شماتیکی از تجهیزات ریخته گری ترکیبی در شکل 2-10 نشان داده شده است. این

تجهیزات شامل یک منبع تغذیه القایی (50Kw,3000Hz) ، یک اتاق خلاء با آب سرد و پمپ و متعلقات مکانیکی آن و یک بوته آهنگری (ظرف مخصوص ذوب) ومخلوط کن برای به هم زدن کامپوزیت ها ، می باشد. ابتدا یک آلیاژ فلز در سیستم قرار داده می شود ، سپس اتاق خلاء ایجاد شده و آلیاژ تا بالاتر از درجه حرارت ذوبش گرم می شود و توسط موتور D.C شروع به تلاطم می کند تا درجه حرات در همه جای آن همگن شود. نیروی القایی به طور تدریجی کاسته می شود تا آلیاژ 50-40% جامد شود ، در این نقطه ، ذرات غیرفلزی به ماده مذاب اضافه می شوند ، بنابراین درجه حرارت در طول اضافه کردن ذرات غیرفلزی بالا می رود. در این حالت مقدار کلی جامد ، شامل الیاف و گلبولهای جامد است که بیشتر از 50% ماده مذاب نمی باشد ، هم زدن ادامه می یابد تا فعل و انفعالات فصل مشترک بین ذرات و زمینه ، تا افزایش مرطوب کنندگی انجام شود.

حرارت مذاب موجود را ، تا بالاتر از درجه حرارت مایع زیاد کرده و سپس نیمه پایینی قالب گرافیکی را به بالا آوردن تیغه مونتاژی پر می کنند. مذاب که شامل ذرات غیرفلزی است ، به نیمه پایینی قالب انتقال می یابد و نیمه بالایی قالب را پایین می آورند تا کامپوزیت را شکل دهد و به وسیله فشار پرس، کامپوزیت به حالت جامد در می آید. این روش برای ساخت کامپوزیت هایی استفاده می شود که مقدار سهم تقویت کننده زیاد باشد.



شکل 2-10 ریخته گری ترکیبی ، الیاف یا ذرات مخلوط با فلز

2-5-6 فرآیندهای رسوبی Deposition Process

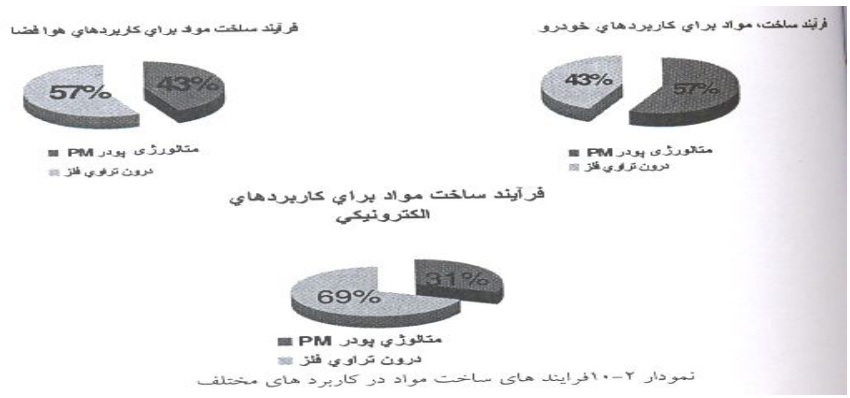
به طور معمولی روش ساخت فاز مایع نسبت به روش ساخت فاز جامد ، مؤثرتر می باشد ، زیرا فرآیند فاز جامد زمان طولانی تری را نیاز دارد. باتوجه به نوع شکل فاز زمینه مورد استفاده ، روشهای ساخت متفاوت خواهد بود.

به عنوان مثال زمینه پودر ، در فشار پنوماتیکی و روش متالورژی پودر و زمینه مایع در روش درون تراوی فلز مایع استفاده می شود ، در روشهای پاشش پلاسما ، ریخته گری پاششی ، ریخته گری فشاری ، ریخته گری فشاری (درون قالب فلزی) ، ریخته گری ثقلی ، ریخته گری تلاطمی ، ریخته گری دقیق ، یک شکل مولکولی از زمینه استفاده می شود. ورق های فلزی در اتصال دیفوزیونی (نفوذی) رولینگ ، اکستروژن و غیره استفاده می شود. از این فرایندها ، فرآیندهای اصلی ساخت ، اتصال دیفوزیونی ، روش متالورژی پودر ، درون تراوی فلز مایع ، ریخته گری فشاری ، هم نشست پاششی ، ریخته گری تلاطمی و ریخته گری ترکیبی هستند که امروزه در صنایع استفاده می شوند. درصد استفاده از فرایندهای ساخت اولیه و ثانویه در نمودارهای 2-9 نشان داده شده است فرایند درون تراوری فلز مایع با 47 درصد بیشترین استفاده و اتصال دیفوزیونی با 4 درصد کمترین استفاده را در فرایند تولید اولیه کامپوزیت زمینه فلزی دارد در فرایندهای ثانویه اکستروژی با 28درصد و فورجینگ با 10 درصد کمترین استفاده را دارد. نمودارهای 2-10 فرایندهای ساخت مواد را در کاربردهای هوا – فضا خودرو و صنعت الکترونیک نشان می دهد.

2-5-7 فرآیندهای دو فازی (جامد / مایع)

این فرایند شامل ریخته گری تلاطمی (به هم زدن شدید مذاب در حال انجماد) و بمباران اتمی پاششی می باشد.[1]

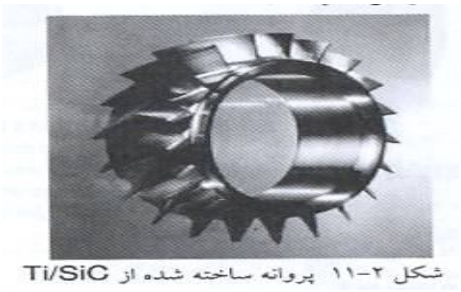
نمودار 2-9 در صد استفاده از فرایندهای اولیه و ثانویه



نمودار 2-10 فرایندهای ساخت مواد درکاربردهای مختلف

6-2 مثالهایی از کاربرد کامپوزیت های فلزی MMC

نمونه پروانه ساخته شده از کامپوزیت فلزی که در آن آلیاژ تیتانیوم توسط الیاف sic تقویت شده است و باعث کاهش وزن و افزایش عمر کاری قطعه شده است. [53]



شکل 2-11 پروانه ساخته شده از Ti/SiC

چند راهی اتصال برای نقاط گره ای در خرپاها که از کامپوزیت Gr/Al ساخته شده [54]

Felezat.com

شکل 2-12 چند راهی اتصال

نمونه قطعات کامپوزیت فلزی که در صنایع الکترونیک کاربرد دارد. این قطعات از آلومینیوم تقویت شده با الیاف گرافیت ساخته شده است.[54]

شکل ۲-۱۳ قطعات کامپوزیت فلزی مورد استفاده در صنایع الکترونیک

شکل 2-13 قطعات کامپوزیت فلزی مورد استفاده در صنایع الکترونیک

مرجع:

کتاب اشنایی با کامپوزیتهای زمینه فلزی-پلیمری وسرامیکی و فرایندهای ساخت آنها

نوشته:ن-سلطانی