فصل دوم

شکل‌دادن به روش ریخته‌گری دوغابی

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، از فراگیرنده انتظار می‌رود :

۱ــ شکل دادن به روش ریخته‌گری دوغابی را شرح دهد و انواع آن را تقسیم‌بندی کند.

۲ــ محصولاتی را که به روش ریخته‌گری دوغابی تهیه می‌شوند نام ببرد.

۳ــ روان‌سازی و اهمیت آن را بنویسد و چند روان‌ساز معروف را نام ببرد.

۴ــ ویژگی دوغاب روانسازی شده را بیان کند.

۵ــ روش اندازه‌گیری ویسکوزیته را شرح دهد.

۶ــ فاکتورهای قابل اندازه‌گیری دوغاب را نام ببرد.

۷ــ نحوه‌ی تشکیل جداره در قالب گچی را توضیح دهد.

۸ــ معایب روش ریخته‌گری دوغابی و راه برطرف‌کردن آن‌ها را بیان کند.

۹ــ کاربرد گچ قالبسازی را شرح دهد.

۱۰ــ کاربردهای مختلف روش ریخته‌گری دوغابی را بیان کند.

۱۱ــ کاربرد روش ریخته گری دوغابی را در سرامیک های نوین بیان کند.

۱۲ــ مزایا و نقاط ضعف روش ریخته‌گری دوغابی را شرح دهد.

مقدمه

شکل دادن قطعات سرامیکی به روش ریخته‌گری دوغابی از حدود ۲ قرن پیش آغاز شده است. در این روش مخلوط مواد اولیه به‌صورت دوغاب آماده می‌شود ؛ سپس دوغاب حاصل‌شده، درون یک قالب متخلخل که عموماً از جنس گچ است، ریخته می‌شود. در نتیجه، آب دوغاب به‌وسیله‌ی قالب جذب می‌شود و جداره‌ی نازکی از گل بر روی آن ایجاد می‌گردد. با گذشت زمان، این جداره ضخیم‌تر می‌شود و سپس دوغاب اضافی تخلیه می‌گردد.

قالب و جداره‌ی ساخته شده مدتی به حال خود گذاشته می‌شوند تا به تدریج آب بیش‌تری از جداره جذب قالب گچی شود. به‌موازات، درصد رطوبت قطعه نیز کاهش می‌یابد و استحکام آن بیش‌تر می‌شود. هم‌چنین با از دست دادن آب، جداره‌ی تشکیل‌شده‌ی درون قالب (محصول) انقباض می‌یابد و به راحتی از قالب جدا می‌شود. در این حال، قطعه را از قالب جدا می‌کنند و به خشک‌کن می‌فرستند.

در اواسط قرن هجدهم میلادی از کربنات سدیم (سودا) که مقدار کمی از آن باعث روان شدن دوغاب می‌شد استفاده می‌کردند. بعدها امکان تهیه‌ی دوغابی با مقدار آب کم‌تر نیز میسر گردید.

در واقع بدون استفاده از این ماده (کربنات سدیم) برای تهیه‌ی دوغاب روان به ۴۰ تا ۶۰ درصد بر مبنای تر آب نیاز بود ؛ حال آن که مقادیر کم کربنات سدیم درصد آب لازم را به ۳۰ تا ۳۵ درصد کاهش می‌داد. این عمل «روان‌سازی» نام دارد ؛ یعنی، می‌توان با درصد کمی از مواد روان ساز و بدون مصرف آب زیاد، دوغابی روان تهیه کرد.

در فرآیند ریخته‌گری دوغاب، تهیه‌ی دوغابی با درصد آب کم و خواص جریانی مناسب، بسیار اهمیت دارد. این روش در ساخت محصولات سرامیکی ؛ مانند : چینی، بدل چینی، چینی استخوانی، دیرگداز و ... به‌کار گرفته می‌شود. هم‌چنین در تولید سرامیک‌های نوین و مهندسی، به‌خصوص ریخته‌گری مواد غیررسی، برای ساخت بدنه‌های اکسیدی (زیرکونیا، آلومینا، منیزیا و...) و غیراکسیدی (سیلیکون کارباید و ...) اهمیت به‌سزایی یافته است.

مزیت مهم دیگر در کاربرد گسترده‌ی ریخته‌گری دوغابی، امکان تولید محصولاتی با شکل‌های پیچیده‌است ؛ یعنی با تهیه‌ی قالب‌های چند تکه[1] می‌توان قطعاتی با شکل‌های خاص را به سادگی تولید کرد. این روش به‌خصوص در ساخت قطعات گود و توخالی، که آن‌ها را به روش پرس و شکل دادن پلاستیک نمی‌توان تولید کرد، کاربرد یافته است.

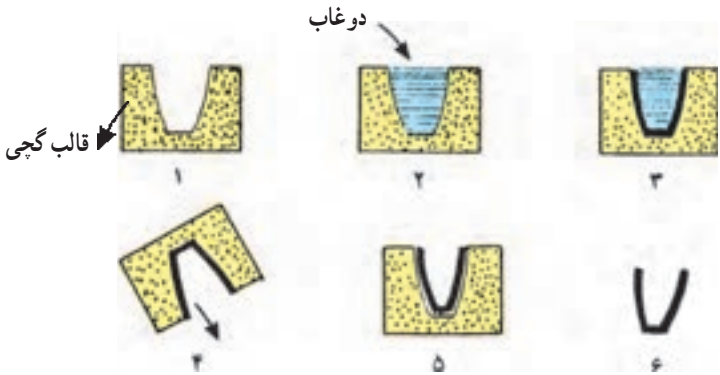
اصلی‌ترین ضعف این روش، زمان‌بر بودن فرآیند است ؛ برای مثال در پرس و یا روش‌های پلاستیک دستگاهی تا ۲۰ قطعه را در دقیقه می‌توان شکل داد ؛ در حالی که در ریخته‌گری دوغابی، بسته به ضخامت محصول، از چند دقیقه تا چند ساعت برای شکل دادن یک محصول وقت نیاز است. گرچه متخصصان با افزایش تعداد قالب‌ها تا حدودی این عیب را برطرف کرده‌اند.

انواع ریخته‌گری دوغابی

شکل دادن ریخته‌گری دوغابی به دو بخش تقسیم می‌شود :

۱ــ بعضی قالب‌ها از ۳۰ تکه هم ساخته شده‌اند.

الف) ریخته‌گری توخالی(Hollow casting) :در این روش، دوغاب را در قالب گچی می‌ریزند و برای تشکیل جداره، به آن زمان کافی می‌دهند. در این صورت بعد از جذب آب دوغاب به‌وسیله‌ی قالب، ضخامت لایه به حد مطلوب می‌رسد و مازاد دوغاب تخلیه می‌گردد. بنابراین، قطعه حاصل‌شده از این روش به‌صورت توخالی شکل داده می‌شود. به همین دلیل گاهی به این روش ریخته‌گری تخلیه‌ای (Drian casting) نیز گفته می‌شود (شکل ۱ــ۲).

