کاربرد پلیمرها در ساخت مغزه‌های سرامیکی

The Usage of Polymers in Ceramic Cores Manufacturing

فریبا سلیمانزاده ،غلامرضا بخشنده

مرکز تحقیقات پلیمر ایران

دریافت: ۷۲/۹/۲۳ ،پذیرش: ۷۳/۴/۲۹

چکیده

در ساخت بسیاری از قطعات سرامیکی ،استفاده از پلیمرهای با نقطه ذوب پایین ،به ویژه پلاستیکها ،ضروری است. پلیمر مورد نظر به عنوان بست مایه عمل می‌کند و ذرات سرامیکی ،از جمله Al_2O_3 و SiC ،را نزدیک هم قرار می‌دهد و باعث شکل دهی آنها می‌شود. خروج پلیمر در زمان پخت قطعه مورد نظر انجام می‌گیرد ، بدون آنکه در شکل قطعه تغییری حاصل شود. این قطعات در سیستمهای بسیاری از جمله موتورهای هواپیما یا دستگاههای حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در این مقاله ،فرایند ساخت و پخت این قطعه به طور خلاصه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: مغزه ،موم پارافین ،سرامیک ،قالبگیری تزریقی ، پخت

Key Words: core, paraffin wax, ceramic, injection moulding, curing

مقدمه

استفاده از پلاستیکها در شکل دهی و طراحی قطعات سرامیکی روش جدیدی است که در سی سال اخیر مورد استفاده قرار گرفته است. مواد سرامیکی غیر رسی را نمی‌توان به وسیله آب شکل داد ،بنابراین استفاده از ماده‌ای به عنوان بست مایه (binder) که ذرات سرامیکی را به هم نزدیک سازد اجتناب ناپذیر است. از آنجاکه این دسته از مواد ،همچون آلومینا و سیلیکا ،مقاومت بالایی در برابر گرما و شوکهای الکتریکی نشان می‌دهند ،از آنها در بسیاری از دستگاههای گرمایشی استفاده می‌شود. همچنین در طراحی قطعات ساخته شده از آلیاژهای فلزی ،به ویژه انواع پیچیده با دیوارهٔ نازک یا حفره‌های خالی ،این مواد کارآیی زیادی دارند. برای ساخت این قطعات روش کار معمول این است که به دور مغزه سرامیکی آلیاژ یا ابر آلیاژ (ابر آلیاژها مقاومت شیمیایی، مکانیکی و نقطهٔ ذوب بسیار بالایی دارند.)مذاب ریخته می‌شود و سطح داخلی آلیاژ شکل بیرونی مغزه را به خود می‌گیرد. پس از شستشوی شیمیایی ،مغزه حل می‌شود و فضای خالی مورد نظر در قطعه حاصل می‌شود. سیستمهای زیر به عنوان بست مایه در طول فرایند مورد استفاده قرار می‌گیرند:

۱ ـ سیستمهای گرمانرم ،

۲ ـ سیستمهای دوروپلاستیک ،

۳ ـ سیستمهای آبی با اجزای آلی کم.

در ساختن مغزه‌های سرامیکی ،سیستمهای گرمانرم بیشترین کاربرد را دارند که دلایل آن شرح داده خواهد شد. مواد دوروپلاستیک (duroplastic) آن دسته از پلاستیکها می‌باشند که در اثر گرما رفتارهای برگشت ناپذیر ،به ویژه در سخت شدن ،نشان می‌دهند ،ولی از لحاظ اقتصادی با صرفه نیستند. در مورد سیستمهای آبی با اجزای آلی کم دیواره‌های متخلخلی در ذرات سرامیک به وجود می‌آید که آب این سیستم را به خود جذب می‌کند و بدین ترتیب میزان استحکام را پایین می‌آورد. مسئله مهم در این زمینه استفاده از موادی است که اولا مقرون به صرفه باشند و ثانیا محدودیتهای ناشی از شکستگی و کجی در زمان تکلیس را نشان ندهند [۱].

کار آزمایشگاهی ساخت مغزه سرامیکی ،ابتدا شامل تجزیه و شناسایی یک قطعه سرامیکی خارجی پخت نشده بود. آزمایشهایی برای تعیین نوع پلیمر و سرامیکها و میزان هر کدام در نمونه انجام گرفت. در مرحله بعد با توجه به میزان مواد ،ساخت تعداد زیادی نمونه‌های مشابه که از لحاظ خواص فیزیکی و شیمیایی با نمونه خارجی مطابقت داشته باشد آغاز شد. ساخت قطعه تا جایی پیشرفت کرد که آخرین نمونه نزدیکترین درصد مواد موجود و خواص را نسبت به قطعه خارجی

داشت.

