

بسمه تعالی

طرح مطالعات امکان سنجی تولید سیلیس ریخته گری

کارفرما: شرکت شهرک های صنعتی استان زنجان

مشاور: شرکت فنی و مهندسی فن آوران نوین زنجان

بهار ۹۰

فهرست مطالب

صفحه	عنوان	صفحه	عنوان
۶۹	معرفی ماشین آلات ، تجهیزات و ابزار آلات	۲	مقدمه
۷۵	برآورد مواد اولیه و منبع تهیه هر کدام از آنها	۷	فصل اول (معرفی و شناخت محصول
۸۲	برآورد تاسیسات مورد نیاز	۱۵	تعریف محصول
۸۳	طراحی کارخانه ، تخمین فضاهای مورد نیاز	۲۳	دلایل انتخاب و کاربردهای محصول
۸۴	برآورد لوازم و تجهیزات اداری	۴۴	فصل دوم) مطالعه بازار
۸۵	برآورد نیروی انسانی و ساختار سازمانی	۴۵	میزان عرضه (تولید داخلی ، واردات)
۸۸	فصل چهارم) مکان یابی طرح	۶۰	بررسی میزان تقاضا(مصرف داخلی و صادرات)
۹۲	فصل پنجم) برنامه زمانبندی اجرای پروژه	۶۱	تعیین ظرفیت کارخانه
۹۴	فصل ششم) تجزیه و تحلیل مالی طرح	۶۵	فصل سوم) بررسی فنی و تکنولوژیکی
۱۰۳	فصل هفتم) جمع بندی و نتیجه گیری	۶۵	تشریح تکنولوژی تولید

در پایان طرح و جهت ارائه اطلاعات تکمیلی به سرمایه گذاران و علاقمندان محترم، علاوه بر ارائه منابع و مآخذ ، مطالب زیر تحت عنوان ضمائم ارائه شده است .

پیوست ۱ : کاربرد اکسید آهن قرمز در قالب و ماهیچه ریخته گری

پیوست ۲ : آشنایی با ماسه مورد مصرف در ریخته گری

پیوست ۳ : آماده سازی مواد اولیه در صنعت شیشه

پیوست ۴ : مقایسه فنی و اقتصادی میزان تولید روش آتشباری و روش استفاده از پیکور در مجموعه معادن سیلیس

پیوست ۵ : استاندارد ملی ماسه زیر کن تغلیظ شده / تعیین مقدار سیلیس با روشهای وزنی و رنگ سنجی

مقدمه و خلاصه طرح

طرح مطالعات امکان سنجی تولید سیلیس ریخته گری

مقدمه

به منظور توسعه سرمایه گذاریهای جدید ، در گروه های زیر ساخت ، صنایع و خدمات که پیامد درک نیازها و تمایلات انسان در جامعه است ، سیستم مطالعات سرمایه گذاری می تواند برای تخصیص صحیح منابع به منظور تحقق چنین نیازهایی ضروری و ثمر بخش باشد. لذا در مراحل اولیه مطالعات سرمایه گذاری ، هر گاه آثار مثبتی از دور نمای روش طرح مشاهده گردد ، انگیزه های لازم برای سرمایه گذاری و برنامه ریزی اجرایی طرح ایجاد می گردد . مطالعات و تحلیل های سرمایه گذاری نقش غیرقابل انکار در موفقیت یا شکست نهایی طرح دارد. اگر مبنای مطالعات سرمایه گذاری بر تحلیل ها و استدلال علمی و منطقی استوار نباشد ، بی شک طرح مورد بررسی نتایج اقتصادی ، فنی و مالی مطلوب نخواهد داشت .

از مراحل شناسایی ایده و امکانات سرمایه گذاری تا بهره برداری موفق و کارآمد ، گستره و طیف وسیعی از مطالعات در راستای سرمایه گذاری وجود دارد به طوریکه طرح مورد نظر بایستی از عهده آزمایشات مطالعات امکان سنجی اقتصادی ، فنی و مالی در شرایط نهادی ، اجتماعی ، سیاسی و فرهنگی برآید . لذا الویت های انواع مطالعات سرمایه گذاری از مرحله شناسایی ایده و امکانات تا مرحله بهره برداری به شرح زیر می باشد :

✓ مطالعات فرصت (OPPRUNTUNY STUDY)

✓ مطالعات پیش مهندسی (PRE-FEASIBILITY STUDY)

✓ مطالعات امکان سنجی (FEASIBILITY STUDY)

✓ طرح تجاری (BUSINESS PLAN)

✓ فاز ساخت (CONSTRUCTION PHASE)

✓ فاز بهره برداری (PRODUCTION PHASE)

اصولاً بررسی امکان سنجی دقیق هر طرح از ابعاد اقتصادی (MARKET STUDY) ، فنی (TECHNICAL STUDY) و مالی (FINANCIAL STUDY) صورت می گیرد. چنین بررسی و مطالعه ای برای ایجاد یا توسعه هر واحد صنعتی ، خدماتی کشاورزی و معدنی مورد نیاز می باشد. به طوریکه بر این اساس دورنمای طرح توسط مطالعات امکان سنجی بررسی می گردد. معمولاً تامین کنندگان منابع مالی مانند بانکها و موسسات مالی و پولی، شرکت های

سرمایه گذاری، سهامداران و شرکا، بر اساس نتایج و شاخص های حاصل از این مطالعات، منابع مالی را به طرح های در دست اجرا تخصیص می دهند. به طوریکه پس از تأیید گزارشات امکان سنجی تهیه شده، قراردادهای مشارکت مدنی و غیره منعقد گردیده و سپس فاز ساخت پروژه شروع می گردد.

در گزارش حاضر و بر اساس طرح ارجاعی از سوی شرکت شهرک های صنعتی استان زنجان، مطالعات امکان سنجی طرح تولید سیلیس ریخته گری مورد بررسی و تجزیه و تحلیل واقع می گردد. چنانچه خواهیم دید، ماده معدنی سیلیس کاربردهای متنوع دیگری در شاخه های مختلف صنعتی و تولیدی دارد که مقادیر بالا و قابل توجهی از تقاضای این محصول را تشکیل می دهند لذا در بخش هایی از طرح حاضر به سایر کاربردهای سیلیس از جمله صنعت شیشه، صنعت فروسیلیس و همچنین مقوله های معدنی مرتبط اشاراتی شده است.

مقدمتا به لحاظ ارتباط محصول مورد نظر طرح با صنعت ریخته گری و در باب موقعیت مهم این زمینه در اقتصاد، عنوان می دارد صنعت ریخته گری به عنوان یکی از صنایع مادر در حوزه صنعت سنگین کشور و تامین کننده نیاز بسیاری از صنایع مانند صنایع خودروسازی، سیمان، تولید فلزات اساسی، نفت و گاز و پتروشیمی، نیرو، شهرسازی و ماشین سازی، محسوب می گردد. بطوریکه مثلا در صنعت خودرو، نزدیک به ۲۰ درصد وزن یک خودرو را قطعات ریختگی تشکیل می دهند و کلیه کشورهای عمده تولید کننده خودرو در ردیف تولید کنندگان عمده قطعات ریختگی در جهان نیز هستند همچنین بیش از ۶۰ درصد کلیه شیرآلات و پمپ های صنعتی قطعات ریختگی هستند. از دیدگاه ارزشی نیز اگر سهم صنعت را در تولید ناخالص ملی ۱۵ درصد (بر اساس مطالعات استراتژی توسعه صنعت کشور) در نظر گرفته شود سهم صنعت ریخته گری ۴/۵ درصد از کل سهم صنعت است و از بعد اشتغال مستقیم نیز نزدیک به ۴۰ هزار نفر در این صنعت مشغول به کار هستند.

با توجه به اینکه صنعت ریخته گری به سه عامل انرژی، مواد و نیروی کار وابستگی زیادی دارد و وجود مواد اولیه، دسترسی به انرژی و بهره مندی از نیروی کار جوان می تواند در درازمدت ایران را به یکی از تولید کنندگان مهم ریخته گری تبدیل کند و این امر مزیت صنعتی مهمی در آینده به حساب می آید. هم اکنون کشورهای بزرگ صنعتی مانند آمریکا، ژاپن، آلمان، فرانسه، ایتالیا و انگلستان با تولیدی نزدیک به ۲۹ میلیون تن یعنی ۴۰ درصد تولید جهانی با مشکل گرانی دستمزد که بین ۲۰ تا ۲۵ دلار در هر ساعت است و علیرغم وجود محدودیت های زیست محیطی، با

کشورهایی مانند چین و هندوستان که دستمزد کمتر از ساعتی یک دلار دارند، رقابت می کنند و هنوز بازار خود را در اختیار تولیدات ارزان قرار نداده اند. این در حالی است که هر چند افزایش قیمت انرژی به شدت بر قیمت های قطعات چین و هندوستان نیز اثر گذاشته اما این تاثیر در آینده شدیدتر خواهد شد.

بر اساس آمارهای موجود مصرف سرانه قطعات ریخته گری برای کشورهایی که در مرحله صنعتی شدن هستند حداقل ۲۰ کیلوگرم برای هر نفر می باشد و این عدد نشان می دهد کشور ما در صورتی که در عرصه توسعه صنایع ماشین سازی و ساخت داخلی و توسعه معادن و عرصه های مختلف صنعتی حرکت خود را برپایه استفاده از امکانات و توانمندی داخلی سامان دهد به بیش از دو برابر تولید فعلی به قطعات ریخته گری نیازمند خواهد بود و این امر لزوم توجه به توسعه صنعت ریخته گری و صنایع پشتیبانی کننده را نشان می دهد .

در صورت مساعد شدن فضای کسب و کار در کشور می توان به توسعه صادرات قطعات ریخته گری امید داشت. البته امروزه صادرات قطعات به کشورهای فرانسه، ایتالیا، دانمارک، آلمان، سوریه و عراق و سایر کشورهای منطقه در جریان است و اخیرا نیز به دلیل افزایش قیمت انرژی و افزایش قیمت یورو نسبت به دلار سفارش های اروپای غربی نیز روند صعودی دارد ، ولی تاکنون میزان صادرات قابل توجه نبوده است (کمتر از ۲۰ میلیون دلار). بدیهی است با ادامه روند صنعتی شدن کشور و توجه بیشتری به مدیریت در عرصه استفاده از توانمندی های داخلی تولید، شاهد رشد صنعت ریخته گری همگام با صنایع سنگین کشور خواهیم بود. البته به دلیل رشد نیاز داخلی، میزان صادرات افزایش نیافته و حداکثر بین پنج تا هفت درصد کل تولید است. با این وجود باید توجه داشت که تولیدات ارزان چینی در مورد برخی از کالاها مانند لوله های آبرسانی به دلیل قبول هزینه حمل که در مورد لوله های ریخته گری بسیار سنگین است و از سوی دولت چین به عنوان یارانه به برخی صادر کنندگان چینی، فضای رقابتی دشواری ایجاد کرده است.

قبل از پرداختن به موضوعیت اصلی طرح حاضر با عنوان تولید سیلیس مورد مصرف در ریخته گری ، عنایت ویژه سرمایه گذاران به نکات کلیدی زیر حائز اهمیت است.

الف) اصولاً توجیه پذیری هر پروژه اجرایی ، تابع زمان می باشد . بدین معنی که پروژه دارای توجیه در شرایط حاضر الزاماً در سال های آتی توجیه پذیر نخواهد بود و بایستی مطالعات مربوطه مجدداً مورد بازنگری قرار گیرد چرا که شرایط اقتصادی ، تکنولوژیکی ، اجتماعی ، فرهنگی و سیاسی حاکم در بستری از شرایط رقابتی قرار داشته و لذا عوامل موثر بر طرح ها تحت تاثیر و احیاناً تغییرات جدی قرار می گیرند .

ب) توجیه پذیری طرح دارای یک مفهوم نسبی است به طوریکه این مفهوم در کنار پارامتر مهم دیگری تحت عنوان توان و اهلیت مدیریتی سرمایه گذار به مفهوم عام کلمه کامل می گردد. در این راستا بایستی سرمایه گذاران محترم به عواملی همچون نحوه تامین منابع مالی در زمان مناسب ، انتخاب مدیران و کارشناسان مجرب و کار آزموده در هسته مدیریتی و اجرایی پروژه و به ویژه پیش بینی مناسب بازارهای هدف و مکانیزم دستیابی به آن، توجه خاصی داشته باشند.

برخی از انجمن ها و تشکل های مرتبط با معدن و صنایع معدنی

✓ پایگاه اطلاع رسانی سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران

✓ صندوق بیمه سرمایه گذاری فعالیت های معدنی

✓ پایگاه اطلاع رسانی معادن ایران و صنایع وابسته

✓ بانک اطلاعات نخبگان معدنی

✓ انجمن علمی مهندسين معدن

✓ خانه معدن ایران

✓ پایگاه ملی داده های علوم زمین کشور

جدول خلاصه طرح

عنوان	شرح
نوع صنعت	کانی غیر فلزی / صنایع معدنی
نام محصولات	سیلیس مورد مصرف در صنعت ریخته گری
ظرفیت سالیانه	۴۰۰۰ تن
کاربردهای متداول محصول	صنعت ریخته گری (سایر مصارف : صنعت شیشه ، فروسیلیس ، صنعت رنگ و سایر صنایع)
نام مواد اولیه اصلی و محل تامین آن	سیلیس طبیعی ، اسید کلریدریک ، سود و پاکت بسته بندی به ترتیب به میزان ۵۴۰۰ ، ۲۰۰ و ۳۰۱ تن و ۸۰۸۰۰ پاکت
مدت زمان مورد نیاز برای فاز ساخت	دو سال
محل پیشنهادی برای اجرای طرح	ابهر و زنجان
مساحت زمین (متر مربع)	۵۰۰۰ تن
مساحت زیربنای کارخانه (متر مربع)	سالن تولید : ۱۵۰۰
	انبار مواد اولیه و محصول : ۵۰۰
	ساختمان اداری و رفاهی : ۲۷۰
محل تامین ماشین آلات	داخلی
ارزش تقریبی ماشین آلات	۵۳۵۲ میلیون ریال
ارزش تقریبی تاسیسات زیربنایی و جانبی	۲۶۸۳ میلیون ریال
دیماند برق (کیلووات)	۲۰۰
مصرف سالیانه حامل های انرژی	انرژی الکتریکی : ۵۰۴۰۰۰ کیلووات ساعت
	آب : ۲۴۰۰۰ متر مکعب
	گاز : ۱۸۰۰۰۰ متر مکعب
سرمایه ثابت	ارزی : --
	ریالی : ۱۵۸۲۰ میلیون ریال

ریالی : ۱۵۸۲۰ میلیون ریال	
ارزی : --	سرمایه در گردش
ریالی : ۷۱۵۶ میلیون ریال	
ریالی : ۷۱۵۶ میلیون ریال	
۵۰ نفر	تعداد پرسنل در فاز بهره برداری
حداقل ۵۰۰ نفر	پیش بینی اشتغال زایی غیر مستقیم
سه سال و نیم	دوره برگشت عادی سرمایه (سال)
چهار سال و نیم	دوره برگشت دینامیک سرمایه (سال)
۳۵/۷۱	درصد فروش در نقطه سر به سر
با عنایت به وجود منابع غنی سیلیس ، توسعه صنایع جانبی آن اقتصادی می باشد .	
	رویکرد اقتصادی

فصل اول: معرفی و شناخت محصول

طرح مطالعات امکان سنجی تولید سیلیس ریخته گری

معرفی و شناخت محصول

در این بخش و قبل از پرداختن به محصول اصلی مورد نظر با عنوان سیلیس ریخته گری و جهت تبیین بیشتر موضوع ابتدا مفاهیم مقدماتی در خصوص ریخته گری و اهمیت آن در حوزه صنعت و تولید ارائه می گردد .

اصولا صنعت ریخته گری یکی از مهمترین فرآیندهای ساخت و تولید است ، به طوری که مثلا در ایالات متحده آمریکا به عنوان یک کشور توسعه یافته صنعتی ، ریخته گری از نظر حجم در مقام ششم صنایع اساسی قرار دارد. یک موتور ۸ سیلندر اتومبیل ممکن است تا حدود ۱۳۰ قطعه ریخته گری داشته باشد. قطعات ریخته گری از نظر اندازه از حدود ۱ میلیمتر با وزن کمتر از ۱ گرم مانند دندانه یک زیپ لباس شروع و ممکن است تا حدود ۱۰ متر با وزن چندین تن، مانند قطعات کشتی های بزرگ اقیانوس پیما برسد. در فرآیند ریخته گری اگر قطعه حاصل از تولید به شکل نهایی باشد آن را قطعه ریختگی (Casting) و اگر به شکل واسطه باشد که بعدا به شکلهای و مقاطع مختلف تبدیل شود آن را شمش (Ingot) می نامند .

ریخته گری اساسا به فرآیندی گفته می شود که طی آن ماده مذاب (معمولا یک فلز مذاب) در فضای خالی قالبی که قبلا تهیه شده ریخته می شود ، سپس از انجماد شکل نهایی قالب را به خود بگیرد. امتیاز مهم ریخته گری در امکان تهیه اشکال پیچیده، قطعات با سطوح منحنی نامنظم، قطعات خیلی بزرگ و قطعاتی که امکان ماشینکاری آنها دشوار است، می باشد. امروزه تقریبا تمام فلزات را می توان ریخته گری کرد، اما این نکته همیشه باید مد نظر باشد که از هر فرآیند شکل دهی زمانی استفاده می کنیم که در مقایسه با روشهای دیگر مقرون به صرفه بوده و دسترسی به تجهیزات و لوازم آن آسان باشد. البته هر فرایند شکل دهی مواد از عواملی نظیر تعداد ، اندازه، کاربرد قطعه و توجیه فنی و اقتصادی تاثیر پذیر خواهد بود. فلزاتی که غالبا در ریخته گری مورد استفاده قرار می گیرند عبارتند از: آهن، فولاد، آلومینیم، برنج، برنز و بعضی از آلیاژهای روی. با توجه به اینکه تقریبا فلزات خالص به ندرت در صنایع استفاده می شوند معمولا ترکیبی از فلزات و غیر فلزات که به آنها آلیاژ می گویند مورد استفاده قرار می گیرد. در میان این آلیاژهای چدن از نظر خواص مطلوب ریخته گری از قبیل سیالیت در حالت مذاب، انقباض نا چیز بعد از سرد شدن ، استحکام کافی و موارد کاربرد، بیش از سایر فلزات به روش ریخته گری شکل داده می شود. در حالیکه فلزات دیگری از قبیل آلومینیوم به علت وزن

کمتر و مشخصات مخصوص در بعضی از صنایع از قبیل صنعت خودرو سازی ، به تدریج جای آهن را می گیرد.

عموما مراحل ریخته گری فلزات به شرح زیر است

✓ طراحی قطعه مورد نظر و تهیه نقشه ریخته گری از آن.

✓ تهیه مدل مناسب قطعه از روی نقشه های ریخته گری .

✓ تهیه مذاب از فلز مورد نظر با آنالیز مطلوب .

✓ تهیه قالب مناسب یا فضای خالی که به شکل قطعه است.

✓ تهیه ماهیچه برای مناطق تو خالی قطعه ریختگی و نصب آن در داخل قالب .

✓ ریختن فلز مذاب به داخل قالب با دما و سرعت مناسب به طوریکه گازهای متصاعد شده بتوانند از داخل قالب خارج

شوند و فضای قالب به طور کامل از فلز مذاب پر شود .

✓ کنترل سرد شدن فلز مذاب در داخل قالب به طوری که بر اثر انقباض، فضای خالی یا حفره در داخل قطعه ایجاد

نشود. بعد از انجماد قطعه ریختگی به راحتی باید بتواند از درون قالب بیرون بیاید قسمتهای اضافی که به قطعه چسبیده اند

باید به آسانی از قطعه جدا شوند.



تهیه قالب یکی از مهم ترین مراحل ریخته گری فلزات می باشد. توجیه پذیری اقتصادی، تعداد قطعه، اندازه قطعه،

کیفیت سطح قطعه، پیچیدگی شکل قطعه از عوامل مهمی هستند که در قالب گیری یا تهیه قالب قطعات ریختگی باید

مدنظر قرار بگیرند. امروزه مهمترین روشهای قالب گیری (تهیه قالب) فلزات به شرح زیر می باشند :

✓ ریخته گری در قالب ماسه ای

✓ ریخته گری در قالب دائمی بدون فشار

✓ ریخته گری در قالب دائمی تحت فشار (دایکاست)

✓ ریخته گری گریز از مرکز که عمدتاً در داخل قالب های فلزی صورت می گیرد. گرچه ممکن است در داخل قالب های ماسه ای نیز انجام شود

✓ ریخته گری بامدل های ذوب شدنی (Lost Wax Casting) و (Lost Foam Casting) که ریخته گری دقیقی برای قطعات بسیار بزرگ تکی می باشد

✓ ریخته گری پوسته ای (Shell Molding)

ریخته گری در قالب گچی (Plaster Molding) که معمولاً برای قطعات دقیق و زینتی به کار می رود که از آلیاژهایی که نقطه ذوب پائینی (کمتر از ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد) دارند، ساخته می شوند.

تهیه مدل

مدل دقیق مشابه قطعه ریختگی می باشد که تغییراتی بر حسب نیاز بر روی آن انجام می شود. مدل های دائمی بر حسب تعداد قطعات ریختگی از چوب، پلاستیک های فشرده یا آلومینیم ساخته می شوند. در ساخت مدل پارامترهایی باید مد نظر قرار بگیرند که عبارتند از: اعمال ضریب انقباض فلز، شیب مدل، گوشه اضافی برای ماشین کاری، اعمال ضریب انقباض فلز. معمولاً اکثر فلزات به هنگام انجماد انقباض حجمی از خود نشان می دهند و قطعه پس از انجماد بطور پیوسته تارسیدن به دمای محیط منقبض می شود. این انقباض ممکن است تا ۶ درصد نیز برسد. بنابراین در ساختن مدل حتماً باید انقباض حجمی فلز منظور شود. نسبت کاستی به حجم قطعه موجود به بیش از ۲ درصد یا ۰/۲۵ اینچ در فوت می رسد. ضریب انقباض برای چند فلز معمول مهندسی به شرح زیر است: چدن ۰/۸٪، الی ۱٪، فولاد ۱/۵٪، الی ۲٪، آلومینیم ۱٪، الی ۱/۳٪، منیزیم ۱٪، الی ۱/۳٪ و برنج و برنز ۱/۵٪.

معمولاً این ضرایب بر روی خط کش های مخصوص اعمال می شوند که مدل ساز برای ساخت مدل از خط کش مخصوص استفاده می کند. اگر قرار باشد مدل فلزی از روی مدل چوبی ریخته گری شود، در مدل چوبی علاوه بر

ضرایب انقباض قطعه، ضرایب انقباض مدل فلزی نیز منظور می شود. البته استفاده از خط کش های انقباض باید با دقت کافی انجام گیرد، زیرا انقباض حرارتی تنها عامل موثر بر تغییر ابعاد هنگام انجماد نیست. تبدیل های فازی شامل واکنش یوکتوئیدی، مارتنزیتی و گرافیتی شدن، نیز میتوانند موجب انقباضها یا انبساط های قابل توجهی شوند. در ریخته گری مدل های دائمی حتما باید مدل بتواند به راحتی از داخل قالب بیرون بیاید. بنابراین قالب معمولا دو تکه است. رعایت دقت محل جدایش یا سطح جفت شونده دو قسمت قالب بسیار مهم است. همچنین برای سطوحی از مدل که به موازات جهت خروج از قالب هستند، باید شیب مناسبی منظور نمود. اگر سطوح مدل دقیقا به موازات جهت خروج از قالب باشد بر اثر اصطکاک سطوح مدل با دیواره های قالب در موقع درآوردن مدل از قالب سطوح و دیواره های قالب کنده می شود. این اشکال در گوشه ها و زاویه های تیز دیده خواهد شد. برای جلوگیری از این کار در این گونه صفحات شیبی منظور می شود که با شکل، اندازه و عمق مدل در ماسه متناسب می باشد. در اکثر قطعات ریختگی، قطعات بعد از فرآیند ریخته گری، برای رسیدن به صافی سطح مطلوب و اندازه واقعی به انواع مختلفی از عملیات ماشین کاری نیاز خواهند داشت. برای انجام این ماشین کاری ها ابعاد مدل یا قطعه ریخته گری را تا اندازه ای بزرگتر از قطعه واقعی در نظر گرفته می شود. این ابعاد اضافی را گوشت اضافی برای ماشین کاری می نامند.

آماده سازی ماسه قالب گیری

ماسه ای که برای ساخت قالب های ریخته گری به کار می رود عمدتا اکسید سیلیسم است. برای فلزاتی که نقطه ذوب بالایی دارند، از قبیل فولادها، از اکسید زیرکونیم استفاده میشود. قالبی که از ماسه ساخته می شود باید استحکام کافی برای ریخته گری سالم قطعه را داشته باشد. علاوه بر آن هر ماسه ریخته گری حتما باید دارای مشخصات زیر باشد:

✓ دیر گدازی یا قابلیت تحمل دمای فلز ریخته گری

✓ چسبندگی یا قابلیت نگهداشتن شکل مطلوب پس از قالب گیری

✓ نفوذپذیری یا قابلیت عبور دادن گازها از خود

✓ قابلیت متلاشی شدن پس از انجماد فلز

در تعیین مشخصات ماسه آزمایشهای استاندارد روی ماسه برای تعیین پارامترهای زیر انجام می گیرد:

شکل ماده ، اندازه دانه ، توزیع دانه بندی ، دمای ذوب ماسه ، ناخالصی های ماسه (میزان خاک رس و سایر اکسیدهای زود گداز)، سختی، استحکام، نفوذ پذیری بعد از فشرده شدن (تر و خشک)، تاثیر مقادیر افزودنی ها روی خواص ماسه .

تاریخچه

نام سیلیس Silicon از واژه لاتین (Silicis) به معنی (flint) سنگ سخت، سنگ آتش زنه یا سنگ چخماق گرفته شده است. سیلیس در سال ۱۸۲۴ توسط Jöns Jacob Berzelius در سوئد کشف شد. سیلیس متبلور در سال ۱۸۵۴ توسط Deville یک شکل آلوتروپ از عنصر را کشف نمود.

اکسید سیلیسیم (SiO_2) یا سیلیس ترکیبی شیمیایی است که به صورت خالص و یا به صورت ترکیب در کانی های سیلیکاته در مجموع ۹۰ درصد پوسته جامد زمین را تشکیل می دهند. نام سیلیس Silicon از واژه لاتین (Silicis) به معنی (flint) سنگ سخت، سنگ آتش زنه یا سنگ چخماق گرفته شده است. سیلیس به عنوان دومین عنصر فراوان در پوسته زمین با فراوانی ۲۵٪ می باشد. سیلیس غیرفلزی است سخت به رنگ بیرنگ تا سفید رنگ و یا خاکستری تیره با نماد Si، عدد اتمی ۱۴، وزن اتمی ۲۸/۰۸۵، وزن مخصوص ۲/۳۳ گرم بر سانتی متر مکعب، سختی ۷ در مقیاس موس، رنگه خاکی سفید، فاقد کلیواژ ، نقطه جوش ۲۳۵۵ درجه سانتیگراد درجه سانتی گراد و نقطه ذوب ۱۴۱۰ درجه سانتی گراد . سیلیس در گروه ۱۴ جدول تناوبی به عنوان غیرفلز بوده و در دوره ۳ قرار دارد. سیلیس جزء اصلی ماسه سنگ و ماسه سیلیسی، کوارتز و کوارتزیت، بلور کریستال، تریپلی و نواکولیت، سیلیس مصنوعی و سیلیکون شیمیایی، کانی های رسی، گرانیت، سنگ چماق و دیاتومیت می باشد. ماده معدنی سیلیس جهت تأمین نیازهای صنعتی کشور می بایست از علوم نظری، علوم مهندسی و تکنولوژیهای مختلف بخصوص تکنولوژی فرآوری بهره گیرد.

معادنی که در محیط های خشک در نزدیکی شهر و روستا قرار دارند، تولید گرد و غبار زیادی می کنند که ایجاد آلودگی می کند و هر چه سیلیس سست باشد، گرد و غبار ایجاد شده بیشتر می شود. در این صورت باید طراحی معدن به شکلی باشد که حداقل جابجایی خاک را موجب شود. آژانس بین المللی سلامت جهانی سیلیس متبلور را به عنوان ماده سرطانزا معرفی کرده است. برای مثال مواد شیمیایی و معدنی که ۱/۰٪ یا بیشتر سیلیس متبلور داشته باشند، براساس استاندارد موسسه سلامت و بهداشت جمعیت برای مقابله با خطرات ناشی از ارتباط با محیط آلوده در آمریکا تحت

نظارت قانون قرار گرفته اند، به طوری که به صورت قانون کار، آموزش کارگران و برچسب زدن بر چنین محصولاتی مطابق روش های اعلام شده برای مواد سرطان زای می بایست انجام گیرد. گرچه قرار گرفتن در معرض غبار کوارتز و محصولات سیلیسی، جراحاتی در ریه ها به وجود می آورد، با این حال منجر به مرگ نمی شود. عادی ترین علت مرگ در کسانی که با غبار سیلیسی در تماسند، بیماری سل است. به طور کلی، اگر مقدار زیادی غبار وارد ریه ها شود، سبب مرگ می گردد. با این حال، با پیشگیری ها و نیز تهویه مناسب و استفاده از فیلترها، تا حد زیادی می توان از بروز امراض یا مرگ در اثر غبار کانی ها جلوگیری کرد. با توجه به شرایط اقلیمی، محیط زیست و منابع طبیعی، امتیازات و محدودیت های ویژه ای برای بهره برداری از معادن وجود دارد. در معدنی که در محیط های خشک قرار دارند، فعالیت معدنی در نزدیکی شهر و روستا توأم با تولید گرد و غبار است که ممکن است محدودیت های قانونی بوجود آورد. حفظ پوشش گیاهی در مناطق گیاه دار در سرلوحه ماموریت سازمان منابع طبیعی قرار دارد. ضریب تخریب و اصلاح در هر منطقه با توجه به بقاء یا نابودی گونه های مختلف گیاهی متفاوت است و طراح باید هنگام طراحی از برنامه های منابع طبیعی اطلاع داشته باشد.

ماسه سنگهای سیلیسی، سنگهای تخریبی هستند که از دانه های خرد شده سنگهای سیلیسی تشکیل شده اند. کانی عمده تشکیل دهنده ماسه سنگهای سیلیسی اغلب کوارتز بوده و ممکن است فلدسپات و یا سیلیکات های دیگر نیز همراه با کانیهای دیگر در خمیره ای از سیمان سیلیسی موجود باشند. نوع متراکم و دگرگون شده ماسه سنگهای سیلیسی که دارای تبلور ثانوی است کوارتزیت نامیده می شود. در صنایع ریخته گری و ماسه های سیلیسی در انواع مختلف از نظر درجه خلوص، دیرگذاری، اندازه و توزیع دانه بکار برده می شوند این ماسه ها به صورت منابع طبیعی و به شکل سطحی مانند تپه های شنی و سواحل دریا، در زیر آب رودخانه ها و دریاچه ها و اعماق کف دریاها و هم در سطح زمین در بسیاری از نقاط جهان به صورت کانیهای گوناگون یافت می شوند. در هر حال ماسه ها پس مانده صخره هائی هستند که توسط عوامل طبیعی نظیر سایش، یخبندان، باد و آب شکسته شده اند. درجه خلوص ماسه به تاریخچه زمین شناسی و نحوه بوجود آمدن آن بستگی دارد. معادن ماسه سواحل دریاچه ها و کناره دریا درجه خلوص بالاتری از ماسه رودخانه دارند. ماسه های رودخانه ای معمولاً دارای ساختمان دانه ای گوشه دار همراه با توزیع غیر منظم و نامرتب دانه ها هستند.

ماسه موجود در کناره یخچال های طبیعی پیشرونده، رودخانه ها و بستر دریاچه ها ممکن است به صورت کاملاً دقیقی دانه بندی شده باشند. از طرف دیگر معادن ماسه ای سطحی مانند تپه های شنی که توسط باد ایجاد می شوند و ماسه های ساحلی معمولاً دارای اندازه دانه کوچک و دانه بندی دقیق بوده ولی درجه خلوص آنها پایین است. منابع ماسه زیر سطح زمین که در دوران های مختلف زمین شناسی ایجاد شده اند و ماسه های دریائی دارای ذرات ریز خاک رس بوده که همین عامل، شستشو و دانه بندی آنها را قبل از مصرف الزامی می سازد.

تا شروع قرن حاضر ماسه های چسبدار طبیعی اساس مواد قالب گیری جهت ساخت قطعات ریخته گری را تشکیل می دادند ماسه با چسب طبیعی، ماسه ای است که دارای مقدار کافی خاک رس فعال (از ۵ تا ۲۰٪) و در بعضی مواقع حاوی مواد آلی باشد. این نوع ماسه برای اینکه استحکام لازم جهت قالب گیری را بدست آورد فقط احتیاج به رطوبت دارد. از این نوع ماسه برای آلیاژهای آلومینیوم و فلزات غیر آهنی با نقطه ذوب پایین استفاده می شود ولی این ماسه ها بطور کلی برای ریخته گری آلیاژهای آهنی و فولادهای مناسب نیستند. بهر حال فراوانی ماسه هائی با درصد سیلیس بالا و خاک رس کم و دشواری ساخت قطعات ریخته گری فولادی مرغوب با ماسه های چسبدار طبیعی، باعث توسعه و پیشرفت ماسه ای شد که امروزه ماسه قالب گیری مصنوعی نامیده می شود. اصطلاح مصنوعی در اینجا به این مفهوم نیست که ماسه مزبور مصنوعی است، بلکه در واقع بخش اعظم اجزاء ماسه مصنوعی را عناصر طبیعی تشکیل می دهند که با اضافه کردن تعدادی مواد دیگر و آمیختن آنها بطور مصنوعی خواص ماسه چسبدار طبیعی به آن داده شود. ماسه مصنوعی عبارتند از: قیمت کمتر برای حجم های زیاد، در دسترس بودن، دارای قابلیت بازیابی و مصرف مجدد و درجه دیرگذاری بالا. علاوه بر آن، خواص قالب گیری ماسه مصنوعی را می توان با دقت کنترل کرد و برای ریخته گری انواع فلزات آهنی، غیر آهنی و یا قطعات فولادی از آن استفاده نمود. بخاطر مزایای فوق الذکر ماسه مصنوعی نسبت به ماسه طبیعی، اغلب ریخته گری هائی که قطعات ریخته گری از فلزات و آلیاژهایی با نقطه ذوب بالا تهیه می کنند، از ماسه مصنوعی استفاده می نمایند.

۲-۱ تعریف محصول

ذرات در حد ماسه که از مقاومت و دوام زیادی برخوردار باشند مصارف صنعتی و ساختمانی متنوعی دارند. به این منظور، معمولا از ذرات سیلیسی استفاده می شود. در حال حاضر کشور ما سیلیس به صورت ماسه سیلیسی دارای دانه بندی های مناسب به مصرف می رسد. این ماسه ها ممکن است مستقیما از معادن ماسه طبیعی استخراج و به مصرف برسد یا اینکه از ماسه سنگ های سیلیسی یا کوارتزیت استفاده شود. در حالت اخیر، سنگ به کارخانه های تهیه کننده پودر سیلیس حمل شده و پس از خرد و دانه بندی شدن به بازار مصرف ارائه می شود. عمده ترین مصارف صنعتی ذرات سیلیسی در حد ماسه و ریزتر از آن را می توان به نحو زیر خلاصه کرد.

عمده ترین مصارف صنعتی ذرات سیلیسی در حد ماسه و ریزتر

۷ شیشه سازی

قسمت عمده مصرف سیلیس کشور در شیشه سازی است. سیلیس مورد نیاز برای شیشه سازی باید دارای عیار بالا، ترکیب شیمیایی یکنواخت و عاری از مواد آهنی رسی و آهنکی باشد. برای تهیه شیشه مرغوب و بلور (کریستال)، مقدار سیلیس سنگ مورد استفاده باید از ۹۹ درصد بیشتر و مقدار آهن آن از ۰/۱۲ درصد کمتر باشد.

۷ تصفیه آب

از ماسه های سیلیسی برای تصفیه آب نیز استفاده می شود. در تصفیه خانه ها در قسمت تحتانی از ماسه سیلیسی با دانه بندی ۰/۴ تا ۰/۷ میلیمتر، در قسمت وسط از دانه بندی ۰/۸ تا ۱/۲ میلیمتر و در بالا از ماسه های با دانه بندی ۳ تا ۶ میلیمتر استفاده می شود.

۷ نما سازی

در این مورد دانه ها را با چسب مخصوص به یکدیگر پیوند داده در نما سازی به مصرف می رسانند. رنگ، فرم و یکنواخت بودن دانه ها از ویژگی های مهم مصالح بکار گرفته شده در نما سازی است. ماسه های دارای ناخالصی های آهن اکسید، ککوکونی و غیره که به رنگ های قرمز، سبز، سیاه و غیره می باشد، نیز در نما سازی مصرف دارند.

۷- بلوک سازی

یکی دیگر از مصارف ماسه سیلیسی ، تهیه قطعات و آجرهای ماسه سیلیسی است. این مصالح از مخلوط ماسه سیلیسی و آهک با سیمان بدست می آیند.

۷- پشم شیشه

با مخلوط نمودن پودر سیلیس و موادی از جمله فلدسپات و دولومیت ، با نسبتها و فرمولهای معینی پشم شیشه تهیه می شود. امروزه پشم شیشه کاربرد گسترده ای به عنوان عایق در صنعت ساختمان دارد.

۷- تهیه لعاب

یکی دیگر از کاربردهای سیلیس تهیه لعاب کاشی و سرامیک است. در اینجا ماده سیلیسی را با نسبت معینی با مواد معدنی دیگر از قبیل بوراکس ، سنگ آهک ، کائولن ، روی ، اکسید ، منیزیت ، دولومیت ، سود ، فلدسپات ، تالک و غیره مخلوط نموده و لعابهایی با رنگهای مختلف تهیه می نمایند.

۷- چینی و کاشی سازی

کارخانه های تولید چینی و کاشی سازی با مخلوط نمودن ماده سیلیسی با سایر مواد (از جمله کائولن ، دولومیت و غیره) چینی و کاشی تهیه می نمایند.

۷- ماسه سنگ بر و سنگ ساب

ماسه سیلیسی خالص ، محکم کاملاً جور شده و دانه درشت است که عاری از ذرات ریز و پهن می باشد. این ماسه برای ساییدن اولیه سطوح سنگی واره کردن آنها بکار می رود.

۷- ماسه به عنوان مصالح پرکننده در معادن

در برخی نقاط مقادیر زیادی از ماسه به عنوان پرکننده پشت کار در معادن مصرف می شود. مهمترین خاصیت ماسه ای که به این منظور استفاده می شود سرعت جذب آن است. پرکننده ماسه ای باید متخلخل و به اندازه کافی نفوذپذیر باشد تا آب بتواند به سادگی از آن عبور کند. بطور تجربی ، ماسه های دارای نفوذپذیری ۱۵ سانتیمتر بر ساعت ، یا بیشتر از آن ، مفید تشخیص داده می شوند.

۷ ماسه پاشی

برای تمیز کردن سطوح وسایل فلزی (مانند مخازن فلزی بزرگ ، کشتیها و قالبهای فلزی) از زنگ یا دادن جلای مجدد به سطوح آنها ، ماسه سیلیسی با فشار زیاد به توسط هوا یا آب بر سطح آنها پاشیده می شود. ویژگیهای دانه ها در اینجا خلوص ، مقاومت و سختی زیاد آنها ودانه بندی مناسبشان است.

۷ تهیه سموم

مخلوطی از پودر نرم سیلیس و داروهای شیمیایی مناسب به عنوان سموم دفع کننده آفات نباتی بکار گرفته می شوند.

۷ ذوب آهن

یکی از مصارف سیلیس در ذوب آهن و در کوره بلند است. علاوه بر آن ، ماسه سیلیسی برای کلوخه کردن سنگ آهن نیز استفاده می شود. ماسه سیلیسی نشسته و با ذراتی نه دقیقا یک اندازه ، برای آستر کردن کوره های فولادی الکتریکی و جز آن نیز مصرف می شود.

۷ ماسه تزریقی

یکی دیگر از کاربردهای ماسه سیلیسی ، تزریق با فشار آنها به داخل لایه های نفت دار می باشد. در اینجا ماسه ها با فشار وارد سطح لایه بندی و درزها شده ، به نحوی که پس از برداشته شدن فشار ، ماسه ها شکافها را باز نگهداشته و نفوذ پذیری لایه ها افزایش می یابد. معمولا ماسه های سیلیسی با اندازه های مابین الکهای ۱۶ الی ۶۰ مورد استفاده قرار می گیرند.

۷ سیلیسیم کاربید

عبارت است از ماده ای بلوری به رنگهای آبی یا سیاه ، غیر قابل حل در آب و بسیار مقاوم که به صورت ماده ساینده ، منعکس کننده حرارت و جز اینها مصرف می شود. به این منظور معمولا از ماسه سیلیسی که حداقل ۹۹/۲۵٪ سیلیس داشته باشد، استفاده می شود. در اینجا وجود مقدار کمی آهن و Al_2O_3 قابل تحمل است (در صورتی که مقدار آن در کل مصالح بکخواخت باشد) ولی حضور موادی مانند آهک، منیزیم و مواد فسفردار، زیان آور و نامناسب می باشند.

۷ ماسه شیشه ساب

عبارت است از ماسه سیلیس تمیز و مقاوم ، عاری از مواد خارجی ، دانه ریز تا متوسط که برای پرداخت و سایش مقدماتی و نیمه نهایی سطوح شیشه ای بکار گرفته می شود.

۷ ریخته گری

یکی دیگر از مصارف مهم ماسه های سیلیسی کاربرد آن در ریخته گری و قالب ریزی ابزار و ادوات فلزی (موضوع اصلی طرح حاضر) است. ماسه ریخته گری بسته به کاربرد آن (ماسه پشت قالب ، ماسه روی قالب ، ماسه ماهیچه ، ماسه قالب گیری مرطوب) از مشخصات مختلفی برخوردار است. ویژگیهای عمومی ماسه ریخته گری عبارتند از : مقاومت زیاد در برابر حرارت ، ضریب انبساط حرارتی پایین ، قابلیت عبور گازها ، قابلیت انتقال حرارت ، قابلیت شکل گیری و قابلیت فروریزی . ماسه ریخته گری را می توان از ماسه طبیعی ، ماسه سنگ سیلیسی و کوارتزی بدست آورد. در کشور ما بیش از همه از ماسه سیلیسی استفاده می شود..

آنالیز شیمیایی ماسه ریخته گری

درصد	ترکیب شیمیایی	درصد	ترکیب شیمیایی
۰/۱۱-۲/۴	آهک	۷۸-۹۸	سیلیس
۰/۰۲-۱/۸	اکسید منیزیم	۱/۲-۱۰/۲	آلومینا
۰/۷-۳/۳	اکسیدهای قلیایی	۰/۵-۱۰/۲	اکسید آهن
۰/۲- ۴/۱	افت حرارتی	۰/۰۴-۰/۰۵	اکسید تیتانیوم

انواع ماسه

ماسه سیلیسی : به طور گسترده ای در ریخته گری به کار میرود و عمده ترین ماسه مصرفی محسوب می شود. ترکیب اصلی آن سیلیس SiO_2 است.



ماسه زیرکن: ماسه زیرکن که با فرمول شیمیایی $ZrSiO_4$ مشخص می گردد و به عنوان یک ماسه با نقطه گداز بسیار بالا مورد توجه است.

ماسه کرومیتی: کرومیت یا $FeCr_2O_4$ ترکیب اصلی این ماسه است و از آن در ریخته گری فلزات با نقطه ذوب بالا استفاده می شود.

ماسه اولوین: ترکیب این ماسه Fe_2SiO_2 یا Mg_2SiO_2 است و مخلوطی است از سیلیکات منیزیم و به عنوان ماسه جایگزین در بسیاری نقاط مورد توجه است.

ماسه شاموتی: ماسه شاموتی نوعی کوارتز دانه ریز است که حرارت زیاد دیده است و به عبارت دیگر ماسه ای است که از زینتر کردن ذرات خاک رس به دست می آید.

نگرشی به ماسه های سیلیسی مصرفی ایران: ماسه مصرفی به دو نوع ماسه با چسب طبیعی و مصنوعی تقسیم میگردند.

ماسه با چسب طبیعی

ماسه با چسب طبیعی محتوی تا ۲۰ درصد خاک ریز و مواد ناخالصی می باشد. کیفیت این نوع ماسه برای قالبگیری ماهیچه سازی بستگی عواملی مانند مقدار چسب، ترکیب شیمیایی ناخالصی و نوع مذاب ریختگی دارد. این ماده در طبیعت بصورت آماده شده وجود دارد. برای استفاده از این نوع ماسه ها تنها مرطوب کردن آنها کافیت از این نوع ماسه در ریخته گری فلزات غیر آهنی با نقطه ذوب پایین نظیر آلومینیوم، برنج ها، برنز ها و قطعات کوچک چدنی استفاده میشود. بطور قطع اینگونه ماسه ها برای ریخته گری قطعات بزرگ چدنی مناسب نیست معایب عمده این نوع ماسه ها عبارتند از: پایین بودن درجه دیرگدازی، همراه داشتن درصد تقریباً زیادی اکسید های قلیایی و آهک.

وجود اسیدهای قلیایی در این نوع ماسه باعث پایین آوردن درجه دیرگدازی آن گشته و در نهایت باعث ایجاد عیوبی نظیر ماسه سوزی و چسبیدن ماسه به قطعات ریختگی می شود. از طرف دیگر مواد آهکی در اثر حرارت دیدن به صورت گاز درآمده و در صورتیکه قطعات ریختگی بزرگ و دارای ضخامت زیاد باشند فرصت ورود به مذاب را داشته و در قطعات ریختگی به صورت مک و حفره های گازی باقی می ماند. از آنجائیکه این ماسه در نقاط مختلف ایران به وفور یافت می شود و نسبتاً ارزان در دسترس ریخته گران قرار می گیرد. لذا در اکثر واحدهای کوچک و متوسط ریخته گری ایران به طور وسیعی در مواد قالبگیری و ماهیچه سازی مصرف دارد. ماسه گرگان، رشت، گرمسار، اردکان، یزد، حسن آباد

قم، عین آباد، محلات و اطراف یزد جزء این گروه ماسه ها هستند. ماسه های طبیعی بر حسب میزان خاک رس موجود در آنها به سه دسته تقسیم میشوند:

✓ ماسه ضعیف که حداکثر تا ۸٪ خاک رس دارد.

✓ ماسه متوسط که بین ۸ تا ۱۸٪ خاک رس دارد.

✓ ماسه خاک یا ماسه ملات که بیش از ۱۸٪ خاک رس دارد.

معمولا خاک ماسه های طبقات زیرین بیشتر از لایه های سطحی می باشد و ریختگران بایستی پس از آزمایشات دقیق، ماسه مطلوب خود را تهیه نمایند. در ریخته گری معمولا از ماسه های متوسط استفاده می شود.

ماسه های مصنوعی

ماسه مصنوعی از شکستن، خرد کردن و غربال کردن سنگهای سیلیس به دست می آیند که با اضافه کردن چسب و مواد دیگر قابلیت قالبگیری در آنها ایجاد می گردد. ماسه مصنوعی در مقایسه با ماسه طبیعی دارای مزایای زیر می باشد:

✓ درجه دیرگدازی و خلوص بالاتر.

✓ سهولت در کنترل مشخصات فیزیکی و مکانیکی مخلوط.

✓ قابلیت بازسازی و مصرف مجدد.

✓ در دسترس بودن.

محدودیت اصلی ماسه های مصنوعی در مقابل ماسه های طبیعی بالا بودن قیمت تمام شده آنها می باشد. با این وجود این ماسه ها می توانند بخوبی نیازهای صنایع ریختهگری ایران را در زمینه چدن و فولادریزی (به استثنای فولادهای خاص که به مصرف ماسه های زیرکونی کرومیتی و اولوینی نیاز دارند) تامین کنند. این نوع ماسه رایج ترین ماسه ها قالب گیری در واحدهای ریختهگری می باشد و انواع ذرات سیلیسی به عنوان ماده اصلی و دیرگداز ماسه ریخته گری به کار می رود. بیشتر ماسه های قالب گیری از کوارتز معدنی که می تواند تا دمای ۱۷۰۰ درجه سانتیگراد را تحمل کند تشکیل شده است. شکلهای دیگر سیلیس تریدیمیت و کریستومالیت می باشد.

وجود اکسیدهای آلومینیوم و آهن خاصیت دیرگدازی ماسه را افزایش میدهند و حضور اکسیدهای پتاسیم و سدیم و ترکیبات میکا چسبندگی و شکل پذیری ماسه را زیاد و قابلیت دیرگدازی آن را کاهش می دهد و لذا در ترکیبات ماسه

سیلیس وجود اکسید های قلیایی و قلیایی خاکی مضر تشخیص داده می شود. علاوه بر مسئله فوق وجود انواع اکسید ها باعث ایجاد رنگ های قرمز و قهوه ای، اکسید های سدیم و پتاسیم رنگ ماسه را متمایل به آبی می نماید. علاوه بر ترکیبات شیمیایی که خاصیت دیرگدازی ماسه را تحت تاثیر قرار میدهد مشخصات فیزیکی ماسه مانند اندازه، پخش و شکل ذرات نیز باید مناسب باشد.

نگرشی به ماسه های کرومیتی و اولیونی ایران

کرومیت و اولوین در صنایع ریخته گری دارای مصارف متعدد و متنوع بوده و لذا ضرورت شناخت منابع آن در ایران و جایگزینی مواد بومی به جای منابع وارداتی وجود دارد. موارد اصلی مصرف کرومیت و اولوین به قرار زیر است:

✓ در ساخت جداره کوره ها، پاتیل ها و ابزارهای کمکی ذوب و استفاده از آنها به عنوان یک دیرگداز مناسب.

✓ به عنوان یک ماسه مناسب ریخته گری در تولید.

✓ انواع فولادهای ریختگی بویژه فولادهای استنیتی منگیزی.

✓ قطعات بزرگ چدنی.

✓ استفاده از آنها به عنوان ماسه رویه در تولید سری قطعات چدنی (قالبگیری ماشینی و استفاده از ماسه تر) بویژه در قسمتهای فوقانی قطعات که تمایل به ماسه ریزی (ناشی از انبساط غیر پیوسته ماسه سیلیسی) دارند.

✓ پودر کرومیت و اولوین را می توان در تهیه بعضی از دوغاب های اولیه دیرگداز در ریخته گری دقیق استفاده کرد و ماسه های کرومیتی و اولوینی نیز می توانند به عنوان دیرگداز در پشت بند (بویژه در مورد قالبهای سرامیکی) مورد استفاده قرار گیرند.

معرفی استانداردها

برخی از استانداردهای مرتبط با سیلیس

شماره استاندارد	عنوان استاندارد
۵۴۲۶	ماسه زیرکن مورد مصرف در ریخته گری - ویژگی ها

برای انواع سیلیس طبیعی تخلیص شده استاندارد ملی تدوین نشده است و استانداردهای بین المللی آن عبارتند است :

ASTM D۶۰۴ - ASTM D۷۱۹

مشخصات فنی محصول

ویژگی	سیلیس تخلیص شده	سیلیس شسته شده
چگالی	۲/۲-۲/۶	۱/۸-۲/۸
درصد SiO_2	حداقل ۹۳	۸۰-۷۵
اندازه ذرات	کمتر از ۱۰ میکرون	بالاتر از ۱۰ میکرون
حلالیت	نامحلول در آب و اسیدها (به جز HF)	کم محلول در آب / جذب روغن ۳۰ گرم در ۱۰۰ گرم

معرفی کدهای آیسک

جدول کدهای آیسک مرتبط با ماسه ریخته گری

نام محصول	کد آیسک
ماسه ریخته گری	۱۴۲۹۱۵۱۷
ماسه ریخته گری	۲۶۹۹۱۴۷۵
سیلیس	۱۴۲۹۱۳۲۶
دانه بندی و فرآوری سیلیس	۲۶۹۹۱۴۵۴

بسته بندی انواع سیلیس در کیسه های کاغذی با لایه پلاستیکی دو لایه به منظور جلوگیری از جذب رطوبت با اوزان ۵۰ کیلو گرمی می باشد. لازم به ذکر است ماسه ریخته گری مشتمل بر نود و هشت درصد SiO_2 زیر ۲۰۰ مش و cao-mgo محدود می باشد (چرا که مقدار اسید مصرفی که عامل اندازه گیری مقدار جوش دهنده مورد نیاز است را کاهش می دهد). لازم به ذکر است از موادی مانند بوکسیت و آلومینا ، کرومیت ، رس ، الیوین ، پرلیت ، ورمیکولیت و زیرکن می توان به عنوان محصولات جانشین نام برد .

در صنایع رنگ انواع سیلیس با سایر رنگدانه ها و مواد افزودنی قاجل جایگزینی است ولی در پوشش های که توان تحمل سایش و یا تحمل حرارت بالایی خواهند ، ماده معدنی سیلیس بهترین است . به عنوان دانه های ساینده استفاده از دانه های سیلیس بسیار متداول است ولی در برخی موارد با دانه ها که فلزی جایگزین می گردد . در صنعت تولید شیشه های خاص مصرف سیلیس خالص مناسب تر است . ولی برخی از مصرف کنندگان ماسه طبیعی را جایگزین مصارف فوق می نمایند که البته با مشکلات زیادی همراه است .

۳-۱ دلایل انتخاب محصول (صنعت) مورد نظر و کاربردهای محصول

سیلیس

به طور کلی موارد مصرف سیلیس SiO_2 عبارت است از: شیشه سازی، چینی سازی، تولید فروسیلیس، سرامیک سازی، تولید آجر ماسه آهکی، ریخته گری، تولید سیلیکات سدیم، تولید دیگر مواد سیلیسی، به عنوان نیمه هادی در صنعت الکترونیک و تولید پشم شیشه. مقادیر عظیمی از ماسه سنگ خرد شده به عنوان مصالح ساختمانی بکار می رود . سیلیس مصرفی در هر یک از این صنایع باید کیفیت خاصی داشته باشد. ترکیب شیمیایی، ساختمان کانی شناسی و خواص فیزیکی سیلیس، تعیین کننده کیفیت و موارد مصرف آن در هر یک از صنایع مذکور می باشند. ترکیب شیمیایی سیلیس در واقع عبارت است از درصد SiO_2 موجود در سنگ و نیز درصد هریک از اکسیدهای دیگر که معمولاً به همراه SiO_2 در کانسارهای مختلف وجود دارند و در صورتی که درصد هر یک از آنها از حد معینی تجاوز نماید، کاربرد آن را در صنایع مختلف محدود و یا غیر ممکن می سازد. علاوه بر درصد SiO_2 ، ساختمان کانی شناسی سنگ نیز در تعیین کیفیت و موارد مصرف آن نقش مهمی دارد زیرا ممکن است SiO_2 به صورت انواع سیلیکات ها وجود داشته باشد، در

نتیجه این مسئله در تعیین روش کانه آرائی و چگونگی حذف ناخالصی ها تأثیر خواهد داشت. خواص فیزیکی سیلیس نیز در همین روش مناسب برای خردایش، دانه بندی پودر سیلیس تولید شده و تعیین موارد مصرف پودر تولید شده تأثیر خواهند داشت.

لعاب: سیلیکا ماده تشکیل دهنده شیشه است، برای ساخت انواع شیشه مخصوص سیلیس با موادی از قبیل فلدسپار، نفلین سینیت، سودا و... ترکیب می شود.

سرامیک: کوارتز در ساخت انواع مختلف سرامیک و سرویس بهداشتی بکار می رود.

ریخته گری و نسوز: مقاومت کوارتز و سیلیس تا دمای ۱۴۷۰ C سبب شده از آن برای تهیه قالب های ریخته گری فلزاتی مانند فولاد، آهن سیاه، آلومینیم و آلیاژهای مس و همچنین به عنوان نسوز در ساخت کوره های آهن و فولاد، سرامیک، شیشه و سیمان بکار می رود. کاربردهای متفرقه دیگری مانند ساینده، پودر جلا، فیلتراسیون، شن و ماسه ساختمانی است. انواع گرد شده و با کیفیت برای باز کردن شکاف و افزایش نفوذ پذیری در تولید نفت و گاز بکار می رود. همچنین با پودر کردن آن می توان به عنوان پرکننده در رنگ، پلاستیک، لاستیک، بتونه و چسب استفاده کرد.

سیلیکات سدیم: سیلیکات سدیم به صورت گلوله های شفاف، بدون آب و پودر شیشه یا پودر آبدار خرید و فروش می شود. این ماده در کنترل ساینده گی لوله های آب و فرمول بندی لعاب و مینا بکار می رود. انواع محلول مایع آن در صابون سازی، پاک کننده های صنعتی و عمومی، چسب، سیمان سازی، رنگ و پوشش، قالب ریخته گری، شناور سازی کانه، پایدار سازی پراکسید و کنترل خوردگی در لوله های آب و پیش ماده سیلیس مخلوط زئولیت کاربرد دارد.

سیلیس ته نشین شده: از واکنش سیلیکات سدیم با اسید سولفوریک یا اسید کلریدریک طی شرایط مشخصی سیلیس ته نشینی تولید می شود که بدلیل خواصی از قبیل درخشندگی بسیار بالا و تخلخل کم از آن به عنوان پر کننده ریز دانه و ضد لغزش در لاستیک (لاستیک خودرو و کفپوش) PVC، پلی الفین، فیلم LDPE و جداکننده های ریز منفذی باتری های سربی، پخش کننده، حمل کننده و بسیاری موارد دیگر استفاده می شود.

سیلیس کلوئیدی

سوسپانسیونی از سیلیس ریز دانه در محیط آبی که به منظور اصطکاک در کاغذ و تخته، جوش دهنده نسوزهای فیبری، کاتالیزور و پیش ماده شیمیایی مصرف می شود.

سیلیس، نوع متالورژی

از واکنش کوارتز و کک در کوره قوس الکتریک و دمای بالای 2000°C ساخته شده و ۹۹٪-۹۸٪ Si دارد. از آن در تهیه آلیاژهای آلومینیم، فولاد، سوپرآلیاژ، سیلیکون و مواد شیمیایی استفاده می کنند. انواع دیگر سیلیس و ترکیبات آن مانند سیلیس پخته، خرد سیلیکون، نترات سیلیسیوم و... وجود دارند که هر یک کاربرد های مخصوص خود را داراست.

کوارتز بلوری

انواع شفاف و خوش نما برای تهیه عدسی و مخروط، جواهرسازی و نمونه کانی بکار می رود، از خاصیت پیزوالکتریک آن در الکترونیک استفاده می کنند.

تریپلی

سیلیس ریز بلور، متخلخل با وزن مخصوص ۲/۶۵، سختی ۷، سفید تا خاکستری که به عنوان پراکننده یارنگدانه در صنعت رنگ، لاستیک، پلاستیک، ساینده و بتونه بکار می رود، بعلاوه در پودرهای ساینده و جلا و ساینده دندان بکار می رود.

ماسه غیر سیلیسی

اولین ماسه غیر سیلیسی، ماسه زیر کونی ZrSiO_4 است و دو خاصیت مهم چگالی بالا و هدایت حرارتی بالا دارد. با استفاده از این دو خاصیت در مواقعی که احتیاج به سریع تر سرد شدن قطعه است می توان از ماسه زیر کونی استفاده کرد. این ماسه کمترین ضریب انبساط را دارد. این ماسه خاصیت زینتر بالایی دارد. علاوه براین با اکسید آهن واکنش نمی دهد. خاصیت نسوز بودن بالایی دارد. (از بقیه ماسه ها خاصیت نسوزی بیشتری دارد). خاصیت دیگر ماسه زیر کونی این است که عدد AFS بیشتری دارد. این ماسه در ماهیچه های پیچیده کاربرد دارد چون دمای زینتر بالایی دارد. میزان احتیاج به اسید پایینی دارد و می تواند با تمام چسب هایی شیمیایی به کار رود. عیوب آن عبارتند از: این ماسه گران است و کم می باشد و مقدار کمی عناصر رادیواکتیو دارد بنابراین باید تماس کارگران با این ماسه تا حد امکان کم گردد.

ماسه کرومیتی (FeCr_2O_4) چگالی ۴/۵ و هدایت حرارتی بالا منجر به اثر سرمایشی می شود. انبساط حرارتی پایینی دارد. این ماسه به رنگ مشکی براق است. عدد AFS آن حدود ۷۰ است. درشت تر از ماسه زیر کونی و ریزتر از ماسه سیلیسی سات. کشش سطحی بین مذاب و این ماسه به صورتی است که اجازه نفوذ مذاب کمتری از نسبت به ماسه زیر کونی دارد. این ماسه نسبت به سایر ماسه ها احتیاج به اسید بیشتری دارد. از ماسه کرومیتی معمولاً برای ریخته گری

فولادها استفاده می شود. برعکس ماسه زیر کونی که مجددا بازیافت می شود در این جا بازیافت ماسه مشکل است. زیرا مقدار جزئی ماسه سیلیسی با آن مخلوط می شود. خاصیت نسوزی آن به مدت کاهش می یابد.

ماسه اولویتی (Mg_2SiO_4): این ماسه اساسا برای تولید فولادهای آستینی منگیزی استفاده می شود. زیرا کمترین واکنش را نسبت به سایر ماسه ها با این مذاب دارد. از ماسه آنجایی که این ماسه را صخره های شکسته شده حاصل می شود، بسیار زاویه دار بوده و احتیاج به چسب بالایی دارد.

ماسه سیلیسی

توزیع اندازه ماسه سیلیسی : اندازه دانه ها روی کیفیت قطعه تاثیر گذار است. اگر دانه ها خیلی درشت باشد اجازه می دهد که مذاب بین دانه ها نفوذ کند. بنابراین کیفیت سطح افت می کند. اگر خیلی هم ریز باشد : اجازه نفوذ گاز به بیرون را نمی دهد و همچنین به چسب بیشتری احتیاج داریم.

خصوصیات ماسه مناسب به شرح زیر است :

✓ عدد اندازه ریزی دانه ها ۵۰ تا ۶۰ AFS و اندازه متوسط دانه ها ۲۲۰ تا ۲۵۰ میکرومتر است اگر این شرایط را داشته باشد باعث صافی سطح خوب و چسب کم می شود.

✓ محتوای دانه ای ریز: حداکثر ۲٪ ماسه وزنی، دانه ریز باشد. چسب کم می کنند.

✓ محتوای خاک رس: حداکثر ۵/۰ درصد وزنی چسب کم می کنند.

✓ گستره اندازه: ۹۵٪ بر روی ۴ یا ۵ الک باقی می ماند. قابلیت فشرده سازی ذوب و مقاومت به عیوب انبساطی دارد.

✓ مساحت مخصوص: ۱۲۰ تا ۱۴۰ سانتیمتر مربع بر گرم

✓ شکل دانه ها:

بهترین نوع ماسه برای ریخته گری، گرد و خیلی کروی است. این ماسه سیلان و قابلیت عبور گاز خوب با استحکام بالا و احتیاج به چسب پایین است. زاویه دار بودن بیشتر و کروی بودن کمتر باعث مصرف چسب بیشتر و چگالی کمتر پس از فشرده سازی و سیلان ماسه نیز کاهش می یابد. ترکیب شیمیایی ماسه بر میزان احتیاج به اسید تاثیر گذار است که این تاثیر مهمی بر روی نیاز به کاتالیزبر روی چسب کاتالیزی اسیدی سرد دارد. ماسه ها حاوی مواد معدنی آلكالینی هستند و مقادیر قابل توجهی صدف دریایی هستند. ماسه که احتیاج به اسید آنها از ۶ لیتر بیشتر باشد مصرف کاتالیزر اسیدی

بالایی دارد. ماسه هایی که این عدد در آنها از ۱۰ لیتر بالاتر باشد برای استفاده در سیستم چسب های کاتالیزرآسیدی مناسب نیستند.

جدایش ماسه: باعث تغییر در توزیع اندازه می شود. اصلی ترین عامل جدایش را می توان در انبار مخروطی شکل ماسه دانست که با طراحی مناسب این مشکل بر طرف می شود.

طراحی مناسب: مخروط باید کمترین سطح مقطع ممکن در مقایسه با ارتفاع را داشته باشد. / زاویه قیف خروجی باید بین ۶۰ تا ۷۵ درجه باشد. / دریچه خروجی باید تا حد امکان بزرگ باشد. / در اثر طراحی خوب، میزان ریزش ماسه کاهش یافته و باعث یک دست خارج شدن ماسه ها می شود.

اندازه گیری خصوصیات ماسه:

مقدار احتیاج به اسید: عدد احتیاج به اسید مقدار HCL ، $0/1$ میلی لیتر است که برای خنثی کردن ۵۰ گرم ماسه آلکالین دار نیاز است. مراحل اندازه گیری به شرح زیر است.

مقدار ۵۰ گرم ماسه خشک را در یک بشر ۲۵۰ میلی لیتر می ریزیم. / مقدار ۵۰ میلی لیتر آب مقطر به آن اضافه می کنیم. / مقدار ۵۰ میلی لیتر اسید HCL ، $0/1$ میلی لیتر استاندارد به آن می افزاییم. / به مدت ۵ دقیقه آن را به هم می زنیم. / اجازه می دهیم محلول را ساعت ساکن بماند. / محلول موجود را به کمک هیدروکسید سدیم $0/1$ مول استاندارد برای رسیدن به $PH=7$ زینتر می کنیم. (زینتر کردن: رساندن یک اسید یا باز به حالت خنثی)

اندازه دانه های ماسه:

روش AFS: محاسبه عدد اندازه ریزی دانه در AFS به وسیله الکهای قدیمی BS یا الکهای AFS (پایین شماره این الکها ۱۶ است). مقدار ۱۰۰ گرم ماسه خشک را وزن کرده و بر روی بالاترین الک می ریزیم. / الکها را به مدت ۵ دقیقه را بر روی دستگاه لرزاننده قرار می دهیم. / مقدار ماسه باقی مانده بر هر الک را اندازه می گیریم و در جدولی می نویسیم. مجموع ستون حاصل را بر مجموع درصد باقی مانده تقسیم می کند و نتیجه عدد AFS است. در ISO درجه میکرومتر بیشتر باشد اندازه دانه ها بزرگتر است و برعکس روش محاسبه ISO مانند AFS است. فقط شماره الکها فرق می کند. قطر الکها ۲۰۰ میکرومتر است در هر دو روش در استاندارد ISO بر حسب اندازه سوراخ های توری بر حسب میکرومتر بیان می شود. ISO اندازه واقعی دانه ها را به ما می دهد.

خصوصیات حرارتی ماسه: ماسه سیلیسی یک سری خواص منفی دارد. از جمله ضریب انبساط حرارتی آن است که باعث ایجاد یک سری عیوب می شود مثلاً: عیوب انبساطی رگه ای شدن که باعث ایجاد پوسته می شود. عیب دیگر ماسه سیلیسی این است که میزان نسوز بودن ماسه سیلیسی کم است. هرچه ماسه سیلیسی خالص تر باشد. دمای زینتر آن بالاتر است. (دمای زینتر: دمایی که ماسه در آن می سوزد). و هر چه قدر ناخالصی اضافه کنیم دمای زینتر افت می کند. وقتی میزان نسوز بودن کم باشد در ریخته گری فولاد یا مقاطع ضخیم چدن باعث سوختن ماسه می شود. ماسه سیلیسی با بعضی از آلیاژها، مانند آلیاژ آهن-منگنز واکنش شیمیایی می دهد و سیلیسکاتهایی با نقطه ذوب پایین ایجاد می کند که باعث سوختن ماسه می شود. بنابراین باید از ماسه غیر سیلیسی استفاده کرد. اما به دلیل زیاد بودن و ارزان بودن از ماسه سیلیسی استفاده می شود.

انواع ماسه (از نظر نحوه یافت و دسترسی)

۷ ماسه طبیعی: شامل ماسه های رودخانه ای و ماسه های بادی / ماسه طبیعی مستقیماً از منابع طبیعی، استخراج و استفاده می شود و هیچگونه کار اضافی روی آن انجام نمی شود مثل ماسه کنار رودخانه (این ماسه ها را بوسیله HCl آزمایش می کنند که حاوی آهک نباشد). حسن ماسه رودخانه ای در این است که شسته شده و میزان گردی بیشتری دارند در نتیجه کیفیت سطحی قطعات بالا می رود. اما در ماسه بادی، خاک نیز وجود دارد که خاصیت چسبندگی دارد.

۷ ماسه مصنوعی: در این حالت، معادن طبیعی را شناسایی کرده و مثلاً آن را الک کرده و ناخالصی هایی مثل آهک را حذف می کنند و آن را خرد کرده و گرد می کنند (این ماسه ها تحمل دمایی بالاتری دارند).

انواع ماسه (از نظر شکل ظاهری):

۷ ماسه های گرد: در این حالت شکل ذرات ماسه در زیر میکروسکوپ، کروی است. اکثر ماسه های مصنوعی از نوع ماسه های گرد هستند که کیفیت سطحی بهتری را ایجاد می کند و قابلیت عبور گاز بهتری نیز دارد (قابلیت عبور گاز به تخلخل ماسه مربوط است).

۷ ماسه های شبه گرد این نوع ماسه در قسمت هایی گرد و در قسمت هایی گوشه دار است.

۷ ماسه های گوشه دار: این ماسه کاملاً گوشه دار است و بطور کامل در هم چفت می شوند و استحکام بالاتری ارائه می دهد و از نظر حمل و نقل قالب و حرکت مذاب و فشار مذاب، استحکام بالاتری دارد اما قابلیت عبور گاز کم است.

۷ ماسه های مخلوط: این ماسه ها شکل خاصی ندارند.

بررسی ماسه های قالبگیری و ماسه ماهیچه در فرآیند ریخته گری قالب موقت

آجرهای نسوز و انواع آن

در واقع نوعی چینی (پرسلان) هستند که از خاکهای نسوز تهیه می شود. چینی نوعی سرامیک مرغوب است که دارای ساختاری ظریف تر و متراکم تر از سفال هستند. دمای پخت آجرهای نسوز حدود می باشد. از آجرهای نسوز به دلیل مقاومت حرارتی بالا در پوشش درونی کوره های صنعتی استفاده می شود. آجرهای نسوز انواع مختلفی دارد، با توجه به نوع ماده استفاده شده در ترکیبات آنها، گستره های مختلفی را تحمل می کنند. تا دهه ۱۹۶۰ از کربن و خاک نسوز برای پوشش کوره ها استفاده می شد اما امروزه با ساخت انواع آجرهای نسوز از آنها در پوشش داخلی کوره استفاده می شود. آجرهای سیلیسی: قسمت عمده این آجرها را خاک های سیلیسی که به کوارتزیت معروف است تشکیل می دهد. کوارتزیت شامل SiO_2 ۹۵٪ و به مقدار جزئی Al_2O_3 ، Fe_2O_3 ، TiO_2 ، K_2O و Na_2O می باشد. از این آجرها در گذشته برای پوشش جدار درونی کوره های فولادسازی استفاده می شد. ولی به دلیل رسانایی گرمایی زیاد در نفوذناپذیری در مقابل گازها، امروزه بیشتر برای پوشش جدار درونی کوره های تولید خمیر شیشه در کارخانه های شیشه سازی، کوره های کک سازی گازسوز و کوره های سرامیک سازی استفاده می شود.

آجرهای آلومینیومی: این آجرها دارای درصد بالایی از آلومین (Al_2O_3) می باشند. آنها را از مخلوط کائولن، بوکسیت و کروندوم که بیش از ۷۰٪ آلومین دارد، تهیه می کنند. آجرهای نسوز آلومینیومی برای پوشش جداره درونی کوره های ذوب فولاد مصرف می شوند. در مقابل مواد قلیایی مقاومند. بنابراین از آنها برای پوشش جداره درونی کوره های سیمان سازی و شیشه سازی هم استفاده می شود.

آجرهای نسوز قلیایی: این آجرها شامل اکسید منیزیم (MgO) و SiO_2 به فرمول $2MgO$ ، SiO_2 می باشند. برای تهیه اکسید منیزیم، کربنات منیزیم طبیعی (ماگنیزیت) یا دولومیت را در دمای بین تا حرارت می دهند. اضافه کردن مقداری اکسید کربن یا اکسید آهن به مخلوط MgO و SiO_2 باعث افزایش مقاومت گرمایی آجرهای نسوز قلیایی می شود. از این آجرها برای پوشش جدار درونی کوره های باز در فولادسازی، کوره های دوار در کارخانه های سیمان سازی و در قسمتهای بالای کوره های ذوب شیشه و صنایع فلزات غیر آهنی، استفاده می شود.

آجرهای نسوز ویژه: این آجرها نوع خاصی از آجرهای نسوز هستند و در صنعت برای منظوره های ویژه ای کاربرد دارند این آجرها از ترکیبات فلزات واسطه می شوند. متداولترین آجرهای این گروه عبارتند از:

آجر زیرکونیوم: این آجر از سولفات زیرکونیوم طبیعی با افزودن مقدار کمی آلومین به کوارتز تهیه می شود. بیشترین کاربرد آن در ساختن کوره ذوب آلومینیوم، کوره مخزن شیشه مذاب و کوره های دارای دمای بالا می باشد. همچنین از ذوب سولفات زیرکونیوم با آهک ناخالصی آن به همراه سیلیکات کلسیم جدا می شود و می توان اکسید زیرکونیوم خالص بدست آورد. با افزودن مقدار ۵ درصد وزنی از CaO یا MgO بلورهای مکعبی آن تشکیل می شود.

ZrO_2 مقاومت گرمایی بالایی دارد از آن در ساختن بوته های ذوب فلز در صنایع ذوب فولاد و در راکتورهای اتمی به عنوان بازتاب دهنده نوترون استفاده می شود. آجر اکسید کروم - کورندوم: این آجرها دارای ۵ تا ۱۰ درصد اکسید کروم Cr_2O_3 و ۹۰ تا ۹۵ اکسید آلومینیوم هستند در مقابل مواد قلیایی مقاوم هستند. از این نوع آجر برای ساختن بخش درونی کوره بلند ذوب آهن استفاده می شود. آجرهای اکسید کروم دارای ۹۵٪ Cr_2O_3 می باشد. برای تهیه از Cr_2O_3 سنتزی استفاده می شود. این نوع آجر در ساختن کوره ذوب خمیر شیشه مخزن در صنعت شیشه سازی مصرف دارند.

کاربرد سیلیس در صنعت شیشه

شیشه برای اولین بار در امواج آتشین آتشفشانهایی که به سردی گراییده بودند، در رنگ های متفاوت یافت گردید. انسانهای عصر برنز، شیشه طبیعی را گرم کرده و به شکل های مختلف در آورده و به زندگی خود وارد کردند. مردم ایلام، مصر و بین النهرین حدود سالهای ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ قبل از میلاد مسیح شیشه را شناختند و توانستند آنرا بصورت خیلی ابتدایی بسازند. حدود ۱۰۰ سال قبل از میلاد مسیح. این هنر از طریق مصر به ایتالیا رفت و رفته رفته کارگاههای شیشه سازی دررم بوجود آمد. بعد از آن شیشه سازی از رم به ممالک قلمرو آن کشور و سپس به اسپانیا، آلمان، انگلیس و سواحل شمالی دریای سیاه راه یافت. در حدود سال ۹۰۰ میلادی شیشه و آینه سازی در ونیز توسعه فوق العاده یافت و با توجه به اینکه آن کشور تقریباً قدرت دریایی منطقه مدیترانه بود، تجارت شیشه یکی از ارقام بزرگ صادرات رم بشمار می رفت. سربازانی که شیشه ساز بودند و در جنگهای صلیبی سال ۱۲۰۴ میلادی شرکت داشتند بعد از فاتح شدن، صنعت شیشه سازی را به امپراطوری بیزانس برده و آنرا توسعه دادند. مقارن با سالهای ۱۶۰۰ تا ۱۷۰۰ میلادی صنعت شیشه سازی بطور سریع در جهان توسعه یافت بطوریکه ایتالیا صنایع و هنر شیشه سازی را به جزایر مورانو (Morano) انتقال دادند تا

اسرار این صنعت به خارج نفوذ نکند و حتی مجازات مرگ را برای جاسوسان در نظر گرفتند در سال ۱۶۱۲ یک کشیش فلورانسی بنام آنتونی نری (Antoni Nery) مقداری از اسناد شیشه سازی را در شهر فلورانس منتشر نمود. از آن تاریخ این صنعت در کنار صنایع دیگر آن زمان جای گرفت و تاریخ مستند شیشه پایه گذاری شد. در ایران، قبایل ایرانی و ایلامی از اولین کسانی هستند که صنعت شیشه سازی را در آن مناطق توسعه دادند. ولی متأسفانه در گسترش و تحقیقات علمی و بصورت کلاسیک در آوردن این هنر و صنعت اصیل ایرانی اقدامات چشمگیری صورت نگرفت و حتی به آن توجه ویژه ای نشد. شیشه سازی بصورت مدرن و صنعتی در ایران در حدود ۸۰ سال پیش آغاز گردیده است. شیشه و بلور سازی رشته ایست که با اتکا به منابع اولیه در داخل کشور و بدون نیاز به مواد اولیه از خارج می توان هر نوع وابستگی را از میان برد. با توجه به وفور مواد اولیه و انرژی ارزان در کشور، امید آن می رود که این صنعت و هنر اصیل جایگاه واقعی خود را در صنعت ایران باز یابد. اطلاعات در مورد تاریخچه صنعت شیشه جام در ایران و سابقه تولید شیشه بخصوص قبل از پایه گذاری کارخانجات تولید مکانیزه و ممتد شیشه بسیار مختصر است.



سیاستگذاری جدید در صنعت شیشه جام از سال ۱۹۵۹ که تکنولوژی فلو تاسیون توسط شرکت PILKINGTON انگلیسی تجاری شد، بطور روزافزونی از این تکنولوژی برای تولید شیشه تخت در سراسر جهان استقبال می گردد. در سال ۱۹۹۵ این تکنولوژی که شامل PILKINGTON و سایر شیوه های شیشه فلو ت که توسط سایر شرکتها از قبیل PPG آمریکا، سن گوبن Saint Gobain فرانسه، گلاوربل Glaverbel بلژیک، Gardian آمریکا، Nippon sheet glass، asahi glass ژاپن و غیره ابداع شدند، ۹۰٪ کل شیشه تخت تولیدی در جهان را به خود اختصاص داد. شیوع این تکنولوژی در کشورهای توسعه یافته مانند امریکای شمالی، اروپا و ژاپن نزدیک به ۱۰۰٪ است. بدین ترتیب ظرفیت موثر جهانی شیشه جام (به روش فلو تاسیون) در سال ۱۹۹۵ چیزی میان ۲۰/۵ تا ۲۲ میلیون تن و در سال ۲۰۰۰ برابر ۲۹/۵

میلیون و در سال ۲۰۰۵ تا میزان ۴۸/۲۵۰/۰۰۰ تن بوده است. محصولات کشور ایران بغیر از آمریکا تقریباً به سراسر جهان (اروپا، آسیا، خاورمیانه، آمریکای جنوبی، کانادا و غیره) صادر شده است. شیشه و فرآورده های شیشه ای امروزه بعنوان یکی از صنایع مهم در اغلب کشورهای جهان محسوب می گردد. تنوع فرآورده های شیشه ای، اختصاصی بودن بعضی از این محصولات و کاربردهای متعدد و روز افزون آنها باعث اهمیت این صنعت برای همگان گردیده است. صنعت شیشه سازی در ایران از سالیان متمادی بصورت سنتی متداول بوده است و حتی تا اوایل دهه ۱۳۴۰ این صنعت به صورت صنعتی ارائه نشده بود.



صنایع تولید شیشه یکی از پایه های اصلی اقتصاد آمریکا می باشد. این صنعت بیش از ۱۵۰۰۰۰ شغل تخصصی ایجاد نموده است که بیش از ۲۱ میلیون تن محصولات مصرفی با ارزش تخمینی ۲۲ میلیارد دلار در سال تولید می کند. تولید شیشه نیاز به انرژی زیاد دارد که ۱۲٪ از کل قیمت فروش را شامل می شود. از لحاظ تئوری برای ذوب کردن یک تن شیشه ۲/۲ میلیون Btu انرژی لازم است. در حقیقت مقدار انرژی مورد نیاز به خاطر پایین بودن بازده و اتلاف انرژی به میزان دو برابر افزایش می یابد. صنایع شیشه شامل ۴ بخش عمده می شود:

✓ ظروف شیشه ای: این گروه شامل بطری ها (Bottles)، شیشه های دهنه گشاد (Jars) و... می شود.

✓ شیشه های فلوت: این گروه شامل شیشه های پنجره، آینه ها و شیشه های اتومبیل و... می شود.

✓ الیاف شیشه: این گروه الیاف شیشه ای اند که به صورت عایق های ساختمانی و الیاف بافته شده تولید می شوند.

✓ شیشه های ویژه: این گروه شامل وسایل آشپزخانه (cookware)، تابلوهای نمایشگر سطح (displays flat panel)،

حباب لامپ ها (lightbulbs)، الیاف نوری (fiber optics)، وسایل پزشکی (medicalequipment) می باشد.

شیشه های فلوت ۱۷٪ تولید شیشه ی ایالات متحده آمریکا از لحاظ وزن را شامل می شود. همچنین ظروف شیشه ای ۶۰ درصد، الیاف شیشه و ۹ درصد و شیشه های ویژه ۴ درصد از تولیدات شیشه ای ایالات متحده را شامل می شوند. در حالی که صنایع ظروف شیشه ای، الیاف و شیشه های فلوت که سهم بسیار بالایی در فروش دارند بر پایه ی شیشه های سودالایم (soda-lime glass) پایه گذاری شده اند، صنعت شیشه های ویژه بر روی شیشه های مقاوم در دماهای بالاتر تمرکز دارد و بیش از ۶۰۰۰۰ نوع محصول مختلف تولید می کند.

مراحل تولید شیشه

۷ مرحله تهیه مخلوط: انتخاب مواد خام با توجه به ترکیب شیمیایی، یکنواختی و اندازه ی ذرات انجام می شود. مواد افزودنی آلی و فلزی و سرامیکی از بین مراحل حمل و نقل، انبار کردن، مخلوط کردن و دانه بندی عبور می کنند. این مراحل شبیه مراحل است که شیشه های بازیافتی عبور می کنند. به علت اثرات مواد افزودنی و با توجه به کیفیت محصول تولید شده، مقدار شیشه ی بازیافتی تغییر می کند. صنعت تولید شیشه های فلوت ۳۹ درصد از شیشه های شکسته خود را باز یافت می کند. مواد ناخالصی سرامیکی واکنش کمی با مذاب شیشه دارند و ذوب نمی شوند بنابراین به صورت سنگ ریزه هایی در محصول نهایی دیده می شوند. ناخالصی های فلزی و آلی باعث بوجود آمدن ناپایداری در طی پروسه ی شیشه سازی می شوند (از طریق واکنش های اکسایش - کاهش). که این مواد موجب کاهش کیفیت شیشه می شوند. مواد آلی موجود در بیج، منبعی مناسب جهت افزایش گازهای خروجی هستند و موجب افزایش ارزش تمیز کنندگی گازهای خروجی می شوند (این مواد موجب افزایش گازهای خروجی می گردد و خروج گاز را از مذاب آسانتر می کنند. پروسه های نقل و انتقال، مخلوط کردن و دانه بندی موجب ساییده شدن وسایل و ادوات مورد استفاده می شوند بنابراین معمولاً ابزار آلات این بخش دارای سطوح پوشش داده شده با سرامیک هستند؛ و یا خطوط انتقال بوسیله سرامیک هایی مانند آلومینا، سیلیسیم کاربید و یا تنگستن کاربید ساخته می شوند. در حالی که به طور عمومی اثر قیمت و عملکرد مناسب و کافی برای انتخاب مواد در این مکان ها بسیار مهم است ولی به دلیل ریسک امکان آلودگی مذاب شیشه، استفاده از مواد ارزان قیمت تر ریسک بزرگی به حساب می آید.

۷ مرحله ذوب

تقریباً ۶۰۰ کوره ذوب شیشه در آمریکای شمالی وجود دارد. توزیع نوع این کوره ها به شرح زیر است .
۲۱۰ کوره در زمینه صنعت بطری های سازی، ۱۱۰ کوره مربوط به الیاف شیشه، ۴۵ کوره در صنعت شیشه فلوت و ۲۳۵ کوره مربوط به شیشه های ویژه است. عمر یک کوره مذاب شیشه با توجه به نحوه ساخت آن متفاوت است اما برای کوره های این صنعت عمر ۷ تا ۸ سال غیر معمولی نیست. البته هزینه بازسازی یک کوره به آسانی از یک میلیون دلار تجاوز می کند و همین امر نشاندهنده اهمیت نحوه ی بازسازی کوره های شیشه سازی است. کوره ها را می توان به دو گروه، کوره های گرم شونده با الکتریسته و کوره های گرم شونده با سوخت تقسیم کرد، که معمولاً گرمایش الکتریکی مذاب با آتش حاصل از سوختن مواد نفتی توأم است. این عمل موجب بهبود یکنواختی گرما دهی، مهیا نمودن افزایش متناوب در ظرفیت ذوب با کم ترین هزینه، افزایش بازده مذاب، کاهش مصرف انرژی و دمای پایین تر (در بالای نقطه ذوب) برای کاهش خروج انرژی می گردد.

۷ مرحله پالایش

مرحله اصلاح شیشه در کوره مقدماتی اتفاق می افتد و موجب یکسان شدن دمای مذاب می گردد. کوره مقدماتی معمولاً با گاز طبیعی کار می کند. همچنین از تقویت کننده های الکتریکی نیز برای افزایش بازده و بهبود یکسانی دما، می توان بهره برد. مبدل های گرمایی سرد شده با آب (water-cooled metal heat exchangers) برای کمک به ایجاد دمای یکنواخت مورد استفاده قرار می گیرند. همچنین ممکن است از سرامیک های پیشرفته نیز استفاده شود. تغییرات دمایی در کوره مقدماتی بسیار حیاتی است و موجب ایجاد مشکلاتی شبیه به آنهایی که در مرحله ذوب با آنها روبرو بودیم، می شود. پیستون ها (plungers) و نازل های (nozzles) مورد استفاده برای حرکت دادن و پخش کردن مذاب شیشه از سرامیک های نسوز و یا مولیبدن ساخته شده اند. ولی این اجزا به علت رویا رویی و مواجهه با سایش بالا و ایروژن (erosion) نوعی خوردگی است که به واسطه حرکت سیال بر روی یک سطح اتفاق می افتد. برای شیشه های با دمای ذوب پایین تر ۶۰۰ Inconel استفاده شده است که در این مورد نیز شبیه به مورد بالا خوردگی شدید گزارش شده است. در دماهای بالاتر خنک سازی با آب نیز می تواند برای کاهش دمای اجزا مورد استفاده قرار گیرد. تعداد زیادی از

مواد مناسب (مواد سرامیکی پیشرفته) مورد استفاده در مراحل پالایش و ذوب شیشه وجود دارد که بسیاری از این مواد مناسب، برای ساخت کوره های سوخت - اکسیژن **fired oxy-fuel** استفاده می شوند. سیکل های متناوب احتراق نیز بهبود یافته که گفته می شود مواد سرامیکی پیشرفته توانایی مقاومت در برابر این سیکل های احتراقی را دارند.

✓ شکل دهی

با توجه به اینکه محصول نهایی، چه نوع محصولی باشد نوع و نحوه فرم دهی نیز متفاوت است. روش های شکل دهی انواع مختلف شیشه از جمله شیشه های فلوت، ظروف شیشه ای، الیاف شیشه و شیشه های ویژه معمولاً بسیار متفاوت اند.

نقش کانیها در تهیه شیشه

بزرگترین بخش بیشتر شیشه ها را سیلیس تشکیل می دهد. مواد جانبی را نیز به شیشه می افزایند. اکسید سدیم (Na_2O) موجب کاهش دمای ذوب می گردد، ولی افزایش بیش از حد آن از مقاومت شیمیایی شیشه می کاهد. اکسید کلسیم (CaO) مقاومت شیمیایی و سایشی را در شیشه پایین می آورد. افزودن CaO به شیشه موجب تبلور آن می گردد و در نتیجه حالت اوپالین (کدر به خود می گیرد. برای افزودن مقاومت شیشه مقدار کمی اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) و اکسید منیزیم (MgO) بر آن اضافه می کنند. دو عامل عمده در تشکیل شیشه نقش دارند که عبارتند از : غلظت مایع در محدوده خاصی از دمای محیط به سرعت افزایش می یابد و دمای ذوب باید به دمای محدوده افزایش غلظت باشد.

تقسیم بندی انواع شیشه ها بر اساس ترکیب شیمیایی و زمینه کاربرد آنها



✓ شیشه معمولی: بیشترین تولید را این شیشه ها به خود اختصاص می دهند. مصارف عمده آنها در شیشه های در و پنجره ،

بطریها ، ظروف شیشه ای ، لامپها و غیره است. ترکیب شیمیایی شیشه معمولی به شرح زیر است: SiO_2 ۷۰٪ ، ۱۵٪ ،

Na_2O ۹٪ ، CaO ۳٪ ، MgO ۲٪ ، Al_2O_3 .

✓ شیشه های بردار: در این شیشه ها از B_2O_3 به جای CaO استفاده می شود. ویژگیهای مهم این شیشه ها عبارتند از ضریب

انبساط کم ، مقاومت شیمیایی و الکتریکی بالا و مقاومت در برابر شوکهای حرارتی. مصارف عمده این شیشه ها در

ساخت لوازم آزمایشگاهی ، پزشکی ، ظروف آشپزخانه و شیشه های صنعتی است. شیشه پیرکس نوعی شیشه بردار است.

✓ شیشه های سربی: ضریب شکست این شیشه ها زیاد است و از اینرو آنها در ساخت انواع عدسی ، قطعات نوری و لامپ

استفاده می شود. این شیشه حاوی ۳۷٪ اکسید سرب است که گاهی تا ۹۲٪ هم می رسد. شیشه های سربی ای که میزان

اکسید سرب آنها بیشتر باشد برای پیشگیری از نفوذ پرتوهای رادیواکتیو و تهیه لامپهای الکترونیک بکار می روند.

✓ شیشه های کوارتزی: این شیشه ها از کوارتز خالص ساخته می شوند. ایستایی گرمایی و شیمیایی آنها بالاست. ضریب

انبساط آنها اندک است و بسیار شفاف هستند. این شیشه ها در ساختن منشور و پنجره های اپتیک بکار می روند.

✓ سیلیکاتهای سدیم: این سیلیکاتها در آب محلول اند و به دلیل خاصیت چسبندگی شان به عنوان چسب بکار برده

می شوند. ترکیب شیمیایی آنها به دو صورت $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ و $\text{Na}_2\text{O} \cdot ۰.۴\text{SiO}_2$ است.

✓ شیشه های فسفات دار: در این شیشه ها مقداری P_2O_5 جایگزین SiO_2 شده است. از این شیشه ها برای عبور امواج

فرابنفش استفاده می شود.

شیشه های اوپالین : این شیشه ها حاوی فلورین و آپاتیت هستند. ذوب شیشه عادی است، ولی به هنگام سرد شدن بلورهای کوچکی در آن متبلور می شوند. و بدین ترتیب خاصیت اوپالی در شیشه ها ایجاد می گردد.

بطور کلی در صنعت شیشه حداکثر دمای مورد نیاز برای ذوب مواد اولیه ۱۶۰۰ درجه سانتیگراد است. ترکیب بیشتر شیشه ها در محدوده کوارتز، کریستوبالیت و یا تریدیمیت قرار می گیرد. در صورتی که مواد اولیه باسیلیس بیشتر انتخاب شوند و یا این که کانیهای نا نقطه ذوب بالا در مواد اولیه موجود باشند، باید مواد تا ۱۶۰۰ درجه حرارت داده شوند. در دمای بالا با کاهش غلظت، گاز CO_2 به آسانی ماده مذاب را ترک کرده و ناخالصیها نیز ذوب می شوند و در نتیجه محصول شفاف و خالی از حباب و مواد ذوب نشده خواهد بود.



مهمترین مواد تشکیل دهنده شیشه

SiO_2 ✓ : مهمترین منابع SiO_2 ، ماسه های سیلیسی، کوارتزیت و رگه های کوارتزی است. اکسیدهای آهن موجب رنگین شدن شیشه و کرومیت غالباً ذوب نمی شود و به صورت ناخالصی در شیشه باقی می ماند. ناخالصی آلومینوم در ماسه سیلیسی موجب کاهش دمای ذوب و افزایش کیفیت شیشه می شود.

CaO ✓ : مهمترین منابع اولیه CaO ، سنگ آهک است. هر تن $CaCO_3$ حاوی ۵۶۰ کیلوگرم CaO و ۴۴۰ کیلوگرم CO_2 است. ناخالصیهای سنگ آهک شامل MgO ، FeO ، MnO ، کانیهای رسی و نودولهای چرت هستند MgO . با SiO_2 برای ترکیبات خاص تشکیل دو مایع با حالت امولسیون رامی دهد. محدوده این دو مایع با حالت امولسیون وسیعتر از محدوده دو مایع $SiO_2 - Na_2O$ است. میزان MgO برای شیشه های مختلف متفاوت است و چنانچه سنگ آهک خالص باشد جهت تامین MgO مورد نیاز می توان از دولومیت استفاده نمود.

✓ Na_2O : مهمترین منابع تامین Na_2O مورد نیاز شیشه عبارتند از کربنات سدیم Na_2CO_3 ، آبسیت و آلکالی فلدسپات ، نفلین سیانیت ، هر تن کربنات سدیم حاوی ۵۸۰ کیلوگرم Na_2O و ۴۲۰ کیلوگرم CO_2 است.

✓ بوراکس: برای افزودن مقاومت شیمیایی و ضریب شکست در شیشه های مخصوص از بوراکس استفاده می کنند. باید دانست که بوراکس ، نقطه ذوب سیلیس را کاهش می دهد. در شیشه های نسوز مواد نسوز را بکار می گیرند.

✓ مواد رنگی شیشه ها: هر یک از رنگ های ویژه توسط مواد شیمیایی آنها ، در شیشه ایجاد می شوند، رنگ سبز (Cr_2O_3)، رنگ سبز تا زرد (CrO_3)، رنگ آبی (CaO)، رنگ قرمز (CuO) و رنگ قهوه ای (Fe_2O_3) مواد بی رنگ کننده شیشه عبارت است از اکسید سلیوم، اکسید سدیم و اکسید نئومیوم.

اهمیت تولید الیاف شیشه کمتر از فولاد نیست

کامپوزیت ها به عنوان مواد قرن بیستم طی سالیان گذشته توسعه چشمگیری در سراسر جهان داشته اند. با این حال متاسفانه در کشور ما علی رغم بودجه های کلانی که در جهت گسترش صنایع قدیمی همچون فولاد هزینه می شود، توجه چندانی به این فناوری نوین نشده است. از مهمترین گام های عملی جهت گسترش این تکنولوژی در صنایع کشور، احداث یک واحد تولیدی الیاف شیشه می باشد.

شاید بتوان گفت احداث یک واحد تولیدی الیاف شیشه در کشور ما موثرترین گام عملی در تسریع بهره گیری از تکنولوژی کامپوزیت محسوب می شود. باید گفت که در دنیای امروز توسعه الیاف شیشه بسیار با اهمیت تر از توسعه فولاد می باشد. دلایل زیر مؤید و بیانگر لزوم تسریع در امر احداث یک کارخانه تولید الیاف شیشه در کشور است:

✓ وجود مزیت نسبی و افق روشن صادرات

سیلیس از مهمترین کانی های غیرفلزی است که به عنوان اصلی ترین ماده اولیه ساخت شیشه به وفور استفاده می شود. خوشبختانه کشور ما نیز از معادن سرشار سیلیس برخوردار است. به همین دلیل یکی از اولویت های تاکید شده توسط کارشناسان امر، گسترش صنایع وابسته به سیلیس می باشد. یکی از استراتژیک ترین این صنایع، صنعت تولید الیاف شیشه است که علاوه بر سیلیس، سایر مواد اولیه مورد نیاز تولید این الیاف نیز در کشور قابل دسترسی است. این مسئله یک مزیت مطلق محسوب می شود.



همچنین وجود منابع سوختی فراوان در کشور و دسترسی آسان به سوخت مورد نیاز تولید این الیاف را می توان به عنوان یکی از مزیت های مطلق دیگر در زمینه تولید الیاف شیشه دانست. این مزیت حتی در صورت پیوستن ایران به تجارت جهانی و پذیرفتن شرایط اقتصاد بدون مرز نیز به قوت خود باقی است. هزینه نهایی سوخت مورد استفاده در هر صنعت، شامل دو بخش قیمت خام ماده سوختی و هزینه حمل و نقل و بیمه مرتبط با آن می باشد. پیوستن ایران به سازمان تجارت جهانی، موجب بالا رفتن قیمت سوخت تا حد قیمت متعارف جهانی آن خواهد شد. اما حتی با این وجود هم، یک تولیدکننده داخلی از مزیت هایی همچون نزدیک بودن به منابع سوختی و تامین سریع و بی دردسر آن برخوردار است و می تواند بدون متحمل شدن هزینه های جانبی یاد شده، سوخت مورد نیاز خود را تأمین کند. این مزیت علاوه بر تولید الیاف شیشه، در زمینه تولید رزین های مورد استفاده در صنایع کامپوزیتی نیز وجود دارد.

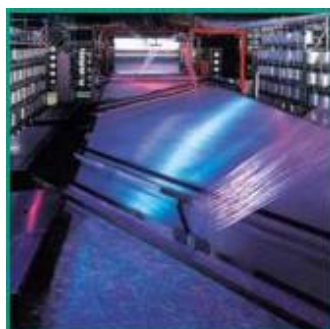
از دیگر مزیت های نسبی کشور جهت پرداختن به الیاف شیشه و کامپوزیت ها را می توان برخورداری از نیروی کارگری و متخصص ارزان قیمت دانست. کشور ما در مقایسه با کشورهایی همچون کره و ترکیه از نظر نیروی انسانی دارای مزیت نسبی است و تا سالیان متمادی هزینه کارگر و نیروی متخصص کشور ما همچون کشورهای چین و هند بسیار پایین خواهد بود. امروزه کشورهایی نظیر هند، چین و ترکیه که فاقد چنین مزیت هایی بوده اند، موفقیت های شایانی را در

فناوری مواد مرکب به دست آورده اند. بنابراین با توجه به مزیت های مطلق و نسبی کشور باید گفت ایران قطعاً می تواند در سایه یک برنامه مسنجم و سریع، علاوه بر تأمین نیاز داخل، وارد بازارهای رقابتی جهان چه از طریق صادرات مواد اولیه کامپوزیت ها و چه از طریق صادرات قطعات کامپوزیتی شود. آنچه که سبب موفقیت در بازارهای جهانی می شود را می توان در چهار شاخص کیفیت بالا، قیمت کم، تأمین سریع و خدمات پس از فروش دانست.

جهت دستیابی به شاخص کیفیت بالا، می توان از طریق انتقال تکنولوژی روز دنیا و سپس توسعه و تحقیق به تولید محصولات با کیفیت برتر در کشور نایل آمد. هم اکنون علاوه بر آمریکا، بسیاری از کشورهای اروپایی و آسیایی همچون فرانسه، آلمان، ژاپن، کره، روسیه، اوکراین و چین دارای تکنولوژی های پیشرفته ای در زمینه تولید الیاف شیشه می باشند. تکنولوژی اروپایی ها نسبت به کشورهای شرقی به روزتر و قابل قبول تر است. انتقال تکنولوژی از هر کدام از این کشورها قابل انجام خواهد بود و پس از انتقال آن، باید با توسعه و تحقیق به بومی کردن آنها توسط متخصصین داخلی پرداخت. شاخص های دوم، سوم و چهارم یعنی قیمت کم، تأمین سریع و خدمات پس از فروش نیز در پرتو بهره گیری از مزیت های نسبی کشور و موقعیت استراتژیک ایران در بازارهای همسایه قابل دستیابی است. همه این موارد بیانگر اهمیت و لزوم توجه هر بیشتر به تولید الیاف شیشه در داخل کشور است.

۷ رفع مشکلات صنایع داخلی و اشتغال زایی

همزمان با گسترش و رشد نسبی صنعت کامپوزیت کشور در سال های اخیر و ظهور نیازها و مصارف مختلف خلأ های زیادی در زمینه مواد اولیه مورد نیاز این صنعت احساس می شود. به طوری که هم اکنون سالیانه شاهد واردات حجم انبوهی از الیاف و رزین ها از خارج هستیم. این مسئله علاوه بر خروج ارز از کشور، موجب ظهور مشکلات فراوان از جمله زیر ظرفیت کار کردن واحدهای تولیدی، عدم تحویل به موقع سفارشات، بی ثباتی قیمت نهایی محصولات و تعرفه های گمرکی و غیره بوده است.



به عنوان مثال در مواردی شرکت فراسان که تولید کننده لوله های فایبرگلاس می باشد، مجبور شده است که جهت تحویل سفارشات الیاف شیشه مورد نیاز خود، از کشورهای ترکیه یا عربستان، ماه ها در نوبت بایستد. این موضوع بیانگر یک معضل بسیار بزرگ در مسیر صنعت رو به رشد کامپوزیت کشور می باشد.

همچنین آنچه که تا به امروز مهمترین عامل بالا بودن قیمت محصولات کامپوزیتی در ایران بوده است، عدم دسترسی سریع به مواد اولیه ارزان قیمت و دارای کیفیت مناسب می باشد. این مشکلات در حالی است که با توجه به مزیت های کشور در زمینه تولید الیاف شیشه، در صورت تولید الیاف در داخل، می توان این گونه مشکلات را به سادگی مرتفع نمود. بنابراین تولید مواد اولیه مورد نیاز صنعت کامپوزیت مهمترین قدم جهت دستیابی به رشد پایدار در این صنعت است. از سویی با توجه به آمارهای موجود می توان دریافت که فناوری کامپوزیت ها به دلیل کاربرد وسیعی که دارد، قابلیت جذب نیروها و تخصص های فراوانی را در صنایع مختلف دارا می باشد. این مواد در صنایع گوناگون همچون حمل و نقل، ساختمان، خودرو، هوانوردی، سازه های دریایی و صنایع دریایی، انتقال نیرو و صنایع شیمیایی مورد مصرف واقع شده اند. از مهمترین مزایای فناوری کامپوزیت ها توان اشتغال زایی بالای آن می باشد. در این بستر به راحتی امکان شکل گیری واحدهای صنعتی کوچک ۲ الی ۳ نفره تا واحدهای بزرگ ۲۰۰ الی ۳۰۰ نفره وجود دارد. به وجود آمدن چنین واحدهای صنعتی و مدیریت آنها توسط متخصصین مجرب و صنعتگران بخش خصوصی می تواند علاوه بر اشتغال زایی، موجب تولید محصولات با ارزش افزوده بالا گردد.



✓ بازار رو به گسترش و آینده تجارت کامپوزیت ها

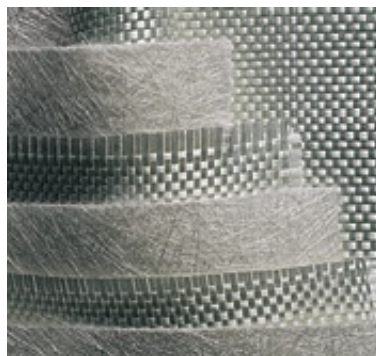
صنعت کامپوزیت یکی از صناعی است که در مدت زمانی کمتر از نیم قرن توسعه چشمگیری یافته است. محصولات کامپوزیتی هم اکنون در سرتاسر جهان در صنایع مختلف به طور گسترده ای مورد استفاده قرار گرفته اند. الیاف و

رزین هایی که به عنوان مواد اولیه در این صنعت استفاده می شوند نیز شاهد گسترش قابل توجهی بوده اند. به گونه ای که هم اکنون علاوه بر الیاف شیشه، الیاف دیگری از جمله، کربن، بازالت، کولار و غیره نیز در مصارف مختلف مورد استفاده قرار گرفته اند. لیکن الیاف شیشه همچنان متداول ترین نوع الیاف است و دارای کاربردهای فراوان بوده و خواهد بود. هم اکنون در دنیا بیش از ۹۰ درصد محصولات کامپوزیتی با استفاده از الیاف مختلف شیشه ساخته می شوند و ۱۰ درصد مابقی ساخته شده از الیاف کربن، کولار، بازالت و غیره هستند.

الیاف شیشه نیز بسته به کاربرد دارای انواع گوناگون E, R, C, S و L می باشد. نوع E پرکاربردترین نوع الیاف شیشه محسوب می شود. در میان انواع الیاف شیشه، نوع E بیش از ۹۰ درصد میزان مصرف الیاف شیشه را به خود اختصاص داده است. بنابراین می بینیم که در حال حاضر بیش از ۸۰٪ کل محصولات کامپوزیتی دنیا توسط الیاف شیشه نوع E ساخته می شوند. این رقم بیانگر لزوم توجه هر چه بیشتر به تولید این الیاف در کشور می باشد. هم اکنون بالغ بر ۲۵ سال است که فناوری کامپوزیت ها به ۱۳ رشته صنعتی کشور راه یافته است اما علی رغم نیاز فراوان، این روند سرعت لازم را ندارد. طبق آخرین آمار ارائه شده در کنفرانس مالزی، میانگین جهانی مصرف کامپوزیت ها، سالیانه سه کیلوگرم به ازای هر نفر می باشد که حداقل یک سوم آنرا الیاف تقویت کننده تشکیل می دهد. با توجه به این رقم می توان دریافت که کشور ما بیش از ۱۸۰۰۰۰ تن مواد کامپوزیتی و در نتیجه ۶۰۰۰۰ تن در سال پتانسیل مصرف الیاف شیشه ای را دارا است. هم اکنون می توان ادعا کرد که میزان نیاز بالقوه کشور ما به تولید لوله های فایبرگلاس چندین برابر ظرفیت تولید یک واحد ۱۰۰۰۰ تنی تولید الیاف شیشه می باشد.

به طور مثال یکی از پرکاربردترین محصولات کامپوزیتی در کشور لوله های GRP است. فقط پروژه های در دست اجرای فعلی در سالهای آینده به حدود ۱۵۰۰۰۰ تن لوله کامپوزیتی نیازمند است. اما توان تولید فعلی کشور علیرغم وجود ظرفیت تولید بیش از ۱۷۰۰۰ در سال تنها حدود ۱۰۰۰۰ تن لوله در سال است و می توان دید که این رقم نمی تواند پاسخگوی پروژه های داخلی باشد. از جمله این پروژه ها که نیازمند به کارگیری لوله های کامپوزیتی می باشد، پروژه آب-رسانی از ایران به قطر و پروژه آب رسانی از کهکیلویه و بویراحمد به رفسنجان را می توان نام برد. در این پروژه ها، به دلیل معایب لوله های فولادی و بتنی، بهترین گزینه مورد استفاده، لوله های فایبرگلاس می باشد. ارقام فوق تنها بیانگر نیاز داخلی است و این در حالی است که علاوه بر نیاز داخلی بازارهای بزرگی در خارج مرزها وجود دارد. به طور مثال

تولیدات یک کارخانه ۳۰۰۰۰ تنی الیاف شیشه که توسط آمریکایی ها در هند در حال راه اندازی است، از قبل پیش فروش شده و مشتریان زیادی جهت دریافت سفارش خود از هم اکنون انتظار می کشند در صورت راه اندازی چنین واحدهایی در داخل کشور، امکان فروش مازاد نیاز داخل به کشورهای همسایه نیز وجود دارد. بی توجهی به آینده تجارت کامپوزیت ها می تواند فرصت موجود را همچون بسیاری از فرصت های دیگر به هدر دهد و کشور ما نتواند جایگاهی در این فناوری نوین کسب کند.



بر اساس آنچه قبلا عنوان گردید انواع سیلیس طبیعی و یا تخلیص شده به عنوان محصولات این طرح می باشند که شامل انواع کوارتز، فلینت، نووکالیت، چر، خاک دیاتومه و اوپال می باشد و علاوه بر مصارف فوق الذکر در صنعت رنگ نیز مصرف می گردد. در صنایع رنگ به عنوان رنگدانه، تعلیق دهنده رنگدانه، بالابرنده ویسکوزیته، مات کننده، افزایش مقاومت حرارتی و عامل ضد سایش در رنگهای ترافیک کاربرد دارد. همچنین به عنوان دانه های ساینده قبل از رنگ آمیزی نیز مصرف دارد. ضمناً قابل ذکر است که در محصول سیلیس شسته شده شامل خلوص ۷۵-۸۰٪ SiO_2 و سیلیس تخلیص شده با خلوص حداقل ۹۳٪ SiO_2 قابل ارائه است.

فصل دوم: مطالعه بازار

مطالعه بازار

بر اساس مطالب مذکور در فصول گذشته ، با عنایت به مصرف بالای ماده معدنی سیلیس در صنایع تولیدی بخصوص صنایع شیشه سازی، ریخته گری و سرامیک ، میزان تقاضا برای سیلیس افزایش پیدا کرده است . نظر به اینکه ایران جزء کشورهای در حال توسعه می باشد و با توجه به روند رو به رشد صنایع در سالهای آینده پیش بینی می شود وضعیت تقاضا برای این محصول ، مناسب پیش بینی می گردد .

ماسه و شن ها می بایست دامنه مختلف از اندازه ذرات را دارا باشند واز موادی مانند میکا، رس، لای و مواد آلی پاک باشند که این ناخالصی ها با شستشو و غربال کردن و گاهی جدایش در ملات سنگین برطرف می گردند. در ادامه خرد شدن صورت می گیرد تا قلوله سنگ ها و تخته سنگ ها نیز به اندازه ذرات دیگر تبدیل شود. کوارتز تپله ای و ماسه های غربال شده، با جدایش مغناطیسی، لرزش، شستشو و شناورسازی و یا اسید شویی بر روی آن صورت می گیرد. نواکولیت با چکش و قلم به اندازه دلخواه درآمده و بر حسب کیفیت دسته بندی در محل کارخانه به اندازه دلخواه برش داده می شود. بلورهای کوارتز به صورت محلی توسط مصرف کننده نهایی جدا سازی و درجه بندی می شود.

کشورهای عمده تولید کننده و مصرف کننده سیلیس

میزان منابع و ذخائر سیلیس در کشورهای مختلف جهان

نام کشور	تولید سالانه (هزارتن)	نام کشور	تولید سالانه (هزارتن)
ایالات متحده آمریکا	۲۹۰۰۰	ژاپن	۴۸۰۰
اتریش	۶۸۰۰	اسپانیا	۶۵۰۰
فرانسه	۶۵۰۰	انگلیس	۴۰۰۰
آلمان	۸۵۰۰	آفریقای جنوبی	۲۲۴۰
ایتالیا	۳۰۰۰	سایر کشورها	۳۷۶۹۰
ایران	۱۷۰۰	مجموع	۱۱۱۰۰۰

لازم به ذکر است با توجه به ماهیت محصول ، کشورهای فوق الذکر عمده ترین مراکز مصرف سیلیس نیز می باشند .
ضمناً بر طبق آمارها میزان واردات و صادرات جهانی این محصول در طول سال به ترتیب ۲۵۰ هزار تن و ۴۱ هزار تن
برآورد می گردد .

۱-۲ میزان عرضه (تولید داخلی ، واردات)

تولید داخلی

واحدهای فعال (دارای پروانه بهره برداری) در زمینه دانه بندی و فرآوری سیلیس و ماسه ریخته گری

نام استان	تعداد	ظرفیت کل (تن)
دانه بندی و فرآوری سیلیس با کد آیسیک ۲۶۹۹۱۴۵۴		
اصفهان	۲	۷۰۰۰۰
تهران	۱	۲۸۰۰
زنجان	۲	۲۳۰۰۰۰
سمنان	۲	۲۴۰۰۰
قزوین	۱۰	۴۱۹۷۸۰
کرمان	۲	۶۹۰۰۰
مرکزی	۲	۶۵۰۰۰
همدان	۱۹	۱۱۳۹۵۰
یزد	۳	۱۲۰۰۰۰
جمع کل	۴۳	۱۱۱۴۵۳۰
ماسه ریخته گری با کد آیسیک ۲۶۹۹۱۴۷۵		
چهار و محال و بختیاری	۲	۱۹۴۰۰

مشخصات طرح های در دست اجرا (دارای جواز تاسیس) با پیشرفت فیزیکی ۱ تا ۲۴٪ در زمینه دانه بندی و فرآوری

سیلیس و ماسه ریخته گری

نام استان	تعداد	ظرفیت کل (تن)
دانه بندی و فرآوری سیلیس با کد آیسیک ۲۶۹۹۱۴۵۴		
آذربایجان شرقی	۲	۴۰۰۰۰
زنجان	۲	۳۱۰۰۰
سمنان	۳	۱۲۵۰۰۰
سیستان و بلوچستان	۱	۳۰۰۰۰۰
فارس	۱	۵۰۰۰۰
قزوین	۲	۱۱۵۰۰۰
مرکزی	۱	۱۰۰۰۰۰
جمع کل	۱۲	۱۱۲۱۰۰۰
ماسه ریخته گری با کد آیسیک ۲۶۹۹۱۴۷۵		
چهار و محال و بختیاری	۱	۳۰۰۰

مشخصات طرح های در دست اجرا (دارای جواز تاسیس) با پیشرفت فیزیکی ۲۵ تا ۴۹٪ در زمینه دانه بندی و فرآوری

سیلیس و ماسه ریخته گری

نام استان	تعداد	ظرفیت کل (تن)
دانه بندی و فرآوری سیلیس با کد آیسیک ۲۶۹۹۱۴۵۴		
آذربایجان شرقی	۱	۴۵۰۰۰
خراسان رضوی	۱	۲۰۰۰۰
قزوین	۱	۱۵۰۰۰
مرکزی	۱	۵۰۰۰۰
جمع کل	۴	۱۳۰۰۰۰

مشخصات طرح های در دست اجرا (دارای جواز تاسیس) با پیشرفت فیزیکی ۵۰ تا ۷۴٪ در زمینه دانه بندی و فرآوری

سیلیس و ماسه ریخته گری

نام استان	تعداد	ظرفیت کل (تن)
دانه بندی و فرآوری سیلیس با کد آیسیک ۲۶۹۹۱۴۵۴		
اصفهان	۱	۲۴۰۰۰
ماسه ریخته گری با کد آیسیک ۲۶۹۹۱۵۱۷		
یزد	۱	۷۲۰۰۰
ماسه ریخته گری با کد آیسیک ۲۶۹۹۱۴۷۵		
تهران	۱	۱۸۰۰۰۰

مشخصات طرح های در دست اجرا (دارای جواز تاسیس) با پیشرفت فیزیکی ۷۵ تا ۹۹٪ در زمینه دانه بندی و فرآوری سیلیس و ماسه ریخته گری

نام استان	تعداد	ظرفیت کل (تن)
دانه بندی و فرآوری سیلیس با کد آیسک ۲۶۹۹۱۴۵۴		
زنجان	۱	۱۰۰۰۰
قزوین	۲	۲۲۵۰۰۰
همدان	۳	۳۱۰۰۰
جمع کل	۶	۲۶۶۰۰۰

معرفی برخی از شرکت های فعال در صنعت سیلیس کشور

شرکت تامین ماسه ریخته گری

این شرکت اولین تولید کننده ماسه ریخته گری در کشور هم از نظر قدمت و هم از نظر مقدار تولید و فروش ماسه ریخته گری می باشد و هم از نظر دارا بودن معادل از نظر کیفیت ، بهترین معادن تولید ماسه ریخته گری را بدلیل گرد گوشه بودن ماسه در اختیار دارد . و در حدود ۳۰٪ بازار مصرف را در اختیار دارد . شرکت در صنعت ماسه های ریخته گری فعالیت می کند . طبق برآوردهای انجام شده فروش صنعت مذکور در سال ۸۸ نسبت به سال قبل حدود ۱۰٪ کاهش داشت که اهم دلایل آن عبارت است از رکود حاکم در کل کشور و جهان و عدم نقدینگی کافی جهت سرمایه در گردش . این شرکت در بین فعالان این صنعت با حجم فروش معادل ۶۱.۴۰۶ میلیون ریال در رده اول قرار دارد . در ضمن بدلیل هزینه حمل بالا صادرات محصولات به سود شرکت نمی باشد .