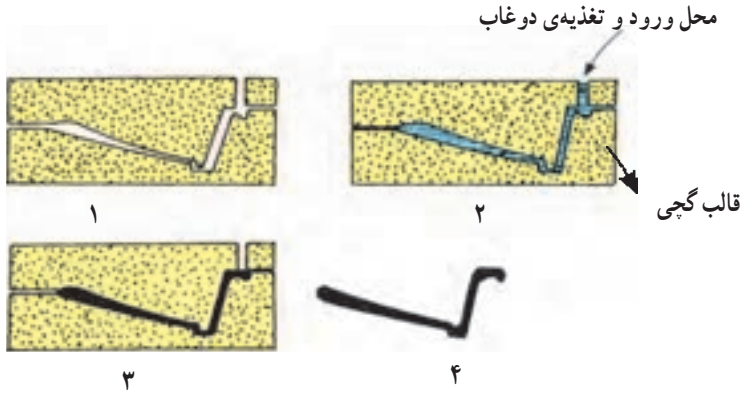


شکل ۱ــ۲ــ مراحل ریخته‌گری دوغابی توخالی

گلدان، قندان، پارچ و قوری از محصولاتی هستند که به این روش شکل داده می‌شوند. پرکردن و تخلیه‌ی قالب ممکن است به‌صورت دستی یا با دستگاه‌های تمام اتوماتیک انجام شود.

شکل ۲ــ۲ــ پرکردن قالب‌ها به‌صورت اتوماتیک انجام می‌گیرد.

ب) ریخته‌گری دوغابی توپر (Solid casting): شاید بتوان گفت شکل دادن به روش ریخته‌گری، در ابتدا صرفاً به منظور تولید قطعات توخالی ابداع گردیده اما بعدها در ساخت محصولات توپر نیز به‌کار رفته است. همان‌طور که درشکل ۳ــ۲ می‌بینید، در این روش تمامی دوغاب مصرف می‌شود.



شکل ۳ــ۲ــ مراحل ریخته‌گری دوغابی توپر

به عبارت دیگر،دوغاب برگشتی وجود ندارد. قطعه‌ای که با ریخته‌گری توپر شکل داده می‌شود، هرچه بزرگ‌تر باشد، به تغذیه‌ی بیش‌تری نیاز دارد، زیرا با جذب آب به‌وسیله‌ی قالب، حجم دوغاب کاهش می‌یابد. به همین منظور، قیف یا محفظه‌ای را برای تغذیه در بالای قالب قرار می‌دهند. اگر تغذیه با حجم کافی انجام نگیرد، سطح دوغاب در داخل قالب کاهش می‌یابد و شکل مورد نظر تأمین نمی‌شود.

تذکر این نکته لازم است که هم‌زمان با افزایش ضخامت محصول، زمان ریخته‌گری نیز زیاد می‌شود : مثلاً برای شکل دادن به قوری‌ای که به روش ریخته‌گریِ توخالی تهیه می‌شود و ضخامت جداره‌ی آن ۲ تا ۳ میلی‌متر است، به ۱۵تا ۲۵ دقیقه وقت نیاز است. حال آن که در چینی بهداشتی، که بعضی از قسمت‌های آن به روش ریخته‌گری توپر تولید می‌شود، زمان لازم برای ایجاد بدنه‌ای به ضخامت ۱۰ تا ۱۱ میلی‌متر، حدود ۱/۵ تا ۲ ساعت است.

می‌توان گفت، زمان ریخته‌گری توپر عموماً طولانی می‌شود، زیرا ضخامت محصول آن زیاد است. نکته‌ی دیگر این‌که در چینی بهداشتی دو دیواره‌ی گچی خواهیم داشت که حدود ۱۰ تا ۱۱ میلی‌متر از یک‌دیگر فاصله دارند. با شروع ریخته‌گری، جداره‌ها از هر دو طرف تشکیل می‌شوند.با این توضیح که هرچه ضخامت این دو جداره زیادتر می‌شود، فضای بین آن‌ها کم‌تر می‌گردد تا جایی که این دوجداره در قسمت میانی به یک‌دیگر وصل می‌شوند.

از جمله مواردی که به این روش شکل داده می‌شوند بعضی از دیرگدازهاست. امّا آن‌چه در

این مورد اهمیت یافته تهیه‌ی دوغاب با روش پرس و شکل دادن پلاستیک است. زیرا یک‌نواختی بیش‌تری را ایجاد می‌کند. با این روش مواد اولیه را به‌صورت دوغاب تهیه می‌کنند و سپس با کاهش مقدار آب، آن‌ها را به صورت گل یا پودر درمی‌آورند.

مروری بر روان‌سازی

همیشه آماده‌سازی دوغاب مناسب، از ترکیب رُسی، آسان نیست. چون اولاً نوع رس‌ها با یک‌دیگر تفاوت دارند ؛ ثانیاً هنگامی که در مجاورت با مواد مختلف قرار می‌گیرند، واکنش متفاوتی از خود نشان می‌دهند. ازطرف دیگر انتخاب مقادیر مختلف آب، واکنش جریانی دوغاب را شدیداً تغییر می‌دهد. در عین حال دوغاب آماده باید دارای خواص مناسبی باشد تا بتوان محصولی خوب با خواص مطلوب تولید کرد. باید اضافه کرد شرایط مطلوب برای دسترسی به دوغاب مناسب ریخته‌گری، از طریق تجربه و آزمایش به‌دست می‌آید.

گفته شد که تمامی تلاش‌ها باید در تدارک دوغابی با خواص مناسب باشد. روان‌سازها به کمک آمده‌اند تا بتوان دوغابی با درصد آب کم‌تر تهیه کرد. مقدار آب دوغاب، در وضعیت ثابت و در ابتدا، به نوع و مقدار ماده‌ی جامد بستگی دارد ؛ برای مثال دوغاب‌هایی را مقایسه کنید که یکی حاوی مواد رسی و دیگری دارای مواد غیررسی باشد. طبیعی است که در وضعیت یکسان درصد آب لازم برای این دو با یک‌دیگر متفاوت است. دوغاب رسی برای روان شدن، به آب بیش‌تری نیازمند است.

کربنات سدیم و سیلیکات سدیم از جمله روان‌سازهای معدنی (غیرآلی) متداول‌اند که در صنعت، کاربرد زیادی دارند. از روان‌سازهای دیگر می‌توان تری‌پلی‌فسفات سدیم را نام برد.

