

فصل ۱

آلیاژسازی آلومینیوم

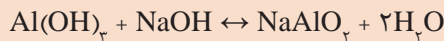
تولید آلومینیوم

برای تدریس این قسمت از درس ابتدا مقدمه‌ای در مورد استخراج فلزات و انواع روش‌های استخراج بیان نمایید و در هنگام ارائه از هنرجویان بپرسید که استخراج چیست و از آنها بخواهید که برداشت‌شان را از استخراج فلزات بیان کنند. سعی کنید در هنگام بیان این قسمت فیلم‌هایی که در اختیار دارید را به نمایش بگذارید در هر قسمت که توانستید سؤالات انگیزشی در مورد استخراج از هنرجویان بپرسید و در هر جا که نیاز به توضیح بیشتر داشت با ثابت کردن فیلم به ارائه توضیحات بپردازید به نحوی که باعث توجه بیشتر آنها به استخراج و موضوع فیلم شود. سعی کنید که در فرصت‌های مناسب سؤال‌هایی مطرح کنید و برای پاسخ دادن به این سؤالات از هنرجویان کمک بگیرید یعنی ابتدا از هنرجویان بخواهید که در صورت آگاهی از جواب سؤال، نظر خود را اعلام نمایند. سپس با توضیحات خود، جواب صحیح را به هنرجویان بدهید. این امر باعث جلب توجه بیشتر هنرجویان و بارش فکری خواهد شد که فضای رقابتی بین هنرجویان ایجاد می‌کند و با هدایت شما این فضا به فضای بحث و تبادل نظر تبدیل می‌شود.

دانش‌افزایی

آلومینیوم برای اولین بار در سال ۱۸۵۵ در کشور فرانسه توسط شخصی به نام H.Sainte-Clavill Deville از طریق احیای آلومینیوم کلراید با سدیم تهیه شد. همانند اغلب موارد، در این مورد نیز مصارف مهم نظامی این فلز جدید منجر به پشتیبانی دولتی از تولید آن گردید. آلومینیوم از سنگ معدنی به نام بوکسیت که معمولاً حاوی ۴۰ تا ۶۰ درصد آلومینای هیدراته به همراه ناخالصی‌هایی مانند آهن اکسید، سیلیس و تیتان است تهیه می‌شود. این اسم از نام *Les baux* ناحیه‌ای در فرانسه است که اولین بار این سنگ معدن را از آنجا استخراج کردند گرفته شده است. بوکسیت در اثر هوازدگی سطحی صخره‌های حاوی آلومینیوم، مانند گرانیت و بازالت، در مناطق گرمسیری تشکیل می‌شود. در خاک رس، سنگ‌های رسی و سایر مینرال‌ها مقادیر بسیار زیادی آلومینیوم وجود دارد ولی استخراج آن از این مواد مشکل و غیره اقتصادی است. یک استثنا در این مورد کشور روسیه است که در آن ذخایر بوکسیت پرعیار موجود نیست و چند کارخانه تولیدی در مناطقی دور از منابع این سنگ معدن وجود دارد. تولید آلومینیوم از بوکسیت دو فرایند مجزا که اغلب در دو مکان کاملاً متفاوت انجام می‌شود را به کار می‌گیرد. ابتدا با استفاده از فرایند انحصاری بایر، که اساساً عبارت است از حل کردن بوکسیت خرد شده توسط یک محلول سود غلیظ در دمای ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد، آلومینای خالص (Al_2O_3) تهیه می‌شود. بخش

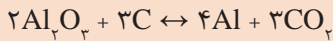
اعظم آلومینا به این طریق خارج می‌شود و باقی‌مانده آن به صورت رسوب غیرقابل انحلالی که لجن قرمز نامیده می‌شود و قسمت اصلی آن آهن اکسید و سیلیکا (سیلیسیم اکسید) است از طریق فیلتر کردن جدا می‌شود. با افزودن بلورهای آلومینیوم‌تری‌هیدرات به‌عنوان هسته‌های اولیه، به محلول حاصل سرد شده، واکنش شیمیایی معکوس انجام می‌گیرد و بدین ترتیب محلول سود بازیابی شده و مجدداً استفاده می‌شود. کل این فرایند را می‌توان در فرمول زیر خلاصه کرد:



سپس تری‌هیدرات آلومینای حاصل را در یک کوره گردان در 1200°C تکلیس می‌کنند تا آب تبلور آن گرفته شود و پودر نرم آلومینا حاصل شود. آلومینا دارای نقطه ذوب بالا (2040°C) و هدایت الکتریکی ضعیفی است. کلید موفقیت تولید آلومینیوم در حل کردن آلومینا در کریولیت مذاب (Na_3AlF_6) نهفته است و یک نمونه از محلول الکترولیت دارای ترکیبی حاوی ۸۰-۹۰٪ کریولیت و ۲-۸٪ آلومینا به همراه مواد افزودنی مانند فلوراید‌های آلومینیوم و کلسیم است، اولین کریولیت از منابع غیر قابل دسترسی مانند گرینلند تهیه شده است ولی امروزه به صورت مصنوعی ساخته می‌شود. شکل ۱ یک مقطع از سلول تولید چند آندی را ترسیم می‌کند. پوسته خارجی این سلول از یک جعبه چهارگوش فولادی آستر شده با آجر تشکیل می‌شود که دارای قطعات کربنی یا گرافیتی پخته شده است، که هم به‌عنوان کاتد و هم به‌عنوان جمع‌آوری‌کننده آلومینیوم مذاب عمل می‌کند. آند از قطعات کربنی پیش ساخته شده است که در داخل الکترولیت غوطه‌ور می‌شود و در اثر واکنش به تدریج مصرف می‌گردد. در روش دیگر از الکترودهای تکی بزرگی (شودبرگ Soderberg) استفاده می‌شود که خمیری کربنی‌اند و همزمان با عملیات الکترولیز افزوده می‌شود و توسط حرارت هدر رفته از سلول می‌پزد. حمام مربوط در دمای حدود 950°C به کار گرفته می‌شود و سلول‌ها به صورت ردیفی که خط ظرف نامیده می‌شود قرار می‌گیرند. امروزه جریان برق برقرار شده در این سیستم تا ۲۸۵۰۰۰ آمپر با افت ولتاژی در حدود ۵ ولت در هر سلول می‌رسد. آلومینیوم تولیدی در فواصل زمانی لازم از طریق سرریز کردن یا سیفون کردن خارج شده و آلومینای مورد نیاز مجدداً اضافه می‌شود.

مکانیزم دقیق واکنش الکترولیتی در سلول هنوز کاملاً مشخص نیست ولی احتمال دارد یون‌های حامل جریان برق یون‌های Na^+ ، AlF_4^- و AlF_6^{3-} و تعدادی یون پیچیده‌تر مانند AlOF_4^{2-} باشند. احتمالاً یون‌های آلومینیوم فلوراید برای تولید آلومینیوم فلزی و یون‌های F^- در کاتد مصرف می‌شوند درحالی که در آند یون‌های پیچیده‌تر تجزیه شده و اکسیژن تولید می‌کند که تشکیل CO_2

می‌نماید. واکنش کلی را می‌توان به صورت زیر نوشت:



همان‌گونه که قبلاً ذکر گردید، فاکتور مهم در تولید آلومینیوم مصرف برق است، که امروزه علی‌رغم تغییرات و تصحیحاتی که در قسمت‌های مختلف فرایند انجام می‌گیرد هنوز برق مورد نیاز برای تولید یک تن آلومینیوم از آلومینا در حدود ۱۳۰۰۰ تا ۱۴۰۰۰ کیلووات ساعت است.

خواص و کاربرد آلومینیوم

برای تدریس این قسمت بهتر است از هنرجویان بخواهید که کاربردهایی از آلومینیوم که اطرافشان یا در منزل می‌بینند بیان کنند سپس با نشان دادن چند عکس یا فیلم از کاربرد آلومینیوم در صنعت از هنرجویان بخواهید کاربردهای بیشتری مثال بزنند و درباره علت کاربرد آن نیز توضیح دهند. در صورت امکان می‌توان چند قطعه تولیدشده از آلیاژهای آلومینیوم را به هنرجویان نشان داد. سپس از هنرجویان خواسته شود که فعالیت آورده شده را به صورت انفرادی یا گروهی انجام دهند و نتیجه را در کلاس بیان کنند و درستی نتایج آنها بررسی و اصلاح گردد.