✓ از برنامه های مهم شرکت طرح انتقال کارخانه به نزدیکی معادن می باشد که عملیات اجرایی انجام شده است .

با توجه به اینکه واردات ماسه ریخته گری بدلیل هزینه حمل بالا صرفه اقتصادی ندارد و همچنین با عنایت به توسعه صنایع ریخته گری و نیاز کشور به صنایع فوق مصرف ماسه های ریخته گری در کشور روز به روز بیشتر می شود و از طرفی با توجه به اینکه معادن این شرکت از نظر کیفیت مناسب می باشند و همچنین بدلیل عدم وابستگی از نظر مواد اولیه و قطعات و لوازم یدکی به خارج از کشور وضعیت آینده شرکت مطلوب پیش بینی می گردد ولی باید سعی در بالا بردن کیفیت محصولات روز بروز انجام شود تا در بازار رقابتی بتوان کلیه مشتریان را حفظ کرد .

شرکت تولیدی تاوان سیلیس (سهامی خاص)



این شرکت باهدف تامین مواد اولیه کارخانجات ریخته گری کشور با ظرفیت یک صد هزار تن در سال ۱۳۵۱ تاسیس و شروع بکار نمود و با بیش از ۳۵ سال سابقه تولید پودرهای معدنی و بهره گیری از تکنولوژی کشورهای آلمان و انگلستان و همچنین استفاده از نیروی کار آزموده داخلی همواره تلاش در تامین نیاز واحدهای صنعتی و زیر بنائی کشور از جمله صنایع ریخته گری فولاد و چدن، حفاری چاههای نفت ، صنایع نظامی ، کاشی و سرامیک ، تصفیه آب را داشته و توفیقات چشمگیری را کسب نموده وبا اتکاء به تجربه و نیاز مشتریان خود، محصولات تولیدی خود را عرضه می نماید. این واحد با دارا بودن کادر مجرب مهندسی در زمینه ارائه محصولات متنوع ، استمرار و ثبات کیفیت مطلوب و بهای مناسب ، تمامی توان خود را برای حصول رضایت مشتریان بکار گرفته است و با تامین کننده مواد اولیه گروه کثیری از صنایع زیر بنائی کشورمان میباشد . کارخانه این شرکت واقع در شهرستان گرمسار (یکصد و ده کیلومتری شرق تهران) در زمینی به مساحت ۴۲۰/۰۰۰ متر مربع در سال ۱۳۵۱ بنا گشته است و در زمینه تولید مجهز به سیستمهای خردایش ، شستشو ، خشک کن ، دانه بندی و بسته بندی میباشد / تلفکس : ۲۴۳۳ - ۲۴۵۵ - ۳۰۹۶ - ۰۲۳۲۴۵۶ .



معرفی محصولات

انواع فرآورده های سیلیسی دانه بندی شده: فرآورده های سیلیسی بطور عمده در صنعت ریخته گری، تصفیه آب، سند بلاست سطوح شیشه، کریستال سازی و کبریت سازی بکار می روند.

مشخصات فنی و درصد عنصر SPECIFICATION OF SILICA SANDS

نام عنصر	K ₂ O	Na ₂ O	MGO	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂
درصد	۰/۱۴	۰/۶۳	۰/۰۸	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۴۸	۹۷/۶

دانه بندی و آنالیز های اعلام شده مربوط به تولیدات نرمال شرکت میباشد. با توجه به گستره تجهیزات تولید و معادن در اختیار امکان سفارش گیری از متقاضیان در دانه بندی و آنالیز های مختلف می باشد.



دانه بندی محصولات سیلیسی GRADING SIZE OF SILICA SANDS

ماسه پلاسند: این محصول عموماً برای ریخته گری ماهیچه ها بکار می رود و مشخصات آن به شرح زیر میباشد.

پلاستند (ماسه چراغی) PLASTSAND (Shell Mould)

نام عنصر	K ₂ O	Na ₂ O
نوع	مقاومت کششی TENSILE STRENGTH	عدد ریزی دانه AFS
ویژه	بزرگتر از ۲۲۰ PSI	۷۵-۷۰
صنعتی	۱۸۰ - ۲۲۰ PSI	۷۵-۷۰
کارگاهی	۱۴۰ PSI، ۱۳۰	۷۵-۷۰
۱،G	۹۰ - ۱۲۰ PSI	۷۵-۷۰

پودر بنتونیت

پودر بنتونیت یکی از مواد مهم در عمل ریخته گری با ماسه می باشد که عمل پیوندین ذرات ماسه را انجام داده و سبب استحکام و شکل پذیری قالب می گردد، سایر موارد مصرف عمده بنتونیت در حفاری چاه های نفت ، صنایع کاشی و سرامیک ، صنایع رنگ سازی تصفیه روغن می باشد.



پودر ذغال

پودر ذغال سنگ صرف نظر از افزودنی ها به قالب های ماسه ای ، باعث اصلاح و سهولت در تمیز کاری قطعات ریخته گری شده ، همچنین در صنایع باطری سازی نیز مصرف عمده ای را دارد.

مشخصات پودر ذغال SPECIFICATION OF COAL POWDER

نوع	ASH خاکستر	CARBON کربن	رطوبت	مواد فرار	SIZE
C	Max ۸.۵	۶۲-۵۹	۸-۴	۳۵-۳۱	۹۸٪<۱۰۰ MESH
C۱	۱۴، ۱۱٪	۵۹-۵۵	۸-۴	۳۰-۲۵	۹۸٪<۱۰۰ MESH
C۲	۲۳، ۲۱٪	۵۰-۴۶	۸-۴	۳۰-۲۵	۹۸٪<۱۰۰ MESH



شرکت تاوان سیلیس با اتکا به دانش ، تجربه و نیاز روز افزون بازار، انجام چند فقره پروژه جهت توسعه را در دست بررسی داشته است که اعم آنها بشرح ذیل می باشد :

طرح فرآوری ماسه سیلیس به ظرفیت ۲۰۰ هزار تن در سال ، که از سنگ معدن با خلوص بالای ۹۸٪ قابل استفاده بوده که بعد از مراحل خردایش اولیه و شستشو خلوص آن به بیش از ۹۹٪ خواهد رسید و از جهت استفاده در کارخانجات ریخته گری چدن ، فولاد و فلزات رنگین تولید میشود .

طرح تولید بتن سبک پخته شده (AAC) به ظرفیت ۲۰۰ هزار متر مکعب در سال ، که با توجه به نیازهای روز افزون ساخت و ساز در کشور و استفاده از بلوک ها و پانل های AAC ، امکان نوآوری در تولید مصالح ساختمانی حاصل گردیده و تلفیق مقاومت در برابر آتش ، بازده حرارتی ، عایق صوتی ، کاهش هزینه های مختلف و کیفیت زیست محیطی را محیا خواهد ساخت و همچنین هیچ یک از مصالح ساختمانی مشابه با آن ، قابل رقابت نمی باشد .

✓ طرح فرآوری و شستشوی ذغال سنگ به ظرفیت ۳۰۰ هزار تن در سال . این طرح جهت مصارف صنعتی و تامین نیاز کارخانجات داخلی به منظور بالا بردن کیفیت ذغال سنگ و دانه بندی آن اجرا خواهد شد .
شرکت ایران کانسار فعالیت در زمینه ماسه مورد مصرف در صنعت ریخته گری / تلفن : ۰۲۱-۴۴۱۴۲۶۰۳

شرکت تولیدی پودر کاویان

این شرکت به منظور تامین مواد اولیه و اطمینان از روند تولید و کنترل کیفیت دارای چهار پروانه بهره برداری از معادن مربوطه (سیلیس ، ۲ معدن فلدسپات و کائولین) تنها تولید کننده سیلیس از نوع کوآرس با خلوص SiO_2 بالای ۹۹/۵٪ با دانه بندی و Fe_2O_3 ترکیبی و آزاد کمتر از ۰/۲ درصد و همچنین چهار خط تولید به شرح ذیل :
✓ خط فرآوری مواد معدنی : فرآوری سیلیس و فلدسپات برای بالا بردن کیفیت مواد معدنی جهت مصارف شیشه سازی ، لعاب سازی ، ریخته گری و تصفیه آب و
✓ خط تولید انواع پودرهای میکرونیزه مواد معدنی

✓ خط تولید دانه بندی مواد معدنی با ضریب شکست متوسط و بالا
✓ خط تغلیظ مواد معدنی : جداسازی سیلیس و میکا از فلدسپات جهت مصارف لعاب سازی ، چینی ، الکتروود رنگ ها مصارف : لعاب سازی ، کاشی سازی ، شیشه سازی ، تصفیه آب ، سندپلاس ، ریخته گری ، بتن ، حفاری با تولید سالانه بیش از یکصد هزار تن



شرکت آراسیلیس الوند (سهامی خاص)

این شرکت به شماره ثبت ۱۷۴۹۴۶ بوده و با بیش از دو دهه تجربه و سابقه تولید مستمر (تاسیس ۱۳۶۷) بعنوان اولین های تولید و فرآوری انواع مواد معدنی در غرب کشور با تولید پودر میکرونیزه و دانه بندی انواع مواد معدنی (سیلیس ، دولومیت ، فلدسپات ، کربنات و میکا) فعالیت دارد . مصارف این محصولات عبارتند از : صنایع تصفیه آب ، صنایع شیشه و بلور ، سندبلاست و رسوب زدایی ، ریخته گری ، صنایع کاشی و سرامیک ، بتن های مقاوم و چسب صنعتی / دفتر فروش : ۷۷۴۰۹۸۱۸، ۷۷۶۲۲۰۶۰، ۷۷۶۲۲۰۶۴، ۰۲۱، ۰۹۱۲۳۲۵۲۱۹۴، ۰۹۱۹۴۹۰۹۶۴۷ /

کارخانه ۲۸۳۳۵۱۹ - ۰۸۵۲

شرکت معدنی کانسار نسوز رازی واقع در قزوین ، کیلومتر ۱۴ جاده بوئین زهرا ، شهرک صنعتی لیا قدیم ، تماس : ۰۲۸۲-۴۴۵۳۳۱۹-۲۰

معدنکاران نسوز واقع در شهرستان خرمدره تولید کننده ماسه ریخته گری و ماسه سیلیسی تماس : ۸۸۹۵۰۳۴۵ ، ۰۲۱-۸۸۹۵۱۶۲۳

شرکت اصفهان سیلیس واقع در مورچه خورت اصفهان فعال در زمینه سیلیس دانه بندی شده

کارخانه فرآوری ابهر سیلیس

این مجموعه یکی از کارخانه های تقریباً بزرگ فرآوری سیلیس می باشد که از اجزای زیر تشکیل شده است : سنگ شکن های فکی ، سالن خشک و سالن تر . لازم به ذکر است فرآوری سیلیس بستگی بسیار زیادی به درصد سیلیس در سنگ معدنی آن دارد ، هر چه درصد آهن و سایر عناصر در آن زیاد باشد فرآوری آن با مشکل برمی خورد . در بعضی موارد خاصی که درصد آهن و سایر عناصر از حد معینی بیشتر شود از روش فلو تاسیون استفاده می شود. و به دلیل زیاد بودن درصد سیلیس در این معدن از روش فلو تاسیون استفاده نمی شود. و روشهای استفاده شده در این کارخانه بسیار ساده و قابل درک می باشد .

ابتدا سنگ معدن سیلیس توسط کامیون هایی که گفته شد وارد کارخانه می شوند و به سمت سنگ شکن فکی برده می شوند. بر روی سنگ شکن فکی یک عدد فیدرویک سرند میله ای قرار داده شده است . ابتدا لازم به ذکر است که از دو سنگ شکن فکی بین ۶۰-۰ سانتی متر است که بعد از گذشتن از سرند میله ای وارد سنگ شکن می شوند . ابعاد

سنگ هایی که بزرگ بودند توسط کارگری که در کنار سرندها قرار داشت و توسط چکش او خرد می شدند تا به ابعاد مورد نظر رسیده و از سرندها عبور کنند و وارد سنگ شکن شوند. بعد از عبور از سرندها به سنگ شکن می رسیم که توسط فیدر، خوراک دهی می شد. دلیل استفاده از فیدر این است که از فرسایش بیش از حد سنگ شکن جلوگیری کند. ابعاد خروجی از سنگ شکن فکی حدود ۱۵ سانتی متر بودند. محصول خارج شده از سنگ شکن فکی توسط دو نور از نقاله به طرف سالن خشک برده می شوند. قبل از ورود بار به آسیای میله ای ذراتی که اندازه بهینه ای دارند، از سرندهای دوار ۳ میلی متر برای جداسازی آنها استفاده می شود. که در آن بار با فشار آب به داخل سرندها می افتد منتقل می شود و سرندها شروع به چرخیدن می کند. سرندها به صورت دو قلو بوده و دارای طول ۵/۱ متر و قطر ۱ متر و حد جدایش ۳ میلی متر است. ذرات بالای ۳ میلی متر از خروجی سرندها خارج شده و وارد قیف آبی می شود.

قبل از رسیدن بار به آسیای میله ای بار بر روی فیدرها قرار می گیرد استفاده از فیدرها مقرون به صرفه نبوده است و بنا به تجربه در ارتفاعی از کشتی علامتی گذاشته شده و کشتی تا آن ارتفاع بالا کشیده می شود تا بار با آب وارد آسیای میله ای شود. این بدان معناست که بار ورودی به آسیای میله ای باید تحت کنترل باشد یعنی میزان بار ورودی باید تحت کنترل باشد یعنی میزان بار ورودی باید کنترل شود. تحت کنترل بودن میزان بار ورودی به آسیای میله ای به خاطر آن است که بیشترین بهره برداری را داشته باشد.

محصول خارج شده از آسیا باید دوباره دانه بندی شود که این کار توسط سرندهای دوار صورت می گیرد. چون ممکن است فشار به سرندها وارد شود و بین چشمه های سرندها و سیلیس رخ دهد و ذرات بالای ۱۶ مش را نیز از خود عبور دهد به همین دلیل ما سرندهای ۱۱ تا ۲۰ مش را قرار می دهیم تا اینکه مش های بالای ۱۶ حذف شوند از طرفی ما برای حذف ابعاد زیر ۱۴۰ مش از کلاسیفایر استفاده می کنیم و ذرات دانه درشت به خاطر وزنشان سقوط می کنند و ذرات سبک فرصت سقوط ندارند و با شست شو حذف می شوند. کلاسیفایرها مارپیچی هستند و ابعاد زیر ۱۴۰ مش را از دانه ها جدا می کنیم تا ذرات با ابعاد ریز ۱۴۰ مش حداکثر به ۱ درصد برسند. میزان آهن هایی که راد میل مصرف می شود و وارد سیلیس می شود در کلاسیفایر از چرخه سیلیس حذف می شود، چرا که چگالی آهن بالاتر از سیلیس است و به همین دلیل ذرات حتی بسیار ریز آهن از آنها جدا شده و سقوط می کند و توسط آهن ربا (دراگ مگنت) از سیلیس جدا می شود. آهن یکی از مضرترین مواد در سیلیس است که طی این فرآیند جدا می شود. ماکزیمم آهنی که در محصول

کارخانه می تواند وجود داشته باشد حدود ۱۲٪ می باشد. آهنی که راد ایجاد می شود به راحتی جذب درام مگنت می شود و آهنی که درام مگنت نمی تواند جذب کند، اکسیدهای آهنی است که همراه با سنگ سیلیس از معدن به کارخانه می آیند

بر اساس آنچه قبلا عنوان گردید ، صنعت فروسیلیس و صنعت شیشه از کاربردهای دیگر ماده معدنی سیلیس می باشد که به دلیل اهمیت موضوع یکی از صنایع داخلی معرفی می گردد .

کارخانه فروسیلیس ایران (شرکت سهامی عام)

این کارخانه در سال ۱۳۶۳ ، با اعتقاد بر این باور که صنایع متکی به منابع اولیه باید بیش از پیش توسعه و گسترش یابد، تأسیس و با این عمل ضمن بکارگیری نیروی انسانی و فعال نمودن منابع کشور موجب خودکفایی صنایع ذوب فولاد و ریخته گری از لحاظ مصرف فروآلیاژ و قطع وابستگی به منابع خارجی گردید.



کارخانه فروسیلیس ایران در زمینی به مساحت ۵۰ هکتار در استان سمنان دایر شده است . این واحد تولیدی با بهره گیری از کوره قوس الکتریکی ساخت مانسمان دماغ آلمان و با ظرفیت تولید روزانه ۸۵ تن و سالانه ۲۵۰۰۰ تن ذوب به همراه پیشرفته ترین آزمایشگاه ها و دستگاه های کنترل کیفی مرغوب ترین نوع فروسیلیسیم ۷۵٪ را تولید می نماید. فرایند تولید فروسیلیس شامل ذوب کردن قراضه آهن ، SiO_2 یا سیلیس و مقداری کربن (که منبع آن میتواند زغالسنگ باشد) میباشد . این کار در کوره های القایی انجام میشود کوره به شکل قائم است که از بالا شارژ میشود و از پایین تخلیه یعنی شکل کوره به نحوی است که دریچه خروج مذاب در پایین آن و دروازه ورود مواد خام در بالای آن است. میله هایی که جریان برق را به یکدیگر القا میکنند ۳ تا هستند که بدلیل فرسایش سریع از بالا مرتبا به طول آنها اضافه شده و به پایین هدایت میشوند این فرایند در کارخانه فروسیلیس سمنان در حال انجام است . محصولات اصلی کارخانه فروسیلیس ایران شامل فروسیلیسیم و فروسیلیسیم منیزیم بوده و محصول جانبی آن پودر میکروسیلیکا می باشد .



محصولات این شرکت عبارتند از :

✓ فروسیلیسیم : ظرفیت تولید ذوب این محصول ۸۵ تن در روز و ۲۵۰۰۰ تن در سال می باشد . کوره و به تبع آن بقیه تجهیزات خط تولید این کارخانه ، به صورت مداوم در ۲۴ ساعت شبانه روز حدود ۲۴ بار ذوب گیری می شود. همچنین دمای ذوب گرفته شده حدود ۱۵۰۰ درجه سانتیگراد می باشد.

✓ فروسیلیسیم منیزیم: ظرفیت تولید فروسیلیسیم منیزیم حدود ۳۰۰۰ تن در سال بوده و از نظر کیفیت قابل رقابت با نمونه های مشابه خارجی است.

✓ پودر میکروسیلیکا: پودر میکروسیلیکا محصول جانبی این کارخانه می باشد که تولید آن حاصل از سیستم غبارگیر کوره قوس الکتریکی است. ظرفیت تولید این محصول حدود ۸۰۰۰ تن در سال می باشد.

گروه صنعتی سهند

این گروه صنعتی با بهره گیری از آخرین تکنولوژی روز دنیا و با بالاترین سطح کیفیت مطرح جهانی از سال ۱۳۸۵ شروع به تولید انواع شیشه های رنگی و سفید اعم از فلوت مشجر، سیمی (مسلح) و آینه نموده است. با توجه به قابلیت های منحصر به فرد خود توانائی تولید شیشه مشجر سیمی را نیز دارا می باشد. گروه صنعتی سهند از کارخانجات ذیل تشکیل شده است که در زمینه تولید شیشه و فرآوری آن فعالیت می کنند :

✓ شرکت صنایع شیشه آذر: تولید کننده شیشه تخت (فلوت) و آینه در ضخامتهای ۳-۱۲ میلیمتر و سایزهای مختلف ظرفیت اسمی : ۳۵۰ تن در روز (معادل ۹۶ هزار تن در سال) تاریخ بهره برداری : ۸۴/۹/۱.

تولید شیشه تخت به روش فلوت (شناور) بدین صورت که مذاب تولید شده از مواد اولیه که توسط کوره با دمای حدود ۱۵۳۰ درجه سانتیگراد تهیه میشود، روی قلع مذاب هدایت شده و بعد از شکلگیری جهت برش و برداشت آماده می گردد
✓ شرکت آینه سهند تبریز : خط تولید آینه در بهار سال ۸۷ مورد بهره برداری قرار گرفت . این خط که تکنولوژی آن متعلق به کشور ایتالیا می باشد، به ظرفیت تولید آینه در دو طرح چروک دو لایه و ساده دو لایه به میزان ۵۰۰۰ متر در روز می باشد . آئینه تولیدی ضمن تأمین مصرف داخل، صادرات به کشورهای ترکیه ، ارمنستان را تشکیل می دهد .

✓ شرکت سهندجام تبریز : تولید کننده انواع شیشه های مشجر سفید و رنگی در طرحها و سایزهای مختلف ظرفیت اسمی : ۲۰۰ تن در روز / تاریخ بهره برداری : ۸۴/۱۱/۲۲ . در ساخت شیشه مشجر به روش نورد مذاب به وسط دو غلطک ریخته و غلطکهای فوق مذاب را نورد نموده ، طرح غلطک پائین روی نوار شیشه حک می شود .
✓ شرکت ایمنی ارک تبریز : تولید کننده انواع شیشه و درب های سکوریت ، شیشه خم، اتومبیل ، LOW-E، چاپدار نظیر شیشه اجاق گاز ، یخچال و بخاری

✓ شرکت سهند سیلیس تبریز : استخراج و فرآوری سیلیس از معدن / ظرفیت اسمی : ۱۵۰ هزار تن در سال
✓ شرکت کربنات سدیم سمنان : تولید کننده کربنات سدیم در دو بخش سولفورین در آبادان و کربنات سدیم در سمنان با ظرفیت سالانه ۲۴۰۰۰۰ تن مشغول به کار می باشد

✓ شرکت سهند فلوت تبریز : خط تولید شیشه فلوت / ظرفیت اسمی : ۷۰۰ تن در روز

✓ شرکت حمل و نقل فروغ ترابر : حمل و نقل داخلی محموله های شیشه

شرکت سیلیس همدان

شرکت سیلیس همدان که از پیشگامان صنعت فرآوری و دانه بندی کانی های سیلیس، دولومیت ، فلدسپات در منطقه و استان میباشد ، در طی ۱۸ سال در زمینه تهیه مواد اولیه صناعی چون شیشه ، بلور، کریستال ، لعاب ، چینی مظروف و بهداشتی ، صنایع تصفیه آب ، صنایع سیلیکات ، صنایع ریخته گری و دهها صنعت متنوع دیگر فعالیت داشته است .



محصولات

✓ پودر سیلیس با خلوص ۹۹/۶٪ مورد استفاده صنایع شیشه و بلور، کریستال، چینی، کاشی، صنایع سیلیکات، شوینده ها

✓ پودر سیلیس با خلوص ۹۷٪ مورد استفاده: صنایع سیلیکات، تصفیه آب، ریخته گری، سند پلاست، فروسیلیس

✓ پودر فلدسپات مورد استفاده: چینی و کاشی، سرامیک، شیشه سازی

✓ پودر دولومیت مورد استفاده: چینی، شیشه سازی

واردات

کد تعرفه گمرکی مربوط به صنعت سیلیس

کد تعرفه	شرح کالا
۲۵۰۵	شن و ماسه از هر نوع حتی رنگ شده غیر از شن و ماسه شامل فلز
۲۵۰۵۱۰	شن و ماسه سیلیسی و شن و ماسه کوارتزی
۲۵۰۵۱۰۱۰	شن و ماسه سیلیسی دارای ۹۵٪ وزنی یا بیشتر سیلیس و ۶٪ یا کمتر اکسید آهن
۲۵۱۲	خاک سیلیسی

عمده سیلیس وارداتی کشور بیشتر بصورت پودری، خرد شده و پاک شده از انواع ناخالصی ها می باشد که عمدتاً در

صنعت شیشه و ریخته گری استفاده می شود. لازم به ذکر است، منع قانونی برای واردات این محصول وجود ندارد.

بر اساس ماهیت محصول سیلیس، واردات آن در احجام و ارزش پایین و مخصوص انواع خاصی از سیلیس بوده و در

روند عرضه و تقاضای کلی انواع سیلیس در بازار داخلی، نقش اساسی و تعیین کننده ای ندارد. به عنوان نمونه در سال

۸۵، میزان واردات شن و ماسه دارای ۹۵٪ وزنی یا بیشتر سیلیس و سایر شن و ماسه های سیلیسی (در چهار تعرفه)

به ارزش ریالی ۱۳ میلیارد ریال و حجم ۱۰۰۰۰ تن بوده است. (از کشورهای مبدأ آفریقای جنوبی، اسپانیا، ترکیه،

هلند، چین، انگلستان و بلژیک بوده است)

۲-۲ بررسی میزان تقاضا (مصرف داخلی و صادرات)

مصرف داخلی

معرفی برخی از بازارهای هدف محصول سیلیس

۷ واحد های تولیدی ریخته گری : شرکت صنعتی شوافژکار، شرکت فروسیلیس ایران، شرکت ریخته گری فولاد مازندران، ذوب آهن اصفهان، شرکت مرآت فولاد، صنایع شهید صیاد شیرازی، شرکت فولاد ساپا، شرکت تولیدی ایرفو، تراکتور سازی تبریز، ماشین سازی اراک، شرکت لوله سازی خوزستان، شرکت فولادین ذوب آمل، شرکت ریخته گری فولیران، شرکت بتن شیمی، صنایع مهمات سازی شهید زین الدین، صنایع نظامی هوا فضا، ماشین سازی تبریز، صنایع نظامی شهید جهان آراء، صنایع مهم پارچین، شرکت تولیدی بادگران، چدن سازان اصفهان، شرکت ارژن شیمی، شرکت فولاد طبرستان، صنایع ایران نشکن، شرکت پارس برنز، پتروشیمی بندرامام، پارس مولیبدن شیرآلات قهرمان، صنایع دفاع دورود، صنایع دفاع حدید، فولاد چدن دورود، تراکتور سازی ارومیه.

۷ فیلتراسیون : سازمان های آب منطقه ای

۷ سند بلاست : توسعه آب و گاز ایران، عمران ساحل، کشتی سازی اروندان، صنایع نفت و گاز، سازه های دریایی
۷ سایر مصارف (تولید قطعات بتنی، افزودنی ها و) : نیروگاه نکاء، سیمان غرب، کاشی ایرانا، برج میلاد، بنای سبک آستان قدس رضوی، صنایع چوب کاغذ ایران، سیمان آبیگ، سیمان تهران، شرکت شمالیت، شرکت پرسیت، شرکت لعاب مشهد.

صادرات

بر اساس ماهیت محصول سیلیس، صادرات آن در احجام و ارزش پایین و مخصوص انواع خاصی از سیلیس بوده و در روند عرضه و تقاضای کلی انواع سیلیس در بازار داخلی، نقش اساسی و تعیین کننده ای ندارد. به عنوان نمونه در سال ۸۵، میزان صادرات شن و ماسه دارای ۹۵٪ وزنی یا بیشتر سیلیس و سایر شن و ماسه های سیلیسی به ارزش ریالی ۷۰۰ میلیون ریال و حجم ۱۷۹ تن بوده است. (به مقصد امارات، سوریه، عربستان، آلمان، افغانستان و کویت بوده است)

۳-۲ تعیین ظرفیت کارخانه

بر اساس آنچه عنوان گردید در بازارهای داخلی عملاً کشتش و تقاضای مناسبی برای انواع فرآورده های سیلیسی از جمله سیلیس مورد مصرف در صنعت ریخته گری متناسب با ویژگی های خاص و مطابق خواسته مشتریان بازارهای صنعتی وجود داشته و عامل میزان تقاضای بازار برای این تیپ از محصولات ، عامل محدود کننده مهمی در ظرفیت واحد جدیدالاحداث نمی باشد . لذا با لحاظ نمودن ظرفیت اقتصادی طرح و سایر پارامترها ، ظرفیت واحد صنعتی مورد نظر (تولید سیلیس خالص و سیلیس شسته شده) در فاز اول معادل ۴۰۰۰ تن در سال لحاظ شده است .

برآورد ظرفیت کارخانه

نام محصول	ظرفیت سالیانه	واحد سنجش
سیلیس ریخته گری	۴۰۰۰	تن

نقش معدن در اقتصاد

بر اساس شواهد موجود معدن به عنوان یک بخش پیشران در اقتصاد کشور که به صورت عملی می تواند ایران را از اقتصاد تک محصولی رها بخشد، کمتر مورد توجه قرار گرفته است . در حالی که این بخش با توجه به مفاد چشم انداز ۲۰ ساله کشور، اجرای سیاست های کلی اصل ۴۴ و الزام اصلاح ساختار دولت از قابلیت بالایی برخوردار است. برای ترسیم کم توجهی به بخش صنعت، دلایل متعددی وجود دارد :

۷ هم اکنون ایران دارای بیش از ۵۷ میلیارد تن ذخیره معدنی است که از این میزان، معادل ۳۷ میلیارد تن ذخیره قطعی و ۲۰ میلیارد تن، ذخیره احتمالی است. این مقدار ذخیره، فقط با اکتشاف ۲۰ درصد از پوشش کل کشور و آن هم فقط در سطح و عمق محدود مشخص شده است. با این وجود ایران در رده کشورهای معدن خیز دنیا شناخته شده است. برای آنکه مشخص شود که هنوز راه طولانی برای انجام فعالیتهای مطلوب معدنی وجود دارد، باید اشاره کرد که در کشورهای بزرگ معدنی دنیا همانند کانادا، سالانه دو میلیون متر حفاری های اکتشافی صورت می گیرد. در حالی که در ایران از ۵۰ سال گذشته تاکنون، در مجموع دو میلیون متر حفاری در کشور صورت پذیرفته است که حاصل آن ذخایر غنی مس، آهن، ذغال، سرب و روی بوده است. آمایش سرزمین در تمام دنیا بر مبنای ذخایر کشور انجام می شود و تمام زیربنایهای کشور در این راستا شکل گرفته و فعالیت های اکتشافی معدنی را در پی می گیرد.

✓ سرمایه گذاری که در پنجاه سال گذشته در بخش معدن و صنایع معدنی در ایران صورت گرفته تنها ۲۳ میلیارد دلار بوده که حاصل آن ایجاد صنایع معدنی بزرگی مثل فولاد، مس، آلومینیوم، ذوب آهن، سیمان است. کافی است که بدانید همین میزان سرمایه گذاری به قیمت های تاریخی، سالانه برای کشور حداقل ۱۵ میلیارد دلار درآمد ایجاد کرده است. حال اگر فقط سالانه ۲ میلیارد دلار در عملیات اکتشافی (شناسایی مواد معدنی و حفاری و ذخیره یابی) هزینه می شد یا شود، وضعیت متفاوت تر بود. حال آنکه فقط در مدت ۱۰ سال می توان با حفاری های عمیق در کل پهنای کشور حداقل در یک لایه از عمق اکتشاف بیشتری کرد و به ذخایر کلان فلزی، غیرفلزی و مصالح ساختمانی دست یافت.

✓ سهم صادرات معدن و صنایع معدنی در سال ۸۹، برای صادرات ۴۱ میلیون تن از انواع مواد معدنی فلزی، سنگ تزئینی، سنگ های قیمتی، خاک های صنعتی به ارزش ۱۰ میلیارد و ۳۲۰ میلیون دلار بوده است که رشد قابل ملاحظه ای (۲۳ درصد) نسبت به سال ۸۸ داشته است و این نشان می دهد که اوج بحران اقتصادی در غرب، معدن توان شتاب در صادرات غیر نفتی را داشته و دارد.

✓ طی سال های اخیر پیشرفت هایی در بخش معدن و صنایع معدنی به دست آمده به خصوص در صنایعی مانند سیمان، کاشی و سرامیک و فولاد، این در شرایطی تحقق یافته که کشورهای اصلی تولید کننده این مواد در دنیا با بحران اقتصاد جهانی و تثبیت یا کاهش تولید مواجه شده اند. اما در ایران تحریم و بحران های اقتصادی نتوانست روند پیشرفت این بخش را تحت الشعاع قرار دهد، به گونه ای که در وضعیت بحران اقتصاد جهانی با تکیه بر این مزیت نسبی کمترین مشکل را در بخش معدن و صنایع معدنی شاهد بوده ایم.

✓ گرچه معادن و صنایع معدنی از دیرباز از پرتانسیت ترین بخش های اقتصادی کشور بوده اند، با این حال تولید و توسعه این بخش به گونه ای بوده که حجم تولید مواد معدنی از ۱۵۵ میلیون تن در سال ۱۳۸۳ به حدود ۲۹۰ میلیون تن در سال ۸۹ رسیده است. استاندارد جهانی استخراج، حداقل یک درصد از ذخایر شناخته شده در کشورهای معدن خیز است، در حالی که این میزان در ایران تنها نیم درصد ذخایر است. این نسبت نشان می دهد که کشور به شدت نیاز به شناسایی ذخایر با استفاده از حفاری های عمیق اکتشافی در کشور دارد. از سویی، متنوع سازی در سبد مواد و محصولات معدنی، به دلایل الزامات راهبردی، برای کشور حائز اهمیت است. گزارش اقتصادی کشور در سال ۷۱ یعنی در سالی که کشور با بحران ارزی مواجه بود، نشان می دهد که تنها بخشی که در میان بخش های اقتصادی از رشد برخوردار بود، بخش

صنایع معدنی بود. در بحبوحه بحران در اقتصاد جهانی توصیه «جنرال موتورز و جنرال الکتریک»، فقط سرمایه گذاری در دو بخش صنایع پیشرفته و صنایع معدنی بوده است. مسوولان اجرایی هم به این اجماع رسیده اند که فروش منابع انرژی در بلندمدت قابل توصیه و پایدار نیست، بلکه باید با فرآوری مواد و صنایع معدنی، تولید محصول با ارزش افزوده بیشتر را دنبال کرد که این رویکرد، افزایش اشتغالزایی یا ایجاد فرصت های شغلی و محرومیت زدایی را به همراه دارد. با تاملی به مواردی که عنوان شد، به نظر می رسد توانمندی های بالفعل و بالقوه بخش معدن چندان مورد استفاده قرار نگرفته است. این در حالی است که با پیوستن کشور به سازمان تجارت جهانی در آینده نه چندان دور یا به عبارتی تعدیل تعرفه ها، بخش صنعت جدا از بخش معدن، دارای مزیت نسبی بالایی نیست و تنها بخشی که دارای مزیت نسبی یا ترکیبی است، (مواد معدنی به علاوه انرژی) بخش معدن و صنایع معدنی است. ایران تنها کشور در منطقه است که دارای ترکیب این دو مزیت نسبی ذخایر معدنی و انواع انرژی است و این مساله در استقلال کشور حائز اهمیت است. در زمان بحران این مزیتها، به همراه منابع انسانی ماهر و خلاق قابل اتکا می تواند قدرت رقابتی اقتصاد ایران را ارتقا دهد. از سویی «بنیان صنایع پیشرفته» نیز مواد معدنی مثل زیرکن، سیلیکون و انواع فلزات و مواد استراتژیک به عنوان پایه است. توجه به معدن، زمینه مهاجرت معکوس و اشتغالزایی را فراهم می کند. جدای از این، شمار زیادی از دانش آموختگان رشته معدن را می توان به فعالیت تخصصی هدایت کرد. افزون بر اینها، بخش معدن از توان ارزش آوری بالایی برخوردار است که از طریق صدور محصولات صنایع معدنی و مراحل فرآوری صنعتی به دست می آید. محصولات معدنی حلقه واسط در صنایع دیگر است. کاربرد مواد معدنی در کلیه ساخت و سازهای زیربنایی کشور و تامین کننده مواد اولیه صنایع معدنی مختلف کشور اعم از سیمان، گچ، انواع پودرهای میکرونیزه، انواع نسوز، کاشی و سرامیک، شیشه، سرب و روی، آلومینیوم، صنایع فولاد، صنایع مس، مصنوعات تزئینی و سنگ های قیمتی و شوینده ها و سایر بخش های صنعتی و ساختمانی از این جمله است.

حال به نظر می رسد که با توجه به انفال بودن بخش معدن در قانون اساسی و دارا بودن قانون معادن به صورت خاص، این بخش باید از توجه و جایگاه ویژه ای برخوردار شود. با توجه به بحث استراتژیک بودن استقلال صنعتی و اقتصادی و اینکه تدوین و اجرای مناسب و کامل برنامه های اقتصادی مستلزم تشکیل و تقویت ساختارهایی است که در عین دانش محوری، سازوکار مناسبی برای پیگیری و نظارت بر اجرای برنامه ها داشته باشد، پیشنهاد می شود به منظور حمایت

و بهره گیری از توسعه بخش صنعت و معدن و استفاده بهینه از پتانسیل های معدنی کشور، حداکثر استفاده از توان داخلی، در راستای اجرای اصل ۴۴ قانون اساسی صورت گیرد. در کشور ما نیز که بخش معدن و صنایع معدنی بخش عمده ای از تولید و صادرات کشور را به خود اختصاص می دهد و هنوز نیز بیش از ۲۰٪ از ذخایر معدنی کشور شناسایی کامل نشده، نه تنها باید متولی این بخش در دولت کوچک نشود، بلکه باید برنامه ریزی شود تا مشابه سایر کشورهای توسعه یافته معدن خیز در جهان به دلیل مسوولیت راهبردی، حاکمیت این ذخایر تقویت شود.

فصل سوم: بررسی فنی و تکنولوژیکی

طرح مطالعات امکان سنجی تولید سیلیس ریخته گری

بررسی فنی و تکنولوژیکی

۱-۳ تشریح تکنولوژی تولید

محصولات مورد نظر این طرح دو نوع سیلیس خالص و سیلیس شسته شده می باشد که شیوه تولید آنها متفاوت می باشد. سیلیس خالص ۹۳ تا ۹۹٪ در واقع یک سیلیس سنتزی یا مصنوعی است که با شیوه های زیر امکان تولید دارد:

روش تولید حرارتی: در این روش سیلیس محلول در آب یا کلوئیدی تولید می گردد که به نام سیلیس غباری معروف **Fumed** است. امروزه نام تجاری این نوع سیلیس تولید شرکت دگوسا است که در ایران شناخته شده است. در این شیوه ترکیبات سیلیسی در دمای ۱۰۰۰-۲۰۰۰ درجه سانتی گراد ذوب و بخار شده و بعداً ناگهان سرد می گردد و دانه های سیلیس آمورف تشکیل می شود. سپس سیلیس در مجاورت کک، آهکی شده. سپس در دمای ۱۵۰۰ درجه سانتی گراد و به **Sio** تبدیل می گردد. این فرآیند از آن جهت که در فاز بخار تولید می گردد بسیار گران قیمت است. سیلیس **Fumed** به عنوان غلظت دهنده و عامل ایجاد تیکسوتروپیک، پخش کننده، پایدار کننده، ضد کف، کاتالیزور در صنایع پلاستیک، چسب، رنگ، مرکب، و مواد آرایشی مصرف می گردد. سیلیس تولیدی در این روش با خلوص ۹۹/۹۹۹ و اندازه ذرات ۱ تا ۱۰۰ میکرون است. دانسیته ۲/۱۶ و سطوح ویژه ۴۰۰-۱۵ متر مربع بر گرم است.

روش تخلیص سیلیس طبیعی: در این روش از انواع سیلیس طبیعی مانند ماسه، خاک دیاتومه و کوارتز استفاده می گردد و ضمن حل کردن و جدا کردن مواد ناخالص، بلور سیلیس خالص مجدداً تشکیل می گردد. درصد سیلیس در این کالا ۹۰-۹۳٪ می باشد. **سیلیس رسوبی:** در این روش از محصول سیلیکات سدیم استفاده می شود و در **ph** های مختلف **sio₂** رسوب داده شده سپس مراحل تخلیص را طی می نماید. درصد سیلیس در این محصول ۸۰-۹۰٪ می باشد. اندازه ذرات ۱۰ تا ۲۵ میکرون، دانسیته ۲-۱/۲ و سطح ویژه ۴۵-۷۰۰ متر مربع بر گرم است.

از سه روش فوق روش تخلیص سیلیس طبیعی به دلایل زیر انتخاب شده است:

✓ مواد اولیه آن در کشور ارزان، قابل دسترس و فراوان است.

✓ خلوص محصول از شیوه رسوبی بیشتر است.

۷ در فاز مایع انجام می گیرد و نیازی به فاز بخار ندارد .

۷ در این فرایند محصول دیگری نیز به نام سیلیس شسته شده تولید می گردد در صورتی که در دوروش دیگری این امکان وجود ندارد.

تشریح فرایند تولید منتخب

آسیاب کردن و شستشوی اولیه

کلوخه های بزرگ کوآرتز و دیاتومه در آسیاب نرم شده و هر یک بطور جداگانه وارد مخازن شستشوی می گردد. سایر مواد سیلیسی مانند ماسه نیز جداگانه با آب شسته می گردد. مخلوط سیلیس در آب پس از شستشو با آب معمولی در حوضچه دیگری با آب و کمی اسید کلریدریک شسته می شود تا مواد کربناته آن حل شده و جدا گردد. حوضچه ها مجهز به همزن های قوی است، تا عمل اختلاط انجام گردد. سپس مجدداً با آب معمولی شسته می گردد. بخشی از مواد در این مرحله با نام سیلیس شسته شده (کوآرتز، دیاتومه، ماسه به صورت جداگانه) جداسازی می گردد تا به مرحله خشک کن ها و کلسینه کردن برود و مابقی سیلیس برای مرحله تخلیص ارسال می گردد.

خشک کردن و کلسینه کردن:

سیلیس شسته شده وارد خشک کن دوار شده و در دمای ۳۵۰-۴۰۰ درجه سانتی گراد خشک شده و کلسینه نیز می گردد و سایر ناخالصی های آن جداسازی می گردد سیلیس خشک با خلوص ۷۵-۸۰٪ بخش دانه بندی ارسال می گردد.

تخلیص سیلیس:

در این بخش سیلیس شسته شده باید تبدیل به سیلیس خالص ۹۳-۹۵٪ گردد. ابتدا سیلیس شسته شده در حوضچه هایی با مواد قلیائی قوی مخلوط شده و حل می گردد. و سپس از فیلتر عبور می نماید محلول به دست آمده از سیستم مبدل یون آنیونی و کاتیونی عبور داده شده تا یون Na^+ ، Cl^- آن جداسازی گردد. سپس در دمای ۸۲-۱۰۰ درجه سانتی گراد ذخیره می گردد تا بلورهای سیلیکا رشد نماید. به وسیله فیلتر جدا شده، شسته شده، مجدداً به وسیله فیلتر سانتریفوژ جداسازی می گردد. سیلیس خالص در خشک کن خشک می شود.

مرحله دانه بندی و بسته بندی:

محصولات مختلف خشک شده طرح در انتها وارد بخش دانه بندی شده بوسیله الک های مختلف ذرات از هم جدا شده و سپس در کیسه های دو جداره ۵۵ کیلویی بسته بندی می گردد.

آشنایی با مواد قالبگیری و افزودنی های ماسه

علاوه بر سه جزء اصلی ماسه قالبگیری (ماسه، چسب، آب) مواد دیگری جهت ازدیاد کیفیت و برطرف کردن بعضی از عیوب خاص به مخلوط اضافه می گردند، لذا در اینجا به برخی از آنها که موارد استفاده زیادتری دارند اشاره می شود:

پودر سیلیس: سیلیس سائیده شده و نرم که ریزتر از ۲۰۰ مش باشد پودر سیلیس (Silica Flour) نامیده می شود. پودر سیلیس را می توان تا ۳۵ درصد به منظور افزایش استحکام گرم ماسه به کار گرفت. پودر سیلیس چگالی توده (bulk-density) ماسه را افزایش می دهد و به همین دلیل ماسه قالبگیری به دلیل فشردگی بیشتر مقاومت بیشتری در برابر نفوذ فلز مذاب دارد.

گرد زغال: FeO_3 تولید شده در مذاب تولیدات آهنی (چدن و فولاد و...) در اثر تماس با دیواره های قالب که اغلب از جنس سیلیس است وارد واکنش شده و تولید ترکیب زودگداز فایالیت را می دهد که منجر به سوختن ماسه و چسبیدن آنها به سطح قطعه ریختگی می شود (ماسه سوزی). در اثر افزودن پودر زغال سنگ یک محیط احیائی که ناشی از سوختن زغال و خارج شدن گاز CO_2 و هیدروژن و هیدروکاربیدهای سبک است، ایجاد می شود. در نتیجه این عمل، از اکسیداسیون سطوح مذاب و ایجاد گاز زود گداز فایالیت جلوگیری می شود. لذا در نهایت باعث نچسبیدن ماسه به قطعه و افزایش صافی سطوح قطعات ریختگی میگردد. همچنین با افزودن این ماده از عیوبی نظیر انقباض حرارتی (ماسه اندازی) می توان جلوگیری نمود. زیرا به وسیله منقبض شدن پودر زغال در اثر حرارت می توان انقباض ماسه را در اثر گرما جبران نمود. نیز قابلیت خرد شدن ماسه را بهبود می بخشد زیرا ماسه کمتر کلوخه می شود و راحت تر روی shakeout خرد می شود. خواص یک پودر زغال مناسب به شرح زیر است: مواد فرار موجود در آن زیاد باشد (حدود ۲۶-۳۰ درصد) و میزان خاکستر باقیمانده در زغال نباید از ۱۰ درصد تجاوز کند. پارامتر مهم دیگر گوگرد موجود در زغال است، زیرا گوگرد در چدنهای خاکستری تمایل به ایجاد chilled است و مقدار گوگرد باید از ۱٪ تجاوز نکند.

میزان مصرف خاک زغال برای قطعات تا ۱۰۰۰ کیلوگرم ۲ الی ۴ درصد و برای قطعات سنگین که دارای گرمای بیشتری بوده عمق ماسه سوزی شدیدتر است میزان مصرف زغال تا ۸ درصد نیز می رسد.

حبوبات، غلات: چسب غله ای مصرفی در ریخته گری عبارت است از پودر ذرات ریز و یا نشاسته ژلاتینی که از ذرات گرفته شده است. نشاسته را می توان در ماسه های قالبگیری به منظور افزایش استحکام تر یا خشک یا بالا بودن قابلیت فروپاشی تا حد ۲ درصد به کار گرفت. اگر مقدار نشاسته در مخلوط زیاد شود خارج سازی قطعه از قالب دشوار خواهد شد. از آنجایی که نشاسته فرار است، استفاده غیر صحیح از آن می تواند باعث ایجاد عیوب گازی در قطعات شود.

گرد چوب: گرد چوب یا دیگر مواد سلولزی مثل گرد غله یا ذرت، پوسته حبوبات و سلولز را می توان به مقدار ۰/۵ تا ۲ درصد به ماسه های قالبگیری افزود. این می تواند انبساط ماسه را کنترل کنند. مواد سلولزی پس از بالا رفتن دما مشتعل می شوند و بعد از سوختن فضای خالی ایجاد می کنند و از این طریق انبساط مخلوط ماسه قالبگیری کنترل می شود. گرد چوب و مواد سلولزی قابلیت پاشی و قابلیت جاری شدن را نیز اصلاح می کنند و به همین دلیل سهولت بیشتری در خارج سازی قطعه از قالب ایجاد می کنند.

اکسید آهن: پودر آن به مقدار اندک در برخی ماسه های قالبگیری به منظور افزایش استحکام گرم به کار می رود. **ملاس، دکستین:** ملاس ساقه نیشکر یا ملاس چغندر که تصفیه نشده و حاوی ۶۰ تا ۷۰ درصد شکر یا جامد باشد را میتوان برای افزایش استحکام خشک ماسه و بالا بردن سختی لبه قالب ها به کار گرفت. دکستین یا صمغ نشاسته را می توان برای همان اهداف مورد استفاده قرار داد.

پرلیت: پرلیت یک سیلکات آلومینیم معدنی منبسط شده است. این ماده به مقدار کم و در حد ۰/۵ تا ۱/۵٪ به منظور پایداری حرارتی بهتر ماسه به کار می رود این ماده را ممکن است به عنوان عایق کننده تغذیه نیز مورد استفاده قرار داد. **آسفالت:** یک محصول جنبی حاصل از تجزیه نفت خام است. آسفالت نیز همانند قیر به منظور افزایش استحکام گرم، بهبود سطح تمام شده قطعات ریخته گری آهنی مورد استفاده قرار می گیرد.

قیر زمینی : قیر یک محصول از کک سازی است. طی عملیات کک سازی، قیر در دمای ۳/۵ درجه سانتیگراد از ذغال جدا می شود. قیر تا حد ۳ درصد و به منظور اصلاح استحکام گرم و بهبود سطح نهایی قطعات در مخلوط های ماسه برای ریخته گری قطعات آهنی به کار می رود.

گیلسونیت : گیلسونیت یک ماده آسفالتی جامد است که در برخی از نقاط زمین از معدن استخراج می شود. این ماده به خوبی فرار است و عملکرد آن شبیه تاثیر زغال در بهبود تمام شده قطعات است.

روغن سوخت : روغن سوخت برخی از اوقات به میزان بسیار کم و در حد ۰/۰۱ تا ۰/۱ درصد در مخلوط قالبگیری به کار می رود به نظر می رسد که این ماده قابلیت قالبگیری ماسه را بهبود می بخشد.

۲-۳ معرفی ماشین آلات ، تجهیزات و ابزار آلات مورد نیاز

نام ماشین آلات	تعداد (دستگاه)
آسیاب	۴
حوضچه شستشو ۱۰ متر معکبی سیمانی	۸
کوره با دمای ۳۵۰ درجه سانتی گراد	۲
تانک انحلال فولادی	۸
کمپرسور	۲
فیلتر با توری فولادی	۸
مبدل یون کاتیونی و آنیونی	۳
تانک کریستاله شدن فولادی	۳
دستگاه دانه بندی با الک های مختلف	۳

آشنایی با صنعت خردایش مواد معدنی

جدیدترین خط تولید پودر میکرونیزه

در این سیستم سنگ کلوخه کربنات کلسیم از معدن در ابعاد ۸۰*۱۰۰ وارد کارخانه می شود. این کلوخه ها پس از ریخته شدن درون هاپر ورودی دستگاه وارد آسیاب فکی شده و توسط این آسیاب تبدیل به قطعات ۱۰-۲۰ سانتی متری می شوند. این قطعات پس از خروج از آسیاب فکی، وارد آسیاب چکشی می گردد. ابعاد سنگ خروجی از آسیاب چکشی بین ۱-۱۰ میلی متر است که مناسب با ورودی آسیاب اصلی سیستم (آسیاب سپراتور) می باشد.



مواد خروجی آسیاب چکشی توسط یک عدد الواتور به داخل سیلوی مواد اولیه ۲۰۰ تنی ریخته و در این محل انبار می گردد. در خروجی این سیلو یک عدد روتاری والو جهت خروج یکنواخت مواد برای ورود به آسیاب سپراتور تعبیه گردیده است. مواد ذخیره شده در سیلوی مواد اولیه با عبور از این روتاری وارد آسیاب سپراتور می گردد. مواد ورودی پس از ورود به این آسیاب بر اثر فشار بالای باد ایجاد شده (به دلیل دور بالای دیسک دستگاه) و برخورد بین چکش ها و زره های تعبیه شده در سیستم بلافاصله به پودر تبدیل می شود. در این سیستم جهت خروج مواد آسیاب شده در درون دستگاه از روش جت پالس استفاده می شود لازم بذکر است که سیستم جت پالس جهت غبارگیری کوره های مختلف از جمله گچ و سیمان مورد استفاده قرار می گیرد. جهت خروج مواد پودر شده ابتدا فن مکنده که متصل به سیستم بگ فیلتر است شروع به مکش می کند و مواد پودر شده بر اثر خلا ایجاد شده از خروجی آسیاب سپراتور که به ورودی فیلتر متصل است منتقل و به کیسه فیلتر های موجود در فیلتر چسبیده می شود و در اثر عطسه های شیر های برقی تعبیه شده در این بگ فیلتر مواد پودری چسبیده به فیلتر از کیسه ها جدا شده و به انتهای فیلتر ریخته می شود و سپس از طریق روتاری

والوی که در انتهای فیلتر نیز نصب گردیده است به داخل سیلوی محصول (پاکت پر کن) منتقل و جهت بسته بندی به دو صورت فله و کیسه ای آماده عرضه به بازار مصرف می باشد.

مزایای استفاده از سیستم آسیاب سپراتور

طرح اولیه دستگاه فوق توسط شرکت آلمانی آلپاین هوزاکاوا، جهت پودر کردن برخی مواد خوراکی و دارویی و معدنی در ظرفیت بسیار پایین انجام شده است که این سیستم توسط مهندسان ایرانی کاملاً بومی شده و جهت خردایش انواع مواد معدنی تا ظرفیت ۴۰ تن در ساعت طراحی گردیده است. لازم بذکر است که این دستگاه در سه تیپ اصلی کاری: تک روتوره، ۲ روتوره و ۴ روتوره طراحی شده است که هر کدام از تیپ های اصلی این دستگاه نیز با ظرفیت های مختلفی که حداقل و حداکثر تولید آن نیز مشخص است، طراحی گردیده است. مزایای دستگاه آسیاب سپراتور نسبت به سایر دستگاه های موجود در بازار جهت خردایش مواد معدنی از دستگاه های مختلفی من جمله بال میل، پین میل، ریموند، وایر میل، لیزر میل استفاده می شود که عموم دستگاه های ذکر شده توانایی خردایش و مش بندی مواد معدنی با سختی بالا را نداشته و دستگاه ریموند نیز که یک دستگاه وارداتی است و تا حدودی به سیستم آسیاب سپراتور شباهت دارد نیز به دلیل استهلاک بالا و هزینه ساخت بالا در کشور ما کمتر مورد استفاده قرار می گیرد. در کشور ما تنها دستگاهی که عموماً جهت خردایش انواع مواد معدنی با سختی های متفاوت مورد استفاده قرار می گیرد بال میل است که تا حدودی برای معدن کاران و سایر کارشناسان شناخته شده است و ما در این بخش مزایای دستگاه آسیاب سپراتور را نسبت به بال میل ذکر می کنیم: سایت مورد نیاز برای اجرای این خط تولید بسیار محیط کوچکی بوده به نحوی که این سیستم رامیتوان در یک محوطه ۴*۹ متر مکان یابی نمود.

آلودگی زیست محیطی در این خط تولید در حد صفر می باشد که با توجه به آلاینده های بسیار بالای اکثر خطوط فرآوری مواد معدنی از اهمیت بسزایی برخوردار است. به علت اینکه انتقالات مواد در این سیستم در درون دستگاهی به نام سپراتور انجام میگردد بیش از شش دستگاه از سیستم های قدیمی کسر میگردد که این امر به نوبه خود باعث کاهش هزینه های ساخت و استهلاک موجود در کل خط تولید می شود. در سیستم بال میل برای خردایش یک ماده معدنی متفاوت با ماده معدنی که قبلاً خردایش شده بود بایستی کلیه دستگاه توسط کارگر تمیز شود که این امر علاوه بر هزینه

بر بودن مدت زمانی حدود ۲ تا ۳ روز زمان می برد ولی در سیستم آسیاب سپراتور به عنوان مثال اگر دستگاه در حال خردایش یک ماده سفید مانند کربنات کلسیم است و اپراتور تصمیم گرفته باشد که یک ماده معدنی سیاه نظیر گیلسونایت را خردایش نماید ، تنها کافی است که این دستگاه حدود ۲ ساعت بصورت خالی و بدون بار کار کند تا دستگاه آماده خردایش ماده جدید شود. این دستگاه در طول زمان کاری خود به غیر از هزینه برق و تجهیزات هیچ نوع استهلاکی نخواهد داشت لازم به ذکر است که در این سیستم هیچ گونه شارژ گلوله یا تعویض قطعات وجود ندارد. میزان برق مصرفی در سیستم بال میل تنها در خود دستگاه آسیاب گلوله ای (الکتروگیربکس چرخاننده آسیاب گلوله ای) برابر با کل برق مصرفی در سیستم آسیاب سپراتور می باشد. این دستگاه به علت دارا بودن آلیاژهایی با مقاومت بسیار بالا و ضد سایش توانایی آسیاب کردن انواع کانی ها با سختی های بالا را دارا می باشد. این دستگاه توانایی تولید پودر میکرونیزه از مش ۵۰ تا ۳۰۰ که مرز تولید نانو می باشد را داراست. ظرفیت تولید این دستگاه نیز نسبت به دستگاههای مشابه بسیار بالاتر میباشد. عملیات بتن ریزی و حجم خاکبرداری در سیستم بال میل بزرگتر و حجیم تر و به نسبت با هزینه تر از سیستم آسیاب سپراتور است. در اینجا ذکر این نکته ضروری به نظر می رسد که مقایسه های انجام گرفته در موارد بالا تماماً بر اساس میزان تولید در ساعت برابر برای هر کدام از دستگاهها در نظر گرفته شده است به عنوان مثال هر کدام از دستگاهها برای خردایش ۸ تن در ساعت از ماده معدنی X با سختی و مش یکسان چه هزینه ای در بر دارد. با توجه به موارد ذکر شده و نیز بر اساس تحلیل هزینه فایده می توان نتیجه گرفت که در حال حاضر این دستگاه از نظر اقتصادی و صنعتی مناسب ترین دستگاه برای تولید انواع پودر میکرونیزه می باشد.

خط تولید پودر میکرونیزه (شرکت مهندسی کاویان جم)

بال میل، رادمیل، ریموند، جت میل نامهای نسبتاً آشنایی در زمینه خردایش مواد معدنی هستند که معمولاً دارای استهلاک بالا، مصرف انرژی بالا، خطوط تولید پیچیده و پراستهلاک، ماشین آلات مکمل زیاد و بازدهی نسبتاً نامطلوبی نسبت به تمام هزینه های مذکور می باشد. در این میان بال میل در کشور ما نسبت به دیگر ماشین آلات ذکر شده مورد استفاده بیشتری در صنایع قرار می گیرد که تقریباً میتوان گفت به یک آسیاب عمومی در کشور ما تبدیل شده است که به دور از محاسبات خاص مهندسی در اکثر خردایشها از تالک با سختی ۱ موس تا سیلیس با سختی ۷ موس و مواد سخت تر مثل

کلینکر از آن استفاده می شود که متاسفانه دلیل این موضوع را میتوان نبود اطلاعات فنی در اختیار صاحبان صنایع، نبود تنوع محصول در کشور ما، علمی نبودن فرایند های تولید ذکر کرد. حال آنکه با اندکی تامل و محاسبه میتوان معایب این سیستم قدیمی را درک کرد که از آن قبیل میتوان به فضای زیاد مورد نیاز جهت خط تولید با این دستگاه، وجود چندین دستگاه مکمل برای تکمیل فرایند آن، استهلاك بالای آن، مصرف بالای انرژی که مهمترین معضل حال حاضر کشور ماست، هزینه تعمیرات و نگهداری بالا، نیروی انسانی زیاد مورد نیاز جهت نگهداری آن، شارژ دوره ای گلوله های آن (که رقم چشمگیری میباشد)، زمان و نیروی انسانی زیاد جهت تغییر کاربری از یک کانی به کانی دیگر... اشاره کرد.

شرکت کاویان جم در راستای ایجاد تحولی شگرف در صنعت تولید پودرهای میکرونیزه معدنی پس از مطالعات بسیار زیاد، تحقیقات گسترده و محاسبات دقیق علمی و صرف هزینه های گزاف در این راستا دستگاه ترکیبی آسیاب سیراتور را به صاحبان صنایع معرفی کند که پایه اولیه این دستگاه اروپایی میباشد که تعداد محدودی از آن توسط برخی شرکتها به صورت ناقص، غیر علمی و صرفا تجربی در کشور تولید شده که هرگز نتوانسته به معیارهای اصلی دستگاه حتی نزدیک شود و راندمان آنها نیز در حد غیر قابل قبول میباشد. این شرکت با مطالعات گسترده یک بازنگری کلی روی دستگاه انجام داده که تماما بر پایه محاسبات علمی مهندسی روز با مدل سازی و تحلیل تمام زوایای آن با جدیدترین نرم افزارها و طبق آخرین استانداردها و متد علم مکانیک، برق، متالورژی و... انجام شده است.

دستگاه طراحی شده در این شرکت در تمامی زمینه ها از جمله سیستم یاتاقان بندی، طراحی نوع آسیاب، سیستم آب بندی، آلیاژهای مصرفی، مصرف انرژی، طراحی ظاهری مورد بازنگری کلی قرار گرفته و قابل مقایسه با هیچیک از رقبای داخلی و نیز خارجی نیست. به جز موارد فنی ذکر شده در بالا در موارد زیر نیز میتوان برتری های این دستگاه را نسبت به تمام آسیابهای مورد استفاده در کشور مانند بال میل و... را متذکر شد: فضای کم جهت نصب و تولید محصول، تغییر کاربری سریع (حداکثر ۲ ساعت) از تولید یک محصول به محصول دیگر (مثلا از کربنات کلسیم به باریت) مصرف انرژی پایین و معقول نسبت به آسیابهای دیگر، استهلاك فوق العاده پایین، ترکیب از چند دستگاه بودن آن و بالطبع حذف شدن چندین دستگاه از خط تولید، توانایی تولید پودر میکرونیزه در گستره ابعادی وسیع از ۵۰ تا ۵۰۰ میکرون واقعی، ظرفیت بالای تولید نسبت به سایر ماشین آلات مشابه.

تکنولوژی جدید در صنعت خردایش

با وجود اینکه خردایش از نظر اقتصادی دارای اهمیت بسیاری می باشد ولی تکنولوژی و کارائی آن بطور اساسی سالیان سال بدون تغییر باقی مانده است و نیاز شدیدی برای بهبود و پیشرفت روشهای خردایش احساس می شود. بنابر این برای افزایش کارائی عملیات خردایش روشهایی مورد بررسی قرار گرفت که در آن انرژی صرفاً برای خرد کردن مواد بکار گرفته می شد. یکی از روشهای بهبود کارائی خردایش بکارگیری امواج مافوق صوت در نواحی پرفشار می باشد. روشهای متداولی در خصوص کارایی امواج مافوق صوت در صنایع حفاری و خردایش مواد معدنی گزارش شده است. بعنوان مثال از دهه ۱۹۵۰ مطالعات بسیاری در مورد تاثیرات حوزه های مافوق صوت بر خردایش مواد در سوسپانسیون و مواد جامد تحت فشار صورت گرفته است. احتمالاً گارتندر سال ۱۹۵۹ اولین فردی بود که قاطعانه کارایی امواج مافوق صوت را در خردایش ذرات در سوسپانسیون آزمایش کرد. نتایج آزمایشات او بسیار ضعیف و فاقد نکته های فنی بود. در بسیاری از کارهای تحقیقاتی امواج مافوق صوت با توجه به فرکانس بالای آن بعنوان وسیله ای برای تحریک یک شکستگی بکار گرفته می شود. عده ای از محققین در سال ۱۹۸۸ کاهشی ۷۰ درصدی در مقاومت فشاری یک سنگ معدن را در آزمایشات خود گزارش کردند. امواجی با طول موج بیشتر از صوت، در صورتی که بتوان آنها را تولید و متمرکز کرد، می توانند بعنوان ابزاری موثر برای خرد کردن مواد مورد استفاده قرار گیرند. این امر در مورد قطعات سنگهای معدنی مورد آزمایش قرار گرفته است. تجهیزات مورد نیاز عبارتند از: ژنراتور با فرکانس متغیر بین ۵ و ۱۰۰ هرتز، مجموعه ای از بلورهای پیزوالکتریک برای تولید ارتعاش، تقویت کننده - انتقال دهنده، نوسان ساز با فرکانس نزدیک به ۱.۶۲ کیلو هرتز دارای طولی معادل ۱۶ سانتیمتر برای انتقال امواج مافوق صوت به دانه های مورد نظر، محفظه خرد کردن که در مقابل صفحه خروجی نوسان ساز قرار گرفته است.

دانه های جامد در محفظه خرد کردن تحت تنش فشاری ناشی از امواج مافوق صوت خرد می شوند و به محض اینکه ابعادشان از سوراخ خروجی کوچکتر شد، از دستگاه تخلیه می شوند. فرکانس ارتعاشات باید به نحوی انتخاب شود که راندمان انرژی حد اکثر باشد. طیف گسترده ای از فرآیندهای فیزیکی - شیمیایی توسط دستگاههای خردایش مافوق صوت قابل انجام است، مانند شکستن سلولها و باکتریها، تهیه امولسیون و پراکندن، یکنواخت کردن مایع و خردایش مواد بلورین.

امواج مافوق صوت به دو صورت در خردایش مواد بکار می روند . یکی استفاده از این امواج در آسیاهای غلطکی و فعال کردن حداقل یکی از غلطک های آسیا نسبت به امواج مافوق صوت و دیگری استفاده از امواج مافوق صوت در پالپ است . که روش دوم برای رسیدن به اندازه های خیلی ریز کاربرد دارد و مواد بکار رفته در این نوع خردایش عموماً اکسیدهای فلزی ، کربنات کلسیم ، سولفات باریم و غیره می باشند . وقتی با کاهش انرژی سرو کار داریم مافوق صوت همراه یک سوسپانسیون شامل ماده برای خردایش و محلول معرف ، مطرح است . از آنجایی که فاز سوسپانسیون یکنواخت می تواند ماده را به ثبات برساند ، مواد با انرژی و حساسیت بالاتر باید توسط فرآیند تر خرد شوند .

کاربرد انرژی مافوق صوت بر کاهش نیاز به نیروی گرداننده ، فشار بالا بر میله ها و مصرف انرژی کلی برای خردایش در مقایسه با شرایط مشابه بدون استفاده از امواج مافوق صوت موثر است . ارزش بهینه نیروی کاربردی امواج مافوق صوت توسط اندازه گیری میزان شکستگی های ویژه ای مشخص می شود . این پارامتر به مصرف انرژی برای تولید یک تن از مواد با هر اندازه ای اشاره دارد .

۳-۳ برآورد مواد اولیه و منبع تهیه هر کدام از آنها

برآورد میزان مصرف مواد اولیه

نام ماده اولیه	میزان مصرف سالیانه	واحد	مشخصات	محل تامین
سیلیس طبیعی	۵۴۰۰	تن	کوارتز ، ماسه ، خاک دیاموته	داخلی
اسید کلریدریک	۲۰۰	تن	۳۰٪	داخلی
سود	۳۰۱	تن	جامد	داخلی
پاکت بسته بندی	۸۰۸۰۰	عدد	دو جداره	داخلی

اطلاعات تکمیلی در خصوص ماده معدنی سیلیس

نهشته های سیلیس در همه دوره های زمین شناسی در ایران، کمابیش با خاستگاه های متفاوت رسوبی، دگرگونی، پگماتیته دگرسانی، گرمایی و پلاسمی پدیده آمده است. نهشته های اقتصادی سیلیس در جاهای مختلف ایران زمین، در درجه نخست فراوانی و گسترش، متعلق به زمان کامبرین و در درجه دوم به دوران مزوزوییک منحصر می شود.

کانسارهای سیلیس در پرکامبرین پسن: در سازند کاهار در آذربایجان و البرز لایه هایی از کوارتزیت دیده می شود که پاره ای از آنها از نظر میزان ذخیره و عیار SiO_2 می توانند ذخایر سودمندی را بسازند. برای مثال، در ناحیه علم کندی در سنگ های دگرگونی هم ارز با سازند کاهار، ذخایر با ارزشی از سیلیس وجود دارد.

ذخایر سیلیس در پالئوزویک: ذخایر سیلیس در سنگ های پالئوزویک، از نظر زمان تشکیل، کیفیت و میزان ذخیره به دو گروه تقسیم می شوند:

گروه اول: نهشته های سیلیسی رسوبی کامبرین در پیوند با ماسه سنگ لالون. کانسارهای این دوره، بیشترین نهشته های سیلیس ایران را می سازند و به طور گسترده در البرز و ایران مرکزی یافت می شوند. این نهشته ها در البرز (به ویژه ناحیه فیروزکوه تا سلطانیه)، در پیوند با بخش بالایی ماسه سنگ لالون (تاپ کوارتزیت) می باشند. در ایران مرکزی در استان های کرمان و یزد هم مانند کانسارهای شجره، داهوئیه، در کج و حشیش در پیوند با تاپ کوارتزیت لالون یا سازند هم ارز آن هستند. ذخایر سیلیسی این افق، به ویژه در البرز مرکزی و ناحیه سلطانیه از نظر میزان ذخایر و عیار مناسب میباشند و در صنایع شیشه و ماسه ریخته گری و صنایع سیمان کاربرد دارند، اما این ذخایر چندان کاربردی برای فروسیلیس ندارند.

گروه دوم: نهشته های سیلیسی رسوبی پالئوزویک پسن در پیوند با ماسه سنگ ها و کنگلومراهای سیلیسی. این کانسارهای از نظر شمار و میزان ذخیره و کیفیت، بجز چند مورد، قابل ملاحظه نیستند. از کانسارهای اقتصادی سیلیس در این گروه، می توان در درجه نخست کانسارهای رودکرد و چناریه در استان کرمان با سن سیلورین - دونین (احتمالاً تا کربنیفر) در پیوند با واحد فسفاتی گروه کوشک، و در درجه دوم، لایه های ماسه ای و کنگلومرای سیلیسی سازند سردر، به ویژه بخش بالایی آن با سن ویزئن را برشمرد. در بسیاری از نقاط مرکزی ایران، باختر، جنوب باختری کشور و نیز البرز، یک لایه سیلیسی سفید تا سفید با لکه های قرمز با ستبرای ۴۰ تا ۶۰ متر یافت می شود. برای نمونه در شمال ماسوله در کوه های تالش در قاعده پرمین، یک افق سیلیسی با عیار مناسب قابل پیگیری است.

کانسارهای سیلیسی با خاستگاه آذرین-دگرگونی در پالئوزویک و مزوزویک: کانسارهای سیلیسی با این خاستگاه، بیشترین تجمع را در زون سنندج- سیرجان دارند که سن آنها از پالئوزویک تا آخر مزوزویک است. برای نمونه، کانسارهای سیلیسی در کپلکس کولی کوش، سن پالئوزویک دراند و کانسارهای سیلیسی در فلیت های همدان، دارای سن مزوزویک است. از آنجا که برخی از کانسارهای این زون، خاستگاه دگرگونی و پاره ای خاستگاه آذرین

دارند و گاه متأثر از هردو عامل آذرین و دگرگونی می باشند، در این نوشتار آذرین دگرگونی نام گرفته اند. بیشتر این کانسارها، در بخش شمالی زون سنندج- سیرجان جای دارند. بیشتر سازندهای پیش از کرتاسه در این زون دگرگون شده اند. افزون بردگرگونی گسترده در این زون، شماری فراوان از توده های آذرین بازی، اولترابازی و توده های گرانیت-گرانودیوریت نفوذ کرده اند که پیامد سیلیس زایی داشته اند.

پدیده های دگرگونی باعث شده اند که شماری رگه ها و عدسی های کوارتزی خالص فراوانی در میان شیست ها و گنایس ها و همچنین در نزدیکی توده های پگماتیتهای، به ویژه در بخش شمالی باختری این زون در ناحیه گلپایگان، ورود و و همدان پدید آید. کانسارهای سیلیس این زون، از نظر میزان ذخیره چندان بزرگ نیستند، اما کیفیت کانسنگ آنها خوب است. در پیدایش آنها عوامل زیر نقش داشته است:

✓ شماری محدود از این کانسارها در وابستگی مستقیم با پدیده های ماگمایی و در پیوند با فاز پگماتیتهای آنها است.

✓ شماری فراوان از این کانسارها، همزاد با سنگ های دگرگونی است و سنگ های فراگیر آن، دگرگونی های شیستی است. درباره خاستگاه سیلیس موجود در شیست ها و سنگ های دگرگونی می توان گفت:

الف) کانسارهای سیلیسی، فرجام تزریق شیره های سیلیسی جدا شده و برخاسته از توده های ماگمایی اسیدی (مانند گرانیت الوند) و جایگیری این شیره ها در سنگ های پیرامون است. این پدیده را نمی توان برای همه این کانسارها تعمیم داد، زیرا شماری فراوان از این گونه کانسارها تعمیم داد، زیرا شماری فراوان از این گونه کانسارها تعمیم داد، زیرا شماری فراوان از این گونه کانسارها در بخش خاوری همدان (ملایر)، کوارتزیت هایی هستند که با توجه به شواهد زمین شناسی، کهن تر از توده های آذرین می باشند(شیست های فراگیر کوارتزیت ها، سن ژوراسیک پیشین دارند، حال آنکه توده های اسیدی الوند مربوط به کرتاسه می باشند).

ب) این ذخایر سیلیسی همزاد با شیست ها بوده، همراه با آنها دگرگون شده و به کوارتزیت تبدیل شده اند. ناهمسانی آنها با سنگ های فراگیر سبب شده است تا در فرآیند دگرگونی، در برابر چین خوردگی پایداری ناهمسانی از خود نشان دهند و عدسی و توده ای شکل شوند.

پ) عدسی ها، رگه ها و لایه های نازک سیلیسی همزمان با دگرگونی پدید آمده اند، بدین ترتیب که هنگام افزایش فشار و بالا رفتن دما در سنگ های رسوبی، محلول های سیلیسی از بین لایه های سنگی روان شده اند. آنگاه که این

محلول ها به کربنات های بین لایه ای برخورد کردند، از حرکت باز ایستاده و سپس این محلول های سیلیسی، گوارش لایه های نازک کربناتی را آغاز کرده اند. با به هم خوردن PH محیط، سیلیس های محلول نهشته شده و در پیکره نهشته ها به شکل ذخایر سیلیسی که امروز دیده می شوند، در آمده اند.

ذخایر سیلیس رسوبی مزوزوییک: نهشته های سیلیس رسوبی این زمان، در نقاط گوناگون ایران کم و بیش پراکنده است. هیچ یک از این نهشته ها، شایسته کاربرد در صنایع شیشه سازی نیستند ولی می توان از آنها در صنایع دیگر مانند ریخته گری و سیمان استفاده کرد و کانسارهایی که می توان در این رده قرار دارد، چنین است:

✓ افق سیلیسی تریاس پیشین با ستبرای حدود ۵ متر که در البرز و برخی از نقاط ایران مرکزی گزارش شده است.

✓ لایه سیلیس موجود در ماسه سنگ ها و کنگلومرای کوارتزیتی در البرز واقع در ناحیه سمنان (محدوده چاشم و لارستان)، در پیوند با سنگ های ژوراسیک زیرین است.

✓ کانسارهای سیلیسی در پیوند ماسه سنگ سیلیسی سازند دره زنجیر با سن کرتاسه پیشین در استان یزد.

کانسارهای سیلیسی با خاستگاه پلاستی: کانسارهایی با این خاستگاه از نهشت قلوه ها و ماسه های کوارتزی با کواترزیتی در آبراهه ها و یا آبکندهای رودخانه ها، سواحل دریا، تپه های ماسه ای و یا در پای کوه های گرانیته، که از فرسایش گرانیته ها ایجاد شده، پدید آمده اند. نوع دانه درشت آن، قلوه هایی در حد ۱۰ سانتی متر می باشد و به عنوان گلوله سیلیسی کاربرد دارد. با وجود بررسی های فراوان تاکنون، نهشته در خور توجهی از آن در ایران به دست نیامده است. کانسار سیلیسی نیز در پیوند با فرسایش گرانیته شیرکوه یزد و نیز کانسار سیلیسی ریگ سفید در شهر بابک از انواع بارز این نوع کانسارها هستند، ولی خلوص این ذخایر چندان نیست و دارای دانه بندی خاصی می باشند. دانه بندی این سیلیس ها بسیار اندک که خود کاربردی دیگر برای آنها فراهم می سازد.

کانسارهای سیلیسی با خاستگاه گرمابی: این گونه کانسارها به نسبت کمیاب بوده و ذخایر کوچکی را می سازند، اما گاهی درجه خلوص بسیار خوبی دارند. نمونه وار می توان کانسار میزوج قزوین را نام برد.

کانسارهای سیلیسی دگرسانی: درمحور تاکستان تا جلفا به خصوص شمال باختری تاکستان محور مشکین شهر-اهر، زون های دگرسانی گسترده ای وجود دارد. در این زون های دگرسانی، ذخایر با ارزشی از سیلیس یافت می شود.

زون های دگرسانی قابل تفکیک به زون آرژیلی، سیلیسی، هماتیسی هستند و عموماً زون آرژیلی گسترده تر از دو زون دیگر است، زون هماتیسی محدودتر است. معمولاً زون آرژیلی در زیر و زون سیلیسی در بالای آن قرار دارد و گاه بین دو زون، زون هماتیسی دیده می شود. این گونه ذخایر سیلیسی، به خاطر ناخالصی و یا پایین بودن عیار SiO_2 ، برای صنایع شیشه مناسب نیستند و برای مصارف ریخته گری، سیمان و ... می توانند کاربرد داشته باشند.

ماسه قالبگیری

مهمترین جزء ماسه های مصرفی در قالبگیری می باشد، این ماده دارای دیر گدازی بالامیباشد و می توان از ماسه های طبیعی که معمولاً دارای اندازه ای یکنواخت و کروی هستند این ماده را بدست آورد و یا با عمل شکست در ماسه سنگ های بزرگ، ماسه ای با ذرات زاویه دار و اندازه غیر متناسب تهیه نمود. در ماسه های قالبگیری خواص فیزیکی بسیار مهم است. معمولاً ماسه ها بصورت کروی و دانه بندی یکنواخت تهیه می شود. امروزه برای افزایش مقاومت سایش و جلوگیری از نفوذ مذاب درون قالب، از دانه هایی با اندازه کوچکتر استفاده می شود. مقدار سیلیس در ماسه بیش از ۹۰٪ است که مابقی آن را چسب های رسی (ایلیت، کائولینیت، بنتونیت و مونت مورلینیت) با حداقل ۲٪ رطوبت تشکیل می دهد. برای مرطوب تر کردن خواص ماسه یا ایجاد ماسه ای ویژه از موادی بعنوان افزودنی تا حدود ۲٪ به ماسه افزوده می شود.

ماسه ماهیچه

ماسه ماهیچه ها عموماً از نوع سیلیسی هستند ولی در مواقعی از ماسه های زیرکنی، اولیونی، کربنی و شاموتی نیز استفاده بعمل می آید. از ویژگی های بارز ماسه های مصرفی برای ساخت ماهیچه، شکل و اندازه ی ذرات آنها است، بدینگونه که استفاده از ذرات درشت و کروی شکل برای ساخت ماهیچه، بدلیل داشتن قابلیت نفوذ گاز بیشتر، ترجیح داده می شود. معمولاً ماسه ای که دارای بیش از ۵٪ خاک (ذرات ریز) باشد، بدلیل کاهش یافتن قابلیت از هم پاشیدگی آن، برای ساخت ماهیچه مناسب نیست، علاوه بر این، خواص دیگری از قبیل دیر گدازی، پایداری ابعادی و شیمیایی، قابلیت انتقال حرارت نیز از اهمیت زیادی برخوردار هستند. نکات مهم در ماسه های ماهیچه ای بشرح زیر است: وجود خاک رس باعث تقلیل در کیفیت ماسه ماهیچه و نیز باعث اختلال در واکنش سایر چسب ها با هم می گردد و بنا براین باید مقدار آن تا حد امکان در ماسه های ماهیچه پائین باشد. امروزه نیز به دلیل دیر گدازی، بالا بودن دانسیته حجمی و

ظرفیت حرارتی بیشتر ماسه های زیر کنی و اولیونی از دلائل اصلی کاربرد آنها به جای ماسه سیلیسی به شمار می روند .
در هر حال ، علی رغم وجود محدودیت های از قبیل واکنش پذیری سیلیس با مذاب آهنی از این ماده به طور وسیعی به
عنوان ماده اصلی در ساخت ماهیچه ها استفاده می گردد

انواع چسب ها

تقسیم بندی چسب ها از دو دیدگاه صورت می گیرد: یکی از نقطه نظر ماهیت و طبیعت چسب ها و دیگری از نظر نحوه
انجماد و چگونگی خود گیری و سفت شدن چسب ها . از نقطه نظر ماهیت چسب ها به دو گروه چسب های آلی و غیر
آلی و یا دو دسته قابل حل در آب یا غیر قابل حل در آب تقسیم می شوند. از نظر نحوه انجماد و چگونگی سفت شدن
و خود گیری ، چسب ها به سه نوع برگشت ناپذیر، میانه و برگشت پذیر تقسیم می شوند. چسب های آب دار و چسب های
غیر آب دار نباید با هم دیگر مخلوط شوند زیرا هر زمان که این عمل صورت پذیرد ، استحکام مخلوط ماسه در حالت
تر و در حالت خشک کاهش می یابد. و به خصوص اگر چسب آب دار ، خاک رس باشد ، کاهش استحکام شدید تر
است. یک چسب مناسب باید ذرات ماسه را به یکدیگر اتصال دهد و استحکام قالب و ماسه ماهیچه را در حالت تر و
خشک افزایش دهد. همچنین باید شرایط زیر را فراهم سازد:

✓ در خلال تهیه مخلوط های قالب گیری یا ماهیچه به طور یکنواخت بر روی سطوح ماسه پایه گسترده شود.
✓ در هر دو حالت تر و خشک ، استحکام کافی مخلوط را فراهم سازد.

✓ شکل پذیری مناسب در مخلوط ایجاد نماید ، به طوری که مخلوط قادر باشد همه بخش های قالب را پر کند.
✓ کمترین چسبندگی را به سطح مدل و جعبه ماهیچه داشته باشد تا انجام قالب گیری و ماهیچه سازی امکان پذیر شود.
✓ امکان خشک کردن سریع قالب و ماهیچه را فراهم سازد و در مونتاژ قالب و نگهداری ماهیچه رطوبت جذب نکند.
✓ در خلال مرحله خشک کردن و به هنگام ریخته گری فلز به داخل قالب ، حد اقل گاز را تولید و آزاد سازد.
✓ به دیرگدازی ماسه لطمه نزند و سوختن زودرس ماسه را پدید نیاورد.

✓ امکان آسان خارج سازی ماهیچه را فراهم سازد.

✓ برای افرادی که عملیات تهیه مخلوط ، قالب و ماهیچه را انجام می دهند ، مضر نباشد و گازهای سمی تولید نکند.

✓ ارزان و قابل دسترسی باشد.

معمولا چسب های مورد استفاده در ریخته گری را به دو گروه عمده چسب های قالب گیری و چسب های ماهیچه تقسیم بندی می کنند. از خاک های رسی می توان به عنوان چسب های قالب گیری نام برد و چسب های سیلیکات سدیم ، اتیل و نیز انواع رزین های مورد مصرف در قالب گیری پوسته و... از جمله چسب های ماهیچه هستند.

ترکیب اصلی ماسه سیلیکات سدیم عبارتند از : اکسید سدیم (۲۸ تا ۷۰) + (آب) ۶۷ تا ۱۷ + (سیلیس) ۶۴ تا ۲۶ / (تمامی اعداد به در صد می باشند) . معمولا مشخصه سیلیکات سدیم بوسیله ی نسبت وزنی سیلیس به اکسید سدیم نشان داده می شود . پر مصرف ترین سیلیکات سدیم در محدوده ی نسبت ها وزنی بین تا می باشد . بیشتر فلزات در برابر خوردگی توسط سیلیکات سدیم مقاوم می باشند ، لذا به راحتی می توان سیلیکات سدیم را در بشکه های فولادی نگهداری کرد . در صورت باز بودن سر بشکه به منظور جلوگیری از ایجاد یک پوسته ی ضخیم در سطح سیلیکات سدیم بهتر است یک لایه فیلم نازک روغنی در سطح ایجاد نمود.

۳-۴ برآورد تاسیسات مورد نیاز

تاسیسات زیربنایی

تاسیسات	مشخصات انشعاب		مشخصات مصرف	
	واحد	میزان	واحد	میزان مصرف سالیانه
انرژی الکتریکی	کیلووات	۲۰۰	کیلووات ساعت	۵۰۴۰۰۰
آب	اینچ	۱	مترمکعب	۲۴۰۰۰
گاز	مترمکعب بر ساعت	۶۵	مترمکعب	۱۸۰۰۰۰

تاسیسات جانبی و تکمیلی

تاسیسات	شرح
شبکه بخار	دو دستگاه دیگ بخار ۳ تنی به همراه تجهیزات جانبی
شبکه هوای فشرده	دو دستگاه کمپرسور هوای فشرده با ظرفیت ۱۰ مترمکعب بر دقیقه با تجهیزات جانبی
گرمایش	سیستم گرمایش مرکزی به همراه یونیت ها و رادیاتورها
سرمایش	انواع کولرهای آبی
تجهیزات تهویه صنعتی	اگزوز فن برای نهمیه هوای آلوده سالن های تولید
ایمنی	سیستم اعلام و اطفاء حریق
وسائط نقلیه درون کارخانه	دو دستگاه لیفتراک ۵ تنی به همراه تعداد متناسبی لیفتراک دستی
ابزار آلات کارگاهی	انواع تجهیزات جوشکاری ، ابزار آلات دستی و تعمیراتی

۳-۵ طراحی کارخانه ، تخمین فضاهای مورد نیاز

در هر واحد صنعتی اختصاص فضای مناسب و کافی جهت استقرار ماشین آلات ، جابجایی مواد اولیه و محصولات و سهولت در امر تردد کارکنان امری ضروری است . در این بخش مساحت مورد نیاز جهت سالن تولید ، انبار ساختمانهای غیرتولیدی و در نهایت زمین و محوطه سازی برآورد می گردد . برای محاسبه مساحت سالن تولید ابتدا مساحت خالص دستگاه ها از کاتالوگ های مربوطه استخراج می شود . سپس با توجه به خصوصیات کاری هر دستگاه فضای مورد نیاز جهت جابجایی مواد اولیه و محصول خروجی ، مانور اپراتور به همراه عملیات سرویس و نگهداری برآورد شده به مساحت خالص دستگاه افزوده می گردد . سپس با در نظر گرفتن تعداد دستگاه ها ، جمع کل مساحت هر کدام از ماشین آلات محاسبه می شود . برای کارهای غیر ماشینی نیز مساحت میز کار و محوطه مورد نیاز به همین صورت محاسبه میگردد . حاصل جمع فوق بعلاوه مساحت مورد نیاز جهت لحاظ نمودن مساحت راهروها ، گسترش و توسعه احتمالی ظرفیت تولید به واسطه افزایش ماشین آلات و تجهیزات ، مساحت مورد نیاز سالن تولید را ارائه خواهد کرد . علاوه بر فضاهای صنعتی و تولیدی ، ساختمان های اداری ، رفاهی و نگهبانی به منظور اداره امور روز مره کارخانه و متناسب با حجم فعالیتهای اداری و تعداد پرسنل غیر اداری واحد طراحی می گردد.

در نهایت مساحت کل زمین و محوطه کارخانه در حدود ۳ تا ۵ برابر مساحت ساختمان های آن می باشد . به طوریکه ۲۰ درصد مساحت زمین به خیابان کشی و پارکینگ و همچنین ۲۵ درصد آن به فضای سبز اختصاص خواهد یافت.

مساحت حصار کشی نیز با محاسبه طول حصار کشی و ارتفاع دیوار بدست می آید. حصار کشی محوطه به ارتفاع ۲/۵ متر می باشد که یک متر پایین آن از جنس آجر و سیمان و بالای آن نرده آهنی می باشد. از بابت روشنایی محوطه نیز به ازای هر هشتاد متر مربع ، یک چراغ پایه بلند در نظر گرفته می شود.

با استناد به مطالب فوق الذکر و با لحاظ نمودن خصوصیات تکنولوژیکی طرح تولید سیلیس ریخته گری ، مشخصات سایت پلان کارخانه در جدول ارائه شده است .

مشخصات سایت پلان کارخانه تولید سیلیس ریخته گری

شرح	مساحت (متر مربع)	شرح	مساحت (متر مربع)
زمین	۵۰۰۰	سالن تولید	۱۵۰۰
خیابان کشی و پارکینگ	۱۰۰۰	انبار مواد اولیه و محصول / سرپوشیده و روباز	۵۰۰
فضای سبز	۱۰۰۰	ساختمان اداری و خدماتی	۲۲۰
حصار کشی	۷۵۰	نگهبانی و سرایداری	۵۰
تعداد چراغ های محوطه	۶۳	--	--

۳-۶ برآورد لوازم و تجهیزات اداری

در این بخش و با لحاظ نمودن تعداد کارکنان ، حجم امور اداری و بازرگانی واحد ، لوازم اداری و ستادی به شرح زیر پیش بینی شده است .

نام لوازم و تجهیزات	شرح
تلفن و سیستم های ارتباطی	حداقل سه خط تلفن ، سیستم تلفن مرکزی ، گوشی های تلفن ، سیستم پیجینگ ، خطوط همراه برای مدیران
تجهیزات رایانه ای	دستگاه کامپیوتر به همراه پرینتر ، سیستم شبکه داخلی و امکان دسترسی به اینترنت ، سیستم های نرم افزاری
انواع میز و صندلی اداری	برای واحد های مدیریت ، اداری مالی ، کارگرینی و دفاتر کاری کارشناسان ،
سیستم بایگانی اداری	جهت ایجاد امکان بایگانی متمرکز
لوازم غذاخوری	تجهیز رستوران برای پخت غذا ، میز و صندلی به همراه سایر ملزومات
سیستم حمل و نقل	یک خودرو سواری برای تردد مدیران و یک دستگاه نیسان برای امور تدارکاتی
تجهیز میهمان سرا	امکانات اسکان برای میهمانان

۷-۳ برآورد نیروی انسانی و ساختار سازمانی

کارائی هر سازمان تا حدود زیادی به شیوه اعمال مدیریت و کاربرد صحیح و موثر منابع انسانی بستگی دارد ، تعیین تعداد مشاغل، پست های سازمانی و تنظیم شرح وظایف هر شغل در طبقات مختلف سازمان متناسب با نوع و ویژگیهای تخصصی فعالیت مورد نظر از اصول اساسی تشکیلات یک واحد می باشد . چارت سازمانی مورد نظر این طرح با در نظر گرفتن مشخصات تکنولوژیکی خط تولید سیلیس ریخته گری و همچنین لحاظ نمودن ظرفیت و سایر ملاحظات اقتصادی ، بصورت زیر تعریف میگردد.

مدیر کارخانه

مدیر کارخانه مسئولیت مستقیم نظارت و سازماندهی کل عملیات اجرایی کارخانه از جمله فعالیتهای تولیدی ، انبارش ، تدارکات ، اداری و بازرگانی را به عهده دارد . این مسئولیت باید ترجیحا توسط فرد دارای تحصیلات مدیریتی با سابقه مدیریت در صنایع معدنی صورت گیرد . زیر مجموعه های عبارتند از : واحد تولید ، کنترل کیفیت ، امور اداری و مالی و واحد بازرگانی .

واحد بهره برداری

در این واحد عملیات اجرایی کارخانه از مرحله تحویل سیلیس و مواد کمکی مورد استفاده در صنعت فرآوری سیلیس تا مرحله تبدیل آن به محصول نهایی مانند سیلیس ریخته گری صورت می گیرد . جهت هماهنگی امور ، شخصی به عنوان مدیر تولید ترجیحا مهندس معدن ترجیحا با تجربه کار در صنعت سیلیس در نظر گرفته شده است . مدیر تولید به کمک ۱۰ نفر کارگر ماهر و ۲۲ نفر کارگر ساده ، سه نفر تکنسین تعمیرات جهت انجام وظایف شامل اپراتوری تولید ، پشتیبانی مواد اولیه و محصول ، سرویس و نگهداری ، مسئولیت بهره برداری از خط تولید را برعهده خواهند داشت .

واحد کنترل کیفیت

در این واحد امور مربوط به کنترل ویژگیهای مواد اولیه اصلی و جانبی و همچنین کنترل مداوم برانطباق فرایند های تولید به ویژه در مراحل شستشو ، خشک کردن ، انحلال و بلور سازی مواد از نظر دانه بندی ، دانسیته ، ناخالصی ها و غلظت محلول و محصولات نهایی از نظر دانه بندی ، درصد SiO_2 ، میزان جذب روغن ، درصد رطوبت ، دانسیته ، سطح ویژه

متر مربع بر گرم با استانداردهای مربوطه به کمک تجهیزات آزمایشگاهی صورت خواهد گرفت . فعالیت های این واحد توسط فردی با تخصص مهندس شیمی ، معدن یا متالورژی انجام خواهد گرفت .

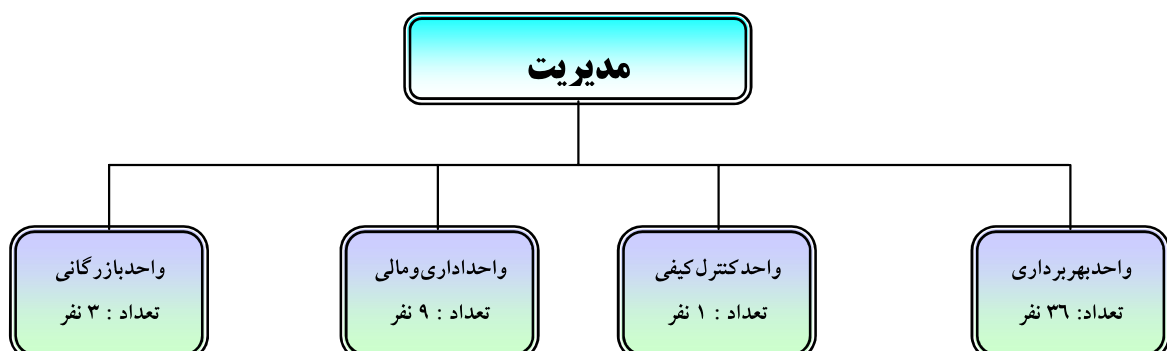
حوزه اداری و مالی

در این حوزه انجام کلیه امور اداری و پرسنلی، حسابداری، مالی و فعالیتهای پشتیبانی مورد نظر میباشد. مسئولیت این بخش به عهده فردی با تحصیلات مرتبط با مدیریت امور اداری یا مالی می باشد. سایر پرسنل این حوزه عبارتند از: دو نفر کارمند دفتری ساده و ۶ نفر نیروی ساده جهت انجام امور پشتیبانی شامل نگهبانی، راننده و امور خدماتی.

حوزه بازرگانی

در این حوزه انجام کلیه امور مربوط به تامین به موقع مواد اولیه اصلی و جانبی همچنین تهیه قطعات مورد نیاز جهت انجام سرویس، نگهداری و تعمیرات ماشین آلات صورت خواهد گرفت، علاوه بر آن کلیه فعالیت های بازاریابی داخلی و خارجی و برنامه ریزی میزان و تنوع تولید متناسب با تقاضای بازار و بالاخره فروش محصولات تولیدی توسط این بخش انجام خواهد گرفت. مسئولیت این واحد به عهده شخصی با تحصیلات مدیریت بازرگانی می باشد و دو نفر کارشناس بازرگانی وی را در تحقق اهداف یاری خواهد نمود. لازم به ذکر است در صورت نیاز، بخشی از پرسنل اداری، مالی یا بازرگانی در دفتر مرکزی مستقر خواهند گردید.

جهت روشن تر شدن موضوع، چارت سازمانی این واحد صنعتی به شرح زیر ارائه شده است.



تعداد و وضعیت پرسنل تولیدی

تعداد	تحصیلات	پست سازمانی
۱	کارشناس	مدیر تولید
۱۰	فوق دیپلم و پایین تر	کارگر ماهر
۲۲	دیپلم و پایین تر	کارگر ساده
۳	فوق دیپلم	تکنسین تعمیرات

تعداد و وضعیت پرسنل غیر تولیدی

تعداد	تحصیلات	پست سازمانی
۱	حداقل کارشناسی	مدیریت کارخانه
۱	کارشناس	کارشناس کنترل کیفی
۱	حداقل کارشناسی	مدیر اداری و مالی
۲	کارشناس	کارمند اداری و مالی
۶	دیپلم و پایین تر	پرسنل خدماتی و پشتیبانی
۱	حداقل کارشناسی	مدیر بازرگانی
۲	کارشناس و پایین تر	کارمند بازرگانی

فصل چهارم: مکان‌یابی طرح

طرح مطالعات امکان‌سنجی تولید سیلیس ریخته‌گری

مکان یابی طرح

مکان یابی یکی از مباحث مهم مطالعات امکان سنجی است که توجه به آن سبب کاهش هزینه ها و موفقیت واحدهای صنعتی می شود. مکان یابی مراکز (مکان یابی ساختمانها و مراکز) را انتخاب مکان برای یک یا چند مرکز، با در نظر گرفتن سایر مراکز و محدودیت های موجود می دانند ، به گونه ای که هدف ویژه ای بهینه شود. این هدف می تواند هزینه حمل و نقل، ارائه خدمات عادلانه به مشتریان، در دست گرفتن بزرگترین بازار و غیره باشد. انجام مطالعات مکان یابی نیازمند تخصص هایی از جمله: تحقیق در عملیات، روشهای تصمیم گیری، جغرافیا (زمین شناسی و آب و هوا)، اقتصاد مهندسی، علوم کامپیوتر، ریاضی، بازاریابی، طراحی شهر و ... است.

در این میان تعیین محل کارخانه یکی از کلیدی ترین گامهای تأسیس کارخانه است چرا که نتایج این تصمیم در درازمدت ظاهر شده و اثرات بسزایی از بعد اقتصادی، محیط زیست، مسایل اجتماعی و ... دارد. یکی از جنبه های تاثیرهای درون سازمانی، تاثیر مستقیم آن در سوددهی کارخانه خواهد بود و از بعد برون سازمانی، ساخت کارخانه های بزرگ در یک منطقه می تواند شرایط مختلف اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، محیط زیست و غیره را تحت تاثیر خود قرار دهد. تعیین محل کارخانه از نظر اقتصادی نقش مهمی در میزان سرمایه گذاری اولیه به هنگام تأسیس کارخانه دارد. همچنین هنگام بهره برداری طرح، این تصمیم گیری، تاثیر کلیدی در قیمت تمام شده کالا/خدمت دارد.

احداث یک یا چند واحد صنعتی در مکانهای بهینه و در بهترین وضعیت ممکن، نه تنها گردش مواد و خدمات به مشتریان را بهبود می بخشد، بلکه کارخانه را در یک وضعیت مطلوب قرار می دهد. تصمیمهای مرتبط با انتخاب و فراگیری ویژگیهای مکان یابی یک مرکز، می تواند اثر بزرگی بر توانایی کسب و حفظ مزیت رقابتی باشد.

در بررسی مشاغل زود بازده مشخص شده است که بیش از پنجاه درصد آنها در سال اول و حدود سی درصد آنها پس از دو سال ورشکسته می شوند و به شغل دیگری رو می آورند. با اینکه در آغاز راه اندازی این مشاغل، تمام جوانب ارایه خدمات بررسی می شود ولی بی توجهی به مساله مهم مکان سبب می شود تا واحد تولیدی به سوددهی مورد نظر نرسد و از رسیدن به هدف خود باز ماند .

انجام مطالعات مکان یابی درست و مناسب، علاوه بر تاثیر اقتصادی بر عملکرد واحد صنعتی، اثرات اجتماعی، محیط زیستی، فرهنگی و اقتصادی در منطقه محل احداث خود خواهد داشت. در ضمن ویژگیهای منطقه ای نیز به عنوان عوامل کلیدی موثر در تعیین محل در مسایل مکان یابی محسوب می شوند.

مسایل مکان یابی، هدفهای مختلفی را دربردارند. هدفها در شناسایی و اولویت بندی معیارهای تصمیم گیری در یک مساله مکان یابی و زیر معیارهای آنها، اهمیت و نقش مهمی دارند. در یک تقسیم بندی، هدفهای مسایل مکان یابی با رویکرد برنامه ریزی ریاضی و برحسب انواع تابع هدف، به سه دسته تقسیم شده اند:

اهداف	شرح
اهداف کششی (Pull)	این هدفها اشاره به نزدیکی هر چه بیشتر محل استقرار کارخانه به مشتریان و کمتر کردن مسافت دارند که شامل قدیمی ترین مسایل مکان یابی می شوند.
اهداف فشاری (Push)	این هدفها مسایل مکان یابی مراکز نامطلوب را در بر می گیرند و از اوایل دهه ۱۹۷۰ بوجود آمدند. هدف در این مسایل، حداکثر کردن فاصله مراکز جدید از مراکز موجود است. مدل هایی که برای این نوع هدفها ارائه شدند بعدها به مدل های مکان یابی مضر (Noxious Location Models) معروف شدند. مثال برای این هدفها، یافتن مکان مناسب برای دفن زباله است که در آن، یکی از هدفها پیشینه کردن فاصله این مکان از مناطق مسکونی است.
اهداف متعادل (Balancing)	هدفهایی هستند که تلاش در متعادل ساختن مسافت بین مراکز و مشتریان دارند. این هدفها پیوسته ترین نوع هدفها هستند و هدف اصلی آنها دستیابی به برابری است. این هدفها بیشتر در تصمیم گیری های عمومی کاربرد دارند؛ جایی که هدف برقراری عدالت بین افراد است. مانند متعادل کردن حجم کاری مراکز پلیس که سبب متعادل شدن ارائه خدمات به متقاضیان می شود.

اشتباه در تعیین محل ضررهای جبران ناپذیری به دنبال خواهد داشت و گاهی منجر به تغییر محل کارخانه با صرف هزینه های زیاد شده، یا به رکود و تعطیلی کامل کارخانه می انجامد. عموماً اشتباه در تعیین محل، هنگامی پیش می آید که تعریف درستی از آنچه از ما خواسته می شود در دست نباشد. ولی اشتباههای دیگری نیز وجود دارد که حتی مدیران

- زیرک نیز دچار آن می شوند. برخی از این نوع اشتباهها برای توجه بیشتر مدیران، محققان و افراد کلیدی و تصمیم گیری در مسایل مکان یابی به این شرح بیان می شود:
- ✓ فقدان بازرسی و شرح دقیق عوامل و نیازمندی ها.
 - ✓ چشم پوشی از بعضی شرایط مورد نیاز و بررسی ناقص نیازمندی های طرح.
 - ✓ علایق شخصی یا تعصبات مسئولان در پذیرش حقایق و دلایل منطقی و علمی.
 - ✓ مقاومت مدیران اجرایی در انتقال به محل جدید.
 - ✓ توجه بیش از اندازه به نواحی شلوغ و صنعتی و در نتیجه نادیده گرفتن ناحیه هایی که به تازگی صنعتی شده و یا در شرف صنعتی شدن قرار دارند.
 - ✓ توجه بیش از اندازه به هزینه های زمین و در نتیجه انتخاب زمینهای ارزان یا رایگان.
 - ✓ بی توجهی به هزینه حمل و نقل و عدم برآورد درست آن.
 - ✓ قضاوت در مورد نیروی انسانی بالقوه بر مبنای نرخ دستمزد و بدون توجه به کارایی، مهارت، سابقه و تاریخچه کارگری و سایر عوامل مؤثر در انتخاب نیروی انسانی.
 - ✓ انتخاب جامعه ای با سطح فرهنگ و تحصیلات پایین به گونه ای که جذب نیروی متخصص بسیار مشکل باشد.
 - ✓ پافشاری در منافع آنی و کوتاه مدت و بی توجهی به آینده.
 - ✓ کافی نبودن اطلاعات و یا نادرست بودن آنها در مورد بازار، شیوه های حمل و نقل، مواد خام و سایر عوامل که در برآورد هزینه ها تأثیر دارند.
 - ✓ عوامل محیطی از جمله فشارهای سیاسی.
 - ✓ خطا در به کارگیری روشها و تکنیک های تصمیم گیری مکان یابی.
 - ✓ عدم اولویت بندی (وزن دهی) مناسب به معیارهای تصمیم گیری.
 - ✓ نبود اطلاعات دقیق و کافی در زمینه معیارهای مورد نظر.
 - ✓ بی توجهی به استراتژیک بودن و اثرات بلندمدت تصمیمهای مکان یابی.
 - ✓ بی توجهی به تغییر و تحولات آینده (تهدیدها، فرصتها، رشد تقاضا، به هم خوردن توازن مناطق و ...)

✓ در نظر نگرفتن تغییرات سازمانی لازمه مکان یابی.

بر اساس آنچه قبلا عنوان گردید در پروژه حاضر با عنوان طرح تولید سیلیس ریخته گری ، دسترسی به ماده معدنی سیلیس (ترجیحا تحت فرایند خردایش قرار گرفته به عنوان اصلی ترین ورودی خط تولید) به عنوان مهمترین فاکتور به شمار می آید . لذا مبتنی بر همین استدلال و به لحاظ توسعه یافتگی نسبی معدن و صنایع معدنی مرتبط در استان زنجان و از جمله در منطقه ابهر و در نتیجه وجود پتانسیل های مناسب و با پیش فرض اجرای طرح در داخل استان زنجان، شهرک های صنعتی شماره دو و سه ابهر به همراه شهرک صنعتی خرمدره ، مکان های مناسب و دارای مزیت برای ایجاد این واحد صنعتی خواهند بود .همچنین در این صورت ، ارسال محصولات نهایی به بازارهای صنعتی تهران به عنوان اصلی ترین بازارهدف، با کمترین هزینه و چالش های احتمالی مواجه خواهد بود. همچنین نزدیکی واحد جدیدالاحداث به مراکز صنعتی و معدنی مشابه در منطقه ابهر (فعالان در صنعت سیلیس و فعالیت های مشابه) مزیت جانبی دیگری مانند سهولت دسترسی به مشاورین و متخصصین صنعت فرآوری سیلیس و امکان اخذ سرویس های پشتیبانی را نیز به همراه خواهد داشت. علاوه بر آن شهرک های صنعتی واقع در شهرستان زنجان ، در اولویت های بعدی قرار دارند .

فصل پنجم : برنامه زمانبندی اجرایی پروژه

طرح مطالعات امکان سنجی تولید سیلیس ریخته گری

برنامه زمانبندی اجرای پروژه

یکی از ارکان مهم اجرای پروژه ها که ضامن موفقیت آن می باشد پیروی از یک برنامه زمان بندی مدون است که احداث واحد های صنعتی نیز از این قاعده کلی مستثنی نیستند. زمان بندی فعالیتها ضمن سازمان دهی و قاعده مند کردن آنها، باعث اعمال مدیریت بهتر و تخصیص به موقع منابع می گردد. بنابراین ضرورت دارد مجری با در نظر گرفتن ویژگیهای خاص طرح با دید جامعی حجم هر کدام از فعالیت ها از مرحله تحقیقات اولیه و انتخاب مشاور تا مرحله بهره برداری تجاری واحد صنعتی را برآورد نماید و سپس زمان مناسب برای هر فعالیت را پیش بینی کند. علاوه بر آن با شناخت روابط پیش نیازی فعالیت ها، زمان شروع و خاتمه را طوری برنامه ریزی کند که بتواند در مدت زمان تعیین شده پروژه را به اتمام برساند، چرا که تاخیر در اجرای پروژه در برخی موارد باعث ایجاد خساراتی خواهد شد که جبران آن بسیار دشوار است. بررسی و تحلیل موضوع فوق بحث بسیار گسترده ای است که از نقطه نظر های مختلفی می توان آن را مطرح نمود. در این قسمت سعی بر این است برنامه زمان بندی اجرای پروژه احداث کارخانه تولید سیلیس ریخته گری بر اساس فازبندی متداول طرحهای صنعتی متناسب با ویژگی های اقتصادی و تکنولوژیکی طرح مورد بررسی قرار گیرد

فاز اول

فاز اول طرح عموماً در بردارنده فعالیت هایی از قبیل انجام مطالعات و مشاوره تخصصی، اخذ مجوزهای دولتی تا مرحله انتخاب و خرید و آماده سازی محل، تکنولوژی و فرایند عملیات، تعیین جانمایی موقت، مهندس مشاور، تهیه و تدوین پیش نویس قراردادهای مربوطه می باشد. این فاز از طرح مورد نظر در محدوده زمانی سه ماهه قابل انجام است.

فاز دوم

این فاز از فعالیت های تخصصی تری برخوردار بوده و مواردی همچون تامین خدمات مهندسی و طراحی فرایند، تهیه مشخصات ماشین آلات، جانمایی تجهیزات اصلی، شناسایی و انتخاب سازندگان تجهیزات و فروشندگان تکنولوژی، طرح تفصیلی کارخانه، اقدامات مقدماتی جهت تامین و تدارک ماشین آلات و تجهیزات اصلی و جانبی و در نهایت طراحی سایت پلان ساختمان را در بر می گیرد. این فاز از طرح در محدوده زمانی سه ماهه قابل انجام است.

فاز سوم

در این فاز عمدتاً مراحل اجرایی، محور کار بوده که در این رابطه می توان از فعالیتهایی مانند تدارک لوازم و مصالح، انتخاب پیمانکاران ساختمانی، نظارت بر حسن اجرای عملیات عمرانی، خرید ماشین آلات و تجهیزات اصلی و فرعی به همراه تعیین دستور العملهای نصب و راه اندازی آزمایشی و دیگر موارد مشابه نام برد. با توجه به ماهیت و مشخصات طرح حاضر این فاز از طرح در زمان تقریبی هشت ماهه قابل انجام است.

فاز چهارم

در این فاز ساخت و انتقال کلیه ماشین آلات و تجهیزات خط تولید همچنین آموزش بهره برداری و نگهداری و تعمیرات، طراحی و تدوین سیستم برای امور عملیاتی کارخانه و به طور کلی روشهای مدیریت و در نهایت تهیه و تدوین دستور العمل امور اجرایی تولید و توزیع صورت خواهد پذیرفت. ارکان اصلی اجرایی و مسئول برای انجام وظایف فوق عمدتاً مشاور و فروشنده تکنولوژی و تجهیزات اصلی خواهند بود. با توجه به مذاکرات انجام شده با شرکتهای طرف قرارداد پیش بینی می گردد در صورت تامین بموقع منابع مالی این فاز در سیکل پنج صورت پذیرد.

فاز پنجم

این فاز شامل نصب ماشین آلات و تجهیزات، اجرای تاسیسات زیربنایی و جانبی مورد نیاز، تامین مواد اولیه تکمیل ساختار تشکیلات پرسنلی و بالاخره راه اندازی و بهره برداری آزمایشی از خطوط تولید و نهایتاً تولید آزمایشی محصولات نهایی خواهد بود. ارکان اصلی اجرایی در این فاز پیمانکار نصب، مدیریت بهره برداری، فروشنده تکنولوژی و تجهیزات و مهندسی مشاور می باشد. بر مبنای ویژگیهای اقتصادی و تکنولوژیکی این طرح پیش بینی می گردد فاز پنجم طرح حدود دوازده ماه به طول بینجامد.

با توجه به موارد مذکور و همچنین لحاظ نمودن مدت زمان مورد نیاز جهت تامین منابع مالی از طریق تسهیلات بانکی (با زمان تقریبی هشت ماه) و همچنین انجام تولید آزمایشی در دوره زمانی سه ماهه، حداکثر مدت زمان دوره اجرای این پروژه (فاز ساخت) معادل دو سال تعریف می شود. بدیهی است زمان ذکر شده مشروط بر اعمال مدیریت صحیح در طول اجرای پروژه و همچنین تامین به موقع منابع مالی می باشد. در پایان این فصل و جهت روشن تر شدن موضوع، برنامه زمان بندی اجرای طرح (منطبق با مفاهیم فوق) ارائه شده است.

برنامه زبان ہندی در درجہ اولیٰ کارخانہ تولید سلیس ریختہ کری

[illegible]

فصل ششم: تجزیه و تحلیل مالی طرح

طرح مطالعات امکان سنجی تولید سیلیس ریخته گری

تجزیه و تحلیل مالی طرح

در فصول گذشته فعالیت تولیدی مورد نظر جهت احداث کارخانه تولید سیلیس ریخته گری، به لحاظ توجیه پذیری فنی و اقتصادی مورد بررسی قرار گرفت. در این فصل به منظور تعیین میزان سوددهی و شاخصهای مالی، لازم است بررسی جامعی مشتمل بر برآورد هزینه ها شامل هزینه های سرمایه ای، هزینه مواد اولیه، تعمیرات و نگهداری، بالاسری کارخانه و استهلاک صورت گیرد. در این فصل مقصود اصلی بیان کلیات مالی این طرح بوده و جداول به گونه ای طراحی شده است که گویای توجیه پذیری مالی باشد.

لازم به ذکر است جهت تسهیل در پیش بینی میزان درآمد، شرایط فروش و هزینه های مربوطه، محاسبات بر اساس معیارهای عرف در صنعت سیلیس دست صورت گرفته و از تخصیص و تفکیک ظرفیت به انواع و تیپهای مختلف محصولات خودداری شده است. بدیهی است این پیش فرض صرفاً مدلی از موضوع بوده و عملاً عرضه انواع محصولات فرآوری شده از ماده معدنی سیلیس متناسب با سفارشات و تقاضای بازارهای صنعتی دستخوش تغییر خواهد شد، ولی در عین حال، این مدل دورنمای مالی طرح را به خوبی نشان میدهد.

ضمناً محاسبات مالی پروژه برای احداث یک کارخانه تولیدی و صنعتی جهت تبدیل سیلیس خرد شده به محصول نهایی، طرح ریزی شده است بدین مفهوم که واحد فرضی مورد نظر فاقد خطوط تولید پودر میکرونیزه بوده و مواد اولیه ورودی به کارخانه از واحدهای صنعتی دیگر به صورت سیلیس خردایش شده و نیمه آماده، تامین خواهد شد.

در این محاسبات براساس برآورد های فنی به عمل آمده در فصول گذشته، با ارائه معیارهای محاسبه هریک از موارد مربوط به برآورد سرمایه گذاری سرمایه ثابت و در گردش در طی جداول ۱ تا ۱۲، میزان درآمد و فروش، هزینه های بهره برداری، تفکیک هزینه های ثابت و متغیر تولید و محاسبه درصد فروش در نقطه سر به سر و سایر شاخص های مالی در جداول ۱۳ تا ۲۲ و در نهایت پیش بینی وضعیت طرح در سالهای مختلف بهره برداری طی جداول ۲۳ تا ۲۸ برآورد شده است. قبل از ارائه جداول مالی فوق الذکر توضیحات ذیل مبنای محاسبات را روشن می سازد.

برآورد هزینه زمین، ساختمان و محوطه سازی (جدول ۱)

در محاسبات مالی و جهت برآورد هزینه خرید زمین، هزینه ها بر اساس شرایط و قیمت عرف خرید زمین در شهرک های صنعتی استان زنجان وارد شده است. همچنین هزینه های مربوط به مجموعه عملیات عمرانی شامل آماده سازی زمین، خاکبرداری، خاکریزی، تسطیح، حصارکشی، اجرای آسفالت، فضای سبز و روشنایی محوطه و احداث زیربنای مشتمل بر سالن های تولید، انبارهای مواد اولیه و محصول، ساختمان اداری رفاهی براساس قیمت روز پیش بینی شده است.

هزینه تامین تکنولوژی و استقرار ماشین آلات و تجهیزات خط تولید (جدول شماره ۲)

همانطور که قبلا عنوان شد خوشبختانه امکان تامین ماشین آلات خط فرآوری سیلیس در داخل کشور فراهم می باشد، البته امکان واردات نیز وجود دارد و لذا ماشین آلات و تجهیزات خط تولید پس از اخذ پیشنهادات از سازندگان مختلف داخلی انتخاب شده اند. لازم به ذکر است میانگینی از قیمت های مندرج در پیش فاکتورهای اخذ شده، اساس محاسبه ارزش ماشین آلات قرار گرفته است. علاوه برآن هزینه های جانبی از بابت انتقال و نصب و راه اندازی تجهیزات در محل کارخانه منظور شده است. لازم به ذکر است هزینه تامین ماشین آلات و تجهیزات جانبی از جمله ابزار آلات کارگاهی و وسایل آزمایشگاهی نیز بر اساس پیش فاکتورهای داخلی و یا استعلامات تلفنی لحاظ گردیده است.

تاسیسات زیربنایی و جانبی (جدول شماره ۳)

از مهمترین تاسیسات زیر بنایی هر واحد صنعتی و تولیدی ، تاسیسات مربوط به تامین انرژی الکتریکی و آب مصرفی می باشد . در محاسبات هزینه مورد نیاز جهت برقراری انشعاب برق بر اساس قراردادهای مشابه فیما بین مجری طرح های صنعتی و شرکت توزیع برق منطقه ای و همچنین با احتساب عملیات اجرایی جهت تکمیل برق رسانی داخلی از جمله تجهیز ترانس و پست برق ، کابل کشی زمینی و هوایی ، مونتاژ تابلوهای اصلی و تکمیل شبکه توزیع داخلی برای دیماند معادل ۱۵۰ کیلووات پیش بینی شده است . ازسوی دیگر جهت برآورد هزینه تاسیسات آبرسانی هزینه های مربوط به اخذ حق انشعاب آب و همچنین اجرای سیستم توزیع آب مصرفی، بهداشتی و صنعتی با انشعاب ۱ اینچ اختصاص یافته است . همچنین بر اساس استعلامات صورت گرفته از سازندگان داخلی ، سرمایه گذاری مورد نیاز جهت تاسیسات جانبی مانند سیستمهای تولید و توزیع بخار و هوای فشرده ،مجموعه های باسکول ، تاسیسات گرمایشی و سرمایشی ، هزینه تامین سیستم های ارتباطی و موارد مشابه ، در جدول مربوطه برآورد گردیده است .