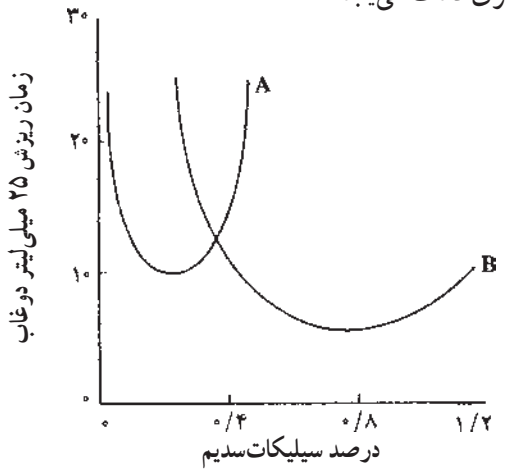
روان‌سازهای آلی مانند پلی‌وینیل آمین، اتیلن‌آمین و پلی‌آکریلات سدیم، نیز برهمین اساس مورد استفاده قرار می‌گیرند.

عامل مهم در آمیز رُسی، حضور ذرات کلوئیدی[1] رس است که با مواد شیمیایی افزوده شده واکنش می‌کنند. در واقع سیال بودن دوغاب به دافعه‌ی بین این ذرات بستگی دارد و کم‌ترین ویسکوزیته (بیش‌ترین سیال بودن) را با شناخت میزان و نوع ذرات کلوئیدی می‌توان ایجاد کرد.

ذرات رس در آب باردار هستند اگر بین ذرات نیروی جاذبه وجود داشته باشد ذرات به هم متصل شده و سیالیت دوغاب کاهش می‌یابد. با افزودن روانسازها به دوغاب، بین ذرات رس نیروی دافعه پدید می‌آید که باعث افزایش سیالیت دوغاب (کاهش ویسکوزیته) می‌شود.

۱ــ **تعریف کلوئید:** یک سیستم کلوئیدی به‌صورت یک فاز دیسپرز (پخش‌شده) که حداقل یک بعد آن دارای اندازه بین ۱ نانو تا ۱ میلی‌متر در یک سیستم مایع باشد. مثلاً سیستم ذرات کلوئیدی رس در سیستم آب.

به نمودار ۴ــ۲ توجه کنید. منحنی A مربوط به دوغابی با ۷/۵ درصد رس بوده و دوغاب B دارای ۱۵ درصد رس است. همان‌گونه که مشاهده می‌کنید، دوغابی که مقدار رس آن بیش‌تر است، می‌تواند به ویسکوزیته‌ی کم‌تری (سیال بودن بیش‌تری) دست یابد. گرچه به مقدار روان‌ساز بیش‌تری نیازمند است ؛ یعنی کم‌ترین ویسکوزیته یا بیش‌ترین سیال بودن برای دوغاب A با حدود ۰/۳۵٪ روان‌ساز و در مورد دوغاب B با ۰/۸٪ روان‌ساز ایجاد می‌شود، اما دوغاب B بهتر روان می‌گردد ؛ یعنی به ویسکوزیته‌ی کم‌تری دست می‌یابد.



نمودار ۴ــ۲ــ منحنی تغییرات ویسکوزیته (زمان ریزش) دو نوع رس برحسب مقدار سیلیکات‌سدیم

روان‌سازهای غیرآلی دیگری مانند آلومینات سدیم به‌کار گرفته شده‌اند، اما این روان‌سازها، دو عیب مشخص دارند که کاربرد آن‌ها را محدود می‌کند :

نخست این که باعث ورود قلیایی‌ها به دوغاب می‌شوند و می‌دانید که قلیایی‌ها نقطه‌ی ذوب سیستم را کاهش می‌دهند و دیگر آن که بعضی نمک‌ها، به‌خصوص نمک‌های سدیمی در مجاورت قالب گچی، تشکیل سولفات سدیم می‌دهند که در آب محلول هستند. در نتیجه موجب تجزیه‌ی قالب گچی می‌شوند و عمر آن‌ها را کاهش می‌دهند.

در مصرف روان‌سازهای آلی، این عیوب مشاهده نمی‌شود. به‌خصوص این که روان‌سازهای آلی هنگام خشک شدن و پختن از بدن خارج می‌شوند و هیچ خاکستری از خود به‌جای نمی‌گذارند. به هر حال، باید اذعان کرد که روان‌سازهای آلی ضمن این‌که گران‌اند هنگام مصرف بوی نامطبوعی ایجاد می‌کنند.

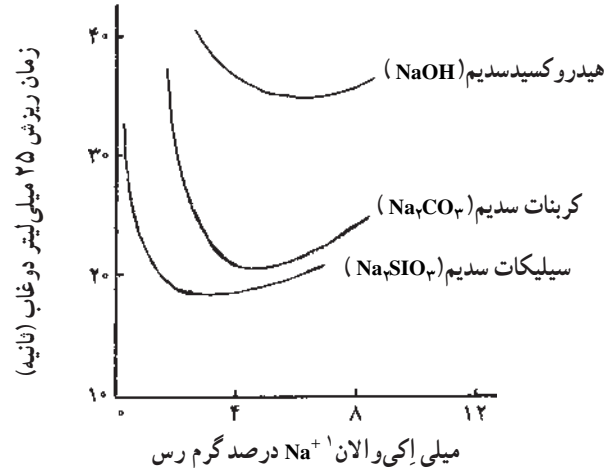
امروزه در صنایع سرامیک از روان‌سازهای آلی استفاده می‌شود. در نمودار ۵ــ۲ اثر افزودن

روان‌سازهای مختلف بر روی سیال بودن دوغاب نشان داده شده است.

همان‌طور که در نمودار دیده می‌شود با افزودن هر نوع روان‌ساز ویسکوزیته به‌تدریج کاهش می‌یابد ؛ یعنی دوغاب سیال‌تر می‌گردد. اما اگر درصد روان‌ساز، مصرف شده از حد معینی بیش‌تر شود مجدداً ویسکوزیته زیاد می‌شود ؛ یعنی، با کاربرد بیش از حد روان‌ساز، مجدداً سیال بودن دوغاب کاهش می‌یابد.

معمولاً مقدار روان‌سازی که به دوغاب، برحسب وزن خاک خشک، اضافه می‌شود، حدود ۰/۲ تا ۰/۵ درصد است.

سیلیکات سدیم در نمودار ۵ــ۲ بیش‌ترین اثر را بر سیالیت دارد ؛ یعنی با استفاده از سیلیکات‌سدیم می‌توان به ویسکوزیته‌ی کم‌تری دست یافت.