دانش‌افزایی

نقطه ذوب آلومینیوم ۶۶۰ و نقطه جوش آن ۲۰۵۷ درجه سلسیوس است. نقطه ذوب پایین آلومینیوم نسبت به مس (۱۰۸۳ درجه سلسیوس) و آهن (۱۵۳۹ درجه سلسیوس) و مقایسه وزن مخصوص و سایر خواص فیزیکی و مکانیکی این سه فلز و آلیاژهای آنها یکی از دلایل عمده گسترش روزافزون و کاربردهای آلومینیوم در صنعت می‌باشد، زیرا برای ریخته‌گری و ذوب این فلز تقریباً امکان استفاده از تمام کوره‌های صنعتی ذوب معمولی و با قدرت حرارتی کم میسر است. آلومینیوم بعد از منیزیم سبک‌ترین فلز صنعتی است. چگالی آن برابر ۲/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. سبکی آلومینیوم یکی دیگر از عوامل مهم در کاربردهای صنعتی آن می‌باشد. چنانچه چگالی آلومینیوم با مس (۸/۹) و آهن (۷/۸) مقایسه شود، نتیجه می‌شود که برای ساخت قطعاتی با شکل مشابه از آلومینیوم نسبت به مس ۳۰ درصد و نسبت به آهن ۳۴ درصد کاهش وزن وجود دارد.

آلومینیوم یکی از فلزات با هدایت خوب است و هدایت حرارتی آن تقریباً ۵۵/۷ درصد مس و مقاومت الکتریکی آن برابر ۲/۶۵۵ میکرواوم بر سانتی‌متر مربع است (۱/۵۸ برابر ضعیف‌تر از مس) که در مقایسه با مس به نسبت چگالی، هدایت

حجمی آلومینیوم از مس بیشتر است.

آلومینیوم فلزی نرم است که درصد ازدیاد طول نسبی کششی آن نسبتاً بالا ولی سختی آن تقریباً کم است. قابلیت آلیاژسازی و استفاده از آلیاژهای مختلف آلومینیوم با عناصری مانند سیلیسیم، منیزیم و مس باعث شده در حالی که خواص فیزیکی آلومینیوم نظیر وزن مخصوص افزایش قابل توجهی نداشته (حتی نقطه ذوب آن کاهش یابد) آلیاژهای مقاومی حاصل گردد که سختی آن به مقادیر بالاتری برسد و از استحکام کششی و خواص مکانیکی بسیار بالایی برخوردار باشد. یکی دیگر از مشخصات عمده آلومینیوم که در گسترش زمینه‌های کاربرد این عنصر و آلیاژهای آن در صنعت نقش مهم و اساسی دارد، مقاومت این فلز در مقابل اکسیژن هوا و سایر عوامل خوردنده شیمیایی نظیر آب دریا، برخی از مواد روغنی و... است. آلومینیوم به سرعت اکسید می‌شود، ولی اکسید حاصل تشکیل یک لایه فشرده و غیره متخلخل را می‌دهد که از نفوذ اکسیژن به قسمت‌های درونی قطعه جلوگیری کرده و خود حفاظت فلز را در مقابل اکسیژن برعهده می‌گیرد.

آلومینیوم صنعتی نه به صورت یک عنصر شیمیایی بلکه به صورت یک ماده در دسته‌های مختلف قرار می‌گیرد که از آلومینیوم خالص تجارتي با درجه خلوص حدود ۹۹ درصد تا آلومینیوم ویژه خالص با درجه خلوص ۹۹/۹۹ درصد تغییر می‌کند و بدیهی است که هر یک کاربرد صنعتی خاص خود را دارد. مهم‌ترین زمینه‌های کاربرد آلومینیوم در صنایع مختلف عبارت‌اند از:

۱) **مصارف خانگی:** نظیر کتری، قاشق، چنگال، قابلمه، و قسمت‌هایی از یخچال. توسعه و گسترش آلومینیوم در ساخت وسایل خانگی فوق بر دلایل متعددی استوار است که مهم‌ترین آنها مقاومت آلومینیوم در مقابل اکسیژن (هوا)، سبکی و هدایت حرارتی می‌باشد. علاوه بر مشخصات فوق آلیاژهای آلومینیوم که دارای مقدار بسیار کمی تیتانیوم هستند، قابلیت شستشو و پرداخت کاری بسیار زیادی داشته و تحت نام تجارتي آلپاکا و آلپاکس در ساخت قاشق و چنگال به کار می‌روند.