وسایل حمل و نقل داخل کارخانه (جدول شماره ۴)

ابزار آلات کارگاهی (جدول شماره ۵)

اثاثیه و لوازم اداری (جدول شماره ۶)

برآورد هزینه های سرمایه ای (ثابت) (جدول شماره ۷)

سرمایه ثابت یا دارایی سرمایه ای آن گروه از دارایی متعلق به واحد صنعتی است که ماهیتی نسبتاً ثابت یا دائمی دارند و به منظور استفاده در جریان عملیات جاری شرکت حفظ و نگهداری می شوند. از اجزا تشکیل دهنده سرمایه ثابت میتوان زمین، ساختمان، محوطه سازی، وسائل نقلیه، اثاثیه و لوازم اداری، دستگاهها، ماشین آلات و تجهیزات خط تولید، ابزارآلات کارگاهی و آزمایشگاهی، تاسیسات زیربنایی و جانبی و هزینه قبل از بهره برداری را نام برد. گرچه هیچ معیاری برای تعیین حداقل طول عمر لازم جهت شمول یک دارایی در طبقه سرمایه ثابت وجود ندارد، اما این قبیل دارایی ها باید بیش از یک سال دوام داشته باشد، زیرا هزینه پرداخت شده برای ارقام مصرفی جزء هزینه های سالیانه تولید محسوب میگردند.

هزینه های قبل از بهره برداری (جدول شماره ۸)

هزینه قبل از بهره برداری شامل اقدامات مربوط به مطالعات مقدماتی، عقد قرارداد با مشاور و تهیه طرح اجرایی، اخذ مجوز از ارگان های دولتی، آموزش مقدماتی، تامین مواد اولیه و انرژی جهت راه اندازی و بهره برداری آزمایشی، هزینه اخذ تسهیلات و هزینه جاری دوره اجرای طرح می باشد که متناسب با طرح حاضر لحاظ شده است.

برآورد سرمایه ثابت (جدول ۹): مجموع هزینه مورد نیاز برای تامین ارقام سرمایه ای و هزینه های قبل از بهره برداری

سرمایه در گردش (جدول شماره ۱۰)

در این قسمت سرمایه در گردش از جمله مقدار و هزینه مواد اولیه مصرفی، تامین انواع انرژی و خدمات نیروی انسانی بر اساس الگوهای استاندارد نظر است. لازم به ذکر است در صنعت مورد نظر به دلیل لزوم تامین بخش قابل توجهی از مواد اولیه از طریق واردات طبعاً حجم نسبتاً بالایی از مواد اولیه بایستی در هر دوره کاری خریداری گردد تا امکان توقف خط تولید به دلیل فقدان مواد اولیه در زمان مقتضی به حداقل ممکن کاهش یابد و به همین دلیل بالا بودن حجم سرمایه در گردش مورد نیاز یکی از ویژگی های خاص این واحد صنعتی است.

برآورد سرمایه گذاری کل (جدول شماره ۱۱) مجموع سرمایه گذاری ثابت و سرمایه در گردش.

نحوه تامین منابع مالی (آورده نقدی سهامداران و تسهیلات بانکی) و برآورد هزینه تسهیلات بانکی

(جدول شماره ۱۲/الف، ۱۲/ب)

برنامه سالیانه تولید و برآورد میزان فروش (درآمد ناخالص) سالیانه (جدول شماره ۱۳)

پس از تبیین و ارائه هزینه های سرمایه ای مورد نیاز طرح در قالب سرمایه گذاری ثابت و در گردش جهت ایجاد کسب و کار مورد نظر، در این بخش درآمد سالیانه بر حسب ظرفیت طرح و قیمت فروش محصولات برآورد شده است.

هزینه تامین مواد اولیه (جدول شماره ۱۴)

بر اساس برآورد صورت گرفته در فصل پیشین در زمینه مواد اولیه اصلی و کمکی مورد و لحاظ نمودن ضایعات متعارف در خط تولید و با احتساب قیمت های به روز مواد اولیه، هزینه سالیانه تامین مواد اولیه محاسبه شده است.

برآورد هزینه منابع انسانی مورد نیاز (جدول شماره ۱۵)

برآورد کمی نیروی انسانی مورد نیاز ورده های تشکیلاتی آن جهت طرح مورد نظر، در بخش های پیشین انجام گردید که براین اساس و معیارهای متداول قوانین کار هزینه های پرسنلی محاسبه شده است. در این محاسبات جهت برآورد نسبتاً دقیق از مزایای سالیانه مانند پاداش، عیدی، اضافه کاری احتمالی، حق بیمه سهم کارفرما، علاوه بر مجموع حقوق سالیانه دریافتی، مبلغی معادل ۹۰٪ حقوق سالیانه برای پرسنل تولیدی و ۷۰٪ حقوق سالیانه برای پرسنل غیر تولیدی، لحاظ شده است.

برآورد هزینه های عملیاتی (جدول شماره ۱۶) مشتمل بر هزینه های غیر پرسنلی دفتر مرکزی، هزینه های

جاری آزمایشگاه، هزینه های فروش و هزینه های حمل و نقل.

برآورد هزینه استهلاک سالیانه (جدول شماره ۱۷)

بدیهی است با گذشت زمان سرمایه های ثابت (به استثنا زمین) قابلیت بهره دهی خود را از دست می دهند و بدین لحاظ در طی عمر مفیدشان برای بهای تمام شده این قبیل دارایی ها ، باید به طور منظم و به تدریج به حساب هزینه گذاشته شود ، این کاهش بهای تمام شده استهلاک و ارزش قابل بازیافت دارایی مستهلک شده در تاریخ خروج از خدمت ، ارزش اسقاطی خوانده می شود . مازاد بهای تمام شده نسبت به ارزش اسقاط دارایی ثابت ، نشان دهنده مبلغی است که باید طی دوره عمر مفید دارایی به عنوان هزینه استهلاک در حسابها منظور گردد . چنانچه ارزش اسقاط در مقایسه با بهای تمام شده ، قابل توجه نباشد در محاسبه استهلاک میتوان از آن صرف نظر کرد . اساسا استهلاک دارای معانی بسیاری است که چند تعریف آن عبارتند از :

✓ کاهش ارزش یک دارایی : این کاهش عبارت است از اختلاف ارزش یک دارایی در دو زمان مختلف به هر دلیلی که کاهش صورت گرفته باشد .

✓ توزیع ارزش اولیه یک دارایی منهای ارزش اسقاطی (اگر قابل پیش بینی و تخمین باشد) در طول عمر مفید دارایی
✓ تفاوت ارزش یک دارایی موجود که قبلا خریداری شده ، با یک دارایی فرضی که به عنوان استاندارد مقایسه به کار رفته است .

دلایل وجود استهلاک عبارتند از : پیشرفت تکنولوژی ، فرسودگی ماشین آلات و ساختمانها ، تغییر مقررات عمومی و الزامات قانونی مربوط به ماشین آلات یا ساختمانها ، تغییر در مقدار و نوع سرویس مورد لزوم ، ایجاد خسارت جانی و مالی توسط یک دارایی که باعث تعویض آن می شود ، ایجاد توانایی در سرمایه گذاری مجدد .

بر اساس قوانین جاری کشور ، روشهای مورد استفاده عبارتند از : روش خط مستقیم ، روش موجودی نزولی . در این طرح از روشهای متناسب ، جهت محاسبه و پیش بینی استهلاک هر کدام از اقلام سرمایه ثابت استفاده شده است .

محاسبه هزینه انرژی ، هزینه بیمه داراییها و هزینه نگهداری و تعمیرات (جداول شماره ۱۸ ، ۱۹ و ۲۰)
در این بخش و طی جداول جداگانه ای ، هزینه سالیانه تامین انرژی مشتمل بر هزینه تامین انرژی الکتریکی ، آب و سوخت (بر اساس میزان مصرف و تعرفه قانونی) و مکالمات تلفنی و هزینه نگهداری و تعمیرات المانهای سرمایه ثابت شامل ساختمانها و محوطه سازی ، ماشین آلات خط تولید ، تاسیسات زیربنایی و جانبی ، ابزار آلات کارگاهی و

تجهیزات آزمایشگاهی ، وسائط نقلیه و لوازم اداری بر اساس نرم های متعارف در تهیه طرح های توجیهی محاسبه شده است . علاوه بر آن هزینه بیمه دارایی های ثابت شامل ساختمانها و محوطه سازی ، ماشین آلات خط تولید ، تاسیسات زیربنایی و جانبی نیز محاسبه شده است .

برآورد مجموع هزینه های سالیانه (هزینه ثابت و متغیر) و محاسبه درصد فروش در نقطه سر به سر (جدول شماره ۲۱)

هزینه های ثابت تولید عبارت است از هزینه هایی که با تغییر سطح و میزان تولید تغییر نمیکند . هر چند با به صفر رسیدن میزان تولید بعضی از اقلام هزینه ثابت نیز حذف می گردند . در عوض بعضی از اقلام نیز کاملاً ثابت نیستند ولی تا حدودی ماهیت ثابت دارند و در تجزیه و تحلیل مالی با توجه به کوتاه مدت بودن وقفه میتوان فرض کرد که این هزینه ها وجود دارند. از بارزترین مثالهای چنین هزینه ای هزینه بیمه کارخانه و هزینه تسهیلات بانکی می باشند . بعضی از هزینه های تولید کاملاً ثابت نبوده و تا حدودی ماهیت ثابت دارند به عنوان مثال هزینه حقوق کارکنان دفتر مرکزی و اداری واحد بستگی به میزان تولید ندارد و همچنین با تغییرات جزئی در میزان تولید هزینه پرسنل تولیدی نیز ثابت است . لذا برای در نظر گرفتن چنین استقلال ۸۵٪ هزینه های حقوق کارکنان به عنوان هزینه های ثابت منظور میگردد و در سایر موارد درصد ثابت بودن هزینه متناسب با نوع آن تعیین میگردد. برخلاف هزینه های ثابت ، هزینه های متغیر نوعی از هزینه ها هستند که با تغییر میزان تولید تغییر می یابند به عنوان مثال هرچه میزان تولید بیشتر شود به همان میزان مواد اولیه بیشتری مورد نیاز است . این بستگی همیشه ۱۰۰٪ نبوده و بعضی از اقلام متناسب با ظرفیت تولید تغییر میکند . به عنوان مثال با افزایش و یا کاهش تولید در حدود کم ، هزینه های حقوق تغییر نمی کند ولی در صورتیکه افزایش تولید ، منجر به اضافه کاری شود ، هزینه حقوق افزایش می یابد و یا اگر تولید از سطح خاصی کمتر باشد به کاهش پرسنل منجر میگردد و حقوق نیز کاهش پیدا میکند ، به این منظور ۱۵٪ از هزینه حقوق کارکنان به عنوان هزینه متغیر منظور میگردد . در سایر موارد درصدی از اقلام هزینه ای به این بخش اختصاص داده می شود .

شاخص های مالی طرح (جدول شماره ۲۲)

در این بخش و پس از ارائه جداول مالی مربوط به محاسبه سرمایه ، هزینه و درآمد ، جهت بررسی بیشتر توجیه پذیری اقتصادی طرح شاخص های مهم مرتبط از جمله قیمت تمام شده محصولات ، سود ناخالص سالیانه ، نرخ برگشت سرمایه ، مدت زمان برگشت سرمایه ، درصد تولید در نقطه سر به سر ، سرمایه ثابت و کل سرانه و موارد مشابه محاسبه شده است .

مقدار سالیانه تولید / هزینه های تولید سالیانه = قیمت تمام شده واحد محصول

هزینه کل سالانه - فروش کل سالیانه = سود ناخالص سالیانه

$100 \times (\text{هزینه کل سالیانه} / \text{سود ناخالص سالیانه}) = \text{درصد سود سالیانه به هزینه کل}$

$100 \times (\text{فروش کل سالیانه} / \text{سود ناخالص سالیانه}) = \text{درصد سود سالیانه به فروش}$

$100 \times (\text{سرمایه گذاری کل} / \text{سود سالیانه}) = \text{نرخ برگشت سرمایه}$

$\text{نرخ برگشت سرمایه} / 100 = \text{مدت زمان برگشت سالیانه}$

$\text{تعداد پرسنل در فاز بهره برداری} / \text{سرمایه گذاری ثابت} = \text{سرمایه ثابت سرانه}$

$\text{تعداد پرسنل در فاز بهره برداری} / \text{سرمایه گذاری کل} = \text{سرمایه کل سرانه}$

$100 \times ((\text{فروش کل} , \text{هزینه متغیر}) / \text{هزینه ثابت}) = \text{درصد تولید در نقطه سر به سر نسبت به ظرفیت اسمی}$

جدول شماره یک (برآورد هزینه زمین ، ساختمانها و محوطه سازی

شرح	مقدار (متر مربع)	ارزش واحد (ریال)	ارزش (میلیون ریال)	درصد به کل
زمین (دارای کاربری صنعتی)	5,000	200,000	1,000.0	19.3
ساختمان سازی	سالن تولید	1500	1,600,000	46.4
	انبار مواد اولیه و محصول / سرپوشیده	150	1,600,000	4.6
	انبار مواد اولیه و محصول / رو باز	350	1,300,000	8.8
	ساختمان های اداری و رفاهی	220	1,900,000	8.1
	تکبانی و سرایداری	50	1,900,000	1.8
	جمع هزینه های ساختمان سازی			69.7
محوطه سازی	تسطیح ، خاکبرداری و خاکریزی	5,000	30,000	2.9
	حصار کشی	750	250,000	3.6
	خیابان کشی و بارکینگ /آسفالت و پیاده روسازی	1,000	90,000	1.7
	ایجاد فضای سبز	1,000	60,000	1.2
	روشنایی محوطه (پایه روشنایی)	63	1,300,000	1.6
جمع هزینه های محوطه سازی			568.8	11.0
جمع کل			5,177	100

جدول شماره دو) ارزش کل ماشین آلات و تجهیزات خط تولید

نام دستگاه	تعداد	قیمت واحد (ریال)	قیمت کل (میلیون ریال)	درصد به کل
آسیاب	4	350,000,000	1,400	26
حوضچه شستشو ۱۰ متر معکبی سیمانی	8	55,000,000	440	8
کوره با دمای ۳۵۰ درجه سانتی گراد	2	650,000,000	1,300	24
تانک انحلال فولادی	8	60,000,000	480	9
کمپرسور	2	25,000,000	50	1
فیلتر با توری فولادی	8	65,000,000	520	10
مبدل یون کاتیونی و آنیونی	3	75,000,000	225	4
تانک کریستاله شدن فولادی	3	50,000,000	150	3
دستگاه دانه بندی با الک های مختلف	3	100,000,000	300	6
هزینه های جانبی (نصب و راه اندازی در محل ، مالیات بر ارزش افزوده ، هزینه حمل و جاگذاری) معادل ۱۰ درصد ارزش ماشین آلات				9
جمع کل				100

کلیه ماشین آلات (حتی مارک های خارجی) قابل تامین از داخل کشور می باشد و عملا نیازی به خرید خارجی نخواهد بود (پرداخت صرفا ریالی است)

جدول شماره سه) ارزش تاسیسات زیر بنایی و جانبی

عنوان و شرح	ارزش (میلیون ریال)	درصد به کل
انرژی الکتریکی (برق)	حق انشعاب برای دیماند دوست کیلووات	113
	تاسیسات (ترانسفورماتور ، پست برق ، تابلوهای اصلی ، کابل کشی قدرت تا سر دستگاه ها و تجهیزات مصرف کننده)	200
آبرسانی	حق انشعاب یک اینچ	120
	تاسیسات و شبکه آبرسانی داخلی	80
گازرسانی	حق انشعاب	200
	تاسیسات و شبکه گازرسانی داخلی	250
سیستم تولید و توزیع هوای فشرده صنعتی		
سیستم سوخت جایگزین		
سرمایش ، گرمایش و تهویه		
سیستم اعلام و اطفاء حریق		
ژنراتور اضطراری		
سیستم تلفن و تجهیزات ارتباط شبکه های		
باسکول شست تنی		
جمع ارزش تاسیسات		

جدول شماره چهار (وسایل حمل و نقل داخل کارخانه

عنوان	تعداد	قیمت واحد (ریال)	ارزش (میلیون ریال)	درصد به کل
لیفتراک دو گانه سوز	2	180,000,000	360	78.26
پالت تراک های مواد اولیه و محصول	20	5,000,000	100	21.74
جمع کل			460	100

جدول شماره پنج (ابزار آلات کارگاهی

شرح	ارزش (میلیون ریال)	درصد به کل
ابزارهای متداول کارگاهی (انواع لوازم جوشکاری ، دریل ، پرس و ابزارهای دستی)	100	100
جمع کل	100	100

جدول شماره شش (اثاثیه و لوازم اداری

شرح	تعداد	ارزش واحد (ریال)	ارزش (میلیون ریال)	درصد به کل
تلفن سانترال و سیستم های ارتباطی	1	15,000,000	15	3
تجهیزات رایانه ای	8	6,000,000	48	11
انواع میز و صندلی اداری به همراه لوازم متعارف	8	4,000,000	32	7
سیستم بایگانی اداری	1	10,000,000	10	2
میز و صندلی مخصوص غذاخوری به همراه لوازم مربوطه	60	400,000	24	5
خودرو سواری	1	120,000,000	120	27
خودرو نیسان	1	140,000,000	140	32
تجهیز میهمان سرا و نماز خانه			50	11
جمع کل			439	100

جدول شماره هفت (برآورد هزینه های سرمایه ای

شرح	ارزش سرمایه گذاری (میلیون ریال)	درصد به کل
زمین	1,000	6.70
محوطه سازی	569	3.81
ساختمانهای تولیدی و غیر تولیدی	3,608	24.18
ماشین آلات خط تولید	5,352	35.87
تاسیسات زیر بنایی و جانبی	2,683	17.98
ابزار آلات کارگاهی و تجهیزات آزمایشگاهی	100	0.67
وسایل حمل و نقل داخل کارخانه	460	3.08
وسایل و تجهیزات اداری	439	2.94
هزینه های پیش بینی نشده (پنج درصد فوق)	710	4.76
جمع کل	14,920	100

14,210

جدول شماره هشت (برآورد هزینه های قبل از بهره برداری

شرح	هزینه (میلیون ریال)	درصد به کل
مطالعات مقدماتی ، تهیه طرح ، امکان سنجی ، هزینه اخذ تسهیلات ، دریافت مجوز های دولتی	300	33
هزینه های جاری در دوره اجرای طرح	400	44
هزینه های آموزش ، تامین انرژی و مواد اولیه برای تولید دوره آزمایشی	200	22
جمع کل	900	100

برآورد سرمایه ثابت (میلیون ریال)	15,820
-----------------------------------	--------

جدول شماره نه) برآورد سرمایه ثابت

شرح	ارزش (میلیون ریال)	درصد به کل
مجموع هزینه های سرمایه ای	14,920	94.31
مجموع هزینه های قبل از بهره برداری	900	5.69
جمع کل	15,820	100

جدول شماره ده) برآورد سرمایه در گردش

شرح	تعداد روز های کاری	هزینه (میلیون ریال)	درصد به کل
تامین مواد اولیه داخلی	25	1,667	23.30
تامین مواد اولیه خارجی	0	0	0.00
کالای ساخته شده و در جریان ساخت	25	3,546	49.55
نگهداری و تعمیرات	45	108	1.51
حقوق و مزایای کارکنان	90	1,467	20.50
تامین انرژی مورد نیاز	90	164	2.29
هزینه های فروش	90	64	0.89
تنخواه و سایر هزینه های جاری (دو درصد هزینه های فوق)		140	1.96
جمع کل		7,156	100

جدول شماره یازده) برآورد سرمایه گذاری کل

شرح	ارزش (میلیون ریال)	درصد به کل
سرمایه ثابت (میلیون ریال)	15,820.4	68.9
سرمایه در گردش (میلیون ریال)	7,155.9	31.1
سرمایه گذاری کل	22,976	100.00

جدول شماره دوازده / الف) نحوه تامین منابع مالی

منابع	نوع سرمایه گذاری	ارزش ریالی (میلیون ریال)	درصد به کل
آورده نقدی سهامدار	سرمایه ثابت	5,500	24
	سرمایه در گردش	3,500	15
	جمع آورده	9,000	39
تسهیلات بانکی	سرمایه ثابت	10,320	45
	سرمایه در گردش	3,656	16
	جمع تسهیلات	13,976	61
جمع کل		22,976	100

جدول شماره دوازده / ب) برآورد هزینه تسهیلات بانکی

نوع وام	میزان تسهیلات (میلیون ریال)	سود سالیانه (میلیون ریال)	نرخ بهره (درصد)
سرمایه ثابت (تسهیلات بلند مدت)	10,320	1,312	14
سرمایه در گردش (تسهیلات کوتاه مدت)	3,656	301	16
مجموع	13,976	1,613	--

جدول شماره سیزده (برنامه سالیانه تولید و برآورد میزان فروش (درآمد ناخالص) سالیانه

نوع محصولات	واحد	ظرفیت اسمی سالیانه	قیمت فروش واحد محصول (ریال)	فروش سالیانه (میلیون ریال)	درصد به کل
سیلیس خالص / با خلوص حداقل 93 درصد SiO_2	تن	1,000	13,225,000	13,225	31.08
سیلیس شسته شده / با خلوص 75 الی 80 درصد SiO_2	تن	3,000	9,775,000	29,325	68.92
جمع کل	تن	4,000	-----	42,550	100

جدول شماره چهارده (نام ، میزان و هزینه سالیانه مواد اولیه مصرفی

نام مواد اولیه	واحد	محل تامین	میزان مصرف سالیانه	قیمت واحد(ریال)	ارزش سالیانه (میلیون ریال)	درصد هزینه به کل
سیلیس طبیعی	تن	داخلی	5400	2,350,000	12,690	63.43
اسید کلریدریک	تن	داخلی	200	25,000,000	5,000	24.99
سود	تن	داخلی	301	5,150,000	1,549	7.74
پاکت بسته بندی دو لایه پلاستیکی (پنجاه کیلو گرمی)	تن	داخلی	80800	9,500	768	3.84
جمع کل					20,006.5	100

جدول شماره پانزده) برآورد هزینه منابع انسانی مورد نیاز

شرح		تعداد	متوسط حقوق ماهیانه (ریال)	حقوق سالیانه(میلیون ریال)
مدیریت کارخانه		1	8,000,000	96
پرستل مستقیم تولید	واحد بهره برداری	مدیر تولید	1	7,000,000
		کارگر ماهر	10	4,500,000
		کارگر ساده	22	4,000,000
		تکنسین تعمیرات	3	5,000,000
پرستل غیر تولیدی	کنترل کیفی	کارشناس مسئول	1	5,000,000
	اداری و مالی	مدیر اداری و مالی	1	5,500,000
		کارمند اداری	2	5,000,000
		پرستل ساده خدماتی	6	3,500,000
	بازرگانی	مدیر بازرگانی	1	7,000,000
		کارمند بازرگانی	2	5,000,000
جمع کل		50	--	2,658
مجموع حقوق سالیانه پرستل تولیدی		1,860		
مجموع حقوق سالیانه پرستل غیر تولیدی		798		
مزایای سالیانه پرستل تولیدی (نود درصد حقوق سالیانه)		1,674		
مزایای سالیانه پرستل غیر تولیدی (هفتاد درصد حقوق سالیانه)		559		
جمع حقوق و مزایای سالیانه پرستل تولیدی		3,534		
جمع حقوق و مزایای سالیانه پرستل غیر تولیدی		1,357		
جمع کل		4,891		

جدول شماره شانزده) هزینه های عملیاتی

شرح	هزینه سالیانه (میلیون ریال)	درصد به کل
هزینه های غیر پرستلی دفتر مرکزی	0	0
هزینه های جاری آزمایشگاه	150	26
هزینه های فروش	212.75	37
هزینه های حمل و نقل	212.75	37
جمع کل	575.5	100

جدول شماره هفده) برآورد هزینه استهلاک سالیانه

سالیانه بهره برداری										ارزش استقسط	دوره (سال)	نرخ استهلاک	روش محاسبه	مبلغ سرمایه گذاری (میلیون ریال)	شرح
10	9	8	7	6	5	4	3	2	1						
135	147	159	172	187	202	219	238	258	279	10	28.56	7	نزولی	3,608	ساختمان
21	23	25	27	29	32	35	37	41	44	10	28.56	7	نزولی	569	محوطه سازی
482	482	482	482	482	482	482	482	482	482	10	10	10	مستقیم	5,352	ماشین آلات و تجهیزات
100	115	132	151	173	199	229	263	301	346	10	16.67	12	نزولی	2,683	تاسیسات زیر بنایی و جانبی
9	12	15	20	27	36	49	65	86	115	10	8	25	نزولی	460	وسایط نقلیه داخل کارخانه
79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	10	5	20	مستقیم	439	وسایل و تجهیزات اداری
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	مستقیم	100	ابزار آلات کارگاهی و تجهیزات آزمایشگاهی
180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	0	5	20	مستقیم	900	هزینه های قبل از بهره برداری
64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	10	10	10	مستقیم	710	هزینه های پیش بینی نشده
1,079	1,109	1,145	1,185	1,231	1,284	1,345	1,416	1,500	1,598	---			مستقیم	14,820	جمع کل

جدول شماره هیجده (مقدار و هزینه انواع انرژی مصرفی سالیانه

شرح	مصرف روزانه	مصرف سالیانه	هزینه واحد (ریال)	هزینه کل (میلیون ریال)	درصد به کل
انرژی الکتریکی (کیلو وات ساعت)	1,680	504,000	650	327.60	60.04
آب (متر مکعب)	80	24,000	1,200	72.00	13.20
سوخت (گاز) (متر مکعب)	600	180,000	700	126.00	23.09
هزینه مکالمات تلفن				20.00	3.67
جمع کل				545.6	100

جدول شماره نوزده (برآورد هزینه بیمه دارائیهای ثابت

عنوان دارائی	ارزش دارائی (میلیون ریال)	نرخ	هزینه سالیانه بیمه (میلیون ریال)	درصد به کل
ساختمانها و محوطه	4,177	0.002	8.4	34.21
ماشین آلات خطوط تولید و و تجهیزات آزمایشگاهی	5,352	0.002	10.7	43.83
تاسیسات زیربنایی و جانبی و تجهیزات	2,683	0.0020	5.4	21.97
جمع کل				24.42
100				

جدول شماره بیست (برآورد هزینه سالیانه نگهداری و تعمیرات

عنوان دارائی	ارزش دارائی	نرخ	هزینه سالیانه (میلیون ریال)	درصد به کل
ساختمان و محوطه سازی	4,177	2	83.5	11.61
ماشین آلات خط تولید	5,352	5	267.6	37.20
تاسیسات زیربنایی و جانبی	2,683	10	268.3	37.30
ابزار آلات کارگاهی و تجهیزات آزمایشگاهی	100	10	10.0	1.39
وسائط نقلیه داخل کارخانه	460	10	46.0	6.40
اثاثیه و لوازم اداری	439	10	43.9	6.10
جمع کل				719
100				

جدول شماره بیست و یک (برآورد مجموع هزینه های سالیانه (هزینه ثابت و متغیر) و محاسبه درصد فروش در نقطه سر به سر

شرح	درصد ثابت	هزینه ثابت (میلیون ریال)	درصد متغیر	هزینه متغیر (میلیون ریال)	جمع هزینه های سالیانه (میلیون ریال)
مواد اولیه	0	0.00	100	20,006.47	20,006.47
حقوق و مزایای سالیانه	70	3,423.42	30	1,467.18	4,890.60
انواع انرژی	30	163.68	70	381.92	545.60
هزینه استهلاک	100	1,289.04	0	0.00	1,289.04
هزینه نگهداری و تعمیرات	20	143.85	80	575.42	719.27
هزینه های پیش بینی نشده تولید	20	109.80	80	439.22	549.02
هزینه های عملیاتی	15	86.33	85	489.18	575.50
هزینه بیمه	100	24.42	0	0.00	24.42
هزینه تسهیلات دریافتی	100	1,613.01	0	0.00	1,613.01
جمع کل	--	6,853.55	--	23,359.38	30,212.94

فروش کل (در ظرفیت اسمی)	هزینه های ثابت (در ظرفیت اسمی)	تفاضل فروش کل و هزینه های متغیر	درصد فروش در نقطه سر به سر
42,550.00	6,853.55	19,190.62	35.71

جدول شماره بیست و دو (شاخص های مالی طرح

شاخص مالی	کمیت عددی
ارزش افزوده سالیانه (میلیون ریال)	21,279
سود ناخالص سالیانه (میلیون ریال)	12,337.1
درصد سود ناخالص سالیانه به هزینه کل	0.41
درصد سود ناخالص سالیانه به فروش	0.29
نرخ برگشت سرمایه (درصد)	53.7
سرمایه ثابت سرانه (میلیون ریال بر هر نفر)	316.4
سرمایه کل سرانه (میلیون ریال بر هر نفر)	459.5
درصد فروش در نقطه سر به سر	35.7
میزان تولید در نقطه سر به سر (تن)	1,428.5
دوره برگشت استاتیک سرمایه (سال) از جدول شماره بیست و شش	سه سال و نیم
دوره برگشت دینامیک سرمایه (سال) از جدول شماره بیست و شش	چهار سال و نیم

جدول شماره بیست و سه (نحوه بازپرداخت وام های دریافتی (با شرط اقساط مساوی)

سادهای بازپرداخت						نرخ بهره (درصد)	مدت بازپرداخت	دوره توقف	میزان تسهیلات	شرح
6	5	4	3	2	1	14	6	2	10,320	(میانگین تسهیلات ثابت) سرمایه در گردش
3,376	3,376	3,376	3,376	3,376	0					
2,064	2,064	2,064	2,064	2,064	0					
734	734	734	734	734	0					
578	578	578	578	578	0					
1,312	1,312	1,312	1,312	1,312	0					
2,064	2,064	2,064	2,064	2,064	0					
1,312	1,312	1,312	1,312	1,312	0					
0	0	0	1,519	1,519	1,519					
0	0	0	1,219	1,219	1,219					
0	0	0	301	301	301					
0	0	0	1,219	1,219	1,219					
0	0	0	301	301	301					
2,064	2,064	2,064	3,283	3,283	1,219					
1,312	1,312	1,312	1,613	1,613	301					
						16	3	0	3,656	(نسبت تسهیلات دریافتی) سرمایه در گردش
						--	--	--	13,976	جمع کل

جدول شماره بیست و چهار (تحلیل نقطه سر به سر در سالهای مختلف بهره برداری (ارقام به میلیون ریال)

سال های بهره برداری										شرح
10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
90	90	90	90	90	90	90	90	80	70	درصد بهره برداری
3,600	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600	3,200	2,800	ظرفیت بهره برداری (تن)
38,295	38,295	38,295	38,295	38,295	38,295	38,295	38,295	34,040	29,785	عایدی فروش
21,023.44	21,023.44	21,023.44	21,023.44	21,023.44	21,023.44	21,023.44	21,116.44	18,769.51	16,422.57	هزینه های متغیر
17,271.56	17,271.56	17,271.56	17,271.56	17,271.56	17,271.56	17,271.56	17,178.56	15,270.49	13,362.43	مابه التفاوت متغیر
45.1013	45.1013	45.1013	45.1013	45.1013	45.1013	45.1013	44.8585	44.8604	44.8630	نسبت مابه التفاوت متغیر (درصد)
با در نظر گرفتن هزینه های مالی										
6,853.55	6,853.55	6,853.55	6,853.55	6,853.55	6,853.55	6,853.55	6,853.55	6,853.55	6,853.55	هزینه های ثابت
0.00	0.00	901.80	0.00	1,312.41	1,312.41	1,312.41	1,613.01	1,613.01	300.60	هزینه های مالی
15,195.90	15,195.90	17,195.39	15,195.90	18,105.81	18,105.81	18,105.81	18,873.94	18,873.11	15,946.68	ارزش فروش سر به سر
39.68	39.68	44.90	39.68	47.28	47.28	47.28	49.29	55.44	53.54	نسبت سر به سر (درصد)
بدون در نظر گرفتن هزینه های مالی										
6,853.55	6,853.55	6,853.55	6,853.55	6,853.55	6,853.55	6,853.55	6,853.55	6,853.55	6,853.55	هزینه های ثابت
15,195.90	15,195.90	15,195.90	15,195.90	15,195.90	15,195.90	15,195.90	15,278.17	15,277.50	15,276.64	ارزش فروش سر به سر
39.68	39.68	39.68	39.68	39.68	39.68	39.68	39.90	44.88	51.29	نسبت سر به سر (درصد)

جدول شماره بیست و پنج (پیش بینی عملکرد سود و زیان ویژه طرح در سال های بهره برداری

سایه های بهره برداری										شرح
10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
90	90	90	90	90	90	90	90	80	70	درصد بهره برداری
3,600	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600	3,200	2,800	میزان تولیدات (تن)
38,295	38,295	38,295	38,295	38,295	38,295	38,295	38,295	34,040	29,785	کل فروش (میلیون ریال)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	تعدیل فروش
38,295	38,295	38,295	38,295	38,295	38,295	38,295	38,295	34,040	29,785	فروش خالص
18,005.82	18,005.82	18,005.82	18,005.82	18,005.82	18,005.82	18,005.82	18,005.82	16,005.18	14,004.53	مواد اولیه
4,743.88	4,743.88	4,743.88	4,743.88	4,743.88	4,743.88	4,743.88	4,743.88	4,597.16	4,450.45	حقوق و دستمزد
507.41	507.41	507.41	507.41	507.41	507.41	507.41	507.41	469.22	431.02	انرژی
661.73	661.73	661.73	661.73	661.73	661.73	661.73	661.73	604.19	546.65	نگهداری و تعمیرات
505.10	505.10	505.10	505.10	505.10	505.10	505.10	505.10	461.18	417.26	هزینه های پیش بینی شده
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	هزینه های تولید غیر مذکور
1,078.66	1,109.48	1,144.54	1,184.60	1,230.55	1,283.50	1,344.81	1,416.20	1,499.78	1,598.27	استهلاک دارایی های ثابت
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	تعدیل موجودی
25,502.61	25,533.42	25,568.49	25,608.55	25,654.50	25,707.45	25,768.76	25,840.14	23,636.71	21,448.17	بهای تمام شده محصول
12,792.39	12,761.58	12,726.51	12,686.45	12,640.50	12,587.55	12,526.24	12,454.86	10,403.29	8,336.83	سود ناویژه
526.58	526.58	526.58	526.58	526.58	526.58	526.58	526.58	477.67	428.75	جمع هزینه های عملیاتی
11,928.28	11,928.28	11,928.28	11,928.28	11,928.28	11,928.28	11,928.28	11,928.28	9,925.63	7,908.08	سود عملیاتی
180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	استهلاک هزینه های قبل از بهره برداری
0.00	0.00	0.00	0.00	1,312.41	1,312.41	1,312.41	1,312.41	1,312.41	0.00	هزینه تسهیلات بانکی بلند مدت
0.00	0.00	901.80	0.00	0.00	0.00	0.00	300.60	300.60	300.60	هزینه تسهیلات بانکی کوتاه مدت
180.00	180.00	1,081.80	180.00	1,492.41	1,492.41	1,492.41	1,793.01	1,793.01	480.60	جمع هزینه های غیر عملیاتی
11,748.28	11,748.28	10,846.48	11,748.28	10,435.87	10,435.87	10,435.87	10,135.27	8,132.62	7,427.48	سود و زیان ویژه
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	مالیات
11,748.28	11,748.28	10,846.48	11,748.28	10,435.87	10,435.87	10,435.87	10,135.27	8,132.62	7,427.48	سود ویژه پس از کسر مالیات
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	سود سهام / پرداخت
11,748.28	11,748.28	10,846.48	11,748.28	10,435.87	10,435.87	10,435.87	10,135.27	8,132.62	7,427.48	سود ویژه پس از کسر مالیات و سود سهام
91,346.00	79,597.72	68,751.24	57,002.97	46,567.10	36,131.24	25,695.37	15,560.10	7,427.48	0.00	سود سنواتی
103,094.28	91,346.00	79,597.72	68,751.24	57,002.97	46,567.10	36,131.24	25,695.37	15,560.10	7,427.48	سود قفل به ترزنامه

جداول پیش بینی شاخص ها و تنظیم جداول مالی طرح برای سالهای بهره برداری (از جدول شماره

۲۳ تا ۲۸)

پس از پایان محاسبات مالی و انجام برآوردهای فوق ، با رویکرد ارائه اطلاعات تکمیلی جهت برآورد توجیه پذیری طرح به ویژه با لحاظ نمودن ارزش زمانی پول برای سرمایه گذاران محترم ، جداول کلیدی دیگری شامل نحوه بازپرداخت وام های بانکی ، محاسبه نقطه سر به سر در طی سالهای مختلف بهره برداری ، پیش بینی عملکرد سود و زیان دوره برگشت سرمایه در حالت عادی و دینامیک (با لحاظ نمودن ارزش زمانی پول) و در نهایت تحلیل حساسیت شاخص ها به برخی از پارامترهای کلیدی در طی جداول مستقلى ارائه شده است . توصیه می گردد قبل از اقدام به اجرای سرمایه گذاری به صورت واقعی ، محاسبات مالی با داده های کمی به روز و در حالت های مختلف (با لحاظ نمودن طرحهای استخراج از معدن ، انتقال ، آماده سازی و خردایش) در قالب نرم افزار COMAR تکرار و شبیه سازی گردد .

فصل هفتم: جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

طرح مطالعات امکان‌سنجی تولید سیلیس ریخته‌گری

جمع بندی و نتیجه گیری

بر اساس آمارهای رسمی ، کشور ایران با دارا بودن بیش از ۲۴ میلیارد تن ذخایر معدنی دوازدهمین کشور بزرگ معدنی جهان است که بر اساس عملیات اکتشافی انجام شده ، حدود ۶۰ نوع ماده معدنی مختلف در سطح کشور به ثبت رسیده است ، همچنین حدود ۱۵ نوع ماده معدنی دیگر نیز در حال اکتشاف می باشند. مطالعات انجام شده حاکی از آن است که حدود ۶ میلیارد تن از معادن موجود ، مربوط به ذخایر فلزی و مابقی ذخایر از نوع غیر فلزی مشتمل بر ذغال سنگ ، مصالح ساختمانی و کانی های صنعتی هستند . بر همین اساس در حال حاضر بیش از ۲۰۰۰ معدن فعال در کشور وجود دارد که استخراج مواد معدنی معادل ۱۰۰ میلیون تن از این معادن بصورت سالیانه ، ارزش افزوده قابل توجهی را به دنبال دارد . از سوی دیگر کشور ایران ۱۰ درصد کل ذخایر شناخته شده نفت ، ۱۴ درصد از منابع گاز و ۳۵ درصد از ذخایر مس جهان را در اختیار دارد و این در حالی است که در زمینه فلزات مهمی مانند سرب و روی ، به ترتیب حدود ۵ و ۲ درصد از کل منابع شناخته شده جهان در ایران قرار دارند . از سوی دیگر بر اساس آمارهای رسمی ، سهم صنعت و معدن در تولید ناخالص داخلی در ایران حدود ۱۷٪ می باشد که از این میزان تنها ۰/۶ درصد آن به بخش معدن اختصاص داشته و در طی سالهای اخیر این سهم به حدود ۱/۱ درصد افزایش یافته است . افق های برنامه ریزی کلان اقتصادی دولت مبنی برافزایش چهار برابری سهم بخش معدن در تولید ناخالص ملی ، بیانگر توجه جدی مسولان کشور و سیاستهای اقتصادی در زمینه بالفعل کردن پتانسیل های معدنی موجود می باشد.

با استناد به دلایل اقتصادی فوق تمرکز بر توسعه فعالیت های معدنی و یا صنایع وابسته از ضرورت های توسعه اقتصادی است . در این میان ، در بالادست صنعت سیلیس ، فعالیتهای مرتبط با استخراج سیلیس از معادن (از جمله معادن واقع در استان زنجان) ، انجام عملیات خردایش و تولید سیلیس دانه بندی شده و در پایین دست آن سیلیس فرآوری شده مانند سیلیس شسته شده و تخلیص شده و همچنین کاربردهای آن در بسیاری از صنایع تولیدی مانند صنایع شیشه ، ریخته گری ، رنگ و فیلتراسیون قرار دارد. یکی از زمینه های مهم و رو به رشد در کاربرد این ماده معدنی ، صنعت ریخته گری است . در همین راستا و با توجه به تقاضای رو به گسترش در بازارهای صنعتی برای این ماده ارزشمند معدنی ، عملا احداث کارخانه فرآوری سیلیس به اشکال و صورت های مختلف ، دارای توجیه پذیری نسبی می باشد ، همچنین با عنایت به وجود معادن سیلیس به همراه کارخانه خردایش و تولید سیلیس دانه بندی شده در داخل استان زنجان ، در صورت

احداث کارخانه مورد نظر در شهرستان های ابهر یا زنجان ، تامین ماده اولیه اصلی این صنعت به صورت مناسب و با هزینه حمل و نقل پائین میسر خواهد بود . با توجه به رقابت نسبی حاکم بر این صنعت ، کسب توفیق در این حوزه کاری نیاز به تخصص و دانش کافی دارد تا امکان طراحی و اجرای فرایندهای تولید و دستیابی به فرمولاسیون مطلوب و در نهایت محصول با کیفیت بالا ، با هزینه های معقول و اقتصادی و قیمت تمام شده قابل رقابت قابل حصول باشد .

منابع و مآخذ :

- ✓ آمارهای منتشره از سوی وزارتخانه های صنایع و معادن و وزارت بازرگانی (تا پایان سال ۸۸).
- ✓ آخرین نسخه کتاب مقررات صادرات و واردات (تا پایان سال ۸۸).
- ✓ مستندات سازمان توسعه تجارت ایران.
- ✓ مستندات سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.
- ✓ مستندات سازمان صنایع کوچک و شهرک های صنعتی ایران.
- ✓ مستندات گمرک و مرکز آمار ایران.
- ✓ فتحی، محمدحسین: مواد قالبگیری برای ریخته گری فلزات، نشر ارکان اصفهان
- ✓ انجمن ریخته گری ایران، انجمن صنفی کارخانجات صنعت ریخته گری ایران، انجمن علمی ریخته گری ایران، مرکز پژوهش های کاربردی سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران.
- ✓ سابت اینترنتی شرکت های تاوان سیلیس، شرکت تحقیقات و کاربرد مواد معدنی، سازمان توسعه و نوسازی صنایع معدنی ایران، شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران، شرکت سرمایه گذاری سپهر معدن شرق.

پوستیک: کاربرد اکسید آهن قرمز در قالب و مایچه رینخته کمری

طرح مطالعات امکان سنجی تولید سیلیس ریخته گری

اکسید آهن قرمز:



اکسید آهن قرمز با ظرفیت تولید 1500 تن سالانه جهت مصرف در صنعت رنگ ، لعاب ، کاشی و سرامیک و پرایمر فلزی با دانه بندی 2500 مش در حال تولید می باشد که با نمونه وارداتی کاملاً قابل رقابت است که مشخصات آن به شرح ذیل میباشد:

Physical Properties		Chemical Properties	
Oil Absorption	25	Fe ₂ O ₃	98.5%
Particle Size Range (10-100%) (um)	0.1_2.0	Mgo	0 -2%
Medium(um)	0.25-0.41	Na	0 .13%
Particle Shapes	spherical	Cao	n.d.
Retention ,+325 mesh(%)	<0.01	So ₃	n.d.
Specific Gravity	5.1	Soluble salts	0.29
Surface Area (m/g)	9	LOI At 1000 C	0.66
Refractive Index	3.15	PHapprox	5_7

اکسید آهن مخصوص ماهیچه ریخته گری :

اکسید آهن مخصوص ماهیچه ریخته گری در نوع سیاه رنگ و با قابلیت دانه بندی طبق نظر مشتریان و به صورت ترکیبی از FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄ جهت اضافه شونده به ماهیچه ریخته گری و ایجاد خواص مطلوب در ماهیچه ریخته گری تولید می گردد .

استفاده از اکسید آهن در قالب و ماهیچه برای ریخته گری فلزات آهنی

استفاده از اکسید آهن در انواع مختلف قرمز و سیاه از نظر مهندسی ادتیو ماسه (Additive_ESA Enginered Sand) بعنوان یک اضافه شونده فعال و کار آمد توصیه گردیده است و در عمل نیز با شرایط کارگاهی مورد آزمایش قرار گرفته و اثرات آن عیناً دیده شده است . اکسید آهن اضافه شده در انواع مختلف مخلوط ماسه از نظر تاثیر آن برخواص ماسه و بررسی بهبود مقاومت در برابر رگه یا چروک های ایجاد شده بر روی سطح قطعات ریختگی آزمایش شده است . اکسید آهن قرمز در پیشگیری از ایجاد رگه یا چروک بر روی سطح قطعات ریختگی موثر میباشد ولیکن بدلیل پودر بودن و فاقد دانه بندی شدن و مقدار اکسیژن عوارض جانبی یا تاثیرات مغایری بر سطح نهائی قطعه ریختگی دارد ولیکن اکسید آهن سیاه اضافه شده به میزان 3 درصد در سیستم هات باکس و 2 درصد در سیستم کلد باکس در از بین بردن تاثیر ایجاد رگه یا چروک کارآمد بوده و تاثیر مغایر کمتری بر کیفیت سطح خواهد داشت از علت های دیگر استفاده از اکسید آهن کاهش چسبیدن کربن به قطعه کار و نیز جلوگیری از ایجاد روزنه سوزنی و جلوگیری از ایجاد فرورفتگی یا برجستگی نیم کره ای شکل در قطعه کار و نیز ایجاد مقاومت در برابر نفوذ آهن در قالب میباشد . بطور کلی اثرات اکسید آهن در ماهیچه گیری و هدف از مصرف به شرح ذیل میباشد.

(الف) هدف از مصرف :

باعث افزایش پلاستیسیته گرم و کاهش یا حذف عیوب رگه رگه شدن و نفوذ مذاب و کاهش عیوب گازی میباشد.

(ب) اثرات استفاده از اکسید آهن در ماهیچه گیری :

- 1_ افزایش استحکام خشک ماهیچه های تولیدی .
- 2_ کاهش اثرات Pinhole (مک سوزنی ریز سطحی نیتروژنی و هیدروژنی)
- 3_ کنترل انبساط حرارتی ماهیچه .
- 4_ افزایش استحکام گرم ماهیچه .
- 5_ جلوگیری از Penetration .
- 6_ جلوگیری از نفوذ مذاب در ماهیچه و ایجاد قابلیت مناسب و سخت در سطح ماهیچه که از نفوذ گاز ازت موجود در زین Hot box به داخل ذوب جلوگیری می نماید.
- 7_ کنترل اتمسفر قالب که نقش مهمی در بهبود کیفی سطح دارد بدین طریق که با آزاد سازی اکسیژن اتمسفر قالب را از حالت احیاء کنندگی زیاد محافظت می نماید.
- 8_ ترکیب شدن اکسیژن آزاد شده با اتمهای هیدروژن موجود در رزین های Cold box و سوختن کامل با رزین های مربوط.
- 9_ ترکیب شدن با کربن اضافی جهت بهبود سطح قطعه .
- 10_ سهولت در تخلیه ماهیچه پس از ذوب ریزی بدلیل سوختن اکسیژن با گازهای متصاعد شده رزین ها و از بین رفتن عامل چسبندگی ماسه

ج) مقدار مصرف اکسید آهن مخصوص ماهیچه گیری :

- 1_ برای استفاده در سیستم Hot box به مقدار 3/5 درصد وزن ماسه مخلوط می گردد و مقدار رزین نیز کاسته شود .
- 2_ برای استفاده در Cold box به مقدار 1/5 تا 2 درصد وزن ماسه مخلوط میگردد و مقدار رزین نیز کاسته شود .
- 3_ برای استفاده در ماهیچه ریخته گری آلومینیوم حداقل 3/5 تا 5 درصد وزن ماسه مخلوط کرده و مقدار رزین تا 30 درصد کاهش یابد.



شرکت رنگین آهن (سهامی خاص)
Ranguin Aahan Co.

www.RanguinAahan.com

پیوست دو: آشنایی با ماهه مورد مصرف در یخه گیری

طرح مطالعات امکان سنجی تولید سیلیس ریخته گری

ریخته‌گری فلزات

ریخته‌گری فرایندی است که طی آن ماده مذاب به داخل قالب بارریزی می‌شود (شکل ۱) تا به شکل داخلی قالب، منجمد و سپس از داخل آن خارج شده تا قطعه مورد نظر، تولید شود. سپس بر روی آن دیگر عملیات لازم انجام می‌شود (شکل ۲). ریخته‌گری ارزان‌ترین روش برای تولید محصولات فلزی شکل داده شده است. شکل قطعه توسط شکل حفره تعیین می‌شود. محصولات فلزی چکش‌کاری شده با محصولات فلزی ریخته‌گری تفاوت دارند. بر روی این محصولات پس از ریخته‌گری کار مکانیکی مانند آهن‌گری (forging)، نورد (rolling)، و یا روزن‌رانی (extruding) انجام می‌شود.



شکل ۱: بارریزی فلز در قالب



شکل ۲: اشیای فلزی ساخته شده به روش ریخته‌گری

عمل ریخته‌گری و ریخته‌گرخانه یا ریخته‌گری

فرایند شکل‌دهی اشیای فلزی که از ذوب فلز و ریختن (بارریزی) آن به داخل قالب به دست می‌آید، عمل ریخته‌گری^۱ نامیده می‌شود. ریخته‌گرخانه یا ریخته‌گری نیز تاسیسات تجاری برای ریخته‌گری یا تولید قطعات ریخته‌گری است. لازم به ذکر است که فلزات مذاب برای بدست آوردن شکل شیء به طور مستقیم

مزایای فرایند ریخته‌گری

۱. ریخته‌گری قطعاتی با شکل پیچیده درونی و بیرونی با هزینه نسبتاً پائین، در نتیجه بسیاری از عملیات مانند ماشینکاری، آهن‌گری و جوشکاری حذف و یا به حداقل می‌رسد.

^۱ Founding, Casting

۲. تنها روش شکل‌دهی برای فلزاتی است که امکان استفاده از روشهای دیگر، مانند گرمکاری، برای تولید میله (bar)، ورق (plate)، یا دیگر شکلها وجود ندارد (این روش اقتصادی است).

۳. امکان ساده شدن ساختمان (construction)، در غیر اینصورت ساختمان قطعه ممکن است از چندین جزء تشکیل شود.

۴. روشی بسیار مناسب و سازگار با تولید انبوه و سریع است (در صنعت خودرو بسیار سریع و پرکاربرد است).

۵. تولید قطعات فلزی فوق‌العاده بزرگ، سنگین که با دیگر روشها، تولید آن مشکل است (مانند بدنه پمپها، شیرآلات، قطعات واحد هیدروالکتریک، که گاهی تا ۲۰۰ تن و بیشتر نیز می‌رسد).

۶. بدست آوردن خواص مهندسی به طور دلخواه‌تر در فلزات ریخته‌گی، مانند

a. قابلیت ماشین‌کاری و ظرفیت جذب ارتعاش در چدن

b. خواص یکنواخت‌تر در جهات مختلف، قطعاتی که به روش مناسب ریخته‌گری شده باشند، در جهات

مختلف خواص یکسانی دارند ولی در مورد قطعات چکشی چنین نیست.

c. استحکام و سبکی، در برخی آلیاژهای فلزات سبک که فقط می‌توان به روش ریخته‌گری تولید کرد.

d. کیفیت باربری خوب در قطعات ریخته‌گری شده باربر، به طور کلی می‌توان محدوده وسیعی از ترکیبات

آلیاژی و خواص مختلف را در شکل ریخته‌گی تولید کرد.

۷. مزیت اقتصادی آشکاری در رابطه با موارد ۱ تا ۶ به تنهایی و یا با هم وجود دارد. قیمت و عامل فروش فاکتور مسلطی در قطعات ریخته‌گی است.

۸. مزایای بسیار دیگر

معایب فرایند ریخته‌گری

۱. استحکام مکانیکی محصولات ریخته‌گی برابر با استحکام مکانیکی قطعات آهنگری شده نیست.

۲. ناخالصی‌ها ممکن است به سهولت محبوس شده و باعث تغییر شکل شوند.

۳. نمی‌توان محصولاتی با سطوح فوق‌العاده صاف و یا با رواداری بالا تولید کرد.

۴. انقباض فلز می‌تواند باعث مشکلاتی در قطعه نهائی شود.

انواع ریخته‌گری‌ها

ریخته‌گریها را می‌توان به دو دسته آهنی و غیرآهنی تقسیم کرد که هر کدام خود تقسیمات دیگری دارند. این تقسیم بندی از دیدگاه نوع فلز به صورت زیر تقسیم‌بندی می‌شود.

۱. ریخته‌گری چدن خاکستری

۲. ریخته‌گری فولاد

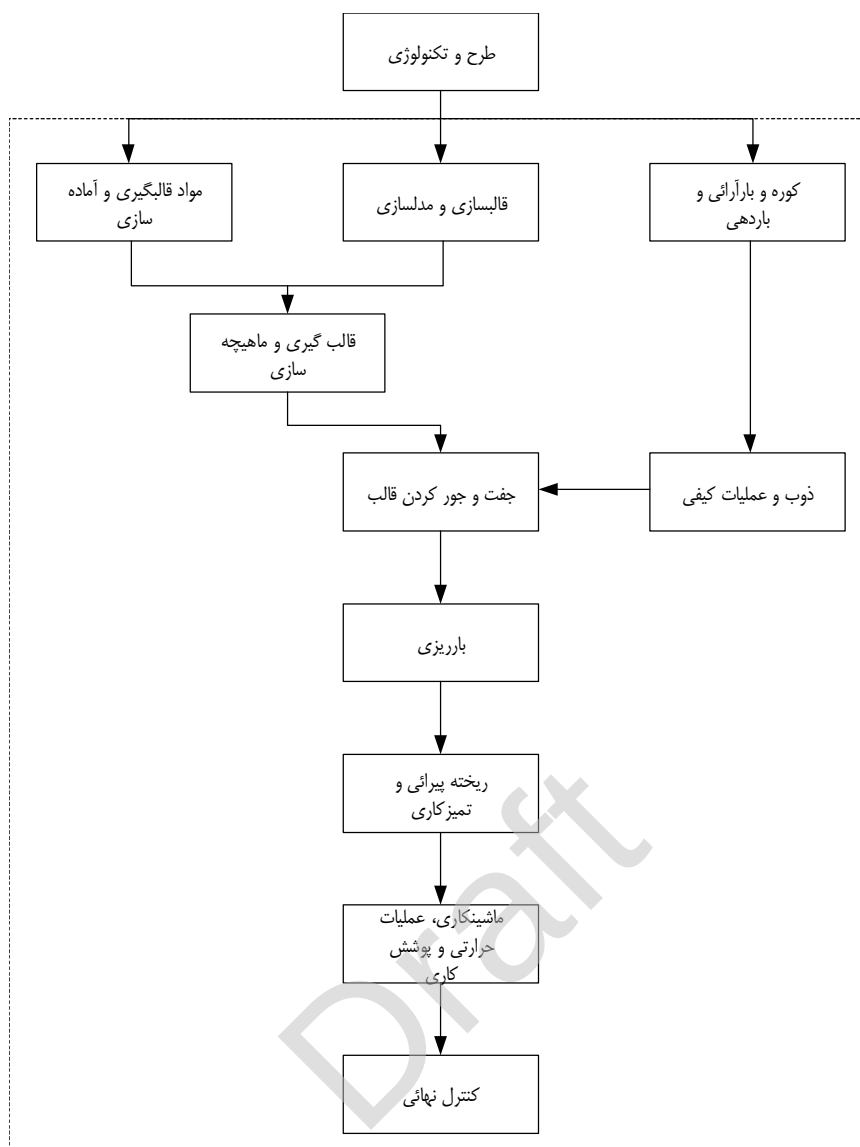
۳. ریخته‌گری چدن مالیل

۴. ریخته‌گری برنج و برنز

۵. ریخته‌گری فلزات سبک مانند (Al, Mg)

شمای عمومی بخش‌های مختلف یک واحد ریخته‌گری

شمای عمومی بخش‌های مختلف یک واحد ریخته‌گری در نمودار زیر نشان داده شده است.



شکل: نمودار عمومی بخش‌های مختلف یک واحد ریخته‌گری

گامهای اساسی در تولید قطعه ریخته‌گری

همانگونه که نمودار فوق نشان می‌دهد، گامهای اساسی در تولید قطعه ریخته‌گری پنج تاست که عبارتند از

۱. ساخت مدل یا قالب اصلی (منجمله جعبه ماهیچه core)

۲. ساخت ماهیچه

۳. قالبسازی (قالب‌گیری)

۴. ذوب و بارریزی

۵. تمیزکاری

مدلسازی (ساخت مدل)

مدلها یا الگوها در ریخته‌گری از اهمیت زیادی برخوردار است. برای ساخت قالب ماسه به مدل (الگو) نیاز است. قالب با فشردن مواد خمیری (ماسه خمیری) در اطراف مدل (الگو) ساخته می‌شود. وقتی مدل از داخل ماسه خارج شود جای آن خالی می‌ماند. این فضای خالی بعداً با فلز مذاب پر می‌شود. تا قطعه ریخته‌گری تولید شود. بنابراین قالب‌گیری نیاز دارد تا

۱. ابتدا مدل ساخته شود (نسخه‌ای از سطح بیرونی قطعه)

۲. سپس با استفاده از مدل قالب‌گیری انجام شود.

۳. در مورد قطعات مجوف (توخالی) مانند اتصالات لوله، بایستی مدل‌های (الگوهای) اضافی دیگری بنام جعبه ماهیچه (core boxes) ساخته شود تا بتوان با آن ماهیچه را شکل داد.

برای ساخت مدل در ریخته‌گری از مواد متعددی مانند چوب، فلز، گچ و پلاستیک استفاده می‌شود

ساخت ماهیچه (core making)

ماهیچه معمولاً از ماسه ساخته می‌شود تا فضای داخل قطعه را شکل دهد. نتیجتاً فضای بین ماهیچه و سطح حفره قالب، آن چیزی است که نهایتاً قطعه ریختگی را تشکیل می‌دهد.

قالب‌گیری (molding)

به کلیه عملیات لازم برای تولید قالب برای بارریزی در داخل آن قالب‌گیری اطلاق می‌شود. فرایند قالب‌گیری عبارتست از:

۱. قرار دادن مدل در داخل قالب نگهدارنده
۲. قرار دادن ماده قالب در اطراف مدل و کوبیدن آن (فشردن آن)
۳. خارج کردن مدل از ماسه تا جای خالی آن ایجاد شود.
۴. قرار دادن ماهیچه در حفره قالب
۵. انجام عملیات پایانی و بستن قالب
۶. بارریزی در قالب (فلز مذاب آماده)

ذوب و بارریزی (melting and pouring)

آماده‌سازی فلز مذاب برای ریخته‌گری ذوب نامیده می‌شود. عمل ذوب در کوره و در بخش جداگانه‌ای در کارخانه صورت گرفته و سپس مذاب برای ریخته‌گری با پاتیل حمل می‌شود.

تمیزکاری (cleaning)

به کلیه عملیات لازم برای جداکردن ماسه، سربار، پوسته‌ها و فلز اضافی از قطعه ریختگی، تمیزکاری گفته می‌شود.

ماسه‌های ریخته‌گری

ماسه از مواد اصلی در ریخته‌گری (ساخت قالب) است که معمولاً از ماسه‌های طبیعی تامین می‌شود. ماسه طبیعی معمولاً با ماده چسبناکی که عمدتاً خاک رس است مخلوط می‌شود تا بتوان قالب را با استحکام لازم و کافی تولید کرد. از ماسه‌های مصنوعی نیز در ریخته‌گری استفاده می‌شود.

اغلب قطعات ریخته‌گری را با استفاده از قالبهای ماسه‌ای تولید می‌کنند. ماسه لازم برای هر تن ریخته‌گری حدود چهار تا پنج تن می‌باشد. نسبت مصرف ماسه به فلز ریخته‌گری بسته به نوع و اندازه قطعه ریختگی و روش قالب‌گیری ممکن است از ۱۰:۱ تا ۲۵:۱ متغیر باشد.

قسمت عمده‌ای (حدود ۹۰٪) از ماسه ریخته‌گری را سیلیس (SiO_2) تشکیل می‌دهد، مابقی آن نیز چسب و ۲ درصد رطوبت است. گاهی مواد دیگری نیز برای ایجاد خاصیت معینی به ماسه اضافه می‌شود. برای مثال غالباً تا ۲ درصد مواد سلولزی برای جلوگیری از پارگی گرم^۱ به ماسه اضافه می‌شود. برای کاربرد بخصوص، مثلاً در تولید قطعات ریخته‌گری بسیار بزرگ فولادی از ماسه‌های غیرسیلیسی مانند ماسه زیرکونی ($\text{Zircon} = \text{ZrSiO}_4$) یا اولیون^۲ $[(\text{Mg}, \text{Fe})_2 \text{SiO}_4]$ استفاده می‌شود. اکثر ماسه‌های ریخته‌گری، ماسه سیلیسی شسته شده‌ای است که از خلوص بالایی برخوردار است. این ماسه دیرگداز و از نظر زمین‌شناسی فراوان است. این ماسه‌ها در دماهای مختلف تبدیل حالت می‌دهند و نتیجتاً افزایش حجم می‌یابند. برای اینکه دیرگدازی آنها کاهش نیابد کانیهای فلدسپار، میکا و گدازآورهای قلیائی آن بایستی کم باشد در جدول زیر تجزیه شیمیایی ماسه طبیعی ریخته‌گری به طور تقریب داده شده است.

^۱ Hot tear

^۲ Olivine (Name from Olive Green), $\text{MgO.Fe}_2\text{O}_3.\text{SiO}_2$ or MgO.FeO.SiO_2

جدول ۱- آنالیز شیمیایی ماسه ریخته‌گری

درصد	ترکیب شیمیایی
۷۸-۹۸	سیلیس SiO_2
۱,۲-۱۰,۲	آلومینا Al_2O_3
۰,۵-۱۰,۲	اکسید آهن Fe_2O_3
۰,۰۴-۰,۰۵	اکسید تیتانیوم TiO_2
۰,۱۱-۲,۴	آهک CaO
۰,۰۲-۱,۸	اکسید منیزیم MgO
۰,۷-۳,۳	اکسیدهای قلیائی $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$
۰,۲-۴,۱	افت حرارتی LOI

ماسه‌های ریخته‌گری بر اساس مقدار خاک، به ماسه طبیعی و ماسه مصنوعی تقسیم می‌شوند. ماسه طبیعی ماسه‌ای است که از معدن استخراج و دارای خاک (AFS) کافی است، بطوریکه آن را می‌توان مستقیماً به کار برد. اما ماسه مصنوعی ماسه‌ای است که از مخلوط کردن ماسه بدون خاک با مقداری از خاک مورد نظر تهیه می‌شود. ماسه ساحل نیز ماسه‌ای است که معمولاً خاک آن، از پنج درصد کمتر است و در تهیه ماسه مصنوعی و ماسه ماهیچه به کار می‌رود. از نظر قالب‌گیری چند نوع ماسه متفاوت وجود دارد که عبارتند از:

۱. ماسه خام green sand
 ۲. ماسه خشک dry sand
 ۳. ماسه ماهیچه‌ای core sand
 ۴. ماسه فرآیند سیلیکات سدیم
 ۵. ماسه قالب‌گیری پوسته‌ای shell molding sand
 ۶. ماسه با پیوند سیمانی cement bonded sand، که مخلوطی از ماسه، ۸ تا ۱۲ درصد سیمان زودگیر و ۵ تا ۶ درصد آب است.
 ۷. غیره
- اکنون به معرفی برخی از این ماسه‌ها می‌پردازیم.

ماسه خشک

ماسه سیلیسی مرطوبی است که با پخت قالب در $204-316^\circ\text{C}$ ($400-600^\circ\text{F}$) بهبود یافته است. در نتیجه آب مکانیکی از ماسه خارج و فقط آب پیوندی سیستم خاک-آب-سیلیس باقی می‌ماند. مقاومت فشاری خشک، عمدتاً تحت تاثیر مقدار خاک و نیز مقدار آبی که قبل از خشک کردن قالب به کار می‌رود قرار دارد.

ماسه ماهیچه

ماسه‌ی ماهیچه^۱ همان ماسه قالب‌گیری است اما به آن روغن و مواد سلولزی (آرد ذرت)^۲ برای ایجاد پیوندهای قوی‌تر اضافه می‌شود. ماسه‌ی ماهیچه، معمولاً دارای ۱٪ روغن بزرگ ۲٪ نشاسته است و مقدار خاک رس آن باید در حداقل ممکن قرار گیرد. ماهیچه‌ها پس از قالب‌گیری در دمای حدوداً 200°C برای تشکیل پیوند پخته می‌شوند به این ماسه‌ها، ماسه‌ی چراغی نیز می‌گویند.

^۱ Core sand

^۲ Cereal

اختلاف ماسه ماهیچه و ماسه خشک در آن است که در ماسه ماهیچه بایستی قبل از پخت چسب غیر آلی به مقدار کافی مصرف شود تا مقاومت کافی قبل از پخت ایجاد شود. عامل اصلی مقاومت پیوند آلی ایجاد شده بعد از پخت می‌باشد. چسبهای آلی که مصرف می‌شوند شامل روغن ذرت، پلاستیکها، رزینها و کازئین می‌باشد. علاوه بر این آرد برای افزایش مقاومت و نیز بهبود خاصیت تمیزکاری مصرف می‌شود. چسبهای اصلی در عمل پلیمریزه و زنجیره‌ای می‌شوند. در مورد روغن بزرک اکسیژن عامل زنجیره‌ای شدن می‌باشد که در نتیجه به داخل کوره پخت ماهیچه بایستی هوای کافی جریان داشته باشد. از آنجائیکه پس از بارریزی کلیه اطراف ماهیچه‌ها با مذاب پوشانده می‌شوند بایستی برای خروج گازها به بیرون نفوذ پذیری کافی داشته باشد. به همین دلیل، ماسه ماهیچه معمولاً از ماسه قالب درشت‌تر بوده و لذا بایستی توزیع آن بر روی الکهای کمتری باشد.

خواص ماسه‌های ریخته‌گری

ماسه‌ها باید به راحتی قابل قالب‌گیری بوده و قطعات بی‌عیبی را ایجاد نمایند. خواص مورد نیاز عبارتست از:

۱- **استحکام خام (مرطوب):** ماسه مرطوب پس از مخلوط شدن با آب، بایستی مقاومت کافی و پلاستیسیته کافی، برای ساخت و حمل و نقل قالب را دارا باشد.

۲- **استحکام خشک:** به محض بارریزی، ماسه مجاور فلز داغ، به سرعت آب خود را بصورت بخار از دست داده و خشک می‌شود. ماسه خشک بایستی در برابر فرسایش و فشار متالوستاتیکی فلز مذاب، دارای مقاومت کافی باشد در غیر این صورت پس از بارریزی قالب بزرگ می‌شود.

۳- **استحکام داغ:** پس از تبخیر رطوبت، ممکن است به مقاومت زیاد ماسه در دمای بالا (بالا تر از 100°C) نیاز باشد. فشار استاتیکی فلز مذاب که بر دیواره‌ی قالب وارد می‌شود ممکن است باعث بزرگ شدن قالب شود و یا اگر هنوز مذاب در حال حرکت است، در قالب، سایش، ترک، یا شکست اتفاق افتد.

۴- **نفوذپذیری:** حرارت قطعه ریخته‌گری در ماسه مرطوب، باعث ایجاد بخار و دیگر گازها می‌شود که در نتیجه قالب بایستی نفوذپذیر باشد یا به عبارت دیگر متخلخل باشد تا گازها از آن عبور کند. در غیر این صورت در قطعه حفره‌های گاز ایجاد خواهد شد. این خاصیت را که با استفاده از سرعت عبور هوا از داخل نمونه‌ی فشرده اندازه‌گیری می‌کنند تابع فضاهای خالی است و اندازه آن برای ماسه‌ای که روی تعداد زیادی الک توزیع می‌شود پائین است اما برای ماسه‌ای که روی سه یا چهار الک توزیع شود بالاست.

۵- **پایداری حرارتی:** حرارت قطعه ریخته‌گری در سطح مشترک ماسه و فلز ایجاد انبساط سریع می‌کند در نتیجه ممکن است سطح ماسه ترک بخورد و یا پوسته نماید مگر اینکه ماسه قالب به طور نسبی از نظر ابعاد در برابر سرعت گرم شدن پایدار باشد.

۶- **دیر گدازی:** دمای بارریزی بالا، مثلاً دمای آلیاژهای آهنی $1760-1315^{\circ}\text{C}$ نیاز به دیرگدازی بیشتر ماسه دارد، فلزات با دمای بارریزی پائین مثلاً آلومینیم در دمای 705°C نیاز به ماسه دیرگداز ندارد. در رابطه با دیرگدازی ماسه، مسئله‌ی دوام مطرح است. خواص ماسه‌ای که در معرض دمای بالا قرار می‌گیرد به علت تغییر پیوندهای شیمیایی و فیزیکی، به تدریج تغییر کرده که بایستی با ماسه جدید جایگزین شود. متأسفانه آزمایشی برای تعیین این تغییر تدریجی وجود ندارد.

۷- **قابلیت قالب‌گیری (سیلان):** خاصیتی است که هم تعریف و هم اندازه‌گیری آن مشکل است. ماسه بایستی برای فرآیندهای قالب‌گیری مناسب باشد. این خاصیت ماسه مانند رفتار یک مایع است به عبارت دیگر وقتی کوبیده شود به کلیه قسمتهای قالب جریان یافته و فشار کوبش را به طور یکنواخت توزیع نماید.

۸- **سطح تمام شده:** برای قطعه ریختگی، سطح تمام شده خوبی ایجاد کند.

۹- **خاصیت تمیزکاری (ریزش):** ماسه حرارت دیده که سخت و شبیه سنگ می‌شود به سختی از قطعه جدا می‌شود و ممکن است باعث ایجاد پارگی یا ترک در فلز در حال انقباض شود. لذا جدا شدن ماسه ریخته‌گری از قطعه بایستی مناسب باشد.

۱۰- مجدداً قابل استفاده باشد.

۱۱- به سهولت تهیه و کنترل شود.

۱۲- حرارت را از قطعه ریخته‌گری در حال سرد شدن انتقال دهد.

اجزای ماسه قالب‌گیری

ماسه‌های قالب‌گیری مخلوطی از سه یا چند جزء، از جمله خاک، آب و سیلیس می‌باشد.

ذرات ماسه (سیلیسی)

ذرات کروم هر ماسه، اصولاً SiO_2 حدود ۹۵-۵۰ درصد کل ماسه قالب‌گیری را تشکیل می‌دهد. در ماسه‌های قالب‌گیری مختلف، این ذرات ماسه ممکن است به طرق مختلف با هم تفاوت داشته باشد.

۱. اندازه متوسط دانه، توزیع دانه‌بندی و شکل دانه‌ها

۲. ترکیب شیمیایی (خالص‌ترین ماسه دارای $\text{SiO}_2^{+} ۹۹.۸$ است که بهترین ماسه به شمار می‌رود)

۳. دیرگدازی و ثبات حرارتی

هر چقدر مقدار سیلیس (SiO_2) ماسه بیشتر باشد دیرگدازی و ثبات حرارتی بیشتری دارد. اکسید آهن، اکسیدهای قلیائی و آهک بیش از حد، نقطه ذوب ماسه را کاهش می‌دهند.

خاک: ماسه‌های ریخته‌گری ممکن است از ۲ تا ۵۰ درصد خاک رس داشته باشد. خاک با مقدار آب مناسب، باعث مقاومت و پلاستیسیته ماسه می‌شود که در نتیجه خاک، برای ماسه چسب محسوب می‌شود. کانسارهای خاک که به عنوان چسب ماسه استفاده می‌شوند، عبارتند از:

۱. بنتونیت (مونتموپلونیت)

۲. گل آتشخوار (کائولینیت)

۳. خاکهای مخصوص (هالوسیت، ایلیت و...)

که دو نوع اول بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

آب: مقدار آب موجود در ماسه‌ها حدود ۸-۱/۵ درصد است که در ماسه پلاستیسیته و استحکام ایجاد می‌کند اما مصرف بیش از حد آن مقاومت را کاهش می‌دهد لذا بایستی شدیداً کنترل شود. در شکل ۱ اثر تغییرات مقدار آب و خاک بر مقاومت مخلوطهای ماسه نشان داده شده است. در هر مورد، برای حداکثر مقاومت مقدار آب بحرانی خاص وجود دارد.

افزودنی‌های ویژه

علاوه بر سه جزء اصلی فوق، مواد دیگری نیز ممکن است در ماسه‌های قالب‌گیری وجود داشته باشند که برای ایجاد خواص معین به ماسه اضافه می‌شوند. در زیر به بحث آنها پرداخته می‌شود.

آرد ذرت: مقدار مصرف آن در ماسه ۲ درصد است و هدف از مصرف آن افزایش استحکام خشک و یا خام است. دلیل افزایش استحکام تشکیل نشاسته است که علاوه بر آن، قابلیت تمیزکاری ماسه از قطعه را نیز افزایش می‌دهد.

پودر قطران: قطران محصول جنبی کک سازی به شمار می‌رود و تا حدود ۳ درصد برای بهبود خواص قالب در دمای بالا و سطح تمام شده قطعه ریخته‌گری آهنی به کار می‌رود.

آسفالت: محصول جنبی حاصل از تقطیر نفت است و بجای قطران استفاده می‌شود.

ذغال دریایی: ذغال نرم پودر شده‌ای است که در ماسه‌های قالب‌گیری استفاده می‌شود و محیط احیائی ایجاد می‌کنند. سطح تمام شده قطعه را بهبود می‌بخشد و باعث سهولت تمیزکاری می‌شود. مقدار مصرف آن ۲ تا ۸ درصد است.

گرافیت: گرافیت طبیعی یا مصنوعی که از ۰٫۲ تا ۲ درصد استفاده می‌شود قابلیت قالب‌گیری ماسه و سطح تمام شده قطعه ریخته‌گری را بهبود می‌بخشد.

گیلسونیت: ماده جامد آسفالتی است و مشابه ذغال دریایی عمل می‌کند.

گازوئیل: به مقدار بسیار کم (۰٫۱ تا ۰٫۱ درصد) برای بهبود قابلیت قالب‌گیری به ماسه افزوده می‌شود.

خاک اره: خاک اره یا دیگر مواد سلولزی ممکن است به مقدار ۰٫۵ تا ۲ درصد به ماسه قالب‌گیری افزوده شود. این مواد در دماهای بالا سوخته و انبساط قالب را کنترل می‌کنند و نیز قابلیت قالب‌گیری و تمیزکاری ماسه را بهبود می‌بخشد. بر استحکام موثر نمی‌باشد.

پودر (خاکه) سیلیس: پودر سیلیسی را که از ۲۰۰ مش نرم‌تر باشد خاکه سیلیس می‌نامند و ممکن است تا ۳۵ درصد به منظور افزایش مقاومت ماسه مصرف شود. دانسیته ماسه را افزایش داده و در نتیجه از نفوذ فلز جلوگیری می‌کند.

اکسید آهن: پودر اکسید آهن بمقدار بسیار کم برای افزایش مقاومت داغ برخی ماسه‌ها استفاده می‌شود.

پرلیت: کانسار منبسط شده سیلیکات آلومینیم است، ۰٫۵ تا ۱٫۵ درصد آن، برای ایجاد پایداری حرارتی مصرف می‌شود و نیز به منظور عایق در منبع تغذیه مصرف می‌شود.

ملاس، دکسترین: از ملاس چغندر و دکسترین، برای افزایش مقاومت خام ماسه و افزایش سختی لبه‌های قالب استفاده می‌شود.

آزمایش‌های کنترل ماسه قالب‌گیری

ماسه‌های قالب‌گیری بایستی تحت آزمون‌های زیر قرار گیرند. دانه‌بندی ماسه، شکل ماسه، اندازه دانه‌ها، و ترکیب شیمیایی ماسه، از عوامل تعیین کننده در کیفیت ماسه می‌باشند، لذا در این رابطه به تست‌های مختلفی بر روی ماسه قالب‌گیری نیاز است.

۱- تعیین رطوبت ماسه

مقدار رطوبت در ماسه ریخته‌گری بر کلیه خواص آن تاثیر دارد، لذا این آزمایش بایستی در اغلب موارد انجام شود.

روش آزمایش

پنجاه (۵۰) گرم از ماسه ریخته‌گری، به عنوان نمونه آزمایشی، وزن و به مدت ۲ ساعت در دمای 220°F (105°C) خشک شود تا به وزن ثابتی برسد. سپس این نمونه مجدداً وزن و نتیجه (m) ثبت شود. دو برابر افت وزنی، درصد رطوبت ماسه را نشان می‌دهد که از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$m - 50 = 2 \text{ درصد رطوبت}$$

۲- تعیین استحکام مکانیکی

کرنش

ماسه قالب‌گیری مرطوب، تحت بار مکانیکی، قادر به تغییر شکل است. این آزمایش بوسیله دستگاه استاندارد صورت می‌گیرد

مقاومت کششی خام: توسط دستگاه مخصوصی اندازه‌گیری می‌شود و مقدار آن بسته به نوع ماسه از ۱ Psi تا ۶ Psi متغیر است.

مقاومت داغ و انبساط: این آزمایش بر روی نمونه استوانه‌ای مخصوص به قطر $1\frac{1}{8}$ in و طول ۲ in که از دو طرف

کوبیده شده است با سه بار سقوط وزنه ۷ پوندی از ارتفاع ۲ اینچ در دستگاه دیلاتومتر صورت می‌گیرد و در آن نیروی فشاری اندازه‌گیری می‌شود. همچنین با دیلاتومتر و لوازم الحاقی مناسب، انبساط ماسه در حال گرم شدن را اندازه‌گیری

می‌کنند و نتیجه برحسب انبساط کلی در هر اینچ بیان می‌شود. معمولاً این انبساط تا 2000°F برابر $0.016 - 0.020 \text{ in/in}$ می‌باشد.

شکل و اندازه ماسه: با استفاده از میکروسکپ نوری بررسی می‌شود. این شکلها ممکن است گرد، زاویه دار، و یا شکل مرکب داشته باشند. اندازه دانه ماسه نیز با انجام تست استاندارد (AFS = American Foundry Society) تعیین می‌شود.

ترکیب شیمیایی ماسه: از عوامل تعیین کننده در کیفیت ماسه به شمار می‌رود. ماسه‌ها بر اساس این تست ممکن است در یکی از سه دسته زیر قرار گیرد.

۱. ماسه‌های طبیعی، ماسه‌هایی که با خاک رس قابل ملاحظه‌ای همراه است.

۲. ماسه‌های سیلیسی ناپرونده (خام)، ماسه‌هایی با ۲ تا ۳ درصد خاک رس

۳. ماسه‌های شسته، ماسه‌های بدون خاک

۳- نفوذپذیری

۴- سختی قالب ماسه

سختی قالب را از روی مقدار فرورفتگی گلوله‌ای که توسط یک فنر بارگذاری می‌شود، اندازه می‌گیرند. بدین منظور گلوله‌ای به قطر $1/2$ اینچ به صفحه مدرجی که از ۱۰۰ (برای عدم فرورفتگی) تا ۵ (0.10 اینچ فرو رفتگی) مدرج شده است، وصل می‌شود (هر درجه برابر 0.001) سختی قالب ماسه‌ای که کاملاً کوبیده شده باشد ۹۰ و سختی قالب ماسه‌ای که کمتر کوبیده شده باشد ۵۰ تا ۶۰ را نشان می‌دهد. اگر سختی قالب کمتر از ۵۰ باشد فلز مذاب شدیداً در آن نفوذ می‌کند.

دیگر آزمایشهای ماسه

تعیین دوام

از مقدار خاک لازم برای ایجاد پیوند در ماسه، پس از استفاده‌های متناوب، تا ماسه مقاومت معینی را به دست آورد، عمر یا دوام ماسه تعیین می‌شود.

تعیین انبساط ماسه

تعیین نقطه ذوب

مقدار گاز متصاعده از قالب

تمایل ماسه به ایجاد گاز را می‌توان به روشهای مخصوصی اندازه‌گیری کرد.

تعیین مقدار خاک ماسه (AFS)

خاک AFS در ماسه قالب‌گیری ذراتی را گویند که سرعت ته نشینی آنها که به حالت تعلیق در آب می‌باشند کمتر از ۱ اینچ در دقیقه باشد. قطر این ذرات معمولاً کمتر از ۲۰ میکرون (0.0008 in) است. تعریف فوق شامل کلیه ذرات ریز از جمله خاکه سیلیس، گل و لای^۱ و همچنین کانسارهای خاک است. درصد کل این ذرات را، مقدار خاک AFS ماسه می‌نامند.

روش آزمایش

برای تعیین مقدار خاک AFS ماسه به روش زیر عمل می‌شود.

۱. پنجاه (۵۰) گرم ماسه خشک وزن شود و در ظرف شستشو (استوانه مدرج) مطابق روش زیر، شستشو داده شود.

۲. 470 ml آب مقطر و 20 ml محلول سود سوز آور (۲۵ گرم در لیتر) به آن اضافه شود.

۳. نمونه، به مدت پنج دقیقه تکان داده شود و سپس تا ارتفاع شش اینچ با آب رقیق و ۱۰ دقیقه بحال خود رها تا ته خاک آن ته نشین شود.

^۱ گل و لای (silt) ذرات رسوبی که قطرشان بین 0.0031 تا 0.0625 میلیمتر است.

۴. پنج اینچ از آب استوانه با سیفون دور ریخته شود و مجدداً تا ارتفاع ۶ اینچ رقیق شود و سپس به حال خود رها تا به مدت ۱۰ دقیقه ته نشین شود.
۵. مجدداً آب استوانه با سیفون دور ریخته شود و تا ارتفاع ۶ اینچ رقیق شود و بمدت پنج دقیقه به حال خود رها شود.
۶. مرحله ۵، به دفعات کافی تکرار شود بطوریکه پس از گذشت ۵ دقیقه آب زلال باشد.
۷. دانه‌های باقیمانده ماسه، از ظرف خارج و خشک شود و پس از خشک شدن وزن شود، دو برابر افت وزنی نمونه‌ی ۵۰ گرمی اولیه، درصد خاک AFS ماسه می‌باشد. کلیه ماسه‌هایی که مقدار خاک AFS آنها از یک درصد بیشتر باشد، در صورتیکه به آزمایش دانه‌بندی نیاز داشته باشند، باید خاک آنها جدا شود.

کیفیت قطعات ریختگی

کیفیت قطعات ریختگی در پنج مشخصه زیر خلاصه می‌شود.

۱. اندازه (size)
۲. سطح قطعه (surface)
۳. ساختار (structure)
۴. سلامتی (soundness)
۵. استحکام مکانیکی (strength)

کارائی واحد ریخته‌گری معمولاً بر اساس تن بر نفر-سال سنجیده می‌شود.

انواع ریخته‌گری از دیدگاه علمی و مهندسی

انواع ریخته‌گری از دیدگاه علمی و مهندسی عبارتند از:

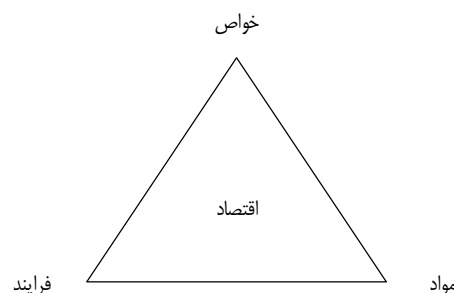
۱. ریخته‌گری تجربی: واحدی است که تولید بر اساس مهارت‌های فردی صورت می‌گیرد و مشخصات علوم و فناوری نوین بر آنها حاکم نیست، رابطه منطقی مواد، فرایند و خواص چندان مورد نظر نیست.
۲. ریخته‌گری فنی: در اینگونه واحدها، نتایج علمی و مهندسی محصول معیاری تجربی است. استفاده از روشهای نو، ماشین آلات مدرن و نیمه مدرن در خط تولید از مشخصات این واحدهاست.
۳. ریخته‌گری مهندسی: واحدی است که علوم مهندسی و فناوری در سه زمینه مواد-فرایند و خواص به کار گرفته می‌شود.

طرح و تکنولوژی در ریخته‌گری

در ریخته‌گری به کلیه اعمالی محاسباتی، طراحی، اجرائی و آزمایشگاهی اطلاق می‌شود که به شناسائی ترکیب شیمیائی، ساختار و خواص منجر می‌شود. همچنین به طراحی و محاسبات مدل و قالب، سیستم راهگاهی، تغذیه‌گذاری و تدوین فناوری تولید منجر می‌شود.

ارتباط خواص، مواد و فرایند

ارتباط خواص، مواد و فرایند در نمودار زیر نشان داده شده است.



کنترل فنی

کنترل فنی در ریخته‌گری در دو زمینه زیر انجام می‌شود.

۱. کنترل کیفی تولید (کنترل مرغوبیت) برای تثبیت خواص و اندازه قطعات
۲. کنترل کمی تولید (بازرسی) برای تفکیک و شمارش از نظر سالم بودن (بر روی برگشتی، تعمیرات صورت می‌گیرد).

نیازمندی‌ها و وسائل و تجهیزات ریخته‌گری

سایر وسائل و تجهیزات ریخته‌گری عبارتند از

۱. کوره‌های ذوب و نگهدارنده‌های مذاب: انواع کوره‌های ذوب در ریخته‌گری عبارتند از:

- a. کوره‌های بوته‌ای (ابتدائی‌ترین نوع کوره)
- b. کوره‌های دوار (این کوره‌ها ۱۰۰٪ داخلی طراحی و ساخته می‌شوند).
- c. کوره کوپل

i. کک سوز

ii. گاز سوز

d. کوره شعله‌ای ثابت، برای ذوب آلومینیم

e. کوره‌های الکتریکی

i. القائی

ii. قوسی

iii. مقاومتی

۲. سیستم‌های خط قالبگیری

۳. ماشین‌های ریخته‌گری

۴. مخلوط‌کن‌ها

۵. ویبره‌ها

۶. دیگر تجهیزات جنبی

نوع قطعات ریختگی در کشور بر حسب ترکیب شیمیائی

نوع قطعات ریختگی در کشور بر حسب ترکیب شیمیائی و درصد تقریبی هر کدام عبارتند از

۱. روی ۱/۵ %
۲. آلومینیم ۶/۲ %
۳. مس ۶/۵ %
۴. فولاد ۲/۳ %

۱- فولاد پرآلیاژ ۵۰ %

۲- فولاد کربنی ۳۵ %

۳- فولاد کم آلیاژ ۱۵ %

۵. چدن (بزرگترین و با اهمیت‌ترین بخش) ۸۳/۵ %

۱- چدن خاکستری ۸۲/۵ %

۲- چدن آلیاژی ۲/۴ %

۳- چدن مالیل ۲/۲ %

۱۲/۹ %

۴- چدن نشکن

نیازمندیهای صنایع ریخته‌گری

نیازمندیهای صنایع ریخته‌گری عبارتند از:

۱. مواد اولیه: مواد اولیه صنایع ریخته‌گری عبارتند از

a. فلز و آمیزان

i. شمش فلز (چدن، آلومینیم، مس، روی و سایر)

ii. قراضه (چدن، آلومینیم، مس، روی، فولاد و سایر)

iii. آمیزانها (فروآلیاژها) شامل: فروسیلیسیم، فرومنگنز، فروتنگستن، ...

b. آجر، خاک نسوز، بوته و الکتروود: شامل آجر و مواد ویژه (خاک نسوز، ملات و...)، محل مصرف جدار

کوره‌های ذوب، نگهدارنده‌ها و پاتیلها، در انواع زیر

i. شاموتی

ii. آلومینائی

iii. قلیائی

c. چسب

i. چسب‌های نوع اول: بنتونیت، کائولین، دکسترن، ملاس، روغن و غیره

ii. چسب‌های نوع دوم: چسب‌های فنلی (پوسته‌ای)، اوره-فنلی (گرم)، فوران (سرد) و سیلیکات

سدیم

d. فلاکس، گاززدا، جوانه‌زا، مواد افزودنی، چسب‌ها و پوشانها

e. ماسه استاندارد مصرف ماسه قالبگیری بر حسب وزن ماسه تازه مورد نیاز بر وزن قطعه تولید شده

عبارتست از

i. چدن ۰/۶۵

ii. فولاد ۱/۰

iii. آلومینیم ۰/۲۵

iv. مس ۰/۵

۲. ماشین آلات و تجهیزات

a. کوره و گرمخانه

b. ماشین آلات قالبگیری

c. ماشین‌های ریخته‌گری

d. وسائل اندازه‌گیری

۳. نیروی انسانی

۴. سوخت و انرژی

a. کک و گرافیت

b. سوخت مایع

c. گاز

d. الکتریسیته

مدل، قالب و ماده ریخته‌گری

مدل شیئی سه بعدی است که به عنوان الگو استفاده می‌شود بطوریکه چیزی در دست داشته باشیم تا با استفاده از آن قالب را بسازیم (قالب را می‌توان از یک ایده یا یک نقشه تهیه کرد، ابتدا باید ایده یا نقشه، با پیکرتراشی، کنده‌کاری و امثال آن، به یک شیئی سه بعدی تبدیل شود). قالب چیزی است که به ماده ریخته‌گری شکل خاصی می‌دهد. ماده ریخته‌گری، ماده‌ای است که شکلی را که قالب به آن می‌دهد به خود می‌گیرد. شما می‌توانید در چند ثانیه، یک قالب بسیار دقیق بسازید. برای اینکار، سکه‌ای (مدل) را در آب فرو برده، یک طرف آن را در تکه‌ای گل پلاستیکی (ماده‌ای گل مانند از سیلیکون و الکل متیلک) فرو برید و سپس آن را بردارید. شما اکنون درست یک قالب ساخته‌اید! مشاهده می‌کنید که کلیه خصیصه‌های سکه، بر روی گل پلاستیکی (قالب) به صورت معکوس حک شده است. اکنون اگر مقداری گچ (نوعی از ماده ریخته‌گری) داشته باشید، می‌توانید آن را بداخل قالب بریزید، اجازه دهید تا بگیرد، و سپس وجه ایجاد شده سکه (قطعه ریخته‌گری) را از قالب خارج سازید. کلیه این گامها را انجام می‌دهید، بطوریکه به یک کپی از مدل اولیه برسید. لازم به ذکر است که گل پلاستیکی ممکن است هنگام برداشتن سکه کج شود. برای جلوگیری از این مشکل، از مواد مناسبی برای ساخت قالبهای دائمی استفاده می‌شود.

اگر از مواد لاستیکی جدید استفاده شود، قالب‌سازی معمولاً آسان است. آسان‌ترین نوع قالب برای ساخت، شیئی شبیه لوح و پلاک است. پلاک را در جعبه‌ای قرار دهید، ماده لاستیکی قالب‌سازی را بر روی آن بریزید، صبر کنید تا لاستیک سفت شود، اکنون کار تمام است. با استفاده از مواد لاستیکی شفاف، می‌توان از اشیای بسیار پیچیده به روش فوق قالب ساخت. برای این کار، شیئی را در جعبه‌ای قرار دهید، و لاستیک شفاف را به طور کامل دور آن بریزید. با سفت شدن لاستیک، می‌توانید لاستیک را به دو یا چند قسمت مناسب بریده و الگو (مدل) را خارج سازید. اگر از روشهای قدیمی برای ساخت قالب استفاده کنید، می‌تواند مشکل و زمان‌بر باشد. اگر از اشیای سفت، قالبهای گچی می‌سازید، ممکن است نیاز باشد تا قالب به چندین قطعه مختلف ساخته شود، بطوریکه بتوان قطعه را به سهولت از قالب جدا ساخت.

عامل رها ساز

عامل رها ساز ماده‌ای است که از چسبیدن یک ماده به ماده‌ی دیگر پیش‌گیری می‌کند. وقتی قالب یا قطعه ریخته‌گری تولید می‌شود، ممکن است به عوامل رها ساز نیازی نباشد و یا ممکن است به آن بسیار نیاز باشد. عامل رها ساز زمانی کاملاً نیاز است که قالب گچی ساخته می‌شود. برای پیش‌گیری از چسبیدن گچ تازه به گچی که قبلاً خود را گرفته است، به عامل رها ساز نیاز است.

آزمایشگاه ریخته‌گری

آزمایشگاه مهمترین بخش در هر واحد ریخته‌گری محسوب می‌شود که وظایف زیر را بعهده دارد.

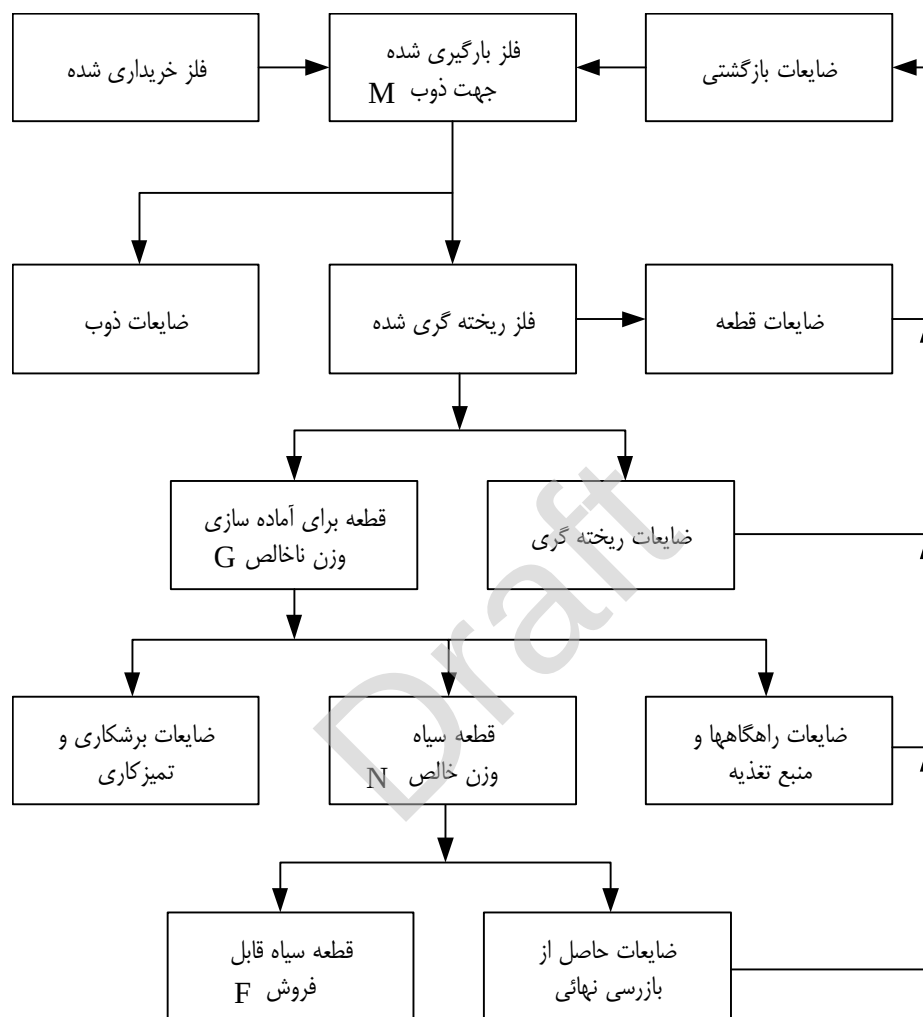
۱. هدایت فنی و کنترل خط تولید
۲. هدایت تولید در جهت کاهش ضایعات
۳. تحقیق در جهت تولیدات جدید و بی‌عیب
۴. تحقیق در مورد مواد مختلف و چگونگی جایگزین کردن آنها
۵. انجام تست‌های زیر
 - ۱-۵ تعیین مشخصات ماسه
 - ۲-۵ متالوگرافی
 - ۳-۵ آنالیزهای شیمیائی
 - ۴-۵ آزمایشات غیرمخرب
 - ۵-۵ الکتروآنالیز

۵-۶. آزمایشات مکانیکی

۵-۷. غیره

هزینه و مفهوم بهره‌دهی (cost and concept of yield)

عبارت مهمی است که در هزینه ریخته‌گری از مصرف فلز علاوه بر وزن قطعه فروخته شده ناشی می‌شود. منبع این هزینه‌ها را از مطالعه مصرف فلز در یک سیکل تولید واقعی (نمودار) می‌توان دریافت.



اکنون به توضیح در مورد عبارات فوق می‌پردازیم.

بهره (yield) را ممکن است برای نشان دادن مقدار قطعات ریخته‌گری تمام شده نهائی بر حسب درصد وزن کل فلز بارگیری شده در بخش ذوب استفاده کرد، که بهره‌دهی کل (overall yield) نامیده می‌شود. عبارت دیگر، وزن قطعات فرستاده شده برای اتمام کاری است که بر حسب وزن ناخالص (منجمله راهگاهها و منبع تغذیه را شامل می‌شود). این ضریب، بهره‌دهی ریخته‌گری (راندمان ریخته‌گری) بیانگر موفقیت نسبی روشهای ریخته‌گری مختلف است. در نتیجه

$$\text{راندمان کلی} = (F / M) \times 100$$

$$\text{راندمان ریخته‌گری} = (N / G) \times 100$$

انجماد فلزات و آلیاژهای تک فاز

متغیرهای مختلف انجماد و اثر آن بر ساختار و ترکیب جامد در حال رشد عبارتند از:

۱- سرعت رشد

۲- شیب دما در مذاب

الف) سرعت رشد، R

عبارت از سرعت پیشرفت فصل مشترک بین مذاب و جامد است. سرعت رشد گاهی میانگین سرعت چندین نقطه در فصل مشترک مذاب با جامد در نظر گرفته می‌شود. و گاهی مرتبط به سرعت نقطه مشخصی است و معمولاً بر حسب cm/sec و یا cm/hr بیان می‌شود. برخی سرعت‌های رشد به طور نمونه در جدول زیر داده شده است.

۱- سرعت رشد تک بلورهای فلزی cm/sec 10^{-3}

۲- سرعت رشد جهت‌دار (directional) cm/sec 10^{-2}

۳- سرعت رشد انجماد شمش‌ها cm/sec 10^{-2}

۴- سرعت رشد آغازین دندریتی ($\Delta T \sim 0.02 T_m$) cm/sec ۵

۵- سرعت رشد آغازین دندریتی ($\Delta T \sim 0.2 T_m$) cm/sec ۵۰۰۰

ب) شیب دما، G

عبارتست از شیب دما در مذاب از فصل مشترک به سمت و جهت رشد، اگر از فصل مشترک به داخل مذاب، دما افزایش یابد شیب دما مثبت در نظر گرفته می‌شود و بر عکس

ج) ضریب نفوذ، D

ضریب نفوذ تعیین کننده سرعتی است که در آن اتمها می‌توانند در مذاب حرکت کنند. برای کلیه مذابهایی فلزی D در حدود $10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sec}$ است. سرعت نفوذ در جامد از این مقدار بسیار پایین‌تر است برای مثال، در فلزات جامد دقیقاً پائین‌تر از دمای ذوب آنها، این مقدار در حدود $10^{-8} \text{ cm}^2/\text{sec}$ است. بنابراین، در مقایسه با توزیع مجدد ماده حل شده در مذاب، از توزیع مجدد ماده حل شده در جامد صرف‌نظر می‌شود.

د) ضریب توزیع تعادلی، k_0

این مقدار با استفاده از نمودار تعادلی فاز تعریف می‌شود. با فرض اینکه خط جامد (liquidus) و خط مایع (liquidus) خطی مستقیم باشند، شکل فوق دو شکل متفاوت از آرایش خط جامد و مذاب را در انتهای ماده خالص نمودار فاز نشان می‌دهد. ضریب توزیع تعادلی عبارتست از:

$$k_0 = \frac{C_s}{C_0}$$

اگر اثر ماده حل شده بر ماده حلال، کاهش دمای خط مذاب باشد، آنگاه $k_0 < 1$ و بر عکس

گاهی مناسب آن است که توزیع موثر k_E را به صورت زیر تعریف کنیم.

$$k_E = \frac{\text{ترکیب لحظه‌ای جامد}}{\text{ترکیب مذاب در آن لحظه}} \times \frac{\text{تشکیل شده}}{\text{میانگین}}$$

ه) شیب خط مذاب، (Liquidus)

این شیب با علامت m نشان داده می‌شود.

فلزات خالص، اشکال مختلف فصل مشترک

رشد فلزات خالص در ناحیه‌ای با شیب دمایی مثبت توسط انتقال حرارت از فصل مشترک به داخل جامد کنترل می‌شود.

کنترل ترکیب شیمیائی

کنترل ترکیب شیمیائی مذاب برای تولید قطعات کیفی، بسیار حیاتی است، زیرا عمده مواد مصرفی از نوع قراضه است که هم ترکیب شیمیائی آن از نظر درصد عناصر مطلوب و هم از نظر عناصر مضر مشخص نیست، لذا علاوه بر دقت لازم در ذوب، تنظیم ترکیب شیمیائی ضروری است. کنترل ترکیب می‌تواند به دو بخش تقسیم شود.

۱. کنترل ترکیب آلیاژ (Alloy composition)، مبنای علمی این بخش در مورد کلیه مواد یکسان است لذا به

صورت عمومی مورد بحث قرار می‌گیرد.

۲. تصفیه مذاب (Melt purification)، برای هر مورد خاص بایستی مورد بحث واقع شود.

سینتیک افزودنیهای آلیاژی

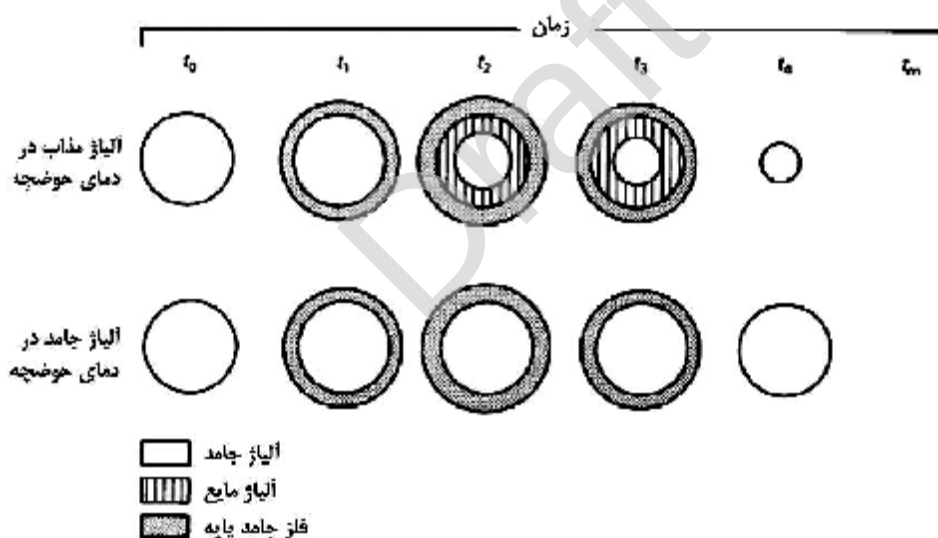
در این رابطه بسته به اینکه آلیاژ در دمای حوضچه فلز مذاب، مذاب یا جامد باشد، دو مکانیسم اساسی بر سینتیک افزودنیهای آلیاژی حاکم است (شکل زیر) که عبارتند از.

۱. حل شدن آلیاژ با دمای ذوب پائین‌تر از دمای ذوب مذاب

۲. حل شدن آلیاژ که در دمای حوضچه مذاب جامد است.

مکانیسم اول: حل شدن آلیاژی با دمای ذوب پائین‌تر از دمای حوضچه مذاب: اگر افزودنی آلیاژ در دمای

حوضچه مذاب، مذاب باشد. مطابق شکل زیر، افزودن آلیاژ جامد به مذاب در زمان t_0 باعث می‌شود تا سریعا لایه‌ای از فلز مذاب بر سطح آن منجمد شود که دلیل آن جذب گرما توسط آلیاژ مذاب مجاور جامد است.



شکل: دو مسیر سینتیکی برای ذوب و یا انحلال افزودنی آلیاژی به حوضچه مذاب

با گذشت زمان (t_2) ضخامت لایه بیشتر می‌شود در حالیکه در سطح آلیاژ، ذوب صورت می‌گیرد. با گرم شدن داخل آلیاژ، نیاز به گرما کم می‌شود، نتیجتاً لایه منجمد شده شروع به ذوب می‌کند و ضخامت آن به تدریج کاهش می‌یابد (t_3). در مرحله نهائی که از زمان t_4 شروع می‌شود، حل شدن فلز پایه خاتمه می‌یابد و در نتیجه مذاب داخل حلقه در داخل مذاب اصلی پراکنده می‌شود. اکنون هر چقدر آلیاژ جامد باقی مانده باشد، به طور مستقیم در معرض فلز مذاب حوضچه قرار گیرد تا به تدریج ذوب شود. در زمان t_m انحلال کامل می‌شود. به طور کلی مراحل فوق خود به دو قسمت تقسیم می‌شود، که عبارتند از:

۱. مرحله کمون یا تکوین (Incubation period) که مدت زمان آن $(t_0 - t_4)$ است.

۲. مرحله انحلال آلیاژ (Alloy dissolution) که مدت زمان آن $(t_4 - t_m)$ است.

عوامل موثر بر انحلال سریع آلیاژ عبارتند از:

۱. دمای فوق گرما (superheat temperature)
 ۲. اندازه ذرات و قطعات آلیاژ افزودنی (مقدار سطح انتقال حرارت)
 ۳. ضریب هدایت حرارتی آلیاژ
- شار حرارت به ذرات آلیاژ از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$Q = h(T_L^B - T_L^*)$$

که در این رابطه

Q شار حرارت ($J/m^2 \cdot sec$)

h ضریب انتقال حرارت همرفت ($J/m^2 \cdot sec \cdot ^\circ K$)

T_L^B دمای کل مذاب ($^\circ K$)

T_L^* دمای ذوب آلیاژ در فصل مشترک جامد/مایع ($^\circ K$)

که در رابطه فوق $(T_L^B - T_L^*)$ نیز مقدار فوق گرما برحسب ($^\circ K$) است. مدت زمان ذوب t_m را می‌توان با فرض اینکه t_m برابر با کل حرارت لازم برای ذوب تقسیم بر سرعت تامین حرارت از حوضچه مذاب به قطعه است، تخمین زد. این رابطه عبارتست از

$$t_m = \frac{\Delta H r_0 V_0}{Q A_0}$$

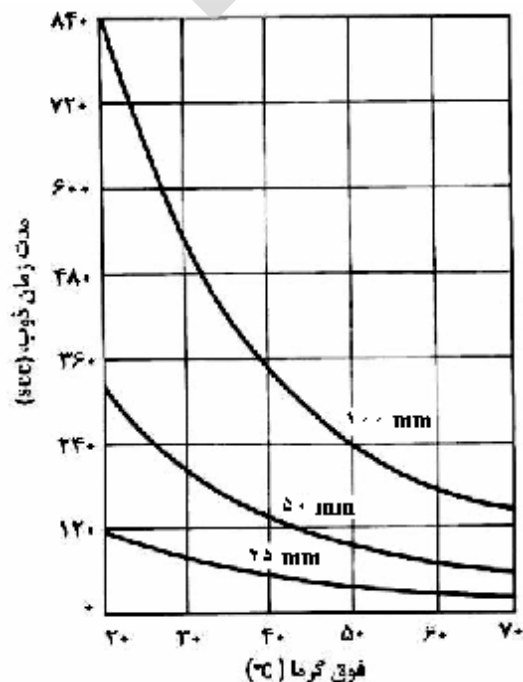
که در این رابطه

ΔH گرمای منقل شده از مذاب به یک (۱) گرم آلیاژ در زمانی که آن را حل می‌کند.

r_0 ، V_0 و A_0 به ترتیب چگالی، حجم و مساحت سطح ذرات آلیاژ است.

Q طبق رابطه فوق، شار حرارت

در شکل زیر تاثیر فوق گرما و اندازه قطعات داده شده است.



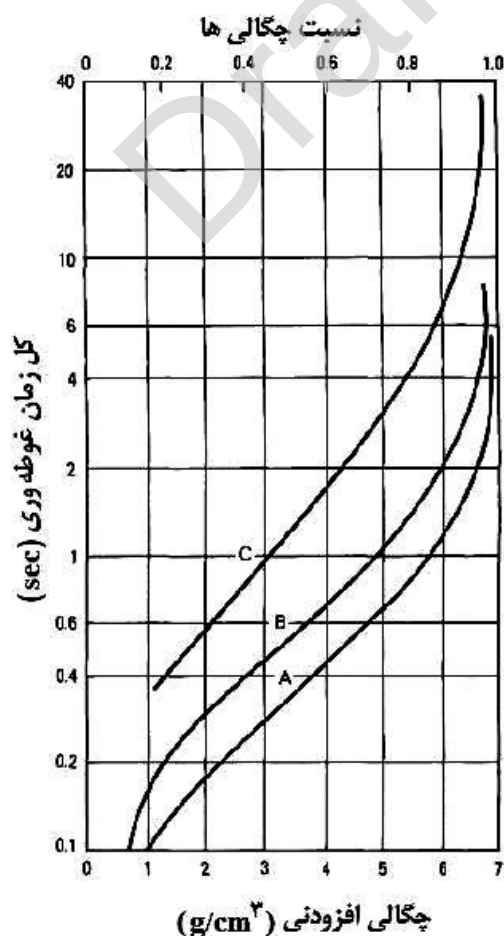
شکل: زمان پیش‌بینی شده ذوب/انحلال برای قطعات کرووی سیلیکومنگنز در مذاب فولاد برحسب دمای فوق گرمای فولاد

در جدول زیر اطلاعات به دست آمده در مورد زمان انحلال آلومینیم خالص (اندازه ۱۰ mm) در مذاب‌های فولاد، چدن، مس و آلومینیم داده شده است.

جدول:

t_m (sec)	$(T_L^B - T_L^*)(^{\circ}K)$	$T_L^*(^{\circ}K)$	$h(J / g.^{\circ}K)$	$\frac{V_0}{A_0}$ (cm)	$\rho_0(g/cm^3)$	ΔH (J/g)	فلز اصلی
۱,۹	۸۹۰	۱۸۲۳	۰,۱۵	۰,۱۶۷	۲,۷	۵۷۶	فولاد
۲,۲	۷۹۰	۱۷۲۳	۰,۱۵	۰,۱۶۷	۲,۷	۵۷۶	چدن
۶,۰	۲۹۰	۱۳۲۳	۰,۱۵	۰,۱۶۷	۲,۷	۵۷۶	مس
۱۹,۲	۹۰	۱۰۲۳	۰,۱۵	۰,۱۶۷	۲,۷	۵۷۶	آلومینیم

در همه موارد فوق، T_L^* یکسان و برابر با $(۹۳۳^{\circ}K)$ ولی T_L^B متغیر است. همانگونه که جدول فوق نشان می‌دهد، مدت زمان ذوب آلیاژ با کاهش دمای ذوب فلز پایه، مشکل جدی ایجاد می‌کند. زمان بسیار کوتاه که برای مذاب‌های فولاد و چدن محاسبه شده است موضوع مهم دیگری، یعنی زمان غوطه‌وری بر اثر شناوری آلیاژ را نشان می‌دهد. از آنجائیکه آهن از افزودنی‌های آلیاژی معمول مانند کربن، سیلیسیم و آلومینیم چگال‌تر است نیروهای شناوری از غوطه‌ور شدن این افزودنی‌ها پیش‌گیری می‌کند. در شکل زیر زمانهای غوطه‌وری برحسب نسبت چگالی $\frac{r_{Alloy}}{r_{Base metal}}$ رسم شده است.



شکل: کل زمانهای غوطه‌وری برحسب نسبت چگالیها برای آلیاژهایی که با $۷/۶۷ \text{ m/s}$ وارد مذاب ساکن می‌شوند.

ارتفاع سقوط ۳ متر برای هر سه اندازه

همانگونه که منحنی نشان می‌دهد برای قطعات آلومینیم با اندازه ۱۰ mm که نسبت چگالیها برابر ۰/۳۹ است و از ارتفاع ۳ متری به سطح مذاب آهن سقوط می‌کند، زمان غوطه‌وری از ۱ sec کمتر است. در حالیکه زمان ذوب از جدول فوق برابر با ۱/۹ sec است.

مکانیسم دوم: حل شدن آلیاژی که در دمای حوضچه مذاب جامد است.

فرایندهای این مکانیسم در شکل فوق قسمت ۲ نشان داده شده است. در اینمورد نیز انتقال حرارت مدت زمان کمون یا دوره نهفتگی ($t_0 - t_r$) را کنترل می‌کند. اما در دوره انحلال آلیاژ، انتقال جرم عامل کنترل کننده است. به طور کلی، آلیاژسازی یا انحلالی که با انتقال جرم کنترل می‌شود از انحلالی که با انتقال حرارت کنترل می‌شود آهسته‌تر است و تعداد عوامل کنترل کننده نیز بیشتر است. عوامل موثر در این مورد عبارتند از

۱. دمای مذاب

۲. دینامیک سیالات

۳. ترکیب شیمیایی مذاب

۴. متغیرهای نفوذ

شار عناصر آلاژی از جامد به مذاب از رابطه زیر داده می‌شود.

$$J = k_m (C_L^* - C_L^B)$$

که در این رابطه

J شار جرم عناصر آلیاژی ($\text{gr/cm}^2 \cdot \text{sec}$)

k_m ضریب انتقال جرم (cm/sec)

C_L^* غلظت عناصر آلیاژی در داخل مذاب (gr/cm^3)

C_L^B غلظت عناصر آلیاژی در مذاب و در فصل مشترک مذاب/جامد (gr/cm^3)

اکنون به مثال زیر توجه کنید.

الف) حل شدن کربن در چدن: کربن مهمترین عنصر آلیاژی چدن است. لذا افزودن کربن به مذاب آهن-کربن در ریخته‌گری روش معمولی به شمار می‌رود تا ترکیب چدن تنظیم شود. سرعت حل شدن کربن در مذاب طبق رابطه‌ی زیر است که توسط نفوذ کربن کنترل می‌شود.

$$J = k_m (C_{sat}^* - C_L^B)$$

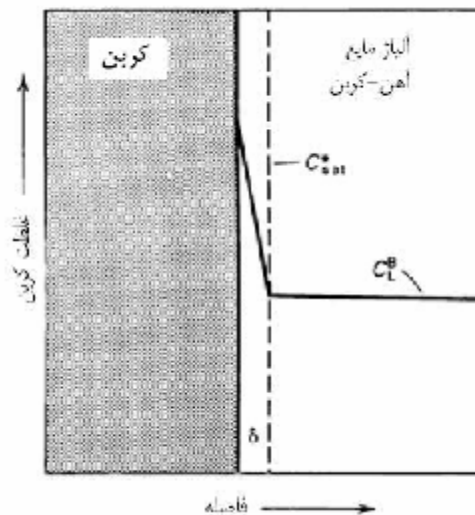
که در این رابطه

C_{sat}^* شرایط اشباع کربن در فصل مشترک کربن/مذاب است. شرایط مذاب بطور کیفی طی شکل زیر نشان داده

شده است. با مراجعه به معادله فوق و شکل زیر، شار کربن و نتیجتاً سرعت انحلال آن با کاهش غلظت کربن در مذاب،

C_L^B ، افزایش غلظت کربن در حالت اشباع، C_{sat}^* ، (افزایش دمای حوضچه مذاب) و کاهش ضخامت لایه مرزی، δ ،

افزایش می‌یابد. ضخامت لایه مرزی تابعی از سرعت مذاب است که به مقدار k_m ، اثر می‌کند.