به طور کلی ،این مغزه‌ها را می‌توان در ساخت قطعاتی که قسمتهای پیچیده با دیواره نازک و ظریف دارند به کاربرد. از آن جمله می‌توان به قطعات به کار رفته در ماشینهای نساجی یا قطعات عایق در صنعت الکترو سرامیک اشاره کرد. همچنین،در زمینه مهندسی مواد سرامیکی در ساخت قطعات بزرگتر مثل چرخهای راهبر، که برای توربینهای گاز به کار می‌روند ،از این مغزه‌ها استفاده می‌شود [۲].

تجربی

در این قسمت به مواد مصرفی و دستگاههای مورد استفاده برای تجزیه اشاره می‌شود.

مواد

در آزمایشهای انجام شده از موم پارافین ۱۸٪ - ۱۲٪ ،سیلیس و آلومینای تجارتی استفاده شده است که اندکی مواد افزودنی ،از جمله ترکیبات زیرکونیم ،به صورت ناخالصی در سیلیس موجود بود.

دستگاهها

دستگاههای مورد استفاده برای تجزیه و شناسایی عبارت‌اند از: زیر قرمز تبدیل فوریه (FTIR) بروکر مدل IFS ۴۸ ،زیر قرمز (IR) فیلیپس مدل PU ۹۷۱۲ ،گرماسنجی روبشی تفاضلی (DSC) و تجزیه گرماوزنی (TG) مدل STA ۷۰۸ ،PL ،فلوئورسان پرتو ایکس (XRF) لینک مدل AN ۱۰,۰۰۰ و دستگاه قالبگیری تزریقی پیستونی مدل هکه لوبک (Haake Lübeck). همچنین ،الک با چشمه‌های مختلف برای جداکردن ذرات ناخالص درشت به کار برده شد.

نتایج و بحث

در این قسمت ابتدا چگونگی شناسایی یک نمونه خارجی و سپس روش ساخت نمونه‌های مشابه آن مورد بحث قرار می‌گیرد.

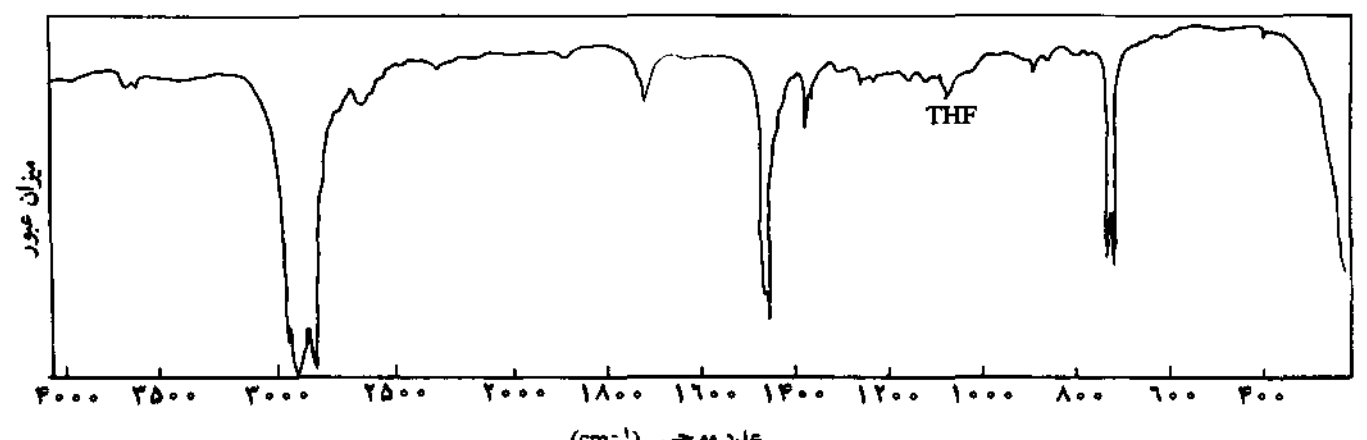
شناسایی مغزه سرامیکی خارجی

برای اختلاط ذرات سرامیک که شامل مقدار زیادی Al_2O_3 ، SiO_2 و ترکیبات دیگر است از مومهایی با نقاط ذوب پایین استفاده می‌شود. در این قسمت نتایج حاصل از آزمایشهای انجام شده در زمینه شناسایی یک مغزه سرامیکی خارجی به طور خلاصه ارائه می‌شود.