۲) **مصارف ساختمانی:** نظیر در، پنجره، دستگیره در و... به صورت ریختگی و نوردی (کارشده) توسعه و گسترش آلومینیوم در مصارف ساختمانی علاوه بر سبکی و زنگ نزدن بر استحکام نسبی و همچنین قابلیت آبکاری الکتریکی آنها استوار است. قطعات فوق می‌توانند علاوه بر مقاومت در مقابل عوامل جوی و مکانیکی و تحمل نیروهای فشاری در رنگ‌های متنوع و ثابت نیز عرضه شود.

۳) **مصارف شهرسازی:** نظیر لوله، اتصالات، پمپ‌های آب و... . مهم‌ترین دلایل موارد مصرف آلومینیوم در این زمینه‌ها علاوه بر مشخصات

فوق، مقاومت آنها در در مقابل آب و رطوبت استوار است.

۴ **مصارف هواپیمایی:** در صنایع هواپیمایی، وزن و سبکی قطعات در کنار استحکام آنها از اهمیت ویژه برخوردار است و همین امر باعث توسعه کاربرد آلومینیوم در صنایع گردیده است. از طرف دیگر قابلیت شکل پذیری آلومینیوم و آلیاژهای آن از طریق روش‌های مختلف نظیر ریخته‌گری، نورد، فشارکاری و پتک کاری (آهن‌گری) باعث گردیده است که هر قطعه با مشخصات مکانیکی خواسته شده را بتوان از یکی از انواع آلیاژهای آلومینیوم تهیه کرد.

۵ **مصارف اتومبیل‌سازی و قطار:** بنابر دلایل عمده فوق، از آلومینیوم به صورت قطعات مختلف و به ویژه در ساخت پیستون، اگزوز، دستگیره کاربراتور و... استفاده می‌شود.

۶ **مصارف کشتی‌سازی و زیردریایی:** علاوه بر سبک بودن، مقاومت به خوردگی آلیاژهای آلومینیوم در مقابل نمک‌های دریا و آب دریا یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در کاربرد آلومینیوم در قسمت‌های مختلف زیر بدنه، پروانه، پمپ و سایر قطعات کمکی در کشتی‌ها است.

۷ **مصارف تجاری و بسته‌بندی:** نظیر بسته‌بندی‌های چای، مواد لبنی، پاکت شیر، در بطری. آلومینیوم به‌عنوان لفاف و پوشش در بسته‌بندی انواع محصولات تجاری به منظور جلوگیری از جذب رطوبت و با توجه به سبکی آن به کار می‌رود، این پدیده به دلیل آن است که آلومینیوم از طریق عملیات نورد به ضخامتی تا حدود ۱۰ میکرون و کمتر از آن می‌رسد که از آنها زوررق تهیه می‌گردد.

۸ **مصارف الکتریکی:** نظیر کابل‌ها، اتصالات. هدایت الکتریکی مطلوب آلومینیوم و خواص هدایت الکتریکی حجمی بهتر از تمام عناصر و فلزات و به‌خصوص در مقایسه با مس، دلیل اصلی استفاده از آلومینیوم در مصارف الکتریکی است. بعد از انجام فعالیت قبل، در مورد خواص آلومینیوم به‌خصوص مقاومت به خوردگی و علت این خاصیت همچنین روش تولید قطعات آلومینیومی بحث و تبادل نظر شود سعی شود که تمام هنرجویان در بحث شرکت کنند می‌توان با پرسیدن سؤالات ذهن هنرجویان را به سمت نحوه تقسیم‌بندی آلیاژها سوق داد یا با پرسیدن سؤالاتی از دانش‌آموزانی که در بحث کلاسی شرکت نمی‌کنند نظر آنها را جویا شد و آنها را در بحث کلاسی شرکت داد.