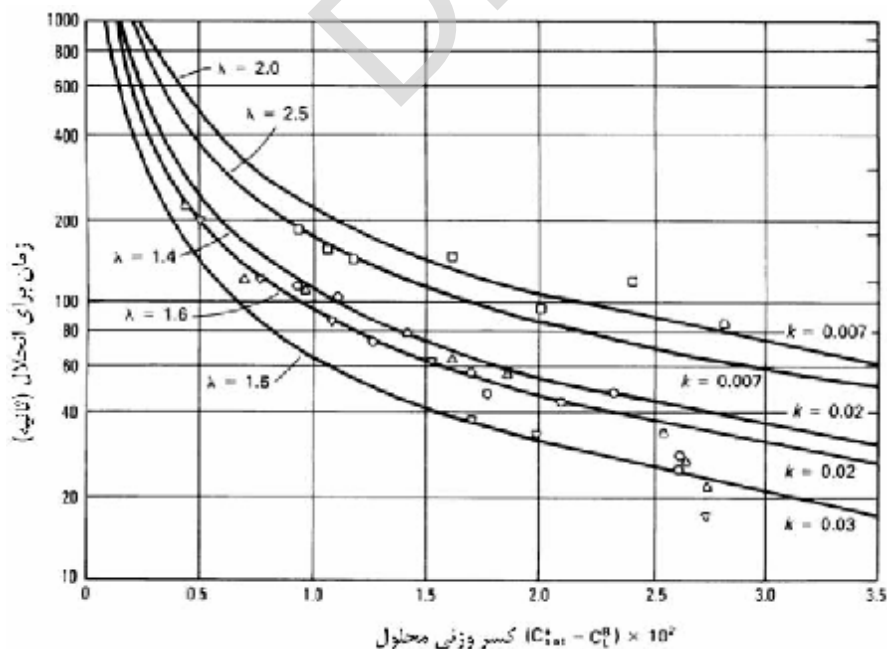


شکل: نیمرخ غلظت کربن برای میله‌ای کربنی در حال انحلال در مذاب آهن-کربن

در شکل فوق δ لایه مرزی است که تابع سرعت جریان مذاب است. اثر تفاوت $(C_{sat}^* - C_L^B)$ بر سرعت انحلال کربن در شکل زیر برای انحلال گرانولهای گرافیت در مذاب چدنی که به روش القائی همزده می‌شود، نشان داده شده است. منحنیهای متفاوت برای ثابتهای سرعت متفاوت و ضریب شکل، λ متفاوت رسم شده است که ضریب شکل نیز مطابق رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$l = \frac{S_{Particle}}{S_{Sphere}}$$

که $S_{Particle}$ نسبت سطح به حجم ذره است و S_{Sphere} نیز نسبت سطح به حجم ذره اگر به شکل کروی بود، می‌باشد.



تصفیه یا خالص سازی آلیاژ

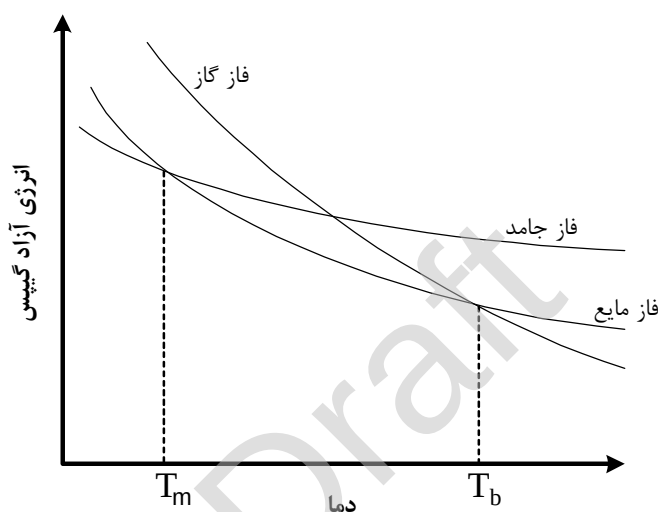
ساختار و خواص فلزات ریختگی، شدیداً تحت تاثیر ناخالصیهای مختلف است. تصفیه باعث افزایش هزینه قطعات ریختگی می‌شود، لذا همیشه سعی می‌شود تا به جای تصفیه مذاب از بهترین روش، یعنی انتخاب دقیق مواد قراضه

بهره‌گیری شود. بنابراین، تصفیه برای عناصری که پیش‌گیری آنها از ورود به مذاب مشکل و غیرقابل اجتناب است، انجام می‌شود. این موارد عمدتاً تصفیه گوگرد و اکسیژن به ترتیب از چدن و فولاد و نیز تصفیه عناصر قلیائی و قلیائی خاکی از آلومینیم است.

مکانیسم و سرعت انجماد فلزات و آلیاژها

انجماد فلزات خالص

دلیل انجماد فلزات مذاب، کاهش انرژی آزاد^۱ است زیرا، اساساً در دمای پائین‌تر از دمای انجماد، نظم اتمها در بلور جامد نسبت به مذاب، دارای انرژی آزاد پایین‌تری است. اگر دمای مذاب، از دمای انجماد بالاتر باشد، حالت مذاب از حالت جامد پایدارتر است و در دمای انجماد نیروی محرکه^۲ به هیچ طرف وجود ندارد لذا سیستم به حالت تعادل خواهد بود (شکل زیر). دلیل اینکه چرا انجماد بعد از کمی فوق تبرید^۳ اتفاق نمی‌افتد، آن است که برای ایجاد سطح جدید جوانه جامد، انرژی لازم است. انجماد همیشه با جوانه‌زنی^۴ دانه‌های ریز بلور شروع شده و با رشد^۵ آنها ادامه می‌یابد.



شکل: منحنی انرژی آزاد گیبس حالت‌های ماده بر حسب دما

اکنون به بررسی عواملی که بر جوانه‌زنی بلور موثر است، می‌پردازیم. جوانه‌زنی بر دو نوع همگن و غیرهمگن است. در جوانه‌زنی همگن فاز جدید بدون کمک محل‌های جوانه‌زنی مخصوص تشکیل می‌شود ولی در جوانه‌زنی غیرهمگن فاز جدید بر روی جوانه‌های خارجی تشکیل می‌شوند.

تغییر دیگری که در حین فرایند انجماد صورت می‌گیرد از دست دادن حرارت فلز مذاب از دمای بارریزی تا دمای انجماد و سپس گرمای نهان انجماد^۶ و نهایتاً حرارت جامد، از دمای انجماد تا دمای اتاق می‌باشد. در حین این سه مرحله سرد شدن، در قطعه انقباض صورت می‌گیرد.

الف- جوانه‌زنی همگن

دمایی که در آن جوانه‌زنی همگن اتفاق می‌افتد همیشه از دمای انجماد تعادلی، پایین‌تر است، زیرا باید بر نیروهای کشش سطحی که مانع رشد هسته است فائق آییم. عامل ایجاد جوانه، اختلاف انرژی فازهای مذاب و جامد است که این مقدار را، تغییر انرژی آزاد حجمی می‌نامند و با ΔG_v نشان می‌دهند که واحد آن کالری بر سانتیمتر مکعب (cal/cm^3) است. در کلیه دماهای پایین‌تر از نقطه‌ی انجماد مقدار ΔG_v منفی است و یا به عبارت دیگر، انرژی آزاد

^۱ Free Energy

^۲ Driving Force

^۳ Super-cool

^۴ Nucleation

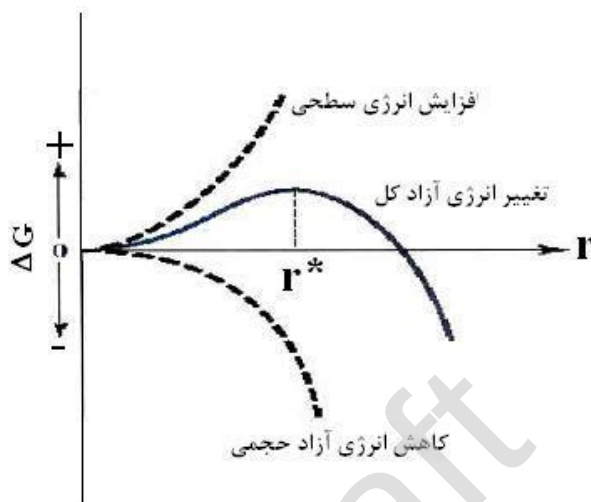
^۵ Growth

^۶ Latent heat of solidification

فاز جامد، از انرژی آزاد فاز مذاب پایین تر است. تغییر انرژی آزاد حجمی برای تشکیل جوانه‌ای کروی به شعاع r برابر با $\frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_v$ است. انرژی لازم برای ایجاد سطح جدید، تابعی از کشش سطحی^۱ (واحد آن ارگ بر سانتیمتر مربع ergs/cm^2) برابر با $4\pi r^2 \gamma$ است. نتیجتاً، تغییر انرژی آزاد کل واکنش انجماد برابر است با:

$$\Delta G_{Total} = -\frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_v + 4\pi r^2 \gamma \quad (۱)$$

همانگونه که در فوق بدان اشاره شد، انرژی آزاد سطح تشکیل شده، مثبت است، نتیجتاً تاثیر انرژی آزاد سطحی نسبت به انرژی آزاد حجمی بر جوانه زنی منفی است. در شکل زیر منحنی ΔG_{Total} برحسب اندازه شعاع جوانه رسم شده است.



شکل: منحنی تغییرات انرژی آزاد بر حسب تابعی از شعاع جوانه

از آنجاییکه ΔG_{Total} شامل توانهای مختلف r می‌باشد در نتیجه r^* به حداکثر خود می‌رسد. اگر شعاع هسته از r^* تجاوز کند، انرژی آزاد کاهش می‌یابد ولی اگر شعاع از r^* کوچکتر باشد جوانه مجدداً در مذاب حل خواهد شد. برای بدست آوردن r^* از معادله ۱ نسبت به شعاع، مشتق می‌گیریم و آن را مساوی صفر قرار می‌دهیم.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Delta G_{Total}}{\partial r} &= -4\pi r^2 \Delta G_v + 8\pi r \gamma = 0 \\ -4\pi r^2 \Delta G_v + 8\pi r \gamma &= 0 \end{aligned}$$

یا

$$r^* = \frac{2\gamma}{\Delta G_v} \quad (۲)$$

انرژی آزاد بحرانی را نیز از قرار دادن r^* در معادله ۱ بدست می‌آوریم.

$$\Delta G^* = -\frac{4}{3}\pi \left(\frac{2\gamma}{\Delta G_v}\right)^3 \Delta G_v + 4\pi \left(\frac{2\gamma}{\Delta G_v}\right)^2 \gamma$$

که پس از ساده کردن این رابطه خواهیم داشت.

$$\Delta G^* = -\frac{4}{3}\pi \left(\frac{2\gamma}{\Delta G_v}\right)^3 \Delta G_v + 4\pi \left(\frac{2\gamma}{\Delta G_v}\right)^2 \gamma$$

یا

^۱ Surface tension

$$\Delta G^* = \frac{1}{3} p \left(\frac{g}{\Delta G_v} \right)^2 \quad (3)$$

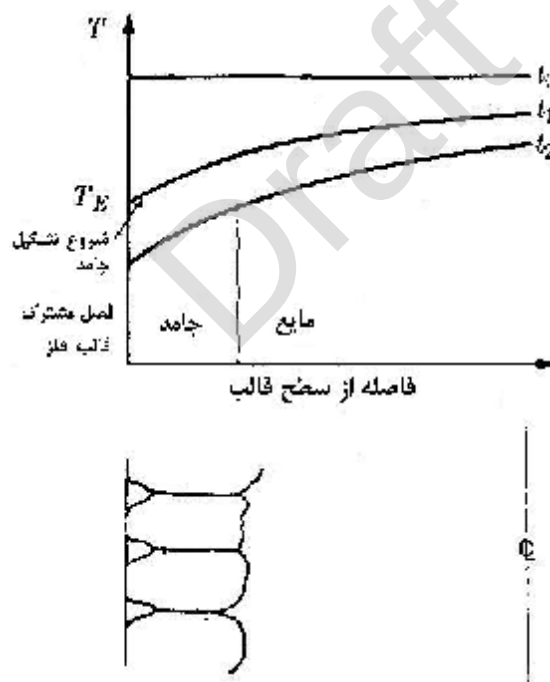
رابطه ۲ نشان می‌دهد برای اینکه شعاع بحرانی^۱ کاهش یابد بایستی ΔG_v (در جهت منفی) افزایش یابد. به عبارت دیگر برای جوانه‌زنی بایستی فوق تبرید شدیدی ایجاد شود.

ب- جوانه‌زنی غیرهمگن

اغلب ریختگی‌ها به روش غیرهمگن منجمد می‌شوند. در این روش ذرات خارجی به عنوان هسته جوانه‌زنی عمل می‌کنند که در نتیجه انجماد نیازی به فوق تبرید ندارد. شرط این عمل آن است که فاز جدید، سطح ذره خارجی را تر^۲ کند. جداره قالب نیز می‌تواند به عنوان جوانه عمل کند.

انجماد فلز خالص

اگر فلزی با نقطه انجماد T_E به سرعت به داخل قالب تخلیه تا منجمد شود در لحظه اولیه (t_0) هیچگونه شیب حرارتی در آن وجود نخواهد داشت، سپس به علت انتقال حرارت در سطح مشترک و عمل تبریدی دیواره قالب، در آن شیب حرارتی ایجاد می‌شود و نتیجتاً دمای سطح مشترک تقریباً به پایین‌تر از T_E کاهش می‌یابد و در زمان t_1 تشکیل بلورها در سطح مشترک به روش جوانه‌زنی غیرهمگن شروع و منتج به ایجاد پوسته نازکی در اطراف مذاب می‌شود. باید یادآوری شود که رشد دانه‌ها ترجیحاً در جهت خاصی صورت می‌گیرد (در جهت عکس انتقال حرارت یا در جهت عکس شیب حرارتی) و دانه‌های ستونی را ایجاد می‌کند (شکل زیر).



شکل: منحنی‌های سرد شدن فلز خالص در داخل قالب

در لحظه شروع انجماد افت عمومی دما قطع می‌شود زیرا فلز جامد اولیه، گرمای نهان انجماد خود را آزاد می‌کند. ساختار نهایی شامل لایه‌های نازکی از دانه‌هایی که به طور اتفاقی^۳ در سطح قالب تشکیل شده و دانه‌های ستونی که به سمت مرکز کشیده می‌شوند، می‌باشد.

جوانه‌زنی و رشد آلیاژها

انجماد آلیاژها نسبت به انجماد فلز خالص، سه اختلاف اساسی دارد که عبارتند از:

^۱ Critical Radius

^۲ Wet

^۳ Randomly

- ۱- انجماد آلیاژها معمولاً در یک محدوده زمانی صورت می‌گیرد.
- ۲- ترکیب شیمیائی جامدی که در ابتدا تشکیل می‌شود با ترکیب شیمیائی مذاب تفاوت دارد.
- ۳- ممکن است از مذاب، بیش از یک فاز جامد تشکیل شود.

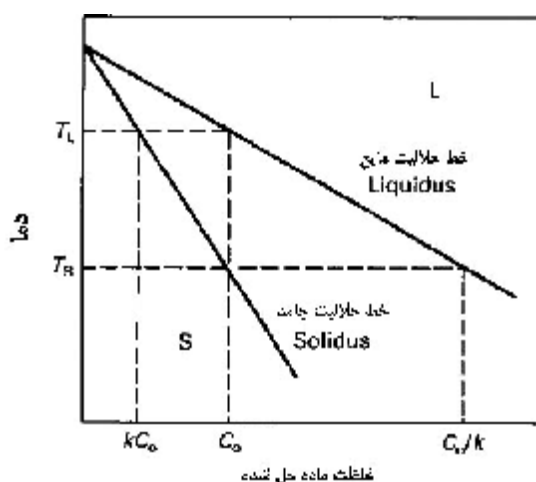
انجماد آلیاژها، به دسته‌های زیر تقسیم می‌شوند.

- ۱- انجماد با رسوب یک جزء اصولاً خالص در یک محدوده‌ی دما (آلیاژ B در شکل زیر) شروع و ختم می‌شود.
- ۲- انجماد با رسوب محلول‌ها (آلیاژ C در شکل زیر) شروع و ختم می‌شود.
- ۳- انجماد در دمای ثابت با رسوب همزمان دو فاز (سیستمهای دوتائی) یا سه فاز (سیستمهای سه‌تائی) انجام می‌شود. این آلیاژها به عنوان آلیاژهای یوتکتیک شناخته می‌شوند (آلیاژ A در شکل زیر).
- ۴- انجماد اصولاً با رسوب یک جزء خالص شروع و با آلیاژ نوع یوتکتیک ختم می‌شود (آلیاژ D در شکل زیر).
- ۵- انجماد به صورت محلولهای جامد شروع و با آلیاژ نوع یوتکتیک ختم می‌شود (آلیاژ E در شکل زیر).

الف- آلیاژهای محلول جامد

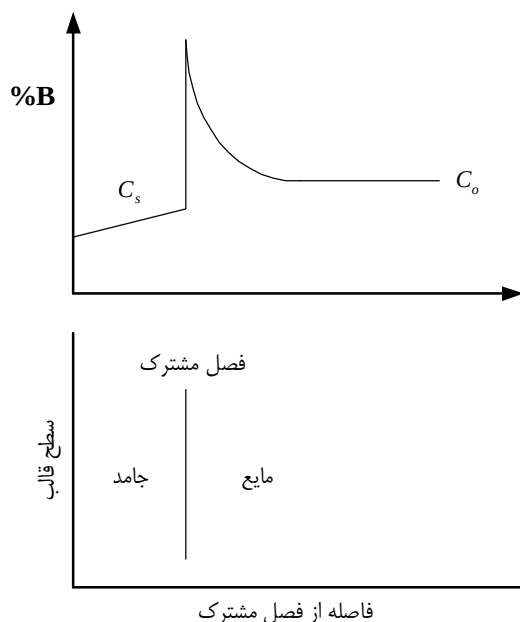
اگر برای تشکیل آلیاژ، فلز B را در فلز مذاب A حل کنیم، تشکیل کریستال را می‌توانیم، در این سیستم با نمودار تعادلی فازها توضیح دهیم. (شکل ۳) نقطه انجماد فلز A، با افزودن B غالباً کاهش می‌یابد که با خط مذاب نشان داده می‌شود. به علاوه آلیاژ با ترکیب C_0 در دمای معینی منجمد نشده بلکه در یک محدوده دمایی منجمد می‌شود. (دمایی را که در آن انجماد شروع می‌شود، خط مذاب Liquidus و دمایی را که در آن انجماد کامل می‌شود خط جامد Solidus می‌نامند). در سیستم آهن-کربن، محدوده دمایی انجماد برای مقادیر کم کربن بسیار محدود و در ۲٪ کربن به حداکثر رسیده و مجدداً کاهش می‌یابد.

واقعیت مهم دیگر آن است که با انجماد آلیاژ، ترکیب شیمیائی جامد تشکیل شده با ترکیب شیمیائی فلز مذاب مادر متفاوت و از نظر عنصر A غنی‌تر است و اتمهای B در ساختار کریستالی A به صورت محلول می‌باشد این اثرات باعث تفاوت الگوی انجماد آلیاژ و فلز خالص می‌شود. اگر با مذاب همگنی با ترکیب شیمیائی C_0 شروع کنیم خواهیم دید کریستالهای تشکیل شده دارای ترکیب شیمیائی C_s است. اگر انجماد به اندازه کافی سریع باشد به طوری که هیچگونه نفوذ اتمی صورت نگیرد، مذابی که در سطح مشترک است، نسبت به مذاب دورتر از سطح مشترک، از نظر اتم B غنی‌تر خواهد بود. تغییرات درصد عنصر B با فاصله در بین دمای خط حلالیت مذاب و خط حلالیت جامد، در شکل ۴ نشان داده شده است.



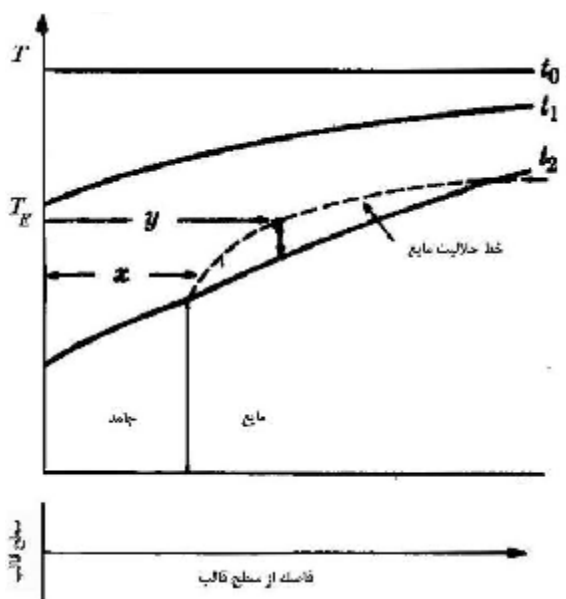
شکل: نمودار تعادلی فازهای آلیاژ A-B

فرض کنید که قالب به سرعت پر شود به طوری که در زمان $t = 0$ هیچگونه شیب حرارتی نداشته باشیم. دمای خط مذاب، برای ترکیب C_0 برابر T_E یا T_C باشد. در لحظه t_1 مقداری شیب حرارتی ایجاد می‌شود و قبل از تشکیل بلور جامد مقداری دمای فوق تبرید خواهیم داشت.



شکل: تغییرات درصد عنصر B با فاصله از سطح مشترک جامد-مایع، بین دمای خط حلالیت مذاب و خط حلالیت جامد

اکنون وضعیت را در زمان t_2 که مقداری از مذاب، جامد شده است، بررسی می‌کنیم. شیب حرارتی ایجاد شده، شبیه شیب حرارتی فلز خالص است. تفاوت بین این حالت و فلز خالص در آن است که در این مورد، دمای خط مذاب، برای مذاب باقیمانده با فاصله از سطح مشترک تغییر می‌کند، که در شکل ۵ با خطچین نشان داده شده است. در نزدیکی سطح مشترک به علت تجمع B در مذاب، دمای تعادلی انجماد به مقدار قابل ملاحظه‌ای از T_E پایین‌تر است و در فواصل کاملاً دورتر از سطح مشترک دمای انجماد تعادلی هنوز T_E است. (هیچگونه نفوذ اتمی صورت نمی‌گیرد).

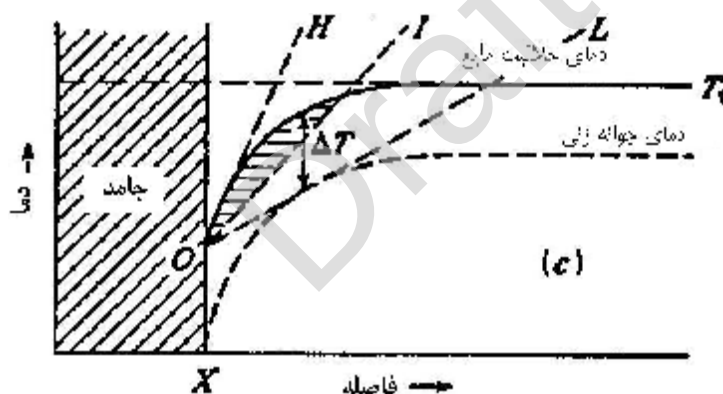


شکل: تغییرات دما و دمای خط مذاب با فاصله از فصل مشترک

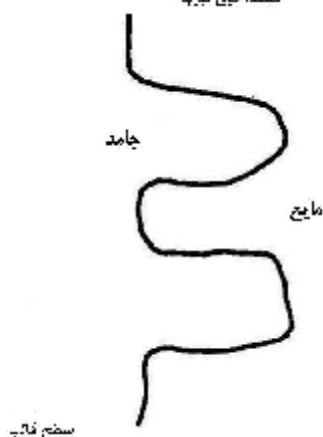
اکنون مذابی که در فاصله x قرار دارد دارای نقطه انجماد بالاتری (خط نقطه چین) نسبت به نقطه انجماد سطح مشترک است. در حالی که دمای واقعی در مذاب x نیز بالاتر از دمای سطح مشترک است.

اما اختلاف بین دمای واقعی مذاب و خط مذاب در x بیشتر از اختلاف دمای واقعی خط مذاب در سطح مشترک می‌باشد. در نتیجه گفته می‌شود مذاب نقطه x از نظر ساختمانی فوق تبرید شده است و یا اینکه فوق تبرید ساختمانی^۱ صورت گرفته است. برای تأکید این نکته دو بوته مجزا و پر از فلز را در نظر می‌گیریم که یکی از آنها دارای مذابی با ترکیب سطح مشترک مثلاً دارای ۱۰ درصد B و دیگری دارای ترکیب شیمیائی در x مثلاً ۵ درصد B است. فرض کنید خط مذاب سطح مشترک برابر با $538^{\circ}C$ و دیگری $566^{\circ}C$ باشد و نیز فرض کنید که شیب حرارتی واقعی در فلز طوری باشد که دمای سطح مشترک برابر $532^{\circ}C$ و در نقطه x برابر $538^{\circ}C$ باشد. واضح است که مذاب سطح مشترک فقط $6^{\circ}C$ از خط مذاب پایین‌تر است. در حالیکه در نقطه x $28^{\circ}C$ پایین‌تر است در نتیجه انرژی حجمی آزاد نقطه اخیر برای تبلور بیشتر خواهد بود. اثر فوق تبرید بر تبلور و رشد می‌تواند سه حالت داشته باشد:

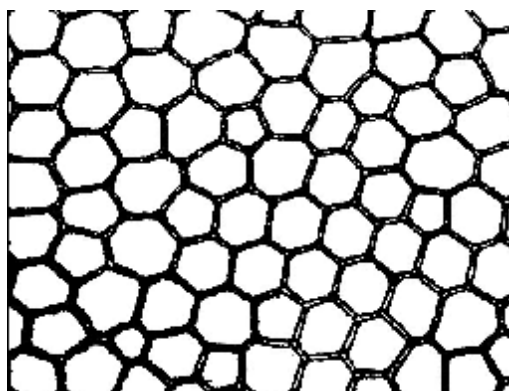
۱- اگر هیچگونه فوق تبریدی ایجاد نشده باشد، سطح مشترک به طور یکنواخت به جلو پیشرفت می‌کند. (شکل ۶) و اگر فوق تبرید کمی ایجاد شده باشد، برخی نواحی به صورت مشترک به صورت میخ^۲ به داخل ناحیه فوق تبرید پیشرفت می‌کند و به محض شروع رشد نسبت به نواحی مجاور، به سرعت رشد می‌کند (رشد ستونی) (شکل ۷). برای این فرایند دو دلیل وجود دارد: یکی اینکه نیروی محرکه انجماد در نواحی فوق تبرید بیشتر بوده و دیگر اینکه این برآمدگیها عناصر حل شونده را به داخل مذاب اطراف خود می‌رانند و باعث تأخیر انجماد در نواحی مجاور خود می‌شوند. ساختار حاصله شبیه لانه زنبور خواهد بود (شکل ۸).



شکل: تأثیر شیب حرارتی بر دمای خط مذاب در مجاورت فصل مشترک منطقه فوق تبرید

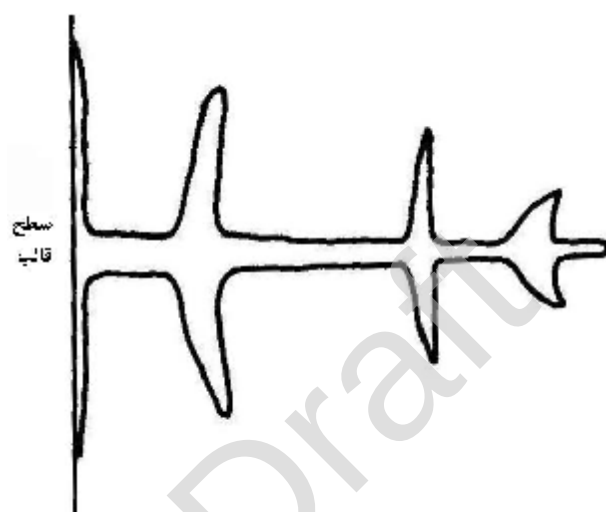


شکل: پیشرفت نواحی فوق تبرید



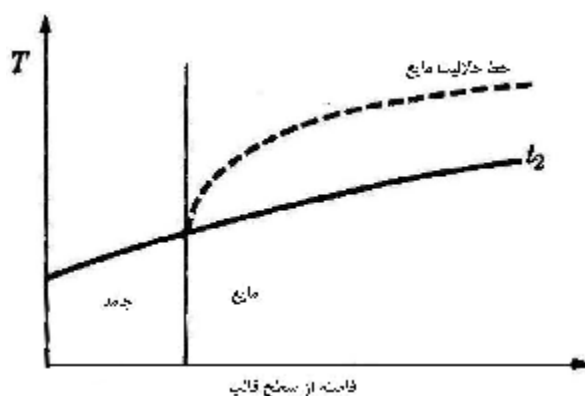
شکل: ساختار لانه زنبوری

۲- اگر فوق تبرید ساختمانی بیشتر باشد، از برآمدگیها، بازوهای جانبی نیز رشد کرده و ساختار شاخه‌ای^۱ ایجاد می‌کند، که پدیده‌ای معمول در اغلب آلیاژهاست (شکل ۹).



شکل: ساختار دندریتی (شاخه‌ای)

۳- نهایتاً در حالت حداکثر فوق تبرید، اختلاف $T_{\text{liquidus}} - T_{\text{actual}}$ که در فاصله‌ای به اندازه Y به حداکثر خود می‌رسد (شکل ۵)، ممکن است آنقدر زیاد شود که منجر به تشکیل جوانه‌های مستقل شود، در این حالت در مرکز قالب دانه‌های متساوی‌المحور^۲ تشکیل می‌شود. (شکل ۱۰).



شکل: حداکثر فوق تبرید

لازم به ذکر است که حلالیت نسبی عنصر حل شونده با ضریب K نشان داده می‌شود که به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$K = \frac{C_s}{C_0}$$

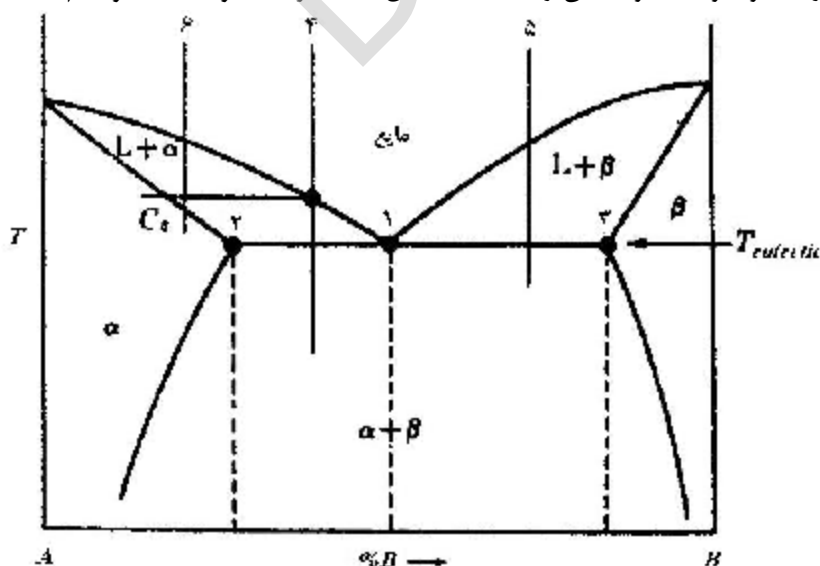
مقادیر K حدوداً بین 0.1 و 0.5 قرار دارد. اگر K کوچک و شیب حرارتی کم باشد، حتی در مذاب مرکز قالب، فوق تبرید ساختمانی ایجاد می‌شود. از طرفی، هر چقدر شیب حرارتی زیاد باشد، امکان بیشتری برای رشد ستونی وجود دارد و از رشد شاخه‌ای و تبلور اتفاقی در جلوی سطح در حال انجماد جلوگیری شده و حرکت فلز برای تغذیه انقباض حاصل از انجماد ممکن می‌شود. به عبارت دیگر، هر چقدر شیب حرارتی مشابه با ریخته‌گریهای تبریدی بیشتر باشد، تغذیه با سهولت بیشتری صورت می‌گیرد.

اثر دیگری بنام تغذیه جرمی وجود دارد که برای کامل شدن مطلب به آن اشاره می‌شود. وقتی جوانه‌های هم‌محور تشکیل می‌شوند به دلیل دانسیته بالا، در مذاب فرو رفته و ته‌نشین می‌شوند. این اثر باعث تخلخل کمتر در قسمت کف قالب، نسبت به قسمت بالایی آن می‌شود و گاهی نیز منجر به لایه لایه شدن حفره‌های انقباض می‌شود. آلیاژهای ریخته‌گری که بطریق عادی سرد می‌شوند در مجاورت سطح، دارای دانه‌های دندریتی ستونی و در مرکز دارای دانه‌های متساوی‌المحور می‌باشند. نسبت دانه‌های متساوی‌المحور به دانه‌های ستونی به عوامل زیر بستگی دارد.

۱. به طور معکوس با دمای فوق تبرید موثر متناسب است.
۲. با مقدار فوق تبرید بحرانی که برای جوانه‌زنی با سرعت تقریباً بالا لازم است، نسبت عکس دارد.
۳. با محدوده انجماد متناسب است.
۴. با ضریب هدایت حرارتی نسبت عکس دارد.
۵. با شیب خط جامد و خط مذاب نسبت عکس دارد.

ب: آلیاژهای یوتکتیک

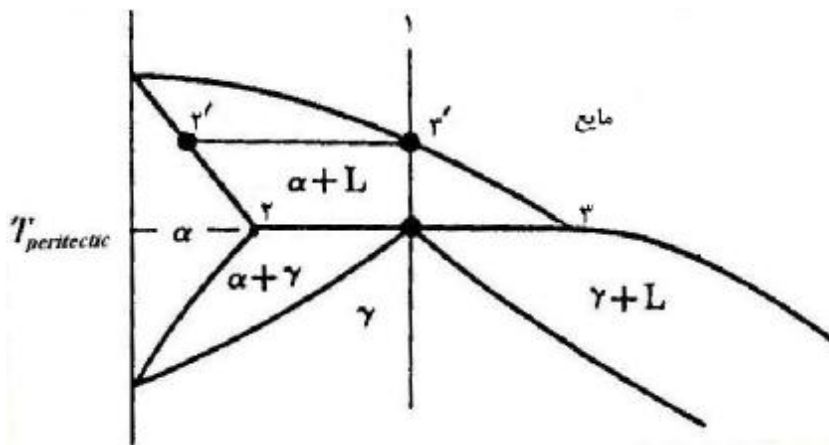
در این حالت، تحت شرایط تعادل، دو جامد متفاوت همزمان از مذاب تشکیل و واکنش در دمای ثابت کامل می‌شود. در شکل ۱۱ مذاب یوتکتیک (ترکیب شیمیایی ۱) در دمای یوتکتیک، تولید آلیاژهایی با ترکیبهای ۲ و ۳ می‌کند. اگر ترکیب آلیاژ هیپویوتکتیک (کمتر از یوتکتیک) باشد ولی مقدار B آن کمتر از نقطه ۲ باشد انجماد کریستالی، ابتدا مانند حالت الف با رسوب یک جامد اتفاق می‌افتد. همین حالت برای ترکیبهای هیپریوتکتیک اتفاق می‌افتد برای ترکیبهای کمتر از ۲ یا بیشتر از ۳ اگر سرعت سرد شدن زیاد باشد احتمال ایجاد ترکیب یوتکتیک خواهیم داشت.



شکل ۱۱- نمودار تعادلی (یوتکتیک) فلزات A و B

ج: واکنش پری تکتیک

در این واکنش یک فاز با افزایش دما به دو فاز جدید تجزیه می‌شود (شکل ۱۲)، یا به عبارت دیگر، این واکنش، ارتباط بین سه فاز در دمای ثابت می‌باشد.

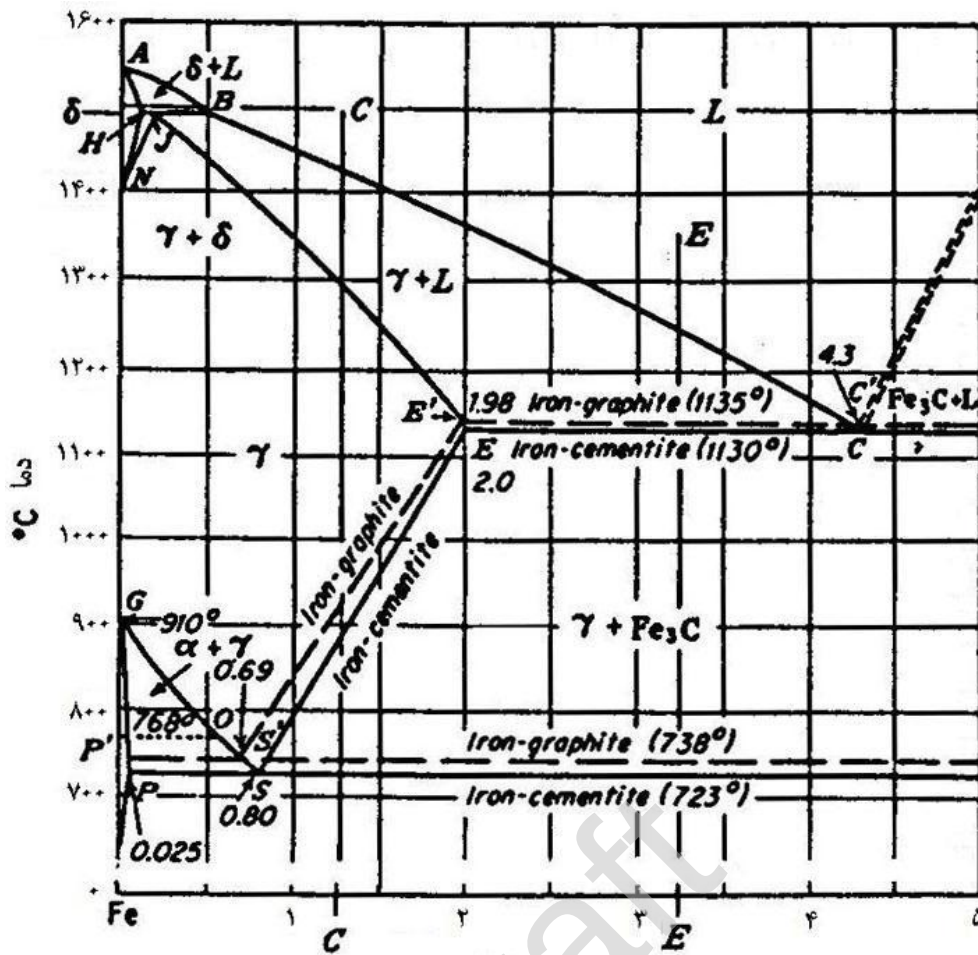


شکل ۱۲- نمودار تعادلی واکنش پری تکتیک

واکنش پری تکتیک بسیار کند صورت می گیرد. دلیل آن، واکنش فاز جامد g با مذاب برای تشکیل فاز جامد g است. فاز جامد g فاز g باقیمانده را پوشش می دهد. برای ادامه واکنش، باید نفوذ اتمی به داخل فاز جامد g صورت گیرد که فرآیند نسبتاً کند و آهسته ای است.

با توجه به دیاگرام آهن-کربن که تشکیل دهنده آلیاژهای مهم مانند فولادها و چدن‌ها می باشد به بحث انجماد قطعات ریخته گری می پردازیم.

اولین سوال در رابطه با انجماد قطعات ریخته گری آن است که از کجا می دانیم که چه موقعی در داخل قالب تبلور و انجماد صورت می گیرد؟ برای حصول به پاسخ این سؤال راههای مختلفی وجود دارد که معمول ترین آن آنالیز حرارتی است. در این روش ترموکوپلی را در داخل لوله سیلیسی ذوبی قرار می دهند و منحنی دما بر حسب زمان را رسم می کنند (منحنی سرد شدن). سپس از این منحنی اطلاعات لازم را در مورد تغییرات فاز که در فلز اتفاق می افتد بدست می آورند. اکنون منحنی سرد شدن سه نوع آلیاژ آهن-کربن را که در این سیستم اتفاق می افتد مورد بررسی قرار می دهیم. (شکل ۱۳)



درصد وزنی کربن

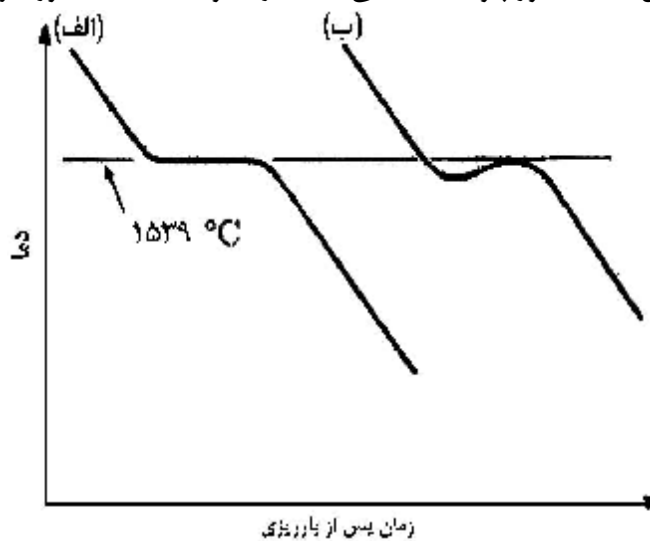
شکل ۱۳- دیاگرام تعادلی آهن-کربن

۱- آهن خالص (۰٪ C)

۲- محلول جامد (۰.۶٪ C)

۳- یوتکتیک (۴.۳٪ C)

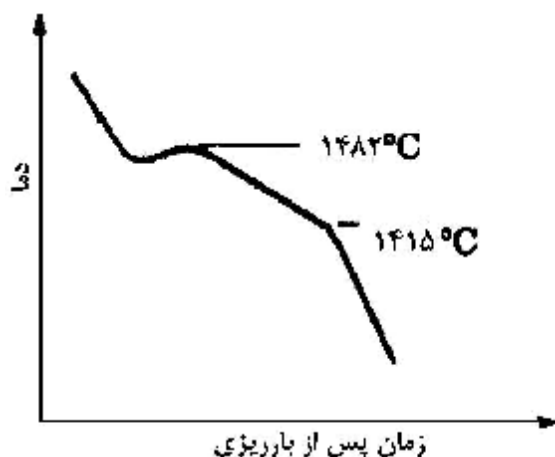
۱- در مورد مذاب آهن خالص، دما به طور پیوسته افت می کند تا در حدود 1536°C تبلور شروع شود. (شکل ۱۴- الف)



شکل ۱۴- منحنی سرد شدن آهن خالص

در این دما، گرمای نهان ذوب آزاد می شود و دما تا کامل شدن انجماد، ثابت باقی می ماند. بسته به شرایط جوانه زنی، ممکن است منحنی، اثر فوق تبرید حرارتی از خود نشان دهد. (شکل ۱۴- ب)

۲- در مورد محلول جامد، اولین بلور (آستنایت) در دمای تقریباً 1482°C شروع به رشد کرده و تا 1415°C ادامه می‌یابد. در این دما، قطعه ریخته‌گری کاملاً جامد می‌شود. در طی این مدت، گرمای نهان ذوب به طور پیوسته آزاد می‌شود و در نتیجه سرعت سرد شدن را تا کامل شدن انجماد کند می‌کند. معمولاً قبل از انجماد اولیه، مقداری فوق تبرید ایجاد می‌شود و باعث قسمت افقی منحنی و یا حتی افزایش آن می‌شود. (شکل ۱۵)



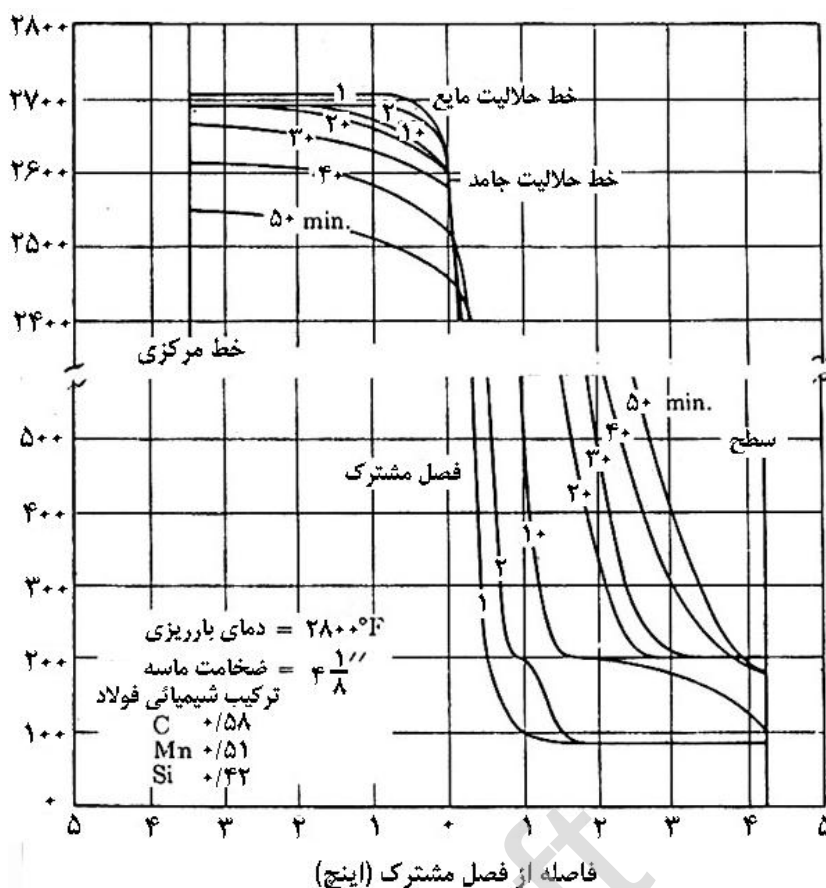
شکل ۱۵- منحنی سرد شدن محلول جامد آهن-کربن (C ۰.۶٪)

افت ایجاد شده در منحنی سرد شدن، بعلاوه آن است که در شروع انجماد دمای مذاب بمقدار قابل ملاحظه‌ای از خط مذاب، پایین‌تر است و به محض تولید جوانه‌های جامد، مقدار قابل ملاحظه‌ای از مذاب منجمد می‌شود.

۳- مذاب شامل $4/3$ درصد کربن: این مذاب قبل از شروع انجماد تا حدود 1129°C سرد می‌شود و در این دما، با سرد شدن آهسته، آستنایت (C ۲٪) و گرافیت تا جامد شدن کامل ریخته‌گری با هم منجمد می‌شوند. منحنی انجماد این واکنش شبیه منحنی فلز خالص است.

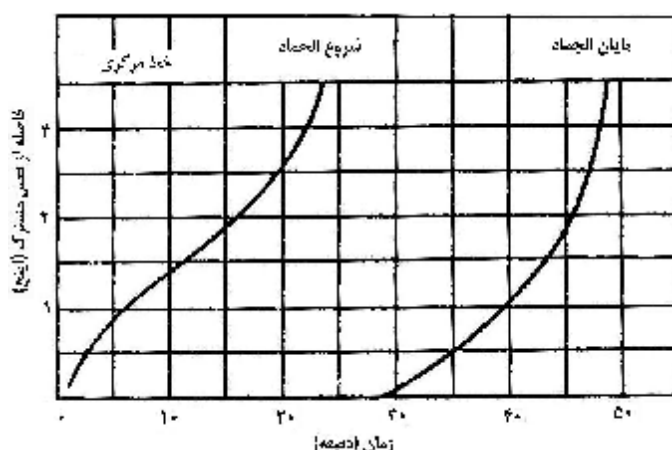
اکنون به موضوع ریخته‌گری واقعی می‌پردازیم. در این رابطه طرح ساده‌ای با سطح مقطع مربعی به ابعاد $7 \times 7 \times 21 \text{ in}^3$ را در نظر می‌گیریم. منبع تغذیه بزرگی در بالای قطعه ریخته‌گری که در شکل نشان داده نشده است برای تغذیه انقباض حاصل از انجماد قرار دارد.

ترموکوپلهائی با فواصل معین در داخل قطعه ریخته‌گری و ماسه مرطوب در وسط برای از بین بردن تأثیرات انتهائی قرار داده می‌شوند (شکل ۱۶) سپس منحنیهای سرد شدن هر ترموکوپل رسم می‌شود.



شکل ۱۷- منحنیهای توزیع حرارت برای فولاد ۰/۶٪ کربن

اکنون به بررسی پایان انجماد می‌پردازیم. فلز در حال انجماد در دیواره قالب حدود ۳۰ دقیقه پس از بارریزی به دمایی حدوداً پایین‌تر از خط جامد می‌رسد در هر حال، دمای مرکز پس از ۲۴ دقیقه از زمان بارریزی به دمایی پایین‌تر از دمای خط مذاب می‌رسد. این موضوع نشان دهنده آن است که مقداری انجماد در مرکز قطعه ریخته‌گری قبل از اینکه در سطح، انجماد کامل شود صورت گرفته است. عبارت دیگر به مدت شش دقیقه مخلوطی از جامد و مذاب از سطح قالب به مرکز قطعه ادامه داشته است. این موضوع در شکل ۱۸ به طور خلاصه نشان داده شده است.



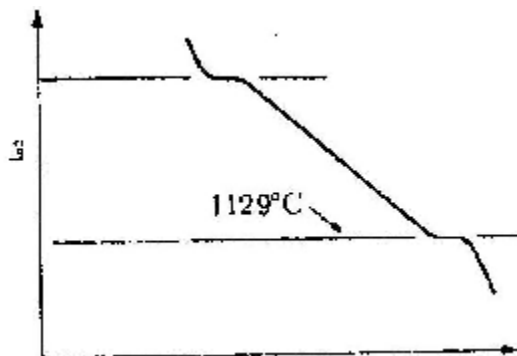
شکل ۱۸- پیشرفت انجماد در قطعه ریخته‌گری فولاد مربوط به شکل ۱۷

مهمترین نکته‌ای که باید توجه داشت آن است که فولاد با جبهه پیشرونده صاف و تختی منجمد نمی‌شود بلکه موجی از شروع انجماد و بدنبال آن (۲۰ دقیقه) موجی از خاتمه انجماد از سطح به داخل حرکت می‌کند. در فاصله این دو موج، قطعه شامل مخلوطی از مذاب و کریستالهای جامد (معمولاً شاخه‌ای) است. وجود این منطقه مانعی برای انتقال فلز

مذاب از منبع تغذیه به شمار می‌رود و اگر این موضوع بر طرف نشود، حفره‌های حاصل از انقباض در قطعه ریخته‌گری ایجاد می‌شود.

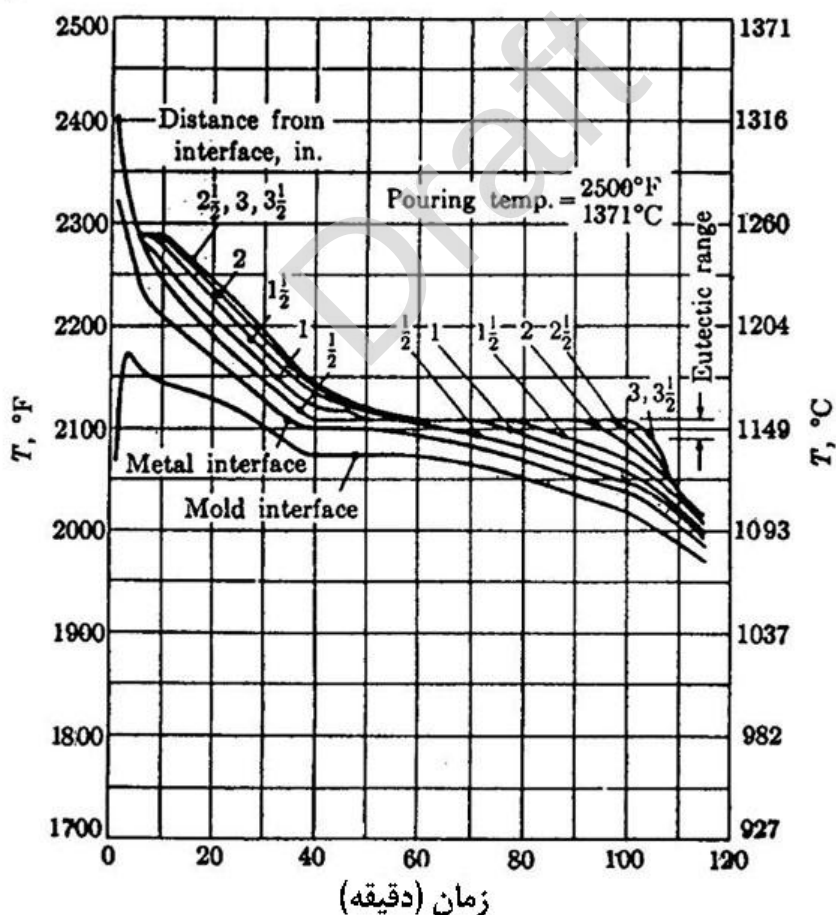
سرد شدن آلیاژهای شامل یوتکتیک

چدنی را در نظر بگیرید که مقدار کربن آن کمتر از $\frac{4}{3}$ درصد (هیپویوتکتیک) است. منحنی سرد شدن آن در شکل ۱۹ نشان داده شده است.



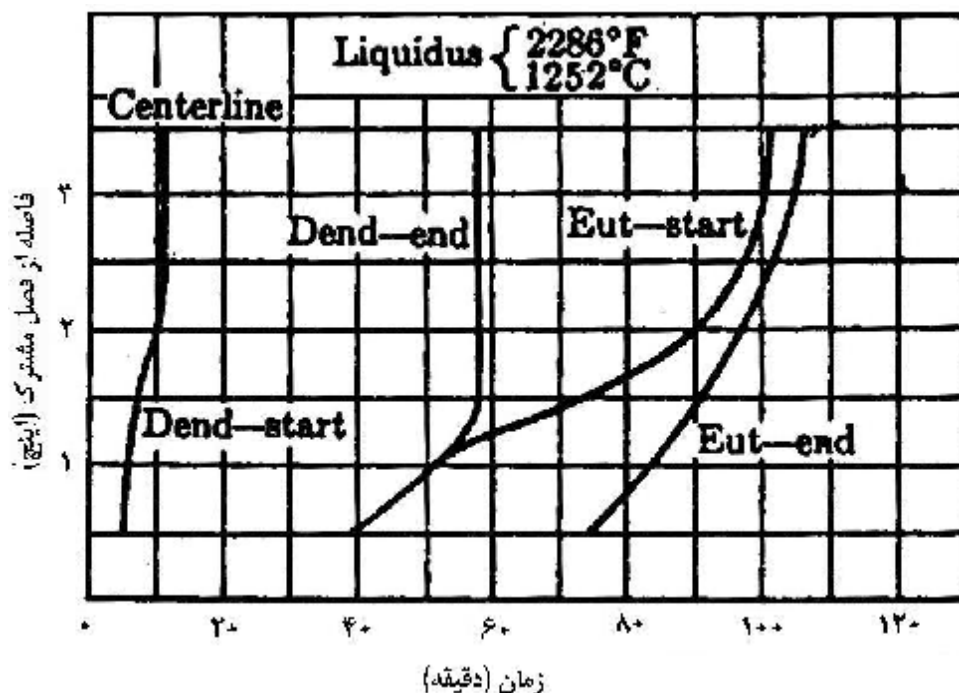
شکل ۱۹- منحنی سرد شدن چدن هیپویوتکتیک

در چدنهای تجارتی، یوتکتیک بعلت وجود دیگر عناصر، مخصوصاً سیلیسیم در دمای ثابتی منجمد نمی‌شود. منحنی‌های سرد شدن واقعی آن در شکل ۲۰ نشان داده شده است.



شکل ۲۰- منحنی‌های سرد شدن واقعی چدن

در این چدن دو توقف حرارتی وجود دارد که اولی فقط بعلت گرمای نهان ذوب آستنیت و دومی بعلت گرمای نهان ذوب یوتکتیک در محدوده دمائی بسیار کم است (آستنیت + گرافیت) از این تأثیرات شروع و خاتمه هر واکنش رسم می‌شود.



شکل ۲۱- منحنی‌های سرد شدن چدن خاکستری

جدا شدن منحنی پایان دندریت از منحنی شروع یوتکتیک، که ممکن است مورد انتقاد قرار گیرد بعلت انتخاب دلخواه دما می‌باشد زیرا پایان تشکیل دندریتهای آستنایت را ۲ درجه بالاتر از دمای یوتکتیک و شروع تشکیل یوتکتیک را ۲ درجه پایین‌تر از دمای یوتکتیک در نظر گرفته‌ایم. هر چند این اختلاف برابر چهار درجه است، اما نسبتاً زمانی طولانی لازم است که قسمتهای داخلی قطعه ریخته‌گری از این محدوده دمائی عبور کنند. تأخیر بعلت توقف حرارتی حاصله از تولید گرمای نهان ذوب یوتکتیک در سطح خارجی قطعه ریخته‌گری است. در عمل، تشکیل بلورهای آستنایت یوتکتیک بر آستنایتهای دندریتی موجود قبلی صورت می‌گیرد و فرآیند پیوسته‌ای می‌باشند. انتخاب دلخواه دما برای پایان دندریتهای آستنایتی و شروع تشکیل یوتکتیک برای تأکید اثرات دو نوع واکنش بر پدیده انجماد می‌باشد.

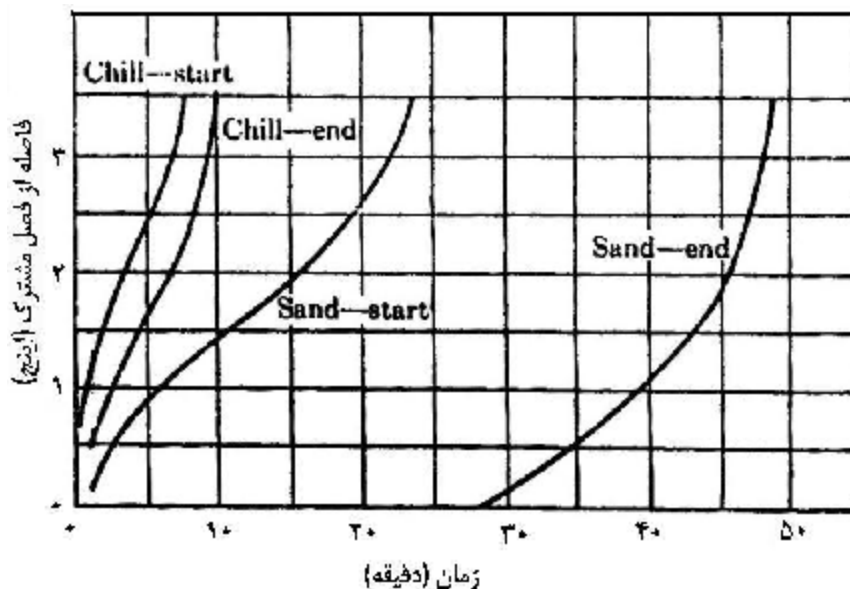
تأثیر مواد قالب و ترکیب آلیاژ بر الگوی انجماد

در نمونه قبلی با ابعاد $7 \times 7 \times 21$ in^۳ مشاهده نمودیم که قبل از انجماد نهائی به مدت قابل ملاحظه‌ای، مقداری بلورهای جامد در مرکز قطعه وجود دارد که اگر انجماد کامل بصورت یک موج صورت نگیرد مشکلاتی از قبیل عدم تغذیه و غیره را بدنبال دارد که در نتیجه بایستی تأثیر مواد قالب و ترکیب آلیاژ را در این زمینه مورد بررسی قرار دهیم. برای بررسی این اثر دو معیار، یکی محل نسبی شروع و پایان منحنی انجماد و دیگری عاملی بنام مقاومت تغذیه مرکزی^۱ (CFR) وجود دارد.

تأثیر مواد قالب

اگر به جای قالب ماسه‌ای قبلی، از قالب چدنی با هدایت حرارتی بالا استفاده شود سرعت انجماد افزایش می‌یابد منحنیهای شکل ۲۲ این اثر را نشان می‌دهند. همانطوری که مشاهده می‌شود الگوی انجماد تغییر کرده است.

^۱ Center Feeding Resistance



شکل ۲۲- مقایسه سرعت انجماد در قالب ماسه‌ای و قالب تبریدی برای فولاد ۶٪ کربن

در ریخته‌گری ماسه، شرایط خمیری یعنی مذاب + جامد به مدت شش دقیقه از دقایق ۲۴ تا ۳۰ بعد از بارریزی در کل قطعه وجود دارد. اما این شرایط در ریخته‌گری تبریدی اتفاق نمی‌افتد فقط نوار نازکی از مذاب + جامد به داخل مذاب در پیشاپیش قسمت کاملاً منجمد شده است این بدین معنی است که پس از شروع انجماد در مرکز فلز تغذیه بایستی فقط $1\frac{1}{2}in$ از مرکز به جبهه انجماد، به جای کل فاصله تا سطح مشترک در مورد ریخته‌گری ماسه حرکت نماید. برای بیان کمی این اختلاف عبارت دیگری بنام CFR را که مستقل از زمان مطلق انجماد است تعریف می‌کنیم تا بتوان آن را برای مقایسه مواد مختلف قالب یا اندازه‌های مختلف سطح مقطع بکار برد. در هر صورت تغذیه قطعه ریخته‌گری تا زمانی که بلورهای جامد در مرکز وجود داشته باشند مشکل است و هر چقدر مدتی که در طول آن این بلورهای مرکزی، نسبت به کل زمان انجماد، در قطعه ریخته‌گری وجود دارد بیشتر باشد تغذیه مشکلتر می‌شود. بر طبق تعریف CFR عبارتست از:

$$CFR = \frac{\text{زمانی که در طول آن بلورها در مرکز تشکیل میشوند}}{\text{کل زمان انجماد قطعه ریخته‌گری}} \times 100$$

این فاکتور را می‌توان به سهولت از منحنی شروع و پایان انجماد بصورت زیر محاسبه نمود.

$$CFR = \frac{(\text{شروع انجماد در مرکز}) - (\text{پایان انجماد در مرکز})}{(\text{شروع انجماد در فصل مشترک}) - (\text{پایان انجماد در مرکز})} \times 100$$

برای مثال، در مورد حالت قبلی، فولادی که در ماسه و قالب تبریدی بارریزی شود، دارای ضرائب زیر خواهد بود.

$$CFR)_{\text{ماسه}} = \frac{48 - 24}{48} \times 100 = 50\% \quad \text{از کل انجماد}$$

$$CFR)_{\text{تبریدی}} = \frac{10 - 8}{10} \times 100 = 20\% \quad \text{از کل انجماد}$$

از این ارقام چنین استنباط می‌شود که تغذیه ریخته‌گری تبریدی ذاتاً از ریخته‌گری ماسه آسانتر است و عملاً نیز چنین است.

تأثیر ترکیب شیمیایی

تجربه نشان داده است که تغذیه برخی آلیاژها نسبت به دیگر آلیاژها به سهولت صورت می‌گیرد. به طور کلی، تغذیه آلیاژهایی که فاصله خط جامد تا خط مذاب آنها کم است به سهولت صورت می‌گیرد در حالی که آلیاژهایی که فاصله

خط جامد و خط مذاب آنها زیاد است مشکل تغذیه می‌شوند. ضمناً تغذیه آلیاژهایی که CFR آنها بیش از ۷۰٪ باشد مشکل است.

تأثیر سرعت انجماد

طراحی صحیح منبع تغذیه به الگوی انجماد آلیاژ (CFR) و زمان انجماد منبع تغذیه نسبت به قطعه ریخته‌گری بستگی دارد. اکنون به بررسی، تأثیر شکل هندسی منبع تغذیه و قطعه ریخته‌گری پرداخته می‌شود بطوری که بتوان با استفاده از آن زمان انجماد را تعیین کرد و حداقل اندازه منبع تغذیه را که باعث سرعت انجماد کمتری شود، بدست آورد. موضوع را با معادله ابتدایی انتقال حرارت در حالت یکنواخت^۱ شروع می‌کنیم. شار حرارت J ، که در واحد زمان از یک دیوار عبور می‌کند مستقیماً به اختلاف دما، هدایت حرارتی^۲ سطح مقطع دیوار بستگی دارد و نیز با فاصله سطح گرم و سرد نسبت عکس دارد. اگر فرض کنیم که هدایت حرارتی K مستقل از دما باشد در نتیجه خواهیم داشت.

$$J = K \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (۴)$$

که در این فرمول

J شار حرارت $BTU / hr. ft^2$

ΔX ضخامت دیوار (ft)

ΔT اختلاف دما ($^{\circ}F$)

K ضریب هدایت حرارتی $BTU/ft.^{\circ}F.hr.ft^2$

برای مثال اگر برای سیلیس، K برابر $۱/۰۶$ باشد در نتیجه برای دیواری با ضخامت $۹/۱۲$ فوت

$$J = 1.06 \times \frac{(2400 - 650)}{9/12} = 2480 \text{ BTU} / \text{hr. ft}^2$$

در معادله فوق $\Delta T / \Delta X$ شیب حرارتی نامیده می‌شود. اگر فلز مذاب به داخل قالب بارریزی شود، مقدار زیادی حرارت بوسیله خود قالب جذب می‌شود در حالی که در مورد حالت ثابت تمام حرارت از سطح داخلی به سطح بیرونی منتقل می‌شود. به این دلیل گرمای ویژه مواد تشکیل دهنده قالب (C_{mold})، وزن مخصوص و کندانسیویتی حرارتی (K_{mold}) آن وارد معادله انتقال حرارت می‌شود. برای سهولت امر، این عوامل می‌توانند در فرمول زیر با هم ادغام شوند.

$$a_{mold} = \text{نفوذپذیری حرارتی} = \frac{K_{mold}}{C_{mold} \times r_{mold}} \quad (۵)$$

عامل متغیر دیگر، تغییرات دما T_x در هر نقطه از قالب بر حسب زمان است. با توجه به این نکات از معادله پیشنهادی کارسلاو (Carslaw)، ژایگر (Jaeger) و رودل (Ruddle) استفاده می‌کنیم. فرض کنید که دمای سطح قالب (فصل مشترک قالب-مذاب) به طور ناگهانی در زمان $t=0$ از دمای اولیه T_0 به T_1 افزایش یابد و در مدت انجماد در T_1 باقی بماند. این وضعیت در قالبهای ماسه‌ای زیاد اتفاق می‌افتد. پس از گذشت زمان t ، دمای T در فاصله x از سطح قالب، از فرمول زیر بدست می‌آید:

$$T = T_0 + (T_1 - T_0) \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{at}} \right) \quad (۶)$$

برای تعیین سرعت انتقال حرارت از قطعه ریخته‌گری در سطح مشترک ($x=0$) بایستی شیب حرارتی را تعیین نماییم. برای این منظور از معادله ۶ مشتق می‌گیریم که در نتیجه خواهیم داشت.

$$\frac{dT}{dX} = -(T_1 - T_0) \frac{d}{dX} \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{at}} \right) \quad (۷)$$

^۱ Steady-state

^۲ thermal-conductivity

^۳ thermal-diffusivity

این رابطه در $x = 0$ برابر است با

$$\frac{d}{dX} \left(\operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{at}} \right) = \frac{1}{\sqrt{pat}} \quad (8)$$

در نتیجه

$$\frac{dT}{dX} = - \frac{(T_1 - T_0)}{\sqrt{pat}} \quad (9)$$

که نهایتاً (علامت منفی را حذف می‌کنیم زیرا انتقال حرارت در جهت افت شیب صورت می‌گیرد).

$$J = \frac{K(T_1 - T_0)}{\sqrt{pat}} \quad (10)$$

زمان لازم برای انجماد یک قطعه ریخته‌گری بستگی به انتقال مقدار معینی حرارت (Q) از سطح مشترک ($x=0$) دارد در نتیجه:

$$Q = A \int_{t=0}^{t=t_s} J dt = A \frac{2K(T_1 - T_0)\sqrt{t}}{\sqrt{pa}} \quad (11)$$

برای تعیین زمان انجماد (t_s)، ورق بزرگی با سطوح اصلی A باید حرارتی را که قطعه (از دمای بارریزی) از دست می‌دهد، تا منجمد شود، محاسبه کنیم. این حرارت برابر گرمای مافوق ذوب و گرمای نهان ذوب است. فرض کنید بارریزی T_r و دمای انجماد T_1 (دمای سطح مشترک) باشد در نتیجه مقدار حرارتی که باید از دست داده شود برابر است با:

$$Q = \int_{metal} V [L_{metal} + C_{metal} (T_p - T_1)] \quad (12)$$

که در این رابطه

C_{metal} گرمای ویژه فلز مذاب (Btu/°F.lb)

L_{metal} گرمای نهان ذوب (Btu/lb)

V حجم ورق (ft^3)

r_{metal} دانسیته فلز (lb/ft^3)

با مساوی قرار دادن معادله ۱۲ با معادله ۱۱ می‌توانیم $t = t_s$ را بدست آوریم.

$$\int_{metal} V [L_{metal} + C_{metal} (T_p - T_1)] = \frac{2AK(T_1 - T_0)}{\sqrt{pa}} \quad (13)$$

یا

$$\frac{V}{A} = \frac{2K_{mold} (T_1 - T_0)\sqrt{ts}}{\int_{metal} \sqrt{pa_{mold}} [L_{metal} + C_{metal} (T_p - T_1)]} \quad (14)$$

برای قالب و فلز به خصوص معادله فوق را برای t_s حل کرده و کلیه اعداد ثابت را در یک عدد ثابت ادغام کرده و آن را ثابت قالب B^1 می‌نامیم، در نتیجه خواهیم داشت:

$$t_s = B \left(\frac{V}{A} \right)^2 \quad (15)$$

این رابطه که مدت زمان انجماد را نشان می‌دهد، قاعده چورینوف (Chworinov Rule) می‌نامند.

ضروریات (نیازهای) منبع تغذیه

ضروریات فنی

۱. انجماد منبع تغذیه پس از انجماد قطعه

¹ mold constant

۲. شامل مقدار کافی فلز مذاب برای تغذیه
۳. منبع تغذیه کافی باید تا حد امکان باز باشد و در محلی قرار داده شود تا به کلیه قسمت‌های قطعه فشار مثبت ایجاد کند.

ضروریات اقتصادی

۱. به گونه‌ای طراحی و عمل شود تا نقش خود را به خوبی و با کمترین ضایعات ایفا کند.
۲. در محلی قرار داده شود تا حداکثر ممکنه راندمان لازم را داشته باشد

اندازه منبع تغذیه

بهره منبع تغذیه که مطابق با رابطه زیر

$$\text{بهره منبع تغذیه} = \frac{\text{وزن فلز قطعه} \times 100}{\text{وزن قطعه} + \text{وزن فلز منبع تغذیه و راهگاهها}}$$

محاسبه می‌شود، حدود ۳۵ تا ۴۰ درصد است. لذا از هر یکصد (۱۰۰) کیلوگرم فلز بارریزی شده حدود ۳۵ تا ۴۰ کیلوگرم آن به قطعه نهائی که قابل فروش است تبدیل می‌شود. اگر سرعت انتقال حرارت از قطعه نسبت به سرعت حرارت از منبع تغذیه افزایش یابد، انجماد جهت دار است لذا حجم منبع تغذیه می‌تواند کاهش یابد.

فشار اتمسفر و تغذیه‌گذاری

اگر به قطعه در حال انجماد، فشار اتمسفر نامناسبی اعمال شود، ممکن است باعث پارگی قطعه شود. اعمال مناسب فشار باعث بهبود خواص قطعه و افزایش کارایی منبع تغذیه می‌شود. یک قاعده اساسی در تغذیه‌گذاری آن است که منبع تغذیه بایستی در طی انجماد به محیط جو باز باشد. قسمت ۱۱ ص ۱۳۹ تیلور - فلمینگ و ولف

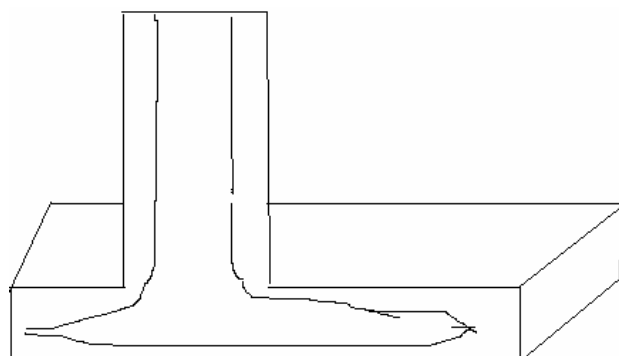
روشهای عملی کنترل انجماد

عایق‌بندی

عایق‌بندی منبع‌های تغذیه می‌تواند با موادی که نسبت به مواد قالب، خواص عایق حرارتی بالاتری دارند انجام شود. گچ برای ریخته‌گری در گچ، یک عایق عالی برای فلزات غیرآهنی به شمار می‌رود.

انجماد تدریجی و جهت‌دار

در شکل زیر انجماد تدریجی و جهت‌دار نشان داده شده است. پس از بارریزی، انجماد از سطوح شروع شده و پوسته‌ای جامد تشکیل می‌شود. با افت دما، ضخامت پوسته افزایش می‌یابد.



شکل: شکل تکمیل شود

دو وضعیت سرعت رشد انجماد را تغییر می‌دهد. در لبه قطعه مساحت سطح بیشتر است لذا انتقال حرارت از مذاب به قالب بالاتر است نتیجتاً سرعت انجماد بالاتر است که به آن اثر لبه (Edge effect) می‌گویند. در محل منبع تغذیه که به دلیل جرم بیشتر فلز مذاب، مقدار حرارت بیشتر بوده و محلی است که انتقال حرارت به قالب در زاویه کاهش می‌یابد لذا سرعت تشکیل پوسته جامد کاهش می‌یابد. این اثر را اثر منبع تغذیه (Riser effect) می‌نامند. این دو اثر باعث انجماد جهت‌دار می‌شود.

شیوه انجماد

آلیاژها بر اساس محدوده انجماد به سه دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از:

۱. کونا: فاصله خط جامد (Solidus) تا خط مذاب (Liquidus) از 50°C کمتر است.
۲. متوسط: فاصله خط جامد (Solidus) تا خط مذاب (Liquidus) بین 50°C تا 110°C است.
۳. بلند: فاصله خط جامد (Solidus) تا خط مذاب (Liquidus) از 110°C بیشتر است.

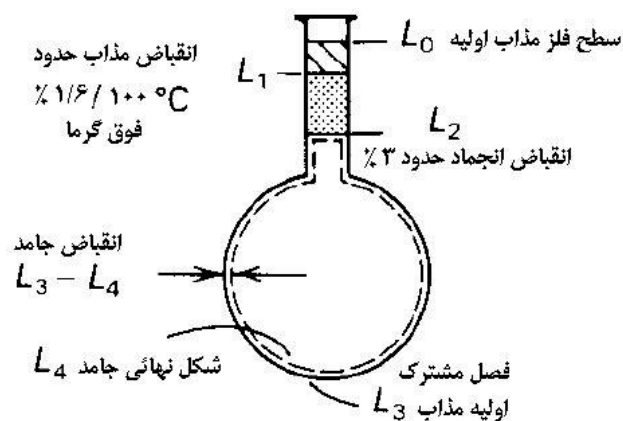
شیوه انجماد هر کدام از این حالات در شکل‌های زیر نشان داده شده است.

انجماد فلز خالص: انجماد از سطح شروع شده و به داخل قطعه ریختگی پیشرفت می‌کند. جبهه انجماد به صورت تخت پیشرفت می‌کند.

شکل:

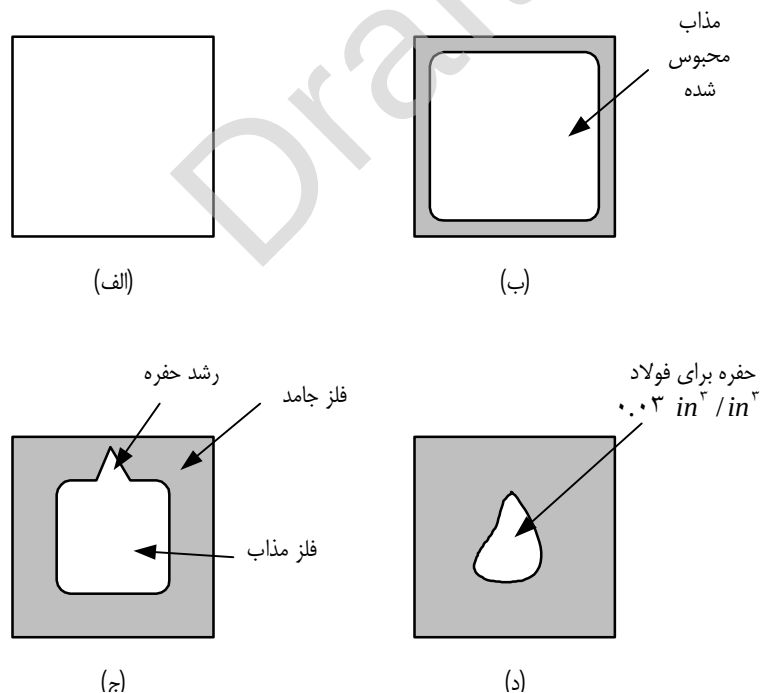
طراحی منبع تغذیه و تعیین محل آن

وقتی فلزات مذاب منجمد شده و برای تشکیل قطعه ریختگی سرد می‌شوند، معمولاً تحت سه مرحله انقباض حجمی مجزا قرار می‌گیرند (شکل زیر).



شکل: شماتیک انقباض فولاد کم کربن و تاثیر هر مرحله

برای پیش‌گیری از این انقباض، نیاز به تامین مذاب اضافی است (رفتار انقباضی برخی چدنهای گرافیتی از این قاعده مستثنی است). لذا تغذیه‌گذاری فرایندی است که برای جلوگیری از تشکیل حفره‌های انقباض حاصل از انجماد قطعه ریختگی طراحی می‌شود و به نوع فلزی که ریخته‌گری می‌شود بستگی دارد. مکعبی از فولاد مذاب با ابعاد یک اینچ را در دمای انجماد در نظر بگیرید. در این دمای ثابت، پوسته جامد نازکی در قسمت خارجی آن تشکیل می‌شود که نتیجتاً، مذاب باقیمانده در داخل این پوسته نازک و ثابت محبوس می‌شود. با تبدیل این مذاب به جامد، انقباض نوع ب ایجاد می‌شود در ریخته‌گریهایی که مقطع نامنظم دارند اگر راهگاهها باریک باشد و قبل از رسیدن مذاب به دمای انجماد، قطعه منجمد شود، امکان انقباض نوع الف نیز وجود دارد. لازم به ذکر است که انقباض نوع ج، که در جامد صورت می‌گیرد ایجاد حفره نمی‌کند بلکه این نوع انقباضها به تنشهای زیاد، پارگی و ترک منجر می‌شوند (شکل زیر).



(ج)

(د)

شکل: ایجاد حفره انقباض در قطعه ریختگی مکعبی

الف) مذاب (ب) مذاب+جامد (ج) مذاب+جامد (د) جامد

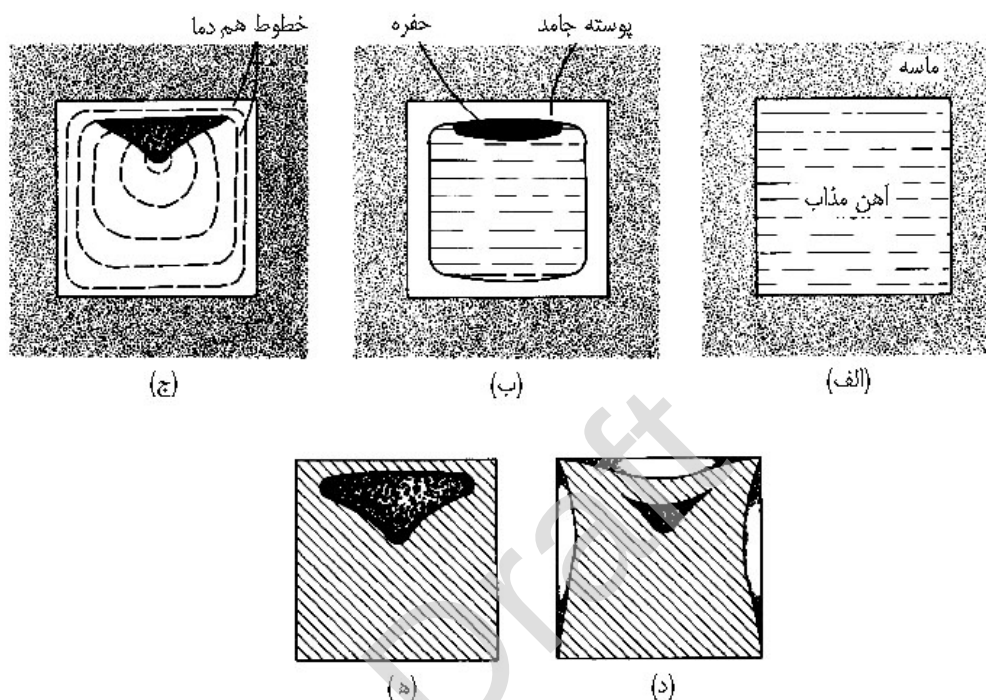
برای نشان دادن مقدار انقباض حاصل از انجماد (برحسب درصد) در قطعه ریختگی، مقادیر مربوط به فولاد کربنی ساده را در طی سه مرحله انقباض بررسی می‌کنیم.

الف) در مرحله اول یعنی حالت مذاب، انقباض فلز مذاب تقریباً برابر ۱/۶ تا ۱/۸ درصد حجمی به ازای هر ۱۰۰ °C (۱/۹ تا ۱/۱۰ درصد به ازای هر ۱۰۰ °F) است. این انقباض مشکل خاصی ایجاد نمی‌کند.

ب) در مرحله دوم، یعنی تبدیل مذاب به جامد، حدود ۳ درصد حجمی انقباض صورت می‌گیرد. این انقباض، برای فلزات خالص در دمای ثابت و برای آلیاژها در محدوده حرارتی معینی صورت می‌گیرد.

ج) در مرحله سوم، یعنی انقباض قطعه جامد از دمای انجماد تا دمای اتاق یعنی 70°F (21°C) حدود ۷/۲ درصد حجمی است. این انقباض را، که انقباض مدل‌ساز (Patternmaker's shrinkage) نیز می‌نامند، با ساخت مدل (نتیجتاً حفره قالب) کمی بزرگتر از ابعاد مطلوب قطعه ریختگی نهائی، برطرف می‌کنند.

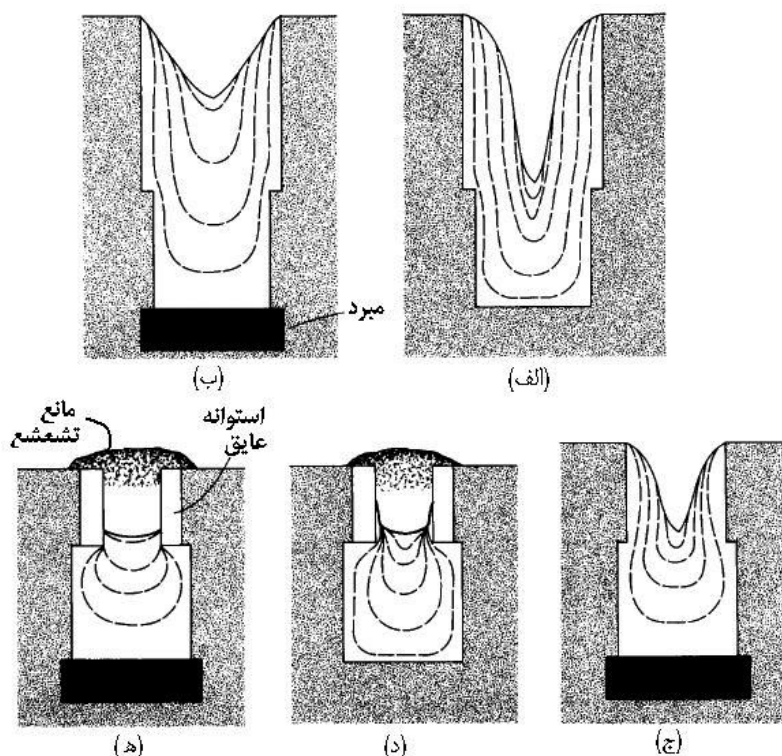
نکته‌ای که بایستی موردتوجه قرارگیرد انقباض مرحله الف و ب است که به تغذیه نیاز دارد. ضمناً بر اثر تبدیل مذاب به جامد، دانسیته تغییر می‌کند. در صورت عدم تغذیه قطعه ریختگی مطابق شکل زیر منجمد و سرد می‌شود.



شکل ۱: شماتیکی از ترتیب انقباض حاصل از انجماد در یک مکعب آهنی

(الف) مذاب اولیه (ب) تشکیل پوسته جامد و حفره انقباض (ج) انقباض داخلی (د) انقباض داخلی به علاوه کاسه‌ای شدن (ه) پکیدن سطح

علائم قابل مشاهده از عیوب ایجاد شده‌ی حاصل از انقباض عبارتند از: حفره‌های حاصل از انقباض داخلی، تغییر شکل سطحی یا کاسه‌ای شدن، و پارگی پوسته سطحی. این عیوب برای آلیاژهای مختلف متفاوت است؛ برای مثال، ممکن است حفره حاصل از انقباض، به صورت حفره‌های ریز در قطعه پخش شده باشد و برای آلیاژهایی با استحکام بالا، تغییر شکل سطحی ایجاد نشود. همانگونه که اشاره شد، برای حذف این عیوب نامطلوب، بایستی از منبع تغذیه مناسبی استفاده شود تا اثر انقباض مذاب از دمای بارریزی تا دمای انجماد و انقباض حاصل از انجماد جبران شود (شکل زیر).



شکل: روشهای کنترل انقباض در یک مکعب آهنی برای کاهش اندازه منبع تغذیه

(الف) منبع روباز (ب) منبع روباز با مبرد (ج) منبع کوچک روباز با مبرد (د) منبع تغذیه عایق بندی شده (ه) منبع تغذیه عایق بندی شده با مبرد همانگونه که شکل فوق نشان می دهد، منبع تغذیه در اغلب موارد بایستی از قطعه ای که آن را تغذیه می کند بزرگتر باشد، زیرا باید در زمان انجماد قطعه، فلز کافی برای تغذیه آن را تامین کند. برای کاهش اندازه منبع تغذیه از روشهای مختلفی، از جمله مبردگذاری (chill)، یا عایق بندی منبع تغذیه، استفاده می شود. جدول ۱، انقباض حاصل از انجماد فلزات مختلف را که ریخته گری می شوند، نشان می دهد. این مقادیر حداقل نیاز به تغذیه را نشان می دهد. هرگونه تورم و بزرگ شدن قالب بعلت نرمی مواد و/یا فشار فلز باعث می شود نیاز به تغذیه افزایش یابد که بایستی توسط منبع تغذیه تأمین شود.

جدول ۱- انقباض انجماد فلزات مختلف

فلز یا آلیاژ	درصد حجمی انقباض حاصل از انجماد
فولاد کربنی	۲/۵-۳
فولاد ۱٪ کربن	۴
چدن سفید	۴-۵/۵
چدن خاکستری	انقباض تا ۲/۵
مس	۴/۹۲
۷۰٪ مس + ۳۰٪ روی (برنج)	۴/۵
۹۰٪ مس + ۱۰٪ آلومینیم	۴
آلومینیم	۶/۶۰
آلومینیم + ۴/۵٪ مس	۶/۳۰
آلومینیم + ۱۲٪ سیلیسیم	۳/۸
منیزیم	۴/۲
روی	۶/۵

تخلخل حاصل از انقباض را می‌توان با کنترل الگوی انجماد و شیب حرارتی بر طرف ساخت، بطوریکه حفره‌ها در خارج از قطعه ریختگی ایجاد شود. بدین منظور بایستی از منبع تغذیه استفاده شود. منبع تغذیه و قطعه ریختگی با هم یک سیستم کامل را تشکیل می‌دهند. یک قطعه ریختگی سالم را فقط با تغذیه کافی می‌توان تولید کرد. بدیهی است ایجاد خواص مهندسی مطلوب مستلزم حذف حفره‌ها از قطعه می‌باشد.

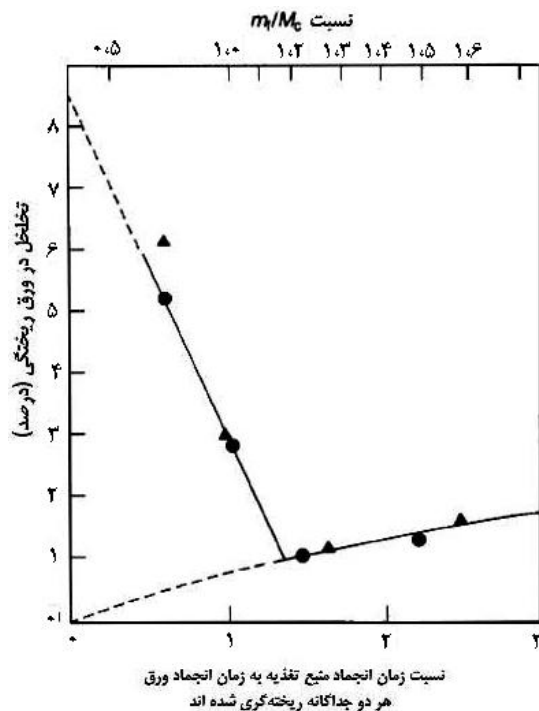
معیارها و قواعد منبع تغذیه

با توجه به این حقیقت که فلز اضافی لازم برای تغذیه به قطعه ریختگی در حال انجماد برای جبران انقباض حاصل از انجماد، معمول آن است که مخزنی جدا از فلز تامین شود. این مخزن را تغذیه کننده می‌نامند زیرا عمل آن تغذیه قطعه ریختگی است. عبارت آمریکائی Riser توصیه نمی‌شود، زیرا ممکن است با دیگر عبارات مشابه اشتباه شود. تامین منبع تغذیه می‌تواند پیچیده باشد. برای حل این معضل، با رویکردی منظم محققین از هفت قاعده برای تعیین منبع تغذیه استفاده کرده‌اند.

قاعده ۱: سؤال اصلی مربوط به تامین تغذیه برای قطعه ریختگری عبارتست از: آیا اصلاً به منبع تغذیه نیاز است؟ این پرسشی است که بسیار با ارزش است و قاعده ۱ را تشکیل می‌دهد. تغذیه گذاری انجام ندهید (جز در موردی که به طور مطلق به آن نیاز باشد). جلوگیری از تغذیه گذاری شدیداً توصیه می‌شود. برای پیش گیری از قراردادن تغذیه در قطعه چندین دلیل وجود دارد. که عبارتند از:

۱. بدیهی ترین این دلایل هزینه است. قراردادن منبع تغذیه هزینه است و جدا کردن آن از قطعه هزینه بیشتری است.
۲. کیفیت بسیاری از قطعات بدلیل نامناسب قرار گرفتن منبع تغذیه کاهش می‌یابد این موضوع در مورد قطعاتی که دیواره نازکی دارند، که پرشدن منبع تغذیه فلز را از پرکردن قطعه منحرف می‌سازد و باعث نرسیدن فلز (misrun) می‌شود، بسیار صادق است. امروزه احتمالاً نیمی از قطعات ریختگی کوچک و متوسط به منبع تغذیه نیازی ندارند.
۳. گاهی قطعه ریختگی از تاخیر در سردشدن و کاهش خواص و حتی مشکل تجمع عناصر در نتیجه وجود منبع تغذیه صدمه می‌بیند.
۴. نهایتاً در تخمین منبع تغذیه با اندازه مناسب خطا وجود دارد به طوری که قطعه ریختگی از حالتی که تغذیه نداشته باشد معیوب تر می‌شود.

اکنون فرض می‌کنیم که به منبع تغذیه نیاز است. پرسش بعدی عبارتست از: اندازه منبع تغذیه چقدر باشد؟ بدیهی است که برای منبع تغذیه اندازه بهینه‌ای وجود دارد. در شکل زیر اثر افزایش اندازه منبع تغذیه ورق ریختگی با آلیاژی از جنس $Al-12Si$ نشان داده شده است. اگر منحنی تا منبع تغذیه صفر برون یابی شوند تخلخل تقریباً به ۸٪ می‌رسد که با مقدار نظری ۷٫۱۴٪ برای آلومینیم خالص نزدیک است. در مادل منبع تغذیه در حدود ۱٫۲ برابر مادل قطعه ریختگی، قطعه در سالم ترین حالت خود قرار دارد. ۱٪ تخلخل باقیمانده احتمالاً تخلخلهای پراکنده مربوط به گاز است. با افزایش بیشتر اندازه منبع تغذیه انجماد قطعه ریختگی به تدریج در مجاورت جرم فلز منبع تغذیه به تاخیر می‌افتد بنابر این، در حالیکه این منبع تغذیه اضافی به خودی خود نامطلوب نیست، تاخیر در انجماد کل قطعه زمان موجود برای رسوب بیشتر هیدروژن به عنوان گاز تخلخل را افزایش می‌دهد. با وجود این، از این تحقیق بدیهی است که یک منبع تغذیه کوچک منجر به تخلخلهای جدی می‌شود.



شکل: اثر افزایش زمان منبع تغذیه بر سلامتی ورق ریختگی با آلیاژ Al-۱۲Si

قاعده ۲: منبع تغذیه بایستی همزمان یا دیرتر از قطعه ریختگی منجمد شود. این قاعده معیار انتقال حرارت است که به چورینف ربط داده می شود.

قاعده ۳: منبع تغذیه بایستی دارای فلز کافی برای تامین فلز لازم برای انقباض را داشته باشد. این قاعده معمولاً بنام "معیار حجم" شناخته می شود. در هر حال، قاعده های دیگری نیز که معیارهای حرارتی، هندسی، و فشاری را که شرایط کاملاً لازمی برای انجام سالم قطعه ریختگی می باشند نیز وجود دارند.

قاعده ۴: اتصال بین قطعه ریختگی و منبع تغذیه نباید نقطه داغ (hot spot) ایجاد کند. یعنی دارای زمان انجماد بیشتری نسبت به هر کدام از قطعه و منبع تغذیه داشته باشد. این مورد اگر پیش گیری نشود، مشکل ایجاد می کند و به تخلخل انقباضی در زیر منبع تغذیه منجر می شود. استفاده از معادله چورینف منجر به پاسخ غلط می شود که رابطه چورینف را زیر سؤال می برد.

قاعده ۵: برای تغذیه محللهایی که در قطعه لازم است تا تغذیه شود بایستی مسیر وجود داشته باشد.

قاعده ۶: برای ایجاد جریان فلز و حرکت فلز در جهت صحیح بایستی اختلاف فشار کافی وجود داشته باشد.

قاعده ۷: در کلیه نقاط قطعه فشار کافی برای پیش گیری از تشکیل و رشد تخلخل وجود داشته باشد. عمل فشار همچنین باعث بهبود خواص مکانیکی قطعه ریختگی می شود. برای تولید قطعه ای سالم لازم است تا کلیه قواعد فوق به خوبی رعایت شوند.

طراحی منبع تغذیه بهینه

جدول ۱ نشان می دهد که مقدار مذاب نسبتاً کمی برای تغذیه نیاز می باشد و ممکن است چنین استنباط شود که تغذیه گذاری ساده بوده و منبع تغذیه کوچکی نیاز است اما باید متذکر شویم که فلز داخل منبع تغذیه نیز تحت همان قوانین انجماد که بر قطعه ریختگی حاکم است منجمد می شود در نتیجه برای اینکه یک منبع تغذیه، موثر واقع شود باید در حین انجماد قطعه ریختگی، مذاب باقی بماند و از نظر کمی قادر به تغذیه قطعه ریختگی باشد. به عبارت دیگر منبع تغذیه (جز در مورد چدن های خاکستری) باید از قطعه ریختگی دیرتر منجمد شود. نقش مهندسی روشها، در طراحی منبع های تغذیه را می توان به طور ساده در تامین فلز تغذیه

• به مقدار صحیح

- در محل صحیح
- در زمان صحیح

خلاصه کرد. علاوه بر عوامل فوق، تامین مذاب تغذیه به عوامل دیگری نیز بستگی دارد که مهمترین آنها عبارتند از:
۱. تعداد، اندازه و شکل منبع تغذیه، باید بگونه‌ای طراحی و کمینه شود تا بهره قالب ریخته‌گری افزایش و هزینه تولید کاهش یابد.

۲. محل قرارگرفتن منبع تغذیه، بایستی بگونه‌ای انتخاب شود تا مشکلات و مسائل بالقوه‌ی ریخته‌گری (مانند تمایل به پارگی داغ، یا خم شدن قطعه) بزرگ‌نمائی نشود.

۳. برای استفاده از یک منبع تغذیه قطعات ریخته‌گری مجتمع شوند.

۴. اتصال منبع تغذیه به قطعه ریخته‌گری، باید بگونه‌ای طراحی شود تا هزینه جداسازی منبع تغذیه از قطعه ریخته‌گری، به حداقل برسد.

۵. برای کاهش حجم منبع تغذیه، بسته به مورد، از میرد^۱، عایق‌بندی، و یا مواد گرمازا استفاده شود.

۶. شرایط خاص ناشی از اتصال قطعات مختلف به هم در نظر گرفته شود.

لازم به ذکر است که بسیاری از این عوامل با هم تناقض دارند، لذا بایستی در نهایت بین این عوامل، مصالحه ایجاد شود.

شکل و خصوصیات ابعادی منبع تغذیه

قطعه ریخته‌گری، انرژی حرارتی خود را با تشعشع، هدایت و همرفت به محیط اطراف منتقل می‌کند. بدیهی است که نسبت سطح به حجم قطعه در تعیین سرعت این انتقال حرارت مهم است این مفهوم را چورینف با عبارت ریاضی زیر بیان کرده است.

$$t \propto \left(\frac{V}{A} \right) \propto \left(\frac{V}{A} \right)^2$$

هرچند، این معادله بسیار ساده شده است اما نشان می‌دهد برای اینکه زمان انجماد منبع تغذیه برابر یا بیشتر از زمان انجماد قطعه ریخته‌گری باشد باید سعی شود که شکل آن کروی باشد. معمولاً ریخته‌گری قالبهای کروی بسیار مشکل است اما به جای آن می‌توان از استوانه استفاده کرد. بعد از این هر جا بحثی از منبع تغذیه شود منظور تغذیه استوانه‌ای شکل است، انتهای تغذیه‌های جانبی ممکن است به شکل نیمکره باشد و تغذیه‌های بسته^۲ یعنی تغذیه‌هایی که بوسیله ماسه پوشیده شده‌اند ممکن است داری انتهای نیم‌کروی باشند. دلیل آن کاهش نسبت سطح به حجم است. منبع تغذیه باید دارای دو خصوصیت مستقل باشد.

(۱) منبع تغذیه (جز درمورد چدنهای خاکستری) بایستی از قطعه ریخته‌گری دیرتر منجمد شود. اگر مواد قالب اطراف منبع تغذیه و قطعه ریخته‌گری یکسان باشد، باید نسبت^۲ (حجم/سطح) برای منبع تغذیه بزرگتر از نسبت^۲ (حجم/سطح) قطعه ریخته‌گری باشد. در هر قطعه ریخته‌گری نسبت حجم به سطح (V/A) را مادل سردشدن^۳ می‌نامند.

(۲) منبع تغذیه باید در زمان انجماد ریخته‌گری مذاب باقی بماند. معادله چورینف راهنمای خوبی برای تعیین اندازه منبع است. قطعاتی که نسبت حجم به سطح آنها بالا باشد (کره یا مکعب) نسبتاً به آهستگی سرد می‌شوند و در نتیجه نسبت به اندازه خود به منبع تغذیه بزرگتر نیاز دارند. قطعاتی که همان حجم کره یا مکعب قبلی را دارا باشند اما نسبت حجم به سطح آنها پایین باشد (ورق‌ها، میله‌ها) به سرعت منجمد می‌شوند که در نتیجه به منبع تغذیه کوچکتری نیاز دارند. برای

^۱ cill

^۲ blind riser

^۳ Cooling Modulus

مثال، قطعه مکعبی شکلی به وزن ۱۰۰ lb به منبع تغذیه‌ای به وزن ۱۰۰ lb نیاز دارد، اما برای ورقی به ضخامت یک اینچ و وزن ۱۰۰ lb فقط منبع تغذیه‌ای به وزن ۱۵ lb کفایت می‌کند.

روشهای محاسبه حجم (اندازه‌ی) منبع تغذیه

برای محاسبه‌ی اندازه‌ی منبع تغذیه و امکان تامین مذاب در مدت زمان انجماد قطعه، روش‌های متعددی ابداع شده است که برخی از آنها عبارتند از

۱. روش فاکتور شکل (Shape factor method):

۲. روش هندسی (Geometrical Method)

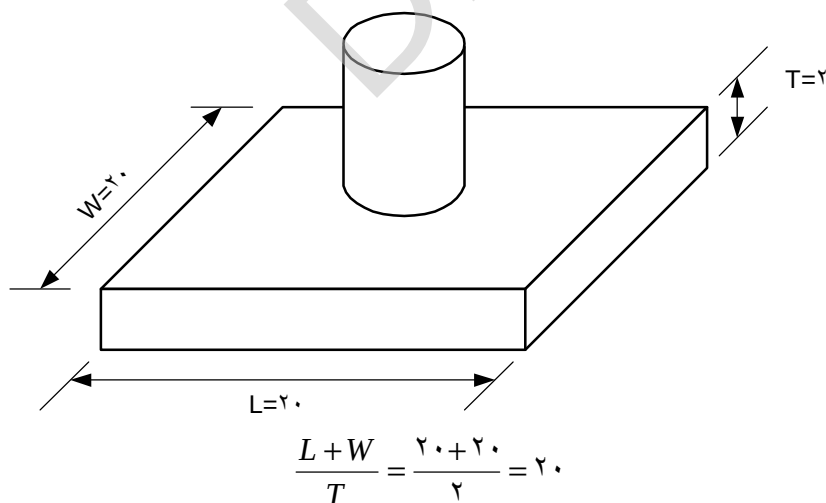
۳. روش مادول (Modulus Method)

۴. روش کامپیوتری (Computerized Method)

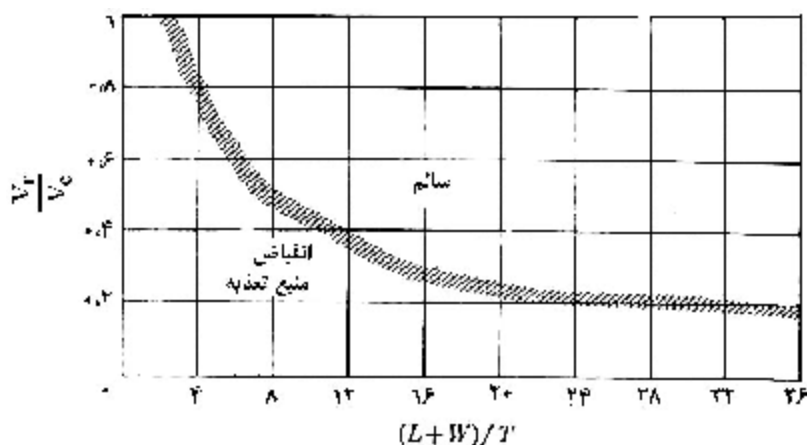
۱. روش فاکتور شکل یا روش آزمایشگاه تحقیقاتی نیروی دریایی

بر اساس نظریه آقای کاین (Caine) و تحقیقات آزمایشگاه تحقیقاتی نیروی دریایی (NRL) آمریکا، روش ساده‌ی جدیدی برای تعیین حجم منبع تغذیه معرفی شده است. در این روش اندازه‌ی منبع تغذیه، بر اساس محاسبه‌ی فاکتور شکل (Shape factor)، مجموع طول و عرض قطعه ریختگی تقسیم بر ضخامت آن، تعیین می‌شود. مزیت عمده‌ی این روش حذف محاسبات سعی و خطاست. این روش بر مبنای محاسباتی استوار است که نشان می‌دهد نسبت (حجم منبع تغذیه به حجم قطعه) برای قطعات بزرگ بایستی بالا باشد زیرا نسبت (سطح به حجم) آنها نسبتاً پائین است. سهولت این روش در معرفی ضریب شکل $(L+W)/T$ به جای محاسبات پر زحمت برای تعیین نسبت سطح به حجم در ریخته‌گریهای پیچیده است، که L طول، W عرض و T ضخامت (حداکثر ابعاد قطعه اصلی) است. برای مثال اگر یک قطعه ریخته‌گری دارای تعدادی ضمائم کوچک باشد در محاسبات ضریب شکل وارد نمی‌شود اما در محاسبات حجم وارد می‌شود. برای روشن شدن مطلب به مثال‌های زیر توجه شود.

برای محاسبه منبع تغذیه ورقی به ابعاد مشخص شده در شکل زیر به روش زیر عمل می‌شود.



با استفاده از منحنی زیر و استفاده از این فاکتور شکل فوق



شکل: نمودار تغذیه گذاری فولاد (تقریباً ۲/۵ تا ۵/۵ درصد کربن)

خواهیم داشت.

$$\frac{V_r}{V_c} = 0.25$$

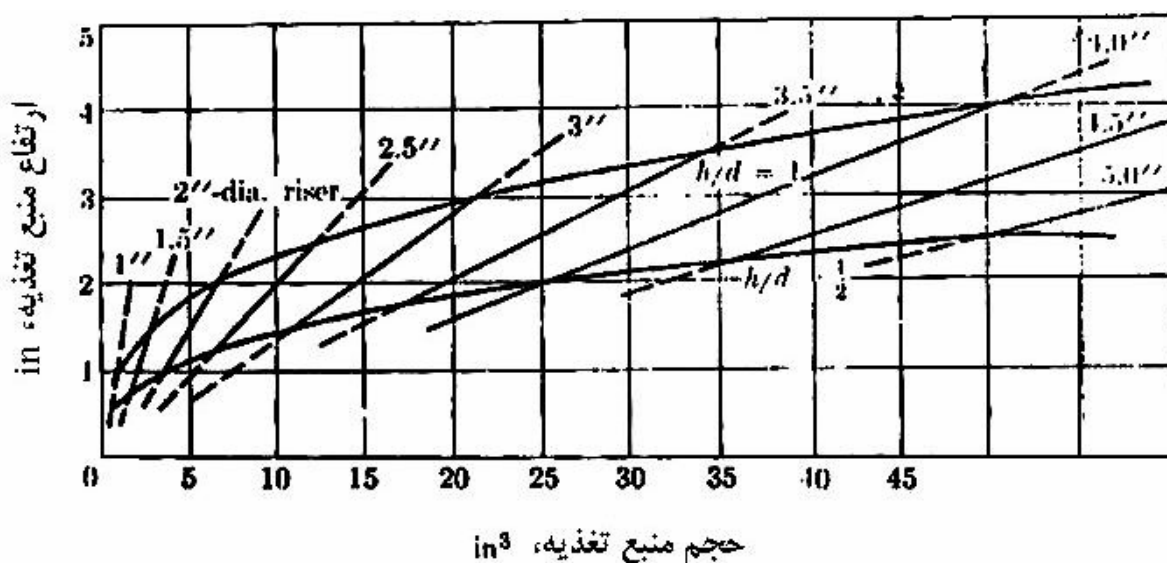
یا

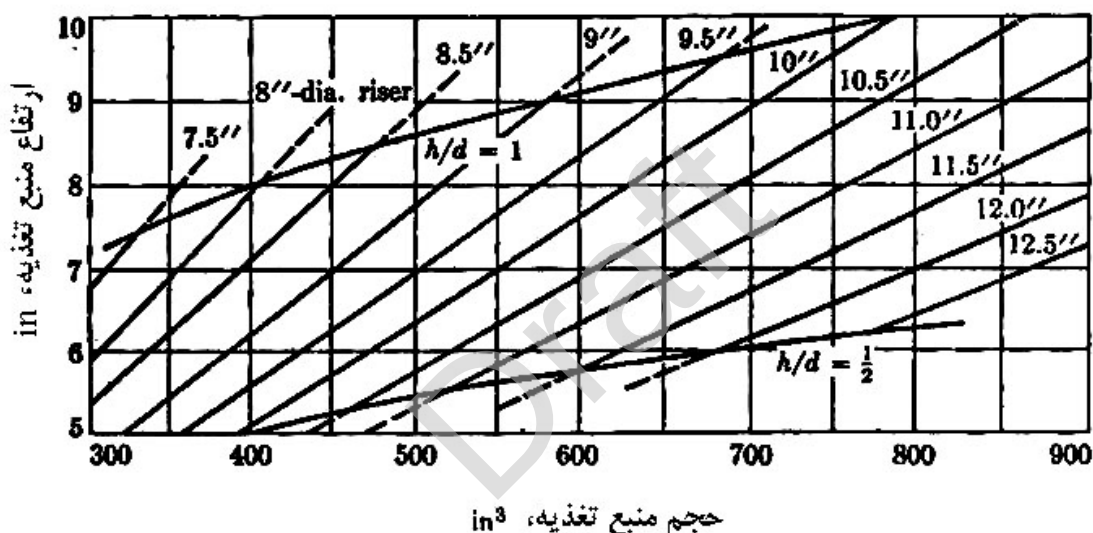
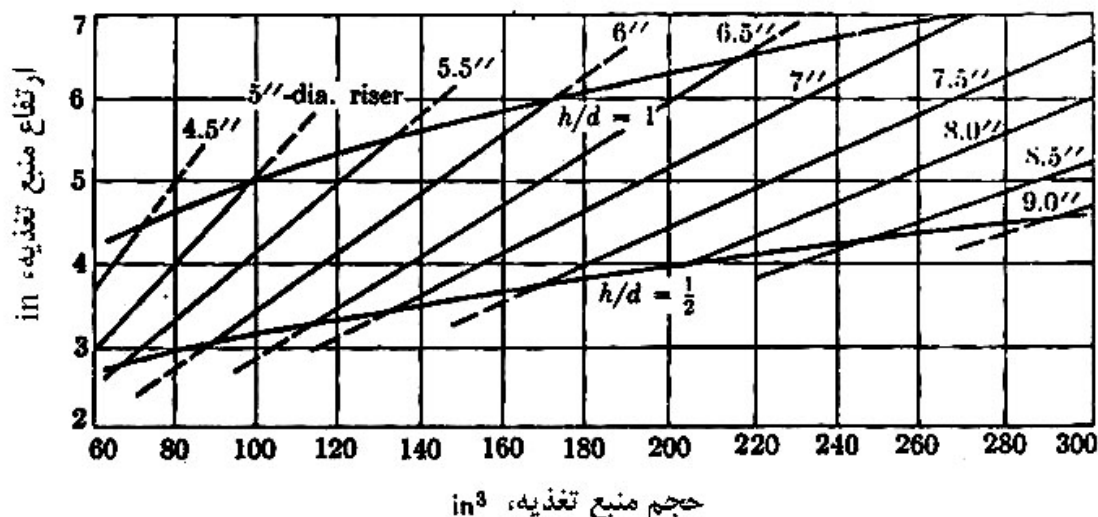
$$V_c = 20 \times 20 \times 2 = 800 \text{ in}^3$$

که در نتیجه

$$V_r = 800 \times 0.25 = 200 \text{ in}^3$$

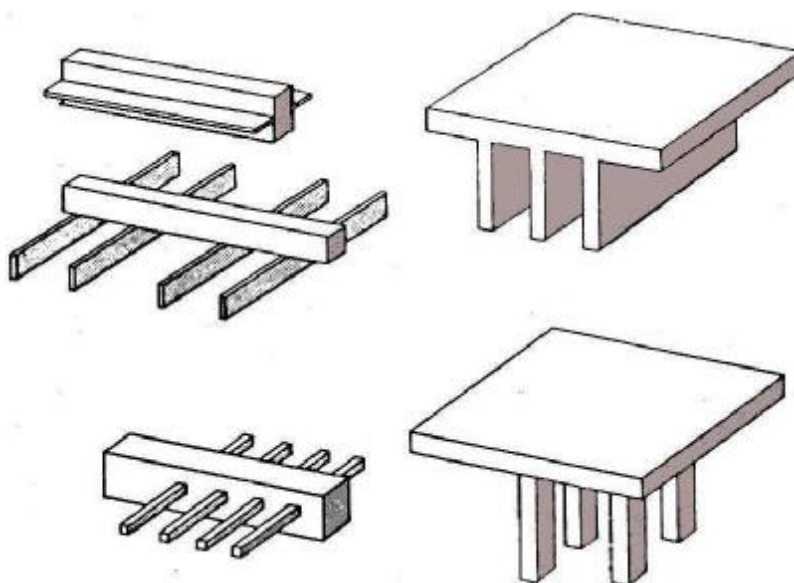
مثال عملی دیگر محاسبه‌ی اقتصادی‌ترین اندازه‌ی منبع تغذیه برای ریخته‌گری قطعه فولادی به ابعاد $5 \times 10 \times 2 \text{ in}$ است. در این مورد نیز، ابتدا با محاسبه ضریب شکل $(L+W)/T$ که در این مورد برابر $7.5 (= (10+5)/2)$ است، محاسبه را شروع می‌کنیم. سپس با استفاده از شکل فوق نسبت V_r/V_c یا (حجم تغذیه به حجم قطعه ریخته‌گری) را بدست می‌آوریم که برابر 0.55 می‌باشد. از آنجاییکه حجم این قطعه ریخته‌گری برابر 100 in^3 است حجم منبع تغذیه لازم برابر $55 \text{ in}^3 = 100 \times 0.55$ می‌باشد. با استفاده از شکل زیر می‌بینیم که این حجم به منبع تغذیه‌ای به قطر $4/5$ اینچ و ارتفاع $3/5$ اینچ نیاز دارد.





شکل ۱۱_ نمودار برای تبدیل حجم تغذیه به ابعاد

به طور تجربی می‌توان نشان داد که برای منابع تغذیه جانبی، اقتصادی‌ترین نسبت h/d برابر یک و برای منابع تغذیه فوقانی برابر $\frac{1}{2}$ است. بنابراین، اگر این قطعه با منبع تغذیه جانبی تغذیه شود، با استفاده از منحنی‌های شکل ۱۱ بهترین ابعاد $H = 4.25$ in و $D = 4.25$ in است، اما برای منبع تغذیه فوقانی $H = 2.63$ in و $D = 5.25$ in بهترین ابعاد به شمار می‌رود. برای ورق دایره‌ای شکل به قطر ۱۰ اینچ و ضخامت ۲ اینچ ضریب شکل برابر $\frac{L+W}{T} = \frac{10+10}{2} = 10$ است، برای محاسبه اندازه منبع تغذیه از حجم واقعی ورق یعنی 157 in^3 استفاده می‌کنیم. همچنین برای استوانه‌ای به قطر ۴ اینچ و ارتفاع ۱۰ اینچ ضریب شکل برابر $\frac{L+W}{T} = \frac{10+4}{2} = 7$ است که در این مورد نیز از حجم واقعی استوانه برای محاسبه اندازه منبع استفاده می‌شود. در عمل نتایج روش کاین و روش NRL برای قطعات ساده با هم برابر است اما برای قطعات پیچیده‌ای که دارای ضمام زیاد است، مانند شکل ۱۲ که دارای ضمام پشت‌بند (rib) نازک دیگری هستند روش NRL اعمال می‌شود. اگر پشت بندها یا دیگر ضمام نازک باشند بر زمان انجماد قطعه اصلی تاثیری ندارند. فقط افزایش جزئی در فلز مذاب منبع تغذیه ضروری است تا ضمام را تغذیه کند.



شکل ۱۲- مثال‌هایی از قطعات ریخته‌گری به شکل‌های مختلف

محاسبه حجم اضافی منبع تغذیه بر حسب درصد فلز مذابی که بایستی به آن اضافه شود در شکل زیر داده شده است.



شکل ۱۳- درصد حجم ضمیمه که باید برای محاسبه اندازه منبع به حجم قطعه اصلی اضافه شود.