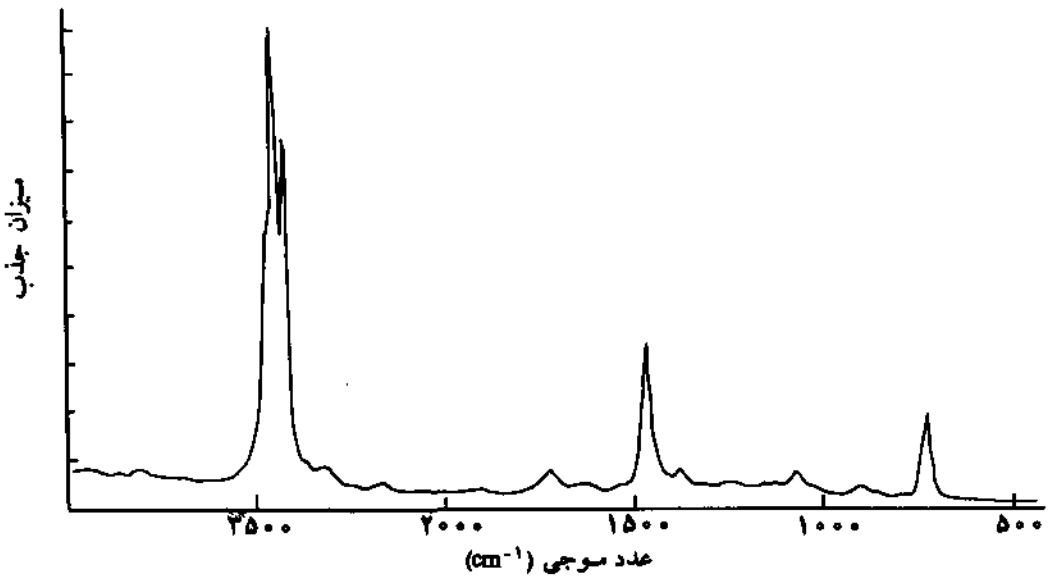
برای تعیین درصد مواد جامد ،مقدار معینی از قطعه سرامیکی خارجی در کوره تا دمای ۵۰۰°C حرارت داده شد و از روی اختلاف وزن معلوم شد که حدود ۸۷/۸۵٪ از نمونه را مواد سرامیکی تشکیل می‌دهد.

برای جداسازی مواد جامد از پلیمر حلالهای مختلفی مورد استفاده قرار گرفت و معلوم شد که بهترین حلال برای پلیمر THF است که با گرم کردن محلول پلیمر این حلال تبخیر می‌شود و فیلم پلیمر به دست می‌آید. از فیلم به دست آمده طیف IR گرفته شد. این طیف با طیفهای موجود در اطلس هیومل (Hummel) مقایسه و باتوجه به نتایج حاصل از طیف FTIR وجود پارافین از نوع Tex Wax LS ۵۶۰ ثابت شد (شکل ۱ و ۲).

روی مواد جامد جداسازی شده با صافی نیز آزمایش تعیین عناصر صورت گرفت و نوع آنها تعیین شد.

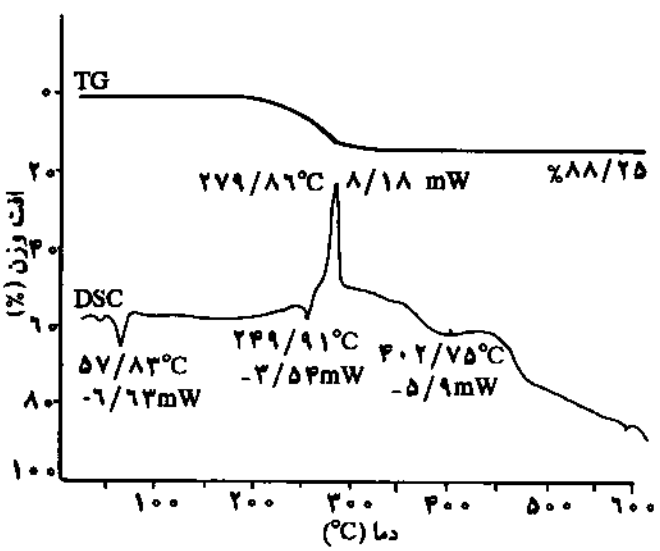


شکل ۱ - طیف زیر قرمز فیلم پلیمر.



شکل ۲ - طیف زیر قرمز تبدیل فوریه فیلم پلیمر.

آزمایشهای گرماسنجی روبشی تفاضلی (DSC) و تجزیه گرماوزنی (TG) روی کل نمونه انجام گرفت. از آزمایش DSC نقطه نرم شدن پلیمر برابر ۵۷/۸۳°C به دست آمد (شکل ۳). همچنین در آزمایش TG میزان مواد سرامیکی برابر ۸۸/۲۵% اندازه‌گیری شد که با مقدار حاصل از روش قبلی (گذاشتن نمونه در کوره) اختلاف کوچکی دارد (۰/۴ = ۸۷/۷۵ - ۸۸/۲۵). این اختلاف مربوط به خطا در توزین مواد در روش یاد شده است. چون در دستگاه DSC-TG توزین توسط دستگاه انجام می‌گیرد خطا بسیار کمتر می‌شود.



شکل ۳ - منحنیهای DSC - TG.