استانداردهای آلیاژهای آلومینیوم

در اغلب کتاب‌ها و منابع که به تکنولوژی و فن شناسی اهمیت بیشتری می‌دهند، این تقسیم‌بندی براساس کاربرد و زمینه‌های مختلف کاربری فلز یا آلیاژ انجام می‌گیرد. به‌طورمثال در مبحث آلومینیوم تقسیم‌بندی به‌صورت آن است که:

آلیاژهای مقاوم مکانیکی، آلیاژهای مقاوم در مقابل خوردگی، آلیاژهای هادی و... ولی از نظر اصول علمی و نحوه تدریس نمی‌توان روش فوق را به‌طور کامل اجرا نمود و از این‌رو سعی می‌شود که با تقسیم‌بندی آلیاژها براساس کیفیت مطالعاتی و یادگیری در هر قسمت به زمینه‌های کاربرد آنها نیز اشاره شود.

آلیاژهای آلومینیوم به دو دسته آلیاژهای ریختگی^۱ و آلیاژهای نوردی (کارپذیر) تقسیم می‌شوند. هر یک از دو دسته فوق نیز به دو گروه آلیاژهای عملیات حرارتی‌پذیر و عملیات حرارتی‌ناپذیر تفکیک می‌شوند. در جداول ۱ و ۲، ترکیب شیمیایی آلیاژهای ریختگی و نوردی آلومینیوم نشان داده شده است. در این جداول، آلیاژهایی که عملیات حرارتی‌پذیر هستند با حرف (T) مشخص شده است. در خلال سال‌های اولیه صنعت آلومینیوم هر آلیاژ جدیدی که ساخته و پرداخته می‌شد به‌وسیله کمپانی‌های سازنده و به‌اسامی مورد قبول آنها نام‌گذاری می‌گردید و هیچ‌گونه نام‌گذاری بین‌المللی وجود نداشت. بعدها به تدریج سه گروه کلی نام‌گذاری عمومی یافت که عبارت بودند از سیستم تجارتي، سیستم ASTM و سیستم SAE، مثلاً آلیاژی که امروزه آلیاژ آلومینیوم ۱۱۰۰ نامیده می‌شود در سیستم تجارتي، S_p، در سیستم ASTM، ۹۹۰A، و در سیستم SAE، ۲۵ نامیده می‌شد. به‌همین ترتیب در سایر کشورها نیز سیستم‌های قراردادی دیگر مورد استفاده قرار می‌گرفت. واضح است که یک چنین اسامی مختلف و درهمی برای صنعت نامناسب است به‌ناچار یک سیستم مشخص‌تر و استانداردتر به اسم A.A برای آلیاژهای کارپذیر آلومینیوم یعنی آلیاژهایی که از طریق مکانیکی به شکل لازم درمی‌آیند و نه از طریق ریخته‌گری پیشنهاد و اکنون مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این سیستم نام‌گذاری، آلیاژهای کارپذیر آلومینیوم براساس عناصر آلیاژی اصلی خود به هشت گروه مختلف تقسیم می‌گردند (جدول ۲) در هر گروه نیز مشخصات کامل آلیاژ به‌وسیله چهار عدد از هم تفکیک می‌گردد، رقم اول از سمت چپ نشان‌دهنده گروه اصلی آلیاژی است، دومین رقم تغییر آلیاژ نسبت به آلیاژ اولیه را نشان می‌دهد. سومین و چهارمین عدد مقدار خلوص یا نوع آلیاژ را مشخص می‌کند.

۱. Cast alloy

۲. Wrought alloy

جدول ۱- ترکیب شیمیایی آلیاژهای ریختگی آلومینیوم

«استاندارد انگلیسی LM، علامت اختصاری Light Metals» فلزات سبک می‌باشد.