نمودار ۵ــ۲ــ منحنی تغییرات ویسکوزیته (زمان ریزش) برحسب نوع روان‌ساز مصرفی

خاطرنشان می‌شود هر نوع رسی با یک‌نوع روانساز بهترین نتیجه را می‌دهد. گاهی برای یافتن بهترین سیالیت مخلوطی از دو یا چند روانساز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

با توجه به مطالب گفته شده، همیشه تهیه‌ی دوغاب با خواص جریانی مطلوب به سادگی مقدور نیست، زیرا هم در آب و هم در خاک‌های معدنی یون‌های فلوکولانت[2] یافت می‌شود که بر روان سازی اثر منفی می‌گذارند.

۱ــ اِکی‌والان ظرفیت تبادل یونی عبارت است از اِکی‌والان یون‌های قابل تعویض به ازای جرم یا حجم واحد ماده مبادله کننده یون.

۲ــ موادی که سبب فلوکولاسیون (بستن) دوغاب می‌شوند و ویسکوزیته‌ی آن را زیاد می‌کنند.

در جدول ۱ــ۲ روان‌سازهای متداول صنعت سرامیک را مشاهده می‌کنید.

جدول ۱ــ۲ــ روان‌سازهای متداول صنعت سرامیک

روان‌سازهای آلی	روان‌سازهای غیرآلی (معدنی)
پلی اکریلات سدیم	کربنات سدیم
پلی‌اکریلات آمونیم	سیلیکات سدیم
سیترات سدیم	بورات سدیم
تارتارات سدیم	تری‌پلی‌فسفات سدیم
پلی‌سولفونات سدیم	
سیترات آمونیم	

ویژگی‌های دوغاب روان‌سازی شده

دوغاب روان‌سازی شده، باید تقریباً واکنش ثابتی از خود نشان دهد. بنابراین، لازم است مبنایی وجود داشته باشد که با اندازه‌گیری آن‌ها بتوان به خواص جریانی دوغاب پی‌برد. این عوامل عبارت‌اند از :

۱ــ درصد آب دوغاب،

۲ــ ویسکوزیته‌ی دوغاب،

۳ــ وزن لیتر یا دانسیته‌ی دوغاب،

۴ــ (pH) دوغاب.

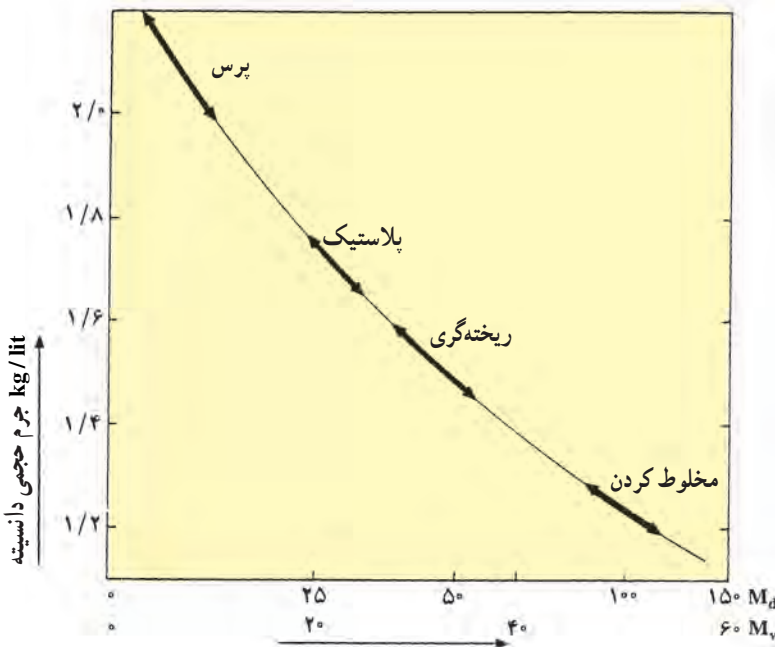
۱ــ درصد آب دوغاب: ترجیح داده می‌شود مقدار درصد آب دوغاب به حداقل برسد. از این‌رو، جنس«آمیز» انتخاب شده با اهمیت خواهد بود. هر چه میزان مواد رُسی «آمیز» افزایش یابد، دوغاب به آب بیش‌تری، نیازمند است. اما از دیگر سو، افزایش مواد رُسی، قابلیت روان‌سازی دوغاب را بهبود می‌بخشد.

محدوده‌ی درصد آب برای دوغاب‌ها، مطابق جدول ۲ــ۲ است.

جدول ۲ــ۲

درصد آب بر مبنای تر	نوع آمیز
۱۸ ــ ۱۶	فایر کلی
۲۲ ــ ۲۰	استون ور
۲۸ ــ ۲۳	ارتن ور و چینی نرم
۳۰ ــ ۲۸	چینی سخت
۵۰	چینی استخوانی (بدون دی فلوکولانت)
۳۵	چینی استخوانی (با دی‌فلوکولانت)

طبیعی است این ارقام با تغییر جنس و اندازه‌ی ذرات آن‌ها، اندکی تغییر می‌یابد. هرچه درصد آب کاهش یابد، سرعت ریخته‌گری زیادتر و زمان آن کوتاه‌تر می‌شود. هم‌چنین انقباض و زمان خشک شدن قطعه نیز کاهش می‌یابد و همان‌طور که می‌دانید در مجموع هزینه‌ی تولید نیز پایین می‌آید.



Md = درصد رطوبت بر مبنای خشک

Mw = درصد رطوبت بر مبنای تر

نمودار ۶ــ۲ــ درصد آب دوغاب بدنه برای ریخته‌گری دوغابی بین ۲۷ تا ۳۵ مقدار است.

۲ــ ویسکوزیته‌ی دوغاب : ویسکوزیته عکس سیّال بودن است. دوغاب مناسب برای ریخته‌گری باید دارای ویسکوزیته‌ی مناسبی باشد. افزایش درصد آب و انتخاب نوع و مقدار روان‌ساز، بر روی ویسکوزیته تأثیر می‌گذارد. به‌خصوص با استفاده از روان ساز مناسب، بدون این که مقدار آب افزایش یابد، می‌توان کاهش چشم‌گیری در ویسکوزیته‌ی دوغاب ایجاد کرد. معمولاً ویسکوزیته‌ی دوغاب چینی حدود ۴ تا ۵ پواز (دسی پاسکال ثانیه) است. اگرچه در عمل بیش‌تر از ویسکوزیته‌ی ریزشی برای سنجش سیالیت مناسب استفاده می‌شود.