در ضمن ،روی مواد باقیمانده از سوختن نمونه در کوره آزمایش فلوئورسان پرتوایکس (XRF) انجام گرفت و نوع مواد و درصد آنها تعیین شد. این آزمایش وجود مقادیر زیادی Si و Al و مقدار کمی فسفر را ثابت کرد.

ساخت مغزه سرامیکی

به طور کلی ،مراحل مختلف ساخت یک مغزه سرامیکی طبق نمودار شکل ۴ به شرح زیر است.

تعیین مواد اولیه

مغزه مورد نظر ماتریسی از ذرات سرامیکی در پلیمری نرم است. نوع پلیمر مورد استفاده در شکل و استحکام نهایی محصول بسیار موثر است. این ماده عموما از نوع موم طبیعی یا مصنوعی است. پلاستیکها به علت مقاومت بالا در برابر ضربه و مقاومت ابعادی زیاد و در عین حال ارزانی به عنوان بست مایه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

به طور کلی یک بست مایه خوب باید خواص زیر را داشته باشد:

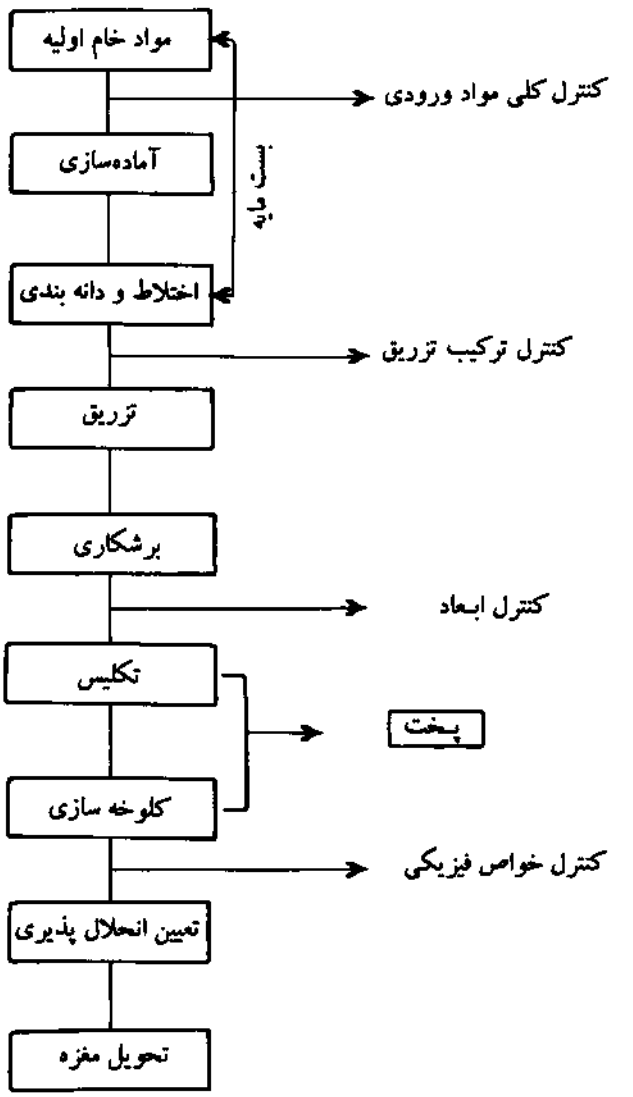
۱ - مقاومت بالا در برابر تنشهای وارد شده در زمان تزریق ،

۲ - روانی ،

۳ - قابلیت ترکیب و اختلاط با ذرات سرامیک ،

۴ - پایداری ابعادی ،

۵ - برجای گذاشتن حداقل مقدار خاکستر پس از سوختن ،



شکل ۴- مراحل فرایند ساخت مغزه [۱].

۶- نداشتن آثار سمی ،
۷- دارا بودن ضریب انبساط پایین ،
۸- با صرفه بودن از نظر اقتصادی.

ترکیبات مومی شرایط بالا را به خوبی تامین می‌کنند. با وجود این، بعضی از نمونه‌های پلاستیکی از مومها قویترند و مقاومت ابعادی بهتری نشان می‌دهند. زمانی از پلاستیکها استفاده می‌شود که مقاومت و پایداری مهم باشد ،مانند چرخه‌های توربین هواپیما که سوراخهای ریزی برای عبور هوای داغ دارند.

در ساخت مغزه مورد نظر از موم استفاده شد. بدین ترتیب که پس از شناسایی موم موجود در نمونه خارجی پخت نشده ،مومی به کار برده شد که بیشترین شباهت را به موم شناسایی شده داشته باشد. موم مورد استفاده در محدوده ۹۰ - ۵۰°C نرم می‌شود. قابل توجه است که مصرف مومی با گرانروی نسبتا پایین در حین ذوب باعث می‌شود تا فشار تزریق پایین آید و سرعت ساییدگی در دستگاه کاهش یابد.