کلیه ضمائم را می‌توان به صورت میل یا ورق در نظر گرفت (وقتی عرض سطح مقطع بیش از ۳ برابر ارتفاع آن باشد ورق و اگر کمتر باشد آن را میل در نظر می‌گیریم). به علت اینکه نسبت سطح به حجم میل بیشتر از یک ورق است سرعت سرد شدن یک میل با ضخامت مساوی با ورق، از ورق بیشتر است. این موضوع در مورد ورقی که میل را تغذیه می‌کند واضح است. ورقی به ضخامت یک اینچ، مساوی میلی‌ای به ضخامت ۱٫۶ اینچ است.

در این اندازه سرعت سرد شدن هر دو با هم برابر است و میل باید به عنوان $V_{parent} = 100\% \rightarrow 1.6 = \frac{t_p}{t_c} = 1.6$ در این اندازه سرعت سرد شدن هر دو با هم برابر است و میل باید به عنوان

قسمتی از قطعه ریختگی اصلی در نظر گرفته شود. با وجود این وقتی ورق توسط یک میل تغذیه شود به ۶۰٪ ضخامت میل برسد دیگر نباید آن را به عنوان ضمیمه و طفیلی در نظر گرفت. برای روشن شدن مطلب فرض کنید یک برآمدگی با سطح مقطع 1 in^2 و طول 4 in به ورقی با ابعاد $2 \times 5 \times 10$ اضافه شده باشد این برآمدگی در محاسبات ضریب

شکل وارد نمی‌شود و در نتیجه ضریب شکل برابر با $\frac{7}{5} = \frac{1+5}{2} = \frac{L+W}{T}$ است و حجم میل ضمیمه (برآمدگی)

برابر با $4 \text{ in}^3 (= 1^*4)$ می‌باشد با توجه به شکل ۱۳ واضح است که ۳۰ درصد حجم میله ضمیمه یا $1.2 \text{ in}^3 (= 0.3^*4)$ باید به حجم قطعه اصلی اضافه شود و از روی آن حجم منبع تغذیه تعیین شود یعنی:

$$10 \times 5 \times 2 + 1.2 = 101.2 \text{ in}^3$$

نتیجتاً حجم منبع تغذیه برابر خواهد بود با

$$101.2^*0.55 = 55.7 \text{ in}^3$$

ریخته‌گری استوانه‌های توخالی نیز حالت خاصی می‌باشد زیرا انتقال حرارت از جوانه مرکزی محدود می‌شود و سرعت سرد شدن قطعه به عنوان یک کل از ورق با همان ضخامت کمتر است ساده‌ترین روش در نظر گرفتن آن به صورت یک ورق است اما باید آن را تصحیح کرده و ورق معادل با ضخامت موثر را به روش زیر تعیین نماییم. اگر T ضخامت واقعی دیواره استوانه و T_e ضخامت موثر ورق باشد، می‌توانیم از تقریب‌های زیر استفاده نماییم.

قطر جوانه نسبت به ضخامت	$\frac{1}{2}T$	$1T$	$2T$	$4T$	ورق مسطح
ضریب تصحیح (K)	۱,۱۷	۱,۱۴	۱,۰۲	۱,۰	(۱,۰)

$$T_e = kT$$

به عنوان مثال استوانه‌ای به قطر خارجی 12 in و قطر داخلی 4 in و ارتفاع 12 in را در نظر بگیرید. از جدول فوق ضخامت ورق معادل آن را محاسبه می‌کنیم.

$$\frac{12-4}{2} = 4 \text{ in} \quad \text{ضخامت دیواره}$$

قطر داخلی برابر با ضخامت است ($1T$) که در نتیجه K برابر با 1.14 می‌باشد در نتیجه:

$$T_e = 1.14^*4 = 4.56 \text{ in}$$

$$SF = \frac{12 + 12}{4.56} = 5.14 \quad \text{ضریب شکل}$$

با استفاده از شکل خواهیم داشت.

$$\frac{V_r}{V_c} = 0.47 \rightarrow V_r = 0.47 V_c$$

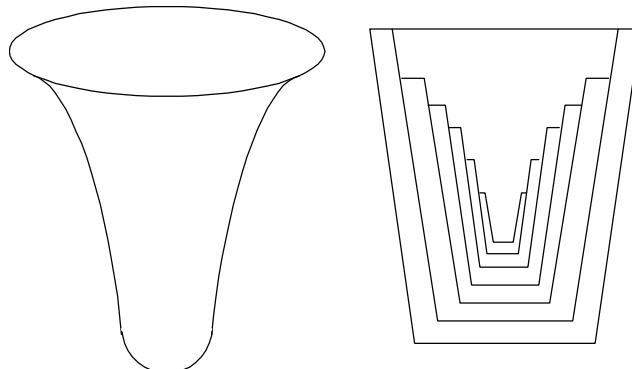
$$V_r = 0.47(6^2 - 2^2)p \times 12 = 567 \text{ in}^3$$

که با توجه به شکل

$$D = 11.5 \text{ in} \text{ و } H = 5.5 \text{ in}$$

۲. روش هندسی (Geometrical Method)

در این روش ابداعی از شکل مخروطی حفره‌ی انقباض که در منبع تغذیه تشکیل شده و به طور هم‌زمان فلز را به داخل قطعه، تغذیه کرده و از دیواره‌ها به سمت داخل منجمد می‌شود، بهره گرفته شده است.



سپس شکل مخروطی حفره‌ی انقباض به لوله‌ای استوانه‌ای ساده می‌شود. اندازه‌ی این لوله به وزن قطعه ریختگی و درصد انقباض (هم انقباض سرد شدن مذاب و هم انقباض حاصل از انجماد مذاب) بستگی دارد. برای این کار از منحنی‌ها (نوموگراف) و جداول مناسبی استفاده می‌شود. برای تعیین اندازه لوله برای آلیاژ معین و اندازه قطعه و برای نسبت‌های متعددی از ارتفاع لوله H_p تقسیم بر قطر لوله D_p مطابق شکل زیر، اندازه‌ی واقعی منبع تغذیه با احاطه کردن لوله با منبع تغذیه‌ای به ضخامت دیواره W که در آن

الف) برای قطعات ورق مانند، ضخامت قطعه ریختگی $W =$

ب) برای قطعات مکعبی شکل، طول ضلع مکعب $W = ۰/۳۵$

ج) برای میله‌های مدور W دو (۲) برابر با قطر میله

قطر نهائی منبع تغذیه D_r برابر خواهد بود با

$$D_r = D_p + 2W$$

ارتفاع کل منبع تغذیه H_r نیز برابر است با

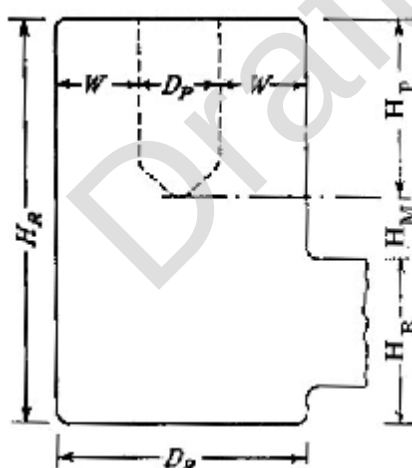
$$H_r = H_p + H_m + H_b$$

که در این رابطه

H_p ارتفاع لوله

H_m ارتفاع مقطع میانی

H_b ارتفاع پایه (بالا تر از محل اتصال منبع تغذیه به قطعه)



شکل ۱۴ سطح مقطع حفره استوانه‌ای در منبع تغذیه جانبی

محاسبه منبع تغذیه آهن چکش‌خوار به روش فوق بسیار موفقیت‌آمیز است. همانگونه که در فوق اشاره شد، این روش براساس اندازه‌گیری واقعی حفره استوانه‌ای ایجاد شده به علت انقباض در قطعه ریخته‌گری و سیستم تغذیه که برای تولید قطعه سالم لازم است استوار است. این اندازه‌گیری را با پرکردن حفره استوانه‌ای از آب و سپس اندازه‌گیری حجم آب داخل استوانه، انجام می‌دهند. اگر چنین اندازه‌گیری امکان‌پذیر نباشد، درصد انقباض را می‌توان بر اساس مشخصات قبلی قطعه تخمین زد. با استفاده از شکل ۱۴ به شرح زیر است.

الف: ابتدا وزن قطعه ریخته‌گری تعیین می‌شود.

ب: سپس با استفاده از فرمول زیر، حجم مذاب مورد نیاز برای تغذیه قطعه تعیین می‌شود.

$$V_f = \frac{m \times R_p}{r}$$

که در این رابطه

V_f حجم فلز تغذیه مورد نیاز (برای چدن سفید حدود ۶ درصد و وزن هر اینچ مکعب مذاب حدود ۰,۲۷ پوند است).

m وزن قطعه ریختگی

R_f درصد فلز تغذیه (درصد انقباض)

r وزن یک اینچ مکعب مذاب

ج: آنگاه D_p و H_p یعنی قطر و ارتفاع حفره استوانه‌ای محاسبه می‌شود.

$$V_f = p \left(\frac{D_p}{2} \right)^2 \times H_p$$

واضح است که ادغام‌های مختلفی از مقادیر D_p و H_p می‌تواند V_f را ایجاد کند، اما اندازه‌گیری‌های D_p و H_p از حفره‌های استوانه‌ای ایجاد شده در منبع‌های تغذیه تعدادی قطعه ریخته‌گری نشان می‌دهد که H_p حدودا ۱,۵ تا ۳ برابر D_p است. نسبت بهینه $H_p:D_p$ حدود ۱ : ۲,۵ است. این مقادیر را می‌توان در معادله قرار داد و V_f را بدست آورد. آسان‌ترین روش استفاده از نمودار شماره ۱۵ می‌باشد.

برای منبع تغذیه‌ای به حجم 6 ft^3 که نسبت $H_p:D_p$ برابر ۲,۵:۱ باشد، با توجه به نمودار شماره ۱۵، اگر فقط از یک منبع استفاده شود مذاب تغذیه را می‌توان با استوانه‌ای با $H_p = 3,6 \text{ in}$ و $D_p = 1,45 \text{ in}$ تامین نمود و نیز اگر قرار باشد از چند منبع استفاده شود روش عمل برای هر منبع شبیه روش فوق است. د: آنگاه D_r تعیین می‌شود، D_r قطر منبع است که در شکل ۱۴ نشان داده شده است.

$$D_r = 2W + D_p$$

که در این رابطه W عبارت از ضخامت قطعه ریختگی است و برابر با ضخامت موثر ورق یا نصف قطر میله‌ای است که باید تغذیه شود و یا در مکعب‌ها برابر با $0,35E$ است که E طول ضلع مکعب است.

مثال: قطعه‌ای دایره‌ای شکل به وزن ۲۷ lb با سطح مقطع یکنواخت به ضخامت ۰,۷۵ in را در نظر بگیرید. حجم منبع تغذیه آن برابر است با

$$V_f = \frac{27 \times 0,06}{0,27} = 6 \text{ in}^3$$

D_p و H_p در مراحل ب و ج تعیین شدند. اگر از یک منبع استفاده شود، آنگاه

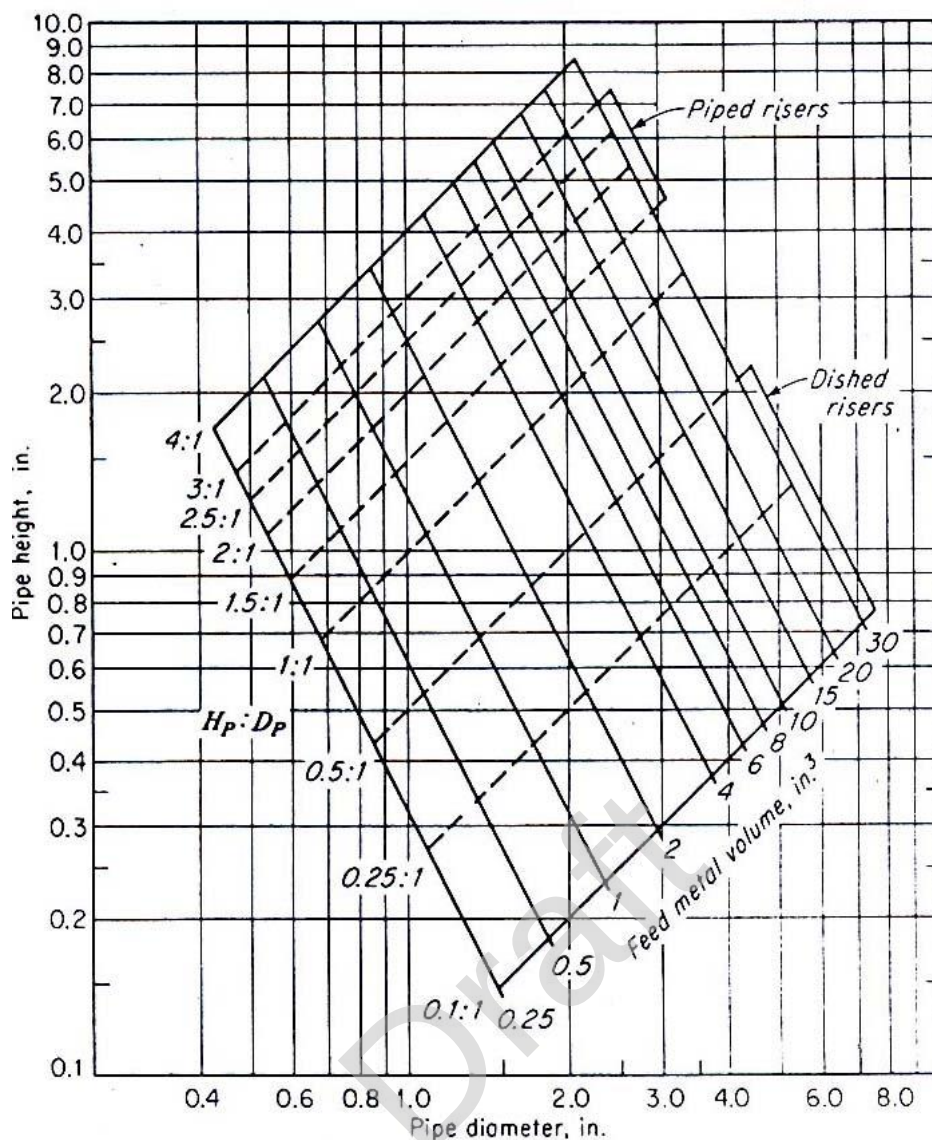
$$D_r = 2 \times 0,75 + 1,45 = 2,95 \text{ in}$$

است. اما اگر از دو منبع استفاده شود که هر کدام 3 in^3 تغذیه انجام دهند، آنگاه برای هر منبع

$$D_p = 1,125 \text{ in}$$

$$H_p = 2,8 \text{ in}$$

$$D_r = 2 \times 0,75 + 1,125 = 2,625 \text{ in}$$



شکل ۱۵- نمودار رابطه بین HP، DP و حجم فلز تغذیه

تمرین ۱: زائده‌ی کوچکی به ابعاد $1\frac{3}{4} \times 5\frac{1}{2} \times 20$ in^۳ به صورت طولی به میله‌ای به ابعاد $3\frac{1}{2} \times 5 \times 20$ in^۳ متصل است. منبع تغذیه اقتصادی را برای ریخته‌گری بی‌عیب این مجموعه محاسبه کنید.

تمرین ۲: زائده‌ی کوچکی به ابعاد $3\frac{1}{4} \times 3 \times 30$ in^۳ به صورت طولی به قطعه‌ای به ابعاد $10 \times 20 \times 30$ in^۳ متصل است. منبع تغذیه اقتصادی را برای ریخته‌گری بی‌عیب این مجموع محاسبه کنید و تعیین کنید که آیا یک منبع تغذیه برای تغذیه این قطعه کفایت می‌کند یا خیر؟

۳. روش مادل

روش مادل (Modulus Method) بر این ایده بنا شده است که زمان انجماد قطعه یا قسمتی از قطعه ریخته‌گری را می‌توان با رابطه چورینف به طور تقریبی تخمین زد.

$$t = B \left(\frac{V_c}{A_c} \right)^{\frac{1}{n}} = k^{\frac{1}{n}} M_c^{\frac{1}{n}}$$

که در این رابطه

B یا $k^{\frac{1}{n}}$ ثابتی است که بر خواص فلز و قالب حاکم است.

برای محاسبه عملی منبع تغذیه، به محاسبه زمان واقعی انجماد نیازی نیست. فقط تعیین زمان انجماد نسبی کفایت می‌کند، لذا

$$t \propto \frac{V_c}{A_c}$$

که $\frac{V_c}{A_c}$ را مادول سردشدن یا مادول ریختگی می‌نامند که معمولاً برای فولادها

$$M_r = 1.2 M_c$$

است.

روش تغذیه‌گذاری چورینف

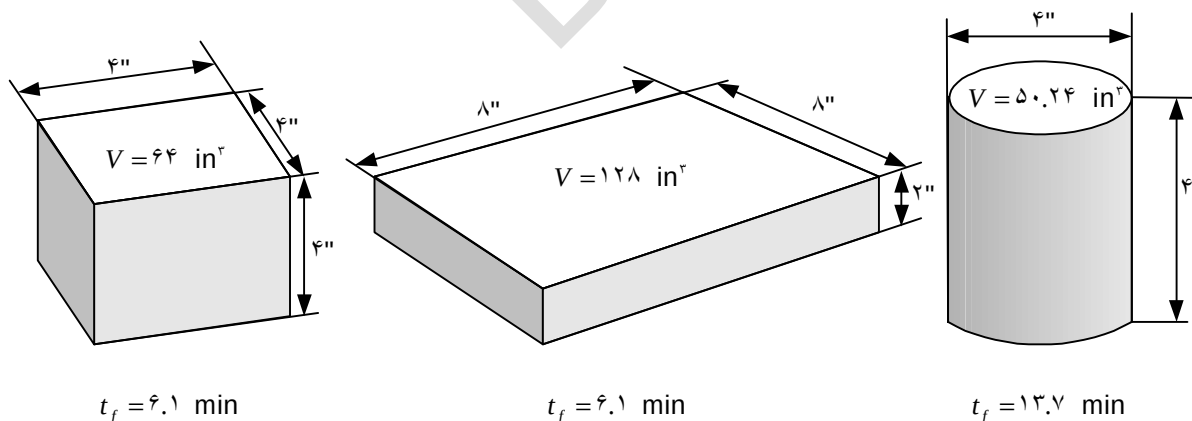
اولین و مشهورترین روش کمی در تغذیه‌گذاری مربوط به چورینف است. او نشان داد که زمان لازم برای انجماد کامل یک قطعه ریختگی از فرمول زیر تبعیت می‌کند.

$$t_f = B \left(\frac{V}{A} \right)^2$$

که برای افزایش زمان انجماد، باید حجم، V ، افزایش و یا سطح، A ، کاهش یابد. لذا کوششهایی برای محاسبه اندازه منبع تغذیه با استفاده از فرمول چورینف صورت گرفته است در این روش قطعه و منبع، به صورت دو قطعه ریخته‌گری مجزا از هم در نظر گرفته می‌شود و با فرض یکسان بودن مواد قالب اطراف قطعه و منبع تغذیه، اندازه منبع طوری تعیین می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد:

$$\left(\frac{V}{A} \right)_{\text{Riser}} > \left(\frac{V}{A} \right)_{\text{Casting}}$$

این کوششها چندان موفق نبوده است زیرا معادله چورینف، انقباض حاصل از انجماد را در نظر نمی‌گیرد. برای مثال، سه شکل زیر را در نظر بگیرید



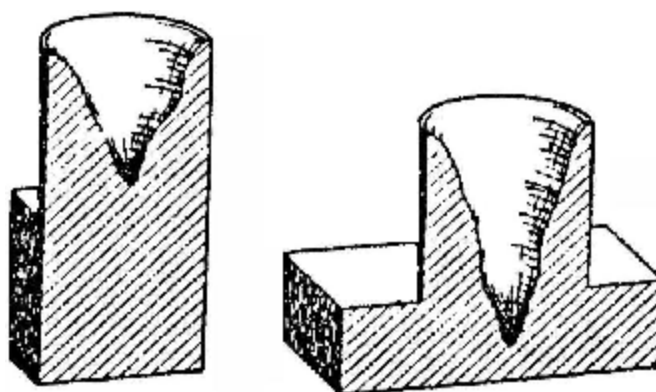
شکل ۲: زمان‌های انجماد برخی قطعات ساده ریخته‌گری (فولاد در ماسه)

استوانه‌ای بقطر ۴ اینچ و ارتفاع ۴ اینچ، بطوری عایق‌بندی شده است که حرارت فقط می‌تواند از طریق سطوح جانبی آن انتقال یابد

B که ثابت قالب^۱ ماسه‌ای برای ریخته‌گری فولاد است، برابر 13.7 min/in^2 است. با استفاده از فرمول چورینف، زمان انجماد استوانه برابر ۱۳٫۷ دقیقه و زمان انجماد هر کدام از دو قطعه دیگر یعنی مکعب و ورق، برابر ۶٫۱ دقیقه است. از

^۱ Mold constant

آنجائیکه زمان انجماد استوانه تقریباً دو برابر زمان انجماد ورق و مکعب است انتظار می‌رود که بتوان استوانه را به عنوان منبع تغذیه به مکعب یا ورق متصل کرد (شکل زیر)



شکل: تغذیه‌گذاری مکعب و ورق

همانطوری که از نتایج مشاهده می‌شود منبع، مکعب را تغذیه می‌کند اما ورق دارای حفره انقباضی بزرگی است. این حفره از آن جهت ایجاد می‌شود که حجم ورق، از حجم مکعب بسیار بزرگتر است و به عنوان تغذیه به مذاب بیشتری نیاز دارد، هر چند این دو، زمان انجماد مساوی دارند. در نتیجه برای تغذیه کامل، به طور همزمان، برآورده شدن دو شرط زیر ضروری است.

- الف: زمان انجماد منبع تغذیه از زمان انجماد قطعه ریخته‌گری بیشتر باشد.
- ب: منبع تغذیه، مذاب کافی برای جبران انقباض را تامین کند.

۴. روش کامپیوتری (Computerized Method)

در طی دهسال اخیر، برنامه‌های کامپیوتری متعددی برای طراحی منبع تغذیه ارائه شده است که بر مبنای طراحی، به دو دسته تقسیم می‌شوند.

- الف) دسته اول: نرم‌افزارهای تعیین اندازه منبع تغذیه که بر مبنای یکی از سه روش فوق بنا شده‌اند.
- ب) دسته دوم: نرم‌افزارهای مشابه‌سازی انجماد که بر مبنای محاسبات انتقال حرارت، برای پیش‌بینی عملکرد منبع تغذیه (پیشرفت انجماد در قطعه ریخته‌گری و منبع تغذیه) طراحی شده‌اند.

روش کاین

حجم منبع تغذیه بایستی برای تامین فلز مذاب مورد نیاز، انقباض ایجاد شده بر اثر سرد شدن مذاب و انقباض حاصل از انجماد کافی باشد. علاوه بر این، منبع تغذیه خود منجمد خواهد شد بنابراین نیاز به کل انقباض مجموع قطعه و منبع تغذیه، بایستی برآورده شود. کاین (Caine) برای محاسبه اندازه منبع تغذیه، فرمول زیر را پیشنهاد کرده است.

$$x = \frac{a}{y-b} + c$$

در این فرمول $x = \frac{(A_c/V_c)}{(A_r/V_r)}$ نسبت انجماد است، که بایستی از ۱:۱ بیشتر باشد. همچنین در رابطه فوق

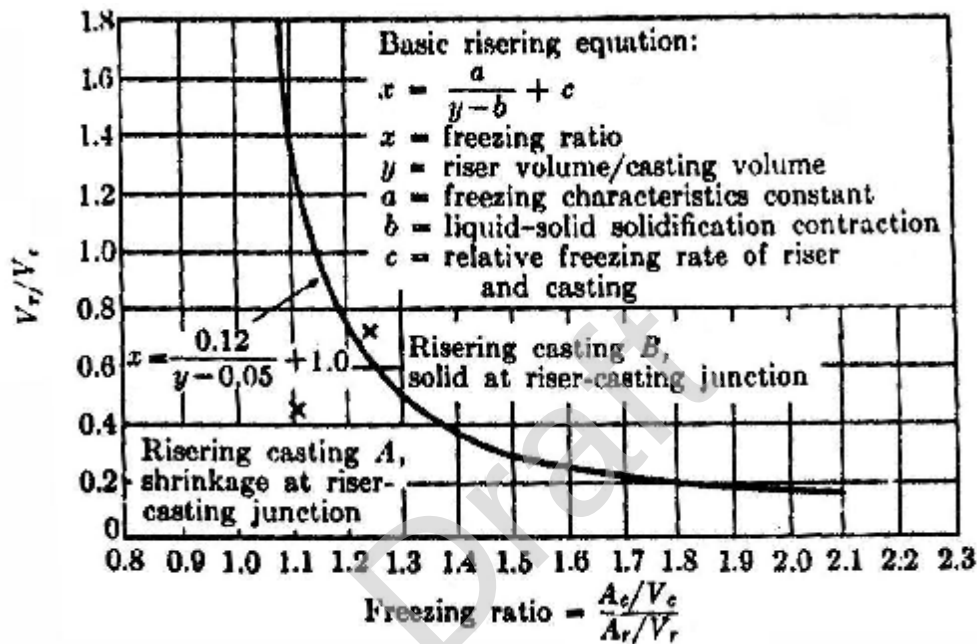
A_c	مساحت سطح قطعه ریخته‌گری
V_c	حجم قطعه ریخته‌گری
A_r	مساحت سطح منبع تغذیه
V_r	حجم منبع تغذیه

$$y = \frac{V_r}{V_c} \text{ است}$$

اعداد ثابت می‌باشند که از طریق آزمایش تعیین می‌شوند. این فرمول برای انجماد فولاد عبارتست از:

$$x = \frac{0.12}{y - 0.05} + 1$$

رابطه فوق درمنحنی تغذیه‌گذاری هایپربولیک (شکل ۴) نشان داده شده است. کاین نسبت (سطح به حجم) را به عنوان ضریبی که نماینده زمان انجماد است و با نسبت $\frac{A}{V}$ (سطح/حجم) درفرمول چورینف نسبت عکس دارد استفاده می‌کند. دلیل کاین برای این موضوع آن است که انتقال حرارت تابعی از سطح قطعه ریخته‌گری است درحالی‌که مقدار حرارت تابعی از حجم است در نتیجه رابطه خطی (A/V) سرعت سردشدن را تعیین می‌کند و در نتیجه با زمان انجماد نسبت عکس دارد.



شکل ۴--منحنی تغذیه‌گذاری برای فولاد ۰.۳ درصد کربن

بدیهی است که منبع تغذیه باید مذاب لازم را برای جبران حداقل انقباض تامین نماید که درمورد فولاد ۳٪ حجمی است. بنابراین، اندازه منبع تغذیه باید از ۳٪ حجم قطعه ریخته‌گری بیشتر باشد. این حالت حدی با بازده بالا، یعنی نسبت حجم قطعه ریخته‌گری به حجم منبع تغذیه بالا، فقط وقتی قابل حصول است که ورقهای فوق‌العاده نازک که دارای نسبت سطح به حجم بالائی هستند، ریخته‌گری می‌شوند. برای مثال، نسبت A/V برای ورقی با ابعاد $۱۰ \times ۱۰ \times ۰.۱$ اینچ برابر است با:

$$\frac{A}{V} = \frac{۱۰۰ + ۱۰۰ + ۴ \times (۱۰ \times ۰.۱)}{۱۰ \times ۱۰ \times ۰.۱} = ۲۰/۴$$

ورقی با این حجم به ۰.۳ in فلز تغذیه نیاز دارد.

$$(۱۰ \times ۱۰ \times ۰.۱ \times ۳/۰) / ۱۰۰ = ۰/۳ \text{ in}^2$$

نسبت A/V برای منبع تغذیه‌ای بشکل مکعب و با ابعاد ۰.۵ in برابر است با

$$\frac{A}{V} = \frac{۰/۵ \times ۰/۵ \times ۶}{۰/۵ \times ۰/۵ \times ۰/۵} = ۱۲$$

این نتیجه نشان می‌دهد سرعت سردشدن منبع تغذیه نسبت به ورق به مراتب آهسته‌تر است. اما مقدار فلز تغذیه برابر با $۰/۱۲۵ \text{ in}^2 (= ۰/۵ \times ۰/۵ \times ۰/۵)$ است که اگر کل آن نیز استفاده شود برای تغذیه کافی نیست به این دلیل منبع

تغذیه قطعات ریخته‌گری دارای نسبت سطح به حجم بالا، از منبع تغذیه‌ای که فقط با توجه به سرعت سرد شدن، محاسبه می‌شوند، بزرگتر می‌باشد. از طرفی، با جمع و جور شدن قطعه ریخته‌گری بطوریکه سرعت سرد شدن آن کاهش یابد همیشه مذاب کافی برای تغذیه در منبع تغذیه وجود خواهد داشت، زیرا برای سرد شدن با سرعت کم، منبع تغذیه نیز باید جمع و جور و در تمام ابعاد بزرگتر از قطعه ریخته‌گری باشد. برای مثال تغذیه مکعبی با ضلع ۴-in را در نظر می‌گیریم.

$$\frac{A}{V} = \frac{6 \times 4 \times 4}{4 \times 4 \times 4} = 1.5$$

منبع تغذیه‌ای به شکل استوانه با ارتفاع ۴٫۵ اینچ و قطر ۴٫۵ اینچ، برای ایجاد قطعه سالم ضروری است (جمع و جورترین استوانه آن است که قطر برابر ارتفاع باشد).

$$\frac{A}{V} = \frac{pdh + \pi p (d^2 / 4)}{p (d^2 / 4) h} = \frac{6}{d} = \frac{6}{4.5} = 1.33$$

اکنون محاسبه زیر را انجام می‌دهیم.

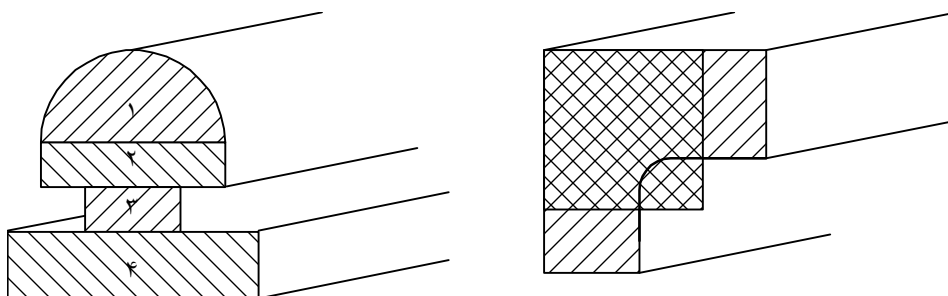
$$\frac{\left(\frac{A}{V}\right)_{\text{Casting}}}{\left(\frac{A}{V}\right)_{\text{riser}}} = \frac{1.5}{1.33} = 1.13$$

ونسبت حجمی برابر است با

$$\frac{V_{\text{riser}}}{V_{\text{casting}}} = \frac{71.5}{64.0} = 1.11$$

این مختصات در نمودار فوق صدق می‌کند، برای افزایش بازده از مبرد استفاده می‌شود.

در مواقعی که قطعه پیچیده باشد آن را به قطعاتی که شکل هندسی ساده دارند، تقسیم‌بندی می‌کنیم و سپس مادل سرد شدن (V/A) را برای هر قطعه به راحتی تعیین می‌کنیم. فقط سطوحی که در سرد شدن قطعه موثرند، در محاسبات منظور می‌شوند. سطوح فرضی (سطوح تماس) را در محاسبات حذف می‌کنیم. سپس حجم منبع تغذیه را با این اصل که باید مادل سرد شدن آن ۱/۲ برابر قطعه باشد تعیین می‌کنیم. منبع تغذیه ورق‌های نازک نه فقط به مادل سرد شدن آنها بلکه به حجم مذاب تغذیه نیز بستگی دارد (شکل زیر).



شکل ۵- قطعات پیچیده و تقسیم آنها به قطعات ساده

مادل سرد شدن منبع تغذیه را با استفاده از مادل سرد شدن قطعه ریخته‌گری تعیین می‌کنند. اما به دلیل انقباض حاصل از انجماد تغییرات نامطلوبی در مادل منبع تغذیه صورت می‌گیرد، که برای از بین بردن آن از ضریب ۱/۲ استفاده می‌شود. شکل حفره انقباض نیز بیانگر حداکثر حجم مذاب قابل استفاده منبع تغذیه نسبت به حجم اولیه آن می‌باشد. منبع تغذیه استوانه‌ای شکلی را در نظر بگیرید که تحت شرایط سرد شدن عادی حفره انقباض آن به شکل زیر است.

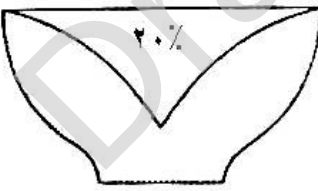
	طراحی راس Head Design
$V_S = 0.14 V_F$	رابطه انقباض به حجم اولیه V_F
γ	فاکتور (تقریبی)

شکل ۶- ظرفیت بهره‌دهی منبع تغذیه استوانه‌ای نسبت به حجم اولیه آن

می‌توان نشان داد که سطح اضافه شده مادول سردشدن نهایی را تقریباً به ۷۵ درصد مادول قبل از انقباض، کاهش می‌دهد که در نتیجه ضریب ۱/۲ برای جبران کاهش زمان انجماد منظور می‌شود. حجم حفره انقباض که بیانگر حداکثر حجم مذاب قابل دسترسی برای تغذیه است به طور تقریب شامل ۱۴ درصد حجم اولیه است. بنابراین حداکثر حجم قطعه ریخته‌گری که می‌تواند با منبعی استوانه‌ای تغذیه شود از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$V_{\max} \text{ (casting)} = V_{\text{riser}} \times \frac{14 - S}{S}$$

در عبارت فوق، S ، انقباض ویژه آلیاژ بر حسب درصد است که انقباض منبع تغذیه نیز در آن منظور شده است. بهره‌دهی فلز در منبع‌های نیمه کروی بسیار موثرتر است.

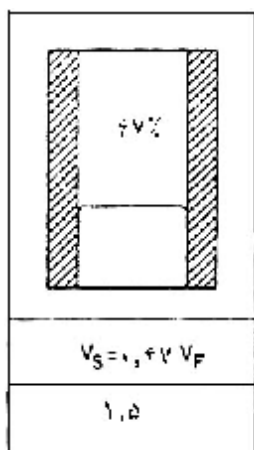

$V_S = 0.20 V_F$
δ

شکل ۷- ظرفیت بهره‌دهی منبع تغذیه نیم کره نسبت به حجم اولیه آن

در این منبع حفره انقباض عادی، ۲۰٪ حجم اولیه را نشان می‌دهد در این حالت

$$V_{\max} \text{ (casting)} = V_{\text{riser}} \times \frac{20 - S}{S}$$

موثرترین روش استفاده مذاب، در حالت استفاده از مواد گرمازا می‌باشد. زیرا لوله‌ای شدن از بین رفته و سطح مذاب به طور یکنواخت افت می‌کند.



شکل ۸- ظرفیت بهره‌دهی منبع تغذیه استوانه‌ای با پوشش مواد گرمازا

در این حالت ۶۷ درصد مذاب مصرف می‌شود.

$$V_{\max} \text{) casting } = V_{\text{riser}} \times \frac{67 - S}{S}$$

ظرفیت تغذیه منبع، تعیین کننده‌ی حداکثر بهره‌دهی^۱ ریخته‌گری برای آلیاژ بخصوص است. بر مبنای مقادیر فوق آلیاژی با ۴٪ انقباض به ترتیب دارای حداکثر بهره‌دهی ۷۱، ۸۰، و ۹۴ درصد برای منبع‌های تغذیه استوانه‌ای نیم‌کروی و حالت گرمازاست.

روش آدامس و تیلور

برخورد اساسی‌تر با مسئله تغذیه که برخوردی نظری است توسط آدامس و تیلور صورت گرفته است تا بتوان رفتار منبع تغذیه را از ثابتهای گرمائی و انجماد پیش‌بینی کرد. برای محاسبه اندازه‌ی منبع تغذیه‌ی یک قطعه ریختگی مکعبی شکل، فرض بر آن است که فلز خالص دقیقاً در دمای انجماد به داخل قالب ماسه‌ای بارریزی می‌شود و انجماد با شیب حرارتی ناچیزی ادامه می‌یابد. قطعه ریختگی و منبع را به عنوان دو واحد مجزا در نظر می‌گیریم که با سطح غیر قابل نفوذ حرارت، از هم جدا شده‌اند که مذاب می‌تواند از این سطح عبور کند اما حرارت نمی‌تواند با هدایت یا همرفت از آن عبور کند. زیرا دمای مذاب دو طرف این سطح مساوی و برابر دمای انجماد است.

زمان انجماد قطعه مکعبی، t_f با استفاده از معادله چورینف برابر است با

$$t_f = B \left(\frac{V_c}{A_c} \right)^2$$

رابطه مشابه برای زمان انجماد منبع تغذیه نیز برابر است با

$$t_f = B \left(\frac{V_{rf}}{A_r} \right)^2$$

که A_r مساحت منبع تغذیه است و شامل سطح فوقانی منبع نیز می‌باشد زیرا حرارت از این سطح نیز منتقل می‌شود. اما سطح اتصال منبع به قطعه در محاسبه منظور نمی‌شود.

و V_{rf} نیز حجم فلز نهائی منجمد شده در منبع تغذیه است که از حجم حفره منبع تغذیه به مقدار انقباض حاصل از انجماد قطعه و منبع تغذیه کمتر است. این مقدار به عبارت ریاضی برابر است با

$$V_{rf} = V_r - b(V_r - V_c)$$

که V_r حجم حفره منبع تغذیه و β درصد انقباض حاصل از انجماد (برای فولاد برابر ۳ درصد) بوده و از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

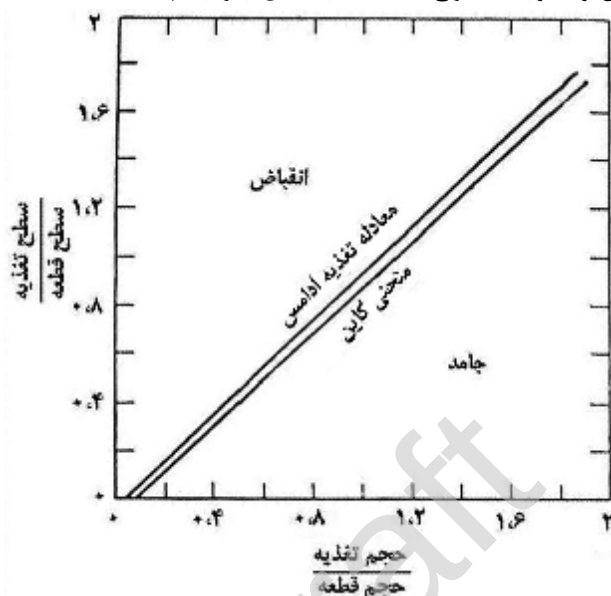
$$b = \frac{V_l - V_s}{V_l} = \frac{r_s - r_l}{r_l}$$

که V_l و V_s به ترتیب حجم مخصوص مذاب و جامد و ρ_s و ρ_l وزن مخصوص مذاب و جامد است.

منبع تغذیه‌ای که دارای اندازه بهینه باشد بایستی دقیقاً همزمان با قطعه منجمد شود در نتیجه از تساوی معادله ۱ و ۲ که به جای V_{rf} از معادله ۳ مساوی آن قرار داده شود، خواهیم داشت.

$$(1-b) \frac{V_r}{V_c} = \frac{A_r}{A_c} + b$$

معادله ۵- در آغاز توسط آدامس و تیلور استخراج شد که در شکل زیر رسم شده است.



شکل: نیاز به تغذیه‌گذاری در قطعات ریخته‌گری فولاد

(منحنی کاین حاصل نتایج تجربی است و منحنی آدامس با استفاده از معادله ۵ رسم شده است).

با عایق‌بندی منبع تغذیه، می‌توان راندمان آن را به مقدار زیادی افزایش داد. برای مثال فرض کنید منبع تغذیه کاملاً با لایه ضخیمی از عایق حرارتی مانند گچ محصور شده باشد، در حالی که قطعه در داخل ماسه، ریخته‌گری شود. در این مورد نیز روش تجزیه و تحلیل قبلی اعمال می‌شود، با این تفاوت که ثابتهای قالب، مساوی نبوده و در محاسبات منظور می‌شود، در نتیجه معادله تغذیه‌گذاری نهائی به صورت زیر خواهد بود.

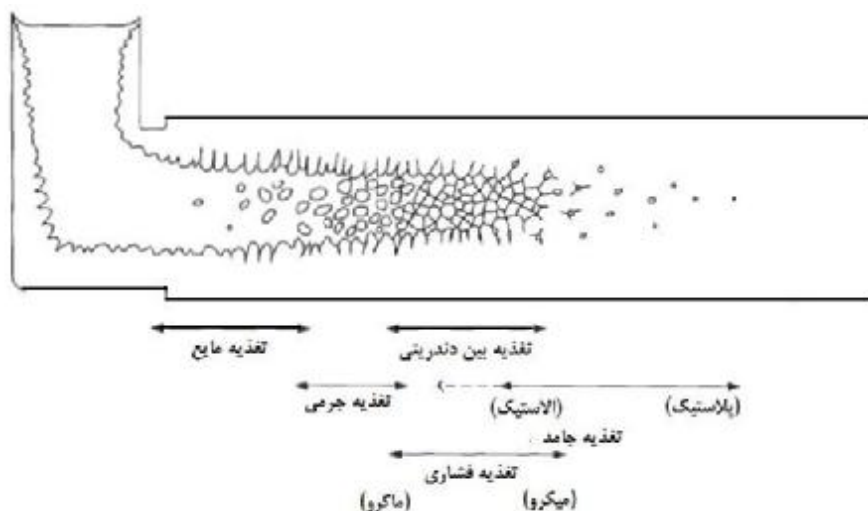
$$(1-b) \frac{V_r}{V_c} = \left(\frac{B_c}{B_r} \right)^{1/2} \frac{A_r}{A_c} + b$$

که B_c و B_r ثابتهای قالب در معادله چورینف می‌باشد.

پنج مکانیسم تغذیه

در طی انجماد قطعه ریختگی، پخش تدریجی و رشد جامد، اغلب به شکل توده‌ای از دندریته‌های درهم پیچیده باعث مشکل‌شدن عبور فلز تغذیه می‌شود. در حقیقت، با منقبض شدن فلز در حال انجماد و تشکیل جامد، فشار در مذاب افت می‌کند، باعث اختلاف فشار بیشتر بین داخل و خارج قطعه ریختگی می‌شود. در واقع فشار داخلی ممکن است بیشتر کاهش یابد و منفی شود و به عنوان کشش هیدروستاتیکی عمل کند. ایجاد چنین اختلاف فشارهای منفی و حتی کشش هیدروستاتیکی واقعی، در ریختگری نامطلوب است. چنین پدیده‌هایی نیروی محرکه شروع و رشد عیوب حجمی مانند تخلخل و فرورفتگی‌های سطحی و کاهش خواص است.

حداقل پنج مکانیسم تغذیه برای کاهش کشش هیدرواستاتیکی در ماده در حال انجماد وجود دارد. احتمالاً البته همه پنج مکانیسم نمی‌توانند در یک مورد واحد عمل کنند. تغذیه کافی با یک یا چند تا از این مکانیسم‌ها تنش در مذاب در حال انجماد را ازاد می‌کند و نتیجتاً احتمال تشکیل عیوب را کاهش می‌دهد. شش مکانیسم تغذیه در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل: ارائه شماتیکی پنج مکانیسم تغذیه در قطعه در حال انجماد (کمپ بل ۱۹۶۹)

۱- تغذیه مایع:

انواع منبع‌های تغذیه

منبع‌های تغذیه انواع مختلفی دارد که عبارتند از:

۱- منبع بسته (پوشیده)

منبع تغذیه مرسوم، منبع تغذیه‌ای است که به اتمسفر باز است. منبع تغذیه بسته، منبع تغذیه‌ای است که با ماسه قالب پوشیده شده و معمولاً به گونه‌ای طراحی می‌شود که سطح بر واحد حجم آن حداقل باشد (شکل زیر).

شکل: سطح مقطع قطعه‌ی ریخته‌گری تغذیه شده با منبع بسته با هواکش اتمسفری ایجاد شده با ماهیچه مدادی

در مورد فولاد، که در حین انجماد پوسته‌ی جامدی تشکیل می‌دهد، کانال زودتر منجمد می‌شود، و قطعه و منبع تغذیه بسته، پوسته بسته‌ای از فلز تشکیل می‌دهند که به علت انقباضی که در حین انجماد اتفاق می‌افتد، ایجاد خلاء جزئی می‌کنند. با ایجاد انقباض در قطعه ریختگی، فلز از منبع تغذیه به داخل قطعه کشیده می‌شود تا آن را جبران کند. این موضوع حتی اگر منبع تغذیه، از قطعه ریختگی بالاتر نباشد، اتفاق می‌افتد، ولی شیب حرارتی باید طوری باشد که ابتدا قطعه منجمد شود. البته اگر ارتفاع منبع تغذیه از ارتفاع قطعه بیشتر باشد، مزیت اضافی نیز حاصل می‌شود. علاوه بر این، اگر پوسته‌ی قطعه به اندازه کافی قوی باشد و پوسته منبع تغذیه بسته، سوراخ شود، تا فشار اتمسفر اعمال و اثر کند، در آن صورت منبع می‌تواند قطعه‌ای با ارتفاع بیشتر از خود را تغذیه کند، فشار اتمسفر، فلز مذاب را با فشار به داخل فضاهاى انقباض می‌راند. پوسته‌ی منبع را می‌توان با لائی گذاشتن ماهیچه‌ی ماسه‌ای یا گرافیتی به اتمسفر باز نگهداشت (شکل). وقتی منبع تغذیه‌ی بسته‌ای به این طریق، استفاده شود بنام منبع تغذیه‌ی اتمسفری یا فشاری نامیده می‌شود. منبع تغذیه بسته مزایایی دارد که از آنجمله:

۱. گرمترین فلز در منبع و سردترین آن در قطعه است که در نتیجه انجماد جهت‌دار می‌شود.
۲. گستره قابل ملاحظه‌ای در قرار دادن منبع تغذیه بسته ایجاد می‌شود.
۳. منبع تغذیه بسته می‌تواند از منبع‌های تغذیه باز کوچک‌تر باشد.

۴. منبع تغذیه بسته می‌تواند به سهولت از قطعه جدا شود.

از معایب منبع تغذیه بسته، بویژه اگر مقطعی را که ارتفاع بالاتری دارد تغذیه کند، آن است که شکست در پوسته قطعه فشار را متعادل می‌کند و تاثیر منبع را کاهش می‌دهد.

۲- منبع تغذیه داخلی

منبع تغذیه‌ای که به طور کامل یا تا حدودی با قطعه ریخته‌گری محصور شده باشد، بنام منبع تغذیه داخلی نامیده می‌شود. این نوع منبع‌ها را می‌توان در داخل قطعات ریخته‌گری دوار یا استوانه‌ای بکار برد. از آنجائیکه این منبع‌ها با قطعه محبوس شده‌اند، سرعت سرد شدن آنها از سرعت شدن منبع‌های تغذیه‌ای که در قسمت فوقانی یا جانبی قطعه قرار گرفته‌اند، کمتر است. این بدین معنی است که می‌توان آنها را کوچک‌تر در نظر گرفت و در نتیجه بهره‌دهی قطعه را افزایش داد. دو نوع از این منبع‌ها در شکل‌های زیر نشان داده شده‌اند.

شکل: مثالهایی از الف) منبع تغذیه روباز ب) منبع تغذیه بسته داخلی ۹,۲۰ رزنتال

تجمع قطعات ریخته‌گری

در رابطه با استفاده از منبع تغذیه‌های داخلی افزایش راندمان می‌باشد اگر چندین قطعه ریخته‌گری را بتوان با هم در اطراف یک منبع تغذیه مجتمع نمائیم. یک منبع نه فقط چندین قطعه را تغذیه می‌کند بلکه تجمع قطعات نزدیک منبع باعث کاهش سرعت سرد شدن آن می‌شود. بطوریکه می‌توان از منبع کوچکتری استفاده کرد (شکل ۹,۲۱ رزنتال)

انبساط و اتساع قالب

پس از پر شدن حفره قالب با فلز مذاب، حرکت دیواره‌های قالب می‌تواند قطعه ریخته‌گری را بزرگتر کند و نتیجتاً فلز مذاب مورد نیاز برای تغذیه را افزایش دهد. چنین انبساطی، تابع ماده قالب، دمای بارریزی، و نوع آلیاژ است. در مورد چدن خاکستری و داکتایل، اتساع ممکن است از ناحیه فشارهای انبساطی داخلی قطعه در حال انجماد، که از رسوب گرافیت ناشی می‌شود، ایجاد شود. در قالب‌های ماسه‌ای نرم، چنین اتساعی ممکن است نیاز به فلز تغذیه را از مقدار محاسبه شده، تا ۱۵٪ افزایش دهد. در مورد آلیاژهای پایه مسی که در قالب‌های ماسه‌ای ریخته‌گری می‌شوند، حدود ۱٪ حجمی اتساع ایجاد می‌شود.

ه: طراحی بخش ایجاد فشار

اعمال فشار بر فلز مذاب، در مراحل نهائی تغذیه قطعه، تابعی از H_m است. قطر قسمت اعمال فشار همان قطر مقطع منبع تغذیه D_r می‌باشد. ارتفاع بخش ایجاد فشار H_m به محل بالاترین نقطه‌ای که باید تغذیه شود، بستگی دارد. برای آلیاژهای هیپو یوتکتیک، مانند چدن سفید، H_m بایستی حداقل ۱ اینچ بالاتر از بالاترین نقطه‌ای باشد که باید در تغذیه نهائی فشار مثبت داشته باشد. هنگامی که بالاترین نقطه‌ای که باید تغذیه شود بالاتر از خط جدایش^۱ باشد H_m می‌تواند به اندازه اتصال منبع به قطعه در درجه پائینی کاهش یابد. اگر بالاترین نقطه قطعه ریخته‌گری پایین‌تر از راهگاه ورودی منبع تغذیه جانبی باشد، آنگاه:

$$H_R = H_P + H_B + 1.0$$

و: طراحی بخش تحتانی منبع تغذیه

بخش تحتانی منبع تغذیه آن قسمت از ارتفاع تغذیه است که پایین‌تر از نقطه بالایی اتصال قرار دارد و به عنوان کانالی برای رسیدن فلز تغذیه به قطعه عمل کرده و قطر آن برابر با D_r است. ارتفاع H_B حداقل برابر $2W$ بوده و لازم نیست از D_r یا $2W + D_p$ تجاوز کند و مطمئن‌ترین ارتفاع برابر $H_B = 3W$ است.

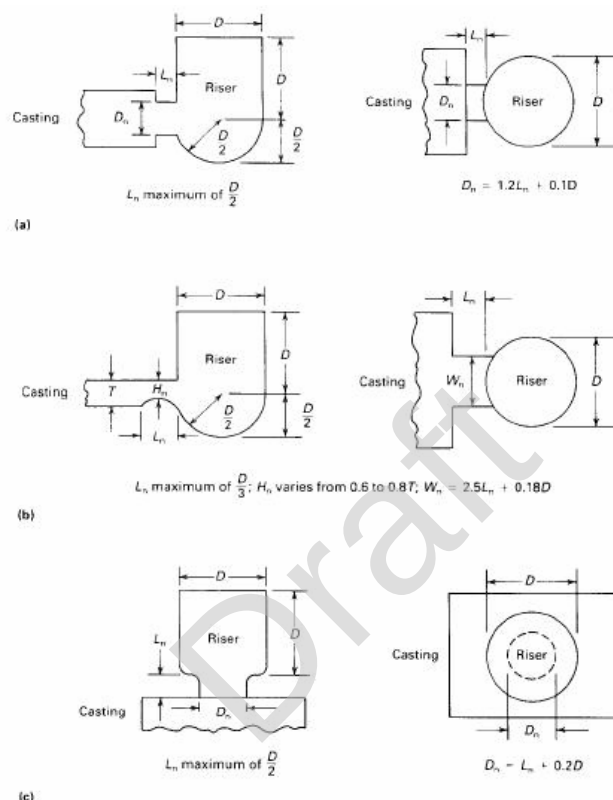
ز: طراحی اتصال منبع تغذیه به قطعه ریخته‌گری

^۱ Parting line

چگونگی اتصال منبع تغذیه به قطعه ریختگی از اهمیت خاصی برخوردار است. زیرا در وهله اول بیانگر تغذیه مناسب و در وهله ثانی بیانگر سهولت جدا شدن منبع از قطعه است. از طرفی تا حدودی نیز عمق حفره انقباض را کنترل کرده و از ادامه آن به داخل قطعه جلوگیری می‌کند.

اتصال منبع به قطعه بایستی دارای ابعاد صحیح باشد تا به عنوان کانال عمل کند. ابعاد اتصال، ابعاد باریکترین مقطع اتصال می‌باشد. ارتفاع اتصال C_h بایستی از $2w$ بیشتر و از D_r یا $2w + D_p$ کمتر باشد و بهترین ابعاد ۲ تا $5/2$ برابر w است. عرض اتصال نیز برابر $2w$ تا $0.8 D_r$ در نظر گرفته می‌شود.

ابعاد گلوگاه سه نوع منبع تغذیه در جدول زیر داده شده است که بایستی در رابطه با شکل‌های شماره استفاده شود.



شکل:

از این ابعاد وقتی استفاده می‌شود که مواد اطراف گلوگاه همان خواص مواد قالب را دارا باشد. اگر در اطراف گلوگاه از مواد عایق حرارتی استفاده شود و یا گلوگاه از ماسه ماهیچه ساخته شود، ابعاد ممکن است کوچکتر باشند.

جدول: ابعاد گلوگاه اتصال منبع به قطعه

نوع منبع	طول L_N	سطح مقطع L_N
جانبی عمومی	تا حد امکان کوتاه و نباید از $D/2$ بیشتر باشد	مدور، $D = 1.2L_N + 0.1D$
جانبی - ورق	تا حد امکان کوتاه و نباید از $D/3$ بیشتر باشد.	مربعی، $H_N = 0.6$ to $0.8D$ با افزایش طول گلوگاه $W_N = 2.5L_N + 0.18D$
فوقانی	تا حد امکان کوتاه و نباید از $D/2$ بیشتر باشد	مدور، $D_N = L_N + 0.2D$

ح: تعیین ارتفاع منبع تغذیه

ارتفاع کل منبعی که در آن حفره استوانه‌ای ایجاد می‌شود برابر با $H_P + H_M + H_B$ است. حداقل آن برابر با

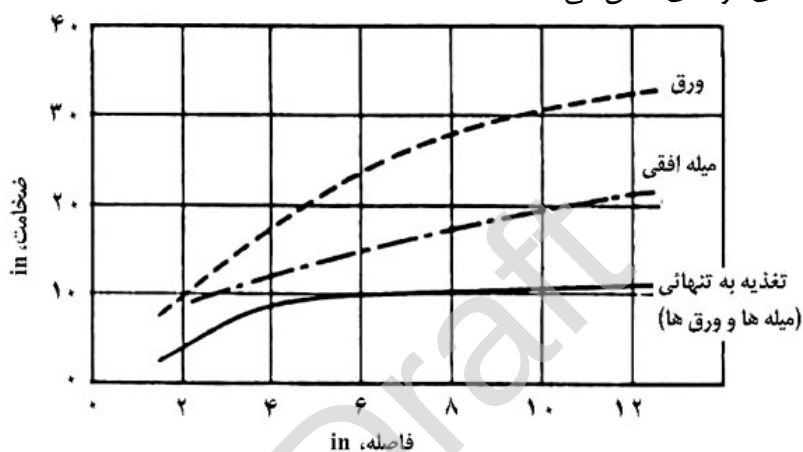
$$H_R = H_p + 1,0 + 3w$$

است که w ضخامت مقطع است اگر لازم باشد که H_M بیشتر از ۱ اینچ باشد می‌توان ارتفاع را از حداقل افزایش داد. اگر منبع بجای تشکیل حفره استوانه‌ای، تشکیل حفره بشکابی دهد ابعاد منبع نیز تغییر می‌کند که از نمودار ۱۵ می‌توان استفاده نمود.

ادامه صفحه ۲۳۸

محل قرار گرفتن منبع تغذیه

اگر میله بلند یا ورق، بدون منبع تغذیه ریخته‌گری شود طول معینی از هر انتهای میله یا ورق سالم خواهد بود. دلیل آن انجماد جهت دار ایجاد شده در دو انتها بعلت انتقال حرارت بیشتر از این نقاط به نقاط دیگر است. همچنین اگر میله‌ای بلند یا ورق با منبع تغذیه کافی در وسط، به طور افقی ریخته‌گری شود مشاهده می‌شود که بعلت تغذیه، تا فاصله معینی از منبع، قطعه ریختگی سالم است. این دو اثر، به ترتیب اثر انتهایی^۱ و اثر تغذیه^۲ نامیده می‌شود. شکل ۱۶ این دو اثر را در تغذیه ورق‌ها و میله‌های فولادی نشان می‌دهد.



شکل ۱۶- حداکثر فاصله تغذیه منبع‌ها و اثر انتهایی

برای آلیاژی که دارای CFR بالایی است قطعه ریختگی نیاز به منابع تغذیه بیشتر با فواصل کمتر دارد. به عبارت دیگر فاصله موثر تغذیه در آلیاژی که محدوده انجماد وسیعی دارند نسبت به بقیه آلیاژها کمتر است.

فاصله تغذیه

کلیه محاسبات قبلی، برای تعیین اندازه منبع تغذیه بر این فرض استوار بود که منابع تغذیه در محل مناسب قرار گرفته تا تغذیه به طور موثری صورت گیرد. برای تعیین فاصله تغذیه، فرض می‌شود که هر قطعه ریختگی را بخاطر سهولت می‌توان به ورق، میله و مقاطع مکعبی (یا کروی) تقسیم کرد. مقاطع مکعبی و کروی از نظر فاصله تغذیه مشکلی ایجاد نمی‌کند زیرا منبع تغذیه نزدیک محلی که باید تغذیه شود قرار می‌گیرد. در نتیجه اگر بتوانیم فاصله تغذیه را برای مقاطع ورق و میله تعیین کنیم، قادر به تعیین محل منبع تغذیه هر قطعه ریختگی خواهیم بود.

ورق و میله باید مطابق زیر، جداگانه مورد بررسی قرار گیرند زیرا در ورق با رشد شاخه‌ای که از دو دیواره اصلی پیشرفت می‌کند مواجهیم در صورتیکه در مورد میله چهار دیواره وجود دارد.

الف: فاصله تغذیه مقاطع میله‌ای

^۱ End Effect
^۲ Riser Effect

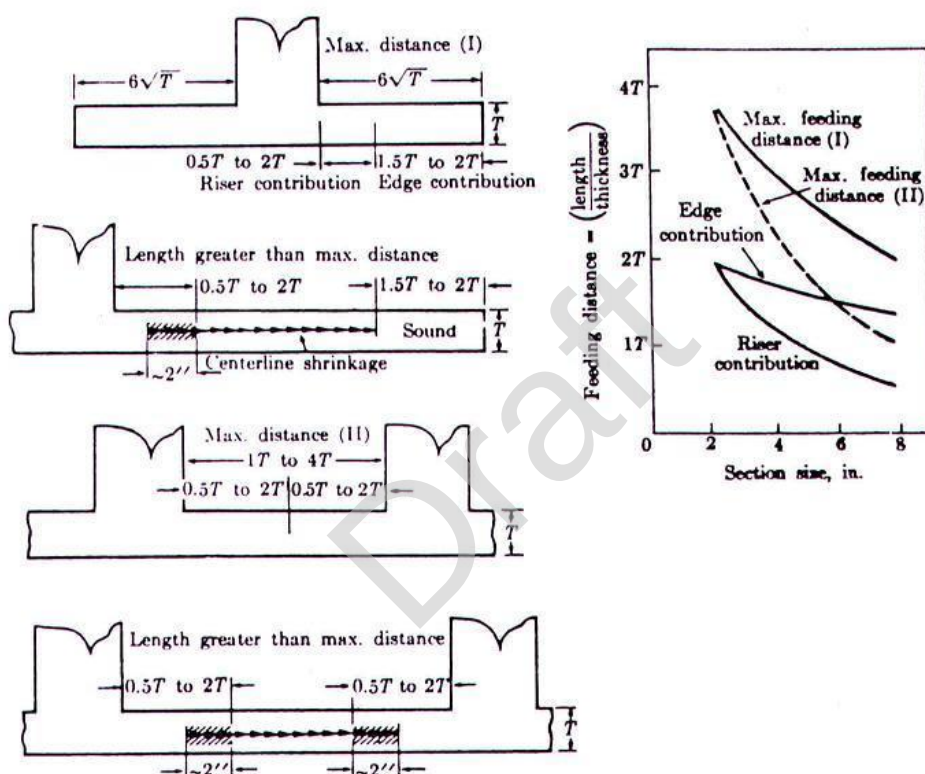
آزمایشاتی که توسط NRL برای تعیین فاصله تغذیه میله از مقاطع ۲ تا ۸ اینچ صورت گرفته است نشان می‌دهد که برای تعیین فاصله تغذیه موثر، رابطه عمومی زیر برقرار است.

$$D_{\max} = 6\sqrt{T}$$

که در این رابطه T ضخامت و D از لبه منبع تغذیه محاسبه می‌شود. و این فاصله در کلیه جوانب منبع اعمال می‌شود. هنگامیکه طول میله از فاصله منبع تغذیه بیشتر باشد لازم است از منبع‌های تغذیه اضافی استفاده شود. مثلاً اگر منبع تغذیه‌ای به قطر ۸ اینچ در مرکز میله‌ای با سطح مقطع 4×4 in بکار رود. طول میله سالم برابر ۳۲ اینچ خواهد بود.

$$6\sqrt{T} + D + 6\sqrt{T} = 6\sqrt{4} + 8 + 6\sqrt{4} = 12 + 8 + 12 = 32 \text{ in}$$

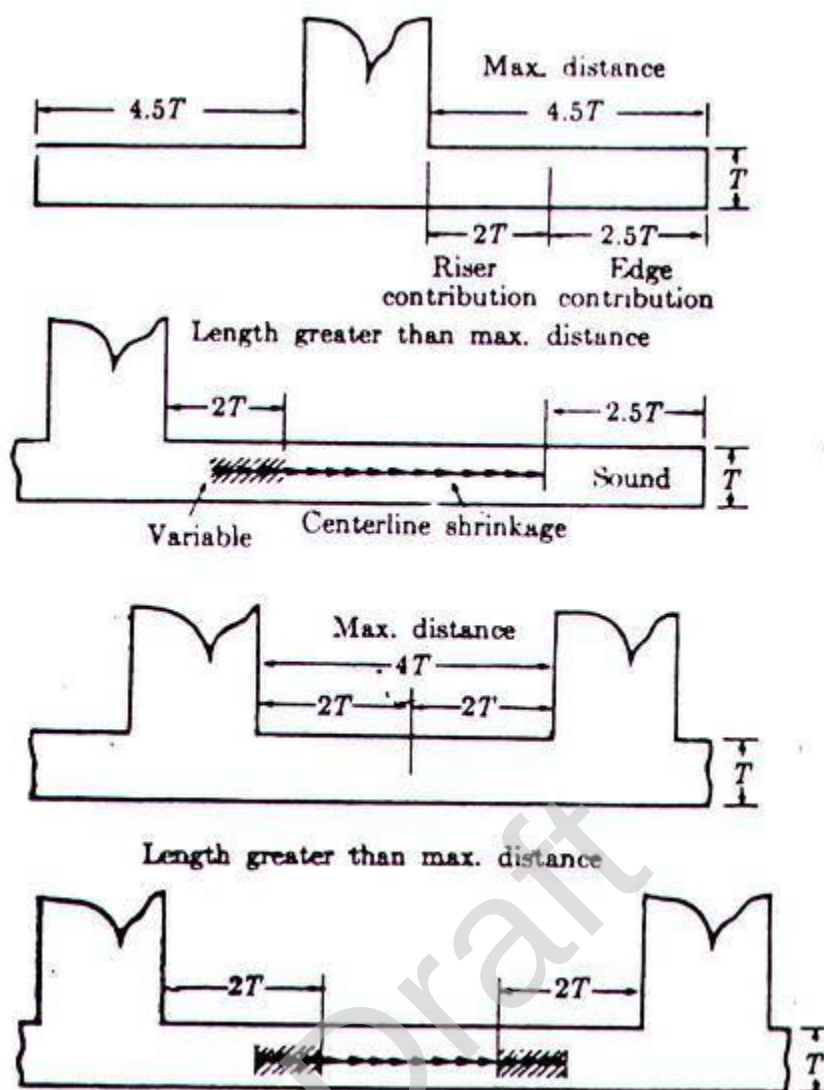
اگر میله بلندتری نیاز باشد، بایستی از دو منبع تغذیه استفاده شود. در این حالت فاصله تغذیه بین دو منبع تغذیه برای هر منبع برابر $6\sqrt{T}$ نخواهد بود بلکه برابر $1/2T$ می‌باشد زیرا در بین دو منبع سطح سردی وجود ندارد.



شکل ۱۷ - روابط تغذیه در میله‌ها

ب: فاصله تغذیه ورق‌ها

نتایج آزمایشات NRL بر روی ورق‌هایی به ضخامت $1/5$ تا 4 اینچ نشان می‌دهد که فاصله تغذیه برای اثر انتهائی و اثر منبع تغذیه برای ورق‌هایی به ضخامت ۱ تا ۴ اینچ برابر $4/5T$ می‌باشد. که اثر منبع تغذیه $2T$ و اثر انتهائی $2/5T$ می‌باشد. در نتیجه وقتی که فاصله تغذیه بین منبع تغذیه را محاسبه کنیم فاصله تغذیه هر منبع $4/5T$ نخواهد بود بلکه $2T$ می‌باشد. (شکل ۱۸)



شکل ۱۸ - اثر انتهائی و اثر تغذیه در ورقها

فاصله تغذیه مقاطع پیچیده

اگر ورق نازکی در کل طول خود، به ورق ضخیمی متصل باشد، ورق ضخیم برای ورق نازک به عنوان یک منبع تغذیه موثرتر عمل می کند. مطابق تجربه فاصله تغذیه در ورق نازک برابر $\frac{3}{5}T_H$ است که T_H ضخامت ورق ضخیم تر است در نتیجه عرض ورقی به ضخامت یک اینچ را که می توان با ورقی چسبیده به آن و با ضخامت ۴ اینچ تغذیه کرد برابر $D_H = 3(T_H - T_L) + \frac{4}{5}$ است. اما فاصله تغذیه ی منبع تغذیه، بر روی ورق ضخیم از $\frac{4}{5}T$ به $\frac{4}{5}$ $D_H = 3(T_H - T_L) + \frac{4}{5}$ $14 \times 3.5 = 14$ in می یابد که D_H فاصله تغذیه در مقطع ضخیم است و T_L و T_H به ترتیب ضخامتهای ورق ضخیم و نازک می باشد. تغییرات دقیق تر برای مقاطع متوسط تعیین شده است. که برای آن رابطه $D_M = 3.5 T_H - T_L$ را بدست آورده اند که D_M فاصله تغذیه در مقطع متوسط می باشد. اگر مقطع بسیار نازکی، برای مثال ورق 0.125 اینچ به مقطع ضخیمی (۳ اینچ) متصل شود، فاصله تغذیه در مقطع ضخیم کاهش نمی یابد، زیرا مقطع نازک باعث شتاب گرفتن سرعت سرد شدن صفحه انتهائی می شود.

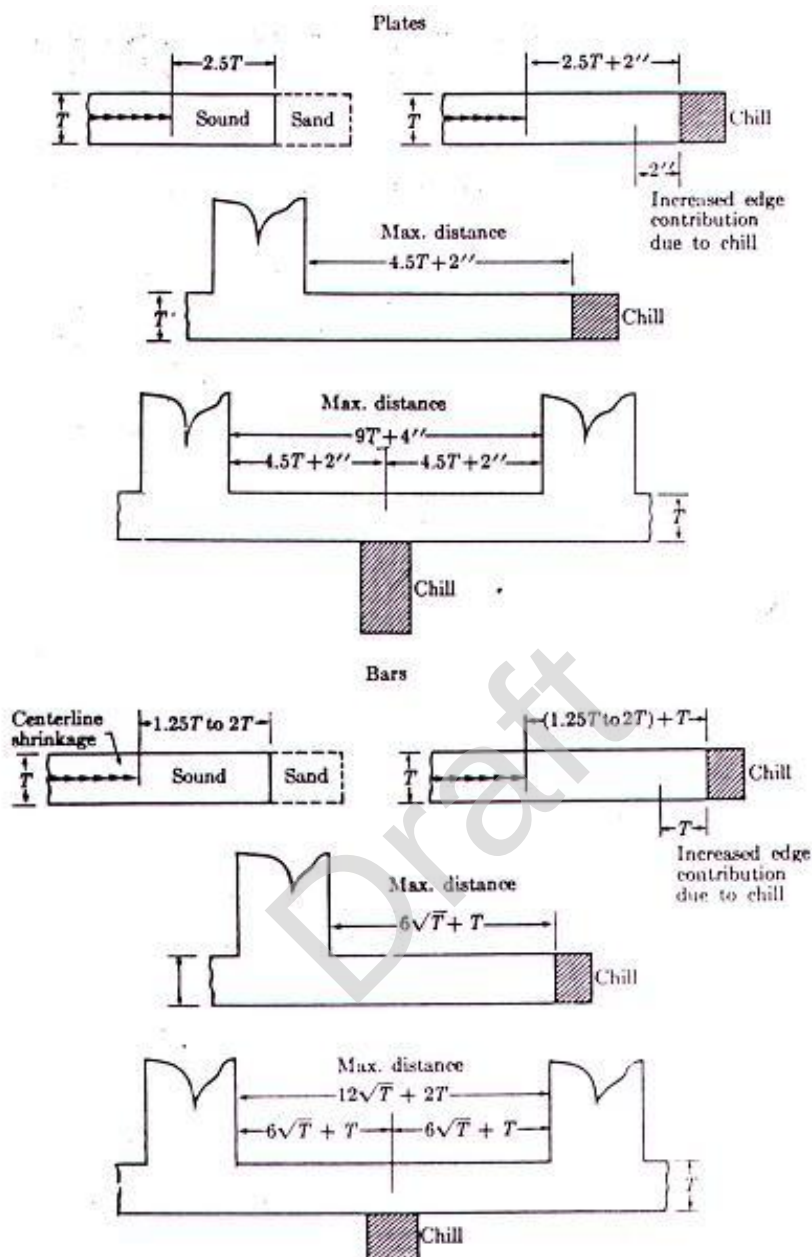
تأثیر مبرد

مبردها دو اثر قابل توجه بر قطعه ریخته گری دارند.

الف: سرعت سرد شدن را افزایش می دهند.

ب: موج شروع و پایان انجماد را بهم نزدیک می کنند (CFR را کاهش می دهند).

لازم به ذکر است که هنوز اطلاعات کافی برای تعیین این اثر وجود ندارد. ضمناً هنگامیکه هدایت حرارتی فلز از هدایت حرارتی مبرد، بسیار بیشتر باشد، مثلاً برای مس، این روش تبریدی کمتر موثر است.



شکل ۱۹- اثر مبرد و تغذیه

کاربرد اصول تغذیه‌گذاری در ریخته‌گریهای پیچیده

اکنون کاربرد اصول تغذیه‌گذاری را در ریخته‌گری قطعات پیچیده (شکل زیر) بررسی می‌کنیم. همانگونه که این شکل نشان می‌دهد، این قطعه اصولاً از دو ورق قسمت پایه و استوانه، تشکیل شده است. ضمناً با یک منبع نمی‌توان این قطعه را تغذیه کرد لذا بایستی از دو منبع تغذیه استفاده شود. پایه و نصف استوانه را می‌توان بصورت ورق در نظر گرفت که ابعاد آن $11 \times 5.5 \times 1$ in است. ضمیمه آن نیز برابر با $8 \times 5.5 \times 1$ in است. ضریب شکل آن عبارت است از:

$$S.F. = (11 + 5.5)/1 = 16.5$$

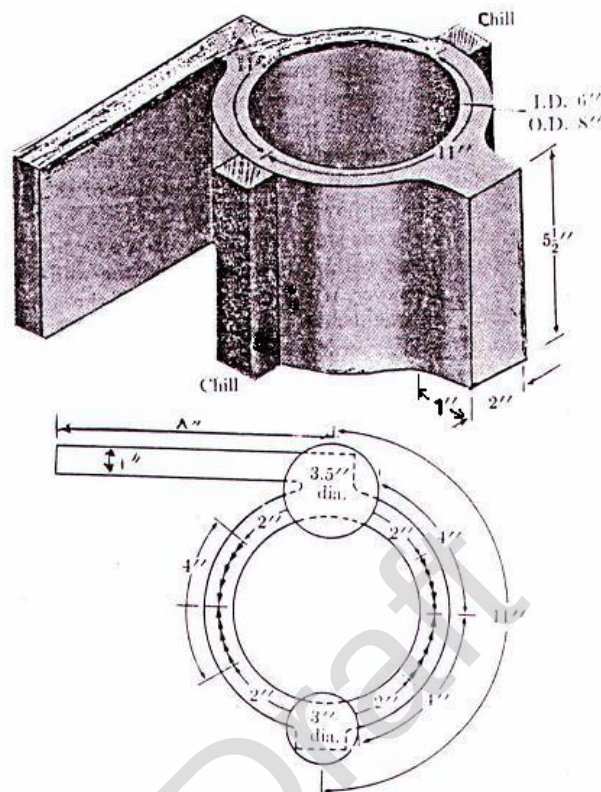
نتیجتاً ضریب حجم تغذیه‌گذاری 0.25 است. ضمناً حجم قطعه ضمیمه با توجه به شکل ۲۰ باید کامل در نظر گرفته شود، که در نتیجه:

$$V_r = 0,25 \times [11 \times 5,5 \times 1 + 1 \times 8 \times 5,5]$$

یا

$$V_r = 0,25 \times 104,5 = 26,125 \text{ in}^3$$

که در نتیجه به منبعی به ارتفاع ۲/۷ و قطر ۳/۵ اینچ نیاز است.



شکل ۲۰- ریخته‌گری قطعه استوانه‌ای

برای قسمت دوم نیز ضریب شکل همان ۱۶/۵ است. در نتیجه حجم ورق و حجم ضمیمه آن ۷۱/۵ اینچ است که حجم منبع برابر خواهد بود با:

$$V_r = 0,25 \times 71,5 = 17,875 \text{ in}^3$$

و منبع مورد نیاز عبارتست از:

$$d = 3 \text{ in}$$

$$h = 2,6 \text{ in}$$

اکنون به محاسبه فاصله تغذیه منبعها می‌پردازیم:

فاصله تغذیه منابع تغذیه برابر ۲T است. که در نتیجه این فاصله برابر با $2 \times 1 = 2 \text{ in}$ خواهد بود. شعاع دو منبع برابر است با:

$$(3 + 3/5) / 2 = 3/25 \text{ in}$$

و کل فاصله تغذیه دو منبع برابر است با:

$$2 \times 2 = 4 \text{ in}$$

کل فاصله‌ای که تغذیه خواهد شد:

$$4 + 3/25 = 7/25 \text{ in}$$

در نتیجه طولی برابر با $in \frac{3}{75} = \frac{7}{25} - 11$ تغذیه نخواهد شد لذا بایستی از مبرد استفاده شود که نتیجتاً فاصله تغذیه برابر خواهد شد با:

$$9T + 4 = 9 + 4 = 13 \text{ in}$$

که با این عمل، مشکل مرتفع می‌شود و مطابق شکل ۲۰ تغذیه‌گذاری انجام می‌شود. اولین قطعه، به طور آزمایشی ریخته‌گری می‌شود تا مشخص شود که آیا به مبرد بیشتری نیاز هست یا خیر؟

تغذیه‌گذاری چدن خاکستری

تغذیه‌گذاری چدن خاکستری تا حدودی پیچیده است. انجماد چدن خاکستری با ۳٪ کربن با مکانیسم متفاوت صورت می‌گیرد. این انجماد عبارتست از:

۱- از خط مذاب تا یوتکتیک: دندریته‌های آستنیتی جدا می‌شود.

۲- یوتکتیک: در دمای یوتکتیک، گرافیت و آستنیت به طور همزمان رسوب می‌کند.

واکنش ۱ مشابه واکنشی است که در فولاد صورت می‌گیرد. بدین معنی که رسوب آستنیت جامد، مستلزم تشکیل فاز چگال‌تری نسبت به مذاب است و نتیجتاً برای تغذیه مذاب، به منبع تغذیه نیاز است. این واکنش قبل از شروع واکنش ۲ خاتمه می‌یابد. در حین واکنش ۱، مذاب از منبع تغذیه به داخل قطعه جریان دارد. از طرفی واکنش ۲ با انبساط حجم همراه است زیرا چگالی مخلوط یوتکتیک جامد کمتر از مذاب تشکیل دهنده آن است. در حین این واکنش، مذاب از قطعه به داخل منبع تغذیه جریان می‌یابد فرآیندی که (Purging) نامیده می‌شود. اگر منبع تغذیه کوچک باشد و قسمت فوقانی آن منجمد شده باشد فشار زیادی در داخل قطعه ریخته‌گری ایجاد می‌شود و عملاً دیواره‌های آن به بیرون کمانه می‌کند. اما اگر منبع به فضای بیرون راه داشته باشد فشار بوسیله حرکت و جابجائی مذاب آزاد می‌شود. این موضوع در تعیین دقت ابعاد از اهمیت عمده‌ای برخوردار است.

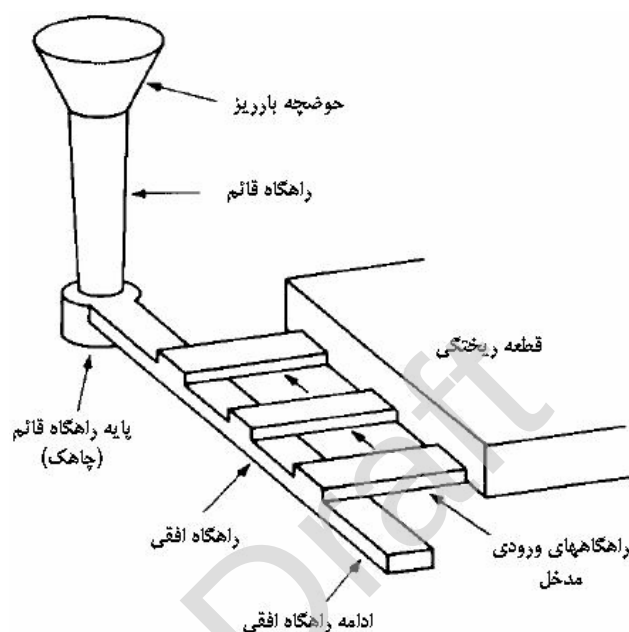
اگر حدود ۱/۵ درصد کربن گرافیتی در یوتکتیک رسوب کند، انقباض نسبی واکنش ۱ و انبساط نسبی واکنش ۲ یکدیگر را خنثی می‌کنند. این مقدار کربن به حلالیت کربن در آستنیت، که آن نیز به نوبه خود به مقدار سیلیسیم بستگی دارد. درصد گرافیت یوتکتیک را می‌توان بصورت زیر بیان داشت.

$$(\% \text{ Si}) \frac{0.1}{1} + 2 - \text{کل کربن} = \text{گرافیت یوتکتیک}$$

اگر این مقدار، برابر ۱/۵٪ کربن یا بیشتر باشد، به هیچ‌گونه تغذیه‌گذاری نیازی نیست. اما اگر از این مقدار کمتر باشد، متناسب با کاهش درصد گرافیت در یوتکتیک، به منبع تغذیه نیاز است. بنابراین چدن خاکستری، معمول‌ترین استثنا به قاعده‌ای می‌باشد که باید منبع تغذیه پس از قطعه‌ی ریختگی منجمد شود. منبع فقط بایستی تا مرحله‌ای که قطعه نیاز به تغذیه دارد، یعنی مذاب + آستنیت، مذاب باقی بماند. در پایان این واکنش، واکنش یوتکتیک ایجاد انبساط کرده و قسمتی از این تغذیه را مجدداً به داخل منبع تخلیه می‌کند.

طراحی سیستم‌های راهگاهی

سیستم راهگاهی عبارت از شبکه‌ای کانالی است که از فلز مذاب جاری، و به داخل قالب وارد می‌شود. هدف از طراحی و ایجاد سیستم راهگاه^۱، بوجود آوردن کانال جهت توزیع فلز مذاب از پاتیل به داخل محفظه قالب با سرعت مناسب، بدون افت زیاد دما و ایجاد آشفتگی^۲ در مذاب یا مجبوس شدن سرباره، گاز یا تفاله در داخل مذاب است. نوع فلزی که باید ریخته‌گری شود بر جزئیات راهگاه تاثیر زیادی دارد، زیرا فلزات سبک بیشتر در معرض اکسیدشدن قرار دارند و از طرفی نمی‌توانند مانند فلزات آهنی، فشار لازم را ایجاد کنند. در بین فلزات ریخته‌گری، آلیاژهای غیرآهنی مسائل راهگاهی مشکل‌تری را از خود نشان می‌دهند. در شکل زیر اجزای اصلی یک سیستم راهگاهی نشان داده شده است.



شکل: اجزای اصلی یک سیستم راهگاهی ساده

متغیرهای طراحی راهگاه

روشهائی که برای بهبود هر کدام از ملاحظات مطلوب طراحی که در زیر بحث می‌شود با اثر مطلوب دیگری در تناقض است. برای مثال، تسریع در پرکردن قالب ممکن است منجر به سرعتی شود که باعث سایش قالب شود. نتیجتاً هر سیستم راهگاهی معمولاً مصالحه‌ای بین ملاحظات متناقض طراحی است.

۱. پرکردن سریع قالب

تسریع در بارریزی و پرکردن قالب (Rapid Mold Filling)، به چند دلیل، به ویژه در مورد قطعات نازک، بسیار مهم است که عبارتند از:

§ افت حرارت از فلز مذاب در طی پرشدن قالب ممکن است به انجماد نابهنگام منجر شود که خود عیوب سطحی را به دنبال دارد.

§ فوق گرما (Superheat)، فلز مذاب باعث افزایش سیالیت مذاب می‌شود و نتیجتاً انجماد را به تاخیر می‌اندازد، اما فوق گرمای بیش از حد باعث جذب گازها در فلز می‌شود.

§ لازم است تا زمان پرشدن قالب از زمان تولید قالب کوتاه‌تر باشد تا بهره‌وری افزایش یابد.

۲. کمینه‌کردن اغتشاش و تلاطم مذاب

^۱ gating system

^۲ turbulence

پرکردن قالب به شیوه ناآرام (Turbulent)، باعث آسیب مکانیکی و حرارتی به قالب می‌شود، لذا به منظور پیش‌گیری از سایش قالب اغتشاش و ناآرامی مذاب باید کاهش یابد. از طرفی به دلیل محبوس شدن گازها باعث ایجاد عیب در قطعه می‌شود. ناآرامی مذاب باعث افزایش سطح مذاب شده و نتیجتاً واکنش مذاب با هوا و اکسایش آن را به همراه دارد.

۳. پیش‌گیری از فرسایش قالب و ماهیچه

سرعت بالا باعث از بین رفتن و سایش سطح قالب می‌شود، لذا باید سرعت تاحد امکان پائین باشد.

۴. حذف سرباره، تفاله و آخالها

با اعمال روشهای مناسب می‌توان این مواد را در داخل راهگاه محبوس کرد.

۵. ایجاد شیب حرارتی مطلوب

با توجه به اینکه آخرین مذابی که وارد حفره قالب می‌شود، داغ‌ترین مذاب است لذا مذاب باید به گونه‌ای و از محلی به قالب وارد شود که انجماد آن آخرین لحظه صورت می‌گیرد. روشی بدیهی برای حصول به این موضوع آن است که فلز ابتدا به منبع تغذیه هدایت شود و سپس از داخل آن به داخل قطعه وارد شود.

۶. پیشینه‌کردن بهره

هزینه‌های متعدد غیربازیافتی زیادی صرف می‌شود تا فلز مذاب، سیستم راهگاه و منبع تغذیه را پرکند و سپس این دو از قطعه جدا شده و مجدداً ذوب شوند که ارزش آنها در حد ضایعات است. لذا هزینه تولید را می‌توان با به حداقل رساندن فلز راهگاه و منبع تغذیه کاهش داد، که از طرفی ظرفیت تولید قطعات قابل فروش نیز بالا می‌رود.

۷. جداسازی اقتصادی سیستم راهگاهی از قطعه

اگر تعداد و اندازه اتصالات راهگاه و منبع تغذیه به قطعه کمینه شود آنگاه هزینه تمیزکاری و عملیات پایانی بر روی قطعه کاهش می‌یابد. همچنین اگر ورود فلز مذاب ابتدا به منبع تغذیه و سپس از منبع تغذیه به حفره قالب صورت گیرد، یک مزیت به شمار می‌رود زیرا گلوله‌ی منبع تغذیه می‌تواند به عنوان یک راهگاه عمل کند.

۸. پیش‌گیری از اعوجاج قطعه

پیش‌گیری از اعوجاج قطعه به ویژه در مورد قطعات نازک و لاغر اهمیت دارد. در این موارد توزیع غیریکنواخت گرما در حین پرشدن قالب ممکن است الگوهای نامطلوب انجمادی را ایجاد کند که باعث پیچیدگی قطعه شود. از طرفی انقباض سیستم راهگاهی در حین انجماد می‌تواند قسمتهای در حال انجماد قطعه را کشیده و منجر به پارگی گرم یا اعوجاج آن شود.

۹. سازگاری با روشهای قالب‌گیری و بارریزی موجود

ماشین‌های جدید قالب‌گیری با تولید بالا و سیستمهای بارریزی خودکار، اغلب انعطاف در تعیین محل و شکل حوضچه بارریزی و راهگاه قائم را بطور شدیدی محدود می‌سازد. همچنین در سرعت بارریزی فلز نیز محدودیت ایجاد می‌کنند.

۱۰. شرایط جریان کنترل شده

باید هرچه سریع‌تر در طی پرشدن قالب، جریان فلز مذاب در سیستم راهگاهی یکنواخت شود، و شرایط جریان سیال به گونه‌ای باشد که برای هر قالب مشابه دیگر قالبها باشد.

اصول جریان سیالات

طراحی صحیح سیستم راهگاهی، مستلزم اعمال چندین اصل مربوط به جریان سیالات در مسیرهای افقی و قائم است. این محاسبات برای تعیین زمان بارریزی و مکش^۱ گازهای قالب، بسیار مناسب است. از مهمترین این اصول، قانون پیوستگی^۲، قانون برنولی، و اصل یا اثر ممتنم را می‌توان نام برد.

۱. قانون پیوستگی

طبق این قانون، در سیستم غیرقابل نفوذی^۳ (شکل ۱) که با مایع غیرقابل تراکمی پر شده است، رابطه زیر برقرار است.

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2$$

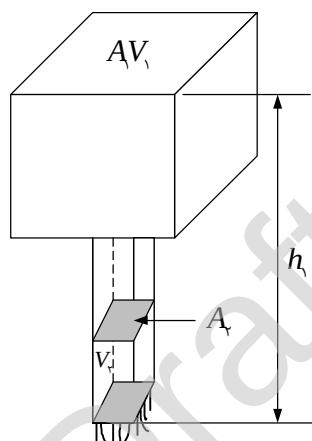
که در این رابطه

Q سرعت جریان (حجمی)

A سطح مقطع

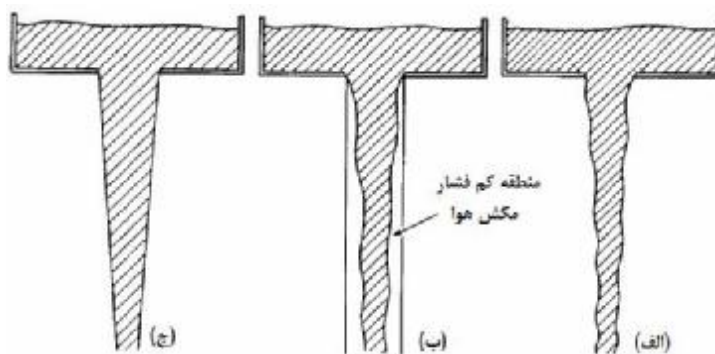
V سرعت

اندیس ۱ و ۲ نیز دو محل متفاوت سیستم را نشان می‌دهند.



شکل ۱- روابط سرعت-مساحت در قالب ساده غیر قابل نفوذ

شکل زیر، یکی از کاربردهای عملی قانون پیوستگی در جریان فلز مذاب از حوضچه بارریزی را نشان می‌دهد.



شکل: شماتیک مزیت راهگاه قائم مخروطی به راهگاه استوانه‌ای

(الف) جریان طبیعی سقوط آزاد مذاب (ب) مکش هوا بر اثر جریان مذاب در لوله استوانه‌ای (ج) جریان در مسیر مخروطی

همانگونه که معادله فوق نشان می‌دهد با خروج مذاب از حوضچه بارریزی، انرژی پتانسیل بالا ولی سرعت پائین است. با سقوط مذاب، سرعت افزایش می‌یابد بنابراین سطح مقطع جریان مذاب بایستی متناسب با آن کاهش یابد تا سرعت

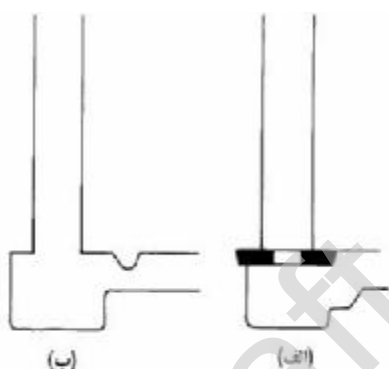
^۱ aspiration

^۲ continuity principle

^۳ impermeable

جریان را متوازن نگه دارد، در نتیجه شکل راهگاه قائم، مخروطی بوده و سطح مقطع به طور تدریجی کاهش می یابد (شکل فوق الف).

اگر همان جریان از یک راهگاه قائم استوانه ای سقوط کند (شکل فوق ب)، جریان در حال سقوط منطقه کم فشار ایجاد می کند و در نتیجه از دیواره جدا شده و هوا را به داخل می مکد. از طرفی جریان غیریکنواخت بوده و متلاطم خواهد شد به ویژه در هنگام برخورد با کف راهگاه به حداکثر تلاطم خواهد رسید. راهگاه مورب (مخروط معکوس) با شیبی همسان با شکل طبیعی سیال در حال سقوط آزاد، تلاطم و احتمال مکش هوا را کاهش می دهد. ضمناً به سرعت راهگاه را پر کرده و فشار لازم برای ایجاد شرایط جریان مناسب مطابق با معادله فوق را فراهم می کند. در بسیاری از واحدهای قالب گیری که تولید انبوه دارند، استفاده از راهگاه مخروطی به سهولت میسر نیست. لذا طراح سیستم راهگاهی ساده استوانه ای را، با قراردادن یک مانع یا مسدودکننده در انتهای راهگاه یا مجاورت آن با اثر سیستم راهگاهی مخروطی تقریب می کند (شکل زیر).



شکل: مکانیسم مسدودکننده نصب شده در داخل راهگاه قائم استوانه ای (الف) ماهیچه مسدودکننده (ب) مسدودکننده راهگاه

ب. قانون برنولی

این قانون فشار، سرعت و ارتفاع مایع را در نقاط مختلف نسبت به یک خط جریان به هم^۱ مربوط می کند. این قانون را می توان به راحتی و با استفاده از اصل بقای انرژی بدست آورد. مطابق این قانون، در هر نقطه از سیستم، مجموع انرژی پتانسیل، انرژی جنبشی، انرژی فشار و انرژی اصطکاک، مقداری ثابت است. مطابق این اصل و در دو حالت ۱ و ۲ می توان نوشت:

$$P_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g h_1 = P_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g h_2 \quad (\text{انرژی جنبشی} + \text{انرژی فشار})$$

معادله فوق مشروط بر آن است که افت اصطکاک وجود نداشته باشد. نتیجتاً معادله برنولی را می توان بصورت زیر ریاضی زیر نوشت.

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{w} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{w}$$

که در این رابطه

h ارتفاع نسبت به یک مبدا (انرژی پتانسیل بر حسب فوت یا اینچ)

$\frac{v}{2g}$ انرژی جنبشی بر حسب ft یا اینچ

v سرعت مایع بر حسب ft/sec یا in/sec

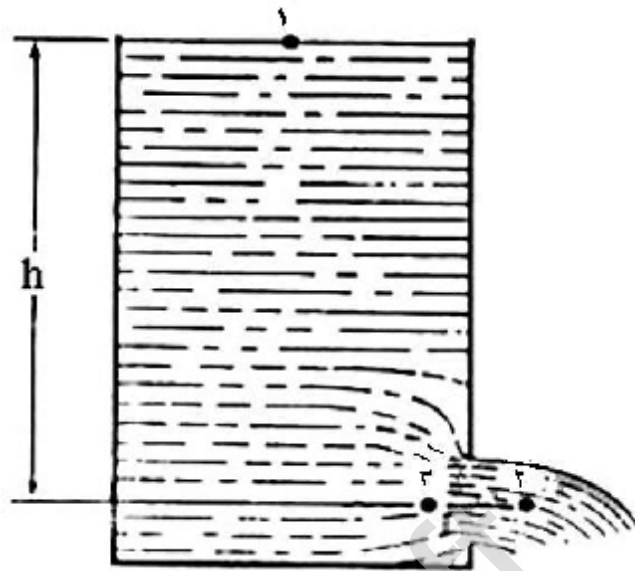
g شتاب ثقل (جاذبه) برابر با ۳۲/۲ ft/sec^۲ یا ۳۸۶ in/sec^۲

^۱ - streamline

$$\frac{P}{w} \text{ انرژی فشار بر حسب فوت یا اینچ}$$

فشار اتمسفر برابر ۱۴/۷ psi و دانسیته آهن مذاب 0.26 lb/in^3 است.

مثال: در شکل زیر با استفاده از معادله برنولی می‌توان سرعت مایع در نقطه ۲ را محاسبه کرد (از افت انرژی به علت اصطکاک صرف‌نظر می‌شود).



شکل ۲- روابط فی مابین انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی

بدین منظور معادله برنولی را برای دو نقطه ۱ و ۲ می‌نویسیم، که در نتیجه خواهیم داشت.

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{w} = h_2 + \frac{U_2^2}{2g} + \frac{P_2}{w}$$

با توجه به اینکه $P_1 = P_2$ و برابر فشار اتمسفر است و نیز بعلاوه قابل تراکم بودن مایع $w_1 = w_2$ است و h_2 برابر صفر است (زیرا مبنا انتخاب شده است) در نتیجه:

$$h_1 + 0 + \frac{P_1}{w} = 0 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{w},$$

که پس از ساده کردن خواهیم داشت.

$$v_2 = \sqrt{2gh}$$

برای مثال اگر در مورد راهگاه قائم h و v به ترتیب بر حسب اینچ و اینچ بر ثانیه باشند، سرعت جریان فلز در سیستم راهگاهی تحت فشار برابر است با:

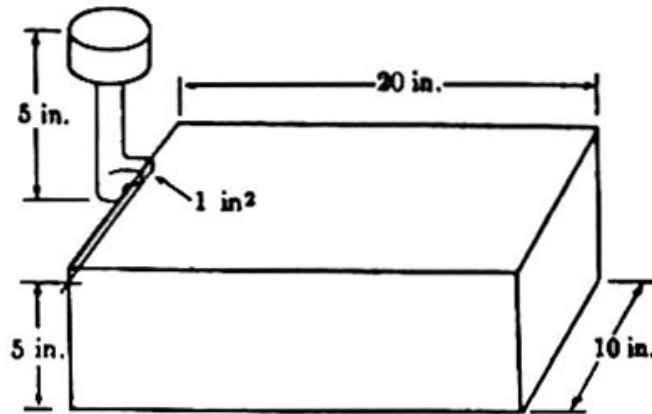
$$v = 2.7 \sqrt{h} \text{ in/sec}$$

اگر قطعه‌ای به ابعاد $5 \times 10 \times 20 \text{ in}$ دارای راهگاهی به ابعاد 1 in^2 و ارتفاع 5 in باشد زمان بار ریزی برابر خواهد بود با (ارتفاع ثابت)

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{V}{Av}$$

(V = حجم و v = سرعت)

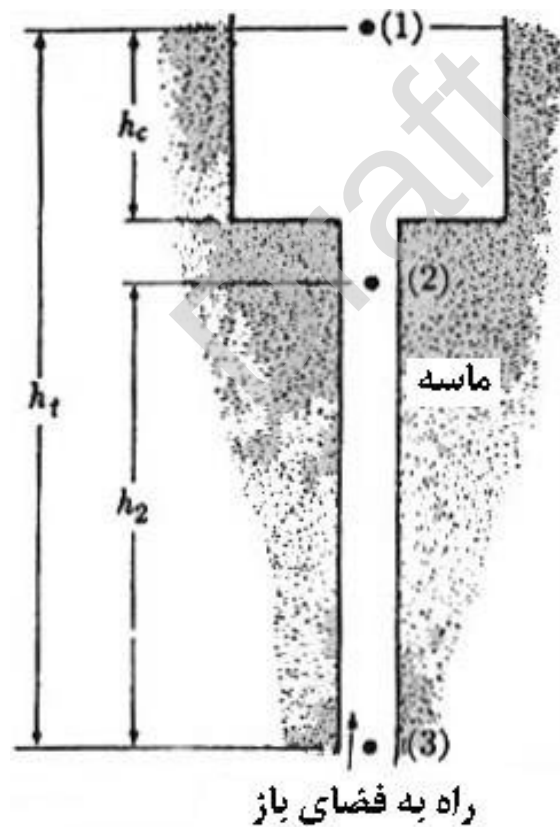
$$\text{زمان کل} = \frac{5 \times 10 \times 20}{1 \text{ in}^2 \times 2.7 / \sqrt{5} \text{ in/sec}} = 16.1$$



شکل ۳- محاسبه راهگاه ساده

ایجاد مکش

راهگاه قائم و مستقیمی را در نظر بگیرید که غیر قابل نفوذ باشد و فرض کنید که ارتفاع فلز h_c در حوضچه بارریز ثابت بماند (شکل ۴)



راه به فضای باز

شکل ۴- سیستم راهگاهی قائم در ماسه نفوذ پذیر

با اعمال معادله برنولی در نقاط ۱ و ۳ ($w = 0.26 \text{ ib/in}^2$ برای چدن) و صرف نظر کردن از اصطکاک خواهیم داشت.

$$h_t + 0 + \frac{14.7}{0.26} = 0 + \frac{v_r^2}{2g} + \frac{14.7}{0.26}$$

یا

$$v_r = 27.7 \sqrt{h_t} \text{ in/sec}$$

در نتیجه سرعت خروج مذاب از نقطه ۳ و در فشار اتمسفر برابر $27/\sqrt{h_t}$ اینچ بر ثانیه است. اکنون معادله برنولی را برای نقاط ۲ و ۳ می‌نویسیم.

$$h_r + \frac{v_r^2}{2g} + \frac{P_r}{w} = 0 + \frac{v_3^2}{2g} + \frac{14.7}{w}$$

از آنجائی که مطابق اصل پیوستگی $v_2 = v_3$ است، بنابراین:

$$h_r = 14.7 - h_r w$$

در نتیجه فشار داخل مذاب در نقطه ۲ از فشار اتمسفر بمقدار $h_r w$ کمتر است. لازم به یادآوری است که این محاسبات در مورد قالب غیر قابل نفوذ است ولی هوا و یا گازهای قالب در سطح مشترک ماسه - فلز در قالب قابل نفوذ حداقل در فشار اتمسفر است، در نتیجه گاز، به داخل جریان مذاب در نقطه ۲ مکیده می‌شود.

مقدار گاز به $h_r w$ ، نفوذپذیری قالب، و فشار گازهای قالب بستگی دارد. گازهای مکیده شده ممکن است با فلز واکنش داده و اکسید یا سرباره تشکیل شده، در فلز حل شود و در هنگام انجماد رسوب کند و یا بصورت حبابهائی در فلز باقی بماند که کلیه این احتمالات، نامطلوب است. در چدن، قسمتی از اکسیژن موجود حبابهائی هوا، با فلز ترکیب شده و سیلیکاتهای بی‌ضرر تشکیل می‌دهد و نیتروژن آن نیز اگر مذاب به آهستگی منجمد شود بصورت حباب از فلز خارج می‌شود.

روش جلوگیری از مکش

برای جلوگیری از مکش گازها به داخل مذاب، به یکی از دو روش زیر عمل می‌کنیم.

الف - تعیین راهگاه قائم در قالب نفوذپذیر بطوریکه از مکش جلوگیری شود.

مجددا موضوع را با معادله برنولی شروع می‌کنیم.

$$h_r + \frac{v_r^2}{2g} + \frac{P_r}{w} = 0 + \frac{v_3^2}{2g} + \frac{P_3}{w}$$

در معادله فوق، اگر p_2 برابر p_3 و برابر یک اتمسفر باشد تا از مکش جلوگیری شود، خواهیم داشت.

$$\frac{v_r^2}{2g} = h_r + \frac{v_3^2}{2g}$$

از طرفی با توجه به قانون پیوستگی داریم.

$$A_r v_r = A_3 v_3 \rightarrow v_r = \frac{A_3}{A_r} v_3$$

اگر A_2/A_3 را با R نشان دهیم، خواهیم داشت $v_r = R v_3$ که در نتیجه

$$R^2 = 1 - \frac{2gh_r}{v_3^2}$$

از آنجائیکه $h_2 = h_t - h_c$ و $v_3 = \sqrt{2gh_t}$ در نتیجه

$$R = \sqrt{h_c / h_t}$$

برای مثال اگر $h_2 = 6$ in و $h_t = 8$ in و نیز h_c باشد، اکنون نسبت مساحت راهگاه در نقطه ۲ و ۳ را برای جلوگیری از مکش در نقطه ۲ محاسبه می‌کنیم.

$$\frac{A_r}{A_3} = R = \sqrt{\frac{6}{8}} = \frac{1}{2}$$

که در نتیجه بایستی A_2 دو برابر A_3 باشد.

ب: این محاسبه (نسبت مساحت‌ها) را می‌توانیم به طریق دیگر نیز انجام دهیم که مفهوم فیزیکی بهتری دارد. فرض کنید که مذاب به طور آزاد سقوط می‌کند در نتیجه سرعت آن را در هر نقطه می‌توانیم محاسبه کنیم. سرعت در نقطه ۲ برابر است با:

$$V_2 = \sqrt{2gh_c}$$

که h_c ارتفاع مذاب در حوضچه بارریزی است. سرعت نیز در نقطه ۳ برابر است با:

$$V_3 = \sqrt{2gh_t}$$

اما از طرفی

$$Q_2 = Q_3$$

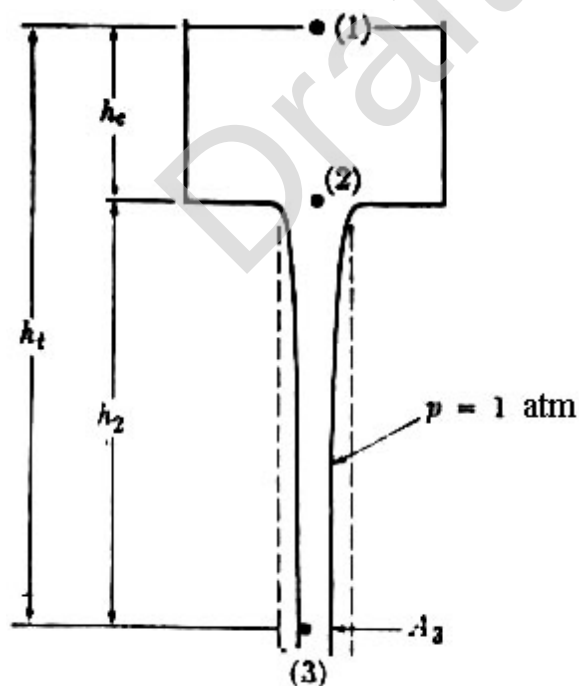
که در نتیجه

$$A_2 V_2 = A_3 V_3$$

A سطح مقطع جریان مذاب است. با استفاده از دو رابطه فوق خواهیم داشت.

$$\frac{A_2}{A_3} = \frac{V_3}{V_2} = \sqrt{\frac{h_c}{h_t}}$$

اگر رابطه مساحت نقاط بین ۲ و ۳ نیز تعیین شوند، مقطعی از یک هیپربولیک می‌باشد. اما در عمل A_2 و A_3 را با خط مستقیمی بهم وصل می‌کنند. زیرا با این عمل سطح مقطع نقاط بالاتر بیشتر از محاسبه در نظر گرفته می‌شود و در نتیجه، سرعت کاهش و فشار افزایش می‌یابد (شکل ۵)، و از طرفی باعث سهولت ساخت مدل نیز می‌شود.



شکل ۵ - شکل جریان مذاب در قالب باز

ج. تاثیرات ممتنم

طبق قانون اول نیوتن، جسم در حال حرکت، مادامیکه تحت نیرویی که جهت آن را تغییر دهد قرار نگیرد، در جهت معینی به حرکت خود ادامه خواهد داد.

عدد رینولد و نوع جریان

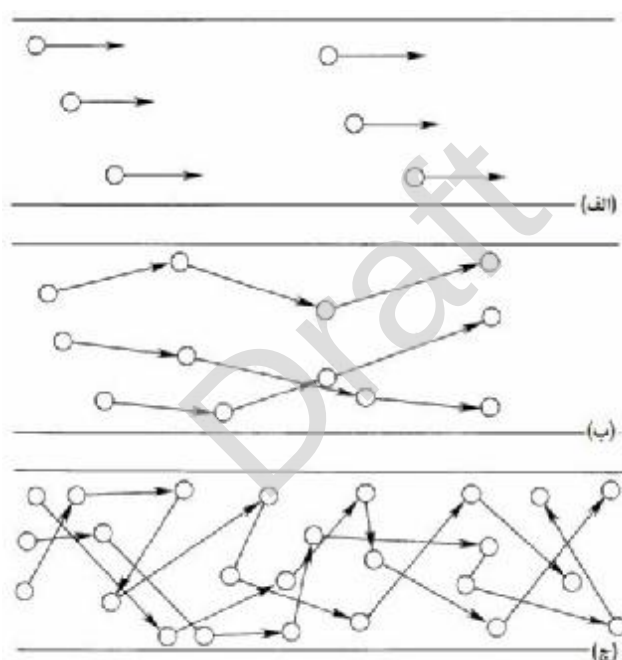
جریان مایعات را می‌توان با معیار خاصی بنام عدد رینولد تعیین مشخصه کرد. این عدد مطابق با رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$N_R = \frac{vdr}{m}$$

که در این رابطه

N_R	عدد رینولد
v	سرعت مایع
d	قطر کانال عبور مایع
r	چگالی مایع
m	ویسکوزیته مایع

همان گونه که در شکل زیر الف نشان داده شده است، اگر عدد رینولد از ۲۰۰۰ کمتر باشد، سیال را آرام می‌نامند و مولکولهای مایع در خط مستقیمی حرکت می‌کنند.



شکل: عدد رینولد N_R ، و رابطه آن با مشخصه جریان سیال

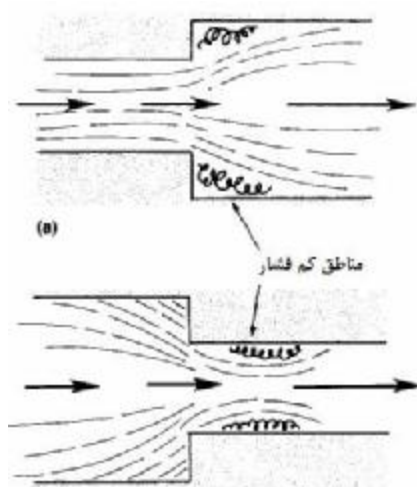
(الف) جریان آرام، ($N_R < 2000$ ب) جریان متلاطم ($2000 \leq N_R < 20000$ ج) جریان بسیار متلاطم $N_R > 20000$

اگر جریان سیال بین ۲۰۰۰ و ۲۰۰۰۰ قرار گیرد، تا حدودی اختلاط و تلاطم اتفاق می‌افتد (شکل فوق ب). ولی در سطح بیرونی جریان یک لایه مرزی آشفته نشده وجود دارد. این نوع جریان متلاطم که در بسیاری از واحدهای ریخته‌گری معمول است، تا زمانی که سطح یکپارچگی خود را از دست نداده تا هوا را محبوس سازد، مضر نیست. برای عدد رینولد در حدود ۲۰۰۰۰، جریان شدیداً متلاطم است (شکل فوق ج). این موضوع باعث پارگی سطح جریان شده و به ظن قوی هوا را در خود محبوس ساخته و از واکنش گازها با مذاب، دراس تشکیل می‌شود.

تغییر نگرانی سطح مقطع راهگاه

همانگونه که در شکل نشان داده شده است، با تغییر نگرانی سطح مقطع راهگاه، مناطق کم فشار ایجاد می‌شود، و با جداشدن جریان مذاب از دیواره قالب، هوا در مذاب محبوس شود. با افزایش نگرانی کانال (شکل فوق) و بر اثر تاثیرات ممتنم، جریان به جلو کشیده می‌شود که در نتیجه مناطق کم فشار ایجاد می‌شود. با کاهش نگرانی کانال قانون

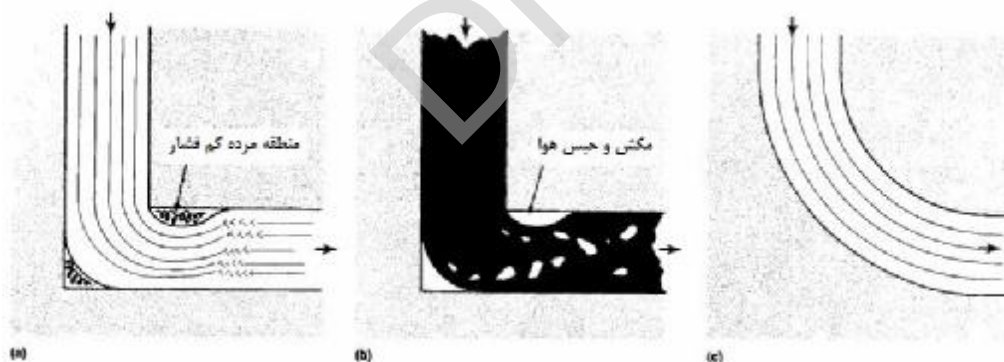
پیوستگی نشان می‌دهد که سرعت جریان باید سریعاً افزایش یابد. این وضعیت منطقه کم فشار ایجاد می‌کند. این مشکل می‌تواند با کاهش تدریجی سطح مقطع، و پرهیز از تغییر ناگهانی کمینه شود.



شکل: شماتیکی از تشکیل مناطق کم فشار به علت تغییر ناگهانی سطح مقطع مسیر جریان
الف) افزایش ناگهانی کانال ب) کاهش ناگهانی کانال

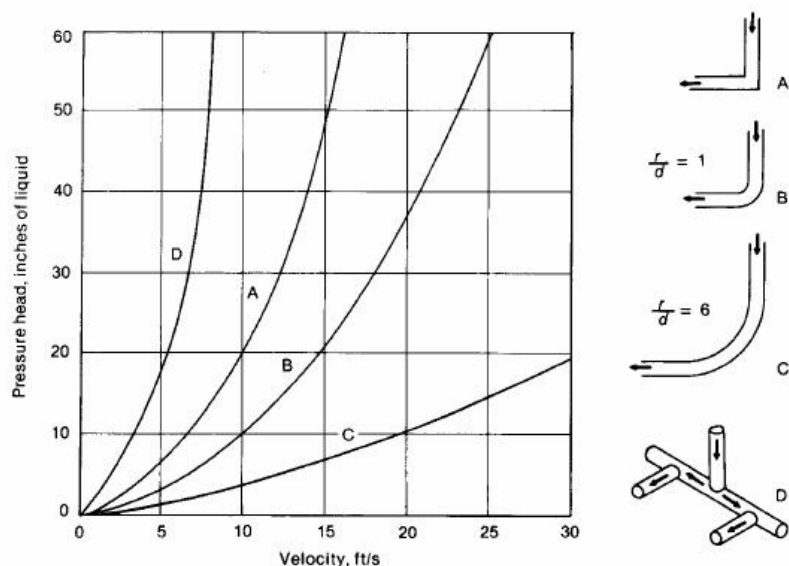
تغییر نگرانی جهت جریان

همانگونه که در شکل زیر نشان داده شده است، تغییر نگرانی جهت جریان می‌تواند همانگونه که در فوق بدان اشاره شد، مناطق کم فشار ایجاد کند. این مشکل را می‌توان با تغییر تدریجی جهت جریان کاهش داد.



شکل: شماتیک ارائه جریان در خمهای ۹۰ درجه و منحنی در سیستم راهگاہی
الف) تلاطم حاصل از گوشه تیز ب) آسیب به مذاب از گوشه تیز ج) انحنای تدریجی با کاهش تلاطم و آسیب به فلز

تغییرات ناگهانی جهت جریان، علاوه بر افزایش احتمال آسیب به فلز مذاب، باعث ایجاد اصطکاک و اتلاف انرژی نیز می‌شود. همانگونه که در شکل زیر نشان داده شده است، سیستمی با تلفات اصطکاکی بالا برای حفظ سرعت، به فشار بیشتری نیاز دارد.



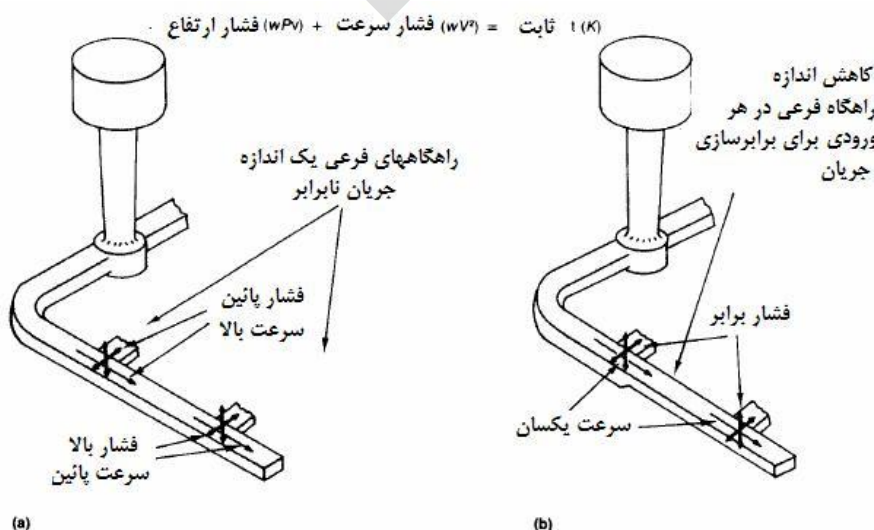
شکل: اثر فشار ارتفاع و تغییر در طراحی راهگاه بر سرعت جریان فلز

ادامه راهگاه افقی

ادامه راهگاه افقی در شکل ۱ همین بخش نشان داده شده است. اولین مذابی که وارد سیستم راهگاهی می‌شود معمولاً ضمن جریان، به دلیل تماس با محیط قالب و هوای آن، آسیب‌دیده‌ترین مذاب است. برای پیش‌گیری از ورود این مذاب به داخل قالب از ادامه راهگاه استفاده می‌شود. زیرا اثر ممتد آن را از کنار ورودیها عبور داده و در انتهای راهگاه افقی محبوس سازد و از ورود آن به قالب جلوگیری کند.

یکسان سازی جریان داخل راهگاههای فرعی

با کاهش سطح مقطع راهگاههای افقی، پس از هر دروازه ورودی، در سیستمهای چند مدخلی می‌توان جریان را یکسان سازی کرد.