اندازه‌ی ویسکوزیته به دو روش صورت می‌گیرد :

الف ــ روش غیرمستقیم: در این روش، حجم مشخص از دوغاب را (مثلاً ۱۰۰ cc) در ظرفی به شکل قیف با ابعاد مشخص (ویسکوزیمتر ریزشی) می‌ریزند ؛ سپس زمان خروج دوغاب از قیف را اندازه‌گیری می‌کنند. هرچه ویسکوزیته‌ی دوغاب کم‌تر باشد، زمان به‌دست آمده نیز کم‌تر خواهد بود.

هرچند زمان ریزش دوغاب (t) واحد ویسکوزیته نیست، به‌طور غیرمستقیم نشان دهنده‌ی ویسکوزیته (نا روانی) دوغاب است. ضمن این‌که هرچه زمان ریزش کم‌تر باشد دوغاب روان‌تر است.

ب ــ روش مستقیم: در این روش دوغاب آماده را کاملاً به هم می‌زنند ؛ سپس آن را زیر دستگاه ویسکوزیمتر چرخشی قرار می‌دهند. این دستگاه دارای میله‌ای است که به انتهای آن یک صفحه‌ی مدور وصل شده است. این صفحه در داخل دوغاب به چرخش درمی‌آید. هرچه دوغاب سفت‌تر باشد، چرخش صفحه کندتر می‌شود و نیروی لازم برای چرخش افزایش می‌یابد. با اندازه‌گیری مقاومت دوغاب در مقابل چرخش ویسکوزیته دوغاب مستقیماً به دست می‌آید(شکل ۷ــ۲).

شکل ۷ــ۲ــ ویسکوزیمتر چرخشی

۳ــ دانسیته‌ی دوغاب: سومین فاکتور قابل اندازه‌گیری دوغاب، دانسیته یا وزن لیتر آن است. در یک ظرف یک لیتری که قبلاً وزن شده، دوغاب ریخته می‌شود ؛ سپس وزن ظرف حاوی دوغاب محاسبه می‌شود. از تقسیم وزن دوغاب به حجم آن (یک لیتر)، دانسیته‌ی آن به‌دست می‌آید. هرچه درصد مواد جامد بیش‌تر باشد، دانسیته‌ی آن بیش‌تر خواهد بود. معمولاً دانسیته‌ی دوغاب بدنه‌ی چینی بین ۱/۶ تا ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. حال آن که معمولاً دانسیته‌ی دوغاب لعاب بین ۱/۳ تا ۱/۶

گرم بر سانتی‌متر مکعب قرار دارد و دانسیته‌ی مناسب دوغاب لعاب متناسب با روش اعمال لعاب بر بدنه (ریزش، اسپری یا غوطه‌وری) تعیین می‌گردد.

۴ــ (pH) دوغاب: حل شدن نمک‌های مختلف در دوغاب، اثر مستقیمی بر روی اسیدیته یا پی‌هاش سیستم دارد، برای مثال فلوکولاسیون در پی‌هاش‌های کم، اتفاق می‌افتد ؛ حال آن که دی‌فلوکولاسیون در محدوده‌ی پی‌هاش (بین ۶ تا ۸) روی می‌دهد ؛ بنابراین، با اندازه‌گیری پی‌هاش دوغاب به‌وسیله‌ی پی‌هاش متر، از نظر تجربی می‌توان بسیاری از خصوصیات دوغاب را بررسی کرد.

پس از شناخت فاکتورهای قابل اندازه‌گیری دوغاب، ویژگی دوغاب مناسب برای ریخته‌گری را از نظر تجربی می‌توان چنین بیان کرد :

هنگامی که دوغاب بدنه به وسیله‌ی همزن شیشه‌ای به هم زده می‌شود، باید پشت همزن شیار ایجاد شود، ولی به‌زودی محو گردد. هم‌چنین اگر همزن از دوغاب بیرون کشیده شود، باید دوغاب از اطراف آن به صورت یک‌پارچه فرو بریزد (قطره قطره نچکد). در ضمن دوغاب باید برای مدتی به‌حال خود گذاشته شود (حدود ۲۴ ساعت) و رویه نبندد و در صورت رویه بستن باید در اولین هم‌زدن‌ها، این رویه مجدداً در دوغاب حل شود. در نهایت باید گفت : دوغاب نباید به‌سادگی ته‌نشین شود و رسوب کند.

برای رسیدن به حدمطلوب در دوغاب، عموماً آن را دست کم به مدت ۲ ساعت هم می‌زنند ؛ سپس آن را ۲۴ ساعت به حال خود باقی می‌گذارند، زیرا زمان، اثر مطلوبی بر روی بروز خواص ثابت در دوغاب دارد. این خاصیت کهنگی نام دارد که در سرامیک از اهمیت خاصی برخوردار است. پس از طی این مراحل، آزمایش‌هایی بر روی دوغاب انجام می‌گیرد و در صورت مثبت بودن نتایج، برای مصرف به سالن‌های ریخته‌گری ارسال می‌شود.

تشکیل جداره

هنگامی که دوغاب در تماس با قالب گچی قرار می‌گیرد، به دو دلیل جداره تشکیل می‌شود :

۱ــ جذب آب دوغاب به‌وسیله‌ی قالب گچی: به دلیل وجود تخلخل و لوله‌های مویین در قالب گچی، آب دوغاب لایه‌ی مجاور قالب به سرعت جذب می‌گردد و لایه‌ای از گل سفت بر روی جداره تشکیل می‌شود. این پدیده چگونه اثبات می‌شود؟

اگر این دوغاب در یک قالب متخلخل غیرگچی (مانند یک بدنه‌ی سفال) ریخته شود، به سبب جذب آب قالب متخلخل، باز هم بر روی بدنه‌ی قالب، جداره تشکیل می‌شود.

۲ــ تعویض یونی: هنگامی که دوغاب در تماس با جداره‌ی قالب گچی قرار می‌گیرد، در واقع یون کلسیم موجود در گچ وارد دوغاب می‌شود، آن را «فلوکوله» می‌کند ؛ یعنی، در محل تماس، فلوکولاسیون رخ می‌دهد که منجر به تشکیل جداره می‌گردد.