مواد خام

مواد خام مصرفی در این روش از جمله Al_2O_3، TiO_2، Si_3N_4 و SiC موادی ترد و شکننده‌اند که قابلیت شکل گیری معمولی را ندارند.به همین جهت از یک سیستم بست مایه در شکل دهی آنها استفاده می‌شود.

با توجه به نتایج حاصل از شناسایی نمونه خارجی ،در این روش از ذرات Al_2O_3 و SiO_2 به میزان زیاد استفاده شد و درصد آنها آن قدر تغییر داده شد که نمونه حاصل از هر پخت بهترین خواص را داشته باشد [۱].

آماده‌سازی

قطعات سرامیکی به روش معمول یعنی خرد کردن و اختلاط با مواد کلوخه‌ساز مورد لزوم تهیه می‌شوند و هدف نهایی دستیابی به شکلی است که دارای درجه بالایی از پرشدگی درون شبکه‌ای باشد تا میزان جمع‌شدگی مغزه کم شود و در نتیجه حساسیت آن در قبال شکستگی کاهش یابد.

همان‌طور که اشاره شد ،در ذرات سرامیکی تهیه شده برای این منظور ترکیبات زیرکونیم ،که نقش کلوخه‌ساز را دارند ،وجود داشت.

اختلاط و دانه‌بندی

مرحله اختلاط شامل تشکیل یک سیستم بست مایه است که خود از اجزای پلاستیک ،نرم کننده و روان کننده تشکیل یافته است (جدول ۱).در آزمایشهای انجام شده سیستم بست مایه موم مورد استفاده قرار گرفت که در واحد اختلاط همراه با ذرات سرامیکی مخلوط و یکنواخت شد. در مرحله بعد این مخلوط در دستگاه تا دمای ۹۰°C گرم شد و به حالت مذاب ضمن عبور از سوراخهای دستگاه مخلوط کن به صورت دانه شکسته شد [۱].

تزریق

این قسمت شامل دستگاههای تزریق و واحدهای قالبگیری است. دستگاههای تزریق به کار رفته در این قسمت هم از نوع پیستونی و هم پیچشی است. واحدهای قالبگیری ،یعنی همان ظرفهایی که مواد سرامیکی و پلیمر در آنها تزریق می‌شوند تا شکل دلخواه را بگیرند ، عموما از جنس پلاستیک می‌باشند. نمونه تحت فشار و گرما قرار

جدول ۱ - خواص اجزای تشکیل دهنده بست مایه [۱].

جزء	جنس	خواص	مزایا
پلاستیک	پلی استیرن / پلی وینیل بوتیرال	مقاومت مکانیکی بالا	قابلیت زیاد در نگهداری شکل و مقاومت بالا در برابر شکسته شدن
نرم کننده	استرفتالیک اسید	بسیار کشسان	آسان کردن برشکاری و پرداخت قطعه
روان کننده	مومهای طبیعی و مصنوعی	شکننده	مقرون به صرفه بودن برای تزریق

می‌گیرد و از طریق سوراخ حدیده به درون قالب تزریق می‌شود. برای اختلاط بهتر می‌توان از دستگاههای پیچی استفاده کرد. در شکل ۵ دو نوع تزریق یکی روی صفحه جدا شونده و دیگری در سمت راست این صفحه نشان داده شده است.

در تزریق ماده به درون قالب ،ابتدا از دستگاه تزریق پیستونی استفاده شد که نتیجه خوبی نداد. به همین جهت در آزمایش بعدی از دستگاه تزریق پیچشی (دارای پیچی برای اختلاط بهتر مخلوط در حین گرم شدن) استفاده شد. همچنین مخلوط مورد نظر روی سطح جداکننده تزریق شد (شکل ۵ - الف).