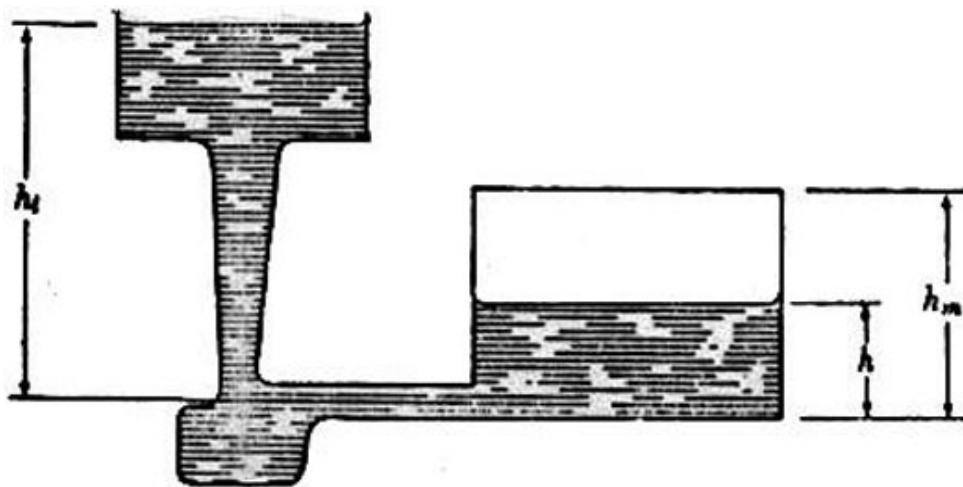


شکل: اعمال قانون برنولی به جریان از راهگاه با دو ورودی

سیستمهای راهگاهی تحتانی

تاکنون به بررسی سیستمهای راهگاهی قائم پرداخته شد، که فشار در بخش تحتانی آنها برابر با یک اتمسفر بود. در اغلب قطعات ریختگری به راهگاه ورودی در کف قالب نیاز است تا از پاشیدگی و اکسیداسیون مربوط به سیستم

راهگاهی فوقانی جلوگیری شود. لذا محاسبه زمان بارریزی بایستی تعدیل شود. سیستم راهگاهی تحتانی با ارتفاع h_t در شکل ۶ نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است، با پرشدن قالب از ارتفاع مؤثر راهگاه کاسته می‌شود.



شکل ۶ - راهگاه افقی بدون مکش برای قالب نفوذپذیر

فرض کنید مطابق شکل فوق:

t	زمان از شروع بارریزی
h_t	ارتفاع کل
h	ارتفاع مذاب در قالب
A_m	سطح مقطع قالب (افقی)
A_g	سطح مقطع راهگاه

باشد. پس از گذشت زمان کوتاه dt ، ارتفاع به اندازه dh افزایش می‌یابد و حجم فلز به مقدار $A_m dh$ افزایش می‌یابد. همچنین مقدار مذاب انتقال داده شده توسط راهگاه در زمان dt برابر $A_g v dt$ خواهد بود. که V سرعت لحظه‌ای مذاب در راهگاه است.

سرعت مذاب در راهگاه را از رابطه $\sqrt{2g(h_t - h)}$ تعیین می‌کنیم. افزایش حجم قطعه ریخته‌گری در زمان dt برابر با جریان مذاب از راهگاه در زمان مساوی است. در نتیجه:

$$A_m dh = A_g \sqrt{2g(h_t - h)} dt$$

که پس از ساده کردن

$$\frac{dh}{\sqrt{2g(h_t - h)}} = \frac{A_o}{A_m} dt$$

اگر t_f زمان لازم برای پرشدن قالب و h_m نیز ارتفاع کل قالب باشد از معادله فوق بین $t = 0$ و $t = t_f$ و همچنین بین دو ارتفاع $h = 0$ و $h = h_m$ انتگرال می‌گیریم.

$$\frac{1}{\sqrt{2g}} \int_0^{h_m} \frac{dt}{\sqrt{h_t - h}} = \frac{A_o}{A_m} \int_0^{t_f} dt$$

$$t_f = \frac{2A_m}{A_g \sqrt{2g}} (\sqrt{h_t} - \sqrt{h_t - h_m})$$

همانطوریکه مشاهده می‌شود زمان بارریزی در راهگاه تحتانی چشمگیر است.

مثال: در شکل ۳ زمان بارریزی را محاسبه می‌کنیم.

$$h_t = h_m = 5 \text{ in} \quad , \quad A_m = 200 \text{ in}^2$$

با استفاده از فرمول فوق زمان بارریزی را محاسبه کرده که برابر خواهد با:

$$t_f = \frac{2 \times 200}{\sqrt{2g \times 12}} (\sqrt{5} - 0) = 32.2 \text{ sec}$$

چنانکه ملاحظه می‌شود، زمان بارریزی در این حالت تقریباً دو برابر زمان بارریزی در راهگاه‌های فوقانی است. در مورد ریخته‌گریهائی که منبع تغذیه دارند ابتدا زمان پرشدن قالب و سپس زمان پرشدن منبع را محاسبه کرده و با هم جمع می‌کنیم.

با افزایش h_t نسبت به h_m عبارت $(\sqrt{h_t} - \sqrt{h_t - h_m})$ کاهش می‌یابد و باعث کاهش زمان بارریزی می‌شود. پس از اینکه زمان بارریزی به $\frac{1}{4} h_{\max}$ برسد (که $t = t_m \rightarrow h_t = h_m$) افزایش h_t ، تاثیر چندانی بر زمان بارریزی ندارد.

راهگاههای افقی

هدف از قسمت افقی سیستم راهگاهی آن است که:

۱- فلز مذاب را به حفره قالب رسانده و توزیع آن را به بهترین وجه انجام دهد بطوری که آشفستگی و کاهش دما به حداقل برسد.

۲- ناخالصیها را در مذاب به حداقل رسانده و آنها را محبوس کند.

اثر مکش در نقاط تغییر جهت جریان مذاب

در نقاطی که جریان مذاب تغییر جهت می‌دهد عامل ممتنم باعث انقباض آن می‌شود.

شکل ۷- راهگاههای افقی و روش جلوگیری از مکش

معادله برنولی را برای نقاط ۲ و ۳ می‌نویسیم.

$$\begin{array}{ccc} 6 & 4 & 7 & 4 & 8 & & 6 & 4 & 7 & 4 & 8 \\ \cdot + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{w} & = & \cdot + \frac{v_3^2}{2g} + \frac{p_3}{w} \end{array}$$

از آنجایی که $p_3 = 1 \text{ atm}$ است و بعلت پیوستگی، سرعت ۲ باید بیشتر از سرعت ۳ باشد معادله فوق را می‌توان بصورت زیر نوشت.

$$\frac{p_2 - p_3}{w} = \frac{u_3^2 - u_2^2}{2g}$$

یا

$$p_2 = p_3 + w \left(\frac{u_3^2 - u_2^2}{2g} \right)$$

از طرفی $v_3 > v_2$ است لذا خواهیم داشت $p_2 < p_3$ (یا به عبارت دیگر p_2 به فشاری پایین‌تر از فشار اتمسفر کاهش می‌یابد که تابعی از سرعت جریان مذاب و درجه انقباض جریان می‌باشد. این حالت با حالت راهگاه قائم کاملاً تفاوت دارد. دلیل انقباض جریان، شتاب حاصل از ثقل نیست بلکه بخاطر تغییر جهت جریان است. در نتیجه راه حل آن نیز مختلف است. به جای اینکه راهگاه دارای لبه‌های تیز باشد، بایستی به صورت منحنی، ایجاد شود تا خطوط جریان مذاب نیز منحنی شود و جهت جریان به تدریج تغییر کند. ضمناً اگر یکبار این تغییر تدریجی صورت گیرد، دیگر به بزرگ کردن راهگاه نیازی نیست. طرح پیشنهادی (شکل ۷) به دلیل تجربی زیر صورت گرفته است. فرض کنید که برای ایجاد سرعت جریان مطلوب، قطر راهگاه برابر d باشد، برای جلوگیری از کاهش فشار، شعاع در مدخل راهگاه

بایستی برابر r باشد. برای محاسبه r از مشاهدات تجربی استفاده می‌کنیم. بر طبق تجربه بزرگترین نسبت d'/d در حدود $\frac{1}{3}$ است، لذا $d' = 1/3 \cdot d$ و $r = 0/15d$ که در نتیجه برای راهگاهی با قطر ۲ اینچ مقدار r برابر است با

$$r = 0/3 \text{ in}$$

تغییر جهت جریان در دو مورد، یکی در محل اتصال راهگاههای افقی و قائم، و دیگری در محل ارتباط راهگاه ورودی و حفره قالب اتفاق می‌افتد.

انواع سیستمهای راهگاهی

هر چند به نظر می‌رسد انواع سیستمهای راهگاهی بینهایت باشند اما چهار نوع اصلی را می‌توان نام برد.

- ۱- راهگاه قطعات ریخته‌گری ورق مانند و تخت (که بزرگترین ابعاد آنها در صفحه افقی می‌باشد) در خط جدایش^۱ ایجاد می‌شود، بنام راهگاه سطح جدایش^۲ معروف است.
- ۲- راهگاه قطعات ریخته‌گری پیچیده بزرگ که غالباً دارای ماهیچه‌های زیادی هستند در قسمت فوقانی^۳، تحتانی^۴ و جانبی^۵ ایجاد می‌شود.
- ۳- راهگاههای قالبهای انبوه که ترکیبی از حالت ۱ و ۲ است.
- ۴- راهگاههای محبوس کننده سرباره^۶ و تفاله^۷

راهگاه در سطح جدایش

این راهگاهها در سطح جدایش وارد قالب می‌شود و برای قطعات ریخته‌گری ورق مانند استفاده می‌شود. در شکل ۸ راهگاهی در سطح جدایش نشان داده شده است.

شکل ۸- سیستم راهگاهی مطلوب برای قطعات ریخته‌گری ورق مانند

گودالی در کف راهگاه قائم این سیستم وجود دارد که در شکل ۹ نشان داده شده است.

شکل ۹- طرح گودال در کف راهگاه قائم

عمق این گودال بایستی از سطح کانال پایین‌تر باشد و سطح مقطع افقی آن بیشتر از پنج برابر سطح مقطع انتهای کانال قائم باشد. مطمئن‌ترین نسبت سطح کانال راهگاه قائم، به سطح راهگاه افقی به سطح راهگاه ورودی برابر ۴ : ۴ : ۱ است (سطح کانال قائم در پایین‌ترین قسمت آن اندازه‌گیری می‌شود). این راهگاه ممکن است شامل حفره آشغالگیر یا راهگاه برای اطمینان از جمع‌آوری آشغال و سرباره باشد.

راهگاه فوقانی

هنگامیکه فلز مذاب بداخل راهگاه فوقانی یا مستقیماً بداخل تغذیه باز^۸ بارریزی می‌شود، به کف حفره قالب برخورد کرده و حوضچه‌ای تشکیل می‌دهد این حوضچه تا پر شدن قالب در حالت بهم خوردگی^۹ باقی می‌ماند. اثرات سایش^{۱۰} جریان

^۱ Parting line

^۲ Parting gate

^۳ Top gate

^۴ Bottom gate

^۵ Side gate

^۶ slag

^۷ cross

^۸ Open riser

^۹ agitation

^{۱۰} Erosive effect

کنترل نشده، می‌تواند شدید باشد. از طرفی بهم خوردگی و پاشیدگی مذاب، احتمال اکسیداسیون را افزایش می‌دهد برای جلوگیری از سایش، کف قالب در نقطه تماس می‌تواند با کاشیهای نسوز پیش ساخته^۱ پوشیده شود. اگر سیالیت مذاب اجازه دهد شدت سایش را می‌توان با راهگاه مدادی^۲ کاهش داد. این روش و روشهای دیگری که جریان مذاب را شعبه شعبه می‌کند برای آلیاژهایی که به سرعت اکسیده می‌شوند مناسب نیست ولی برای چدن‌ها مناسب است. برخی تغییرات در راهگاه فوقانی در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

شکل ۱۰- تغییرات راهگاه فوقانی (a) بارریزی باز (b) راهگاه لبه‌ای (c) راهگاه مدادی

مزایای عمده راهگاههای فوقانی، سهولت قالب‌گیری کاهش مصرف فلز اضافی و از همه مهمتر ایجاد شیب حرارتی مناسب برای تغذیه از منبع‌های تغذیه فوقانی است. این راهگاه معمولاً محدود به قالبهای کوچک و ساده است.

راهگاه تحتانی

ورود آرام فلز مذاب بداخل حفره قالب وقتی به بهترین وجه صورت می‌گیرد که از پایین‌ترین سطح قالب انجام شود (از درجه پایین). اگر از این سیستم راهگاهی در ریخته‌گری استفاده شود فلز مذاب به طور یکواخت در داخل قالب بالا می‌آید و از پاشیدگی^۳ جلوگیری می‌شود. اگر راهگاه تحتانی با منبع تغذیه فوقانی بکار رود شیب حرارتی ایجاد شده در مقابل تغذیه قطعه مخالفت می‌کند. علیرغم پیچیدگی بیشتر قالب‌گیری، از این روش برای قطعات حجیم استفاده می‌شود.

راهگاه جانبی

قالب‌گیری را می‌توان با تخلیه فلز مذاب بداخل قالب از طریق بخش جانبی قالب در طول صفحه جدایش ساده کرد. انواع مختلف راهگاههای جانبی و تحتانی کاربردهای علمی زیادی دارند راهگاههای بوقی^۴ یکی از راهگاههای تحتانی است که به طور وسیع بکار می‌رود. راهگاههای بوقی معمولی و معکوس در شکل ۱۱- نشان داده شده است.

شکل ۱۱- الف: راهگاه بوقی معمولی ب: راهگاه بوقی معکوس

این نوع راهگاه، با انحنای صاف و تغییر تدریجی ابعاد خود را برای کاهش سایش و اکسایش^۵ طراحی می‌شود. از آنجایی که راهگاه بوقی معمولی مستعد ایجاد حالت فواره^۶ می‌باشد. برای برخی آلیاژها مانند برنز آلومینیم که تشکیل پوسته^۷ می‌دهد از راهگاه بوقی معکوس استفاده می‌شود.

سیستمهای چند راهگاهی

در مورد قطعات حجیم از سیستمهای چند راهگاهی استفاده می‌شود زیرا اگر از یک راهگاه استفاده شود خطر افزایش حرارت در نقطه ورودی قالب افزایش می‌یابد. از سیستمهای چند راهگاهی می‌توان برای وارد کردن فلز مذاب در یک صفحه افقی و در نقاط دور از هم بداخل قالب استفاده کرد و باید بتدریج با پر شدن قالب، در سطوح بالاتر وارد قالب نمود (راهگاه پلکانی^۸). انتخاب یا تلفیق این روشها بستگی به شکل و جهت قطعه ریخته‌گری دارد. در سیستم چند

^۱ Preformed refractory tiles

^۲ Pencil gate

^۳ splashing

^۴ Horn gate

^۵ oxidation

^۶ Jet effect

^۷ Skin formatting

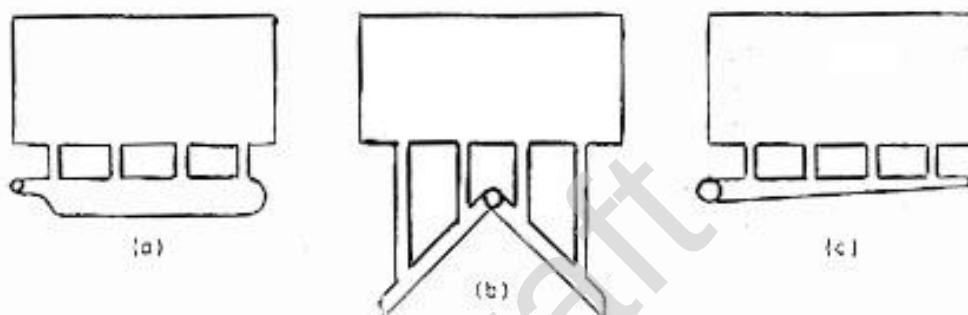
^۸ Step gating

راهگاهی کنترل توزیع فلز مذاب بین قسمتهای مجزای سیستم ضروری است. چنین سیستمی تمایل به ایجاد جریان بیشتر در راهگاههای ورودی با فاصله بیشتر از راهگاه قائم دارد. فلز مذاب جریان خود را در طول خط مستقیم ادامه می‌دهد مگر اینکه مانعی، فشار پس زنی ایجاد نماید و جریان را در کانالهای دیگر آغاز نماید. در نمودار شماره ۱۲ - الگوی اصلی رفتار جریان نشان داده شده است.

شکل ۱۲ - رفتار جریان در سیستمهای راهگاهی افقی

(a) راهگاه قائم مرکزی (b) راهگاه قائم انتهائی

در چنین سیستمهایی می‌توان با اعمال فشار پس‌زنی در راهگاههای افقی جریان یکنواختی ایجاد نمود. و در سیستمهای مسدود نشده با ایجاد حوضچه در داخل سیستم می‌توان ممتن مذاب را قبل از ورود آن به محفظ قالب از بین برد. (شکل ۱۳)



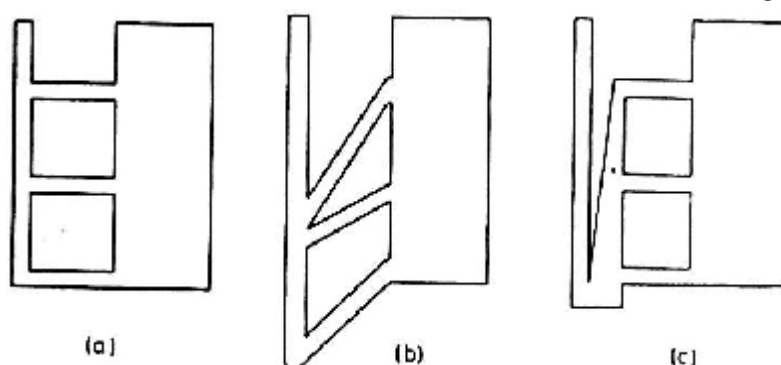
شکل ۱۳ - سیستمهای چندراهگاهی انگشتی طراحی شده برای جریان یکنواخت

انستیتوی ریخته‌گری بریتانیا (IBF) نشان داده است که اگر از راهگاه افقی موازی (موازی با قطعه) با راهگاههای ورودی زاویه‌دار استفاده شود، سرعت جریان یکنواخت دقیقاً در سیستمهای چند راهگاه ایجاد می‌شود. بترتیب زوایا طوری محاسبه شده‌اند که سرعت تخلیه مساوی داشته باشند (شکل ۱۴).

زاویه راهگاه به لایه (راهگاه)	نسبت جریان حجمی %
72°	33.6
56°	33.5
45°	32.8

شکل ۱۴ - سیستم راهگاههای افقی موازی با راهگاههای ورودی زاویه‌دار

نوع اساسی دیگر از سیستم چندراهگاهی متضمن راهگاه پلکانی است. در این سیستم مذاب بتدریج در سطوح بالاتری وارد قالب می شود (شکل ۱۵).

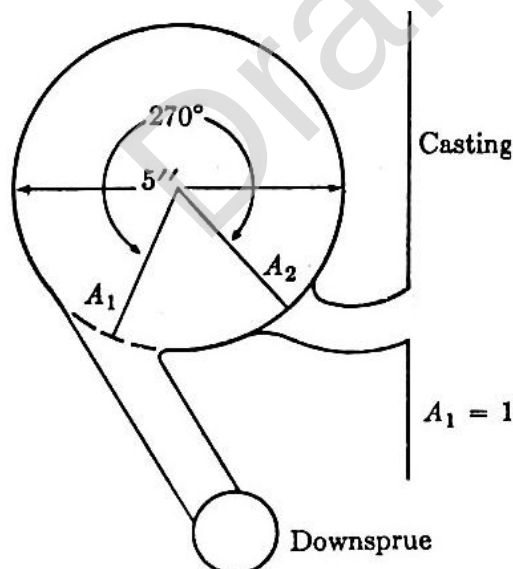


شکل ۱۵- سیستمهای راهگاهی پلکانی

(a) سیستم ساده (b) پله‌های مورب با اتصال مشترک (c) راهگاه قائم معکوس

سیستم راهگاهی گردابی (آشغالگیر)

سیستم راهگاهی گردابی یکی از سیستمهای راهگاهی آشغالگیراست و راهگاه گردابی 270° در حذف سرباره از فولاد کاملاً موفق بوده است. شکل ۱۶- راهگاه گردابی 270° است که از عمل گریز از مرکز برای چرخاندن و جمع آوری مواد کم چگال‌تر در مرکز استوانه بهره می‌گیرد. برای دست یابی به این اثر جزئیات زیر اهمیت زیادی دارند. مساحت راهگاه ورودی به گرداب A_1 بایستی حداقل $1/5$ برابر راهگاه خروجی از گرداب A_2 باشد بطوریکه مواد در گرداب مجتمع گردد. ضمناً مذاب ورودی قبل از رسیدن به راهگاه خروجی 270° چرخیده باشد. تا برای جمع آوری ناخالصیها زمان کافی ایجاد شود.



شکل ۱۶- راهگاه گردابی برای محبوس ساختن سرباره و آشغال (جزئیات طراحی)

نسبت راهگاهی

منظور از نسبت راهگاهی^۱، مساحت سطح مقطع نسبی قسمتهای مختلف سیستم راهگاهی است و معمولاً با فرمول زیر بیان می‌شود.

$$a:b:c$$

که

a مساحت سطح مقطع راهگاه قائم

^۱ gating ratio

b مساحت کل سطح مقطع راهگاههای افقی

c مساحت کل سطح مقطع راهگاههای ورودی

برای مثال، در یک سیستم راهگاهی که مساحت سطح راهگاه قائم برابر in^2 ۱ و مجموع سطح مقطعهای راهگاه افقی برابر in^2 ۲ و مساحت سطح دو راهگاه ورودی نیز هر کدام in^2 ۱ باشد نسبت راهگاهی عبارتست از:

$$1:2:2$$

نسبت راهگاهی معمولاً به دو گروه عمده کلی دسته‌بندی می‌شود.

۵- نسبت راهگاهی سیستمهای تحت فشار

۶- نسبت راهگاهی سیستمهای بی‌فشار

در سیستمهای تحت فشار، با محدودیتی که در برابر جریان مذاب ایجاد می‌شود، در راهگاه فشار پس‌زنی^۱ ایجاد می‌شود و نسبت راهگاهی برابر با:

$$1:0.75:0.50$$

یا

$$1:2:1$$

است. در سیستمهای بی‌فشار، اولین محدودیت به جریان مذاب در نزدیکی راهگاه قائم می‌باشد نسبت راهگاهی مانند

$$1:3:3$$

برای این سیستم بکار می‌رود.

از سیستم تحت فشار با نسبت راهگاهی $1:0.75:0.50$ برای ریخته‌گری چند خاکستری استفاده می‌شود. مزایای سیستم طراحی شده تحت فشار عبارتست از:

۱. سیستم راهگاهی پر از مذاب نگهداشته شده و از مکش جلوگیری می‌شود.

۲. اگر از سیستم چندراهگاهی استفاده شود، جریان از راهگاههای ورودی که مساحت یکسانی دارند مساوی است. ولی در سیستمهای بی‌فشار انرژی جنبشی جریان مذاب سعی دارد که آن را به کف راهگاه هدایت کرده و ترجیحاً از دورترین راهگاه ورودی خارج سازد.

۳. برای سرعت جریان معین، سیستمهای تحت فشار، از نظر حجمی کوچکتر از سیستمهای بی‌فشارند. در نتیجه فلز کمتری در بین راهگاهها باقی می‌ماند و بهره‌دهی^۲ (راندمان) ریخته‌گری افزایش می‌یابد.

سیستمهای تحت فشار معایبی نیز دارند که از سرعت زیاد فلز مذاب ناشی می‌شود. زیرا ممکن است در گوشه‌ها و محل اتصالات آشفته‌گی شدیدی ایجاد شود. البته با طراحی صحیح و دقیق قابل پیشگیری است.

سیستمهای بی‌فشار نیز معایبی دارند که عبارتست از

۱. به طراحی دقیق نیازمند است

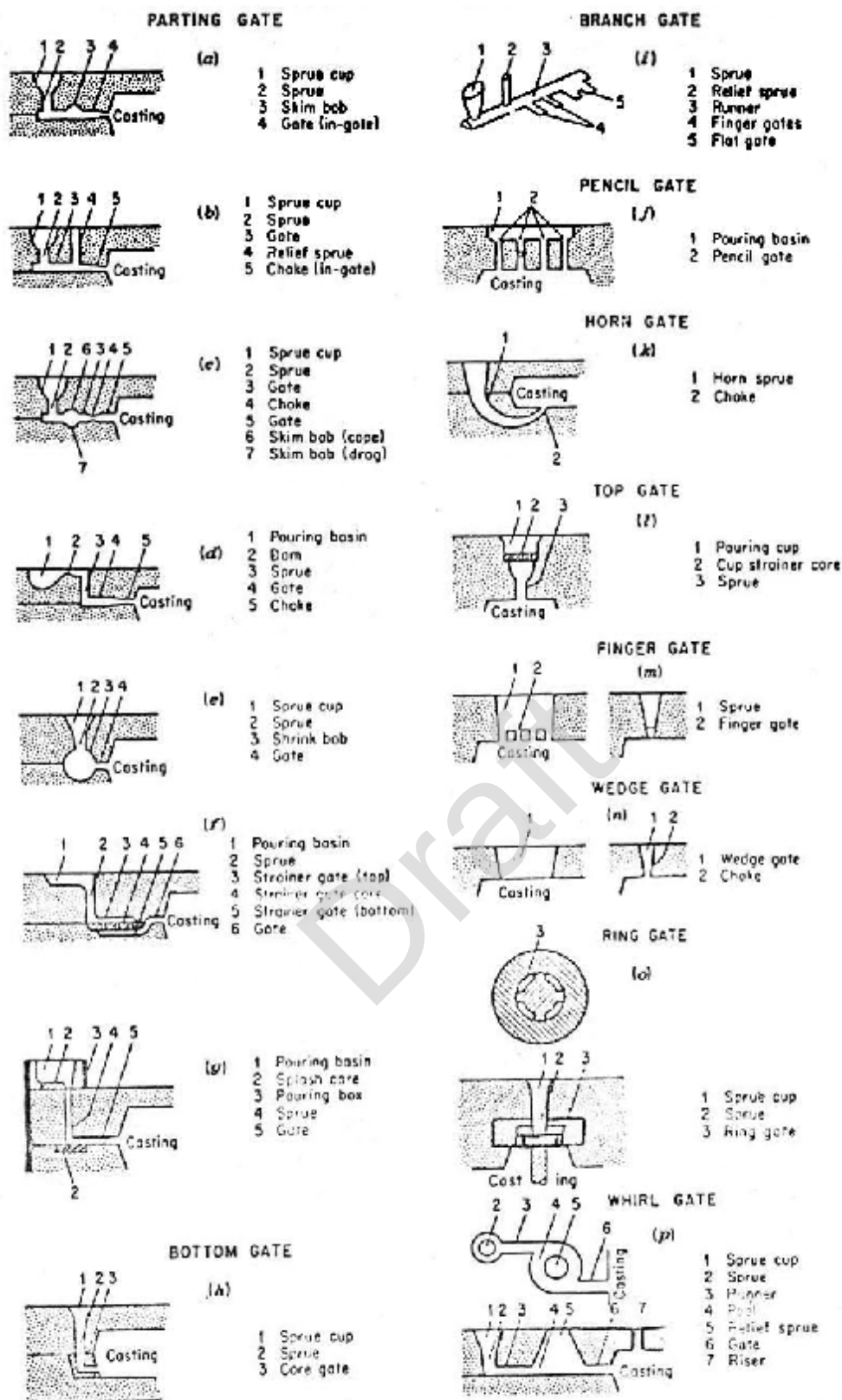
۲. ایجاد جریان مساوی از راهگاهها مشکل است

۳. به راهگاههای افقی و ورودی بزرگی نیاز دارد که در نتیجه بهره‌دهی (راندمان) ریخته‌گری را کاهش می‌دهد.

بر اساس تجربیات صنعتی، استفاده از سیستمهای تحت فشار ملایم برای فلزات آهنی (مخصوصاً چدن) و سیستمهای بی‌فشار برای آلیاژهای آلومینیم و منیزیم و برای برنجه‌ها و برنزه‌ها استفاده از هر دو نوع سیستم مناسب است. در شکل ۱۷ مثالی از سیستمهای راهگاهی داده شده است.

^۱ back pressure

^۲ yield



شکل ۱۷: برخی سیستمهای راهگاهی

در خاتمه به معرفی برخی راهگاهها می پردازیم.
 راهگاه انگشتی^۱ (راهگاه شعبه^۲)

^۱ - finger gate
^۲ - Branch gate

سیستم راهگاهی با دو راهگاه ورودی یا بیشتر که از یک راهگاه افقی منشعب می‌شود، این راهگاه فلز را به چندین قسمت از حفره قالب توزیع می‌کند.

راهگاه پلکانی^۱

سیستم راهگاهی با دو راهگاه ورودی یا بیشتر در سطوح مختلف از یک راهگاه مختلف از یک راهگاه قائم

راهگاه تیغه‌ای^۲

شکافی به ضخامت $\frac{3}{16}$ تا $\frac{1}{4}$ اینچ و با هر طول که مذاب از داخل آن به حفره قالب وارد می‌شود، از این راهگاه معمولاً در حالت مورب ریخته‌گری می‌شود و باعث پرشدن تدریجی قالب می‌شود، جدا کردن آن از قطعه ساده است.

راهگاه لبه رو لبه^۳

شکافی است به ضخامت $\frac{1}{16}$ تا $\frac{3}{16}$ اینچ و معمولاً با طول کمتر از ۳ in که با رویهم قرار گرفتن راهگاه افقی با یکی از لبه‌های قالب ایجاد شده است و جدا کردن آن از قالب بسیار ساده است.

راهگاه نعل اسبی^۴

سیستم راهگاهی که در آن یک راهگاه افقی و دو راهگاه ورودی که به شکل نعل اسب قرار گرفته‌اند، این سیستم به راحتی با دست قطع و از قالب جدا می‌شود.

راهگاه دوشی^۵ (راهگاه مدادی^۶)

سیستم راهگاهی که از داخل آن مذاب به صورت باران، از تعدادی راهگاههای فوقانی کوچک بداخل قالب فرو می‌ریزد.

راهگاه تحتانی

هرگونه سیستم راهگاهی که از داخل آن مذاب از کف قالب وارد می‌شود.

راهگاه بوقی

سیستم راهگاهی تحتانی انحنادار که از داخل آن مذاب به زیر قالب رفته و سپس به بالا و داخل قالب وارد می‌شود و برای جلوگیری از اغتشاش، از راهگاه بوقی معکوس استفاده می‌شود.

راهگاه گردابی

سیستم راهگاهی که در آن مذاب به طور مماس وارد مخزن مدور می‌شود و گردابی را به وجود می‌آورد و قبل از ورود به قالب، سرباره و آشغال را بجا می‌گذارد.

راهگاههای تنظیم و سوار شده

سیستم‌های راهگاهی که با مدل ساخته می‌شود، در برابر سیستمهای راهگاهی که در ماسه با دست ساخته می‌شود.

ذوب

تغییرات وسیع در نیاز اساسی ذوب فلز در جدول زیر داده شده است. این جدول خواص گرمایی فلزاتی را که عمده آلیاژها و فلزات ریختگی را تشکیل می‌دهند مورد مقایسه قرار می‌دهد. غیر از نوع آلیاژی که باید تولید شود انتخاب لوازم ذوب و ریختگی بایستی به عوامل اقتصادی وابسته باشد. این عوامل شامل توازن بین هزینه و کیفیت لازم است.

^۱ - step gate

^۲ - knife gate

^۳ - Lap gate

^۴ - Horseshoe gate

^۵ - Shower gate

^۶ - pencil gate

جدول ۱: دمای ذوب و گرمای مورد نیاز برای ذوب فلزات

فلز	دمای ذوب (°C)	میانگین گرمای ویژه (s) در گستره $20-T_m$ (°C) cal/g.°C	گرمای نهان ذوب (L) cal/g	کل گرمای مورد نیاز برای ذوب $L+s(T_m-20)$	
				kcal/kg	kcal/lit
آهن (Fe)	۱۵۳۷	۰,۱۴۱	۶۵,۰	۲۷۹	۲۲۰۴
نیکل (Ni)	۱۴۵۳	۰,۱۳۱	۷۲,۱	۲۵۹	۲۳۰۵
مس (Cu)	۱۰۸۳	۰,۱۰۵	۴۸,۹	۱۶۱	۱۴۴۹
آلومینیم (Al)	۶۶۰	۰,۲۳۲	۹۲,۷	۲۴۴	۶۵۹
منیزیم (Mg)	۶۵۰	۰,۲۸۹	۸۵,۶	۲۶۸	۴۵۶
روی (Zn)	۴۲۰	۰,۱۰۱	۲۶,۲	۶۸	۴۸۲
سرب (Pb)	۳۲۷	۰,۰۳۴	۵,۷	۱۶	۱۸۷
قلع (Sn)	۲۳۲	۰,۰۵۸	۱۴,۲	۲۷	۱۹۷

$$1 \text{ kcal} = 4,1868 \text{ kJ}$$

کوره‌های ذوب

ذوب فلزات در ریخته‌گریها اغلب به روش ناپیوسته (Batch) صورت می‌گیرد. مورد استثنای قابل ذکر، ذوب پیوسته در کوره کوپل است. که اکثراً برای تولید چدن استفاده می‌شود. هر چند کوره‌های ذوب بایستی به طریقی طراحی شوند که انتقال گرما به بار کوره به نحو احسن صورت گیرد اما راندمان گرمایی معیار اصلی برای انتخاب لوازم ذوب نیست. اقتصاد کلی در عملیات ذوب به عوامل متعددی بستگی دارد که عبارتند از:

استهلاک سرمایه (capital depreciation)

درجه استفاده (degree of utilization)

هزینه اجرائی به تنهایی شامل نگهداری، نیروی انسانی، سوخت و ارزش الکتریسیته است. عوامل متالورژیکی برای انتخاب امکانات ذوب به تمایل بار کوره برای واکنش با محیط بستگی دارد، که بر کنترل شیمیائی ناخالصی و بهره‌دهی فلز موثر است. اثرات ترکیب شیمیائی بایستی در رابطه با کیفیت قطعه ریختگی مورد بحث قرار گیرد، در حالیکه اهمیت اقتصادی کاهش ضایعات ذوب، به ارزش ذاتی فلز بستگی دارد. به طور کلی ضایعات در مورد آلیاژهای بسیار گران غیرآهنی بسیار مهم است.

به طور خلاصه، انتخاب کوره با توجه به هزینه، کیفیت فلز، نیازهای تولیدی و نوع آلیاژ تعیین می‌شود. اگر کوره برای شرایط مختلف، انعطاف‌پذیری لازم را داشته باشد برای انواع تولید محسوب مزیت می‌شود. کوره‌ها به دو دسته عمده تقسیم می‌شوند.

۱. کوره‌های احتراق سوخت

۲. کوره‌های با گرمایش الکتریکی

در هر گروه اختلاف عمده بین نوع اجاق یا بوت‌های بودن است.

طراحی

به طور کلی کنترل دقیق ترکیب شیمیائی حداقل تلفات و حداکثر تمیزی در کوره‌هایی حاصل می‌شود که بار کوره از فرایند احتراق جدا باشد و خطر آلودگی با عناصر گازی و گوگرد در این رابطه کوره‌های بوت‌های بر کوره‌های وانی و اجاق‌دار مزیت دارند.

چه از نوع ایستا باشد یا دوار، مخصوصا از آنجائیکه بوته‌های جدید در برابر آلودگی بسیار غیرقابل نفوذند. این مقایسه حتی در مورد ذوب الکتریکی تا حدودی صادق است. زیرا فلزی که با قوس الکتریکی ذوب شود در معرض آلودگی با گازهای اتمسفر است که تحت اثر قوس جذب می‌شود. ذوب القائی شبیه... ادامه داده شود.

از طرف دیگر در مواقعی که به واکنش بین سرباره-فلز نیاز باشد، شرایط گرمایی کوره‌های وانی ترجیح داده می‌شود زیرا اثر گرما دهی از بالای و قسمت فوقانی، فرایند خالص سازی را تسریع می‌کند. در حالت خاص چدن خاکستری، تماس مستقیم بین سوخت و بار کوره یک مزیت مثبت است. زیرا کک دو نقش به عنوان سوخت و نیز عامل کربورایزینگ بازی می‌کند. در این صورت کوره کوپل منحصر به فرد است. غیر از این موضوع شرایط ذوب، در کوره‌های بوته‌ای محدودیت اندازه نیز وجود دارد. برای ذوب در حدود یک تن و بالاتر، از کوره وانی که ضخامت نسوز آن قابل ملاحظه بوده و پوسته‌ای فلزی دارد استفاده می‌شود. بر عکس بوته‌ها برای ریخته‌گریهای کم بسیار مناسب و قابل انعطاف می‌باشند. در جدول زیر کوره‌های ذوب ریخته‌گری داده شده است.

انرژی	شکل اصلی	کوره	روش گرم کردن	زمینه‌های اصلی کاربرد
I- احتراقی	وانی	کوره کوپل	کک (بار با سوخت مستقیما در تماس است)-ذوب پیوسته	چدن، فولاد
		تابشی Reverberatory	سوخت گاز، مایع و جامد	آلیاژهای غیرآهنی، چدن (مالیبل)
		کوره اجاق باز	سوخت گاز، مایع	فولاد
		کوره دوار	سوخت گاز، مایع و جامدپودری	آلیاژهای غیرآهنی، چدن (مالیبل)
	بوته‌ای	بوته‌ای نوع زمینی	سوخت گاز، مایع و جامدپودری	اغلب آلیاژه غیر از فولاد
		بوته‌ای نوع زمینی	سوخت گاز، مایع و جامدپودری	اغلب آلیاژه غیر از فولاد
		بوته‌ای نوع زمینی	سوخت گاز، مایع	ریخته‌گریهای کوچک مخصوصا ریخته‌گریهای تحت فشار
II- الکتریکی	وانی	قوسی	مستقیم	فولاد، چدن
		غیرمستقیم	تشعشع قوس	آلیاژهای غیرآهنی، فولادهای آلیاژی
	بوته‌ای	مقاومتی	تشعشع میله مقاومتی	فولاد، چدن، آلیاژهای مس
		مقاومتی	المانهای گرمایی	آلیاژهای غیرآهنی
	کانالی	القائی	القای فرکانس بالا	فولاد، مخصوصا فولادهای آلیاژی
			القای فرکانس پائین	چدن
		القای باهسته	القای فرکانس پائین	آلیاژهای غیرآهنی، برای ریخته‌گری تحت فشار

کوره‌های ذوب

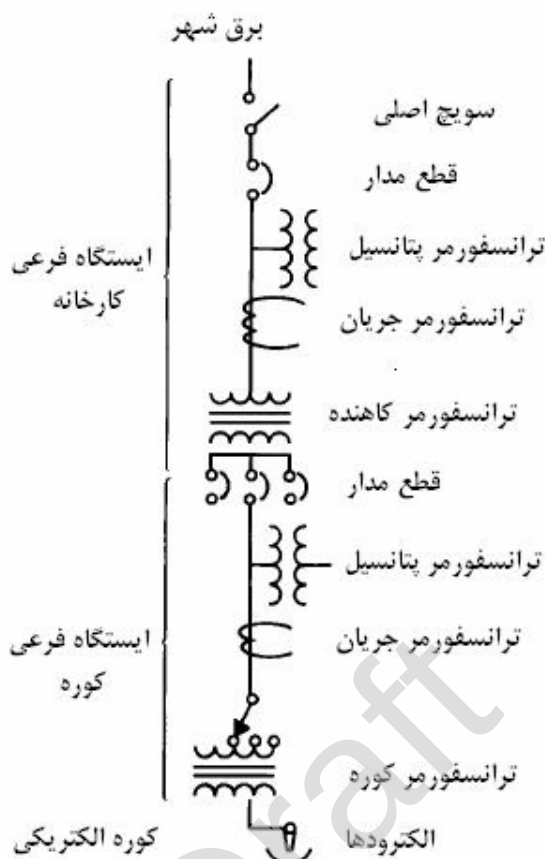
کوره‌های قوس الکتریکی

کوره‌های قوس الکتریکی در آغاز قرن بیستم ظهور کردند و ظرفیت این کوره‌ها در ابتدا از یک (۱) تا پانزده (۱۵) تن بود.

کوره‌های قوس الکتریکی هم به عنوان ذوب و هم به عنوان کوره نگهدارنده استفاده می‌شوند.

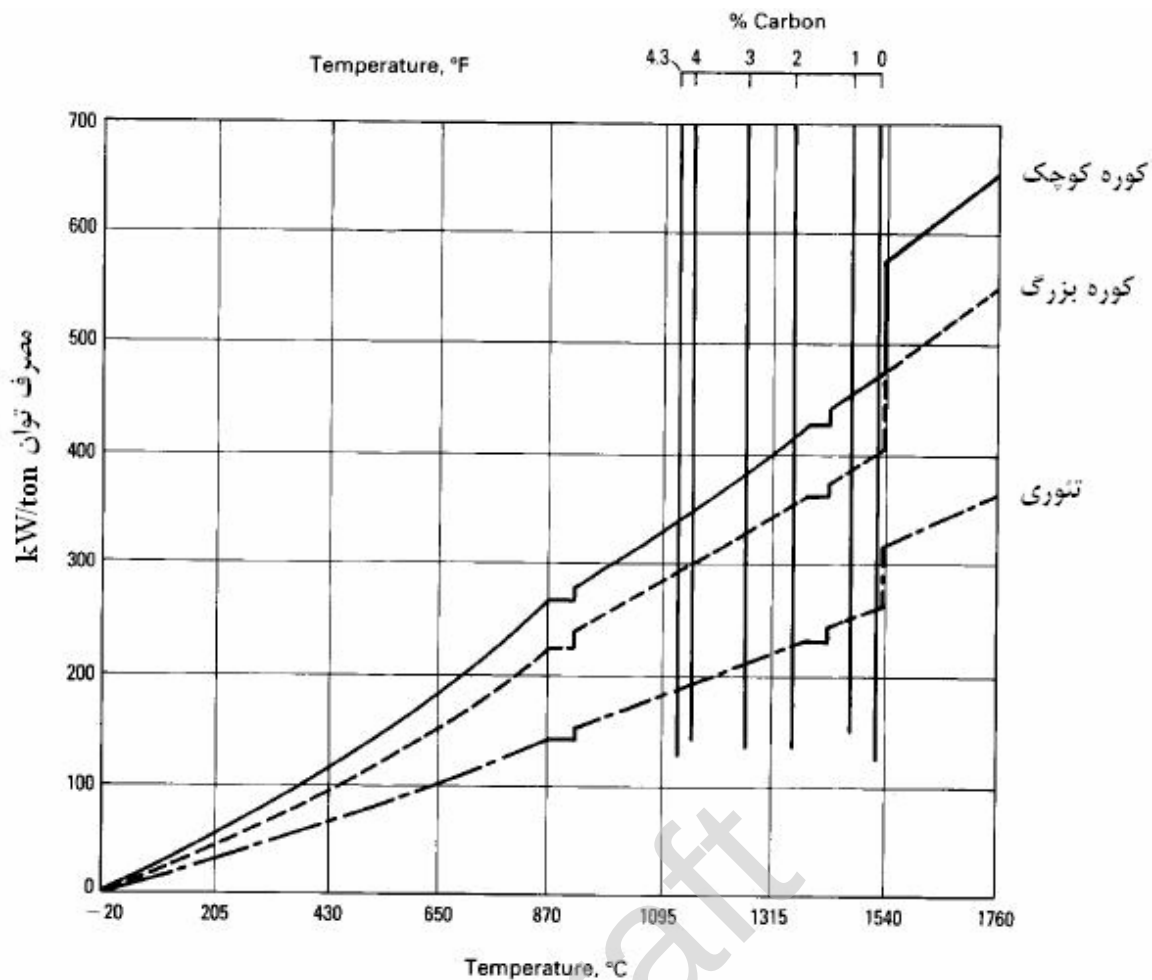
تامین توان الکتریکی

جریان اعمال شده به کوره قوس الکتریکی از برق شهر تامین می‌شود. شماتیک این شبکه در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل: شماتیک شبکه برق کوره قوس الکتریکی

توان داده شده به کوره در طی ذوب توسط قوس الکتریکی ایجاد شده از سه الکتروود کربنی یا گرافیتی تامین می‌شود. در طی ذوب هر سه قوس یا هر سه فاز به صورت یک فاز عمل می‌کنند. در طی ذوب جریان نوساناتی دارد در طی تصفیه مذاب (پس از ذوب) قوسها مقداری بدلیل پوشش سرباره مذاب و مقداری بدلیل مسطح شدن سطح مذاب پایدار می‌شوند. مقدار زیادی از گرمای تولیدی در مدت ذوب و تصفیه ایجاد می‌شود. برای مهار و جهت دهی انرژی قوسها کنترل مناسبی لازم است تا بدون از بین رفتن نسوزهای کوره فقط مذاب تولید شود. انرژی لازم برای ذوب فولادهائی با کربن متفاوت در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل: توان مصرف شده در ذوب آهن و فولاد در کوره قوس الکتریکی
نقطه ذوب آهن خالص (۰.۰٪ C) برابر با ۱۵۳۵ °C و آهن با ۴.۳٪ C برابر با ۱۱۳۰ °C

ضریب توان (Power Factor)

راندمانی که طی آن، توان الکتریکی به مذاب منتقل می‌شود را فاکتور یا ضریب توان می‌نامند. فاکتور توان، PF، عبارت از نسبت وات مصرفی W تقسیم بر ولت-آمپر VA است.

$$PF = \left(\frac{W}{VA} \right) \times 100$$

روشهای اندازه گیری PF

یک روش اندازه گیری برای تعیین میانگین فاکتور توان در یک دوره زمانی استفاده از دو دستگاه اندازه گیری است.

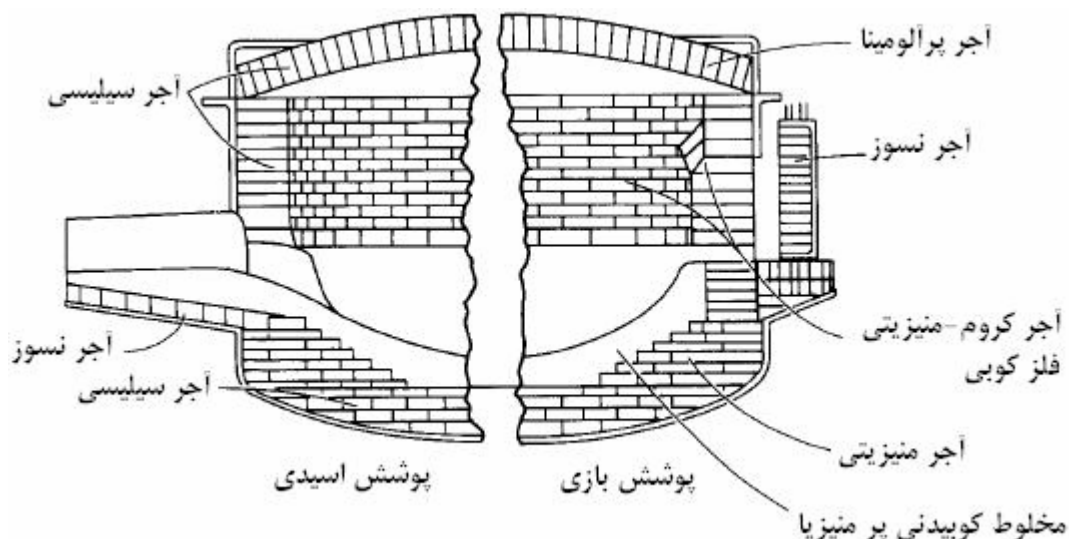
۱. دستگاه اندازه گیری توان-ساعت برای تعیین توان مفید watt-hour

۲. دستگاه اندازه گیری توان راکتیو var-hour

از تقسیم var-hour (در مدت زمان معین) به watt-hour (در همان مدت) تانژانت زاویه فاکتور توان را مشخص می‌کند. کسینوس این زاویه برابر فاکتور توان است.

اجزای کوره قوس الکتریکی

کوره قوس الکتریکی اجزای متعددی دارد این کوره‌ها با نسوزهایی که نوع ذوب (اسیدی یا قلیائی) را تعیین می‌کنند. شکل زیر



شکل: مقطعی از کوره قوس الکتریکی به همراه نسوزهای بکار رفته

در جدول زیر نسوزهای مختلف را که در ذوبهای اسیدی یا قلیائی بکار می‌روند را نشان داده است. بسته به اینکه فرایند اسیدی یا قلیائی باشد رنگ سرباره ممکن است برای تعیین مقدار اکسید آهن سرباره مطابق زیر کافی باشد

رنگ	درصد FeO	CaO/SiO ₂
سرباره اسیدی		
سیاه - خاکستری	۳۰-۴۰	...
سبز تیره	۲۰-۳۰	...
سبز تیره رگه رگه	۱۵-۲۰	...
سبز آبی (سبز یشمی)	< ۱۵	...
سرباره قلیائی		
سیاه	۱۴,۸۵	۳,۳۳
قهوه ای خاکستری تیره	۱۱,۵	۲,۱۹
خاکستری	۱,۰۵	۱,۹۱
قهوه ای روشن	۱,۰۵	۱,۸۸
خاکستری	۰,۵۶	۲,۰۱
سفید	۰,۵۱	۲,۵۳
سفید		

اثر مقدار سیلیس بر سرباره

- طبیعت سیلیس (SiO₂)، فسفر (P) و گوگرد (S) اسیدی است.
 - سیلیس از فسفر (P) و یا گوگرد (S) اسیدی تر است.
 - طبیعت اکسید کلسیم (CaO) و اکسید منیزیم (MgO) قلیائی است.
 - واکنشهای سرباره قلیائی وقتی سیلیس بیش از حد باشد عبارتند از
- $$2CaO + SiO_2 \rightarrow 2CaO.SiO_2 \text{ یا } (Ca_2SiO_4)$$
- $$2MgO + SiO_2 \rightarrow 2MgO.SiO_2 \text{ یا } (Mg_2SiO_4)$$
- $$2CaO.SiO_2 + 2MgO.SiO_2 \rightarrow 2(CaO.MgO.SiO_2)$$
- امروزه ظرفیت کوره‌های قوس الکتریکی از ۰,۵ تا ۱۰۰ تن است به جدول زیر مراجعه شود.

جدول : نمونه ابعاد و ظرفیت کوره‌های قوس الکتریکی

الکترودها می‌توانند گرافیتی و یا کربنی باشند.

ظرفیت جریان الکتریکی الکتروود گرافیتی نسبت به الکتروود کربنی با همان اندازه بالاتر است (جدول زیر مربوط به مشخصات الکترودها)

جدول : اندازه‌ها، وزن‌ها و ظرفیت جریان الکتریکی الکترودها

Diameter × length mm	Approximate current capacity, A	Approximate weight of electrode and nipple kg
Graphite electrodes		
102 × 1015	1 800–3 300	13.6
152 × 1220	3 500–5 800	37.6
152 × 1520	3 500–5 800	47.1
178 × 1220	4 400–7 500	46.3
178 × 1520	4 400–7 500	59.9
203 × 1220	5 500–9 300	62.1
203 × 1520	5 500–9 300	77.1
229 × 1520	6 700–11 300	96.6
254 × 1220	8 000–13 300	97.1
254 × 1520	8 000–13 300	118
305 × 1520	11 300–17 000	171
305 × 1830	11 300–17 000	201
356 × 1520	18 000–25 000	228
356 × 1830	18 000–25 000	273
Carbon electrodes		
203 × 1520	2 500–4 500	79.8
254 × 1520	3 100–6 300	125
305 × 1520	4 500–7 900	178
356 × 1520	5 400–10 000	240
356 × 1830	5 400–10 000	293

الکترودها با سه بازوی جداگانه هر کدام با یک کلمپ فنری و یا در برخی کوره‌ها با کلمپ مکانیکی، که توسط باد آزاد می‌شوند نگهداری می‌شوند.

منبع گرمایی

تامین گرمای ذوب و فوق ذوب به افزایش هزینه با تغییر از جامد به

فرآیندها و روشهای ریخته‌گری

اساس کلیه فرآیندهای ریخته‌گری تغذیه فلز مذاب به حفره قالب و سپس انجماد مذاب و ایجاد جسم جامد است. تفاوت فرآیندهای مختلف، اصولاً در چگونگی تهیه قالب است. گامهای اساسی و واژه‌شناسی را با ریخته‌گری جسم ساده‌ای در قالب ماسه‌ای روشن می‌کنیم. ابتدا بایستی الگو یا مدل^۱ جسم مورد نظر را از چوب، فلز یا مواد دیگر بسازیم. آنگاه قالب را با تراکم^۲ ماسه در اطراف مدل آماده سازیم. همه این موارد در داخل جعبه قالب‌گیری^۱ (درجه) قرار می‌گیرد. معمولاً قالب دو قسمتی است که قسمت بالایی را درجه بالایی^۲ و قسمت پائینی را درجه پایینی^۳ می‌نامند.

^۱ Pattern

^۲ packing

اگر قطعه دارای حفره باشد قالبهای مجزایی بنام ماهیچه^۴ ساخته می شود و در داخل فضای باقیمانده مدل قرار می گیرد که در این صورت فضای بین حفره قالب و ماهیچه ریخته گری می شود. برای بارریزی^۵ قطعه ریخته گری بایستی سیستم راهگاهی^۶ ایجاد شود که در ابتدای آن حفره باز و گشادی بنام حوضچه بارریز^۷ تعبیه می شود تا بارریزی را ساده کند. فلز داخل حوضچه بارریز از طریق کانال قائم^۸ به ته راهگاه و سپس بداخل راهگاههای افقی^۹ جریان می یابد. آنگاه از طریق راهگاههای ورودی^{۱۰} به داخل قالب وارد می شود. پس از کامل شدن انجماد، قطعه ریخته گری را از قالب خارج ساخته، ماهیچه ها را با ضربه از قطعه جدا می کنند و منبع های تغذیه را بریده و قطعات ریخته گری اولیه را برای ماشین کاری^{۱۱} آماده می کنند.

در حین فرآیند انجماد، رشد دانه ها با کنترل جهت انتقال حرارت در قالب کنترل می شود. انجماد می تواند با استفاده از مبرد شروع شود. مبردها قطعاتی فلزی هستند که حرارت را بسرعت انتقال می دهند. از طرف دیگر با استفاده از مواد عایق یا ترکیبات گرمازا شرایط جریان گرما را می توان کنترل کرد و در قسمت معینی از قالب انجماد را به تاخیر انداخت.

فرآیندهای ریخته گری

۱. ریخته گری ماسه

اغلب تولید قطعات ریختگی در ماسه انجام می شود. ریخته گری ماسه، فرآیندی است که در آن از ماسه برای قالب گیری استفاده می شود. ماسه لازم برای یک تن ریخته گری حدود ۴ تا ۵ تن است. نسبت مصرف ماسه به فلز، بسته به نوع، اندازه قطعه ریختگی، و روش قالب گیری، ممکن است از ۱۰:۱ تا ۲۵:۱ تغییر کند. ماسه ریخته گری انواع مختلفی دارد که به ذکر برخی از آنها پرداخته می شود.

قالب گیری با ماسه مرطوب

قالب ماسه مرطوب^{۱۲}، نوعی قالب ماسه ای است که مذاب در هنگامیکه قالب هنوز مرطوب است، بارریزی می شود. از مزایای این روش می توان به موارد زیر اشاره کرد.

۱. ارزان ترین روش است.
۲. نیازی به خشک کردن ندارد لذا هزینه و وقت صرفه جوئی می شود.
۳. از فضای محدود، می توان تولید بالائی بدست آورد.
۴. قالب های ماسه ای مرطوب از قالب های ماسه خشک نرم ترند، در نتیجه هنگام انقباض، قطعه آزادی بیشتری خواهد داشت.

از معایب آن می توان به موارد زیر اشاره کرد.

سطح قطعه حاصل صاف نیست.

نفوذپذیری و مقاومت این قالبها پائین است، در نتیجه معایب خاصی در آنها ایجاد می شود.

مقاومت مکانیکی آنها تا حدودی پائین است لذا در هنگام حمل و نقل، احتمال آسیب دیدن داشته و ممکن است، تخریب شوند.

^۱ moulding box

^۲ cope

^۳ drag

^۴ core

^۵ pouring

^۶ Gating system

^۷ pouring cup

^۸ sprue

^۹ down gate

^{۱۰} ingate

^{۱۱} fettling

^{۱۲} Green means wet or moist

قالب‌ها را نمی‌توان برای مدت زیادی انبار و نگهداری کرد.

۲: مزایا و معایب فرایند ریخته‌گری ماسه

فرایند ریخته‌گری ماسه دارای مزایای بسیار بوده و یک فرایند انعطاف پذیر، ساده و اقتصادی است. و از معایب آن عدم امکان ریخته‌گری قطعات نازک بوده و دقت اندازه‌ها پائین است.

پیشرفتهای ایجاد شده در ریخته‌گری ماسه

الف: قالب‌گیری با ماسه سیمان

در این روش سیمان پرتلند (حدود ۱۰ درصد) با ماسه و ۵ درصد آب مخلوط می‌شود. از این مخلوط برای ایجاد سطوح تماس با مدل استفاده می‌شود و پشت آن نیز از ماسه قبلی پر می‌شود. پس از قالب‌گیری درجه‌ها را بمدت یک تا دو روز به حال خود گذاشته تا سخت شود. در این روش قالبی با سطح بسیار سخت ایجاد می‌شود.

ب: فرایند سیلیکات سدیم / گاز کربنیک

به جای استفاده از روغن یا رزین که برای ایجاد پیوند یا پخت به گرما نیاز دارند، این فرایند از ماسه‌ای استفاده می‌کند که با سیلیکات سدیم (Na_2SiO_3) و معمولاً افزودنی آلی دیگری برای بهبود ریزش بر اثر لرزش مخلوط شده باشد. در این روش ماسه سیلیسی بدون خاک با پنج درصد سیلیکات سدیم مخلوط می‌شود از این مخلوط برای قالب‌گیری و ماهیچه سازی استفاده می‌شود که با گاز کربنیک سخت می‌شود. درصد سیلیکات سدیم بسته به نوع سیلیکات، نرمی ماسه و نوع آلیاژ ریخته‌گری، دما ممکن است از ۲ تا ۶ درصد متغیر باشد. استحکام خام قالب را می‌توان با افزودن ۲٪ خاک رس کنترل کرد. گاز کربنیک اسید ضعیفی تشکیل می‌دهد که سیلیکات سدیم را هیدرولیز می‌کند و سیلیس آمورف تشکیل می‌شود که به نوبه خود بین ذرات ماسه پیوند ایجاد می‌کند. سیلیکات سدیم خود نیز پیوند ایجاد می‌کند. فرایند ایجاد پیوند یک واکنش ساده شیمیایی نیست و نیاز به تشکیل کربنات سدیم و ژل سیلیس دارد که ترکیبی از سه فرایند زیر است.

۱. رسوب ژل سیلیس^۱

۲. تغییر نسبت Na_2O به SiO_2 در سیلیکات، باعث سخت شدن می‌شود.

۳. خشک کردن سیلیکات تغییر نکرده. از دست دادن آب، تغییر زیادی در ویسکوزیته^۲ ایجاد می‌کند و باعث سختی می‌گردد واکنش شیمیایی انجام شده عبارت است از:



ج: فرایند خودگیر

در فرایند خودگیر^۳ یک چسب فعال^۴ و نوعی کاتالیست قبل از قالب‌گیری با ماسه مخلوط می‌شود. واکنش سخت شدن بدون هیچگونه اعمال دیگری صورت می‌گیرد. موضوع مهمی که باید در نظر گرفته شود آن است که مخلوط سازی و قالب‌گیری بایستی در مدت معینی صورت گیرد. دیگر فرایند عبارتند از:

۱. فرایند سیلیکات خودگیر یا فرایند نی‌شی‌یاما

فرایند نی‌شی‌یاما (Nishiyama)، روش بهبود یافته‌ی فرایند سیلیکات سدیم/گاز کربنیک است که به آن فرایند سیلیکات خودگیر^۵، نیز گفته می‌شود. فرایند سیلیکات خودگیر، سخت‌کننده‌ای مانند پودر فروسیلیم یا

^۱ Silica gel

^۲ Viscosity

^۳ Self-Setting sand process

^۴ reactive binder

^۵ Viscosity

سیلیکات‌دی‌کلسیم^۱ به مخلوط ماسه-سیلیکات افزوده می‌شود. در این فرایند بایستی، احتیاطات فوق‌العاده‌ای مبذول شود زیرا در واکنش سخت‌شدن، گاز هیدروژن به عنوان محصول جانبی متصاعد می‌شود.

۲. فرآیند رزین-فوران

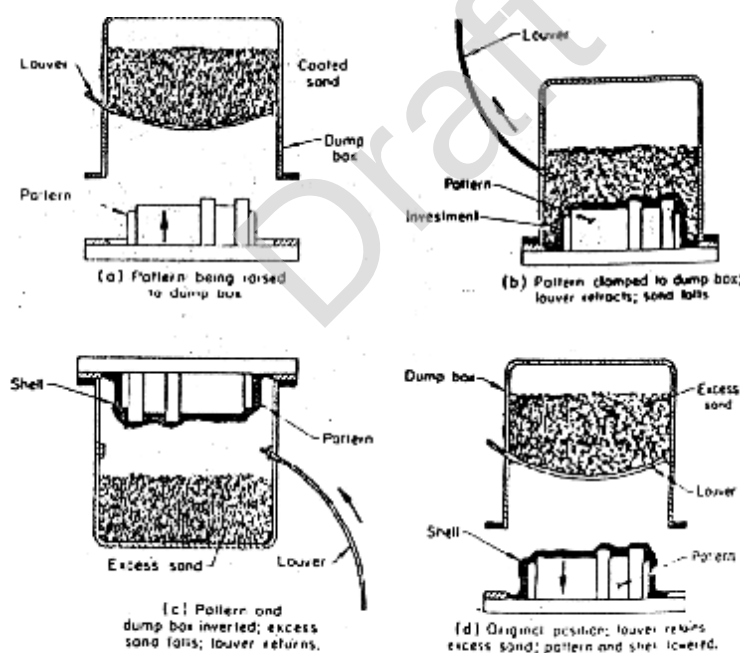
در فرآیند رزین-فوران^۲ برای ایجاد پیوند، از پلیمریزه شدن رزین با کاتالیزوری مانند اسید فسفریک یا اسید تولوئن سولفونیک استفاده می‌شود.

۳. سیستم سردگیر روغنی

در سیستم سردگیر روغنی، چسب مصرفی نوعی روغن بزرگ اصلاح شده با عامل خشک‌کننده فلزی است (معمولاً نفتانات کبالت) که به این مخلوط ماده سخت‌کننده ایزوسیانات افزوده می‌شود سخت‌کننده زمان گیرش را کنترل می‌کند.

قالب‌گیری پوسته‌ای

در این روش، ماسه قالب‌گیری با چسب زرینی سنتزی (فلن فرمالدئید، اوره فرمالدئید، آلکید یا رزین پلی استر) ضمن مخلوط شدن پوشش داده می‌شود. و سپس با بدنه مدل داغ تماس داده می‌شود. آنگاه رزین گرماگیر پوسته صلب و سختی را ایجاد و از مدل جدا می‌شود. معمولاً دو پوسته با هم یک قالب را تشکیل می‌دهند. پوسته‌ها ممکن است آنقدر صلب ساخته شوند که نیازی به پشت بند به عنوان نگهدارنده نداشته باشند و یا ممکن است با نوعی پشت بند نگهداری شوند. مراحل تولید این قالبها در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- مراحل تولید قالبهای پوسته‌ای

در این روش پس از یک دوره اولیه گرم‌گیری در حالیکه هنوز قالب با بدنه در تماس است ماسه اضافی طبق شکل ۱ از آن جدا می‌شود. و عملیات حرارتی جهت بهبود آن صورت می‌گیرد. این عمل برای آن است که از درجه گیرش یکسان در تمام پوسته اطمینان داشته باشیم. و نتیجتاً پیچیدگی به حداقل برسد. این موضوع در مورد قالبهای خود نگهدار^۳ بسیار مهم است.

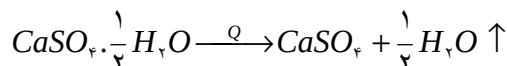
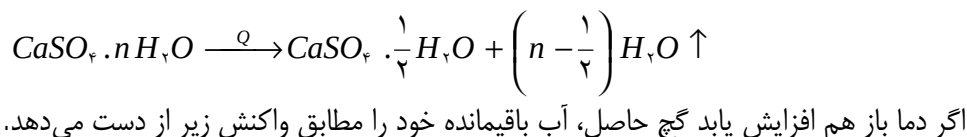
^۱ dicalcium silicate

^۲ Furan-resin process

^۳ Self - Support

ریخته‌گری در قالب گچی

در ریخته‌گری گچ، برای ساخت قالب از جیپس (یا سولفات کلسیم آبدار) با فرمول شیمیایی $CaSO_4 \cdot nH_2O$ استفاده می‌شود. برای اینکار ابتدا ژپس را تکلیس کرده و گچ بدست می‌آورند، فرمول تکلیس عبارتست از:



برای ساخت قالب، ۱۰۰ قسمت گچ تکلیس شده را با ۱۶۰ قسمت آب مخلوط کرده و بر روی بدنه مدل می‌ریزند تا سفت شود. سپس آن را در خشک‌کن و در دمای $(200-425^\circ C)$ خشک می‌کنند تا گچ آب آزاد و آب ترکیبی خود را از دست دهد. در این روش قالب‌هائی با دقت زیاد و سطح بسیار صاف ایجاد می‌شود. قالب‌ها دارای ظرفیت حرارتی کم بوده در نتیجه سرعت انجماد بسیار آهسته است. و تغذیه به سهولت صورت می‌گیرد. ولی زمان تولید افزایش می‌یابد. برای جلوگیری از ترک خوردن قالب، ۲۰ تا ۳۰ درصد تالک به گچ اضافه می‌شود. در این روش، فلزاتی مانند نقره، طلا، آلومینیم، منیزیم، مس و آلیاژهای این فلزات مخصوصاً برنج و برنز ریخته‌گری می‌شوند.

روش دیگری از ریخته‌گری در قالب گچ که به فرآیند Antioch معروف است برای ریخته‌گری قطعات مهندسی پیچیده استفاده می‌شود. مزیت عمده این روش در آن است که قالب گچی نفوذپذیری بالائی دارد. در این روش، برای تولید قالب آب را به مخلوط خشکی از جیپس، ماسه، پنبه نسوز، تالک و سیلیکات سدیم اضافه می‌کنند تا دوغاب تهیه شود سپس آن را با شیلنگ به داخل قالب تخلیه می‌کنند. مخلوط در ابتدا گیرش اولیه‌ای دارد پس از شش ساعت در دمای اتاق در اتوکلاوی با ۲ اتمسفر فشار قرار می‌دهند. پس از آن قالب را ۱۲ ساعت در هوا قرار می‌دهند تا بهبود یابد و نهایتاً در خشک‌کن و دمای $230^\circ C$ خشک می‌کنند.

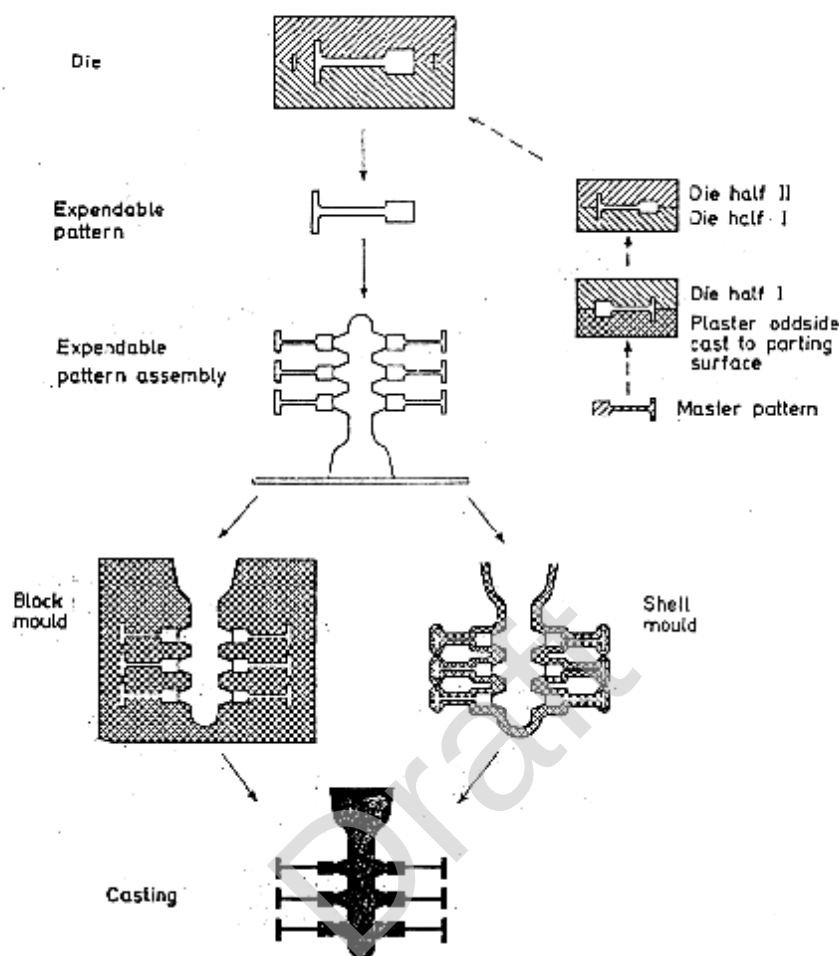
ریخته‌گری دقیق یا ریخته‌گری با موم دور ریز

این فرآیند که در آن از موم استفاده می‌شود روشی بسیار قدیمی است که امروزه نیز از آن استفاده می‌شود و از زمانی که نیاز به دقت بیشتر با ابعاد دقیقتر احساس شده است اهمیت آن افزایش پیدا کرده است. این فرایند از یک ریخته‌گری تا ریخته‌گری دیگر متفاوت است اما در اولین مرحله، تولید مدل مصرف شو با موم یا پلاستیک صورت می‌گیرد. پس از تهیه قالب، آن را با نسوز مناسبی پوشش می‌دهند سپس خشک کرده و پخت می‌دهند در حین فرآیند پخت در نسوز پیوندهای قوی ایجاد می‌شود و موم داخل آن ذوب شده و خارج می‌شود. اگر از پلاستیک که معمولاً پلی‌استیرن است استفاده شود، پس از حرارت دادن، پلی‌استیرن بدون ایجاد خاکستر و بر جا گذاشتن باقیمانده، سوخته و از بین می‌رود. پس از تهیه قالب به روش فوق، در آن با مذاب ریخته‌گری می‌کنند.

روش تولید مدل نیز بسیار ساده است. برای این کار موم را بداخل قالب فلزی تزریق می‌کنند و گاهی نیز مدل ساده‌ای را یکبار با سیستم راهگاهی مجزا تولید می‌کنند، در حالیکه اکثراً یک مدل شامل چند قطعه است.

در فرآیند پوسته‌ای سرامیکی (زیرکون، سیلیمانیت، سیلیکات آلومینیم) نیز بعد از اینکه مدل مومی تهیه شد آن را به داخل دوغاب آبکی که دارای ذرات بسیار ریز است فرو می‌برند تا با مواد معلق پوشش داده شود تا سطح صافی ایجاد گردد آنگاه آن را با ذرات درشت نسوزاند و دکرده و خشک می‌کنند. این عملیات را آنقدر تکرار می‌کنند تا ضخامت مورد نظر ایجاد شود.

پوشش اولیه‌ای که از فروبردن موم بداخل دوغاب ایجاد می‌شود دارای چسبی مانند سیلیکات اتیل^۱ است. فرآیند اندودکاری^۲ نیز با پاشیدن یا فروبردن قطعه بداخل بستری سیال^۳ صورت می‌گیرد که ذرات خشک به سطح مرطوب قالب می‌چسبد (شکل ۲).



شکل ۲: ترتیب تولید در ریخته‌گری دقیق

ریخته‌گری در قالب دائمی (تحت نیروی ثقل)

در این روش که از قالبی فلزی استفاده می‌شود، مذاب بدون فشار، تحت نیروی ثقل قالب را پر می‌کند. این روش برای تولید انبوه قطعات کوچک و ساده مناسب است و سطح تمام شده خوبی حاصل می‌شود.

ریخته‌گری مجوف

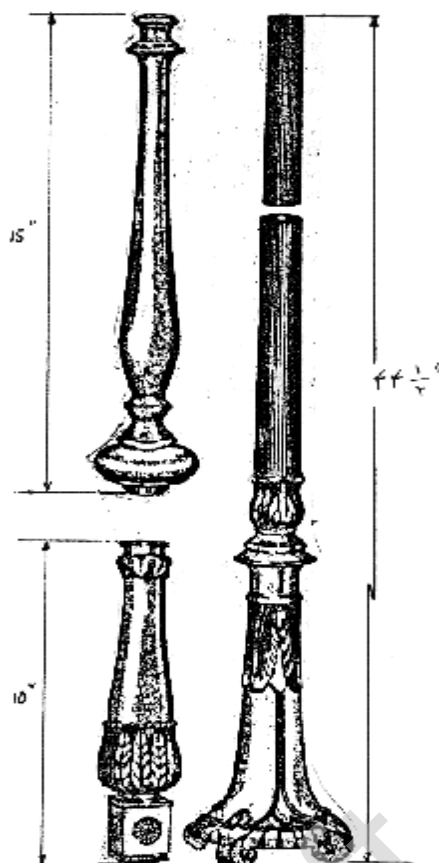
در روش دیگری از ریخته‌گری که بنام ریخته‌گری مجوف^۴ شناخته می‌شود، برای تولید اجسام توخالی و بدون استفاده از ماهیچه، از قالب دائمی استفاده می‌شود. برای این کار بارریزی در قالب انجام می‌شود سپس آن را به مدت معینی به حال خود گذاشته تا پوسته جامدی تشکیل شود، آنگاه قالب را واژگون کرده تا مذاب منجمد نشده تخلیه شود. سطح خارجی این قطعات بسیار صاف است اما سطح داخلی ناصاف می‌باشد. این روش شبیه ریخته‌گری دوغاب سرامیکی است.

^۱ Ethyl Silicate

^۲ Stuccoing

^۳ Fluidized bed

^۴ Slush casting



شکل ۳- پایه لامپ، ریخته‌گری مجوف (حداکثر طول قطعه تجاری قابل ریخته‌گری ۴۴ اینچ)

ریخته‌گری تحت فشار

تفاوت ریخته‌گری تحت فشار^۱ با ریخته‌گری در قالب دائم، فشار مثبت اعمال شده در این روش است که این فشار مثبت در طول انجماد اعمال می‌شود. برای ریخته‌گری با فشار زیاد (از فشارهایی در حدود چند هزار PSI استفاده می‌شود) معمولاً از دو فرآیند استفاده می‌شود.

ریخته‌گری تحت فشار با محفظه داغ

در ریخته‌گری تحت فشار با محفظه داغ^۲ مخزنی از فلز مذاب در کوره مربوط به دستگاه نگهداری می‌شود. سپس پمپ دستگاه بداخل فلز مذاب فروبرده می‌شود و پمپ مذاب را بداخل قالب می‌راند شکل ۴- الف استفاده از فرآیند محفظه داغ به فلزات زودگداز عمدتاً آلیاژهای روی که در دمای ۴۰۰ تزریق صورت می‌گیرد منحصر می‌شود. فشار اعمال شده در حدود PSI ۳۰۰ – ۴۰۰۰ می‌باشد.

ریخته‌گری تحت فشار با محفظه سرد

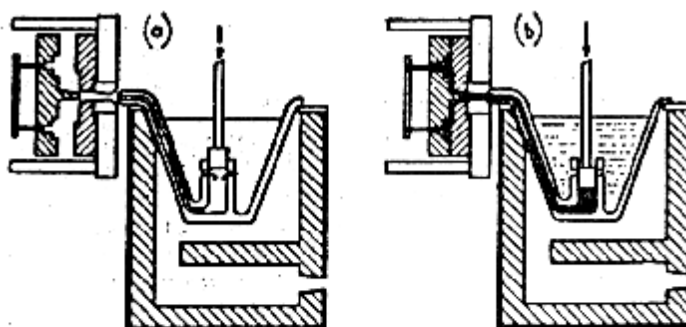
روش ریخته‌گری تحت فشار با محفظه سرد^۳ برای آلیاژهایی که دمای ذوب بالائی دارند مانند آلیاژهای آلومینیم که تزریق در بالاتر از ۵۰۰ صورت می‌گیرد. از این روش استفاده می‌شود. در این روش محفظه در مجاورت قالب با فلز مذاب بارگیری می‌شود و سپس مذاب با فشار به داخل قالب رانده می‌شود. شکل ۴- ب فشار اعمال شده در حدود PSI ۱۵۰۰۰ – ۴۰۰۰ می‌باشد.

^۱ Pressure die casting

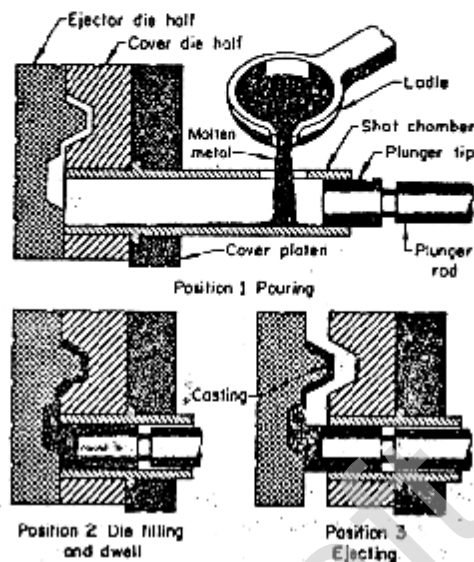
^۲ hot-chamber die casting

^۳ cold-hamber die casting

الف



ب



شکل ۴: ریخته‌گری تحت فشار الف: داغ ب: سرد

ریخته‌گری گریز از مرکز

ریخته‌گری گریز از مرکز^۱ این روش مستلزم انجماد فلز در قالب در حال دوران است. فلز مذاب از طریق ناودانی به داخل قالب وارد شده و سطح داخلی آن را می‌پوشاند اکثر ریخته‌گری‌ها در قالب‌های افقی که حول محور افقی خود می‌چرخند صورت می‌گیرد (شکل ۵).

شکل ۵: ریخته‌گری گریز از مرکز

ریخته‌گری قالب کامل

ریخته‌گری قالب کامل^۲ یا قالب بدون حفره روشی است که اخیراً ابداع شده است و مفهوم اصلی آن بسیار ساده است. مدل را از ماده‌ای مناسبی (معمولاً پلی‌استیرن) که قابل احتراق یا قابل تبخیر شدن است، می‌سازند. سپس قالب در اطراف آن تشکیل می‌شود. مدل را از قالب جدا نمی‌سازند بلکه فلز مذاب را به داخل قالب کامل بارریزی می‌کنند. با جلو رفتن مذاب مدل سوخته و از بین می‌رود تا قالب کلاً پر شود. از این روش برای ریخته‌گری قطعات پیچیده استفاده می‌کنند.

ریخته‌گری مداوم (پیوسته)

از ریخته‌گری مداوم (پیوسته)^۳ برای تولید شمش‌های فلزی استفاده می‌کنند در این روش مذاب از داخل پاتیل مخصوص به داخل قالب گرافیتی یا فلزی که با آب سرد می‌شود و ته آن باز است بارریزی می‌شود. پوسته‌ای از فلز جامد به سرعت در سطح مشترک قالب و مذاب تشکیل می‌شود و به علت انقباض از دیواره قالب جدا می‌شود. برای جلوگیری از

^۱ centrifugal casting

^۲ full-mould casting

^۳ Continuous casting

خارج شدن مذاب از قالب در شروع بارریزی شمش فلزی در ته قالب قرار داده می‌شود و سپس با ادامه بارریزی به بیرون کشیده می‌شود.

ارزیابی روش‌های ریخته‌گری مختلف

مقایسه و ارزیابی روش‌های ریخته‌گری برای انتخاب اقتصادی‌ترین روش بسیار مهم است اما به علت این که عوامل مختلفی بر ریخته‌گری اثر می‌گذارند این ارزیابی مشکل است. انتخاب اقتصادی‌ترین فرآیند برای تولید یک قطعه ریختگی، به نوع آلیاژ، پیچیدگی، اندازه‌ی قطعه، تعداد تولید، دقت ابعادی، و سطح تمام شده آن بستگی دارد. همه این عوامل، اهمیت اقتصادی یکسانی ندارند بلکه ممکن است یکی از این عوامل در شرایط به خصوصی تعیین کننده باشد. مهم‌ترین عامل ناشی از مواد که بر انتخاب روش ریخته‌گری موثر است دمای ذوب است. در فرآیندهایی که برای قالب از مواد نسوز و دیرگداز استفاده می‌شود (ریخته‌گری ماسه یا ریخته‌گری دقیق) می‌توان برای ریخته‌گری اغلب آلیاژها استفاده کرد. از طرف دیگر، فرآیندهایی که نیاز به قالب‌های فلزی دایمی دارند، بایستی برای آلیاژهای زودگداز مانند آلیاژهای آلومینیم، منیزیم، روی، و مس استفاده شوند.

فرآیندهای ریخته‌گری نسبت به اندازه و وزن قطعه فوق‌العاده انعطاف پذیرند مثلاً برای تولید قطعات بزرگ از روش ساده ریخته‌گری ماسه و برای تولید قطعات کوچک از ریخته‌گری دقیق استفاده می‌شود. قابلیت هر فرآیند ریخته‌گری برای دوباره سازی قطعات پیچیده بروش ساده از اهمیت زیادی برخوردار است. تولید پیچیده‌ترین اشکال به مدل‌های مصرف شونده نیاز دارد. هزینه زیاد ساخت قالب‌های فلزی و ضرورت سهولت جدا شدن قطعه از قالب، باعث محدودیت پیچیدگی قطعه شده و استفاده از قالب‌های دایمی را مشکل می‌کند. یکی از عوامل مهم حداقل ضخامت قطعه است که می‌تواند در یک فرآیند تولید شود. این عامل تابع سطح تمام شده‌ی قالب و روش ورود آلیاژ مذاب به قالب و نیز وابسته به محفظه قالب است. دقت ریخته‌گری (ابعاد، سطح تمام شده) فرآیندهای مختلف با هم متفاوت است. دقت زیاد ابعاد و سطح تمام شده‌ی خوب در فرآیندهایی که از قالب فلزی دایمی استفاده می‌شود حاصل می‌شود. در جدول ۱ قابلیت ریخته‌گری فرآیندهای مختلف داده شده است.

جدول ۱: قابلیت ریخته‌گری فرآیندهای مختلف

فلزات ریخته‌گری

فلزات ریخته‌گری، غالباً به صورت آهنی و غیرآهنی دسته‌بندی می‌شوند. گروه‌های عمده عبارتند از:

I. آهنی

a. فولاد

i. فولاد کربنی ساده^۱

ii. فولاد کم آلیاژ^۲

iii. فولاد پر آلیاژ^۳

b. چدن

i. چدن خاکستری

ii. چدن داکتیل (چکش خوار) یا گره دار^۴

iii. چدن سفید

iv. چدن مالیل / چدن مالیل پرلیتی

^۱ Plain carbon steel

^۲ Low alloy steel

^۳ High-alloy steel

^۴ Ductile cast iron, nodular

II. غیرآهنی

- a. آلومینیم
- b. مس
- c. سرب
- d. منیزیم
- e. نیکل
- f. قلع
- g. روی
- h. غیره

ریخته‌گری آلیاژهای غیرآهنی را می‌توان به دو دسته‌ی زیر تقسیم‌بندی نمود:

۱. ریخته‌گری فلزات سنگین (مس، روی، سرب، نیکل و آلیاژهای آنها)
۲. ریخته‌گری فلزات سبک (آلومینیم، منیزیم و آلیاژهای آنها)

تهیه لیست کاملی از آلیاژهایی که ریخته‌گری می‌شوند و در گروه‌های فوق قرار نمی‌گیرند غیر ممکن است. با وجود این اشاره به برخی از آنها مفید است.

۱- آلیاژها و فلزات دیرگداز

هر چند این آلیاژها را به روش‌های دیگری نیز می‌توان شکل داد، اما یکی از روش‌های تجارتی مفید، ریخته‌گری دقیق است. از عناصری که به این روش ریخته‌گری می‌شوند کبالت، کروم، کلمبیم (نیوبیم)، تانتالیم، تنگستن، نیکل، و تیتانیوم را می‌توان نام برد.

۲- ریخته‌گری قطعات مصرفی در انرژی اتمی

قطعات متعددی از آلیاژهای مخصوص که برای کاربردهای انرژی اتمی مفیدند به روش ریخته‌گری تولید می‌شوند.

۳- آلیاژهای دندانپزشکی

قطعات این آلیاژها به روش ریخته‌گری دقیق تولید می‌شوند و از نظر قیمت عناصر تشکیل دهنده و پیچیدگی ترکیب در ردیف آلیاژهای دیرگداز قرار می‌گیرند.

۴- ریخته‌گری فلزات گران بها

نقره، طلا، و پلاتین را می‌توان به روش ریخته‌گری شکل داد.

انتخاب هر گروه از آلیاژهای فوق برای کاربرد خاصی، به عوامل متعددی بستگی دارد که این عوامل عبارتند از:

۱. قیمت
۲. مقاومت در برابر خوردگی
۳. مقاومت مکانیکی
۴. چقرمگی
۵. وزن
۶. مسایل سنتی
۷. ظاهر و نمای قطعه
۸. خواص قطعه ریخته‌گری
۹. خواص قطعه در دمای بالا یا پایین
۱۰. خواص الکتریکی
۱۱. حساسیت به اعمال حرارتی

۱۲. پسند شخصی

۱۳. بازار فروش (برخی آلیاژها)

۱۴. خواص مورد نیاز / مقاومت در برابر سایش و قابلیت ماشین کاری و غیره

خواص فلزات و آلیاژها

برخی از خواص عناصر پایه که در ریخته‌گری استفاده می‌شوند در جدول شماره ۱ داده شده است. ارقام جدول اختلاف زیادی را در خواص این عناصر نشان می‌دهد. بطوری که آلومینیم و مس از نظر هدایت الکتریکی از آهن عالی‌ترند (هدایت الکتریکی عکس ضریب مقاومت ρ می‌باشد).

جدول شماره ۱: برخی خواص فیزیکی عناصر

ضریب مقاومت الکتریکی آلومینیم که در جدول آمده است تقریباً از مقاومت مس بیشتر است. این مقایسه بر مبنای حجم صورت گرفته است ولی اگر بر اساس وزن صورت گیرد آلومینیم نسبت به مس هدایت عالی‌تری خواهد داشت. اختلاف دمایی ذوب برای تعیین روش ریخته‌گری از اهمیت خاصی برخوردار است و هنگام استفاده از فلزات دیرگداز بسیار مهم است.

در هنگام انتخاب فلز برای کاربرد بخصوص، فقط تعداد محدودی از عوامل بایستی مورد ملاحظه قرار گیرد. برخی از این عوامل در جدول شماره ۲ داده شده است.

جدول شماره ۲: خواص ریخته‌گری قطعات ریختگی

ریخته‌گری آلیاژهای مس

تاریخچه ذوب و ریخته‌گری مس از ۳۰۰۰ سال قبل از میلاد شروع می‌شود. امروزه نیز آلیاژهای مس دارای مزایایی هستند که عبارتند از:

۱. هدایت حرارتی و الکتریکی بالا
۲. مقاومت در برابر خوردگی عالی
۳. ظاهر مناسب
۴. غیرسمی بودن
۵. کیفیت باربری

استفاده از مس محدودیتهایی نیز دارد که از آنجمله قیمت یکی از عوامل بسیار مهم است که عامل تعیین کننده نیز به شمار می‌رود. آلیاژهای مس را با کلیه روشها مانند ریخته‌گری در قالب ماسه، ریخته‌گری در قالب دائمی، ریخته‌گری تحت فشار، و ریخته‌گری دقیق و غیره می‌توان ریخته‌گری کرد. برای تولید قطعات بزرگ از جمله ریخته‌گری پروانه کشتیها از قالبهای ماسه با پیوند شیمیایی در حد وسیعی استفاده می‌شود. به این روش پروانه‌هایی به وزن ۳۵۰۰۰ پوند (۱۵۹۰۴ kg) و با دقت $\frac{1}{33}$ اینچ در تمام قطعه، تولید شده‌اند. برای قطعات کوچکتر مانند اتصالات و مجسمه‌ها و غیره از قالبهای گچی استفاده می‌شود. تقریباً کلیه آلیاژهای مس (با وزنهایی در حد چند گرم تا بالاتر از ۲۲۶۷۰ کیلوگرم)، را می‌توان به روش گریز از مرکز ریخته‌گری کرد. قطعاتی با وزنهای بیشتر در سیلندرهای مشبک در صنعت کاغذسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ماسه‌های قالبگیری

اکثر قطعات ریخته‌گری آلیاژهای مس به سطح تمام شده عالی نیاز دارد. برای رسیدن به این هدف از ماسه‌هایی با نفوذپذیری کم استفاده می‌شود. (ماسه ۲۷۰ تا ۱۲۰ AFS) هر چند نرمیت (Finess) تنها عامل به شمار نمی‌رود قابلیت قالبگیری (flowability) بالا نیز نیاز است. لذا از ماسه‌های طبیعی نرم استفاده می‌شود. اگر قطعه ریخته‌گری بزرگ باشد به نفوذپذیری بالا نیاز است، زیرا در قطعات بزرگ گاز بیشتری تشکیل می‌شود و اگر نفوذپذیری بالا باشد از معایبی مانند حفره‌های سوزنی، حبابهای محبوس شده و غیره جلوگیری می‌شود.

ماسه‌های ماهیچه

ماهیچه‌های لازم برای ریخته‌گری قطعات از آلیاژهای مس به روش سنتی صورت می‌گیرد. اگر ماهیچه بیش از حد سخت باشد پارگی گرم (hot tear) اتفاق می‌افتد.

سیستم راهگاهی

کلیه اصول سیستمهای راهگاهی در مورد آلیاژهای مس نیز بکار می‌رود. از آنجائیکه سیستم راهگاهی آخرین قسمتی است که منجمد می‌شود، می‌توان از آن به عنوان منبع تغذیه نیز استفاده کرد. البته این مطلب به قطعات کوچک که در حدود چند کیلوگرم وزن دارند اعمال می‌شود. قطعات بزرگتر به تغذیه از منبع تغذیه نیاز دارند زیرا دارای انقباض حاصل از انجماد بالائی (۴٫۵ تا ۹٪) هستند. آلیاژهای مس شامل عناصری مانند روی، قلع و آلومینیم می‌باشند که به راحتی اکسید تشکیل می‌دهند برای تفاله‌های تشکیل شده بایستی در سیستم راهگاهی سرباره گیر تعبیه شود.

طراحی سیستم راهگاهی

سیستم راهگاهی آلیاژهای مس شبیه سیستم راهگاهی چدن خاکستری است. برای شناور ساختن تفاله در راهگاه قائم نسبت راهگاهی (a:b:c) حدود ۲:۸:۱ یا ۳:۹:۱ مطلوب می‌باشد.

منبع تغذیه

محدوده انجماد اکثر آلیاژهای مس بالاست و با مکانیسم دندریتی منجمد می‌شوند بطوریکه رسیدن مذاب از منبع تغذیه به قطعه را مشکل می‌کند. این مکانیسم باعث پخش شدن حفره‌های انقباض شده و تولید قطعه سالم را مشکل می‌کند. تغذیه صحیح و نتیجتاً حذف حفره‌ها یا حفره‌های بزرگ و جلوگیری از حفره‌های میکروسکوپی را می‌توان با استفاده از تعداد منبع کافی، اندازه مناسب منبع و محل و استفاده مناسب و استفاده از اصول انجماد جهت‌دار بدست آورد. حتی اگر یک منبع تغذیه تا مدتی بعد از انجماد قطعه مذاب باقی بماند بدین معنی نیست که قطعه در رابطه با انقباض میکروسکوپی با موفقیت تغذیه شده است. در این رابطه استفاده از مبرد در دورترین نقطه قطعه بسیار مناسب است.

ذوب مس و آلیاژهای آن

روش ذوب و بارریزی شدیداً بر کیفیت قطعات ریختگی آلیاژهای مس تاثیر دارد. نقطه ذوب مس از آلومینیم بالاتر است. با وجود این، ذوب آلومینیم نسبت به ذوب مس به ۶۰٪ انرژی حرارتی بیشتر نیاز دارد. دلیل آن بالا بودن ظرفیت حرارتی و گرمای نهان ذوب آلومینیم نسبت به فلز مس است. بنابراین ظرفیت حرارتی عامل اساسی در ذوب کلیه فلزات بوده و حرارت لازم برای ذوب را تعیین می‌کند.

لوازم و وسائل ذوب مس

مس در کوره‌های بوت‌های، قوس الکتریکی و القائی ذوب می‌شود.

روش ذوب مس

اغلب آلیاژهای مس دارای عناصری مانند روی، قلع، آلومینیم، منیزیم و منگنز است که به سادگی اکسید می‌شوند. اکسیدها کم و بیش از مذاب جدا شده و به صورت سرباره تفاله تشکیل می‌دهند. اکسیدها غالباً، دارای دانسیته پائینی بوده و انتظار می‌رود از مذاب خارج شده و سطح آن شناور شوند. با وجود این، کشش سطحی و دیگر عوامل این جدایش را در برخی از آلیاژها، مانند برنجهای پرروی و برنزه‌های آلومینیم مشکل می‌سازد و تفاله ممکن است قسمت اعظم فلز را محبوس سازد و تلفات ذوب را افزایش دهد. گاهی از فلاکس یا ذغال به عنوان پوشش برای به حداقل رساندن تشکیل تفاله استفاده می‌شود. ذغال به عنوان پوشش محافظ اکسایش را به حداقل می‌رساند. بدون شک هر چقدر به‌هم‌زدن کاهش یابد و ذوب تحت احتراق ایده‌آل صورت گیرد، تشکیل تفاله به حداقل می‌رسد.

اکسیژن در ذوب مس

مس عنصری است که در حالت مذاب به سهولت اکسید می‌شود (شکل زیر).

شکل ۱۳/۷: رزنتال

همانگونه که نمودارهای فوق نشان می‌دهد حلالیت اکسیژن در مذاب مس، به سرعت با دما افزایش می‌یابد. در حالت جامد حداکثر اکسیژنی را که مس می‌تواند در خود حل کند حدود ۰٫۰۰۳۵ درصد اکسیژن است. بیشتر این مقدار به صورت Cu_2O تبدیل می‌شود. بنابراین واضح است که ذوب مس در مجاورت اکسیژن آزاد (یا گاز اکسیدکننده‌ای مانند CO_2) اکسایش را تسریع کرده و درصد اکسیژن حل شده در مس مذاب را افزایش می‌کند. اگر مس خالص تحت شرایط اکسیدی ذوب شود، درصد واقعی اکسیژن حل شده به ۰٫۰۴ تا ۰٫۰۵ درصد وزنی می‌رسد. روش دیگری که مقدار اکسیژن فلز را بالا می‌برد پوشاندن مذاب با فلاکس اکسیدکننده‌ای مثلاً مخلوطی از ۲۰٪ اکسیدمس، ۳۴ قسمت فلاکس و ۵۴ قسمت ماسه است. آلیاژهای مس که تحت همان شرایط ذوب شوند دارای اکسیژن کمتری نسبت به مس خالص هستند. اکثر عناصر آلیاژی مثلاً روی، قلع، یا آلومینیم مواد دی‌اکسیدکننده به شمار می‌روند زیرا ممکن است آنها نسبت به مس، اکسیدهای قوی‌تری تشکیل دهند و از رسیدن به حداکثر اکسیژن جلوگیری کنند.

هیدروژن در ذوب مس

حلالیت هیدروژن به مقدار قابل ملاحظه‌ای در مذاب مس و آلیاژهای آن افزایش می‌یابد. در دمای ذوب مس افزایش حلالیت قابل ملاحظه‌ای مشاهده می‌شود. شکل --- نشان می‌دهد که حلالیت هیدروژن در آلیاژهای مس-قلع (برنزها) پائین‌تر از مس خالص است.

شکل ۱۳/۸: رزنتال

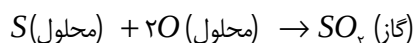
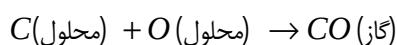
جذب هیدروژن که از محیط کوره، از رطوبت یا از روغن‌های موجود در بار کوره، و نیز ماسه‌های قالب و ماهیچه به مذاب صورت می‌گیرد، به علت تشکیل حفره‌های گاز و تخلخل بسیار ریز مضر است.

واکنش اکسیژن، هیدروژن و ناخالصیها

به علت وجود هیدروژن و اکسیژن در مذاب آلیاژهای مس، واکنش این دو نیز محتمل بوده که نتیجتاً بخار آب ایجاد می‌کند. در حقیقت هر دو بر حلالیت یکدیگر گاز اثر تنظیم کننده‌ای دارند. اگر مقدار اکسیژن تولیدی در هنگام ذوب و تحت شرایط اکسیدی یا افزودن CuO جامد به مذاب زیاد باشد، مقدار هیدروژن فلز مذاب به دلیل واکنش بخار آب در حداقل نگه‌داشته می‌شود. بدین منظور اکثر ریخته‌گران ترجیح می‌دهند مس را در شرایط اکسیدی ذوب کنند تا آلوده شدن مذاب با هیدروژن در حداقل نگهداشته شود. روش دیگری برای کاهش مقدار هیدروژن آلیاژهای مس، استفاده از روش تخلیه و خروج هیدروژن با گاز نیتروژن شبیه روشی که در مورد آلومینیم استفاده می‌شود می‌باشد. اشتعال نورانی فلز روی روش دیگری برای کاهش هیدروژن در برنج آبی، برنز مگنز، یا دیگر آلیاژهای پر روی مس است. اشتعال بدلیل روابط دما-فشار بخار روی در این آلیاژهاست. بخار روی با افزایش حرارت تا دمائی که فشار بخار روی برابر فشار هوا شود از برنج تقطیر می‌شود. بخار روی که با اکسیژن ترکیب شود شعله‌ای روشن و سفید بنام flare ایجاد می‌کند. اشتعال نورانی، با افزایش دما تا نقطه جوش اهمیت پیدا می‌کند. جدول زیر نشان می‌دهد که این موضوع در محدوده‌ی محدودی از دما ایجاد می‌شود بطوریکه اشتعال نورانی به عنوان نشانه‌ای بر دمای صحیح مذاب جهت بارریزی به شمار می‌رود.

جدول ۱۳/۵: رزنتال

تشکیل بخار روی، هیدروژن را به بیرون رانده و آن را تا حد غیرمضر تقلیل می‌دهد. برای جبران روی از دست داده شده به علت اشتعال نورانی یک تا یک و نیم کیلوگرم روی به هر ۱۰۰ کیلوگرم مذاب اضافه می‌شود. علاوه بر هیدروژن، کربن و گوگرد که در آلیاژهای مس وجود دارند ناخالصیهای گازسازند. واکنش آنها به صورت زیر است.



محصولات گازی واکنشهای فوق ممکن است عیب حفره‌ای گازی ایجاد نمایند، مخصوصاً اینکه این واکنشها با افت دما در حین انجماد قطعه آسان‌تر صورت می‌گیرد. حلالیت کربن در مس بسیار کم است (کمتر از ۰.۰۰۴٪) بطوریکه غالباً به نظر نمی‌رسد CO منبع گاز باشد. مخصوصاً اگر اکسیژن را نیز توسط مواد دی‌اکسیدکننده از محیط خارج نموده باشیم. در آلیاژهای مس، گوگرد قابل ملاحظه‌ای می‌تواند وجود داشته باشد که به عنوان یک ناخالصی به شمار می‌رود و بایستی در حداقل معینی معمولاً کمتر از ۰.۰۵ تا ۰.۰۸٪ نگهداشته شود. معمولترین روش پیش‌گیری از واکنشهای فوق کاهش مقدار اکسیژن با مواد دی‌اکسیدکننده است که واکنشهای فوق را به سمت راست می‌برد.

دی‌اکسیداسیون

عناصری که نسبت به مس به طور موثری با اکسیژن ترکیب می‌شوند را می‌توان برای از بین بردن مقدار اکسیژن مذاب آلیاژ مس که تحت شرایط اکسیدی ذوب شده‌اند استفاده کرد. فسفر، لیتیوم، بر، کلسیم، منیزیم، آلومینیم، سیلیسیم و بریلیم از جمله این عناصرند. از جمله آلیاژهایی که بدین منظور استفاده می‌شوند آلیاژ زودگداز فسفر و مس با ۱۵٪ فسفر

و ۸۵٪ مس است. حدود ۰,۰۲٪ فسفر و یا کمتر به منظور دی اکسیداسیون به مذاب افزوده می شود که این مقدار حدود ۶۰ تا ۱۲۰ گرم از آلیاژ ۱۵P-Cu٪ به ۱۰۰ کیلوگرم مذاب می باشد. عمل فسفر باقیمانده در احیای مقدار اکسیژن برنز Sn ۱۰٪-Cu در شکل زیر نشان داده شده است.

شکل : ۱۳۳/۱۱ رزنتال

همانگونه که مشاهده می شود مقدار ۰,۰۲ درصد فسفر در احیای اکسیژن کاملاً موثر است.

خلاصه ذوب فلز برای کنترل گازها

یکی از روشهای ذوب برای پیش گیری از معایب حاصل از جذب گازها که در بخش قبلی توضیح داده شد عبارتست از

۱. مرحله اکسیدکننده در حین ذوب و حرارت دادن برای کنترل هیدروژن
۲. مرحله دی اکسیداسیون برای کنترل اثرات اکسیژن، تزریق گاز (Flushing)، و اشتعال نورانی روشهای دیگری برای کنترل هیدروژن می باشند.

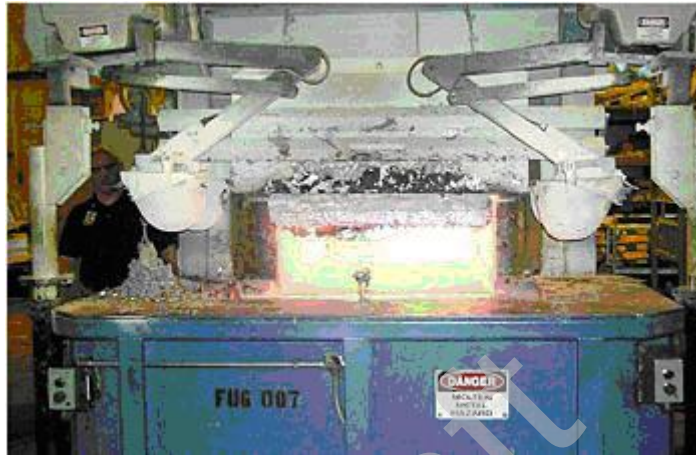
کیفیت مذاب

در هر کدام از روشهای ذوب میله های آزمایشی متعددی را به عنوان راهنمای کیفیت مذاب بارریزی می کنند. استوانه های مدور با قطرهای مختلف دو و نیم سانتیمتر تا ۵ سانتیمتر را قبل از ریخته گری برای مطالعه انقباض بارریزی می کنند. اگر در میله ها حفره لوله ای شکل ایجاد شود بیانگر آن است که مقدار گاز مذاب بسیار کم است.

آلومینیم و آلیاژهای آن

عمر کوره‌های ذوب آلومینیم

استفاده از نسوزهای مناسب باعث افزایش عمر کوره‌های ذوب آلومینیم می‌شود. یکی از مواردی که باعث افزایش هزینه‌های تولید می‌شود تمیزکاری مداوم کوره و نیز نگهداری از آن است. با استفاده از نسوزهای مناسب این هزینه‌ها کاهش می‌یابند.



شکل: کوره ذوب آلومینیم کارگاه ریخته‌گری با قالب دائمی

از کوره‌های ذوب آلومینیم با پوشش الومینیا و با ظرفیت‌های ذوبی در حدود ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلوگرم در ساعت در ریخته‌گری قطعات خودرو بسیار استفاده می‌شود. در این کوره‌ها از بوته دائمی یا نیمه دائمی استفاده می‌شود. یکی از مشکلات اساسی در این کوره‌ها خوردگی شدید نسوز بر اثر تجمع دراس (اکسید آلومینیم) بر سطح نسوز و نیز نفوذ مذاب به داخل نسوز است بطوریکه به تمیزکاری روزانه نیاز داشته و غالباً به تعمیرات عمده یا تعویض و پوشش دهی کامل بوته مذاب کوره نیاز است. با تغییر و بکارگیری نسوز مناسب و در نتیجه افزایش عمر کوره، و به تبع آن کاهش توقف‌ها و کاهش هزینه‌های نگهداری صرفه‌جویی زیادی در اتلاف سرمایه و نیز کاهش قیمت تمام شده تولید دارد. دیواره‌های کوره، کف‌ها و نیز درب کوره بایستی به طور روزانه بدلیل تجمع دراس (اکسید آلومینیم) که بلبل تماس هوا با مذاب غیرقابل اجتناب است، با ابزارآلات فلزی تمیزکاری شود. سفتی دراس بر سطح نسوز به فرایند تمیزکاری شدیدی نیاز دارد که در اغلب موارد قسمتی از نسوز را نیز از سطح جدا می‌کند. رشد اکسید آلومینیم به اندازه یک توپ فوتبال در محل خط مذاب و قسمتهای مختلف مانند اطراف درب کوره بسیار اتفاق می‌افتد. با نفوذ و تجمع اکسید آلومینیم بر سطح نسوز به تدریج از ظرفیت کوره کاسته می‌شود و گاهی حتی دیواره‌ها را بگونه‌ای تغییر شکل می‌دهد که تعمیر کوره اجتناب ناپذیر می‌شود. در مناطقی که تجمع اکسید آلومینیم و نامناسب باشد، خواص عایقی نسوز کاهش می‌یابد و در نتیجه باعث باقی ماندن گرما در حوضچه مذاب شده و نگهداشتن مذاب در دمای معین را مشکل می‌کند. این موارد باعث نیاز به تعمیرات اساسی شده و برای تعمیر کوره حتی باعث تعطیلی آن تا هفته‌ها می‌شود.

حل مشکل



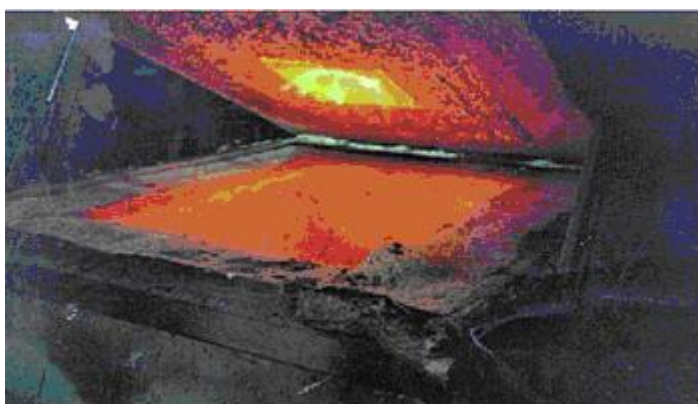
شکل : کوره ذوب آلومینیم با پوشش داخلی نسوزهای آلومینائی
(تجمع دراس و نیز خوردگی نسوز)

به طور کلی نتایج تحقیقاتی که بر روی نسوز کوره‌ها انجام شده است نشان می‌دهد که استفاده از انواع آلومینا، تاثیر چندانی بر بهبود کاری و عملکردی کوره‌ها ندارد. لذا بایستی در مورد استفاده از نسوزهای مختلف از رویکرد متفاوتی بهره جست. در این رابطه استفاده از نسوزهای گرماگیر (thermbond) ماده نسوز با پیوند فسفاتی بسیار مناسب است. این نسوزها دسته‌ای از مواد مهندسی می‌باشند که شامل سیستم دو قسمتی منجمله فرمول خشک و فعال‌کننده (activator) مایع است. این ماده معمولاً به صورت اجزای پیش وزن شده است که در هنگام مصرف با هم مخلوط شده تا نسوزی با پیوند منحصر به فرد تشکیل دهد. مزیت اصلی این نسوزها در کاربردهائی مانند ذوب آلومینیم مشخصه غیرترشوندگی آنها با آلومینیم بدون استفاده از افزودنی است. در مقایسه، دیگر نسوزها معمولاً افزودنی استفاده میکنند تا مشخصه غیرترشوندگی در آنها ایجاد شود که سرانجام اکسید شده و از قطعات خارج میشود و منجر به افت تاثیرشان می‌شود. مشخصات غیرترشوندگی ذاتی پیوندهای گرمائی آن است که اکسیدها بدون خسارت دیدن نسوز بدنه، به سهولت از آن جدا می‌شوند. نتیجتاً عمر پوشش نسوز وان مذاب کوره ذوب آلومینیم افزایش می‌یابد. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که تعمیرات برخی قطعات معلق در مذاب آلومینیم و در کوره‌های آلومینائی هر دو ماه یکبار بایستی انجام شود ولی در کوره‌هایی با پیوند فسفاتی این عمل هر ۶ تا ۱۲ ماه یکبار انجام میشود. از دیگر مزایای موارد گرما-گیر به موارد زیر اشاره میشود.

۱. بدلیل استحکام اولیه بالا زمان نصب و راه اندازی کاهش می‌یابد. استحکام فشاری بالا در حدود یکساعت ایجاد میشود.
۲. گیرش و پخت (cure) نسوز معمولاً بدون استفاده از گرمای خارجی و در چند ساعت پس از استفاده انجام میشود.
۳. نسوز بلافاصله پس از پخت قابل استفاده است.

نتیج تحقیقات نشان داده است که کوره‌های با پیوند فسفاتی حداقل ۴ سال تا زمان آخرین گزارش بدون هیچ مشکلی کار کرده‌اند و کار آنها ادامه داشته است.

با استفاده از نسوزهای پیوند فسفاتی (phosphate-bonded refractory) هزینه‌های روزمره تمیزکاری و نگهداری از کوره‌ها کاهش یافته و نیاز به تعمیرات نیز کاهش می‌یابد. کاهش عملیات نگهداری از کوره‌ها باعث کاهش هزینه‌های نگهداری میشود.



شکل : کوره ذوب آلومینیم با پوشش داخلی نسوزهای پیوند فسفاتی گرماگیر (therbond)

(هیچگونه تجمع دراس و یا خوردگی حاصل از واکنش سرباره / فلز / نسوز مشاهده نمی‌شود)

با استفاده از نسوزهای پیوند فسفاتی (phosphate-bonded refractory) هزینه‌های روزمره تمیزکاری و نگهداری از کوره‌ها کاهش یافته و نیاز به تعمیرات نیز کاهش می‌یابد.

Draft

منیزیم و آلیاژهای آن

منیزیم با دمای ذوب °C ۶۵۰ از سبکترین فلزات ساختمانی به شمار می‌رود. وزن سبک (دانسیته فلز و آلیاژهای آن ۱/۷۴ تا ۱/۸۲ است) و سهل‌الوصول بودن مهمترین کانسار آن (آب دریا)، قابلیت ماشین‌کاری عالی و خواص مکانیکی بسیار خوب آلیاژهای آن، باعث استفاده روز افزون از منیزیم شده است. لازم به ذکر است که دو مانع بر سر راه استفاده گسترده آن وجود دارد که یکی گران بودن و دیگری فعالیت شیمیایی آن است.

خواص مکانیکی منیزیم خالص بسیار پایین است ($d = 2\%$, $s_s = 2 \text{ kg/mm}^2$, $s_u = 9 \text{ kg/mm}^2$) و مقاومت آن در برابر خوردگی نیز بسیار پایین است. لذا از منیزیم خالص به عنوان مواد ساختمانی استفاده نمی‌شود. ریخته‌گری آلیاژهای منیزیم به روشهای ماسه مرطوب، ماسه خشک، قالب دائمی و تحت فشار صورت می‌گیرد و در قطعات هواپیما، ابزارهای دستی قابل حمل، ماشین تحریر و دستگاههای اشعه X-مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بلورشناسی

ساختار اتمی منیزیم HCP است و انتظار می‌رود فقط با فلزاتی که دارای ساختار مشابه و تقریباً با اندازه و خصوصیات الکتروشمی مساوی هستند محلول جامد تشکیل دهد. روی و بریلیم که دارای ساختار HCP هستند نمی‌توانند هر دو شرط را برآورده سازند در نتیجه نمی‌توانند با منیزیم محلول جامد تشکیل دهند. کادمیم هر دو شرط را برآورده می‌کند و در نتیجه به هر نسبتی با آن محلول جامد تشکیل می‌دهد.

اندازه نسبی اتم‌ها

اندازه اتمی عناصر آلیاژی بایستی بین ۱۵ درصد اندازه اتمی فلز حلال باشد تا بتواند در حد وسیعی آلیاژ تشکیل دهد. تقریباً ۵۰ درصد عناصری که بالقوه می‌توانند با منیزیم آلیاژ تشکیل دهند دارای اندازه‌ای در حدود ۱۵ درصد می‌باشند و حدود ۱۰ درصد در مرز قرار دارند و مابقی خارج این محدوده قرار می‌گیرند. در وهله اول عامل اندازه است که امکان تشکیل محلول جامد را محدود می‌کند.

عامل والانسی

به عنوان یک قاعده کلی می‌توان گفت که با دور شدن والانس ماده حلال و ماده حل شونده، تشکیل محلول جامد محدود می‌شود و عنصری که دارای والانس بالاتری است (نسبت به عنصری که دارای والانس کمتری است) در یک فلز بیشتر حل می‌شود مثلاً اختلاف والانس بین **Mg-In** و **Mg-Ag** مساوی است. اما نقره یک والانسی، نسبت به **In** سه والانسی، کمتر در منیزیم حل می‌شود.

عامل الکتروشمی

منیزیم شدیداً الکتروپوزیتیو است و وقتی با عناصر الکتروننگاتیو آلیاژ شود بجای محلول جامد، ترکیب بین فلزی تشکیل می‌دهد. این ترکیبات از نوع یونی یا نوع NaCl و یا از نوع ساختار Lave بوده و ترکیب آنها بر اساس قواعد والانس شیمیایی خواهد بود برای مثال:

- | | |
|---------------------------|--|
| (۱) عناصر گروه B VII + Mg | مثال، MgCl_2 و MgBr_2 |
| (۲) عناصر گروه B VI + Mg | مثال، MgS ، MgSe و MgTe |
| (۳) عناصر گروه B V + Mg | مثال، Mg_2P_2 ، Mg_2As_2 ، Mg_2Sb_2 و Mg_2Bi_2 |
| (۴) عناصر گروه V + Mg | مثال، Mg_2Si ، Mg_2Ge ، Mg_2Sn و Mg_2Pb |

اگر منیزیم با عنصری که الکترو نگاتیوتیه ضعیف یا الکتروپوزیتیوتیه ضعیف‌اند آلیاژ شود، ممکن است ترکیب تشکیل دهد. ترکیب شیمیایی این ترکیبات با والانس معمولی مطابقت نکرده، پایداری کمتری دارند و نقطه ذوبشان پایین است، اما این عناصر عوامل آلیاژی مهمی به شمار می‌روند.

نمودارهای تعادلی

مهمترین آلیاژهای منیزیم شامل آلومینیم است که نمودار تعادلی آن در شکل ۱ داده شده است.

شکل: نمودار تعادلی Al-Mg

در ساختار یوتکتیک (با توجه به قانون اهرمها) فاز ترکیبی، با توجه به محلول جامد α بیشتر است و چون فاز ترکیبی شکننده است در نتیجه آلیاژهایی که دارای شبکه یوتکتیک هستند شکننده اند. از طرفی در هر مورد، محلول جامد در دمای یوتکتیک دارای مقدار ماده حل شونده نسبتاً بیشتری است که با کاهش دما این حلالیت کاهش می‌یابد. لذا در این آلیاژها امکان پیرسختی وجود دارد.

روی و منگنز هم با منیزیم آلیاژ می‌شوند. در نمودار تعادلی دوتایی **Mg-Zn** بین محلول جامد پایانی و فاز شکننده **MgZn** فاز یوتکتیک قرار داد. هم سیستم **Mg-Zn** و هم سیستم **Mg-Mn** با کاهش دما، از خود کاهش حلالیت جامد نشان می‌دهند. در شکل‌های ۲ و ۳ نمودارهای تعادلی **Mg-Zn** و **Mg-Mn** نشان داده شده‌اند.