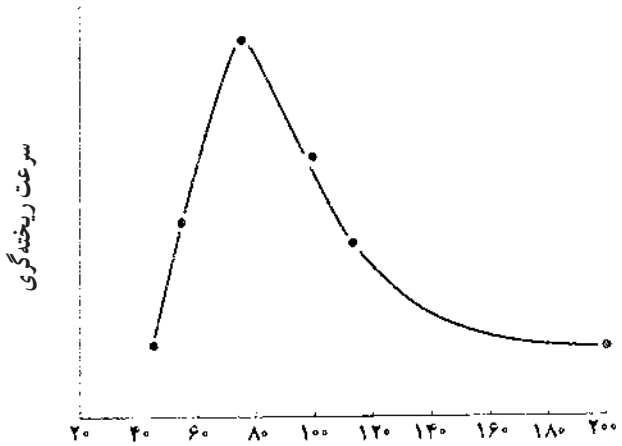
باید تأکید کرد که این پدیده، مهم‌ترین دلیل تشکیل جداره در قالب گچی در لحظات اولیه است. در ادامه با گذشت زمان، مکانیسم افزایش ضخامت جداره، بیش‌تر همان جذب آب به‌وسیله‌ی قالب است. یک آزمایش ساده موارد مطرح شده را ثابت می‌کند. اگر یک ظرف شیشه‌ای را که با محلول سولفات کلسیم[1] پرشده است، تخلیه و خشک کنید، بر روی جداره‌ی ظرف شیشه‌ای که جذب آب ندارد یک لایه‌ی نازک سولفات کلسیم برجای می‌ماند. حال با ریختن دوغاب سرامیکی در داخل آن، پس از مدتی، هنگامی که دوغاب تخلیه شود مشاهده می‌کنید که لایه‌ای نازک از گل، اما محکم برروی جداره‌ی شیشه‌ای تشکیل شده است. حال آن که هیچ گونه جذب آبی صورت نگرفته است.

به‌نظر شما دلیل تشکیل این جداره چیست؟ در پاسخ می‌توان گفت تشکیل این لایه‌ی سخت، به دلیل وجود ذرات سولفات کلسیم بر روی جداره‌ی شیشه است و همین باعث فلوکولاسیون دوغاب در سطح ظرف می‌شود.

رابطه‌ی تشکیل جداره با زمان و قالب: اگر زمان نگاه‌داری دوغاب در قالب افزایش یابد، ضخامت جداره‌ی تشکیل شده نیز زیادتر می‌شود. اما این نوعی رابطه‌ی خطی نیست. در واقع سرعت ریخته‌گری در ابتدای فرآیند زیاد است، اما هرچه ضخامت جداره بیش‌تر شود، سرعت ریخته‌گری کندتر می‌گردد. این بدان معنی است که گرچه افزایش زمان ریخته‌گری، ضخامت قطعه را زیاد می‌کند، اما سرعت تشکیل جداره را به تدریج می‌کاهد.

از سوی دیگر، قالب، در تشکیل جداره و ضخامت آن بسیار تأثیرگذار است. هرچه مقدار آب در ساخت قالب گچی بیش‌تر باشد، قالب پس از خشک شدن، تخلخل و لوله‌های مویین بیش‌تری خواهد داشت. پس انتظار می‌رود ریخته‌گری با قالبی که درصد تخلخل بیش‌تری دارد، سریع‌تر انجام گیرد ؛ یعنی در یک زمان مساوی جداره‌ی تشکیل شده در قالب با تخلخل بیش‌تر، ضخیم‌تر باشد (نمودار ۸ــ ۲).

۱ــ گچ همان سولفات کلسیم آبدار $CaSO_4 2H_2O$ است.



نمودار ۸ــ۲ــ منحنی تغییرات سرعت ریخته‌گری (ضخامت) برحسب درصد آب قالب

توجه کنید : اگر درصد آب لازم برای ساخت قالب گچی از حد معینی (۹۵ درصد) بیش‌تر شود، مجدداً سرعت ریخته‌گری کاهش می‌یابد. چون قدرت مکش لوله‌های مویین کم‌تر می‌شود.

درصد آب لازم برای ساخت قالب‌های معمولی، بین ۷۵ تا ۹۵ درصد وزن خشک گچ است ؛ یعنی برای ۱۰۰ گرم گچ، بین ۷۵ تا ۹۵ گرم آب احتیاج است.

عیوب ریخته‌گری دوغابی و راه‌های برطرف کردن آن‌ها: بعضی از عیوب، فقط در قطعاتی مشاهده می‌شوند که از ریخته‌گری دوغابی تهیه می‌گردند. این عیوب عبارت‌اند از :

۱ــ دایره دایره شدن (ایجاد دوایر)

۲ــ خط درز

۳ــ سوراخ‌های سنجاقی

۴ــ لکه یا خال ریخته‌گری

۱ــ دایره دایره شدن (ایجاد دوایر) : درصورتی‌که در ریختن دوغاب به داخل قالب توقفی پیش آید، پس از خارج شدن قطعه از قالب در محل تماس دوغاب با قالب گچی، خطوط دایره شکلی دیده می‌شود که پس از پخت‌جلای شیشه‌ای می‌یابد و احتمال دارد در صورت اعمال لعاب شفاف (ترانس) پس از پخت لعابی این دوایر دیده شوند. به این عیب، عیب دایره دایره شدن می‌گویند.

این پدیده، با زیاد شدن قدرت جذب آب قالب، تشدید می‌شود. برای آن می‌بایست ریختن دوغاب در قالب با سرعت یکنواخت و بدون توقف صورت گیرد.

شاید بتوان گفت که دلیل اصلی بروز این عیب، ترکیب «آمیز» بدنه است ؛ به‌خصوص اگر در آن میکا وجود داشته باشد. چون میکا به‌صورت یک لایه‌ی فوقانی از سایر اجزای دوغاب جدا می‌شود و هنگام ریختن در قالب، رویه‌ی بدنه را تشکیل می‌دهد. به طور کلی با کاهش یا حذف میکا، هم‌چنین کاهش ذرات کلوئیدی این عیب را می‌توان برطرف نمود.

۲ــ عیب خط درز: بیش‌تر قالب‌هایی که در ریخته‌گری دوغابی استفاده می‌شوند، چند تکه هستند ؛ بنابراین، به هنگام تشکیل جداره، مقدار کمی دوغاب به داخل درزها نفوذ می‌کند، درنتیجه با باز کردن قالب، زوایدی بر روی جداره‌ی درزها به‌صورت برجسته باقی می‌ماند. این عیب در بدنه‌های بدل‌چینی به سادگی و به‌وسیله‌ی کاردک و اسفنج مرطوب برطرف می‌شود، اما در بدنه‌های چینی سخت، این عیب حتی بعد از پخت نیز آشکار می‌شود و به‌سادگی رفع نمی‌شود.

دلیل این موضوع، جهت‌گیری ذرات است. در بدنه‌ی چینی استخوانی، در صورتی که در حین ریخته‌گری به محل درزها ضربه زده شود، این جهت‌گیری در درزها به‌صورت اتفاقی خواهد بود و این عیب کاهش می‌یابد. به شرط این که در مرحله‌ی پرداخت‌کاری (در حالت نیمه‌عادی) زواید به‌خوبی پاک شده باشند، اما منحصراً در بدنه‌های چینی سخت می‌توان پرداخت‌کاری خط درز را بعد از پخت بیسکویت و به وسیله‌ی چرخ سنباده انجام داد تا اثر آن پس از پخت مشاهده نشود.