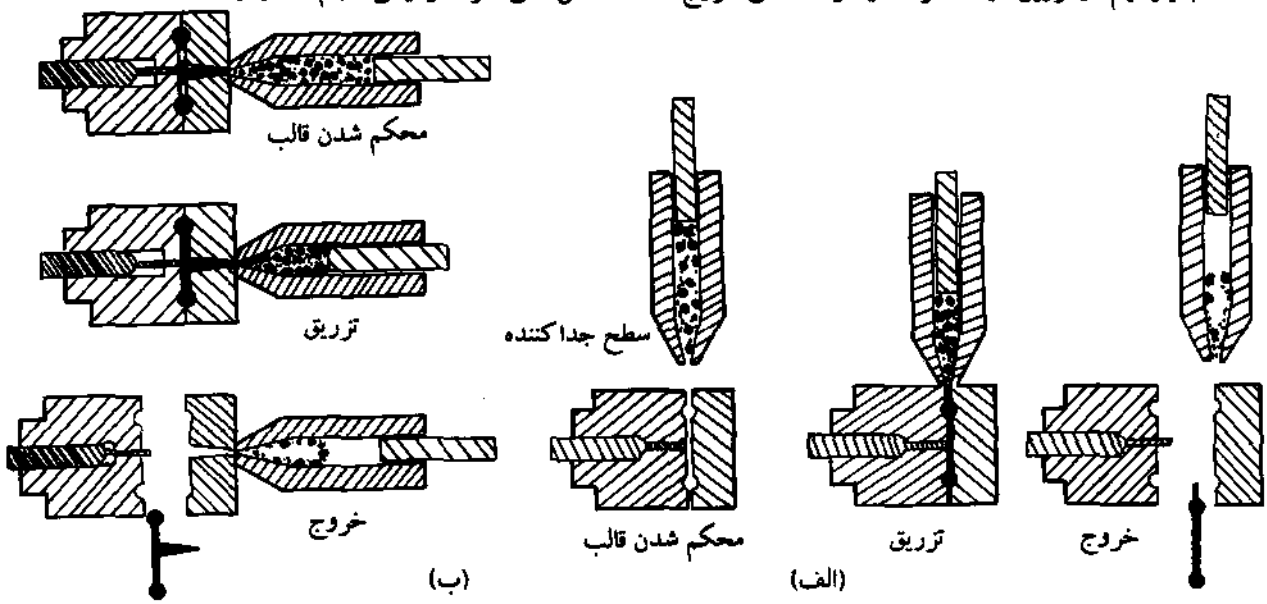
یکی از مسائل مهم در قالبگیری ،کاهش دادن مواد باقیمانده در سطوح داخلی قطعات دستگاه است. چون ،بدین ترتیب هم مقدار ماده تلف شده کمتر می‌شود و هم تمیز کردن دستگاه راحت‌تر خواهد بود. در صورت وجود دانه‌های درشت در مخلوط سرامیکی ،مشکلات سایش در هر نوع دستگاه افزایش می‌یابد. بنابراین ،بهتر است با استفاده از الکهای مختلف نمونه سرامیکی به صورت ذرات بسیار ریز و یکنواخت درآید.

مسئله بسیار مهم در تزریق ،ایجاد سرعت یکنواخت طی خروج سیال است تا پر شدن قالب به خوبی صورت گیرد. در طراحی واحد قالبگیری ،ورودی قالب باید طوری طراحی شده باشد که در اثر تزریق مذاب به قالب و سرد شدن آن ،گرفته نشود. جدا شدن بست مایه از سرامیک و متمرکز شدن اجزای آن در قسمت جلوی جریان و ناهمگنی مخلوط باعث ورقه ورقه شدن یا شکسته شدن قطعه قالبگیری شده در حین جداسازی از قالب می‌شود [۱].

برشکاری

برشکاری قطعه قالبگیری شده در حالت خام عموما نیازمند توجه و دقت زیاد است که دلیل آن محدودیتهای موجود در این روش است. در طول فرایند از انجام اعمالی چون اره کردن ،آسیاب یا سوراخ کردن قطعه قالبگیری شده باید اجتناب کرد ،چون باعث پایین آمدن استحکام نمونه می‌شود. در واقع ،هدف باید رسیدن به شکل نهایی در مرحله قالبگیری باشد.

از آنجاکه در مرحله اول ساخت مغزه ،هدف صرفاً یافتن درصدهای مناسب مواد برای دستیابی به خواص مورد نظر بود مرحله شکل دهی مغزه سرامیکی انجام نشد [۱].



شکل ۵ - شکلهای مختلف تزریق: (الف) روی سطح جداکننده و (ب) در سمت راست صفحه جداکننده [۱].

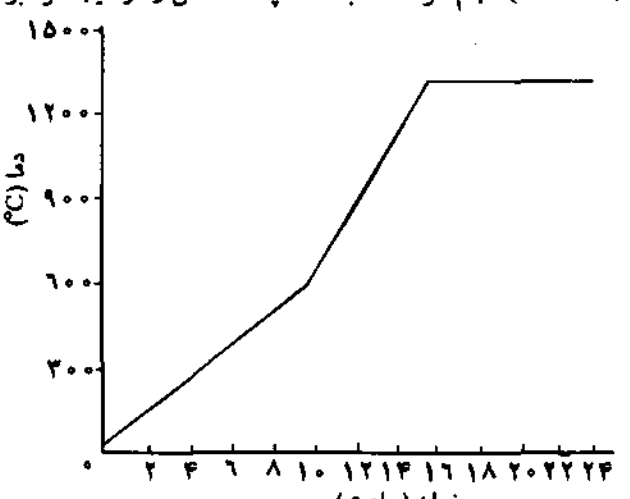
پخت

این مرحله شامل حرارت دادن قطعه سرامیکی ساخته شده تا دماهای بالا (در حدود ۱۰۰۰°C) است که هم بست مایه از آن جدا شود و هم ذرات سرامیکی به وسیله مواد کلوخه ساز به همدیگر جوش بخورند و مغزه سرامیکی محکمی را بسازند. این مرحله خود شامل دو قسمت تکلیس و کلوخه‌سازی است.