شکل: نمودار

از آنجایی که آلیاژهای تجاری مفید دارای مقدار قابل ملاحظه‌ای روی و آلومینیم هستند، لذا به نمودار تعادلی سه تایی نیاز است تا فازهای این آلیاژهای پیچیده را نشان دهد. در نمودار تعادلی سه تایی زیر، اطلاعات با ارزشی در مورد عملیات حرارتی و ساختار آلیاژ و نیز ترکیب دو آلیاژ ریخته‌گری تجاری داده شده است.

شکل: نمودار سه تایی Mg-Zn-Al

مقطع در گوشه منیزیم از سیستم سه تایی **Mg-Al-Zn** با منحنی‌های هم حرارت که محدوده حلالیت جامد را نشان می‌دهد رسم شده است. خط نقطه چین حوزه ساختاری آلیاژهای ریخته‌گری شده را جدا می‌سازد. در سمت چپ، ساختار شامل محلول جامد و توده‌های $Mg_{17}Al_{12}$ است. آلیاژهای Dow-alloy C که با دایره پر نشان داده شده است، در این محدوده می‌باشد. در سمت راست این خط، ساختارهای ریخته‌گری شده شامل محلول جامد، توده‌های $Mg_{17}Al_{12}$ و ترکیب سه تایی $Mg_{12}Zn_2Al_3$ قرار دارد. برای مثال در آلیاژ Dow-alloy H که ترکیب آن برابر دایره توخالی است و مثال این سه فاز می‌باشد در این محدوده قرار دارد.

آلومینیم و روی، خواص مکانیکی منیزیم را افزایش می‌دهند. منگنز مقاومت در برابر خوردگی را افزایش می‌دهد. تیتانیوم دانه‌بندی آلیاژهای منیزیم را ریز می‌کند در حالیکه بریلیم با تشکیل لایه‌ای اکسیدی بر روی مذاب، قابلیت اکسید شدن منیزیم را کاهش می‌دهد و از خطر شعله‌ور شدن جلوگیری می‌کند. افزودن ۰/۶ تا ۰/۸۵ درصد زیرکونیم به مقدار قابل ملاحظه‌ای دانه‌ها را ریز می‌کند و خواص مکانیکی را افزایش می‌دهد. سریم هدایت حرارتی را افزایش می‌دهد. مضرت‌ترین ناخالصی آلیاژهای منیزیم آهن است که مقاومت در برابر خوردگی را کاهش می‌دهد.

آلیاژهای منیزیم بر مبنای کاربرد، به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱- آلیاژهای چکشی که به صورت ورق یا میلۀ عرضه می‌شوند.

۲- آلیاژهای ریخته‌گری

مقایسه نسبت‌های مقاومت به دانسیته نشان می‌دهد که منیزیم با دیگر فلزات قابل مقایسه است.

آلیاژ ^۱	منیزیم	آلومینیم	تیتانیوم	آهن
$s_t / r = (43/1,8) = 24$	$(60/2,9) = 21$	$(100/4,5) = 22$	$(180/7,8) = 23$	

^۱ جالب است که اشاره شود نسبت مقاومت مکانیکی به وزن مخصوص از نظر عددی ۱۰ برابر طول شکست بر حسب کیلومتر است، یعنی سیمی از فولاد، وقتی که طول آن به ۲/۳ کیلومتر برسد تحت وزن خود پاره می‌شود.

آلیاژهای ریخته‌گری منیزیم

برخی از آلیاژهای منیزیم برای ریخته‌گری بسیار مناسبند. این آلیاژها در استاندارد ASTM و در جدولهای زیر مشخص شده‌اند. در این جدول‌ها، سیستم‌های آلیاژی اصلی عبارتند از:

۱. اگر آلومینیم و منگنز عناصر آلیاژی منیزیم باشد
نوع AM
۲. اگر آلومینیم و روی عناصر آلیاژی منیزیم باشد
نوع AZ
۳. اگر عناصر خاکی نادر و زیرکنیم در آلیاژ منیزیم وجود داشته باشد
نوع ZE، EZ، EK و
۴. اگر روی و زیرکنیم عناصر اصلی آلیاژی منیزیم باشد
نوع ZK
۵. اگر توریم و زیرکنیم عناصر اصلی آلیاژی منیزیم باشد
نوع ZH و HZ، HK

آلیاژهای نوع AZ اولین آلیاژهای منیزیم بوده‌اند که ریخته‌گری شده‌اند. قابلیت ریخته‌گری این آلیاژها بسیار خوب است. AZ^{۹۱} و AZ^{۸۱} به تدریج جانشین AZ^{۶۳} شده و در مواقعی که به چکش خواری و تنش تسلیم بالا تا ۳۵۰°F (۱۷۷°C) نیاز باشد استفاده می‌شوند. تنش تسلیم این آلیاژها بالاست و برای چرخهای فرود هواپیما، اهرمها، اتصالات و پوششهای آن مناسب‌اند.

جدول ۱- خصوصیات ترکیب شیمیایی آلیاژهای ریخته‌گری منیزیم در ماسه

جدول ۲- خصوصیات و خواص آلیاژهای ریخته‌گری منیزیم در ماسه

آلیاژهای ZK و ZH بالاترین مقاومت تسلیم را در بین دیگر آلیاژها دارا می‌باشند و آنها را می‌توان به شکل‌های پیچیده ریخته‌گری نمود. این گروه‌ها از گروه AZ گرانترند.

آلیاژهای منیزیم که دارای عناصر خاکی نادر و زیرکنیم باشند بین دمای ۳۵۰-۵۰۰ °F (۲۶۰-۱۷۷ °C) استفاده می‌شوند زیرا این آلیاژها قادرند در برابر دمای بالا به مدت طولانی مقاومت مکانیکی خود را حفظ کنند. این آلیاژها را ممکن است برای پوشش موتور جت و دیگر ریخته‌گری‌های هواپیما و صنایع موشکی در دمای بالا استفاده نمود.

جدول ۳- خواص مکانیکی مورد نیاز آلیاژهای منیزیم (ریخته‌گری در ماسه)

در جدولهای زیر آلیاژهای منیزیم که در ریخته‌گری با قالب دائمی و قالب تحت فشار استفاده می‌شوند داده شده است.*

جدول ۴- خصوصیات و ترکیب شیمیایی آلیاژهای ریخته‌گری منیزیم در قالب دائم

جدول ۵- خصوصیات و خواص ریخته‌گری آلیاژهای منیزیم در قالب دائم

حروفی که در جداول فوق مورد استفاده قرار گرفته‌اند عناصر آلیاژی را نشان می‌دهند که در زیر داده شده است.

Silicon	S	Manganese	M	Iron	F	Aluminum	A
Tin	T	Nickel	N	Magnesium	G	Bismuth	B
Antimony	Y	Lead	P	Thorium	H	Copper	C
Zinc	Z	Silver	Q	Zirconium	K	Cadmium	D
		Chromium	R	Beryllium	L	Rare Earth	E

جدول ۶- خواص مکانیکی مورد نیاز آلیاژهای ریخته‌گری منیزیم در قالب دائم

جدول ۷- خصوصیات و ترکیب شیمیایی آلیاژهای ریخته‌گری منیزیم تحت فشار

جدول ۸- خواص آلیاژهای ریخته‌گری منیزیم تحت فشار

عملیات حرارتی

جز در چند مورد تقریباً خواص مکانیکی آلیاژهای جداول فوق را می‌توان با عملیات حرارتی افزایش داد. شرایط و روش‌های عملیات حرارتی در جدول ۹ داده شده است.

جدول ۹- برنامه عملیات حرارتی آلیاژهای ریخته‌گری منیزیم

عملیات حرارتی محلول جامد^۱ را ممکن است از دمای (۳۰۰-۵۰۰°F) شروع کرده و در مدت ۲ تا ۳ ساعت دما را تا دمای عملیات حرارتی افزایش داد. افزودن حدود ۰/۰۱ گاز SO_۲ به کوره عملیات حرارتی برای جلوگیری از سوختن قطعه و جلوگیری از واکنش H_۲O-Mg ضروری است. (نقطه احتراق منیزیم بدون SO_۲ حدود ۷۰۰°F است. پس از عملیات حرارتی محلول جامد، برای جلوگیری از پیچیدگی و ترک، قطعات در هوای ساکن و یا با جریان هوا چائیده می‌شوند. اثر سرعت سرد شدن از دمای عملیات حرارتی محلول جامد بر خواص قطعه‌ای که متعاقباً در آنها پیرسازی^۲ صورت گرفته است در جدول شماره ۱۰ داده شده است.

جدول شماره ۱۰- اثر سرعت سرد شدن بر خواص آلیاژ ریخته‌گری منیزیم در ماسه

آلیاژ AZ۶۳A			آلیاژ AZ۹۲A			مدت سرد شدن، ۴۱۰ - ۱۹۰ °C
% افزایش	استحکام	استحکام	% افزایش	استحکام	استحکام	
طول در	تسلیم	کششی	طول در	تسلیم	کششی	
۲ in	psi	psi	۲ in	psi	psi	
۵,۰	۱۹۲۰۰	۴۰۰۰۰	۲,۰	۲۴۱۰۰	۴۰۰۰۰	۱۹۰ ثانیه، (سرد شدن در هوا)
۳,۴	۲۳۴۰۰	۴۰۴۰۰	۱,۸	۲۵۰۰۰	۴۱۹۰۰	۶۵ ثانیه، (چائیدن در روغن)
۵,۷	۲۱۷۰۰	۴۲۴۰۰	۲,۲	۳۰۰۰۰	۴۵۹۰۰	۵,۵ ثانیه، (آب ۹۰ °C)
۷,۳	۲۱۶۰۰	۴۵۱۰۰	۳,۵	۲۹۹۰۰	۴۸۲۰۰	۰,۵ ثانیه، (پاشش آب سرد)

برای جلوگیری از رشد و رسوب در مرز دانه‌ها یا پیچیدگی قطعاتی که اعمال حرارتی محلول جامد بر روی آنها صورت گرفته است عملیات تثبیت‌کننده نیز انجام می‌شود. پس از این مرحله ممکن است عمل پیرسازی نیز صورت گیرد (اگر به مقاومت کششی و تسلیم حداکثر با از دست دادن چکش خواری نیاز باشد). علائم اعمال حرارتی T۴، T۶ و T۷ به ترتیب بجای عملیات حرارتی محلول جامد، عملیات حرارتی به علاوه پیرسازی و عملیات حرارتی محلول جامد به علاوه عملیات تثبیت‌کننده به کار می‌رود. در حین اعمال حرارتی آلیاژهای منیزیم گاهی امکان سوختن هست که خود را به سه طریق ظاهر می‌کند:

الف) ترشح سطحی

ب) پودر خاکستری تیره در سطح

ج) ایجاد حفره در سطح و داخل قطعه

^۱ Solution Heat Treatment

^۲ Aging

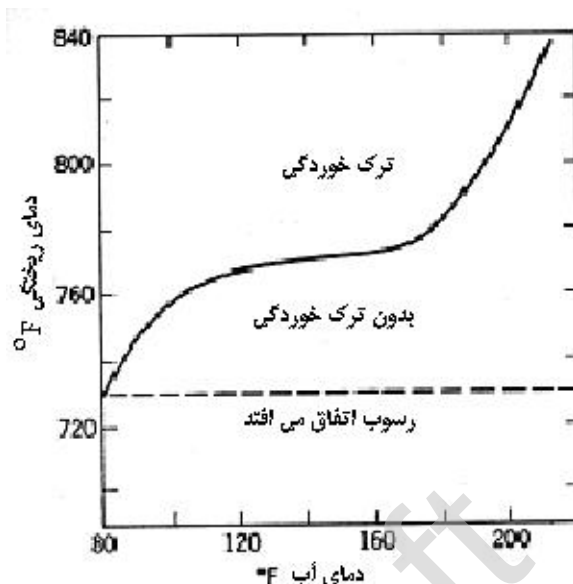
دلیل سوختن می‌تواند:

(۱) بالا بودن دمای اعمال حرارتی برای تشکیل محلول جامد

(۲) سرعت حرارت دادن تا دمای اعمال حرارتی زیاد باشد.

(۳) وجود بخار آب و عدم وجود گاز SO_2 در محیط اطراف

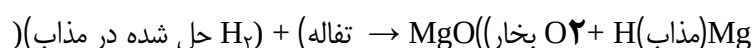
چائیدن آلیاژهای ریخته‌گری منیزیم از دمای hot short، یعنی دمای بسیار بالا در آب سرد منجر به ترک می‌شود. در شکل زیر رابطه دمای آب و فلز که ممکن است به ترک منجر شود یا نشود داده شده است.



شکل ۵- تمایل به ترک آلیاژ ریخته‌گری AZ۹۲A با چائیدن در آب از دمای اعمال حرارتی محلول جامد

قالب‌گیری ماسه

منیزیم مذاب تمایل زیادی به رطوبت موجود در ماسه مرطوب و اکسیژن ماسه خشک قالب دارد که در نتیجه بایستی از ماسه‌های سنتزی (ماسه سیلیسی + ۳ تا ۴ درصد نبتونیت) با نرمیت AFS از ۶۰ تا ۹۰ و نفوذپذیری ۱۵۰ ml/min - ۸۰ و با مقاومت خام ۷ - ۱۰ psi و حداقل رطوبت استفاده شود و برای جلوگیری از واکنش زیر بایستی عامل محافظی به ماسه افزوده شود.



این واکنش دو ضرر دارد. ممکن است ذرات اکسید شده در قطعه محبوس شوند و حفره‌های سوزنی به علت تشکیل هیدروژن ایجاد گردد. ضمناً این واکنش منجر به سیاه شدن پوسته خارجی تا عمق قابل ملاحظه‌ای در قطعه می‌شود و تخلخل موضعی و پودر اکسید منیزیم خاکستری ایجاد می‌کند که سوختن می‌نامند. مواد بازدارنده این اثرات را به حداقل می‌رساند. برای این کار از گوگرد و اسید بوریک هر کدام یک درصد یا بیشتر استفاده می‌کنند. از ترکیبات فلئور آمونیم، KBF_4 ، سیلیکو فلئور آمونیم، فلو بورات آمونیم و گاهی نیز از ۱٪ دی اتیلن گلیکول که مایع شربت مانندی است استفاده می‌شود.

قابلیت تمیزکاری (ریزش)^۱، ماسه ماهیچه بایستی بالا باشد زیرا آلیاژهای منیزیم در معرض ترک گرم^۲ قرار دارند به ماسه ماهیچه نیز مواد محافظ برای جلوگیری از اکسید شدن اضافه می‌شود. مثلاً در ماسه ماهیچه خشک ۵٪/۰ اسیدبوریک با مقدار مساوی گوگرد قطعه تمیز با سطح روشن ایجاد می‌شود و سطح شکست نیز تا قسمت بیرونی روشن است.

^۱ Collapsibility

^۲ Hot tear

سیستم راهگاهی

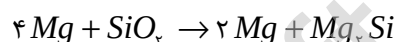
سیستم راهگاهی صحیح یکی از مهمترین عوامل تولید قطعه سالم با کیفیت خوب است. برای این منظور بهترین سیستم راهگاهی راهگاه تحتانی است. ظرفیت حرارتی منیزیم پائین است لذا دمای آن به سرعت افت می کند در نتیجه در قطعات نازک طول مسیر راهگاه بایستی کوتاه باشد.

برای جلوگیری از گردابی شدن مذاب که مشخصه راهگاههای مدور است از راهگاه قائم شکافی^۱ به ضخامت ۱/۴ تا ۱/۲ تا ۲ اینچ استفاده می شود و برای جلوگیری از ورود اکسیدها از پشم شیشه درشت بنام صافی که در انتهای راهگاه قائم شکافی قرار می گیرد استفاده می شود.

تغذیه انقباض حاصل از انجماد منیزیم را عمدتاً با منبع تغذیه فوقانی انجام می دهند هرچند گاهی نیز لازم است از منبع تغذیه جانبی استفاده شود. (استفاده از منبع تغذیه فوقانی برای ایجاد فشار متالوستاتیکی کافی است) منبع تغذیه بایستی تا پایان انجماد مذاب باقی بماند. از آنجائیکه تغذیه قطعات منیزیم به منبع تغذیه بزرگ نیاز دارد بهره دهی پائین بوده و حدود ۲۰ تا ۳۵ درصد است.

ذوب

چون منیزیم آهن را در خود حل نمی کند لوازم ذوب از نوع بوتله ای و از جنس آهن و یا گرافیتی است بوتله های خاک نسوز برای ذوب نامناسبند زیرا سیلیس (SiO_2) خاک به راحتی با منیزیم احیا می شود.



منیزیم را معمولاً بصورت شمشهای آلیاژشده عرضه می کنند با وجود این عناصر آلیاژی اصلی را در کارگاه ریخته گری به مذاب اضافه می کنند.

حدود یک قسمت شمش جدید باچهار قسمت از فلز برگشتی به کوره بارگیری می شود و محیط ذوب بایستی تا حدودی احیائی باشد. از آنجائیکه مذاب منیزیم و آلیاژهای آن به سهولت با هوا ترکیب می شوند ذوب تحت یک فلاکس محافظ انجام می شود. فلاکس شماره ۲۳۰ و ۲۳۲ در جدول ۱۱ تشکیل سرباره روانی را می دهد که به عنوان پوشش برروی مذاب قرار گرفته و از سوختن فلز جلوگیری می کند. این فلاکسها مخلوطی از BaCl_2 ، MgO ، CaF_2 ، KCl و MgCl_2 به نسبت های مختلف می باشد.

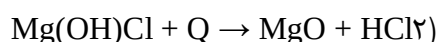
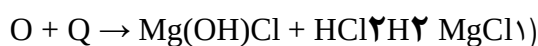
جدول شماره ۱۱ - فلاکسهای ذوب منیزیم

شماره فلاکس	KCl	MgCl ₂	MgO	CaF ₂	BaCl ₂	MnCl ₂	کاربرد
۲۳۰	۵۵٫۰	۳۴٫۰	...	۲٫۰	۹٫۰	...	بوتله های ذوب مجدد، سرباره سیال
۲۳۲	۳۷٫۵	۴۲٫۰	۷٫۵	۸٫۵	۴٫۵	...	بوتله های ذوب مجدد، سرباره سیال
۲۵۰	۲۳٫۵	...	...	۲٫۵	۲٫۵	۷۲٫۰	دمای ذوب بالاتر
۳۱۰	۲۰٫۰	۵۰٫۰	۱۵٫۰	۱۵٫۰	...	...	یک بوتله، ذوب بوتله ای، در حین استفاده خشک می شود.
۳۲۰	...	...	۱۱٫۰	۱۳٫۰	...	۷۶٫۰	دمای ذوب بالاتر

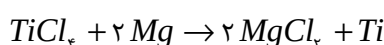
منیزیم برخلاف آلومینیم مذاب که لایه ای از اکسید را بوجود می آورد و این لایه از ادامه واکنش جلوگیری می کند نمی تواند چنین لایه محافظی را تشکیل دهد زیرا اکسید منیزیم دانه دانه ای و متخلخل بوده و وزن مخصوص آن بیشتر از فلز است ($3/2 \text{ gr/cm}^3$) و به همین دلیل به سهولت ترک می خورد و نمی تواند از ادامه واکنش جلوگیری کند. ابتدا بهتر است از تشکیل اکسید جلوگیری شود و در صورتیکه اکسید تشکیل شد به کمک فلاکسها از مذاب جدا شود.

^۱ slot sprue

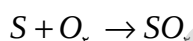
هدف اصلی استفاده از فلاکس جلوگیری از سوختن و اکسایش است. برای این منظور فلاکس، همراه با شمش به داخل بوته بارگیری می‌شود بطوریکه در زمانی که فلز مذاب است به عنوان فلاکس مذاب آن را پوشش دهد. پایه فلاکسهای منیزیم، کلرور منیزیم بی آب است که نقطه ذوب آن 710°C می‌باشد. برای کاهش این نقطه ذوب، دیگر کلرورها و برخی فلوئورها را به آن می‌افزایند. کلرور منیزیم بی آب ماده جاذب الرطوبه شدیدی است که اگر در فضای مرطوب قرار داشته باشد به سرعت رطوبت را جذب می‌کند. آب جذب شده را نمی‌توان با حرارت از آن جدا کرد. زیرا کلرور کلسیم تجزیه شده و اسید کلریدریک تولید می‌کند.



برای آگیری کامل کلرور منیزیم بدون اینکه تجزیه شود، بایستی آن را در اتمسفر اسید کلریدریک حرارت داد. یکی از طرق تهیه کلرور منیزیم بی آب، بصورت محصول جنبی تولید فلز تیتانیم می‌باشد.

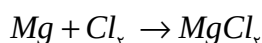


سابقاً از کارنالیت که نمک دوتائی پتاسیم و منیزیم کلر می‌باشد ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) به عنوان فلاکس استفاده می‌کردند. کارنالیت کانساری است که بخش عمده نمک موجود در دریای سیاه را تشکیل می‌دهد. برای جلوگیری از اکسیداسیون منیزیم بر روی مذاب گل گوگرد می‌پاشند. واکنش مربوطه عبارتست از:



حرارت تشکیل اکسید گوگرد از اکسید منیزیم بیشتر است بطوریکه گوگرد بجای منیزیم می‌سوزد. البته استفاده از گوگرد دارای معایبی است زیرا بوی نامطبوعی دارد و تنفس را مشکل می‌سازد و اگر غلظت آن بالا رود سمی است در نتیجه از مواد جانشین استفاده می‌کنند. این مواد فلوئورهای فرار و یا مخلوطی از فلوئورهای فرار با اسید بوریک می‌باشد. فلوئورها، بی فلوئور آمونیم (NH_4HF_2) یا بروفلوئور آمونیم (NH_4BF_4) و یا فلوئور آمونیم (NH_4F) می‌باشد. این مواد با فلز داغ تجزیه شده و لایه‌ای از فلوئور خنثی را تشکیل می‌دهد که از اکسیداسیون بیشتر جلوگیری می‌کند. بخارات حاصله نسبت به گوگرد ضرر کمتری دارد.

برای خارج ساختن هیدروژن از فلز مذاب، می‌توان نیتروژن خشک به مدت ۱۵ تا ۲۰ دقیقه به داخل مذاب تزریق نمود. افزودن فلاکس یا بهم زدن مذاب به طور آهسته، به جدا شدن اکسیدهای تفاله ساز کمک می‌کند. از گازهای هلیوم و کلر نیز برای هیدروژن زدائی آلیاژهای منیزیم استفاده می‌شود البته کلر از نظر قیمت و سرعت عمل ارجحیت دارد. تشکیل MgCl_2 سرعت کلر زنی را افزایش می‌دهد. برای اینکار کلر را از مخزن استوانه‌ای به داخل مذاب تزریق می‌کنند که کلرور منیزیم طبق رابطه زیر تشکیل می‌شود.



با هم زدن مذاب، کلرور منیزیم بصورت قطرات ریز، به سطح رانده می‌شود و در نقش فلاکس برخی از ناخالصیها و MgO را نیز با خود به سطح آورده و از مذاب خارج می‌کند.

هیدروژن زدائی را می‌توان با هگزا کلروراتان (C_2Cl_6) که در داخل مذاب تجزیه شده و کلر زیادی ایجاد می‌کند نیز انجام داد. عمده‌ترین مزیت استفاده از هگزا کلروراتان علاوه بر هیدروژن زدائی ریز کردن موثر دانه‌هاست. هگزا کلروراتان را بصورت قرصهای فشرده با وزن مخصوص ۲/۰ استفاده می‌کنند. این قرصها تحت وزن خود به داخل مذاب فرو رفته و به خوبی تجزیه می‌شوند.

ریز کردن دانه بندی

ریز کردن دانه‌های آلیاژهای منیزیم به چند طریق می‌تواند صورت گیرد یکی از این روشها کلرزی یا تزریق حبابهای گاز کلر یا تتراکلرور کربن به مذاب است که به ریزش دانه‌ها کمک می‌کند. افزودن پودر کربن دانه‌ها را ریز می‌کند. آلیاژهای منیزیم را که مقدار قابل ملاحظه‌ای آلومینیم دارند برای ریزش دانه‌بندی معمولاً حرارت فوق ذوب^۱ می‌دهند. این موضوع با اصلی که بیان می‌دارد حرارت فوق ذوب در یک مذاب قبل از ریخته‌گری منجر به دانه‌های درشت می‌شود تضاد مستقیم دارد زیرا کلیه جوانه‌های بالقوه در مذاب حل می‌شود (براساس فرض، سرد کردن بعدی مذاب تا همان دمای بارریزی) اما آلیاژهای Mg-Al پس از اینکه چند صد درجه بالاتر از نقطه ذوب حرارت داده شوند تا دمای ۱۶۵۰-۱۷۰۰ F (۹۲۷-۹۰۰ C) و سپس به سرعت تا دمای بارریزی سرد شود دانه‌بندی بسیار ریزتری در آنها ایجاد می‌شود. مطالعات انجام شده برخی محققین نشان می‌دهد که ناخالصیهای فلز در حین حرارت فوق ذوب حل شده و پس از سرد شدن مذاب تا دمای بارریزی بصورت ذرات بسیار ریز که می‌توانند به عنوان جوانه عمل کنند تشکیل می‌شوند. البته منیزیم خالص و آلیاژهای منیزیم که فقط منگنز دارند از این قاعده مستثنی می‌باشند. روش معمول برای این کار ذوب کردن آلیاژ است و در حدود ۷۳۰ C افزودن فلاکس به مذاب و به هم زدن آن جهت جدا کردن تفاله اکسیدی، عمل تصفیه انجام می‌شود. سپس فلاکس محافظ افزوده شده و دمای مذاب به ۸۷۰ تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد. لازم نیست مذاب در این دما نگهداری شود فقط زمان کافی برای یکنواخت شدن دما کافی است. آنگاه مذاب در کوره تا دمای بارریزی مناسب یعنی حدود ۷۳۰ C سرد می‌شود سپس برای مدتی که دمای مذاب یکنواخت شود به حال خود می‌گذاریم و بعد از آن بارریزی می‌کنیم.

روش دیگر برای ریز کردن دانه‌بندی استفاده از هگزاکلروربنزن (C_6Cl_6) می‌باشد حدود ۲۰ تا ۲۵ گرم از آن را به هر ۱۰۰ پوند فلز در ۱۴۵۰-۱۵۰۰ F (۷۸۸-۸۱۶ C) اضافه می‌نمائیم دمای بارریزی حدود ۱۳۵۰-۱۵۰۰ F (۷۵۰-۸۱۶ C) می‌باشد. روش دیگری نیز که برای ریز کردن دانه‌ها مرسوم است افزودن حداکثر ۱٪ از موادی مانند گچ، منزینت، کلرور فرو به مذاب می‌باشد.

برخی از محققین در جنگ جهانی دوم نشان داده‌اند که برای افزایش تولید روشهای دیگری نیز برای ریز کردن دانه‌ها به همان اندازه حرارت فوق ذوب موثر است این روشها عبارتند از:

۱. به هم زدن مذاب در ۷۶۰ C به طور شدید (برای مذابهای کم)
 ۲. وارد کردن (تزریق) حبابهای استیلن، متان، پروپان یا تتراکلرور کربن به مذاب در ۷۶۰ C
 ۳. به هم زدن مذاب با ۱٪ پودر گرافیت یا کربور آلومینیم (Al_4C_3)
- فلزی که بروش حرارت فوق ذوب ریزدانه شده باشد در ذوب مجدد خصوصیت دانه‌ریزی خود را از دست می‌دهد اما اگر با کربن دانه‌ریز شده باشد پس از ذوب مجدد خاصیت ایجاد دانه‌های ریز را خواهد داشت.

تمیزکاری

برای جلوگیری از خطر ترک در حین تکان دادن قطعه برای دفع ماسه، قطعه بایستی کاملاً سرد شده باشد. برای قطعات بزرگ حدود ۲ ساعت طول می‌کشد تا قطعه به دمائی برسد که برای تمیزکاری آماده شود. پس از جدا کردن ماسه‌ها، قطعه را با ماسه نرم (۳۵AFS) سندبلاست می‌کنند تا عیوب آشکار شود. راهگاهها و منابع تغذیه با اره نواری بریده می‌شود. در کلیه روشهای برش فلز، احتمال آتش گرفتن و انفجار تراشه‌ها و پودر منیزیم وجود دارد. قطعاتی که باید ضد نشت باشند اشباع یا درزگیری صورت می‌گیرد. قطعات ریخته‌گری قبل از حمل با کروم محافظت می‌شوند. این عمل عمدتاً برای جلوگیری از خوردگی در حین حمل و نقل و انبار کردن قبل از ماشینکاری صورت می‌گیرد.

^۱ Superheat

عمل محافظت و کنسروسازی، شامل فرو بردن قطعه به مدت کوتاه در محلول آبی ۱/۵ پوند دیکرومات سدیم در گالن و ۱/۵ پنیت اسیدنیتریک غلیظ در گالن است ($K_2Cr_2O_7 + HNO_3 + H_2O$) پس از این عمل قطعه در آب گرم شسته می‌شود و به رنگ برنز در می‌آید.

آلیاژهای دای کست تحت فشار

۱- آلیاژهای روی

با وجودیکه در این زمینه، دو دسته آلیاژ وجود دارد، عمده ریخته‌گریها در انگلیس با آلیاژ A صورت می‌گیرد. از آلیاژ B فقط وقتی استفاده می‌شود که مانند زیپ‌ها، به سختی و مقاومت بالا نیاز باشد. یکی از خصوصیات هر دو آلیاژ کنترل دقیق بر روی ناخالصیهاست که برای جلوگیری از خوردگی بین دانه‌ای نیاز است.

جدول: آلیاژهای پایه روی مطابق BS ۱۰۰۴

آلیاژ	Zn	Al	Cu	Mg	Fe
A	توازن	۳٫۸	۰٫۱	۰٫۰۳	۰٫۱۰
		۴٫۳		۰٫۰۶	
B	توازن	۳٫۸	۰٫۷۵	۰٫۰۳	۰٫۱۰
		۴٫۳	۱٫۲۵	۰٫۰۶	

شرایط خاص ناشی از اتصال مقاطع

در شکل مثالهائی از انقباض در اتصال مقاطع و استفاده از مبردها برای جلوگیری از انقباضها داده شده است. استفاده از اتصال مقاطع مسائل تغذیه‌ای ویژه‌ای از خود نشان می‌دهد که با مبردها و یا طراحی مجدد قطعه رفع می‌شود.

مبردها

برای انجماد جهت‌دار در قالبها و یا ماهیچه‌ها از مبردهای داخلی و یا مبردهای خارجی استفاده می‌شود. مبردهای خارجی در داخل دیواره قالب و در محل فصل مشترک فلز-قالب قرار داده می‌شوند. در حالیکه مبردهای داخلی در داخل حفره قالب قرار داده می‌شوند.

مبردهای خارجی

این مبردها معمولاً از جنس فولاد، چدن، یا مس می‌باشند که در محل مناسبی در داخل قالب برای افزایش سرعت انجماد فلز قرارداده می‌گیرند. شکل آنها می‌تواند استاندارد و یا در موارد خاص به شکل مناسبی که با ابعاد قالب تطبیق کند باشند.

مبردهای داخلی

این مبردها در داخل حفره قالب و در محلی که امکان دسترسی و استفاده از مبردهای خارجی نیست، قرار داده می‌شوند. استفاده از این مبردها بدلائل زیر، نسبت به مبردهای خارجی به توجه و دقت بسیار بیشتری نیاز دارد.

۱. مبرد ممکن است با قطعه کاملاً ذوب نشود لذا باعث نقطه ضعف در قطعه می‌شود.
۲. تمیزی سطح مبرد بسیار مهم است زیرا به طور کامل با فلز مذاب احاطه می‌شود و هرگونه گازی که در داخل مذاب تولید شود، نمی‌تواند از مذاب خارج شود و در قطعه ایجاد عیب می‌کند.
۳. بسته به اینکه مبرد در کجای قطعه استفاده شود ممکن است خواص مکانیکی قطعه را تغییر دهد.
۴. ترکیب شیمیائی مبرد با مذاب بایستی اخت کامل داشته باشد، برای مثال از مبردهای چدنی نباید در قطعات فولادی استفاده شود. برای پیش‌گیری از مشکلات عملیات حرارتی، مبرد باید تقریباً همان ترکیب شیمیائی مذاب را دارا باشد.

عایق‌ها و ترکیبات گرمازا

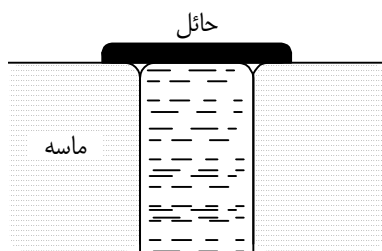
یک منبع تغذیه را می‌توان با استفاده از برخی روشهای مصنوعی برای پیش‌گیری بالایی منبع تغذیه از انجماد و پیش‌گیری فلز مذاب در معرض اتمسفر موثرتر کرد. این عمل را می‌توان با استفاده از برخی افزودنیهای در سطح فلز مذاب منبع تغذیه انجام داد. برای ایجاد خاصیت عایقی، از افزودنیهای متعددی مانند پودر گرافیت، ذرات کک، پودر ذغال، شلتوک برنج، و مخلوطی از مواد نسوز، استفاده می‌شود. ترکیبات کربنی و نیز دیگر مخلوطها، که به طور ویژه برای این هدف طراحی می‌شوند، از واکنشهای گرمازا حرارت نیز ایجاد می‌کنند. این واکنشهای گرمازا ممکن است بسته به فرمول‌گیری، در مقدار حرارتی که تولید می‌کنند با هم متفاوت باشند. به طور کلی مواد گرمازا، به چهار دسته زیر تقسیم می‌شوند.

۱. تا حدودی عایق کننده (در واقع گرما زا نیست). این گروه شامل موادی مانند پرلیت، گچ، و امثال آن
۲. عایق و تا حدود کم گرمازا - قسمت عایق شامل نسوزها به علاوه ترکیبات شیمیائی گرمازا که ایجاد عایقی کرده و نیز منبع اضافی گرماست.
۳. عایق، تا حدودی گرمازا، و تولیدکننده غیرفلز
۴. گروههای ترمیت که دما را افزایش می‌دهند.

کاربرد نوع ۱ و ۲ بیشتر در پوشیدن منبع تغذیه است. این مواد از افت حرارت بر اثر تشعشع و یا انجماد زودرس منبع تغذیه جلوگیری می‌کنند. نوع ۳ و ۴ موادی هستند که ممکن است به شکل آستینهای استوانه‌ای و امثال آن، قالب‌گیری شوند.

در شکلهای زیر زمانهای انجماد کل (بر حسب دقیقه) برای عملیات متفاوت بر روی منبع تغذیه‌ای استوانه‌ای به ابعاد 4^*4 in نشان داده شده است.

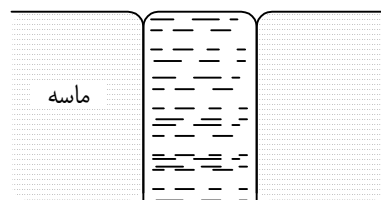
فقط استفاده از حائل



۱۳,۴

۱۴,۰

۱۴,۳



۵,۰

۸,۲

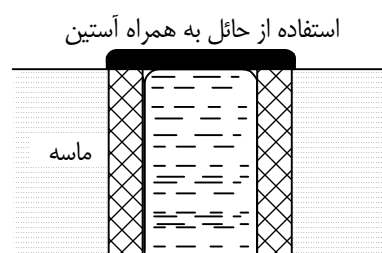
۱۲,۳

فولاد

مس

آلومینیم

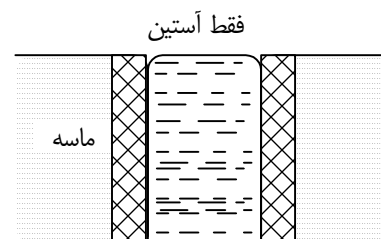
استفاده از حائل و آستین



۴۳,۰

۴۵,۰

۴۵,۶



۷,۵

۱۵,۱

۳۱,۱

فولاد

مس

آلومینیم

کمک ذوبها

بسیاری از فلزات برای ذوب و ریخته‌گری به هیچ‌گونه عملیات خاصی نیاز ندارند فقط فلز تمیز و خالص در کوره ذوب و تا دمای بارریزی گرم و هرگونه تفاله (dross) از سطح آن حذف شده و سطح فلز تمیز و بارریزی می‌شود. اما برای برخی فلزات دیگر، استفاده از کمک ذوب و یا استفاده از مواد ریزکننده دانه (عوامل جوانه‌زا) و استفاده از هر دو مورد نیاز است. مواد کمک ذوب پودری را ممکن است با مذاب بهم زد تا برخی از اکسیدها و آخالهای غیرفلز را جمع‌آوری، آگلومره سازی کرده و به سطح هدایت کند. پس از چنین عملیاتی، مذاب بایستی برای مدتی معین حداقل ۵ دقیقه و ترجیحاً ۱۰ تا ۱۵ دقیقه ساکن بماند تا کمک ذوب و دیگر مواد زائد تشکیل شده شناور شده و از مذاب جدا شود. آخالهای فلاکس در قطعه مضر است زیرا باعث عیب می‌شود. لذا رعایت مدت زمان نگهداری مذاب به حالت سکون بسیار مهم است.

کمک ذوبهای پودری گاهی در ته بوته قرار داده می‌شوند یا اینکه بر سطح فلز جامد بار کوره پخش می‌شوند بطوریکه با گرم شدن فلز ذوب شوند.

فلاکسها (کمک ذوبهای) گازی مانند نیتروژن، کربن یا مخلوطی از این گازها گاهی به صورت حباب به داخل مذاب آلومینیم دمیده می‌شوند تا آخالها را از مذاب جدا کنند. کربن موثرترین ماده برای تمیز کردن فلزات با مقدار قابل ملاحظه‌ای منیزم، بویژه آلیاژهایی با مقدار ۶ تا ۱۱ درصد منیزیم است. در این مورد نیز سیالیت مذاب بایستی به مدت زمان معینی به حالت ساکن نگهداری شود تا کلرومنیزیم از مذاب جدا شود.

فلاکسهای گازی که به طور صحیح استفاده شوند می‌توانند در ذوب و کیفیت بعدی قطعه ریختگی مفید باشند و در برخی موارد نیز به طور مطلق لازم می‌باشند. استفاده نادرست آنها به قطعه معیوب منجر می‌شود. فلاکسها چهار نقش عمده دارند.

۱. حفاظت از مذاب در حین فرایند ذوب

۲. تمیز کردن فلز مذاب
۳. حذف و از بین بردن تفاله‌ها (dross)
۴. گازگیری (degassing)

عیوب ریخته‌گری

PR Beely P۱۸۰

در شرایط عملی، قطعات ریخته‌گری دارای

۱. حفره یا مک Voids

۲. آخال Inclusions

۳. دیگر عیوب

است. این عیوب وقتی عیب واقعی در نظر گرفته می‌شوند که برای قطعه از نظر کارکرد یا ظاهر مشکل ایجاد شود.

آنگاه بایستی در مورد امکان

۱. قراضه بودن Salvage قطعه

۲. پس زنی و یا تعویض در شرایط نامناسب

تصمیم گرفت

تصمیم فوق نه فقط به نوع عیب بستگی دارد بلکه به استانداردهای بازرسی اعمال شده نیز بستگی دارد.

سرچشمه ایجاد عیوب در سه بخش خلاصه می‌شود که عبارتند از

۱. طراحی قطعه ریخته‌گری

۲. روش ساخت قطعه

۳. اعمال روش

دسته بندی عیوب ریخته‌گری

به طور کلی عیوب ریخته‌گری را میتوان از دیدگاه سرچشمه آن به هفت دسته تقسیم کرد.

۱. عیوب شکل‌گیری حاصل از بارریزی، اگر مذاب نتواند قالب را به طور کامل پر کند در آن عیب شکل‌گیری

ایجاد می‌شود که به آن misrun یا short run گفته می‌شود. عیب لبه‌های سرد cold laps نوعی عیب از

عیب فوق است که بدلیل دمای پائین، فلز به آزادی بر سطح قالب جاری نمی‌شود، اولین شرایطی که به این

عیوب منجر می‌شود گوشه‌ها و لبه‌های مدور و عدم وجود ویژگیهای تیز و نبود جزئیات ظریف قالب است.

دلیل عیوب فوق

a. دمای پائین فلز مذاب (فلز سرد) است.

b. تبرید بیش از حد سطح قالب

i. که ممکن است بدلیل مبردگذاری بیش از حد باشد.

ii. رطوبت بیش از حد ماسه قالب باشد

c. سرعت ناکافی پر شدن قالب نسبت به سرعت انجماد قطعه ریخته‌گری است.

۲. عیوب حاصل از آخالها و ماسه: آخالهای غیرفلزی به دو گروه تقسیم می‌شوند.

a. آخالهای ذاتی (Indigenous) یا درونی endogenous یا درونزاد که محصول واکنشها در مذاب که

ذرات معلق بسیار ریز در قطعه‌اند. واکنشهایی که آخالهای درونی را تشکیل می‌دهند مستلزم وجود

ناخالصیهای معمول مانند اکسیژن، نیتروژن و گوگرد به همراه اجزای فلزی فعال در آلیاژ است.

معمولترین واکنش اکسایش است که محض تشکیل آخال ذاتی توسط جدایش ثقلی از مذاب جدا می‌شود. این تمایل برای ذرات ریز کروی در محیط مذاب توسط قانون استوک بیان می‌شود.

$$v = \frac{2}{9} \times \frac{r^2 g (r_1 - r_2)}{m}$$

که در این رابطه

v سرعت جدایش m/sec

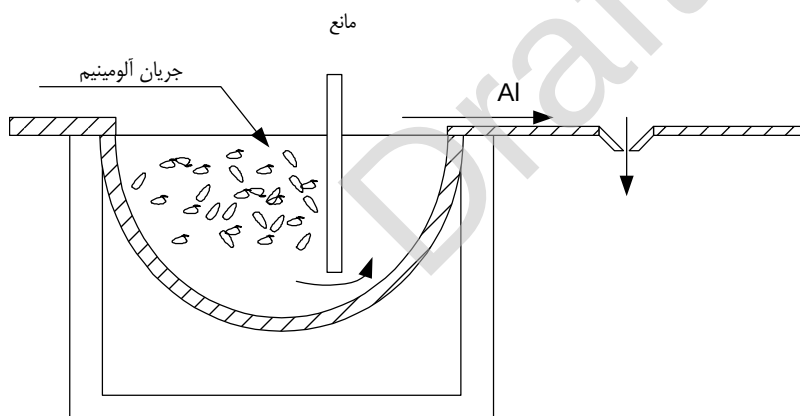
r شعاع ذره m

r_1 چگالی مذاب kg/m^3

r_2 چگالی ذره Kg/m^3

m ویسکوزیته مذاب Ns/m^2

است. در جدایش، شعاع ذره عامل مسلط به شمار می‌رود. از آنجائیکه ذرات بزرگ نسبتاً سریع از مذاب جدا می‌شوند نگهداشتن فلز مذاب به مدتی در داخل کوره یا پاتیل قبل از ریخته‌گری روش مناسبی برای کاهش مقدار کل آخالها به شمار میرود گرچه در مدت کوتاه انتظار نمی‌رود که ذرات ریزتر از مذاب جدا شوند. جدایش ثقلی در مورد آلیاژهای سبک چندان موثر نیست دلیل آن تفاوت بسیار کم در چگالی فلز و آخال است. در این مورد بهتر آن است که سطح فلز در هنگام ذوب تا حد ممکن هم زده شود. در آلیاژهای سبک مقدار آخال بسیار کم را می‌توان با فیلتر کردن مذاب توسط بستری متخلخل از ماده‌ای گرانولی قبل از ذوب بدست آورد (شکل زیر).



b. آخالهای برونی exogenous یا برونزاد که حاصل حبس شدن مواد در حین بارریزی است.

۳. عیوب حاصل از محبوس شدن گازها

۴. عیوب انقباضی حاصل از انقباض حجمی (طی حالت مایع و انجماد)

۵. عیوب حاصل از انقباض پس از انجماد

۶. عیوب حاصل از خطاهای ابعادی

۷. عیوب حاصل از ترکیب شیمیائی و تجمع و رسوب ماده Segregation

عیوب فوق عمومی و کلی است. عیوب دیگری نیز از هر دسته از آلیاژها وجود دارد.

عیوب ریخته‌گری بسیار مهم است ۱ تا ۱۰٪

حدود ۲۰ نوع عمده عیوب ریخته‌گری وجود دارد که عبارتند از:

بیرون زدگی (Flash)، عدم هماهنگی (Mismatch)، (blow hole) misrun cold shut، تخلخل گاز (gas porosity)، حفره انقباض (shrinkage cavity)، تخلخل (porosity)، (hot tear) sink centerline، ترک (crack)، (scab)، تورم (swell) نفوذ فلز (metal penetration)، سطح زبر (rough surface)

دیگر عیوب

ترکیب و خواص نادرست
عیوب وابسته به قالب گیری
عیوب وابسته به پرشدن قالب
عیوب وابسته به انجماد
تجزیه و تحلیل عیوب

انواع عیوب

عیوب وابسته به محل

عیوب داخلی
عیوب خارجی

عیوب وابسته به نوع

عیوب هندسی

عیوب یکپارچگی

عیوب وابسته به اندازه / اهمیت

عیوب کوچک / کم اهمیت
عیوب بزرگ / مهم

عیوب وابسته به فرایند

عیوب وابسته به قالب گیری
عیوب وابسته به پر شدن قالب
عیوب وابسته به انجماد

عیوب وابسته به علت

عیوب وابسته به مواد اولیه
عیوب وابسته به طراحی
عیوب وابسته به طراحی ابزار
عیوب وابسته به پارامترهای فرایند
عیوب وابسته کنترل فرایند

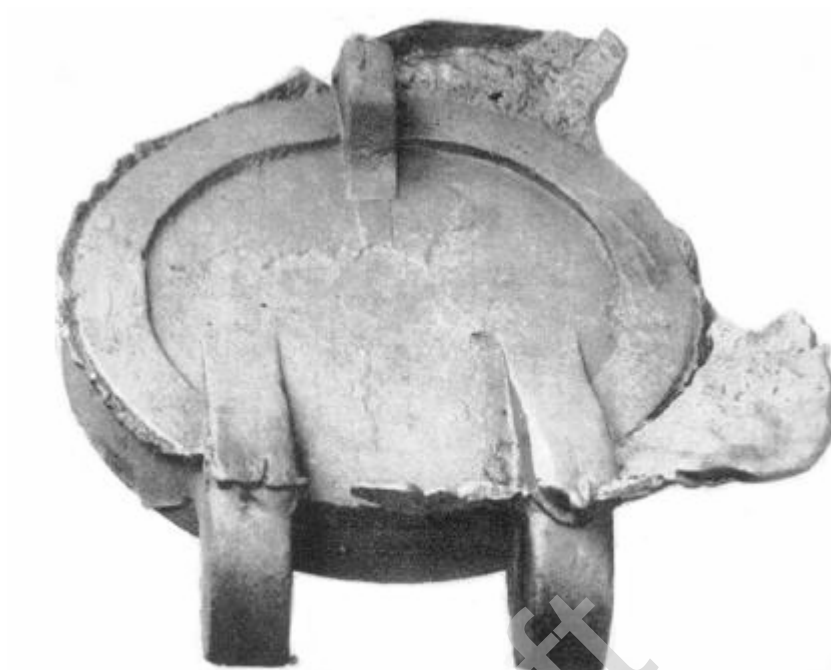
عیوب وابسته به مرحله تولید

عیوب مرحله ذیخته گری
عیوب مرحله ماشینکاری اولیه
عیوب مربوط به پرداخت کاری
عیوب مرحله استفاده از قطعه

عیوب بر اساس تعمیرپذیری

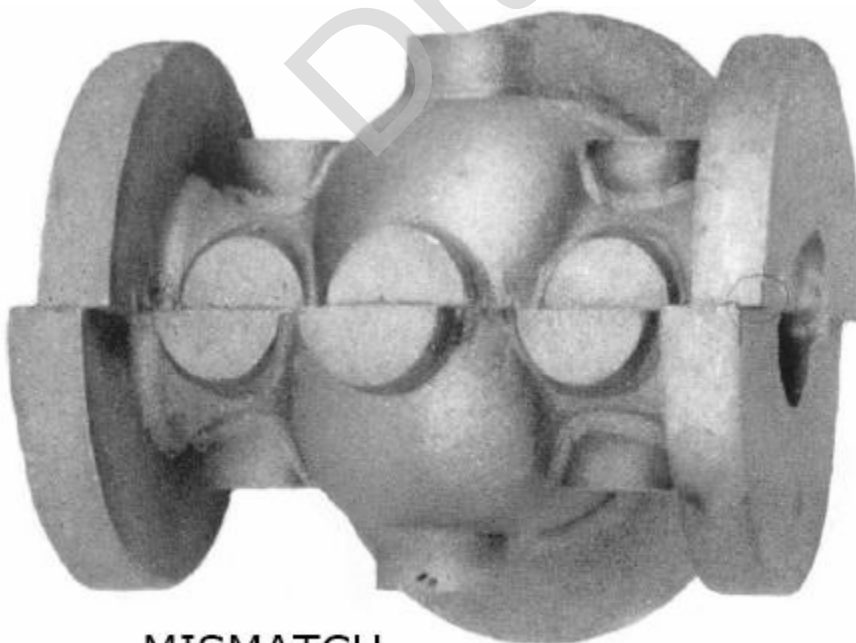
قابل تعمیر

غیر قابل تعمیر
عیوب وابسته به قالبگیری
بسته ناصحیح قالب
در سطح جدایش، flash



FLASH

در سطح جدایش mismatch

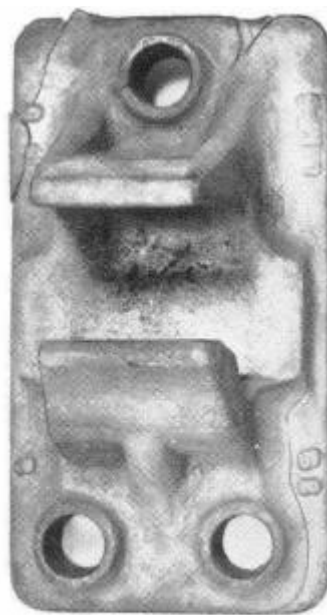


MISMATCH

عیوب مربوط به پر نشدن قالب
پرنشدن کامل قالب، misrun, cold shot



MISRUN



COLD SHUT

محبوس شدن گاز، حفره های دمش Blow holes، تخلخلهای گاز



BLOW HOLE



GAS POROSITY

آخالهای جامد Solid Inclusions

عیوب وابسته به انجماد/سردشدن

انقباض حاصل از انجماد، حفره، تخلخل، سنترلین، سینک

انقباض تاخیردار سردشدن، پارگی داغ، ترک، اعوجاج

روشهای بازرسی

بازرسی تخریبی

مقطع زنی، ماشینکاری

آزمونهای مکانیکی

آزمونهای شیمیائی

بازرسی غیرتخریبی

چشمی، عیوب خارجی بزرگ

ابعادی، عیوب اندازه

آزمون فشار، نشد مایع

راديوگرافى، حفره هاى داخلى

آلتراسونیک، عدم پیوستگی داخلی

جریان سرگردان (ادی کارنت)

ذرات مغناطیسی، عدم پیوستگی زیر سطحی

نفوذ رنگ، عیوب باز به سطح قطعه

فلاکسهای مصرفی در فلزات غیر آهنی

فلاکسهای مصرفی برای آلیاژ برنج:

- سولفات پتاسیم: مخلوط سولفات پتاسیم با ذغال

- کیک نمک (Salt Cake) شامل:

کربنات سدیم	۵	قسمت
سیلیس	۱۵	قسمت
خاکه ذغال (آنتراسیت)	۵	قسمت
خاکستر استخوان	۲۰	قسمت
جمع	۴۵	قسمت

برای استفاده این مواد؛ به روش زیر عمل شود.

۱. مواد فوق با هم مخلوط شوند.

۲. سطح فلز با مخلوط پوشیده شود.

۳. قبل از رسیدن مذاب به دمای بارریزی کاملاً هم زده شود.

فلاکسهای مصرفی برای برنج

گچ (CaSO_4) به عنوان فلاکس برای احیای خاکستر آلیاژ برنج و کفگیری (skimming) استفاده می‌شود.

فلاکسهای مصرفی برای مس

اکسید روی و ذغال به فلز مذاب اضافه شود. این مواد با آب ملاس دار مخلوط می‌شود تا خمیر سفتی ایجاد شود، آنگاه به شکل گلوله‌ای تبدیل و خشک می‌شود. بلافاصله وقتی مس ذوب شد، یکی از این گلوله‌ها به سطح مذاب انداخته می‌شود، که فلز را می‌پوشاند و روی موجود با هر گونه اکسیژن موجود ترکیب می‌شود. سیلیسیم-مس (Silicon-Copper) بهترین دی‌اکسیدکننده برای مس ریختگی است اما تحت فلاکسهای فلزی دسته‌بندی می‌شوند.

فلاکسهای مصرفی برای آلیاژهای روی

نشادر (Sal-Ammoniac) فلاکس مورد نیاز در این مورد است که بر سطح مذاب پاشیده می‌شود.

فلاکسهای مصرفی برای فلز باییت

نشادر به عنوان فلاکس فلز بایست استفاده می‌شود که در دماهای نسبتاً پائین، توسط فلزات تجزیه شده و کلورهای فلزی تولید میکند و آمونیاک آزاد، آزاد می‌شود.

فلاکسهای مصرفی آلیاژهای آلومینیم

یک فلاکس بهبود یافته شامل اسیدبوریک و کربنات سدیم به نسبت مساوی است. این مخلوط به جای بوراکس استفاده می‌شود.

فلاکسهای مصرفی آلیاژهای نیکل

گج و نیتز (نیترات پتاسیم) به نسبت‌های مساوی پنج دقیقه قبل از ریخته‌گری با مذاب هم زده می‌شود.

سیالیت فلز

اگر طراحی قالب بر مبنای محاسبات تغذیه‌گذاری و ایجاد راهگاه کامل شده باشد، موضوع باقی‌مانده، انتخاب دمای صحیح بارریزی آلیاژ مورد نظر برای ریخته‌گری است. برای درک این مسئله، بایستی یادآور شویم که در بحث‌های قبلی مربوط به طراحی راهگاه، فلز مذاب را به صورت یک سیال معمول در نظر گرفتیم. با وجود این، دو موضوع مهم که باید بر آن اضافه شوند عبارتند از:

الف) اگر آلیاژ در دمای بیش از حد پائین بارریزی شود در سیستم راهگاهی منجمد شده و ممکن است قالب پر نشود و در قطعه عیب ایجاد شود. دیگر معایی که از دمای بارریزی پائین نتیجه می‌شود پیچیدگی‌ها (laps)، شکافها یا درزها (Seams) می‌باشند. در این حالتها که بین دو جریان مختلف فلز مذاب که در حفره قالب جریان می‌یابد پیوند کامل ایجاد نمی‌شود.

ب) اگر فلزی در دمای بیش از حد بالا بارریزی شود ماسه راهگاه و دیواره قالب به شدت مورد حمله مذاب و تحت واکنش شیمیائی قرار می‌گیرد که بر اثر این واکنش سطح ناصاف شده و گازهای واکنش، سرباره و... را در قطعه محبوس می‌سازد لذا سطح قطعه ناصاف می‌شود. نتیجتاً انتخاب دمای بارریزی صحیح، بسیار ضروری است. گرچه در این رابطه، عباراتی مانند قابلیت ریخته‌گری (Castability) برای توضیح برخی ویژگیهای مربوط به رفتار جریان به کار رفته است، اما عبارت سیالیت بسیار شناخته‌تر است.

اندازه‌گیری سیالیت

معنی کلمه سیالیت (fluidity) در ریخته‌گری با کلمه سیالیت (fluidity) در شیمی-فیزیک کاملاً متفاوت است. در شیمی-فیزیک، سیالیت عکس ویسکوزیته یا ناروانی است ولی در ریخته‌گری، سیالیت (fluidity) توانائی نسبی یک مذاب معین در دمای معین برای پرکردن قالب است. به عبارت دیگر ویسکوزیته در دمائی بالاتر از دمای خط مذاب (liquidus) به اندازه کافی پائین (یعنی سیالیت به اندازه کافی بالا) است که بتواند قالب را به طور کامل و با موفقیت پر کند. همانگونه که اشاره شد سیالیت فلزات مذاب خاصیتی است که نشان دهنده سهولت پرکردن حفره قالب با فلز مذاب است. خاصیتی است که به محدوده انجماد آلیاژ مذاب مورد نظر، ΔT ، و دمای فوق ذوب فلز وقتی که وارد قالب می‌شود (دمای بارریزی منهای دمای خط مذاب، $T_p - T_L$)، بستگی دارد. از نظر کیفی هر چقدر سیالیت بالاتر باشد اندازه مقطعی را که می‌توان قبل از انجماد به طور موفقیت آمیزتری پر کرد کوچکتر است.

از آنجائیکه سیالیت را نمی‌توان از خواص فیزیکی واحدی به دست آورد، آزمونهای تجربی برای اندازه‌گیری مشخصه کل ایجاد شده است. این آزمونها بر پایه شرایطی مشابه با ریخته‌گری فلزات در کارگاه ریخته‌گری بنا شده است و سیالیت را به صورت کل فاصله پیموده شده فلز مذاب در سیستمی استاندارد شده از کانالهای محبوس قبل از توقف اندازه‌گیری می‌کند. لذا برای اندازه‌گیری آن و بدست آوردن معیار نسبی سیالیت روشهای تجربی زیادی توسعه یافته است. در این رابطه، در قالب استاندارد که به شکل حلزونی است و به طور عالی بیانگر جریان فلز است بارریزی می‌کنند. از چنین قطعه‌ای برای بدست آوردن اطلاعات شکل - استفاده می‌کنند. دو روش تجربی مهم برای اندازه‌گیری سیالیت عبارتند از

۱. استفاده از ماریچ تعیین سیالیت در ماسه ریخته‌گری (sand cast fluidity spiral)

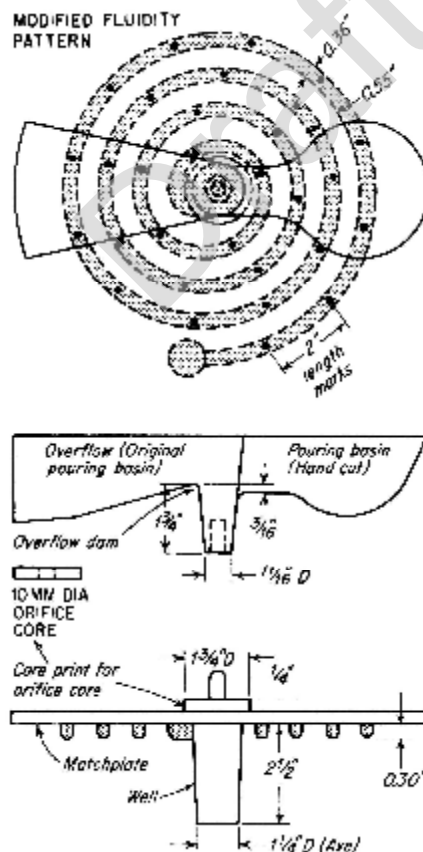
۲. روش لوله مکند (suction tube)

۱- ماریچ سیالیت قالب ماسه‌ای

یکی از روش‌های معمول برای اندازه‌گیری سیالیت یک فلز ریخته‌گری استفاده از لوله ماریچ است که در آن فلز مذاب در یک ماریچی به طول ۶۰ اینچ در ماسه تحت ارتفاع ثابت ۴ اینچ ریخته‌گری می‌شود. طولی را که فلز در ماریچ حرکت کرده و آن را پر می‌کند معیاری از سیالیت ماده به شمار می‌رود. از آنجائی که اندازه‌گیری سیالیت نیز به تغییرات جزئی در خواص حرارتی و مشخصه سطحی قالب حساس است، برخی از محققین از قالبهای گرافیتی و فلزی برای کمینه‌کردن تغییرات این عوامل استفاده کرده‌اند. گرچه انواع اشکال حلزونی (ماریچ) برای تعیین سیالیت استفاده می‌شود، در حالیکه حلزونی که هم برای فلزات آهنی و هم برای فلزات غیرآهنی به کار می‌رود آزمون تک حلزونی بریکز-کزیوس است که در شکل زیر نشان داده شده است.

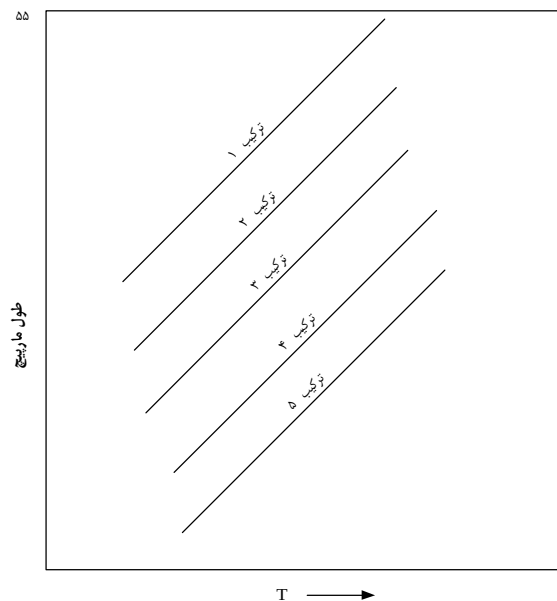
شکل ص ۲۵۹

در شکل زیر طرح ماریچ در قالب ماسه، (sand cast fluidity spiral) برای تعیین سیالیت فلز ریخته‌گری نشان داده شده است. طول این ماریچ ۵۵ اینچ (۱۳۹٫۷ سانتیمتر) است، که فقط می‌تواند تحت شرایط سیالیت بسیار بالا پر شود. طولی از ماریچ که در حالت معمولی (به طور جزئی) پر می‌شود، شاخصی برای سیالیت نسبی به شمار می‌رود.



شکل: طراحی ماریچ تعیین سیالیت

دما با استفاده از یک ترموکوپل با سیمی از جنس Pt+۱۰٪ Rd-Pt در داخل غلاف نازکی از جنس لوله سیلیس ذوبی اندازه‌گیری می‌شود و منحنی سیالیت بر حسب دما رسم می‌شود که معمولاً به شکل زیر است.

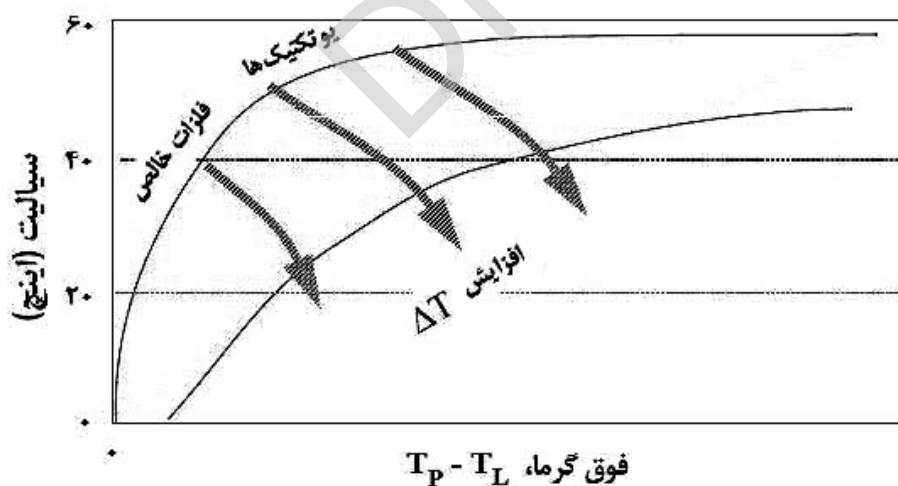


شکل: منحنی سیالیت، طول مارپیچ بر حسب دما برای چندین ترکیب شیمیایی مختلف

اگر استفاده از ترموکوپل گران باشد، از روش چشمی استفاده می‌شود. در این روش از یک قالب باز، تقریباً به قطر ۳ اینچ و ارتفاع ۲ اینچ استفاده شده و در دمایی حدود حداقل 150°F (83°C) بالاتر از خط مذاب بارریزی می‌شود و دمای مذاب با یک پیرومتر نوری به طور دائم قرائت می‌شود. سطح قالب به طور پیوسته با یک میله سبک تمیز می‌شود تا اینکه سرد شدن در یک مقدار معین نگهداشته شود. این روش تقریباً دقیق است زیرا ثابت شدن دما به مدت ۱۰ تا ۶۰ ثانیه طول می‌کشد و فرصت کافی برای اندازه‌گیری دما ایجاد می‌شود.

سیالیت فلزات مذاب

در منحنی زیر شماتیکی از سیالیت بر حسب فوق حرارت و مقدار آلیاژ داده شده است.



شکل: سیالیت بر حسب فوق حرارت و مقدار آلیاژ

همانگونه که این شکل نشان می‌دهد سیالین فلز خالص و یوتکتیک‌ها، با محدوده انجماد صفر بیشترین مقدار را داراست. آلیاژها با بالاترین محدوده انجماد دارای سیالیت پائین‌تری است. شکل فوق نشان می‌دهد که سیالیت کلیه فلزات و آلیاژها با افزایش دمای فوق گرما بشیر می‌شود. چدن خاکستری یکی از سیال‌ترین آلیاژ ریختگی است. از اطلاعات تجربی حاصل از نتایج آزمایشات متعدد سیالیت مارپیچ بر روی چدن خاکستری رابطه زیر را حاصل می‌شود.

$$\text{سیالیت (in)} = 14.9 \cdot CF + 0.5T - 155$$

که در این رابطه

T دمای بارریزی بر حسب $^{\circ}\text{F}$

CF ترکیب چدن است و برابر است با

$$CF = \%C + 0.25\%Si + 0.5\%P$$

بنابراین برای چدنی با ترکیب یوتکتیک $\%C\ 3.5$ ، $\%Si\ 2.4$ و $\%P\ 0.4$ ، سیالیت برای دمای بارریزی $2600^\circ F$ برابر است با:

$$CF = 3/5 + 0.25 \times 2/4 + 0.5 \times 0.4 = 4.12$$

که در نتیجه سیالیت برابر است با

$$\text{سیالیت (in)} = 14.9 \times 4.12 + 0.5 \times (2600) - 155 = 36,388 \text{ in}$$

با افزایش دمای بارریزی، سیالیت نیز افزایش می‌یابد (در دمای بارریزی $2700^\circ F$ سیالیت برابر با $41,388 \text{ in}$ است). و نیز با کاهش ترکیب (افزایش محدوده‌ای که در آن انجماد صورت می‌گیرد) به سمت مقدار هیپویوتکتیک (مثلاً $\%C\ 3.2$ ، $\%Si\ 2.1$ و $\%P\ 0.4$ ، سیالیت در دمای بارریزی $2600^\circ F$ به مقدار $30,8 \text{ in}$ کاهش می‌یابد.

بدیهی است سیالیت لازم برای پر کردن حفره قالب به اندازه مقطع قطعه ریختگی بستگی دارد. طبیعتاً مقاطع نازک برای پر شدن قبل از اینکه انجماد صورت بگیرد، به سیالیت بالاتر و در نتیجه دمای فوق گرمای بالاتری نیاز دارند. بر عکس قطعات ضخیم به سیالیت پائین‌تری نیاز دارند و نتیجتاً برای پر شدن موفقیت‌آمیز حفره قالب به فوق گرمای پائین‌تری نیاز دارند.

عوامل موثر بر سیالیت

در تعیین سیالیت مذاب، مشخصات فلز مذاب و مشخصات قالب هر دو موثر است. یکی از عوامل موثر بر سیالیت مذاب، قدرت جذب گرما توسط مواد قالب است. دو عامل متالورژیکی عمده بر سیالیت فلز مذاب تاثیر قابل توجهی دارند که عبارتند از:

۱. **ترکیب شیمیایی فلز:** عامل اصلی دیگر موثر بر سیالیت، ترکیب شیمیایی است. فلزات خالص و آلیاژهای یوتکتیک بالاترین سیالیت را دارند. تغییر در ترکیب شیمیایی فلز باعث تغییر در الگوی انجماد (CFR) فلز یا آلیاژ می‌شود. آلیاژهای محلول جامد که محدوده انجماد آنها طولانی و فلز در شرایط خمیری است، سیالیت ضعیفی دارند. در حالیکه محدوده‌ی انجماد کوچک مانند فلزات خالص، محدودیتی بر سیالیت ایجاد نمی‌کند. معمولاً رابطه بین سیالیت و محدوده انجماد رابطه‌ای معکوس است. در شکل زیر رابطه بین ترکیب و سیالیت در یک سیستم آلیاژی نشان داده شده است.

شکل:

۲. **دمای فوق ذوب:** دما از عوامل بسیار مهمی است که بر سیالیت فلز مذاب به طور مستقیم موثر است.

دیگر عوامل موثر بر سیالیت:

عوامل بسیاری غیر از راهگاه، دما و ترکیب شیمیایی فلز مذاب بر توانایی آن برای پر کردن قالب موثر است. فقط در رابطه با مشخصات فلز، دیگر عوامل متالورژیکی زیر را می‌توان نام برد.

۳. ویسکوزیته فلز

۴. کشش سطحی فلز

۵. لایه‌های اکسیدی سطح

۶. مقدار گاز جذب شده به ویژه گاز جذب شده در لایه‌های سطحی

۷. آخالهای معلق در فلز

۸. آخالهای رسوب کننده در طی انجماد

از عوامل فوق، دو عامل اول بسیار مهمند. در رابطه با گرمای فوق ذوب، چنین استدلال می‌کنند که فلزی که تا دمای بالاتری گرم شده است زمان بیشتری در قالب به صورت مذاب باقی می‌ماند لذا فاصله بیشتری را طی می‌کند. بحث صفحه ۲۰۲ رزنتال در رابطه با شکل ۸/۱۹ ترجمه و اضافه شود.

اثر شیمی فلز بر سیالیت

با توجه به اینکه منحنیهای سیالیت با هم موازی می‌باشند لذا رابطه کلی سیالیت بر حسب دما و ترکیب وجود دارد. اگر خط سیالیت ثابت در منحنی رسم شود (منحنی ۵/۳ فلین) برای مثال در ۳۰ in، آهنهای متعدد رابطه بین دمای بارریزی و نقطه انجماد را نشان می‌دهند که در جدول ۵-۱ آمده است. افزایش دمای بارریزی لازم که به یک سیالیت در آهن ۴ و ۱ منجر شود، برای مثال، تقریباً برابر با اختلاف در دماهای انجماد است. به عبارت دیگر سیالیت در ریخته‌گری عبارتست از مجموع سیالیت‌های موجود در کل محدوده دمائی، از دمای بارریزی تا دمای انجماد است.

ب) روش لوله مکنده

نزدیک‌ترین رویکرد به استانداردسازی کامل، در آزمون سیالیت خلاء توسط راگون (Ragone)، آدامس (Adams) و تیلور (Taylor) حاصل شده است (شکل زیر).

شکل ۱/۲ ص ۱۵ Beeley

شکل:

با استفاده از این دستگاه، فلز مذاب در داخل لوله‌ای شیشه‌ای و صاف تحت مکش ایجاد شده با خلاء جزئی حرکت می‌کند. به این منظور، ابتدا لوله‌ای شیشه‌ای یا فلزی با زاویه به داخل مذاب فرو برده می‌شود. سپس شیری که انتهای فوقانی لوله را به یک مخزن خلاء متصل می‌کند باز می‌شود. فلز مذاب بر اثر هد فشار حاصل از تفاوت فشار اتمسفر و داخل مخزن، به داخل لوله مکیده شده و بالا می‌رود. ارتفاع مذاب به عنوان شاخصی از سیالیت در نظر گرفته می‌شود. این روش دو مزیت دارد که عبارتند از:

۱. مشاهده مستقیم ارتفاع فلز در طی حرکت مذاب ممکن است.
 ۲. این روش نسبت به روش ریخته‌گری ماریچ در ماسه ساده‌تر است.
 ۳. اندازه‌گیری سیالیت به عنوان خاصیت فلز به تنهایی و بدون اثر قالب انجام می‌شود.
 ۴. با توجه به مشخص بودن فشار ارتفاع، خطال انسانی در بارریزی حذف می‌شود.
- شیب حرارتی و شرایط جوانه‌زنی در لوله فلزی و شیشه‌ای با جوانه زنی و شیب حرارتی در ماسه تفاوت دارد.

کاربرد یافته‌های سیالیت در ریخته‌گری

پرسش ۱: چگونه می‌توان یافته‌های آزمون تعیین سیالیت به روش ریخته‌گری ماریچی را به مسائل ریخته‌گری اعمال کرد؟

پرسش ۲: از آنجائیکه سیالیت تابعی از دمای حلالیت خط مایع (Liquidus) است، آیا می‌توان مورد اخیر را از پیش تعیین کرد؟

آزمایش ۲- تعیین دانه‌بندی ماسه با الکهای استاندارد

اکثر خواص ماسه‌ها به توزیع دانه‌بندی و اندازه متوسط دانه‌های آن بستگی دارد. این مشخصه‌ها با انجام آزمایش دانه‌بندی و با استفاده از الکهای استاندارد^۱ (AFS) تعیین می‌شوند.

روش آزمایش

پنجاه (۵۰) گرم از ماسه خشک شده و یا از ماسه‌های باقیمانده از آزمایش تعیین خاک (مطابق با استاندارد AFS) که گاهی نیز ممکن است از ۵۰ گرم کمتر باشد، وزن شود. سپس نمونه بر روی الک بالایی، سری الکهای آزمایش قرار داده شود و بمدت ۱۵ دقیقه در دستگاه مرتعش، تکان داده شود. در جدول زیر شماره الکها و اندازه متوسط سوراخهای آن با ذکر یک مثال داده شده است. پس از ۱۵ دقیقه، مقدار ماسه‌ی باقیمانده روی هر الک، وزن شود و درصد آن نسبت به کل نمونه محاسبه شود. آنگاه با استفاده از این نتایج:

۱. منحنی توزیع دانه‌بندی و همچنین منحنی درصد تجمعی^۲ را که بیانگر مقدار ماسه‌ای است که ازالک به خصوص درشت‌تر است، رسم شود.

۲. عدد متوسط نرمه دانه‌ها^۳ محاسبه شود. برای محاسبه این عدد درصد باقیمانده روی هر الک، در اندازه الک قبلی ضرب می‌شود (ضریب مربوطه در جدول زیر داده شده است) زیرا اندازه واقعی هر ماسه، الکی است که ماسه از داخل آن عبور کرده است. سپس مجموع این حاصلضرب‌ها، بر درصد کل دانه‌های ماسه تقسیم شود و خارج قسمت، محاسبه شود. طبق تعریف عدد متوسط نرمه‌ی ماسه، متوسط اندازه دانه‌هاست و تقریباً بیانگر شماره الکی است که اگر کلیه دانه‌ها یک اندازه بودند از داخل آن عبور می‌کردند. این عدد با سطح واحد وزن ذرات بدون در نظر گرفتن خاک متناسب است، لازم به ذکر است که این عدد حاوی هیچگونه اطلاعاتی در زمینه توزیع دانه‌ها نیست، زیرا ممکن است دو ماسه با توزیع دانه‌بندی متفاوت دارای عدد متوسط نرمه یکسانی باشند.

ماسه استاندارد AFS

ماسه استاندارد AFS ماسه سیلیسی شسته و خشک شده‌ای با دانه‌های کروی است که عدد متوسط نرمه AFS آن 50 ± 1 است که ۱۰۰ درصد آن ازالک ۴۰ مش^۴، ۹۵ درصد آن ازالک ۵۰ مش عبور کرده و بقیه بر روی الک ۷۰ مش باقی بماند و هر مقدار که از الک ۷۰ مش عبور می‌کند روی الک ۱۰۰ مش باقی بماند. بعلاوه اینک اکثر ریخته‌گران ماسه استاندارد AFS را ماسه درشتی می‌دانند، ماسه آزمایش ثانویه‌ای^۵ AFS نیز به جای ماسه استاندارد وجود دارد که ماسه سیلیس شسته شده با دانه بندی زیر است.

جدول: شماره الکها و نتایج حاصل از آزمایش یک نمونه ماسه ریخته‌گری

شماره الک آمریکایی	مقدار باقیمانده روی هر الک	درصد تجمعی
۲۰	۰-۱	۰-۱
۳۰	۰-۱	۰-۱
۴۰	۰-۱	۰-۱
۵۰	۲-۴	۲-۵
۷۰	۱۸-۲۵	۲۰-۳۰
۱۰۰	۳۷-۴۳	۶۰-۷۰

^۱ American Foundry Society (AFS), Sieve Analysis

^۲ Cumulative percentage

^۳ Average grain fineness number (gfn)

^۴ مش: طبق تعریف، تعداد سوراخهای الک در طول یک اینچ مش (mesh) نامیده می‌شود.

^۵ AFS Secondary Testing Sand

۸۸-۹۳	۲۳-۲۹	۱۴۰
۸۹-۱۰۰	۶-۱۱	۲۰۰
۹۹-۱۰۰	۰-۲	۲۷۰
۱۰۰-۱۰۰	۰-۱	ظرف زیرین

نتیجه این آزمایش کمکی به حفظ یکنواختی خواص ماسه کرده و مبنایی برای انتخاب و خرید آن بشمار می‌رود.

جدول الکها و محاسبات دانه بندی و عدد نرمه‌های ماسه

شماره الکهای آمریکایی	شماره الکهای Tyler	سوراخهای الک mm	قطر سیمها in	مقدار باقیمانده روی هر الک از ۵۰ گرم		ضرب	حاصلضرب
				گرم	درصد		
۶	۶	۳/۳۲۷	۰/۰۳۶	-	-	۳	-
۱۲	۱۰	۱/۶۵۱	۰/۰۳۲	-	-	۵	-
۲۰	۲۰	۰/۸۳۳	۰/۰۱۷۲	-	-	۱۰	-
۳۰	۲۸	۰/۵۸۹	۰/۰۱۲۵	-	-	۲۰	-
۴۰	۳۵	۰/۴۱۴	۰/۰۱۲۲	۰/۷	۱/۴	۳۰	۴۲/۰
۵۰	۴۸	۰/۲۹۵	۰/۰۰۹۲	۷/۷	۱۵/۴	۴۰	۶۱۶/۰
۷۰	۶۵	۰/۲۰۸	۰/۰۰۷۲	۱۷/۸۵	۳۵/۷	۵۰	۱۷۸۵
۱۰۰	۱۰۰	۰/۱۴۷	۰/۰۰۴۲	۱۴/۲	۲۸/۴	۷۰	۱۹۸۸
۱۴۰	۱۵۰	۰/۱۰۴	۰/۰۰۲۶	۷/۴	۱۴/۸	۱۰۰	۱۴۸۰
۲۰۰	۲۰۰	۰/۰۷۴	۰/۰۰۲۱	۱/۶۵	۳/۳	۱۴۰	۴۶۲
۲۷۰	۲۷۰	۰/۰۵۳	۰/۰۰۱۶	-	-	۲۰۰	-
ظرف زیرین	ظرف زیرین	-	-	۰/۵	۱/۰	۳۰۰	۳۰۰
جمع	-	-	-	۵۰/۰	۱۰۰	-	۶۶۳۷

$$AFS\ No. = \frac{۶۶۷۳}{۱۰۰} = ۶۶.۷۳$$

مسائل حل شده

پرسش ۱: چرا دمای جوانه‌زنی همگن، همیشه از دمای انجماد تعادلی پایین‌تر است. چه عاملی باعث تولید جوانه می‌شود؟
پاسخ: دمایی که در آن جوانه‌زنی همگن اتفاق می‌افتد همیشه از دمای انجماد تعادلی، پایین‌تر است، زیرا بایستی بر نیروهای کشش سطحی که مانع رشد جوانه می‌شوند فائق آئیم. عامل تولید جوانه اختلاف انرژی فازهای مذاب و جامد است. این مقدار را، تغییر انرژی آزاد حجمی می‌نامند و با ΔG_v نشان می‌دهند که واحد آن (cal/cm^3) است.

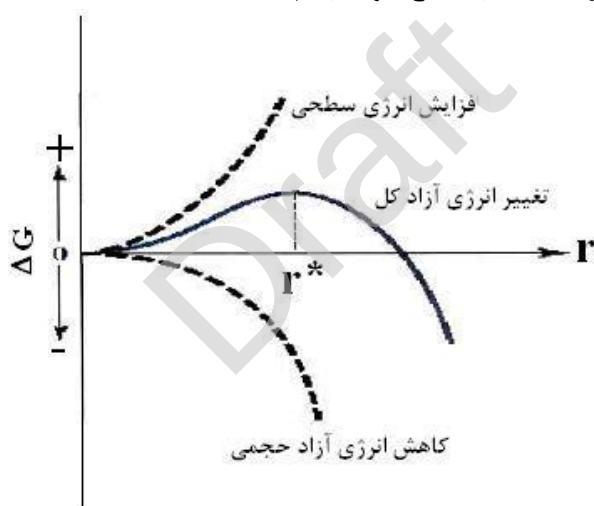
پرسش ۲: ثابت کنید که شعاع بحرانی جوانه در هنگام انجماد از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$r^* = \frac{\gamma_g}{\Delta G_v}$$

پاسخ: اگر جوانه‌ای کروی با شعاع r تشکیل شود، تغییر انرژی آزاد کل برابر با مجموع انرژی آزاد حجمی و انرژی آزاد سطحی است. تغییر انرژی آزاد حجمی برای تشکیل جوانه‌ای کروی به شعاع r برابر با $\frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_v$ است. انرژی لازم برای ایجاد سطح جدید، تابعی از کشش سطحی^۱ (واحد آن ارگ بر سانتیمتر مربع ergs/cm^2) برابر با $4\pi r^2 \gamma_g$ است. نتیجتاً، تغییر انرژی آزاد کل واکنش انجماد برابر است با:

$$\Delta G_{\text{Total}} = -\frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_v + 4\pi r^2 \gamma_g \quad (۱)$$

در شکل زیر منحنی ΔG_{Total} برحسب اندازه شعاع جوانه رسم شده است.



شکل: منحنی تغییرات انرژی آزاد بر حسب تابعی از شعاع جوانه

برای بدست آوردن r^* از معادله ۱ نسبت به شعاع، مشتق می‌گیریم و آن را مساوی صفر قرار می‌دهیم.

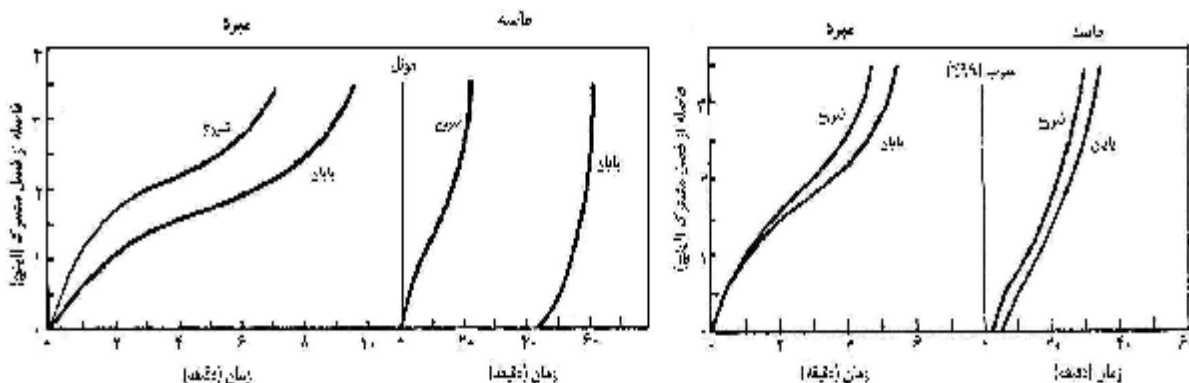
$$\begin{aligned} \frac{\partial \Delta G_{\text{Total}}}{\partial r} &= -4\pi r^2 \Delta G_v + 8\pi r \gamma_g = 0 \\ -4\pi r^2 \Delta G_v + 8\pi r \gamma_g &= 0 \end{aligned}$$

یا

$$r^* = \frac{\gamma_g}{\Delta G_v}$$

پرسش ۳: با توجه به منحنی پیشرفت انجماد دو آلیاژ در شکل‌های زیر، CFR را برای این دو آلیاژ محاسبه کنید و تعیین کنید که ریخته‌گری کدامیک از این دو آلیاژ مشکل‌تر است؟

^۱ Surface tension



پاسخ: با استفاده از فرمول زیر و نیز منحنی‌های فوق، CFR را برای هر کدام از این دو آلیاژ، محاسبه می‌کنیم.

$$CFR = \frac{a - b}{a - d}$$

که در آن

- a پایان انجماد در مرکز
- b شروع انجماد در مرکز
- d شروع انجماد در فصل مشترک

$CFR = \frac{9.6 - 7.1}{9.6 - 0} \times 100 = 26$	مونل مبرد
$CFR = \frac{61 - 22}{61 - 0} \times 100 = 63.9$	مونل ماسه
$CFR = \frac{5.5 - 4.7}{5.5 - 0} \times 100 = 14.5$	سرب مبرد
$CFR = \frac{34 - 30}{34 - 2} \times 100 = 12.5$	سرب ماسه

همانگونه که از نتایج مشخص است، ریخته‌گری آلیاژ مونل در ماسه مشکل‌تر است.

پرسش ۴: معایب فرایند ریخته‌گری در قالب ماسه‌ای را نام ببرید.

پاسخ: الف) عدم امکان ریخته‌گری قطعات بزرگ ب) پائین بودن دقت اندازه‌ها

پرسش ۵: فرایند ریخته‌گری Antioch را توضیح دهید.

پاسخ: روش Antioch، روش دیگری از ریخته‌گری در قالب گچی است که برای ریخته‌گری قطعات مهندسی پیچیده استفاده می‌شود. مزیت عمده این روش در آن است که قالب گچی نفوذپذیری بالایی دارد، در این روش، برای تولید قالب، آب را به مخلوط خشکی از ژئیس، ماسه، پنبه نسوز، تالک و سیلیکات سدیم اضافه می‌کنند تا دوغاب تهیه شود سپس آن را با شیلنگ به داخل قالب تخلیه می‌کنند. مخلوط در ابتدا گیرش اولیه‌ای دارد پس از شش ساعت در دمای اتاق در اتوکلاوی با ۲ اتمسفر فشار قرار می‌دهند. پس از آن قالب را ۱۲ ساعت در هوا قرار می‌دهند تا بهبود یابد و نهایتاً در خشک کن و دمای ۲۳۰ °C خشک می‌کنند.

پرسش ۶: فلزات ریخته‌گری به چند دسته تقسیم می‌شوند نام ببرید؟ آلومینیم و چدن خاکستری جزء کدام دسته محسوب می‌شوند؟

پاسخ: به دو دسته عمده آهنی و غیر آهنی تقسیم بندی می‌کنند. گروه آهنی خود به دو گروه فولاد و چدن تقسیم می‌شود. آلومینیم به گروه غیر آهنی و چدن خاکستری به گروه آهنی وابسته‌اند.

پرسش ۷: رطوبت ماسه را چگونه تعیین می‌کنند به طور مختصر توضیح دهید؟

پاسخ: ۵۰ گرم از ماسه را وزن کرده و به مدت ۲ ساعت در دمای °C ۱۰۵ (۲۲۰ °F) خشک می‌کنیم تا به وزن ثابتی برسد. سپس مجدداً آن را وزن (m) می‌کنیم. دو برابر افت وزنی مقدار درصد رطوبت ماسه را نشان می‌دهد.

$$= ۲*(۵۰-m) \text{ درصد رطوبت}$$

پرسش ۸: قطعه‌ای با سطح مقطع $۱۰*۲۰ \text{ in}^2$ و به ارتفاع ۵ in را با راهگاهی تحتانی و با ارتفاع کل ۹ in و سطح مقطعی برابر با $۱/۵ \text{ in}^2$ بارریزی می‌کنند. زمان بارریزی را محاسبه کنید. اگر این قطعه با همین راهگاه، اما از قسمت فوقانی قطعه بارریزی شود، زمان بارریزی چقدر خواهد بود؟ ($g = ۳۲.۲ \text{ ft/sec}^2$)

پاسخ: چون راهگاه تحتانی است، از فرمول

$$t_f = \frac{۲A_m}{A_g \sqrt{۲g}} (\sqrt{h_t} - \sqrt{h_t - h_m})$$

استفاده می‌کنیم. با جایگذاری مقادیر خواهیم داشت.

$$t_f = \frac{۲ \times ۱۰ \times ۲۰}{۱.۵ \sqrt{۲ \times ۱۲ \times ۳۲.۲}} (\sqrt{۹} - \sqrt{۹ - ۵}) = ۹.۵۹ \text{ sec}$$

برای محاسبه زمان بارریزی از قسمت فوقانی از فرمول

$$t_f = \frac{V}{Q} = \frac{V}{Av}$$

استفاده می‌کنیم. با جایگذاری مقادیر خواهیم داشت.

$$t_f = \frac{۵ \times ۱۰ \times ۲۰}{۱.۵ \sqrt{۲ \times gh}} = \frac{۵ \times ۱۰ \times ۲۰}{۱.۵ \sqrt{۲ \times ۱۲ \times ۳۲.۲ \times ۹}} = ۷.۹۹ \text{ sec} \cong ۸ \text{ sec}$$

پرسش ۹: قطعه‌ای مکعبی شکل از جنس فولاد و به ضلع ۶۶ cm را در قالب ماسه‌ای که ثابت قالب آن (B) برابر با ۰.۸۸۵ sec/cm^2 است ریخته‌گری می‌کنیم. زمان انجماد قطعه را محاسبه کنید. اگر مکعب بزرگتر شود بطوریکه حجم آن دو برابر شود، زمان انجماد چند برابر خواهد شد؟

پاسخ: زمان انجماد قطعه را از رابطه چورینف محاسبه می‌کنیم.

$$t_{s_1} = B \left(\frac{V}{A} \right)^2 = ۰.۸۸۵ \left(\frac{۶۶ \times ۶۶ \times ۶۶}{۶ \times ۶۶ \times ۶۶} \right)^2 = ۰.۸۸۵ (۱۱)^2 = ۱۰۷.۰۸۵ \text{ sec}$$

اگر حجم قطعه دو برابر شود بایستی ضلع مکعب (b) را در حالت جدید محاسبه کنیم، که در نتیجه خواهیم داشت.

$$b^3 = ۲ \times V = ۲ \times ۶۶^3 \rightarrow b = ۸۳.۱۵ \text{ cm}$$

مجدداً زمان انجماد را از رابطه چورینف محاسبه می‌کنیم، لذا خواهیم داشت.

$$t_{s_2} = B \left(\frac{V}{A} \right)^2 = ۰.۸۸۵ \left(\frac{۸۳.۱۵ \times ۸۳.۱۵ \times ۸۳.۱۵}{۶ \times ۸۳.۱۵ \times ۸۳.۱۵} \right)^2 = ۱۶۹.۹۹ \text{ sec}$$

برای تعیین چند برابر شدن زمان انجماد، را بر تقسیم می‌کنیم، نتیجه عبارتست از.

$$\frac{t_{s_2}}{t_{s_1}} = \frac{۱۶۹.۹۹}{۱۰۷.۰۸۵} = ۱.۵۸۷$$

پرسش ۱۰: الف) چه عواملی تعیین کننده کافی بودن منبع تغذیه می‌باشد؟ ب) چه عواملی تعیین کننده اقتصادی بودن منبع به شمار می‌رود؟

پاسخ:

الف) منبع تغذیه بایستی بعد از قطعه منجمد شود و برای تغذیه انقباض حاصل از انجماد فلز کافی داشته باشد.

ب) حداقل ضایعات را داشته باشد. محل قرار گرفتن آن مناسب باشد تا بتواند کاملاً موثر باشد.

پرسش ۱۱: چه عواملی برای تعیین محل منبع تغذیه یک قطعه ریخته‌گری بایستی مد نظر قرار گیرد؟

پاسخ: بایستی در تمام قسمتهای قطعه‌ای که باید تغذیه شود، فشار مذاب مثبتی ایجاد کند.

پرسش ۱۲: با محاسبه نشان دهید که یک منبع تغذیه کور (blind) تا چه ارتفاعی می‌تواند قطعه فولادی را در شرایط ایده‌آل تغذیه کند؟

پاسخ:

پرسش ۱۳: چه عواملی استفاده از منبع‌های تغذیه پوشیده را محدود می‌کند؟

پاسخ:

پرسش ۱۴: در منبع‌های تغذیه پوشیده، هدف از بکار بردن ماهیچه ماسه‌ای یا گرافیتی چیست؟

پاسخ: برای ایجاد فشار اتمسفر به منبع تغذیه شکل ۶،۶

پرسش ۱۵: ایده‌آل‌ترین شکل یک منبع تغذیه کدامست؟ عملی‌ترین شکل آن کدامست؟

پاسخ:

پرسش ۱۶: عواملی را که برای تعیین اندازه و سطح تماس منبع‌های تغذیه لازم است به طور روشن توضیح دهید.

پاسخ:

پرسش ۱۷:

پاسخ:

۱. آزادی عمل بیشتری در تعیین محل منبع بسته وجود دارد.

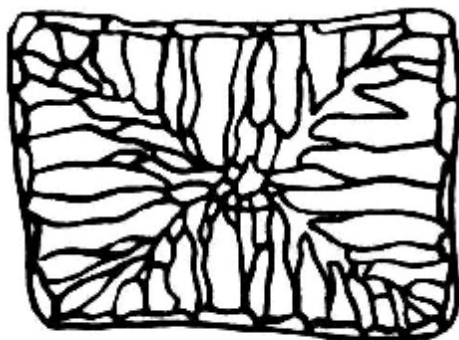
۲. منبع بسته می‌تواند از منبع تغذیه‌ی باز قابل مقایسه با آن کوچکتر باشد.

۳. منبع پوشیده می‌تواند از قطعه به راحتی جدا شود.

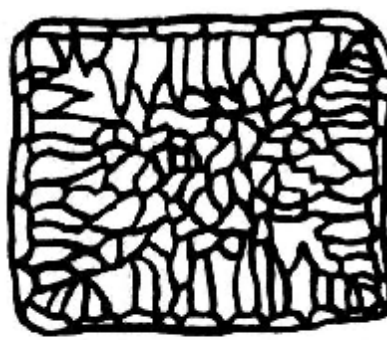
از معایب منبع پوشیده

پرسش ۱۸: همانگونه که در شکل‌های زیر ملاحظه می‌شود، در سطح مس اکسیدزدائی شده لایه نازکی از بلورهای اتفاقی تشکیل شده و سپس با بلورهای ستونی تا مرکز ادامه یافته است. اما در مس اکسیدشده حتی در مرکز نیز بلورهای اتفاقی تشکیل شده است. چرا؟

(توجه: دمای ذوب مس خالص 1083°C و دمای ذوب اکسید مس (Cu_2O) برابر با 1236°C است).



مس: دمای اکسید نشده



مس: اکسید شده

پاسخ: نقطه ذوب مس خالص 1083°C ولی نقطه ذوب اکسید مس (Cu_2O) برابر با 1236°C است. در مس اکسیدزدائی شده هیچگونه جوانه خارجی (عامل جوانه‌زا) برای جوانه‌زنی و رشد وجود ندارد فقط سطح قالب به عنوان جوانه‌های غیرهمگن عمل می‌کنند و تشکیل جوانه در داخل مذاب مس خالص باید به روش همگن باشد که مشکل است. در نتیجه جوانه‌های اتفاقی در سطح قالب تشکیل و تا مرکز ادامه می‌یابند، اما در مس اکسیدشده، ذرات اکسید مس در تمام مذاب موجود است که به عنوان جوانه عمل می‌کنند و جوانه‌زنی به روش غیرهمگن است.

پرسش ۱۹: مقدار گرمائی که در مدت زمان t از سطح مقطع مشترک مذاب و قالب (A) انتقال می‌یابد برابر است با

$$Q = A \frac{\gamma k (T_1 - T_0) t}{a_{mold}}$$

که در این رابطه

T_1 دمای سطح مشترک فلز با قالب

T_0 دمای اولیه قالب

a ضریب نفوذ حرارتی قالب

k هدایت حرارتی قالب

اگر مذابی را که گرمای ویژه‌ی آن برابر با C_m و گرمای نهان ذوب آن در واحد وزن L_m و از دمای T_p بارریزی شود، زمان لازم برای انجماد فلز تا ضخامت d_t را محاسبه کنید.

پاسخ: سطح قالب پس از بارریزی، به طور نگهانی از دمای اولیه T_0 به دمای T_1 افزایش می‌یابد و در طی انجماد در دمای T_1 ثابت می‌ماند. ورقی به ضخامت γd_t را در نظر بگیرید که مساحت وجوه اصلی آن A باشد. مقدار حرارتی که باید منتقل شود حرارت ماورای ذوب و گرمای نهان ذوب است، که A مساحت سطح یکی از وجوه است. برای انجماد مذابی به ضخامت d_t مقدار حرارتی که باید منتقل شود برابر است با:

$$Q = Ad_t r_m C_m (T_p - T_1) + Ad_t r_m L_m$$

یا

$$Q = Ad_t r_m [L_m + C_m (T_p - T_1)]$$

با مساوی قرار دادن این مقدار با حرارتی که منتقل می‌شود، خواهیم داشت.

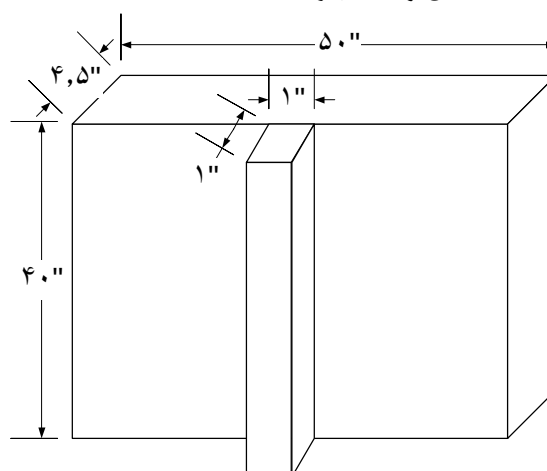
$$Ad_t r_m [L_m + C_m (T_p - T_1)] = A \frac{\gamma k (T_1 - T_0) t}{a_{mold}}$$

یا

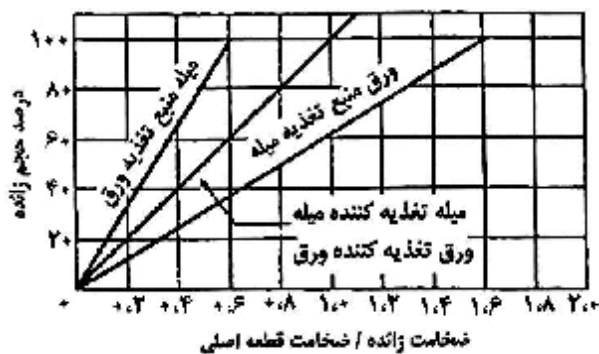
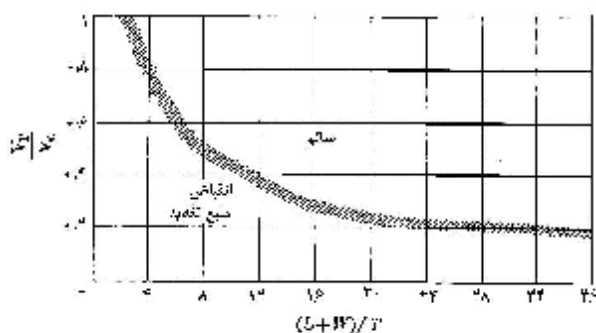
$$d_t = \frac{\gamma k (T_1 - T_0) t}{a_{mold} r_{mold} [L_m + C_m (T_p - T_1)]}$$

$$d_t = B' t$$

پرسش ۲۰: برای ریخته‌گری قطعه‌ای به شکل و ابعاد زیر،



حجم منبع تغذیه را با توجه به منحنیهای زیر محاسبه کنید (مذاب فولاد ۰/۳٪ کربن).



پاسخ: ابتدا ضریب شکل SF را محاسبه می‌کنیم.

$$SF = \frac{L+W}{T} = \frac{40+50}{4.5} = 20$$

با استفاده از شکل

$$\frac{V_r}{V_c} = 0.22$$

$$\frac{T_p}{T_c} = \frac{1}{4.5} = 0.22$$

درصد حجم ضمیمه که بایستی به حجم قطعه اضافه شود برابر است با ۰/۱۴

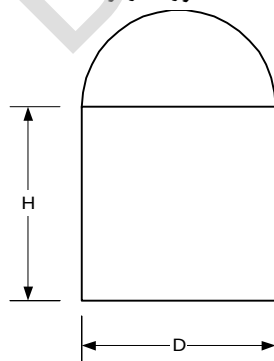
حجم کل برابر خواهد بود با

$$V_{total} = V_c + \% \text{ parasitie vol} = 40 \times 50 \times 4.5 + 40 \times 1 \times 1 \times 0.14 = 9005.6 \text{ in}^3$$

$$V_r = 0.22 \times V_c = 0.22 \times 9005.6 = 1981.23 \text{ in}^3$$

پرسش ۲۱: اگر در مسئله قبل منبع تغذیه را استوانه‌ای با انتهای کروی که قطر و ارتفاع استوانه با هم برابر باشند در نظر بگیریم ابعاد آن را محاسبه کنید و شکل آن را رسم کنید.

پاسخ: شکل منبع تغذیه با توجه به داده‌های مسئله به صورت زیر است.



لذا حجم این منبع تغذیه برابر خواهد بود با

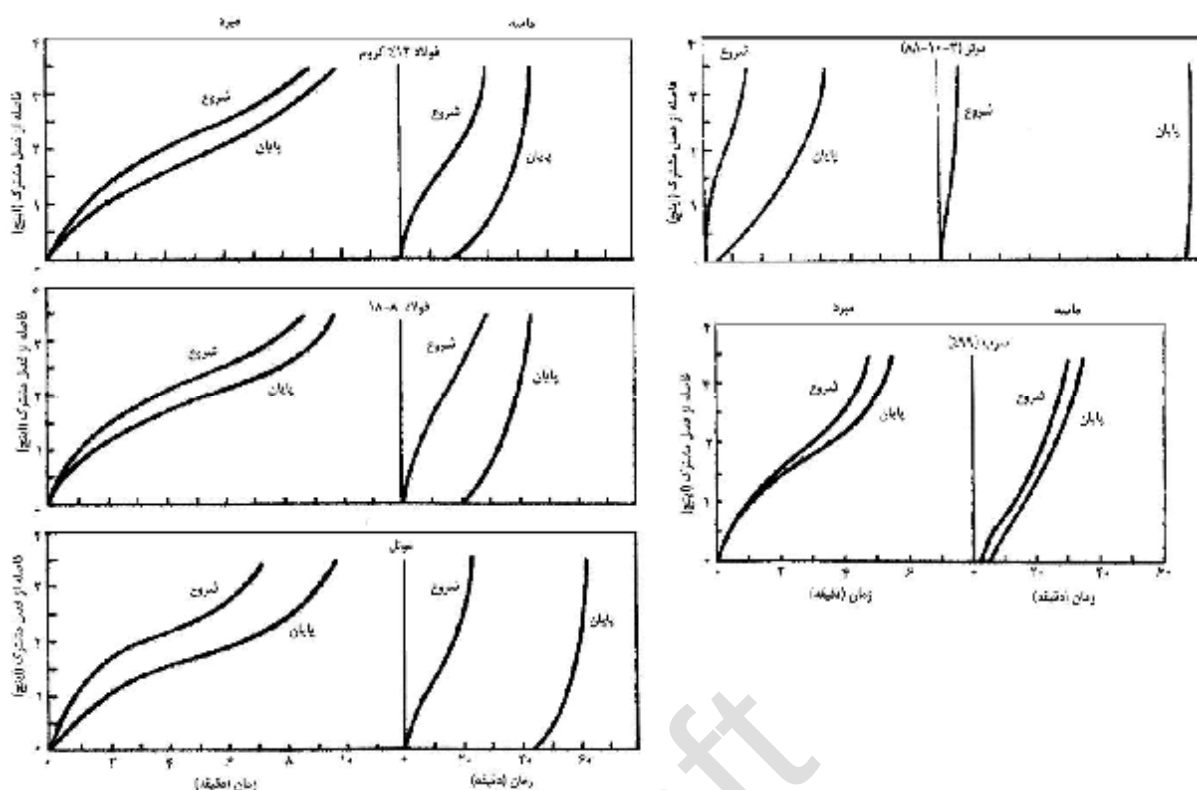
$$\text{حجم منبع تغذیه} = \frac{1}{3} \left(\frac{4}{3} p \right) \left(\frac{D}{2} \right)^3 + p \left(\frac{D}{2} \right)^2 D = \frac{p}{3} D^3$$

که با جایگذاری خواهیم داشت.

$$\frac{p}{3} D^3 = 1981.23 \rightarrow D = 12.368 \text{ in}$$

پرسش ۲۲: منحنیهای پیشرفت انجماد برخی آلیاژها در زیر داده شده است. برای هر منحنی (انجماد در قالب ماسه یا انجماد تبریدی) CFR را محاسبه کنید. بر اساس تجربیات حاصل، تغذیه آلیاژهائی که CFR آنها از ۷۰٪ بیشتر باشد،

مشکل است، به نظر شما تغذیه کدامیک از این آلیاژها، مشکل تر است. برای ریخته‌گری قطعه‌ای سالم از این آلیاژ، چه راه حلی را پیشنهاد می‌کنید؟



پاسخ: با استفاده از رابطه

$$CFR = \frac{a - b}{a - d}$$

که در آن

a پایان انجماد در مرکز

b شروع انجماد در مرکز

d شروع انجماد در فصل مشترک

است، خواهیم داشت.

نوع فلز	مبرد				ماسه			
	CFR	d	b	a	CFR	d	b	a
فولاد ۱۲٪ کروم	۱۰	۰	۹	۱۰	۳۴	۰	۳۰	۴۵
فولاد ۸-۱۸	۱۱	۰	۸,۵	۹,۵	۳۴	۰	۲۸	۴۲
مونل	۲۶	۰	۷,۱	۹,۶	۶۴	۰	۲۲	۶۰
برنز ۲-۱۰-۸۸	۵۱	۰	۴,۳	۸,۸	۹۲	۰	۷	۸۶
سرب ۹۹٪	۱۳	۰	۴,۸	۵,۵	۱۶	۳	۳۰	۲۵

با توجه به نتایج CFR تغذیه برنز ۲-۱۰-۸۸ مشکل است. ریخته‌گری آن بایستی در شرایط تبریدی صورت گیرد. پرسش ۲۳: تامین مذاب تغذیه به چه عواملی بستگی دارد؟ نام ببرید.

پاسخ: به عوامل زیر بستگی دارد که عبارتند از

۱. شکل منبع تغذیه

۲. اندازه‌ی منبع تغذیه که تابعی از شکل قطعه ریخته‌گری است.

۳. محل قرارگرفتن منبع تغذیه

۴. تجمع قطعات ریخته‌گری برای استفاده از یک منبع

۵. اتصال منبع تغذیه به قطعه ریخته‌گری

۶. استفاده از مبرد

۷. استفاده از عایق‌ها و مواد گرمازا

۸. شرایط خاص ناشی از اتصال قطعات

پرسش ۲۴: منبع تغذیه بایستی چه خصوصیتی را دارا باشد؟

پاسخ: بایستی دارای دو خصوصیت مستقل زیر باشد.

۱. منبع تغذیه بایستی از قطعه ریخته‌گری دیرتر منجمد شود.

۲. منبع تغذیه برای جبران انقباض، مذاب کافی را تامین کند.

پرسش ۲۵: تفاوت تغذیه‌گذاری چدن خاکستری با تغذیه‌گذاری دیگر فلزات چیست؟ توضیح دهید.

پاسخ: در چدن خاکستری، در هنگام انجماد گرافیت تشکیل می‌شود که با انبساط حجم همراه است. اگر انبساط گرافیت

تشکیل شده، برابر انقباض حاصل از انجماد باشد به تغذیه‌گذاری نیازی نیست ولی کمتر باشد به تناسب به تغذیه نیاز است و

اگر بیشتر باشد، منبع تغذیه بایستی زودتر منجمد شود.

پرسش ۲۶: قانون پیوستگی چیست؟ شرح دهید.

پاسخ: این قانون بیان می‌دارد که اگر سیستم غیرقابل نفوذی با مایع غیرقابل نفوذی پر شده باشد، رابطه زیر برقرار است.

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2$$

که در این رابطه

A_1 و V_1 سطح مقطع و سرعت مذاب در نقطه ۱

A_2 و V_2 سطح مقطع و سرعت مذاب در نقطه ۲

است.

پرسش ۲۷: دلیل ایجاد مکش در راهگاه قائم چیست؟ راه جلوگیری از آن چگونه است؟ (اثبات لازم است).

پاسخ: با اعمال معادله برنولی برای دو نقطه ۱ و ۳ خواهیم داشت.

$$h_t + \frac{14.7}{w} + 0 = 0 + \frac{14.7}{w} + \frac{v_r^2}{2g} \rightarrow v_r = \sqrt{2gh_t}$$

$$h_t + \frac{p_r}{w} + \frac{v_r^2}{2g} = 0 + \frac{14.7}{w} + \frac{v_r^2}{2g} \rightarrow v_r = \sqrt{2gh_c}$$

$$p_r = 14.7 - \frac{w}{2g} v_r^2 = 14.7 - wh_c$$

پرسش ۲۸: برای صادق بودن معادله برنولی چه فرضیاتی لازم است؟

پاسخ: دو فرض زیر ضروری است.

۱. از اصطکاک صرف نظر می‌شود.

۲. مایع غیرقابل نفوذ است.

پرسش ۲۹: دمای بارریزی فلزی °F ۱۲۰ بالاتر از دمای ذوب آن است. انقباض حجمی مذاب به ازای هر °F ۱۰۰ برابر با

۱/۶۰۵ % و انبساط حجمی حاصل از انجماد ۲/۸ % و نیز انقباض آن از دمای انجماد تا دمای اتاق ۶/۵ % است. محاسبه

کنید که اگر این فلز از دمای بارریزی ریخته‌گری شود:

۱. انقباض کل از دمای بارریزی تا دمای اتاق چقدر است.

۲. آیا این قطعه به منبع تغذیه نیاز دارد یا خیر؟ پاسخ خود را کاملاً شرح دهید.

۳. به نظر شما، فلز فوق چه نوع فلزی است؟

پاسخ: فرض کنید که حجم مذاب در دمای بارریزی برابر با V باشد. انقباض حجمی به ازای هر درجه فارنهایت برابر است با

$$\text{درصد انقباض به ازای } 120^\circ F \text{ سردشدن} = 1.605 \times \frac{120^\circ F}{100^\circ F} = 1.926\%$$

$$\Delta V = \frac{1.926}{100} \times V = 0.01926 \times V \quad \text{انقباض مذاب از دمای بارریزی تا دمای انجماد}$$

$$V_r = V - 0.01926 \times V = (1 - 0.01926) \times V = 0.98074 \times V \quad \text{حجم مذاب در دمای انجماد}$$

$$\Delta V = 0.98074 \times V \times \frac{2.8}{100} = 0.02746 \times V \quad \text{انقباض حاصل از انجماد}$$

$$V_r = 0.98074 \times V + 0.02746 \times V = 1.0082 \times V \quad \text{حجم قطعه پس از انجماد}$$

$$\Delta V = 1.0082 \times V \times \frac{4.5}{100} = 0.045369 \times V \quad \text{انقباض قطعه تا دمای اتاق}$$

$$V_r = 1.0082 \times V - 0.045369 \times V = 0.9628 \times V \quad \text{حجم قطعه در دمای اتاق}$$

$$\frac{V - 0.9628 \times V}{V} \times 100 = 3.717\% \quad \text{انقباض کل}$$

پرسش ۳۰: فوق تبرید ساختمانی را به طور روشن (constitutional supercooling) توضیح دهید؟
پاسخ:

پرسش ۳۱: برای تشکیل جواهرهای کروی، شعاع بحرانی و انرژی آزاد بحرانی (تغییرات) از روابط زیر بدست می‌آید.

$$r^* = \frac{2g}{\Delta G_v}$$

$$\Delta G^* = \frac{16 pg^2}{3 \Delta G_v^2}$$

ثابت کنید که رابطه ΔG^* با حجم جواهر بحرانی V^* به صورت زیر است.

$$\Delta G^* = -\frac{V^*}{2} \Delta G_v$$

پاسخ:

پرسش ۳۲:

پاسخ: بایستی دارای دو خصوصیت مستقل زیر باشد.

۳. منبع تغذیه بایستی از قطعه ریخته‌گری دیرتر منجمد شود.

۴. منبع تغذیه برای جبران انقباض، مذاب کافی را تامین کند.

پرسش ۳۳: معادله کاین (Caine) برای تغذیه‌گذاری فولاد ۰/۳ درصد کربن عبارتست از

$$x = \frac{0.12}{y - 0.05} + 1.0$$

که در این رابطه، x نسبت انجماد (Freezing ratio) و y نسبت حجم تغذیه به حجم قطعه است. با توجه به فرمول فوق منبع تغذیه لازم را برای قطعه‌ای به ابعاد 5^*10^*2 in را محاسبه کنید. اگر منبع تغذیه استوانه‌ای به قطر و ارتفاع برابر باشد، ابعاد آن را مشخص کنید.
پاسخ:

پرسش ۳۴: در کارگاهی چدن خام با ترکیب شیمیایی زیر ریخته‌گری می‌شود.

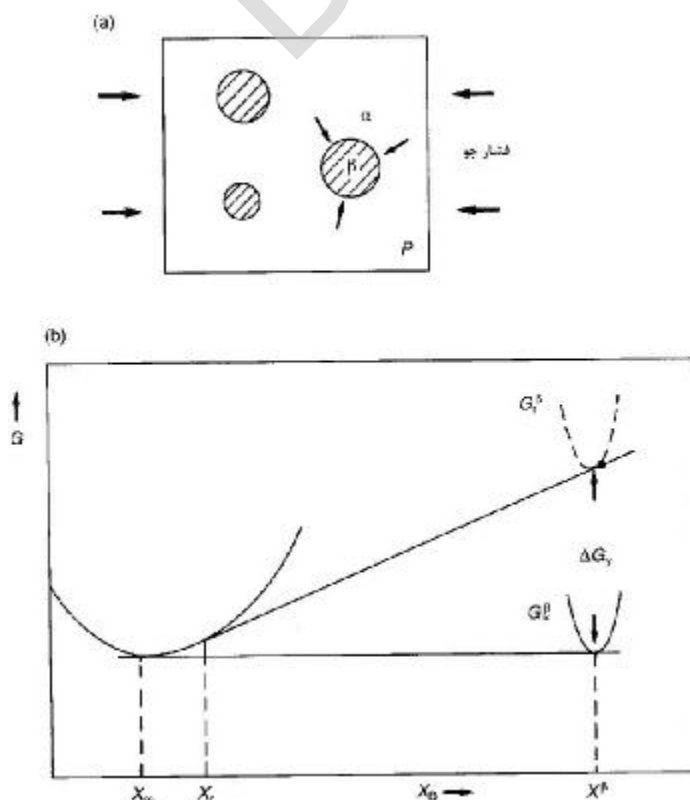
عنصر	C	Si	S	P	Mn
درصد (%)	۳/۲۵	۲/۲	۰/۰۵	۰/۵	۱/۰

برای اینکه چدن فوق به منبع تغذیه نیازی نداشته باشد چه مقدار (درصد) فروسیلیس نیاز است (فروسیلیس ۵۰٪)
پاسخ:

پرسش ۱: توضیح دهید که اثر گیس-تامسون چیست؟ و تاثیر آن بر شعاع نوک رشد دندرتی فلز خالص چگونه است؟
پاسخ: انرژی آزاد گیس ذره‌ی در حال انجماد (ذره بتا در زمینه آلفا، در شکل زیر - الف) با فشار اضافی که ذره بتا بر اثر انحنای خود، ایجاد می‌کند، افزایش می‌یابد.
این فشار اضافی برابر است با

$$\Delta P = \frac{2\gamma_{ab}}{r}$$

از آنجائیکه $\Delta P \times V_m = \Delta G$ است، ΔG اضافی b برابر با $\Delta S_f \times \Delta T$ است، $\Delta G_r = \frac{2\gamma_{ab} \times V_m}{r}$ است، ΔG_r با کاهش r افزایش می‌یابد، همانگونه که در شکل زیر ب نشان داده شده است.