۳ــ عیب سنجاقی: گاهی بر روی سطوح بدنه‌ی ریخته‌گری شده، سوراخ‌هایی به اندازه‌ی ته‌سنجاق بر روی بدنه (بدون لعاب) مشاهده می‌شود. این عیب به دلیل حبس حباب‌های ریز هوا در دوغاب است، هنگامی که این حباب‌ها در سطوح خارجی بدنه قرار گرفته باشند. بنابراین، هر عامل ایجادکننده‌ی حباب در دوغاب باعث بروز این عیب می‌گردد. ویسکوزیته‌ی زیاد دوغاب و هم‌زدن سریع، آن دلایل بروز این پدیده‌اند.

۴ــ لکه یا خال ریخته‌گری: به‌علت تخلیه نامناسب دوغاب و ماندن قطره درته قطعه عیب لکه یا خال ریخته‌گری بوجود می‌آید که با تخلیه تحت زاویه ۴۵° دوغاب از قالب می‌توان از این عیب جلوگیری نمود و یا در برخی موارد اولین قطره دوغاب در تماس با قالب گچی سریع خشک‌شده و یک لکه یا برآمدگی در ته قطعه ایجاد می‌نماید که با آرامی و یک‌نواخت ریختن دوغاب از این عیب هم می‌توان جلوگیری کرده و یا آن را به حداقل رساند.

برای جلوگیری از بروز این عیب، می‌توان هنگام ریختن دوغاب، ظرف دوغاب را با فاصله‌ی نزدیک‌تری به قالب نگه داشت و یا در صورت امکان هنگام ریختن دوغاب، قالب را چرخاند.

ویژگی‌های دوغاب برگشتی

گفته شد در ریخته‌گری توخالی، دوغاب مازاد تخلیه می‌شود. دوغاب‌های تخلیه شده از نظر درصد آب، دانسیته و ویسکوزیته دست‌خوش تغییراتی شده‌اند. بنابراین، برای استفاده‌ی مجدد از آن‌ها، می‌توان با جمع کردن آن‌ها در یک حوضچه، نسبت به تنظیم مجدد آن‌ها اقدام کرد.

یکی از مهم‌ترین تغییراتی که ممکن است در دوغاب برگشتی روی دهد، وارد شدن یون کلسیم(Ca^{+}) از طریق قالب گچی است که دوغاب را فلوکوله می‌کند. اثر این یون‌ها را می‌توان با افزودن حداکثر ۰/۱درصد برمبنای خشک، کربنات‌باریم از بین برد. به این واکنش دقت کنید :

$$CaSO_4 \rightarrow +Ca^{+} + So_4^{-}$$

$$BaCO_3 + CaSO_4 \rightarrow BaSO_4 \downarrow + CaCO_3 \downarrow$$

در نتیجه، یون مزاحم کلسیم(Ca^{+}) ناشی از سولفات کلسیم با کربنات باریم واکنش داده و به صورت کربنات کلسیم رسوب می‌کند. بنابراین، اثر مخرب یون‌های فلوکوله‌کننده از بین می‌رود ؛ ترکیبات تشکیل شده (کربنات کلسیم و سولفات باریم) در آب نامحلول هستند.

گچ و قالب‌های گچی

گچی که در صنعت سرامیک استفاده می‌شود، سولفات کلسیم با نیم‌مول آب است ($CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$ ، $CaSO_4 2H_2O$) و از پخت سنگ گچ به‌دست می‌آید، که مینرال عمده‌ی آن ژیپس ($CaSO_4 2H_2O$) است. دمای لازم برای این عمل، بین ۱۲۰ تا ۱۸۰ سانتی‌گراد است.

$$CaSO_4 . 2H_2O \xrightarrow{۱۲۰-۱۸۰^{\circ}} CaSO_4 . \frac{1}{2}H_2O + \frac{3}{2}H_2O \uparrow$$

در تولید گچ قالب‌سازی، باید بسیار دقت نمود تا محصول از نظر ترکیب و ناخالصی، در حد مطلوب باشد.

بهترین نوع گچ، گچ α نام دارد که نسبت به نوع β خواص بهتری را داراست. اما به دلیل گرانی، روش تولید گچ مورد مصرف در صنایع سرامیک مخلوطی از β و α است که البته درصد بیش‌تری از آن را β تشکیل می‌دهد. در فرآوری گچ، فاز α ویژگی‌های خوبی مانند استحکام بالا، اندازه‌ی کریستال‌های درشت تر و تبلور بیش‌تر از خود نشان می‌دهد. اما در گچ مصرفی برای ریخته‌گری دوغابی حضور هر دو فاز α و β به‌صورت مخلوط نتایج بهتری ارائه می‌دهد.

می‌دانیم که مخلوط حاصل از گچ و آب به تدریج سفت می‌شود ؛ این عمل را «گیرش گچ» می‌گویند. در واقع، گچ در مجاورت آب مجدداً با جذب آب به صورت بلورهای ژیپس متبلور می‌شود. این واکنش گرمازاست.

$$CaSO_4.\frac{1}{2}H_2O + \frac{3}{2}H_2O \longrightarrow CaSO_4.2H_2O$$

در حقیقت با این عمل کریستالیزاسیون رخ می‌دهد و به هنگام تبلور، بلورهای سوزنی شکل ژیپس در هم فرو می‌روند و یک توده‌ی سخت و محکم را تشکیل می‌دهند.

سرعت گیرش گچ، بسته به نوع ماده‌ی اولیه و شرایط تشکیل محصول، متفاوت است. اما می‌توان با مواد افزودنی، گیرش آن را سرعت بخشید یا کند کرد.

برخی افزودنی‌ها به دوغاب گچ موجب کندشدن یا تسریع گیرش می‌شوند، سریشم، بوراکس و برخی چسب‌های آلی کندکننده و سولفات، نیترات و کلریدپتاسیم تسریع‌کننده‌ی گیرش گچ‌اند.

با مروری بر درس‌های گذشته درمی‌یابید که در ساخت سرامیک‌ها، چه در روش پلاستیک و چه ریخته‌گری دوغابی، از قالب‌های گچی استفاده فراوانی می‌شود ؛ بنابراین، گچ و قالب‌های گچی در صنعت سرامیک اهمیت بسیار زیادی دارند.

ویژگی‌های قالب مناسب برای ریخته‌گری دوغابی با قالبی که در روش پلاستیک دستگاهی به‌کار گرفته می‌شود، متفاوت است، بنابراین، می‌توان به این نکات اشاره کرد :

۱ــ قالب‌های مورد استفاده در ریخته‌گری دوغابی باید تخلخل بیش‌تری داشته باشند.