تکلیس: در مرحله تکلیس سیستم بست مایه از نمونه جدا می‌شود. در مورد مواد سرامیکی مقاوم در برابر اکسایش ،مانند آلومینا ،این عمل به وسیله یک کوره الکتریکی با سرعت گرمادهی کم ،از دمای محیط تا دماهای بالا ،انجام می‌گیرد. علاوه بر تکلیس در هوا ،گرم کردن در اتمسفر هیدروژن نیز در مورد موادی که قابلیت اکسایش دارند ،مانند سیلیسیم نیترید Si_3N_4 و سیلیسیم کاربید SiC ،به کار می‌رود [۱].

کلوخه‌سازی: در طول پخت نمونه در کوره الکتریکی موادی همچون ترکیبات زیرکونیم باعث جوش خوردن ذرات سرامیکی به یکدیگر می‌شوند که در نتیجه آن کلوخه سخت و محکمی به وجود می‌آید. بنابراین ،وجود این مواد در مخلوط سرامیک ضروری است ،زیرا بدون آنها مغزه دارای تخلخل و در نتیجه استحکام بسیار کمی خواهد بود [۱].

در آزمایشهای انجام شده نمونه حاصل از قالبگیری در کوره الکتریکی ،که قابلیت گرمادهی تا دمای ۱۷۰۰°C را داشت ،پخت شد. انتخاب شرایط گرمادهی برای قطعه سرامیکی شامل انجام چند آزمایش مختلف بود. نخستین آزمایش در ۱۴۰۰°C انجام گرفت. انتخاب این دما برای انجام آزمایش مناسب نبود ،زیرا در دمای ۱۴۰۰°C سیلیس موجود در سرامیک به فاز شیشه‌ای تبدیل می‌شد که این فاز به علت عدم مقاومت در برابر تنشهای حاصل از عمل ریختن آلیاژ مذاب به دور نمونه مشکل ایجاد می‌کرد. آزمایشهای بعدی در دمای پایینتر (۱۲۰۰°C) انجام گرفت که به علت پخت ناقص و در نتیجه ترد بودن مغزه شرایط خوبی نبود. بعد از چند آزمایش بهترین دمایی که در آن پخت کامل صورت می‌گرفت مشخص شد و نمونه در ۱۳۰۰°C در مدت زمان طولانی پخت شد. نمودار گرمادهی قطعه در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶ - نمودار سرعت گرمادهی پخت قطعه در کوره.

به طور کلی در پخت قطعه سرامیکی موارد زیر را باید مورد توجه قرار داد:

۱ - کوره مورد استفاده برای پخت مغزه‌ها باید از نوعی باشد که بتوان چند برنامه مختلف دمایی را با سرعتهای متفاوت در آن اجرا کرد.

۲ - انتخاب شرایط گرمادهی برای نمونه قالبریزی شده بسیار مهم است. زیرا در این مرحله است که موم از سرامیک جدا می‌شود و در اثر آن ممکن است شکل سرامیک تغییر کند. سرعت گرمادهی نیز در خارج شدن کامل بست مایه در نمونه مؤثر است.

۳ - انتخاب نوع قالب یا محفظه باید به درستی صورت گیرد. بدین ترتیب که ضریب انبساط مغزه و محفظه باید تا حد ممکن به هم نزدیک باشد. اگر مغزه ضریب انبساطی بالاتر از قالب داشته باشد ،در قالب جای کافی برای انبساط آن وجود نخواهد داشت و مغزه دچار تغییر شکل خواهد شد.

اصولا مغزه سرامیکی را در توده زیادی از آلومینا قرار می‌دهند تا هوا وارد محیط مغزه نشود و همچنین جای کافی برای انبساط وجود داشته باشد. اشاره می‌شود که در پخت قطعه قالبگیری شده از قالب سرامیکی استفاده شد.

۴ - از جمله مواردی که بسیار اهمیت دارد ،تعبیه مجراهایی برای خروج گازهای آزاد شده از تجزیه بست مایه است. اگر در بست مایه اجزای دیگری از جمله نرم کننده یا فعال کننده سطحی وجود داشته باشد ،بست مایه باید به قدر کافی مقاوم باشد تا گازهای حاصل از تجزیه مواد دیگر با آن واکنشهای جانبی ندهد.

۵ - انتخاب حداکثر دمای پخت نیز مهم است ،زیرا در دماهای بالا احتمال تشکیل فاز شیشه‌ای ،به علت وجود ترکیبات سیلیس ،افزایش می‌یابد.