این اثر بر غلظت‌های تعادلی اثر میکند (به مماس در شکل ب مراجعه شود)، تمایل به درشت شدن را توضیح میدهد، و دمای در نوک دندريت در حال رشد را کاهش میدهد. به صفحه ۲۰۶ و ۲۰۷ پورتر-استرلینگ مراجعه شود.

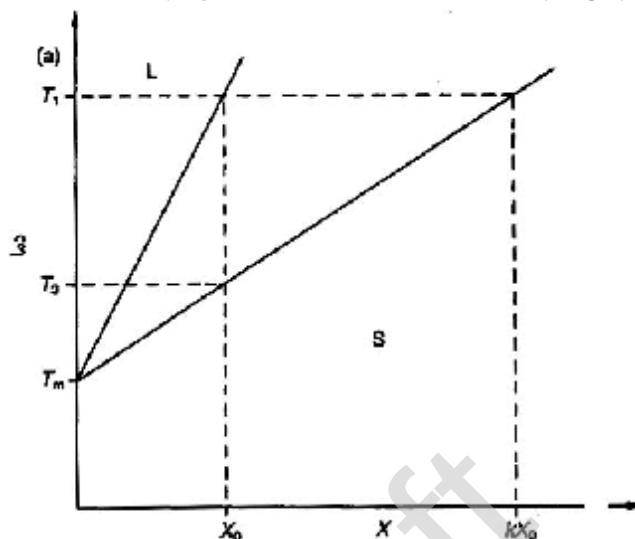
پرسش ۲: شکلهائی رسم کنید که توزیع ترکیب شیمیائی را پس از انجماد در طول یک میله و برای $k > 1$ نشان دهد.

(الف) برای حالتی که هیچگونه نفوذی صورت نمی‌گیرد و در مذاب اختلاط کامل انجام می‌شود.

(ب) برای حالتی که هیچگونه نفوذی صورت نمی‌گیرد و در مذاب نیز اختلاط انجام نمی‌شود.

(Porter Easterling, problem ۴, ۱۳)

پاسخ: نمودار الف (شکل زیر) نوعی نمودار فازی برای $k > 1$ است. (در این مورد $k > 3$ است).

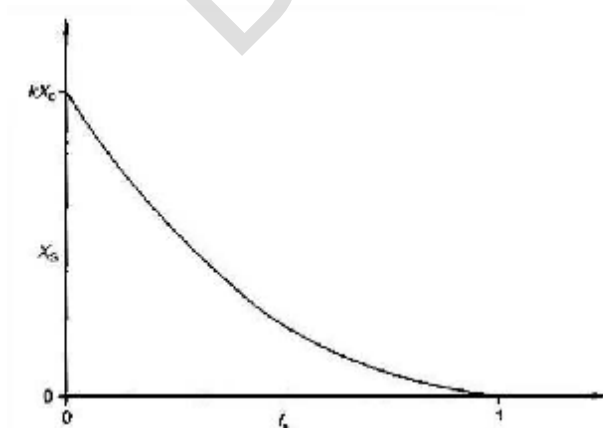


(شکل الف)

تغییرات ترکیب در طول میله را می‌توان با معادله زیر محاسبه کرد.

$$X_s = kX_o (1 - f_s)^{(k-1)}$$

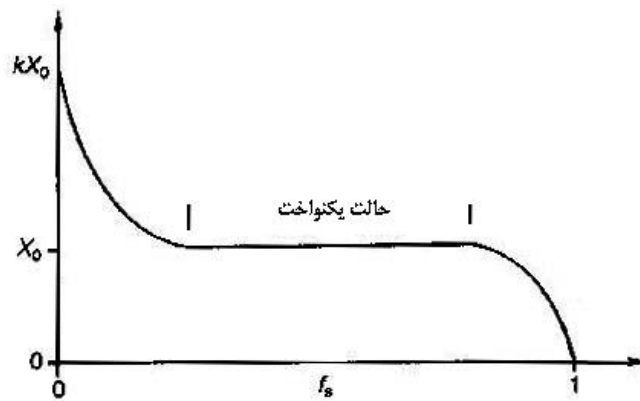
نتیجه برای $k > 3$ در شکل ب نشان داده شده است.



(شکل ب)

f_s با فاصله در طول میله متناسب است. توجه کنید که ترکیب نهائی که منجمد می‌شود حلال خالص $X_s = 0$ است.

برای حالتی که هیچگونه نفوذی در جامد صورت نمی‌گیرد و در مذاب نیز اختلاط انجام نمی‌شود منحنی به صورت زیر است.



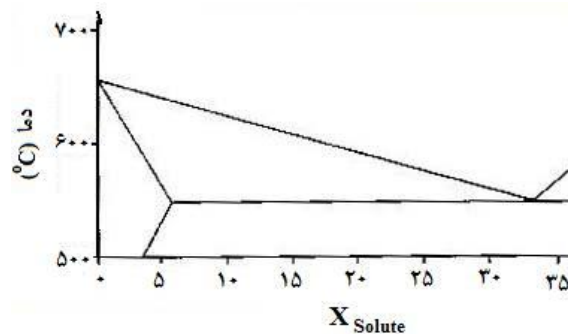
پرسش ۳: فوق تبرید ساختمانی چیست؟ و ارتباط آن با انجماد سلولی چگونه است؟

پاسخ: فوق تبرید ساختمانی یا فوق تبرید ترکیب شیمیایی عبارت از اثری است که در آلیاژ در حال انجماد بدلیل این حقیقت که انجماد با جدایش ترکیب اتفاق می افتد، هسته جامد از نظر ماده حل شده دارای ترکیب کمتر (یا بیشتر) از مذاب است، نتیجه آن است که حتی اگر، جامد در تماس با مذاب فوق گرم شده (برای فلزات خالص این موضوع منجر به رشد پایدار تخت میشود) فصل مشترک S/L میتواند ناپایدار شود زیرا دمای واقعی مذاب به طور منطقه ای از دمای تعادلی مذابی که از نمودار فاز بدست می آید سردتر است. این فوق تبرید منطقه ای در جلوی فصل مشترک باعث ناپایداری و بنابر این رشد سلولس میشود شکل ۴،۲۳ در پورتر استرلینگ

پرسش ۴: سیستم Al-Cu دارای نمودار فازی یوتکتیکی است که $T_m(Al) = 660^\circ C$ ، $T_E(Al) = 548^\circ C$ ، $X_E = 33 \text{ wt\% Cu}$ و $X_{max} = 5.65 \text{ wt\% Cu}$ است. ضریب نفوذ برای مذاب $D_L = 3 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ است. اگر آلیاژ Al-0.5 wt% Cu بدون هیچگونه همرفت و با فصل مشترک جامد/مذاب در $5 \mu\text{m/s}$ منجمد شود. آنگاه

- دمای فصل مشترک در حالت یکنواخت چقدر است؟
 - ضخامت لایه نفوذ چقدر است؟
 - چه شیب دمایی نیاز است تا فصل مشترک تخت را حفظ کند؟
 - a، b و c را برای آلیاژ Al-2 wt% Cu که تحت همان شرایط منجمد میشوند پاسخ دهید.
- (پورتر استرلینگ مسئله ۴،۱۵)

پاسخ: برای آلیاژ Al-0.5 wt% Cu نمودار تعادل فازی در شکل زیر داده شده است.



(الف) برای ترکیب مربوطه، دمای فصل مشترک در حالت یکنواخت با دمای خط جامد داده می شود.

$$\text{دمای فصل مشترک} = 650.1^\circ C$$

(ب) ضخامت لایه نفوذ معادل با مشخصه عرض نیمرخ غلظت است.

$$\text{ضخامت} = \frac{D_L}{n} = \frac{3 \times 10^{-9}}{5 \times 10^{-6}} = 6 \times 10^{-4} \text{ m}$$

ج) یک فصل مشترک مسطح (صفحه‌ای) فقط اگر هیچگونه فوق تبرید ساختمانی در جلوی آن وجود نداشته باشد، پایدار است. تحت رشد حالت یکنواخت، در نظر گرفتن نیمرخ دما و غلظت در مذاب جلوی فصل مشترک شیب بحرانی را ایجاد کرده که به صورت زیر قابل بیان است.

$$T_L' = \frac{T_1 - T_2}{D/n}$$

که در این رابطه

T_1 دمای خط مذاب در X_0

T_2 دمای خط جامد در X_0

بنابراین

$$T_L' = \frac{658.3 - 650.1}{6 \times 10^{-4}} = 13667 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{m}$$

$$= 13,7 \text{ } ^\circ\text{K} / \text{mm}$$

د) برای آلیاژ Al-2wt% Cu

دمای فصل مشترک برابر با $620,4 \text{ } ^\circ\text{C}$ است. لذا ضخامت لایه نفوذ برابر است با

$$\text{ضخامت} = \frac{D_L}{n} = \frac{3 \times 10^{-9}}{5 \times 10^{-6}} = 6 \times 10^{-4} \text{ m}$$

شیب دما برابر است با

$$\text{شیب دما} = T_L' = \frac{653.2 - 620.4}{6 \times 10^{-4}} = 54667 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{m}$$

$$= 54,7 \text{ } ^\circ\text{K} / \text{mm}$$

لغت نامه

affinity	میل ترکیبی
allowance	رواداری
blow	مک یا حفره گاز
buckle	شکم دادن
cellular	سلولی (رشد حجمی)
chill	مبرد
chilling power	قدرت تبریدی
choke	مانع
collapsibility	قابلیت تمیزکاری، قابلیت ریزش
columnar	ستونی
compaction	تراکم
core	ماهیچه
core box	جعبه ماهیچه
core print	تکیه گاه ماهیچه
dendritic	شاخه ای
deoxidation	اکسیژن زدائی
die	ریژه
die casting	ریخته گری تحت فشار
die forming	ریخته گری عمقی
dressing	پوشش دادن
equiaxed	متساوی المحور
etch	حکاکی
exothermic	گرمازا
flask	درجه
flowability	قابلیت قالب گیری
fluidity	سیالیت
fluxing	سیاله زنی
gating	راهگاه گذاری
gating system	سیستم راهگاهی
grain refining	جوانه زائی
hot tear	شکستگی (پارگی) گرم
inclusion	آخال
indigeneous	داخلی
ingot	شمش
ingredients	اجزاء

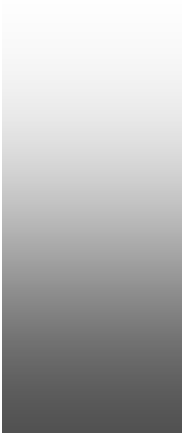
Jolt machine	ماشین تکان دهنده
Lubricant	روان کننده
misrun	پرنشدن قالب (نرسیدن)
mould	قالب
nodular cast iron	چدن نشکن
parting line	سطح جدایش
pattern	مدل
pattern draft	شیب مدل
pattern making	مدل سازی
platelet	صفحه ای
pouring basin	حوضچه بارریز
proximate	تقریبی
refractoriness	گدازپذیری، نسوزیت
runner	کانال اصلی، راهبار
scab	کبیس
shake out	تخلیه کردن
shell	پوسته
side riser	منبع تغذیه جانبی
slingers	پرتاب کن ها
slush casting	ریخته گری مجوف
spiral	مارپیچ، حلزونی
sprue	کانال راهگاه
stamping	پرسکاری
structure	ساختار
superheat	گرمای فوق ذوب
top riser	منبع تغذیه فوقانی
trimming	تراشیدن
ultimate	نهایی
viscosity	گران روی
wrought	چکشی
zone refining	تصفیه موضعی
Solid Solubility or Solvus Line	خط حلالیت جامد
Eutectiferous Structure = Having Eutectic Structure	ساختار یوتکتیکی

- [١] - Fundamentals of Metal Casting, R. A. Flinn, Addison Wesley publ. ١٩٦٣
- [٢] - Principles of Metal Castings, R. W. Heine, C. R. Lopper, P. C. Rosenthal, McGraw-Hill, ١٩٥٧
- [٣] - Engineering Manufacturing Methods, G. S. Schaller, ٢nd Ed. McGraw-Hill, ١٩٥٩
- [٤] - Production Technology, R. B. Gupta, Satya, Prakashan, New Delhi, ١٩٨٢
- [٥] - Metal Casting, A Sand Casting Manual for the Small Foundry, Vol. ١, Stephen Chastain, ٢٠٠٤
- [٦] - Applied Science in the Casting of Metals, K. Strauss, Pergamon Press, ١٩٧٠
- [٧] - Foundry Engineering, H. F. Taylor, M. C. Fleming, J. Wulff, John Wiley and Sons, Inc. ١٩٥٩
- [٨] - Foundry Technology, P. R. Beeley, Butterworth Scientific, ١٩٧٢
- [٩] - Solidification and Casting, G. J. Davies, Applied Science Publishers Ltd, ١٩٧٣
- [١٠] - Metalcaster's reference and guide, ed. By: Ezra L. Kotzin, American Foundrymen's Society, ١٩٧٢

Draft

پوسته: آماده سازی مواد اولیه در صنعت شیشه

طرح مطالعات امکان سنجی تولید سیلیس ریخته گری



فصل سوم

آماده‌سازی مواد اولیه

۳-۱- کلیات فرآیند آماده‌سازی مواد اولیه

هر چند تفاوت‌های بسیاری در محصولات شیشه‌ای تولیدی وجود دارد، با این وجود تمام فرآیندهای تولید شیشه با توزین و اختلاط مواد اولیه به منظور تأمین بچ^۱ یا بار کوره ذوب شروع می‌شود. ترکیبات شیمیایی بسیار متفاوتی را می‌توان در تولید شیشه مورد استفاده قرار داد که هر یک به نحوی بر ویژگی‌های مکانیکی، الکتریکی، شیمیایی، حرارتی و بصری محصولات شیشه‌ای تأثیر می‌گذارد. جدول (۳-۱) ترکیبات شیمیایی برخی از متداول‌ترین محصولات شیشه‌ای مورد استفاده را نشان می‌دهد. هر بچ مواد اولیه تولید شیشه شامل موارد زیر است که ترکیبات هر یک از آنها در جدول (۳-۲) ارائه شده است.

- شکل‌دهنده‌ها^۲
- کمک ذوب‌ها^۳، مخلوطی از عناصر مختلف که باعث پایین آمدن نقطه ذوب ترکیبات دیگر می‌شود.
- مواد تثبیت‌کننده^۴
- مواد رنگی یا رنگدانه‌ها^۱

1- Batch
2- Formers
3- Fluxes
4- Stabilizers

جدول (۱-۳): ترکیبات شیمیایی برخی از متداول ترین محصولات شیشه‌ای بر حسب درصد وزنی

Glass Type	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	PbO	BaO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	SiO ₂	Uses
Soda Lime Glass										
1-general1	1.0				3.6	5.2	0.6	16.0	73.6	Windows, tubing, light bulbs, containers.
2-containers	1.2-2.0				1.2-2.0	9-12	0.6	12-14	72-73.5	
Ancient Roman Soda Lime glass	2.5		0.01		1.0	8.0	1.0	18.0	67.0	Decorative glass objects, containers
Borosilicate										
1-low expansion (Pyrex)	2.2	12.9	-				0.4	3.8	80.5	Low expansion, good thermal shock and chemical industry, for pipelines, light bulbs, photo-chromic glasses,
2-low electrical loss	1.1	28.0	1.2				0.5		70	
Aluminoborosilicate										
1-standard (apparatus)	5.6	9.6		2.2		0.9	0.5	6.4	74.7	Laboratory apparatus and architectural glass, textile fibers
2-low-alkali (E-glass)	14.5	8.5		-		22	-	0.5	54.5	
Aluminosilicate	20.5	4.0			12.0	5.5		1.0	57.0	Applications requiring strength at high temperatures, low expansion
Lead Silicate										
1-electrical	0.6	0.2	21.0		0.2	0.3	6.0	7.6	63.0	Decorative crystal glass, achromatic lenses, optical glass, radiation shielding, electrical uses, thermometer tubing
2- high lead			58.0				7.2	-	35.0	
Fused Silica									99.5	Applications requiring very low expansion and high thermal shock resistance
96% Silica (Vycor)	0.5	3.0							96.5	very high temperature applications such as furnace sight glass

جدول (۳-۲): ترکیبات شکل‌دهنده‌ها، کمک ذوب‌ها، تثبیت‌کننده‌ها و مواد رنگی

Silica (SiO_2) Boron/Boric Acid (B_2O_3) Lead Oxide (PbO) Feldspar	شکل‌دهنده‌ها
Soda Ash (Na_2CO_3) Potash (K_2O) Lithium Carbonate Lithium Alumino Silicate	کمک ذوب‌ها
Limestone (CaCO_3 , CaO) Litharge Alumina (Al_2O_3) Magnesia (MgO) Barium Carbonate (BaO) Strontium Carbonate Zinc Oxide Zirconia	تثبیت‌کننده‌ها
Iron (sulfides or pyrites) Cobalt Oxide Nickel Oxide Selenium	مواد رنگی

۳-۱-۱- شکل‌دهنده‌ها

شکل‌دهنده‌ها ترکیبات اصلی مورد استفاده در تولید مذاب شیشه را تشکیل می‌دهند. ماده اصلی شکل‌دهنده در تمام شیشه‌های تولیدی، سیلیس^۱ است که به شکل ماسه‌ای و با کیفیت بالایی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در انتخاب ماسه سیلیسی مورد استفاده در تولید محصولات شیشه‌ای، باید عوامل زیادی را مد نظر قرار داد. هزینه انتقال ماسه سیلیسی از معادن و کارخانجات تولید شیشه گاهی به چند برابر هزینه خرید تأمین خود ماسه سیلیسی بالغ می‌گردد. به علاوه هزینه خرید ماسه‌های سیلیسی با دانه‌بندی ریزتر بیشتر از انواع با دانه‌بندی درشت‌تر است. از سوی دیگر استفاده از ماسه سیلیسی با دانه‌بندی نامناسب مشکلات زیادی را در فرآیند ذوب و کیفیت محصولات تولیدی ایجاد می‌کند.

به این منظور و برای کاهش هزینه‌های مواد اولیه، کارخانجات تولید شیشه اغلب در محلی نزدیک به معادن سیلیس احداث شده و انتخاب ماسه سیلیسی و دانه‌بندی آن بر اساس موازنه‌ای بین هزینه‌ها و بازدهی ذوب

1- SiO_2

صورت می‌پذیرد. به عنوان مثال تولیدکنندگان محصولات شیشه‌ای مظلوف اغلب از ماسه‌های سیلیسی با دانه‌بندی درشت در حدود مش^۱ ۱۰۰-۳۰ استفاده می‌کنند تا همزمان با حفظ راندمان مورد نظر فرآیند ذوب، هزینه‌های مواد اولیه در پایین‌ترین حد ممکن قرار گیرد. اما در مقابل تولیدکنندگان محصولات پشم شیشه باید از ماسه‌های سیلیسی با دانه‌بندی ریزتر و اغلب کمتر از مش ۲۰۰ استفاده کنند.

سایر شکل دهنده‌های اصلی در تولید شیشه عبارتند از :

- فلدسپات^۲، نوعی سنگ معدنی متبلور با پایه سیلیکات فلزی مانند سیلیکات آلومینیوم، سدیم، پتاسیم و کلسیم
- بوراکس یا اسید بوریک^۳

بوراکس (بوره) یا اسید بوریک (جوهر بوره) و دیگر کانی‌ها مانند Colemanite, Rasorite و Ulexite به منظور تأمین پایه عنصر بور مورد نیاز برای تولید محصولات شیشه‌ای مقاوم در برابر درجه حرارت‌های زیاد مانند پیرکس‌ها یا پشم شیشه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

فلدسپات نیز به منظور تأمین آلومین^۴ یا همان اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) در تعدادی از فرآیندهای تولید محصولات شیشه‌ای به کار برده می‌شود. به عنوان مثال در تولید پشم شیشه، علاوه بر ماسه سیلیسی، فلدسپات، سولفات سدیم، بوراکس خشک^۵، اسید بوریک و چند ماده دیگر نیز به کار برده می‌شود.

۲-۱-۳- کمک ذوب‌ها

هر چند می‌توان از سیلیس به تنهایی در تولید شیشه استفاده کرد، اما دو مشکل اساسی وجود داشته که عبارتند از:

- دمای ذوب سیلیس بسیار بالاست و در دمای $3133^{\circ}F$ شروع به ذوب شدن می‌کند.
- کارکردن با مذاب سیلیس بسیار مشکل است، چون ویسکوزیته یا درجه چسبندگی مذاب آن خیلی بالا است.

به همین منظور از کمک ذوب‌ها برای پایین آوردن دمای نقطه ذوب بچ استفاده می‌شود. رایج‌ترین مواد کمک ذوب مصرفی در صنایع تولید شیشه، کربنات سدیم (Na_2CO_3 : soda ash) و کربنات پتاسیم (K_2O : potash) هستند که کمک ذوب‌های قلیایی محسوب می‌شوند.

طی ۵ تا ۱۰ سال گذشته، استفاده از ترکیبات لیتیوم (کربنات لیتیوم، سیلیکات آلومینو لیتیوم) به عنوان مواد کمک ذوب به شکل فزاینده‌ای رایج شده است. لیتیوم سبک‌ترین، کوچکترین و در عین حال فعال‌ترین فلز قلیایی است. لیتیوم همچنین کوچکترین شعاع یونی و بزرگترین پتانسیل یونی را دارا است.

^۱ - اندازه مش فوق‌الذکر به ابعاد ذرات عبوری از سرنندی اطلاق می‌شود که تعداد سوراخ‌های مربعی شکل آن در هر اینچ معادل مقادیر ذکر شده است.

2- Feldspar

3- Borax/Boric acid

4- Alumina

5- Anhydrous Borax

مصرف سیلیکات آلومینیوم لیتیوم^۱ (اسپادومن) مورد استفاده در صنایع شیشه نیز در طول ۱۵ سال گذشته رشد چشمگیری داشته است.

گزارش‌هایی که از سوی کارخانجات تولیدکننده شیشه در نقاط مختلف جهان منتشر شده است، نشان می‌دهد که استفاده از ماده کمک ذوب اسپادومن منجر به کاهش دمای ذوب شیشه در همان مقدار انرژی مصرفی برای ذوب شده که این امر باعث بهبود ویژگی‌های مرحله شکل‌گیری، کیفیت بهتر محصولات شیشه‌ای و افزایش ظرفیت اسمی کوره‌های ذوب شده است.

۳-۱-۳- مواد تثبیت کننده

مواد تثبیت کننده مورد استفاده تولید شیشه، به منظور پایدارسازی ویژگی‌های شیمیایی محصول شیشه‌ای تولیدی و همچنین جلوگیری از تجزیه و خرد شدن محصول شیشه‌ای نهایی به کار برده می‌شود. رایج‌ترین تثبیت کننده‌های مورد استفاده در صنایع شیشه عبارتند از سنگ آهک، آلومینا، کربنات باریوم و منیزیم.

آهک خام یا سنگ آهک مصرفی در صنایع تولید شیشه، عموماً به شکل کلسیت، کربنات کلسیم ۹۵ درصد و یا سنگ آهک دولومیت (مخلوطی از دولومیت و کلسیت) وجود دارد که منبع سرشاری از کلسیم و منیزیم مورد نیاز در فرآیند تولید شیشه به شمار می‌رود.

۳-۱-۴- افزودنی‌های رنگ‌زا

تعداد زیادی از افزودنی‌ها در فرآیند تولید شیشه را مواد رنگی یا رنگ‌زاها تشکیل می‌دهند. معمول‌ترین مواد رنگی مورد استفاده در صنایع شیشه آهن، کرم، سریوم^۲، کبالت و نیکل می‌باشند. رنگ کهربایی شیشه، حاصل افزودن سولفید آهن یا پیریت^۳ است. اکسیدهای کبالت و نیکل نیز برای زدودن رنگ زرد و سبز رقیقی که هنگام آلوده شدن مذاب شیشه با ذرات آهنی حاصل می‌آید، بکار می‌رود. در صورت اختلاط سلینوم با آهن و کبالت، محصول شیشه‌ای به رنگ برنز تولید می‌شود. ماده افزودنی سدیم اغلب به منظور ارتقاء ویژگی‌های جذب اشعه فرابنفش (UV)، بهبود ویژگی‌های اپتیکی شیشه تولیدی و کاهش آثار مزاحم اشعه X در محصولات شیشه‌ای خاص بکار برده می‌شود. در برخی موارد خاص، مقادیر کمی از پودر زغال آنتراسیت و یا حتی سرباره‌های کوره ذوب بلند، به بچ مواد اولیه افزوده می‌شود تا ویژگی‌های ذوب شیشه از طریق کنترل عمل اکسیداسیون و احیا بهبود یابند. با این وجود بسته به مشخصات شیشه تولیدی، محتوای سولفور و آهن موجود در مذاب، استفاده از این مواد را محدود می‌سازد.

1- Spodumene
2- Cerium
3- Iron Pyrite

۵-۱-۳- شیشه خرده برگشتی

یکی دیگر از مواد اولیه مصرفی در تولید محصولات شیشه‌ای، شیشه خرده‌های برگشتی^۱ از خط تولید و یا شیشه‌های بازیافتی جمع آوری شده از زباله های شهری است. شیشه خرده میتواند ۱۰ تا ۸۰ درصد از ترکیب بچ را شامل شود که این امر بستگی به نوع محصول شیشه‌ای تولیدی دارد.

بسیاری از تولیدکنندگان محصولات شیشه‌ای ترجیح میدهند که از شیشه خرده‌های برگشتی از خط تولید خود استفاده نمایند، چرا که شیشه خرده‌های بازیافتی ممکن است آلوده بوده و شامل موادی باشند که با کیفیت محصول مورد نظر سازگاری ندارند. در این صورت برای تولید محصولات شیشه‌ای خاصی که نیاز به کیفیت بالاتری دارند (مانند شیشه جام) معمولاً امکان استفاده از شیشه خرده‌های بازیافتی به عنوان یکی از مواد اولیه بچ وجود ندارد.

وجود عناصر فلزی و آلی در شیشه خرده‌های بازیافتی می‌تواند باعث ناپایداری شیمیایی در فرآیند تولید شیشه شده و در نتیجه کیفیت محصول نهایی تنزل یابد. ذرات سرامیکی موجود در شیشه خرده‌های بازیافتی نیز هر چند در مذاب شیشه واکنش شیمیایی نمیدهد اما به عنوان ناخالصی در محصول نهایی ته نشین شده و کیفیت آنرا پایین می‌آورد.

ترکیبات موجود در شیشه خرده‌های بازیافتی، میزان انتشار آلاینده‌های فرار را در طول فرآیند افزایش داده و از این طریق هزینه‌های مترتب بر کنترل، حذف یا کاهش آلاینده‌های گازهای احتراقی خروجی از کوره را افزایش می‌دهد.

کارخانجات تولیدکننده شیشه حتی‌الامکان از شیشه خرده در بچ مواد اولیه استفاده میکنند، زیرا در این صورت از یک سو هزینه تامین بچ در مقایسه با مواد اولیه اصلی کاهش یافته و از سوی دیگر انرژی مورد نیاز جهت ذوب بچ کاهش می‌یابد. در واقع واکنش‌های شیمیایی لازم برای انجام فرآیند بر روی مواد اولیه اصلی جهت شکل‌گیری شیشه، در شیشه خرده‌ها از پیش انجام پذیرفته است.

بطور کلی انرژی مورد نیاز برای ذوب شیشه خرده‌های موجود در بچ حدوداً نصف انرژی لازم برای ذوب مواد اولیه اصلی است. به علاوه مذاب شیشه خرده شیشه‌های برگشتی، تشکیل حمامی از مذاب را می‌دهد که به انتقال حرارت به سایر مواد تشکیل دهنده بچ، کمک می‌کند.

۲-۳- اختلاط مناسب مواد اولیه

مواد اولیه به صورت فله یا بسته‌بندی شده توسط کامیون یا خط آهن به کارخانه حمل می‌شوند. در کارخانه، تخلیه مواد اولیه توسط ماشین آلاتی نظیر لودر و یا از طریق سیستم‌های خلا، ارتعاشی و یا ثقلی صورت می‌گیرد. پس از تخلیه، مواد اولیه توسط تسمه نقاله، بالابرهای سطلی و یا نقاله پیچی^۲ به مخازن ذخیره حمل شده و یا از مخازن به سمت فرآیند فرستاده می‌شود.

1- Cullet

2- Screw Conveyor

مواد اولیه ابتدا خرد، آسیاب و سرند شده و در سیلوهای کوچکی که در ارتفاع قرار دارند به صورت جداگانه ذخیره می‌شوند. سپس ترکیبات خشک تشکیل دهنده بچ از طریق سیستم تغذیه ثقلی به صورت جداگانه وارد بخش توزین و اختلاط می‌گردند.

شیشه‌های برگشتی خرد شده نیز به بچ مواد اولیه افزوده شده و مخلوط نهایی به کیف تخلیه یا هاپر فرستاده می‌شود که از آنجا وارد کوره می‌گردد.

تجهیزات مورد استفاده برای آماده‌سازی مواد اولیه معمولاً در مکانی جدای از کوره قرار دارند و به همین خاطر به مجموعه آنها واحد بچ^۱ اطلاق می‌شود (شکل ۱-۳).

اختلاط بهینه ترکیبات خشک تشکیل دهنده بچ اهمیت بسزایی در کیفیت نهایی محصول شیشه‌ای تولیدی دارد. چنانچه مواد تشکیل دهنده بچ بخوبی با یکدیگر مخلوط نشده باشند، مدت زمان لازم برای ذوب ترکیب غیر یکنواخت و غیر هموژن بچ افزایش یافته و بعلاوه مشکلاتی در کیفیت محصولات نهایی پیش می‌آید. به عنوان مثال ممکن است ویسکوزیته مذاب شیشه یکنواخت نشود و هنگامی که لقمه‌های مذاب به سمت ماشین‌های شکل دهنده محصول فرستاده می‌شوند مشکلات اساسی رخ دهد. در نتیجه ضخامت شیشه در قسمت‌های مختلف محصول نهایی، متفاوت خواهد شد که این امر از نظر کیفیت محصول تولیدی غیر قابل قبول خواهد بود.

برای اطمینان یافتن از یکنواختی مذاب تولیدی، دقت خاصی در آماده‌سازی مواد اولیه بچ صورت می‌گیرد تا مواد اولیه بچ، دانه‌بندی مناسبی داشته، به دقت و با نسبت‌های درست وزن شده و در نهایت به خوبی با یکدیگر مخلوط شده باشند.

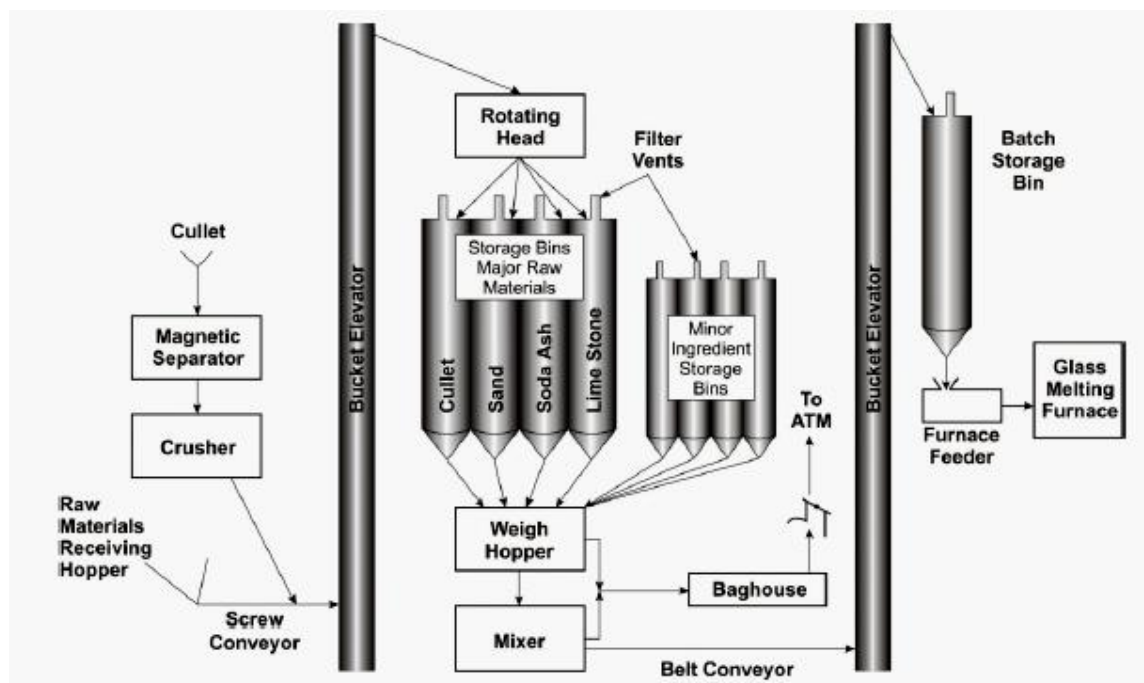
در کارخانجات بزرگ که عملیات آماده‌سازی بچ در آنها به صورت پیوسته صورت می‌گیرد، از تجهیزات اتوماتیک توزین با کنترل کامپیوتری استفاده می‌شود.

توزین مواد اولیه معمولاً به صورت مستقیم و بر روی تسمه نقاله‌ای صورت می‌گیرد که مواد را به سمت میکسر هدایت می‌کند. در واحدهای کوچک آماده‌سازی مواد اولیه، مواد اولیه تشکیل دهنده بچ به صورت جداگانه توزین می‌شود. هاپر نیز برای آنکه ترکیبات را به خوبی مخلوط نماید به مدت چند ساعت به صورت پیوسته حرکت چرخشی خود را ادامه می‌دهد.

روش‌های مختلفی برای اختلاط مواد اولیه بر حسب نوع محصولات شیشه‌ای تولیدی بکار برده می‌شوند. اختلاط مواد اولیه در فرآیند تولید شیشه‌های سلیسی، آهک سوددار، بوروسیلیکات و آلومینو سیلیکات معمولاً بصورت غیر پیوسته و در هر مرحله به مدت نسبتاً کوتاه (۸ - ۳ دقیقه) در میکسر انجام می‌شود. پس از آماده شدن هر بچ، ابتدا مقدار کمی آب به مواد اضافه می‌شود تا عمل اختلاط مواد به صورت مرطوب صورت پذیرد.

افزودن مقدار کمی آب به بچ که حدود ۲ - ۴ درصد وزنی آنرا تشکیل می‌دهد برای جلوگیری از توزیع ناهمگن مواد اولیه تشکیل دهنده بچ هنگام انتقال مخلوط و همچنین کاهش میزان گرد و غبار ناشی از اختلاط خشک مواد اولیه است. با کاهش میزان انتشار و پراکندگی گرد و غبار حاصل از مواد اولیه در هوا، عمر کوره و ریژنراتور افزایش می‌یابد. آخرین گام در آماده‌سازی بچ، شارژ یا انتقال و تغذیه آن به کوره ذوب است. بچ آماده شده یا

مستقیماً به داخل کوره فرستاده می‌شود و یا در برخی موارد از طریق محفظه الحاقی به کوره (Dog – House) به داخل کوره شارژ می‌شود. به محض آنکه بچ وارد کوره می‌شود، به صورت یک لایه بر روی سطح مذاب شیشه موجود، در داخل کوره پخش می‌گردد.



شکل (۱-۳): طرح شماتیک آماده‌سازی مواد اولیه در فرآیند تولید شیشه

۳-۳- مشخصات مواد اولیه مصرفی در صنعت شیشه

شیشه را یک جامد آمرف تعریف می‌کنند. به ماده‌ای آمرف می‌گویند که دارای نظم ساختمانی نباشد. مواد جامد صلب بوده و در اثر نیروهای وارده (در حد معمولی) سیلان پیدا نمی‌کند. عبارت دیگر جامد حالتی از ماده است که در آن، ویسکوزیته بالاتر از 10^{15} پوینز می‌باشد.

اکثر تکنولوژیست‌ها، فرآیند تولید شیشه را به این صورت تعریف می‌کنند: شیشه عبارتست از ذوب مواد اولیه بدون آنکه متبلور و منجمد گردد و عبارت دیگر شیشه را یک مایع فوق سرد^۱ می‌دانند که قبل از فرصت یافتن برای تشکیل کریستال، سرد می‌شود. هنگامیکه یک ماده مذاب سرد می‌شود پس از گذشتن از نقطه ذوب متبلور می‌شود. در اصل هر ماده‌ای را می‌توان به شیشه تبدیل کرد به شرط آنکه آنرا آنقدر سریع سرد نمود که متبلور نشود. دمای نهایی بایستی بقدری پایین باشد که حرکت مولکول‌ها یا اتم‌ها را تا اندازه‌ای آهسته نماید که نتوانند خود را بصورت بلوری که دارای انرژی آزاد کمتری است (و نتیجتاً پایدارتر است) آرایش دهند.

عملاً تعدادی از مواد می‌توانند شیشه تشکیل دهند و در این راستا اکسیدها بیشترین اهمیت را بعنوان عوامل شیشه‌ساز دارا می‌باشند.

سیلیس یا اکسید سیلیسیم^۱ یکی از ترکیباتی است که بعنوان تشکیل دهنده اصلی ساختار شیشه و عبارت دیگر یک شیشه‌ساز خوب بکار می‌رود. اکسید سیلیسیم یکی از فراوان‌ترین کانی‌های موجود در پوسته زمین است که به آن سیلیس گفته و کانی آنرا کوارتز می‌نامند. ترکیبات دیگری نظیر آلومین، اکسید سرب، اکسید تیتان و اکسید روی به تنهایی نمی‌توانند یک شبکه شیشه‌ای تشکیل دهند ولی در شبکه شیشه‌ای اولیه با سیلیس ترکیب می‌شوند که این ترکیبات بعنوان واسطه شناخته شده‌اند.

تعدادی از ترکیبات نظیر آهک با سود، پتاس که در شبکه اولیه شیشه قرار نمی‌گیرند ولی حضورشان موجب بهرم خوردن نظم شبکه و تغییر نسبت اکسیژن به یون‌های شبکه‌ساز می‌گردد، تعدیل‌کننده^۲ نامیده می‌شوند.

سیلیس بواسطه داشتن درجه حرارت ذوب بالا (۱۷۲۳ درجه سانتی‌گراد) به سختی ذوب شده و شکل‌پذیر می‌گردد. بنابر این تولید شیشه سیلیسی در درجات حرارت پایین‌تر بدلیل افزایش ویسکوزیته امکان‌پذیر نمی‌باشد. لهذا بعلت خواص مورد نظر محصول و عوامل اقتصادی، تعدیل‌کننده‌ها در تولید شیشه‌های سیلیسی بکار برده می‌شوند. تعدیل‌کننده‌ها با کاهش ویسکوزیته و نیز تغییر ترکیبات شیمیایی، خواص فیزیکی لازم را در فرآیندهای تصفیه و شکل دادن و همچنین خواص فیزیکی و شیمیایی مورد نظر در محصول شیشه‌ای را تأمین می‌کنند. در ادامه مواد اولیه مصرفی در فرآیند تولید شیشه جام کلی تشریح می‌گردند.

۱-۳-۳- سیلیس

عمده‌ترین ماده اولیه شیشه، سیلیس است که در طبیعت به اشکال گوناگون یافت می‌شود. سیلیس در هر سه نوع سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی بصورت بلورهای کوارتز و یا سایر ترکیبات سیلیس وجود دارد. بهترین و مناسب‌ترین نوع سیلیس برای مصرف در صنایع شیشه نوع کریستالیزه آن یعنی کوارتز می‌باشد. مهمترین نوع ماسه سنگ‌های غنی، کوارتزیت نامیده می‌شود. مرغوبترین سنگ سیلیس ایران در همدان و ملایر بصورت معادن وجود دارد و تجزیه شیمیایی آنها بشرح ذیل می‌باشد:

- اکسید سیلیسیم ۹۹/۵ - ۹۹ درصد
- اکسید آلومینیوم ۰/۵ - ۰/۲ درصد
- اکسید آهن ۰/۰۹ - ۰/۰۲ درصد

از نظر فیزیکی، دانه‌بندی سیلیس در حدود ۰/۱۵ تا ۰/۵ میلی‌متر ایده‌آل می‌باشد و دانه‌های درشت‌تر از آن نبایستی از ۱۰٪ تجاوز نماید. رطوبت سیلیس نیز نباید از ۴٪ تجاوز نماید. ترکیب شیمیایی و دانه‌بندی مناسب سیلیس در تولید شیشه، بازدهی کوره‌های ذوب و مرغوبیت نهایی محصول تأثیر بسزایی دارد. جهت رسیدن به کیفیت بهتر بایستی از سیلیس‌هایی با درصد آهن پایین و شسته شده استفاده شود.

1 - SiO₂

2- Modifiers

۲-۳-۳- کربنات سدیم

دومین ماده‌ای که از نظر وزنی در تولید شیشه سهم عمده‌ای دارد کربنات سدیم می‌باشد که یا بشكل طبیعی از آب‌های ترونا^۱ و ناترون بصورت $(CO_3Na_2, 10H_2O)$ استخراج می‌شود و یا بصورت یک محصول فرآیند شیمیایی به روش سلوی^۲ از ترکیب دادن نمک طعام، سنگ آهک و آمونیاک بدست می‌آید. در کشورهایی که معادن ترونا و ناترون وجود دارد از کربنات سدیم طبیعی و شیمیایی به نسبت مساوی استفاده می‌شود و در کشورهایی که ذخایر معدنی وجود نداشته باشد از کربنات سدیم شیمیایی استفاده می‌گردد. کربنات سدیم نقش کمک ذوب را در تولید شیشه دارد و نقطه ذوب سیلیس را از ۱۷۲۳ درجه سانتیگراد به حدود ۱۴۵۰ درجه سانتیگراد کاهش می‌دهد. کربنات سدیم در دمای ۸۵ درجه سانتیگراد ذوب شده و تجزیه می‌گردد و CO_2 حاصل از واکنش مذکور از کوره خارج و Na_2O حاصله، حالت سیالیت به شیشه می‌دهد.

مشخصات کربنات سدیم مصرفی در صنعت شیشه عبارتست از :

- درجه خلوص CO_3Na_2 بدون آب بیش از ۹۸/۵٪
- کربنات سدیم مصرفی از نوع سنگین
- نمک طعام موجود حداکثر ۰/۷٪
- حداکثر ۱۰٪ دانه‌بندی کمتر از ۰/۱۵ میلی‌متر
- حداکثر رطوبت ۱/۵٪

۳-۳-۳- دولومیت

دولومیت یا کربنات مضاعف کلسیم و منیزیم در صنعت شیشه بعنوان عنصر تأمین‌کننده CaO و MgO کاربرد دارد. این ماده در طبیعت بصورت رسوبی و دگرگونی یافت می‌شود. دولومیتی که در صنعت شیشه مورد استفاده قرار می‌گیرد بایستی حاوی Mg ۲۰٪ باشد که باعث تسریع ذوب شیشه شده و مقاومت شیمیایی شیشه را افزایش می‌دهد. دولومیت بصورت ذخایر معدنی در برخی از استان‌های کشور وجود دارد. مشخصات دولومیت مصرفی در صنایع شیشه جام عبارتست از :

مشخصات شیمیایی

اکسید منیزیم	۲۰-۲۱٪
اکسید کلسیم	۳۰-۳۲٪
اکسید سیلیسیم	۱٪
اکسید آهن	۰/۰۷٪
مواد فرار	۴۵-۴۶٪

و حداکثر ۰/۵ درصد آن نامحلول در اسید کلریدریک باشد.

1- Trona ($CO_3Na_2, CO_3HNa, 2H_2O$)

2 - Solvey Process

مشخصات فیزیکی

حداکثر رطوبت آن از ۱/۵٪ تجاوز ننماید.

از نظر دانه‌بندی بیش از ۲۰ درصد زیر ۰/۰۷ میلی‌متر نباشد و دانه‌های بزرگتر از ۲ میلی‌متر نیز وجود نداشته باشد.

۴-۳-۳- آهک

بمنظور تثبیت میزان CaO در شیشه علاوه بر اکسید کلسیم همراه با دولومیت، مقداری کربنات کلسیم (سنگ آهک) نیز استفاده می‌شود. کربنات کلسیم خالص دارای CaO ۵۶٪ است. آهک در اثر حرارت تجزیه شده و تبدیل به CO₂ و CaO می‌گردد. نقطه ذوب CaO در حدود ۲۵۷۲ درجه سانتی‌گراد بوده و بنابراین CaO در مذاب باقیمانده و باعث دوام آن می‌گردد.

آهک مصرفی در شیشه بایستی مشخصات ذیل را داشته باشد :

- درصد CaO در حدود $(55 \pm 0.7)\%$
- درصد MgO در حدود ۰/۳٪
- درصد Fe₂O₃ حداکثر حدود ۰/۶۰٪
- حداکثر یک درصد نامحلول در اسید کلریدریک
- از نظر دانه‌بندی دانه‌های درشت‌تر از ۴ میلی‌متر حداکثر ۰/۵ درصد و دانه‌های زیر ۰/۶۰ میلی‌متر حداکثر ۱۰٪.

۵-۳-۳- فلدسپات

فلدسپات تأمین‌کننده آلومین در شیشه‌ها می‌باشد. آلومین در شیشه‌های سودا لایم سیلیکات و بسیاری از شیشه‌های بورو سیلیکات بعنوان ترکیب‌کننده فرعی و در شیشه‌های آلومینوسیلیکات، بعنوان ترکیب‌کننده اصلی بکار برده می‌شود. وجود آلومین در شیشه‌ها باعث کاهش نقط ذوب شده و مقاومت، استحکام و دوام شیمیایی شیشه را افزایش می‌دهد. در اغلب کارخانجات تولید شیشه، از سرباره کوره‌های بلند ذوب آهن که تحت شرایط بخصوصی تهیه شده است، بعنوان تأمین‌کننده آلومین استفاده می‌کنند. سرباره‌های فوق حاوی آهک، اکسید منگنز، سیلیس و آلومین می‌باشد و در تولید شیشه‌های سودا لایم سیلیکات قابل استفاده هستند. فلدسپات در درجه حرارت بالا تجزیه شده و اکسید سیلیسیم، آلومین و اکسیدهای قلیایی تولید می‌کند.

فلدسپات مصرفی در صنایع شیشه بایستی حداقل شرایط زیر را داشته باشد:

- آلومین (Al₂O₃) ۲۰٪ - ۱۸٪
- Fe₂O₃ حداکثر ۰/۲۰٪
- (K₂O + Na₂O) حداکثر ۱۱±۰/۲۰٪
- دانه‌های بزرگتر از ۱ میلی‌متر داشته باشد.
- بیش از ۱۰٪ زیر ۰/۱۴ میلی‌متر نداشته باشد.

۶-۳-۳- سولفات سدیم

سولفات سدیم نیز مانند کربنات سدیم منبع تأمین Na_2O در تولید شیشه‌های سودا لایم سیلیکات می‌باشد ولی این خاصیت در برابر نقش سولفات سدیم بعنوان یک ماده تصفیه مذاب شیشه ناچیز است. وجود سولفات سدیم در ترکیب شیشه مانع از تشکیل سرباره در سطح شیشه مذاب در مرحله تصفیه آن می‌شود. از آنجائی که سولفات سدیم سریعاً ذوب شده و بدلیل داشتن دانسیته کمتر در سطح مذاب شناور می‌گردد، زمینه مساعدی جهت ترکیب سیلیس شناور در سطح با Na_2O حاصل از سولفات سدیم بوجود می‌آید. مشخصات سولفات سدیم قابل مصرف در صنایع شیشه به شرح زیر است:

- SO_4Na_2 بیش از ۹۷٪ باشد.
- NaCl آن کمتر از ۰/۵٪ باشد.
- Fe_2O_3 کمتر از ۰/۰۱٪ باشد.
- سولفات بصورت پودر باشد (کریستالیزه نباشد).

۷-۳-۳- سایر مواد اولیه

هر ماده‌ای که به ترکیب شیشه اضافه می‌شود، یا از خواص نامطلوب و ناخالصی‌های موجود در مواد اولیه جلوگیری می‌کند و یا ویژگیهای بخصوصی را نظیر بیرنگ کردن یا رنگی کردن و غیره به شیشه اضافه می‌کند. در تولید شیشه جام و مشجر معمولاً از مواد بیرنگ کننده بعلت گرانی این مواد استفاده نمی‌شود، معذک باید گفت مواد شیمیایی که برای رنگبری بکار می‌روند، متفاوت بوده و شامل موارد زیر است:

× سلنیوم

سلنیوم معمولی‌ترین و مشهورترین رنگبريست که برای بیرنگ کردن شیشه بکار می‌رود و می‌تواند در ظرفیت‌های $(2^+, 4^+, 6^+)$ وجود داشته باشد.

× اکسید کبالت

کبالت بصورت اکسید در بیرنگ کردن شیشه بکار می‌رود و خالص آن بعنوان بیرنگ کننده کاربردی ندارد و به مقدار خیلی کم شیشه را آبی تیره می‌کند. رنگ کبالت به هنگام ذوب بسیار پایدار بوده و به اتمسفر احیایی کوره حساسیتی ندارد. اکسید کبالت بصورت سیاه رنگ می‌باشد و بصورت پودر نرم در صنایع شیشه به مصرف می‌رسد. مشخصات اکسید کبالت به شرح ذیل می‌باشد:

- درصد خلوص آن از ۷۰٪ بیشتر باشد.
- درصد Fe_2O_3 موجود در آن از ۰/۲۱٪ تجاوز ننماید.
- درصد مس موجود در آن بایستی کمتر از ۰/۱۵٪ باشد.
- دانه‌بندی زیر ۴۴ میکرون باشد.

× اکسید آرسنیک

این اکسید دارای نقطه ذوب پایین می‌باشد و هر چقدر هم آن را سریع سرد کرد باز به تنهایی فاز شیشه تشکیل می‌دهد، ولی As_2O_5 به شیشه تبدیل نمی‌شود. اکسید آرسنیک در ۱۹۳ درجه سانتیگراد ذوب شده و بصورت پودر سفید قابل دسترسی است. منبع اصلی آرسنیک، ارسنوپیرستیها بوده و اسید آرسنیک عامل تصفیه‌کننده و رنگبر در شیشه‌ها می‌باشد.

× نیتрат پتاسیم

نیترات پتاسیم یکی از موادی است که جهت تأمین K_2O در شیشه بکار می‌رود و عملاً در شیشه‌های کریستال از پتاس بجای Na_2O استفاده می‌شود. جلای شیشه پتاسیک بهتر از شیشه سدیک می‌باشد. نیترات پتاسیم خاصیت اکسیدکنندگی شدیدی دارد که باعث از بین رفتن رنگ سبز آهن دو ظرفیتی می‌گردد.

× بوراکس

بوراکس تأمین‌کننده B_2O_3 در شیشه‌ها می‌باشد. برای تأمین اکسید بور به علاوه بر بوراکس می‌توان از بوراتها نیز استفاده نمود. سنگ معدن بوراکس، کلماتیت می‌باشد. در شیشه‌های معمولی از بوراکس گاهی تا حدود ۰/۶ تا ۱ درصد جهت جلای شیشه استفاده می‌شود.

× سیستم بیرنگ کننده $As_2O_3-Se-CO_2O_3$

برای بیرنگ کردن شیشه بندرت از ترکیبات مختلف به تنهایی استفاده می‌شود و معمولاً این ترکیبات توأم استفاده شده و بعنوان سیستم‌های بیرنگ کننده شناخته می‌شوند. سلنیوم، اکسید کبالت و تراکسید آرسنیک سیستم اجزاء اصلی بیرنگ‌کننده‌ها را تشکیل می‌دهند.

۸-۳-۳- خلوص و یکنواختی مواد اولیه

مواد اولیه بعنوان تشکیل دهنده شیشه و یا تعدیل‌کننده و یا به منظور تأمین خواص دیگری بکار برده می‌شوند. در کیفیت مواد اولیه بایستی ملاحظات مختلفی نظیر هزینه، قابلیت دسترسی، خلوص و یکنواختی ترکیب شیمیایی، دانه‌بندی و خواص فیزیکی مواد اولیه صورت گیرد.

مهمترین ناخالصی‌ها در تولید شیشه عبارتند از وجود اکسیدهای آهن و کروم و اکسید تیتان و زیرکون می‌باشد. بطور کلی در تولید پیوسته و انبوه شیشه، یکنواختی مواد اولیه از نظر شیمیایی و دانه‌بندی ضرورتی اساسی است و در کیفیت محصولات شیشه ای تولیدی تأثیر به سزایی دارد.

یکنواختی دانه‌بندی باعث می‌شود که مواد اولیه بهتر مخلوط شده و در نتیجه مرحله ذوب نیز بهتر صورت گیرد. دانه‌های درشت‌تر ممکن است بدون آنکه ذوب شوند در محلول نهایی بصورت کریستال‌هایی باقی بمانند و اگر در مواد اولیه دانه‌های خیلی ریز وجود داشته باشد با پراکنده شدن در فضای کوره و آجرها، سبب بروز خوردگی در قسمت‌های مختلف کوره خواهند شد.

۴-۳- انرژی مورد نیاز

در فرآیند آماده سازی بچ، انرژی مورد نیاز برای عملکرد بالابرهای سطلی، نقاله های نیوماتیکی، میکسرها و یا مخلوط کن ها انرژی الکتریکی می باشد.

میکسرها یا مخلوط کن های بچ، بیشترین سهم انرژی الکتریکی را در میان فرآیندهای آماده سازی بچ و تغذیه آن به کوره به خود اختصاص می دهند. بطور کلی میزان انرژی الکتریکی مصرفی در بخش آماده سازی بچ، تنها در حدود ۴ درصد از کل انرژی مورد نیاز در واحدهای تولید شیشه را تشکیل می دهد.

مصرف ویژه انرژی در فرآیند آماده سازی بچ، به نوع محصول شیشه ای تولیدی بستگی دارد و معمولاً در حدود $10^6 \times 1/2 - 24 \times 10^6$ Btu در هر تن شیشه است.

مقادیر انرژی الکتریکی مصرفی در فرآیند آماده سازی بچ بر حسب نوع محصول شیشه ای تولیدی در جدول (۳-۳) ارائه شده است. لازم بذکر است که در مراحل خردایش، آسیاب و سرنده مواد اولیه، پیش از انتقال آن به فرآیند تولید نیز انرژی الکتریکی به مصرف می رسد که مصرف آنها در مقدر ارائه شده در جدول مذکور لحاظ نگردیده است.

جدول (۳-۳): انرژی مورد نیاز در فرآیند آماده سازی بچ مواد اولیه

انرژی الکتریکی ^۱ (10^6 Btu/ton)	انرژی الکتریکی (KWh/ton)	حامل انرژی
79	0.27	شیشه جام
155	0.53	شیشه مطروف
223	0.76	پرسی - دمشی
337	1.15	الیاف شیشه ای

۱- بر مبنای ضریب تبدیل 3412 Btu/KWh برای انرژی الکتریکی.

پوست چهار: مقایسه فنی و اقتصادی میزان تولید روش آتشی و روش استفاده از
پیکور در مجموعه معادن سیلیس

مقایسه فنی و اقتصادی میزان تولید روش آتشباری و روش استفاده از پیکور در

مجموعه معادن سیلیس بیارجمند

سید اسماعیل رحیمی^۱، مهدی احمدی^۲، سید تقی نعیمی^۳

۱- کارشناسی ارشد استخراج معدن شرکت مهندسين فن آوری علوم زمین خاتم، info@zaminkhatam.com

۲- کارشناسی ارشد اکتشاف معدن، شرکت سفید سنگ بیارجمند

۳- عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی پزشکی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده:

مجموعه معادن سیلیس و فلدسپات بیارجمند واقع در ۸۵ کیلومتری جنوب شهرستان شاهرود و ۲۵ کیلومتری جنوب غربی شهر بیارجمند شامل ۶ محدوده معدنی با ذخیره ای بالغ بر ۱ میلیون تن سیلیس و ۲ میلیون تن فلدسپات از جمله نقاط غنی معدنی کشور است. با توجه به افزایش چشمگیر قیمت سیلیس در کشور و نیاز روزافزون به این ماده معدنی با ارزش در صنعت شیشه سازی و الکترونیک و... تولید بیشتر این ماده معدنی اهمیت فراوانی پیدا کرده است. کانسارهای سیلیس بیارجمند همانند اغلب ذخایر سیلیسی کشور به علت نحوه کانی سازی نفوذی و خاصیت ذاتی خوردگی شدید فلزات و شکنندگی، اهمیت مطالعه و تحقیق بیشتر در مورد روش استخراج این ماده معدنی را طلب می کند. در این مقاله که به سفارش و حمایت شرکت های سنگ سیلیس بیارجمند و معدن کاران چاه جم و ... تهیه شده است، مقایسه ای فنی و اقتصادی بین روش استفاده از مواد منفجره و روش استفاده از چکش بیل مکانیکی و ترکیبی از روش های آتشباری و بولدوزر در این معادن انجام گرفته است. بعد از این مقایسه که بر پایه اطلاعات گذشته استفاده از هر ۳ روش در این معادن صورت گرفته است، مطلوبترین روش استخراج به همراه نحوه برنامه ریزی و بهینه سازی تولید آن روش پیشنهاد شده است. امید است این مقاله راهکار مناسبی برای افزایش تولید این ماده معدنی با ارزش در اختیار متولیان آن قرار دهد.

کلمات کلیدی: سیلیس و فلدسپات، خاصیت خوردگی فلزات و شکنندگی، مقایسه فنی و اقتصادی، سیلیس

بیارجمند

Compare of technique and economic measure of production of blasting method and method of using from pikor in biarjmand silis department mines

Sayed esmaeil rahimi 1, mehdi ahmadi 2

Biarjmand silis and pheldspat department mine is in the 85 km of south shahrood city and 25 km east-south and it is a sample of enrich mines.

According to increase of silis cost in country and necessary to this ore in electronics and glass industry.

The more production for ore is important. biarjmand silis deposit same some silis deposit of country because of the method magma tic mineralization and cohesion properties need to study and investigation for method of extraction .

The paper make for biarjmand silis rock co and chahjam co technical and economic compare between method of using from explosion and method of using from pikor and composite of blasting method and bulldozer have been done. after this comparison ,that use past based information from three methods in this mines. the most admissible method for extraction as well as programming and optimization produce has been suggested. Hopefully this article was been the product increasing way for valuable ore mineral produce.

Key words: silis and phdspat , briskness and cohesion properties, compare of technique and economic, silis of biarjmand

مقدمه:

با توجه به مصرف بالای سیلیس در صنعت بخصوص صنایع شیشه سازی، ریخته‌گری و سرامیک، تقاضا برای سیلیس روز به روز در حال افزایش است. نظر به اینکه ایران جزء کشورهای در حال توسعه می باشد و با توجه به دورنمای رشد مصرف سرانه شیشه کشور، در سالهای آینده حجم پودر سیلیس مورد نیاز صنایع شیشه سازی افزایش پیدا خواهد کرد، لذا نیاز به فراوری سیلیس بیش از پیش احساس می گردد. با توجه به سوددهی بالای سیلیس برای عرضه به صنعت ریخته‌گری، پیش بینی می شود عرضه سیلیس مورد نیاز برای ریخته‌گری روندی افزایشی داشته باشد و در صورت تأمین تقاضای داخلی قیمت آن کاهش یابد [۹]. مجموعه معادن سیلیس و فلدسپات بیارجمند واقع در ۸۵ کیلومتری جنوب شهرستان شاهرود و ۲۵ کیلومتری جنوب غربی شهر بیارجمند شامل ۶ محدوده معدنی با ذخیره ای بالغ بر ۱ میلیون تن سیلیس و ۲ میلیون تن فلدسپات از جمله نقاط غنی سیلیس کشور است. ذخایر سیلیسی این منطقه تماما بصورت آذرین می باشد که در دایک هایی با ضخامتهای تقریباً کوچک به طول و عرض های چندین متر و عمق های بالا دیده می شوند. شکل خاص این ماده معدنی در این نقطه از کشور و در عین حال عیارهای بسیار بالای سیلیس این مناطق، مارا برآن داشت که تحقیقی برای هرچه بهتر نمودن روند استخراجی از این معادن را انجام دهیم. برای استخراج این معادن عملیات آتشفشانی چندین بار صورت گرفت که نتایج آن چندان برای صاحبان سرمایه و معدنکاران مطلوب نبوده است. در این مقاله بعد از بررسی فنی و اقتصادی عملیات استخراجی در مجموعه معادن سیلیس و فلدسپات بیارجمند، روش پیشنهادی خود را برای استخراج این معادن ارائه نمودم که اتفاقاً بسیار مورد پسند معدنکاران این منطقه قرار گرفت و هم اکنون روند استخراجی این معادن با این روش ادامه دارد که در زیر به شرح آن می پردازیم.

۱- زمین شناسی و چینه شناسی منطقه

۱-۱- زمین ریخت شناسی

از دیدگاه زمین ریخت شناسی منطقه دارای وضعیت بسیار ناهمگون است، تنوع ترکیب سنگ شناختی و پایداری نایکسان واحدهای سنگی نسبت به پدیده های فرسایشی و نیز بازتابهای گوناگون در برابر عوامل تکتونیکی موجب شده است که شکل دره ها و شکل آبراهه ها و بلندای واحد ها بسیار ناهمگون باشد، در نتیجه ساختار ریخت شناسی ناهمگونی در ناحیه ایجاد شده است. بلندترین ارتفاعات را بیشتر سنگهای دگرگونه کربناته و نیمه ژرف تشکیل می دهند و واحدهای آواری و آذرآواری با ریخت شناسی کم ارتفاع تر ظاهر می شوند. در بخش های کویری باد سبب جابجایی تپه های ماسه ای می شود. شکل دره ها در واحد های که از سنگ های آواری و آذر آواری تشکیل شده اند، بیشتر بصورت کم ژرفا و پهن است.

۱-۲- چینه شناسی منطقه

از دیدگاه زمین شناسی ساختاری در ایران مرکزی قرار دارد. این ناحیه متأثر از عملکرد گسله ها و ریز گسله ها گوناگون با امتداد عمده ی (شمال غرب- جنوب شرق) است. دگرگونی ضعیف (با درجه پایین) بعنوان آشکارترین پدیده حاکم و به شکل دگرگونی ناحیه ای مجاورتی نمایان شده است و فزون بر این، ماگماتیسم و پدیده های وابسته نیز در بخشهای شرقی معادن فعال بوده اند و تاثیر مهمی در روند تکوین زمین شناسی منطقه داشته اند. توالی چینه ی سنگهای موجود در منطقه از پایین به بالا شامل سنگهای دگرگونه پیش از پرمین، توالی های رسوبی مربوط به پرمین، تریاس و کرتاسه و ماگماتیسم مربوط به ائوسن و سنگهای رسوبی پس از آن است. فزون بر این سنگهای دیگری با منشا آذرین همراه با این واحد ها وجود دارد که از نقطه نظر سن، جوان تر از دگرگونه های یاد شده است.

۲- مباحث اقتصادی در مورد سیلیس

۲-۱- میزان صادرات سیلیس در ایران

میزان صادرات ترکیبات مختلف سیلیس در ایران در دوره (1376-1385)، با نرخ رشد ۲۱۴/۰۷٪، از ۵۸/۸ هزارتن در سال ۱۳۷۶ به ۳۳۶/۶ هزارتن در سال ۱۳۷۸ و ۴۶۹/۷ هزارتن در سال ۱۳۸۰ و ۶۸۲ هزارتن در سال ۱۳۸۵، افزایش پیدا کرده است. بیش از ۹۹ درصد صادرات ایران در سال ۱۳۸۵ مربوط به شن و ماسه و کوارتزی و سیلیسی بوده است. ایران در سال ۱۳۸۵ مقدار ۶۷۶/۸ هزار تن شن و ماسه کوارتزی و سیلیس، ۴۰۷/۷ تن شن و ماسه طبیعی، ۵۸ تن کوارتز و ۴/۸ هزار تن خاکهای سیلیس سنگواره ای صادر کرده است که در مجموع ۶۸۲۰۶۵ تن سیلیس در انواع ذکر شده به خارج از کشور صادر گردیده است. میزان صادرات محصولات سیلیسی ایران بعد از یک دوره کاهش در سال ۸۰ افزایش چشمگیری داشته است. این امر به دلیل افزایش صادرات شن و ماسه سیلیسی و همچنین کواتز بوده است. [۷]، [۸]، [۹]

۲-۲- میزان واردات سیلیس در ایران

میزان واردات ترکیبات مختلف سیلیس در ایران در این دوره (1376-1385) با نرخ رشد ۴/۱۵٪، از ۳۹۱/۱۹ تن در سال ۱۳۷۶ به ۱۲۲۴/۶۲ تن در سال ۱۳۷۸ و ۱۵۶۷/۸۵ تن در سال ۱۳۸۰ و ۱۹۴۵.۲۲ تن در سال ۱۳۸۵ افزایش پیدا کرده است. بیشترین واردات سیلیس مربوط به خاکهای سیلیس سنگواره ای است و بیشترین استفاده آنها در صنایع شیشه و سرامیک می باشد. در سال ۱۳۸۵ میزان واردات داخلی افزایش یافته است که این افزایش ناشی از واردات شن و ماسه طبیعی و کوارتز می باشد [۷]، [۸]، [۹].

۲-۳- میزان تولید سیلیس و روند آن در ایران

جهت پی بردن به جایگاه سیلیس در ایران می توان به شیشه بعنوان پر مصرف ترین صنعت استفاده از سیلیس پرداخت. شاخص مهم در این بخش، میزان تولید سیلیس جهت استفاده در کارخانجات شیشه سازی است که می توان با یک تغییر ساده در فرآیند آرایش دانه بندی، آنرا در واحدهای ریخته گری قابل مصرف نمود. تولید کنندگان سیلیس برای کارخانجات شیشه سازی به علت شناخت خواص ماسه ریخته گری و نیز کسب سود بالاتر با یک سرمایه گذاری کم نسبت به بازار مصرف شیشه سازی، تمایل به تولید ماسه ریخته گری پیدا کرده و اقداماتی را در این زمینه شروع نموده اند به طوری که احتمال می رود در آینده به صورت جدی وارد این بازار گردند. میانگین تولید سیلیس در ایران در این دوره (۱۳۷۶-۱۳۸۵) با متوسط نرخ رشد ۱/۴٪، ۱۵۵۲ هزارتن بوده که از ۱۶۱۶ هزارتن در سال ۱۳۷۶ به ۱۴۸۱ هزارتن در سال ۱۳۷۸ و ۱۶۸۷ هزارتن در سال ۱۳۸۰ و ۲۱۲۵ هزارتن در سال ۱۳۸۵، افزایش پیدا کرده است [۶]، [۱۰].

۲-۴- بررسی قیمت های داخلی سیلیس

میزان قیمت سیلیس در ایران در این دوره (۱۳۷۶-۱۳۸۵) با متوسط نرخ رشد ۲۱/۸۹٪، از ۱۶۱ هزار ریال بر تن در سال ۱۳۷۶ به ۱۸۹ هزار ریال بر تن در سال ۱۳۷۸ و ۲۹۱ هزار ریال بر تن در سال ۱۳۸۰ و ۳۵۳ هزار ریال برتن در سال ۱۳۸۵ افزایش نشان می دهد. هم اکنون با توجه به عیار سیلیس آنرا درجه بندی می نمایند. بطوری که سیلیس درجه ۳ (عیار کمتر از ۹۶ درصد)، قیمت ۱۰۰۰۰ ریال تا ۱۵۰۰۰ ریال در تن و سیلیس درجه ۲ (عیار ۹۶ تا ۹۸)، قیمت ۱۵۰۰۰ ریال تا ۲۰۰۰۰ ریال در تن و سیلیس درجه ۱ (عیار بالای ۹۸)، قیمت ۳۰۰۰۰ ریال تا ۳۵۰۰۰ ریال در تن درجه بندی می شود [۶]، [۷]، [۸]، [۹]، [۱۰].

۲-۵- مصارف عمده سیلیس

به طور کلی موارد مصرف سیلیس SiO_2 عبارت است از: شیشه سازی، چینی سازی، تولید فروسیلیس، سرامیک سازی، تولید آجر ماسه آهکی، ریخته گری، تولید سیلیکات سدیم، تولید دیگر مواد سیلیسی، به عنوان نیمه هادی در صنعت الکترونیک و تولید پشم شیشه [۳]، [۸].

۳- بررسی فنی روشهای مختلف استخراج سیلیس در مجموعه معادن سیلیس بیارجمند

بطور کلی کانسارهای سخت نشده سیلیس به روش روباز بوسیله ماشین آلاتی مانند لودر و بیل مکانیکی، لایروبی، و یا فشار آب استخراج، بارگیری و یا از طرق دیگر به کارخانه فرآوری منتقل می شود. اما کانسارهای سخت به روش روباز استخراج می شود، منتها ابتدا با حفاری و انفجار و بعد مراحل برداشت و بارگیری صورت می گیرند. البته برخی معادن زیر زمینی با روش انفجار و حفاری مرسوم استخراج و بارگیری می شوند. تریپلی به روش زیر زمینی و اتاق و پایه با یک تونل دسترسی در جهت شیب استخراج می شود. بلورهای کوارتز به صورت دستی بعد از برداشت روباره ها بوسیله بلدوزر استخراج می شوند. از آنجایی که کانی سازی سیلیس در مجموعه معادن سیلیس بیارجمند بصورت دایکهای آذرین بوده که در سطح زمین رخنمونهای آن پدیدار گردیده استخراج سیلیس در آنها به روش زیرزمینی منتفی گردیده است. اما روشهای پیشنهادی و پیشروی ما برای استخراج این کانسار شامل روشهای زیر است:

(۱) روش حفاری و انفجار

(۲) روش استفاده از پیکور دستی با کارگر

(۳) روش استفاده از چکش بیل مکانیکی

در تمامی روشهای پیشنهادی در بالا اصل باطله برداری از سطح و اطراف ماده معدنی با بلدوزر بسیار اهمیت دارد. همچنین زمان بررسی اقتصادی این پروژه برای هریک از سه روش موجود ۱ ماه تمام در نظر گرفته شد و میزان تولید هر روش در یک ماه کاری معدن بررسی گردید.

۳-۱- حفاری و انفجار

در مجموعه معادن سیلیس بیارجمند در مجموع، ۴ بار عملیات آتشیاری بصورت آزمایشی صورت گرفت و نتایج این عملیات ثبت گردید. در تمامی این مراحل آتشیاری از ۳ نوع چاشنی با شماره های ۱ و ۲ و ۳ و با تاخیرهای متفاوت در ردیفهای مختلف استفاده گردید. عملیات انفجار با استفاده از آنفو و دینامیت بصورت سنتی صورت گرفت. در این مراحل انفجار، فاصله ردیفی چالها ۱.۵ تا ۱.۸ متر و بردن آنها ۱.۲ تا ۱.۵ متر و عمق چالها بسته به محل حفاری از ۳ تا ۶ متر متفاوت بود. با توجه به جنس سیلیس و طول چالهای انفجاری مقدار سرچالی از ۱ تا ۱.۸ متر متفاوت بوده است. قطر چالها ۷۲ میلی متر و در هر ۴ مرحله آتشیاری از ۲۵۰ تا ۳۰۰ چال انفجاری حفروانفجار گردیده است. از جمله نکات مورد اهمیت در مورد استخراج در این مناطق این است که عملیات انفجاری ما باید حتما دارای چندین نتیجه مطلوب باهم باشد. مثلا خردیش مطلوب و نداشتن over size و under size برای ما بسیار اهمیت دارد. کم بودن پرتاب سنگ و میزان جابجایی و توده خردایش شده با توجه به کم بودن و اهمیت ماده معدنی در هر دایک بسیار حائز اهمیت است. نداشتن گرد و خاک زیاد که از نتایج انفجار هوا و سروصدا و... بسیار برای ما اهمیت دارد، بعلا مسائل تنفسی که سیلیس تولید می کند. با توجه به آمیختگی نسبی سیلیس با سنگهای اطراف لزوم انفجار کنترل شده مهم به نظر می رسد تا جدایش مطلوبی بین سیلیس با سنگ میزبان و کاهش اختلاط آن صورت گیرد. بعلا کوچکی فضای انفجار وضعیت محل انفجاری بعد از انفجار، برای برداشت مابقی سیلیس بسیار حائز اهمیت است. در مقابل محدودیتهای محیط زیستی و لرزش و... بعلا دوری به مناطق مسکونی و کشاورزی وجود ندارد. خشکی منطقه و آب و هوای خشن و گرم آن هیچ مشکلی از نظر انتخاب فصل انفجار و آبدار بودن چالها و واژگونی هوا و ... را بوجود نمی آورد. [۱]، [۱۳]، [۱۱]

بعد از انجام عملیات انفجاری نتایج حاصل فنی ثبت و مورد مطالعه قرار گرفت و در نهایت مزایا و معایب آن درج گردید. مزایا:

(۱) تولید به نسبت بالا و بازگشت سریع سرمایه

(۲) عدم نیاز به محلی برای دپوی ماده معدنی (بعد از انفجار بارگیری پیوسته از جبهه کار صورت می گیرد).

۳) نیاز کمتری به کارکرد بولدوزر به علت آنی بودن تولید و عدم نیاز به پاکسازی محل کار در هنگام استخراج در مقایسه با روشهای دیگر
معایب:

۱) بطور کلی نتایج فنی آتشیاری حتی با صرف دقت و زمانهای بالا، با توجه به جنس و چینه شناسی منطقه مطلوب نبود و چالهای دزد کرده نیز وجود داشت.

۲) پرتاب سیلیس در فاصله ۲۵ متری نیز ثبت گردید که با توجه به کمی ذخیره و حساسیت کار نامطلوب بود.

۳) متاسفانه گرد سیلیس و خاک بسیار بالا حاصل از انفجار اجتناب ناپذیر بود که معدن را برای یک روز کاری تعطیل نمود و حتی بعد از آن نیز بعثت ایجاد گرد سیلیس نهشته شده روی زمین حاصل از انفجار راندمان کاری کارگری و مهندسی بطور چشمگیری کاهش یافت. ایجاد حساسیت های تنفسی در چند مورد دیده می شد.

۴) اختلاط ماده معدنی با سنگ همراه که برای ما مهمترین فاکتور بود بالا بود. این فاکتور به تنهایی قادر بود عملیات آتشیاری را در این معادن زیر سوال ببرد.

۵) اندازه سنگ نیز با توجه به خواص خردایشی سیلیس مطلوب نبود. ذرات ریز و درشت حاصل از انفجار به وفور در منطقه دیده می شد.

۶) حتی در مورد عملیات حفاری نیز مشکلاتی وجود داشت. بعثت خاصیت سختی و ساینده گی سیلیس گیر کردن مته حفاری و رادها در چال بسیار وجود داشت. همچنین پر شدن و بسته شدن چالها نیز که از مسائل عمومی حفاری است در چند مورد دیده شد که نیاز به اسیدهای قوی و تلاش فراوان حفارها را برای باز کردن مجدد چالها می طلبید.

۷) جاده سازی و استقرار دریل واگن و سرصدا و کارگری حفاری و انفجار از جمله مسائل و مشکلات عمده بود [12]، [13].

۳-۲- استفاده از پیکور دستی با کارگر

انجام این عملیات به مدت ۱ ماه در مجموعه معادن سیلیس بیارجمند مورد امتحان قرار گرفت. از جمله مزایای آن تولید انتخابی و کاهش اختلاط در حد بسیار پایین بود. این مسئله معدنکاران را به سمت این روش بیشتر سوق داد. نیاز به کمترین جاده سازی عدم نیاز به نظارت دقیق و مهندسی از جمله دیگر مزایا بود. از نظر فنی این روش بسیار مورد تایید بود و شرکت های مصرف کننده سیلیس مان بسیار راضی بودند. بعثت تمرکز کاری کارگر بر محیط، شکل استخراج به بهترین نحو صورت می گرفت و سینه کارهای پدید آمده آمادگی کافی برای مراحل بعدی استخراجی را داشتند. تنها مشکل فنی این روش خطرات احتمالی روش برای کارگران بود که آنهم در این مدت هرگز موردی پیش نیامد و با توصیه های ایمنی به کارگران و نظارت بر کار آنها این مشکل حاد به نظر نمی رسید.

۳-۳- روش استفاده از چکش بیل مکانیکی

روش دیگری که برای استخراج این معادن پیشنهاد گردید استفاده از چکش بیل مکانیکی بود. استفاده از این وسیله نیز دارای مزایا و معایب فنی بود.

از جمله مزایای آن:

۱) امکان استخراج انتخابی در حد بالا و اختلاط سیلیس با باطله در حد پایین

۲) تولید بالای ماده معدنی و بازگشت به نسبت سریع سرمایه

۳) آلودگی کم محیط زیست و کارگری کم این وسیله

۴) کاهش استفاده از بولدوزر زیرا این وسیله توانایی دپو زدن و بارگیری و تمیز نمودن اطراف خود را در حد پایین دارد.

۵) عدم استفاده از وسیله دیگری همانند لودر برای بارگیری و استفاده از خود باکت بیل

۶) سادگی و سرعت بالای تهیه امکانات شروع کار به این روش

معایب:

- (۱) سر و صدای بالای وسیله
(۲) خورندگی بسیار بالای چکش بیل

۴- بررسی اقتصادی برداشت سیلیس در مجموعه معادن سیلیس بیارجمند

۴-۱- بررسی روش آتشیاری و هزینه های آن

در جدول شماره (۱) مجموع هزینه های حفاری و آتشیاری در مجموعه معادن سیلیس بیارجمند محاسبه گردیده است. در مجموع ۱۰ روز کاری و در پایان آن در مجموع ۴۴۸۹ متر حفاری صورت گرفت و ۱۰۰۰ عدد چال نیز حفر گردید. بعد از انجام عملیات آتشیاری میزان تولید در ۴ بار آتشیاری معدن بدون در نظر گرفتن عیار مطلوب کارخانه های مصرف کننده (آتشیاری باعث اختلاط و کاهش خلوص سیلیس می گردد) حدوداً ۱۰۵۰۰ تن سیلیس تولید گردید. از این مقدار سیلیس تولید گردیده حدوداً ۶۱۰۰ تن به عنوان سیلیس مطلوب خریداران قابل فروش بود. البته لازم به توضیح است که کل این فرآیند با توجه به مشکلات آتشیاری تا اتمام بارگیری تقریباً یک ماه تمام بطول انجامید.

جدول ۱: محاسبه ی هزینه های استفاده از روش آتشیاری

عملیات	موارد	واحد (متر/عدد)/ (تن)	هزینه واحد (ریال)	هزینه مجموع در کل ۱۰۰۰ متر حفاری یا ۱۰ روز کاری (ریال)
حفاری	سرمته الماسه)	روزانه ۱ عدد	۳۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰۰
	دستگاه حفاری	۴۴۸۹ متر در کل	به ازای هر متر ۲۵۰۰۰ ریال	۱۱۲۲۵۰۰۰
	حفار	۲ نفر	روزانه ۲۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰۰
آتشیاری	چاشنی با سیم ۵ متری	۱۰۰۰ عدد	هر عدد ۱۶۴۰۰ ریال	۱۶۴۰۰۰۰۰
	دینامیت	۴۴۸۹ متر	متری ۳۰۰۰۰ ریال	۱۳۴۶۷۰۰۰۰
	آنفو			
	دستمزد	۱۰۰۰ چال	(هر ۲۰۰ عدد چال) ریال ۷۵۰۰۰۰۰	۳۷۵۰۰۰۰۰۰
	حمل	۱۰۰ کیلومتر	هر ۱۰۰۰ کیلومتر ریال ۱۰۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰۰
تسطیح بعد از انفجار	بولدوزر	۴۰ ساعت	هر ساعت ۳۵۰۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰۰
سایر	کارگر، اسکان وسوخت و حمل ونقل و			۵۰۰۰۰۰۰
مجموع هزینه های عملیات آتشیاری و انفجار				۳۶۵۷۹۵۰۰۰

با در نظر گرفتن هزینه های تولیدی، با استفاده از روش آتشیاری، قیمت تولید هر تن سیلیس تقریباً ۵۹۹۶۶ ریال برآورد گردید [۲]، [۳].

۴-۲- بررسی روش استفاده از پیکور دستی و هزینه های آن

همانطور که در بررسی های فنی مورد بحث قرار گرفت این روش از نظر فنی بسیار مطلوب آمد. اما بعد از گذشت چندین هفته از استفاده از این روش شرکت های تولید سیلیس منطقه پی به کاهش شدید میزان تولید خود بردند. راندمان کارگری نیز به علت بروز مشکلات تنفسی برای آنها بسیار کاهش یافت. در مجموع ۱ ماه استفاده از این روش و ۱۸ نفر کارگر در مجموع ۱۹۰۰ تن سیلیس تولید گردید. این میزان تولید به هیچ وجه جوابگوی هزینه ها و همچنین مسائل و مشکلات محیط کارگری و نیز هزینه فرصت از دست رفته تولید ماده معدنی را نبود. همچنین ادامه این روند مشکلات فراوانی را برای شرکت ها در برداشت شکایات کارگران از شرکتهای مربوطه در مورد حق بیمه، مسائل آلودگی محیطی معدن و مریضی مداوم کارگران بخاطر استنشاق گرد سیلیس و ... هر روز بیشتر و بیشتر می شد. بنابراین حتی در صورت سودآوری اقتصادی بیشتر این روش بازهم تولید کنندگان تمایلی به ادامه ی آن نداشتند.

۴-۳- بررسی اقتصادی روش استفاده از چکش بیل مکانیکی

در این قسمت استفاده از چکش بیل مکانیکی در این مجموعه معادن را مورد بررسی اقتصادی قرار می دهیم. بعلا توانایی بیل مکانیکی در برداشت بار خرد شده و همچنین بارگیری راحت آن توسط خود بیل، بعد از خردایش سیلیس توسط بیل مکانیکی دیگر نیازی به استفاده از بولدوزر به نظر نمی رسد. که باعث کاهش هزینه ها برای ما می گردد. همچنین بعلا توپوگرافی مطلوب منطقه و کم ارتفاع بودن دایک های سیلیسی استفاده از بیل چرخ لاستیکی امکان پذیر می باشد که باعث از بین رفتن هزینه های حمل و نقل دستگاه می گردد. بررسی هزینه های استفاده از بیل مکانیکی در جدول شماره (۲) دیده می شود.

جدول ۲: محاسبه ی هزینه های استفاده از چکش بیل مکانیکی

وسيله	موارد	واحد(متر/عدد/تن)	هزینه واحد(ریال)	هزینه کل(ریال)
چکش بیل مکانیکی	سایش پیکور	به ازای هر ۲ ماه ۱ عدد	۶۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰
	بیل مکانیکی	۳۰۰ ساعت در ۱ ماه فعالیت معدن	هر ساعت ۳۸۰۰۰	۱۱۴۰۰۰۰
سایر	اسکان و سوخت و حمل و نقل و ...			۳۰۰۰۰۰
مجموع هزینه های عملیات استخراجی با استفاده از چکش بیل مکانیکی				۱۲۰۰۰۰۰

اما در مدت ۱ ماه استفاده از چکش بیل مکانیکی در این مجموعه معادن بطور کلی ۵۷۰۰ تن سیلیس تولید گردید و با توجه به هزینه های تولیدی آن قیمت تمام شده هر تن سیلیس تقریباً ۲۱۰۵۰ ریال بدست آمد. [۴]، [۵]

۵- نتایج

- استفاده از روش آتشباری از لحاظ فنی دارای معایب و مشکلات فراوانی در سیلیس است.
- بعد از بررسی های اقتصادی در مدت یک ماه استفاده از هر ۳ روش، روش استفاده از چکش بیل مکانیکی دارای هزینه ی تولید پایین تری خواهد بود و از نظر اقتصادی دارای سود بیشتری می باشد.
- از لحاظ فنی روش استفاده از پیکور دستی در اولویت است و بعد از آن روش چکش بیل مکانیکی دارای کارایی بالاتری می باشد.
- روش استخراج با پیکور دستی حتی با وجود برتری های بالای فنی که بر سایر روش ها دارد اما به خاطر ایجاد مشکلات و مسائل خاص در معدن پیشنهاد نمی گردد.

- از لحاظ کیفیت سیلیس تولیدی به ترتیب روش پیکور دستی، چکش بیل مکانیکی و سپس آتشباری قرار دارد. روش آتشباری به علت اختلاط بسیار بالای آن، باعث کاهش کیفی سیلیس تولیدی و حتی گاهی اوقات قابل عرضه نبودن آن به بازار مصرف می گردد. [11]

۶- پیشنهادات

بطور کلی پس از بررسی های فنی و اقتصادی فراوان و بررسی کلیه فاکتورهای دیگر که در این مقاله مجال صحبت در مورد آن نگردید (امکان تهیه ماشین آلات، ...)، روش استفاده از چکش بیل مکانیکی برای استخراج سیلیس در مجموعه معادن سیلیس بیارجمند و تمامی سیلیس های هم تیپ در کشور پیشنهاد می گردد. [11] [12]،

۷- تقدیر و قدردانی

این مقاله چکیده ای از یک پروژه فنی و اقتصادی در مجموعه معادن سیلیس بیارجمند است که به سفارش ۶ شرکت مشغول به کار در منطقه انجام گرفته است. بعد از انجام این پروژه و ارائه نتایج آن به شرکت ها، تمامی معدنکاران منطقه استفاده از روش چکش بیل مکانیکی را پیش گرفتند. در تکمیل این پروژه از آقایان مهندس جلال مدیرعامل شرکت توسعه سیلیس بیارجمند، مهندس دامغانی مدیرعامل شرکت سیلیس چاه جم، مهندس امامی مسئول بخش توسعه معادن سیلیس چاه عروس و بقیه دوستان تشکر و قدردانی فراوانی می نمایم .

۸- منابع

- [۳] اورعی، سید کاظم؛ ۱۳۷۷، **اقتصاد معدن**، نشر علوم دانشگاهی، تهران، ۱.
- [۴] استوار، رحمت الله؛ (۱۳۷۳)؛ **آتشکاری در معادن**؛ جهاد دانشگاهی صنعتی امیرکبیر؛ تهران؛ جلد دوم.
- [۳] اورعی، سید کاظم؛ خداوردی، احمد؛ ۱۳۸۱، **اقتصاد منابع معدنی**، انتشارات دانشگاه فردوسی، مشهد، ۱.
- [۴] اورعی، سید کاظم؛ اسدی، احمد؛ ۱۳۸۲، **اقتصاد مهندسی**، نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۱.
- [۵] مدرس، احمد؛ عبدالله زاده، فرهاد؛ ۱۳۷۸، **مدیریت مالی**، نشر چاپ و نشر بازرگانی، تهران، جلد اول، ویرایش اول.
- [۶] لطفعلی پور، محمدرضا؛ ۱۳۶۹، **تخمین توابع تولید بخش معدن اقتصاد ایران**، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- [۷] وزارت معادن و فلزات، ۱۳۶۷، **بررسی موقعیت تولید، صادرات و واردات مواد معدنی در ۸۱ کشور جهان**.
- [۸] سازمان برنامه و بودجه، **بررسی چگونگی عرضه و تقاضا برای مواد کانی عمده ۱۳۶۵ و به بعد**.
- [۹] رزاقی، ابراهیم؛ ۱۳۷۱، **اقتصاد ایران**، نشر نی، تهران،

[۱۰] بانک مرکزی، گزارش اقتصادی و ترازنامه های سالهای مختلف

- [11] Paul R. Amyotte, Michael J. Pegga, Faisal I. Khan, Masaharu Nifukuc, Tan Yingxin; 2007; "Moderation of dust explosions " Journal of Loss Prevention in the Process Industries; science direct; 13.
- [12] Amyotte, P. R. (2006). *Solid inertants and their use in dust explosion prevention and mitigation*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 19, 161-173.
- [13] Amyotte, P. R., Khan, F. I., Basu, A., Dastidar, A. G., Dumeah, R. K., & Erving, W. L. (2006). *Explosibility parameters for mixtures of pulverized fuel and ash*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 19, 142-148.
- [14] ADITCL; 1997; *Drilling: the manual of methods, applications, and management*. Australian Drilling Industry Training Committee Lid (ADITCL). New York: Lewis Publishers.

پوست پنچ: استاندارد ملی ماسه زیر کن تغلیظ شده / تعیین مقدار سیلیس
باروشهای وزنی و رنگ سنجی



جمهوری اسلامی ایران

Islamic Republic of Iran

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

Institute of Standards and Industrial Research of Iran

ISIRI

5507-10

1st/Edition

JAN 2002



استاندارد ملی ایران

۵۵۷۰-۱۰

چاپ اول

دی ماه ۱۳۸۰

ماسه زیرکن تغلیظ شده - روشهای آزمون - قسمت ۱۰ - تعیین
مقدار سیلیس با استفاده از دوروش وزنی و رنگ سنجی

*Methods for the analysis of Zircon sand
concentrates*

*Part 10-Determination of silicon content (combined
gravimetric and spectrophotometric method)*

نشانی مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران: کرج - شهر صنعتی، صندوق

پستی ۳۱۵۸۵-۱۶۳

دفتر مرکزی: تهران - بالاتراز میدان ولی عصر، کوچه شهید شهامتی، پلاک ۱۴

صندوق پستی ۱۴۱۵۵-۶۱۳۹

تلفن مؤسسه در کرج: ۰۲۶۱-۲۸۰۶۰۳۱-۸

تلفن مؤسسه در تهران: ۸۹۰۹۳۰۸-۹

دورنگار: کرج ۰۲۶۱-۲۸۰۸۱۱۴ تهران ۰۲۱-۸۸۰۲۲۷۶

بخش فروش - تلفن: ۰۲۶۱-۲۸۰۷۰۴۵ دورنگار: ۰۲۶۱-۲۸۰۸۷۰۴۵

پیام نگار: ISIRI.INFOC@NEDA.NET

بها: ۱۰۰۰ ریال



Headquarter: Institute of Standards and Industrial Research of IRAN

P.O.Box 31585-163 Karaj - IRAN

Central office: NO.14, Shahid Shahamati St., Valiasr Ave. Tehran

P.O.Box: 14155-6139



Tel.(Karaj): 0098 261 2806031-8



Tel.(Tehran): 0098 21 8909308-9



Fax(Karaj): 0098 261 2808114



Fax(Tehran): 0098 21 8802276



Email: ISIRI.INFOC@NEDA.NET



Price: 1000 RIs

آشنایی با مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب قانون، تنها مرجع رسمی کشور است که عهده‌دار وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) می‌باشد.

تدوین استاندارد در رشته‌های مختلف توسط کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان مؤسسه، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط با موضوع صورت می‌گیرد. سعی بر این است که استانداردهای ملی، در جهت مطلوبیت‌ها و مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فنی و فن‌آوری حاصل از مشارکت آگاهانه و متصفانه صاحبان حق و نفع شامل: تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، بازرگانان، مراکز علمی و تخصصی و نهادها و سازمان‌های دولتی باشد. پیش‌نویس استانداردهای ملی جهت نظرخواهی برای مراجع ذینفع و اعضای کمیسیون‌های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرات و پیشنهادها در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که توسط مؤسسات و سازمان‌های علاقمند و ذیصلاح و با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌شود نیز پس از طرح و بررسی در کمیته ملی مربوط و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی چاپ و منتشر می‌گردد. بدین ترتیب استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مفاد مندرج در استاندارد ملی شماره ۵۱ تدوین و در کمیته ملی مربوط که توسط مؤسسه تشکیل می‌گردد به تصویب رسیده باشد.

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد می‌باشد که در تدوین استانداردهای ملی ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی استفاده می‌نماید.

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون به منظور حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردها را با تصویب شورای عالی استاندارد اجباری نماید. مؤسسه می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید.

همچنین به منظور اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و گواهی‌کنندگان سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و کالیبره‌کنندگان وسایل سنجش، مؤسسه استاندارد اینگونه سازمان‌ها و مؤسسات را براساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران مورد ارزیابی قرار داده و در صورت احراز شرایط لازم، گواهی‌نامه تأیید صلاحیت به آنها اعطا نموده و بر عملکرد آنها نظارت می‌نماید. ترویج سیستم بین‌المللی یکاها، کالیبراسیون وسایل سنجش، تعیین عبارات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی از دیگر وظایف این مؤسسه می‌باشد.

کمیسیون استاندارد «ماسه زیرکن تغلیظ شده - روشهای آزمون
قسمت ۱۰- تعیین مقدار سیلیس با استفاده از دو روش وزنی و رنگ سنجی»

رئیس

نجات، هاشم
(دکترای شیمی تجزیه)

سمت یانماینده

دانشگاه تهران

اعضا

بیک زاده، ناصر
(لیسانس زمین شناسی)

شرکت ملی فولاد ایران

حبیبیان، محمود
(دکترای مهندس شیمی)

دانشگاه علم و صنعت

فیاضی، فرج اله
(دکترای زمین شناسی)

دانشگاه تربیت معلم

کاشانی، حمید
(دکترای مهندسی مواد)

دانشگاه تهران

دبیر

محمد ابراهیمی جهرمی، مریم
(لیسانس شیمی)

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

فهرست مندرجات صفحه

پیشگفتار.....	ب
۱ هدف.....	۱
۲ دامنه کاربرد.....	۲
۳ مراجع الزامی.....	۳
۴ اصول کار.....	۴
۵ مواد لازم.....	۵
۶ وسایل لازم.....	۶
۷ نمونه برداری.....	۷
۸ روش آزمون.....	۸
۹ محاسبه.....	۹
۱۰ بیان نتیجه.....	۱۰
۱۱ گزارش آزمون.....	۱۰

پیشگفتار

استاندارد «ماسه زیرکن تغلیظ شده، روشهای آزمون - قسمت ۱۰ - تعیین مقدار سیلیس با استفاده از دو روش وزنی و رنگ‌سنجی» که به وسیله کمیسیون فنی مربوطه تهیه و تدوین شده و در شصتمین جلسه کمیته ملی استاندارد مهندسی ساختمان و مصالح و فرآورده‌های ساختمانی مورخ ۷۸/۱۰/۲۶ مورد تأیید قرار گرفته است، اینک با استناد بند ۱ ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران مصوب بهمن ماه سال ۱۳۷۱ بعنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با پیشرفتهای ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدیدنظر خواهد شد و هرگونه پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استانداردها ارائه شود در هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت.

بنابراین برای مراجعه به استانداردهای ایران باید همواره از آخرین چاپ و تجدیدنظر آنها استفاده کرد.

در تهیه و تدوین این استاندارد سعی شده است که ضمن توجه به شرایط موجود و نیازهای جامعه، در حد امکان بین این استاندارد و استاندارد ملی کشورهای صنعتی و پیشرفته هماهنگی ایجاد شود. منبع و مأخذی که برای تهیه این استاندارد به کار رفته به شرح زیر است:

AS 2489.10-1984 Methods for the analysis of zircon sand concentrates

Part10-Determination of silicon content (combined gravimetric and spectrophotometric method)

ماسه زیر کن تغلیظ شده - روشهای آزمون

قسمت ۱۰- تعیین مقدار سیلیس با استفاده از دو روش وزنی و رنگ سنجی

۱ هدف

هدف از تدوین این استاندارد تعیین مقدار سیلیس ماسه زیرکن تغلیظ شده به روش وزنی و رنگ سنجی می باشد.

۲ دامنه کاربرد

در شرایطی که ماسه زیرکن تغلیظ شده حاوی ۳۰ تا ۳۵ درصد سیلیس SiO_2 باشد روش فوق مناسب است.

۳ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد به آنها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد محسوب می شود. در مورد مراجع دارای تاریخ چاپ و / یا تجدیدنظر، اصلاحیه ها و تجدیدنظرهای بعدی این مدارک مورد نظر نیست. معهذا بهتر است کاربران ذینفع این استاندارد امکان کاربرد آخرین اصلاحیه ها و تجدیدنظرهای مدارک الزامی زیر را مورد بررسی قرار دهند. در مورد مراجع بدون تاریخ چاپ و / یا تجدیدنظر، آخرین چاپ و / یا تجدیدنظر آن مدارک الزامی ارجاع داده شده مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است.

۱ - استاندارد ملی ۲۲۹۴: سال ۱۳۶۴ روشهای نمونه برداری از ماسه های ریخته گری

2 - AS 2884.3 - 1986 Heavy mineral sand concentrates - sampling

Part 3 - preparation of samples

۴ اصول کار

مقداری از نمونه را با مخلوطی از کربنات سدیم بی آب و پراکسید سدیم ذوب نموده به محصول حاصل از ذوب اسید سولفوریک رقیق و ژلاتین اضافه کرده، سپس سیلیس حاصل را صاف نموده (در این شرایط در محلول زیر صافی مقداری جزئی سیلیس موجود است) و پس از کلسینه نمودن به صورت SiO_2 توزین کرده حال به آن اسید فلوئوریدریک افزوده و به آرامی تبخیر و مجدداً توزین می نماییم و با اندازه گیری مقدار سیلیس باقی مانده در محلول زیر صافی به روش رنگ سنجی می توان مقدار درصد سیلیس در نمونه را تعیین نمود.

۵ مواد لازم

۱-۵ به طور کلی مواد مورد نیاز برای آزمون باید با خلوص تجزیه ای باشند. و از آب مقطر آزمایشگاهی استفاده شود.

۲-۵ مواد جامد

۱-۲-۵ کربنات سدیم بی آب (Na_2CO_3)

یادآوری- کربنات سدیم بی آب را به مدت یک ساعت در دمای ۵۰۰ درجه سیلیسیوس بگذارید در این شرایط باید افت وزن کمتر از یک درصد باشد. در صورتی که افت وزن بیشتر از یک درصد باشد. باید مجدداً آن را به مدت یک ساعت دیگر در دمای ۵۰۰ درجه سیلیسیوس گذاشت.

۲-۲-۵ پراکسید سدیم (Na_2O_2) به صورت گرد ریز غیر قابل لمس با دست

۳-۲-۵ مخلوط بورات - کربنات:

ابتدا در یک هاون تمیز به پنج قسمت بوراکس بی آب ($Na_2B_4O_7$) سه قسمت کربنات پتاسیم بی آب (K_2CO_3) افزوده سپس خوب مخلوط نمائید.

۳-۵ محلولها

۱-۳-۵ محلولی از یک حجم اسید سولفوریک با چگالی ۱/۸۴ گرم بر سانتی متر مکعب در ۲۰ درجه سیلسیوس و یک حجم آب مقطر (۱+۱)

۲-۳-۵ محلولی از یک حجم اسید سولفوریک با چگالی ۱/۸۴۰ گرم بر سانتی متر مکعب در ۲۰ درجه سیلسیوس و سه حجم آب مقطر (۱+۳)

۳-۳-۵ اسید فلئوئوریدریک با چگالی ۱/۱۶ گرم بر سانتی متر مکعب در ۲۰ درجه سیلسیوس
۴-۳-۵ محلول هیدرواکسید سدیم ۲۵۰ گرم در لیتر:

در یک بشر پلاستیکی تهیه کنید. آن را خنک و در یک ظرف پلاستیکی نگهدارید.

۵-۳-۵ محلول ژلاتین (۰/۵ درصد):

پنج گرم ژلاتین و یک عدد کریستال نیمول به اندازه یک نخود را در ۶۰۰ میلی لیتر آب حل نموده و سپس گرم نمائید و پس از خنک شدن محلول را در یک بالن ژوژه به حجم یک لیتر برسانید.

۶-۳-۵ محلول مولیبدات آمونیم / $(NH_4)_6MO_7O_{24} \cdot 4H_2O$ ۱۰ درصد:

۱۰ گرم مولیبدات آمونیم را در ۷۰ میلی لیتر آب حل کنید در صورت عدم انحلال آن را گرم کنید تا حل شود و پس از خنک شدن آن را به حجم ۱۰۰ میلی لیتر برسانید محلول را در ظرف پلاستیکی نگهداری نمائید در صورتی که با گذشت زمان رسوب ظاهر شود محلول فاقد ارزش است.

۷-۳-۵ محلول اسید اسکوربیک $(C_6H_8O_6)$ ۵ درصد:

۲/۵ گرم اسید اسکوربیک را در ۵۰ میلی لیتر آب حل کنید محلول فوق را در روز انجام آزمون تهیه نمائید.

۴-۵ محلولهای استاندارد سیلیس :

۱-۴-۵ محلول استاندارد A (یک میلی لیتر معادل ۵۰۰ میکروگرم SiO_2):

تقریباً ۰/۱۲ گرم از سیلیس خالص را در یک بوتله پلاتین وزن کنید. و مدت زمان ۳۰ دقیقه در دمای ۱۰۰۰ درجه سیلسیوس کلسینه نمائید. پس از مدت زمان ذکر شده بوتله را در یک دسیکاتور خنک نمائید. حال ۰/۱۰ گرم آن را دقیقاً در یک بوتله پلاتینی توزین کنید. یک گرم کربنات سدیم بی آب به

بوته اضافه کرده و محتویات بوته را در ۱۰۰۰ درجه سلسیوس ذوب کنید تا یک مذاب شفاف بدست آید. سپس بوته را سرد کنید و آن را با آب مجاور کنید و محتویات بوته را در یک بالن ژوژه ۲۰۰ میلی لیتری منتقل و به حجم برسانید. محلول را در یک ظرف پلاستیکی نگهدارید.

۲-۴-۵ محلول استاندارد B (یک میلی لیتر معادل ۲۰ میلی گرم SiO_2):

۱۰ میلی لیتر محلول استاندارد A را داخل بالن ۲۵۰ میلی لیتری بریزید آن را با آب مقطر به حجم برسانید و مخلوط کنید.

۶ وسایل لازم

۱-۶ دستگاههای معمول آزمایشگاهی شامل دو صفحه گرم کننده^۱ آزمایشگاهی با قابلیت کنترل دما

۲-۶ بوته های زیرکونیومی:

به شکل کوتاه (حداکثر ارتفاع ۳۰ میلی متر) با ظرفیت ۳۰ میلی لیتر

یادآوری- باید از بوته های سالم و فاقد هرگونه خوردگی استفاده شود.

۳-۶ بوته های پلاتین یا ترجیحاً پلاتین - طلا (۹۵ درصد پلاتین + ۵ درصد طلا) با حداقل ظرفیت ۲۵ میلی لیتر.

۴-۶ میله های همزن ضد زنگ به قطر ۳-۴ میلی متر.

۵-۶ همزن مغناطیسی و میله های همزن با پوشش تفلون^۲ به قطر ۶ میلی متر.

۵-۶ pH متر

1- Hotplates

2- PTFE

۶-۶ اسپکتروفتومتر $UV - VIS$.

۷ نمونه برداری

نمونه را برای آزمون طبق روش نمونه برداری استاندارد ملی ۲۲۹۴: سال ۱۳۶۴ (روشهای نمونه برداری از ماسه های ریخته گری) بردارید و آن را به دانه هایی که اندازه های آن حداکثر ۷۵ میکرومتر باشد، تهیه کنید.^۱ نمونه را به مدت یک ساعت در دمای تقریباً ۱۰۰ درجه سلسیوس خشک کنید و سپس آنرا در یک دسیکاتور خنک نمایید.

۸ روش آزمون

۱-۸ تعداد آزمونها:

آزمون را به صورت دو تایی و مستقل روی نمونه انجام دهید.

۲-۸ آزمونه:

یک گرم از نمونه را با تقریب ۰/۰۰۱ گرم وزن نمایید.

۳-۸ آزمون نمونه شاهد:

نمونه شاهد را با استفاده از همه مواد و به همان مقدار که به نمونه اصلی اضافه می شود و به همان روش بدون اضافه کردن نمونه اصلی آزمایش نمایید.

۴-۸ روش کار

۱-۴-۸ تنظیم دمای گرم کننده:

در دو بشر ۶۰۰ میلی لیتری که هر کدام حاوی ۸۰ میلی لیتر اسید سولفوریک غلیظ با چگالی گرم بر سانتی متر مکعب ۱۸۴۰ در ۲۰ درجه سلسیوس است، یک دماسنج که بتواند تا دمای ۳۲۰ درجه سلسیوس را نشان دهد قرار دهید و بر روی بشر یک شیشه ساعت بگذارید. دمای هر یک از گرم کننده ها را طوری تنظیم کنید تا اینکه دمای یکی از آنها روی ۱۸۰-۱۷۰ درجه سلسیوس ثابت بماند

۱- در صورت لزوم تا تهیه و تدوین استاندارد ملی، می توان از استاندارد $AS 2884.3$ جهت آماده سازی نمونه استفاده نمود

(دمای متوسط) و دمای دیگری روی ۳۰۰-۲۹۰ درجه سلسیوس ثابت نگه داشته شود (دمای بالا) در هر مورد زمان لازم برای گرم کردن تا رسیدن به این دما را یادداشت نمائید.

۸-۴-۲ تجزیه مقداری از نمونه:

دو گرم کربنات سدیم (بند ۵-۲-۱) داخل بوتۀ زیر کونیمی بریزید (۶/۲)، نمونه را اضافه کرده و آن را با استفاده از یک میله فولادی ضد رنگ مخلوط کنید حال پنج گرم پراکسید سدیم (بند ۵-۲-۲) به داخل بوتۀ افزوده، آن را فوراً، مخلوط نمائید. اکنون بوتۀ را در یک کوره به مدت ۲۰ دقیقه در دمای 620 ± 10 درجه سلسیوس قرار دهید و پس از مدت زمان فوق آن را ضوری در یک بشر ۶۰۰ میلی لیتری حاوی ۳۰ میلی لیتر اسید سولفوریک (بند ۵-۳-۱) بگذارید که اسید وارد بوتۀ نشود. و با استفاده از یک پیپت مدرج ۲۰ میلی لیتری، آب به بوتۀ اضافه کنید در بشر را با شیشه ساعت بپوشانید و مدت پنج دقیقه استراحت دهید اکنون بشر را کج کرده تا اینکه محتویات بشر و بوتۀ با هم مخلوط شوند. و صبر کنید تا محتویات بوتۀ حل شوند. اکنون به کمک یک میله شیشه ای بوتۀ را به حالت ایستاده در آورید و ۳۰ میلی لیتر اسید سولفوریک (بند ۵-۳-۱) به بوتۀ اضافه کنید حال بوتۀ را بردارید و به دقت با آب بشوئید.

۸-۴-۳ جدا کردن سیلیس:

روی بشر یک شیشه ساعت گذاشته و آن را بر روی گرم کننده با درجه متوسط به آرامی بجوشانید (بند ۸-۴-۱) تا اینکه رنگ زرد (رنگ زرد مربوط به پراکسید تیتانیم می باشد) به طور قابل توجهی ناپدید شود. (مدت زمان برای ناپدید شدن رنگ تقریباً ۴۰ دقیقه است) شیشه ساعت را بردارید و آن را با آب شستشو دهید دیواره بشر را بشوئید. اکنون به حرارت دادن بر روی اجاق با دمای متوسط ادامه دهید. و گاهی آن را به آرامی بهم بزنید. تا اینکه دود مه مانند ظاهر شود. دمای گرم کننده را زیاد کنید تا اینکه دود خیلی غلیظی تولید شود (معمولاً بعد از ۱۰ تا ۱۵ دقیقه دود خیلی غلیظی تولید می شود) حال در بشر را بگذارید و آن را به گرم کننده با دمای بالا که قبلاً کاملاً گرم شده منتقل (بند ۸-۴-۱) و آن را ده دقیقه دیگر حرارت دهید. اکنون کاملاً آن را تا دمای اتاق خنک کنید و در

حالی که آن را بهم می‌زنید با احتیاط ۷۰ میلی‌لیتر آب به آن اضافه کنید. سپس آن را تقریباً به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۶۰ تا ۷۰ درجه سلسیوس گرم کنید تا اینکه کلیه نمکهای محلول حل شوند. آنگاه حرارت آن را به ۶۰ درجه سلسیوس برسانید و سپس ۲۰ میلی‌لیتر ژلاتین (بند ۵-۳-۵) و ۲۰ میلی‌لیتر آب اضافه و بخوبی مخلوط کنید. بشر را به مدت ۱۵ دقیقه استراحت دهید و گاهی آن را بهم بزنید اکنون محتویات بشر را بر روی کاغذ صافی بافت درشت سخت بدون خاکستر برای مثال وات من ۵۴۱ صاف کنید. بعد از اینکه رسوبها به کاغذ صافی منتقل شد ذرات سیلیسی که به دیواره بشر چسبیده‌اند را به کمک یک قطعه کاغذ صافی به نوک همزن چسبیده است جدا کنید و به رسوب روی صافی اضافه نمائید. محتوای قیف را کاملاً با ۱۰ تا ۸۰ میلی‌لیتر آب داغ بشوئید. رسوب را در بوته پلاتینی که قبلاً به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۱۰۵۰ درجه سلسیوس ثابت و توزین شده بگذارید. آن را بسوزانید تا اینکه با افزایش حرارت به آهستگی تا ۶۵۰ درجه سلسیوس کاملاً خاکستر شود. سپس به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۱۰۵۰ درجه سلسیوس بگذارید آن را در دسیکاتور خنک نمائید و با ترازوی تجزیه‌ای با دقت ۰/۱ میلی گرم وزن کنید. مجدداً بوته را در دمای ۱۰۵۰ درجه سلسیوس گذاشته و کلسینه نمائید. این عمل را آنقدر ادامه دهید که تفاوت دو وزن پی در پی بیشتر از ۰/۰۰۵ گرم نشود وزن را یادداشت کنید (m_۲).

۴-۴-۸ اکنون به محتوای بوته چند قطره آب مقطر اضافه کنید سپس شش میلی‌لیتر اسید فلئوئوریدریک بند ۳-۳-۵ اضافه نمائید و محتوای بوته را آرام آرام تبخیر نمائید تا خشک شود. سپس به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۰۵۰ درجه سلسیوس بگذارید، مطابق قبل آن را خنک و توزین نمائید. یک میلی‌لیتر دیگر اسید فلئوئوریدریک بند ۳-۳-۵ اضافه کنید و مجدداً مراحل تبخیر و کلسینه کردن در کوره و توزین را تکرار نمائید وزن را یادداشت کنید (m_۳).

یادآوری- در این روش اسید سولفوریک برای تبخیر سیلیس نباید اضافه شود.

۵-۴-۸ حل مواد باقی مانده در بوته:

۵۰/۰ گرم مخلوط کربنات و بورات بند ۵-۲-۳ به بوته اضافه کنید و آن را به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۰۵۰ درجه سلسیوس حرارت دهید. مذاب سرد شده در بوته را با استفاده از ۱۰ میلی لیتر محلول زیر صافی سیلیس و همزن مغناطیسی در دمای اتاق حل کنید (بند ۶-۵) و آن را به محلول زیر صافی اولیه اضافه و بوته را بشوئید. محلول زیر صافی را در یک بالون ژوژه ۵۰۰ میلی لیتری به حجم برسانید و آن را خوب بهم بزنید.

یادآوری- در صورتی که از بوته های پلاتینی بجای پلاتین - طلا استفاده شود. صبر کنید رسوب بر روی دیواره داخلی بوته منجمد شود

۵-۸ تعیین مقدار سیلیس باقی مانده در محلول زیر صافی

۱-۵-۸ رسم منحنی برسنجی (کالیبراسیون)^۱

۱-۱-۲-۸ تهیه موئید و سیلیکات:

۰ و ۲ و ۵ میلی لیتر از محلول استاندارد سیلیس B را به بشرهای ۱۵۰ میلی لیتری بند ۵-۴-۲ منتقل کنید تا ۴۰ میلی لیتر رقیق کنید و ۱/۲۰ میلی لیتر اسید سولفوریک بند ۵-۳-۱ به محتوای بشر بیفزائید و با یک بهمزن شیشه ای خوب بهم بزنید. به کمک یک pH متر و با استفاده از محلول هیدروکسید سدیم بند ۵-۳-۴، pH محلول را بین $1/30 \pm 0/1$ تثبیت کنید. پس از تنظیم pH الکتروود را از درون بشر خارج کنید. دو میلی لیتر محلول مولبیدات آمونیم بند ۵-۳-۶ اضافه کرده و آن را بهم بزنید سپس به مدت ۱۰ دقیقه بشر را بگذارید بماند.

۲-۱-۵-۸ کاهش موئید و سیلیکات:

۲۰ میلی لیتر اسید سولفوریک بند ۵-۳-۲ اضافه کنید. محتوای بشر را بهم بزنید و ۱۰ دقیقه آن را

1- calibration

استراحت دهید حال پنج میلی لیتر اسید اسکوربیک بند ۵-۳-۷ به محتوای بشر اضافه نمائید. محتوای بشر را به یک بالون ۱۰۰ میلی لیتری منتقل نمائید بشر را با آب مقطر شستشو داده و آب شستشو را به بالون اضافه کنید و حجم آن را به ۱۰۰ میلی لیتر برسانید اکنون بالون ژوزه را به مدت یک ساعت در دمای اتاق قرار دهید. حال با استفاده از محلول شاهد (که حاوی تمام گونه‌ها در محلول می باشد جز سیلیس) در یک سل ۱۰ میلی متری در طول موج ۸۱۰ نانومتر جذب را بر روی صفر میزان کنید. حال با استفاده از محلولهای استاندارد منحنی برسنجی جذب بر حسب میلی گرم های سیلیس رسم نمائید.

۸-۵-۲ تعیین سیلیس:

۱۰ میلی لیتر از محلول را به یک بشر ۱۵۰ میلی لیتری منتقل کنید به آن ۴۰ میلی لیتر آب اضافه کنید و با یک بهمزن آن را هم بزنید. با استفاده از pH متر یا دقت pH محلول را توسط هیدروکسید سدیم بند ۵-۳-۴ بین 10 ± 0.3 تنظیم کنید. انکترود را جداگانه شسته و کنار بگذارید محلول را خنک نموده به آن دو میلی لیتر محلول مولیبدات آمونیم بند ۵-۳-۶ اضافه کنید. محلول را مخلوط نموده و به مدت ۱۰ دقیقه بگذارید بماند با استفاده از جذب و با در دست داشتن منحنی برسنجی و فاکتور رقت مقدار کل سیلیس محلول زیر صافی را محاسبه کنید.

یادآوری- در صورتی که مقدار SiO_2 بین ۰/۲۰ تا ۰/۳۰ باشد قابل قبول می باشد.

۹ محاسبه

مقدار درصد وزنی سیلیس نمونه را مطابق فرمول زیر محاسبه کنید.

$$\%SiO_2 = \frac{m_2 - m_3 - m_2b + m_3b}{m_1} \times 100 + S$$

m_1 = جرم آزمونه بر حسب گرم

m_1 = جرم پوته همراه با محتوياتش قبل از افزودن اسيد فلوئوريدريک

m_2 = جرم پوته و محتوياتش بعد از افزودن اسيد فلوئوريدريک

m_1b = جرم پوته و محتوياتش قبل از افزودن اسيد فلوئوريدريک در نمونه شاهد

m_2b = جرم پوته و محتوياتش بعد از افزودن اسيد فلوئوريدريک در نمونه شاهد

S = درصد سيليس آزمونه موجود در محلول زیر صافي

۱۰ بيان نتيجه

نتيجه به صورت مقدار درصد SiO_2 گزارش شود. ميانگين دو تعيين تا رقم سوم محاسبه و مطابق مراحل زیر تا رقم اول پس از اعشار سر راست شود.

الف: زماني که رقم دوم بعد از اعشار کمتر از پنج باشد. رقم دوم حذف مي گردد و رقم اول بعد از اعشار بدون تغيير باقي مي ماند.

ب: زماني که رقم دوم اعشاري پنج باشد و رقم سوم بعد از اعشار عدد ديگري غير از صفر باشد. و يا زماني که رقم دوم بعد از اعشار بزرگتر از ۵ باشد. به رقم اول اعشاري يك عدد اضافه مي شود.

پ: زماني که رقم دوم پس از اعشار پنج باشد و رقم سوم صفر باشد. ۵ حذف مي گردد و رقم اول بعد از اعشار در صورتي که ۰، ۲، ۴، ۶ و يا ۸ باشد بدون تغيير باقي مي ماند. و لي در صورتي که ۱، ۳، ۵، ۷ و يا ۹ باشد، يك عدد اضافه مي شود.

۱۱ گزارش آزمون

گزارش نتيجه آزمون بايد شامل اطلاعات زیر باشد:

الف: مشخصات نمونه

ب: ذکر استاندارد مرجع

پ: گزارش درصد وزني SiO_2

ت: تاريخ انجام آزمون

ث: هر نوع مشاهده غير عادي در حين انجام آزمون قيد شود.