۲ــ در شکل دادن پلاستیک دستگاهی، قالب‌ها باید استحکام بیش‌تر و در نتیجه تخلخل کم‌تری داشته باشند.

۳ــ در ساخت قالب‌های اصلی و مادر باید کم‌ترین تخلخل در نظر گرفته شود. چون در این نوع قالب‌ها، تراکم و استحکام بالا بسیار مورد توجه است.

هر قالب گچی برای روش پلاستیک دستگاهی حدود ۳۰ درصد تخلخل دارد و عمر مفید آن حدود ۲۰۰ سیکل در تولید است، اما در ریخته‌گری دوغابی درصد تخلخل حدود ۴۰ تا ۴۵ درصد است و بسته به نوع محصول بین ۵۰ تا ۶۰ سیکل در تولید به‌کار می‌روند.

از گچ ساختمانی نمی‌توان در ساخت قالب‌های سرامیکی استفاده کرد زیرا از نظرنوع فاز، خلوص و خواص فیزیکی مناسب نیست. گچ قالب‌سازی در شرایط کنترل‌شده‌ای تولید می‌شود تا ویژگی‌های لازم را داشته باشد.

کاربرد روش ریخته‌گری دوغابی در صنایع مختلف سرامیک

تا به حال با اهمیت و کاربرد روش ریخته‌گری دوغابی در تولید انواع محصولات سرامیکی آشنا شده‌اید. قوری، قندان، گلدان، چینی‌های بهداشتی، حتی فنجان و دیرگدازها و ... از جمله محصولاتی هستند که به این روش تولید می‌شوند. امروزه ریخته‌گری دوغابی با مواد غیر رسی، در صنایع نوین سرامیک، اهمیت به‌سزایی یافته است. معمول این است که آلومینا، سیلیکا، منیزیا، کاربید سیلیسیم و نظایر آن را با مواد افزودنی مناسب به‌صورت دوغاب درمی‌آورند، سپس دوغاب حاصل‌شده را در یک قالب متخلخل، مانند گچ، می‌ریزند و بدین ترتیب محصول موردنظر را شکل می‌دهند. بخش عمده‌ای از سرامیک‌های نوین و مهندسی که در صنایع پیشرفته‌ی امروز به‌کار می‌روند، با این روش تولید می‌شوند. بوته‌ها، لوله‌ها و شکل‌های خاصی از جنس آلومینا و کاربید سیلیسیم و کاست‌های نسوز (ساگار) کلاهک رادارهای پرنده نیز از جمله فرآورده‌هایی هستند که با این روش تولید می‌شوند.

شکل ۹ــ۲ــ بوته‌های آلومینایی که به روش ریخته‌گری دوغابی (غیر رسی) ساخته شده‌اند.

در بعضی از این روش‌ها برای تهیه‌ی دوغاب به‌جای آب، از مایعات دیگری نظیر الکل و محلول‌های آلی استفاده می‌شود.

تنوع و گستردگی کاربرد روش ریخته‌گری دوغابی در صنایع مربوط به سرامیک‌های نوین، روزبه‌روز درحال افزایش است و اهمیت آن بیش‌تر می‌شود.

مزایا و نقاط ضعف روش ریخته‌گری دوغابی

شاید بتوان گفت مهم‌ترین مزیت این روش، امکان تولید قطعات پیچیده است. با این توضیح که به‌وسیله‌ی گچ می‌توان از یک قطعه‌ی خاص، قالب‌های چند تکه تهیه کرد ؛ سپس دوغاب تهیه شده را درون قالب ریخت و قطعات توخالی یا توپر را تولید نمود ؛ یعنی قطعاتی که امکان شکل دادن آن به‌وسیله‌ی دیگر روش‌ها وجود ندارد یا از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست، زیرا ساخت قالب‌های فلزی، مشکل و پرهزینه است.

از طرف دیگر، باید گفت که در فرآیند شکل دادن به روش ریخته‌گری دوغابی، به تجهیزات و دستگاه‌های پیچیده و گران، نیازی نیست.

با این همه، این روش کاستی‌هایی نیز دارد. پیش‌تر گفته شد که مثلاً سرعت تولید آجر ساختمانی با روش اکستروژن به ۲۰۰۰۰ قالب در ساعت نیز می‌رسد و یا سرعت تولید یک فنجان در روش رولر ۲۰ عدد در دقیقه است. حال آن که زمان لازم برای تشکیل جداره در قالب گچی حدود ۱۵ تا ۲۰ دقیقه و در برخی موارد به ۱/۵ تا ۲ ساعت نیز می‌رسد.

بنابراین، «زمان بر بودن تولید به روش ریخته‌گری دوغابی» را می‌توان ضعف عمده‌ی این روش به‌شمار آورد. گرچه با افزایش تعداد قالب و روش‌های خاصی چون ریخته‌گری تحت فشار و چرخش قالب حین ریخته‌گری، می‌توان تا حدی سرعت تولید را در این روش بهبود بخشید.

از طرف دیگر، چون انقباض قطعاتی که از ریخته‌گری دوغابی تولید می‌شوند زیاد است، تنظیم ابعاد محصولات در این روش دشوار خواهد بود.

پرسش‌های فصل دوم

۱ــ مهم‌ترین مزیت روش ریخته‌گری دوغابی چیست؟
۲ــ انواع ریخته‌گری دوغابی کدام است؟
۳ــ دلایل استفاده از روان‌سازها را در دوغاب‌های ریخته‌گری بنویسید.
۴ــ انواع روان‌سازها را تقسیم‌بندی کنید و چند مثال بزنید.
۵ــ مقدار روان‌ساز مصرفی، برحسب وزن خشک «آمیز»، عموماً چه‌قدر است؟
۶ــ فاکتورهای قابل اندازه‌گیری در یک دوغاب کدام‌اند؟
۷ــ چرا درصد آب کم‌تر در دوغاب ترجیح داده می‌شود؟
۸ــ وزن لیتر دوغاب‌های بدنه و لعاب چینی در چه محدوده‌ای قرار دارد؟
۹ــ دلایل تشکیل جداره در قالب گچی را به تفصیل بیان کنید.
۱۰ــ عیوب ریخته‌گری دوغابی را نام ببرید.
۱۱ــ در یک دوغاب برگشتی چگونه می‌توان اثر افزایش یون کلسیم را از بین برد؟
۱۲ــ عوامل تسریع‌کننده و کندکننده‌ی در گچ را تعریف کنید و از هرکدام مثالی بزنید.
۱۳ــ نقش ریخته‌گری دوغابی را در صنایع نوین سرامیک بیان کنید.
۱۴ــ ضعف اصلی روش ریخته‌گری دوغابی چیست؟