در آزمایشهای بعدی پس از پخت مغزه در کوره ،مقاومت آن در برابر عوامل مختلف مورد بررسی قرار گرفت. مقاومت گرمایی، کششی و الکتریکی مغزه اندازه‌گیری شد و آزمونهای مربوط به تعیین چگالی و انحلال پذیری آن انجام گرفت. مغزه پخت شده دوباره تا دمای بالا (در حدود ۱۰۰۰°C) حرارت داده شد. در این حالت خواص ظاهری مغزه همچنان حفظ شده بود. همچنین ،انحلال‌پذیری مغزه در حلالهای مختلف اندازه‌گیری شد که نتایج در جدول صفحه بعد آمده است.

تعیین مقاومت شیمیایی نیز از جمله آزمونهای بسیار مهم است.

حلال	انحلال‌پذیری
سولفوریک اسید	نامحلول
کلریدریک اسید	نامحلول
محلول رقیق پتاسیم هیدروکسید	نامحلول
محلول غلیظ پتاسیم هیدروکسید	کم محلول
محلول رقیق سدیم هیدروکسید	نامحلول
محلول غلیظ سدیم هیدروکسید	کم محلول
فلوئوریدریک اسید	محلول

واکنش شیمیایی مغزه با آلیاژ مذاب دور آن و ایجاد فازهای جدید منجر به خراب شدن قطعه می‌شود. به همین جهت از لحاظ نقطه ذوب، نوع مغزه سرامیکی را متناسب با آلیاژ و ابر آلیاژ انتخاب می‌کنند. در شرایطی که دمای ذوب ابر آلیاژ بالا باشد ،استفاده از مغزه‌هایی که فاز اصلی سیلیکا دارند درست نیست. زیرا ،مقاومت شیمیایی و مکانیکی آنها پایین است . این دسته از مغزه‌ها به علت خمیدگی و شکستگی بازدهی ریخته‌گری را پایین می‌آورند[۳].

برداشتن مغزه

برای برداشتن مغزه از هر دو روش شیمیایی و مکانیکی استفاده می‌شود [۳]،که در آزمایشهای انجام شده به علت در دسترس بودن حلال روش شیمیایی ترجیح داده شد. برای حل مغزه ابتدا از محلول داغ و غلیظ سدیم هیدروکسید استفاده شد که مقداری از مغزه را در خود حل کرد. سپس از محلول پتاسیم هیدروکسید غلیظ استفاده شد که نتیجه مطلوبی نداشت. از آنجا که وجود فازهای شیشه‌ای پنهان (به علت وجود سیلیس در ذرات سرامیکی) باعث حل نشدن کامل مغزه در محلول سدیم هیدروکسید غلیظ شده بود ،از هیدروفلوئوریدریک اسید به عنوان حلال استفاده شد. مغزه مورد نظر انحلال‌پذیری خوبی در HF داشت و در مدت کوتاهی در آن حل شد. از آنجا که عمل ریختن آلیاژ در محدوده ساخت مغزه نبود ،تعیین اثر حلال فقط روی مغزه انجام گرفت (روش معمول این است که آلیاژ و مغزه درون آن را با هم بررسی می‌کنند).

نتیجه‌گیری

همان طور که اشاره شد برای ساخت مغزه سرامیکی ابتدا یک نمونه خارجی مورد بررسی و شناسایی قرار گرفت. آن گاه ،تعدادی نمونه مشابه ساخته شد. در ساخت مغزه‌های سرامیکی مشابه از مواد دیرگدازی استفاده شد که دارای پایداری گرمایی کافی باشند تا در زمان ریختن آلیاژ مذاب به دور مغزه‌ها تغییر شکلی در آنها صورت نگیرد. سپس ، نمونه‌های ساخته شده در شرایط مناسب به خوبی پخت شدند و آزمایشهایی برای تعیین خواص فیزیکی مانند اندازه‌گیری مقاومت گرمایی ،کششی و الکتریکی و همچنین تعیین چگالی و انحلال پذیری انجام گرفت و معلوم شد که مغزه‌های ساخته شده از نظر خواص فیزیکی مشابه نمونه خارجی بودند ،با این تفاوت که انحلال پذیری آنها در سود داغ و غلیظ کمتر از نمونه خارجی بود که برای رفع این مشکل از HF استفاده شد.

مراجع

1 Saure F., Ceramic Monographs, Hand Book of Ceramics, Verlag Schmid GmbH Freiburgi. Br., 1984.

2 Sims C.T., Stollof N.S. and Hagel W.C., Super Alloys II, John Wiley & Sons, N.Y., 415, 1986.

3 Wancheng Z., Litoug Z.H. and Hengzhi F., J. Am. Ceramic. Soc., 395, 1988.