نوع آلیاژ LM	% منس	% منیزیم	% سیلیسیم	% منگنز	% عناصر دیگر	مصارف اصلی
LMO	-	-	-	-	آلومینیوم ۹۹/۵	- ریخته‌گری در ماسه برای مصارف الکتریکی - تهیه ورق در مصارف شیمیایی و مواد غذایی
LM۱ LM۲ LM۳	۷ ۱/۵ ۲/۵	- - -	۳ ۱۰/۰ -	- - -	روی ۳ - روی ۱۱	- مصارف عمومی ریخته‌گری در قالب - ویژه مصارف ریخته‌گری تحت فشار - مصارف عمومی برای ریخته‌گری در ماسه
LM۴ (T) LM۵ LM۶	۳ - -	- ۴/۵ -	۵ - ۱۲	۰/۵ ۰/۵ -	- - -	- یکی از آلیاژهای بسیار مناسب برای ریخته‌گری - ریخته‌گری در ماسه و قالب ویژه، مقاوم به خوردگی در کشتی‌ها - آلیاژ بسیار سیال و مناسب برای ریختن قطعات نازک
LM۸ (T) LM۹ (T) LM۱۰ (T)	- - -	۰/۵ ۰/۴ ۱۰	۵ ۱۲/۰ -	- ۰/۵ -	- - -	- مقاوم به خوردگی با استحکام زیاد - مانند LM۶ با مقاومت بیشتر بعد از عملیات حرارتی - آلیاژ بسیار مقاوم در ریخته‌گری باید توجه شود
LM۱۱ LM۱۲ (T) LM۱۳	۴/۵ ۱۰ ۱/۰	- ۰/۳ ۱/۰	- - ۱۲	- - -	- روی تا ۰/۸ نیکل ۱/۶	- مقاومت بالا و نرمی زیاد - مناسب برای درجه حرارت‌های بالا - مناسب برای پیستون موتورهای بنزینی
LM۱۴ LM۱۶ (T) LM۱۸	۴ ۱/۵ -	۱/۵ ۰/۵ -	- ۵ ۵	- - -	نیکل ۲ - -	- مناسب برای درجه حرارت‌های بالا، پیستون‌های ویژه خواص مقاومتی بالا - مشخصات ریخته‌گری خوب مقاوم به خوردگی
LM۲۰ LM۲۱ LM۲۲ (T)	- ۴ ۲/۵	- ۰/۲ -	۱۲ ۶ ۵	- ۰/۵ ۰/۵	- روی تا ۰/۲ ۰/۵	- مانند LM۶ با ناخالصی‌های بیشتر - مانند LM۲ با قابلیت ماشین‌کاری بهتر - مصارف عمومی ریخته‌گری قالب ویژه

جدول ۲- برخی از آلیاژهای نوردی (کارپذیر) آلومینیوم استاندارد (A.A)

نوع آلیاژ	% آلومینیوم	% مس	% منیزیم	% سیلیسیم	% آهن	% منگنز	% سایر عناصر
۱۱۰۰	>۹۹	-	-	-	-	-	- - -
۱۱۳۰	>۹۹/۳	-	-	-	-	-	- - -
۱۲۳۵	>۹۹/۳۵	-	-	-	-	-	- - -
۱۳۴۳	>۹۹/۴۵	-	-	-	-	-	- - -
۱۰۶۰	>۹۹/۶۰	-	-	-	-	-	- - -
۲۰۱۱ (T)	باقی مانده	۵/۵	۰/۴	۰/۸	-	۰/۶	۰/۰۵ سرب -
۲۰۱۴ (T)	باقی مانده	۴/۴	۰/۶	-	-	-	۰/۰۵ بیسموت -
۲۰۱۸ (T)	باقی مانده	۴	۱-۱/۵	۰/۴	۰/۴	۰/۷	نیکل ۲
۲۰۲۴ (T)	باقی مانده	۴/۴	-	-	۰/۸	۰/۸	- - -
۲۰۲۵ (T)	باقی مانده	۴/۵	-	-	-	-	- - -
۳۰۰۳	باقی مانده	-	-	-	-	۱/۲	- - -
۳۰۰۴	باقی مانده	-	۱/۰	-	-	۱/۲	- - -
۴۰۳۲	باقی مانده	۰/۹	۱/۱	۱۲/۲	-	-	نیکل ۰/۹
۴۰۴۳	باقی مانده	-	-	۵	-	-	- - -
۴۳۴۳	باقی مانده	-	-	۷/۵	-	-	- - -
۴۰۴۵	باقی مانده	-	-	۱۰/۰	-	-	- - -
۵۰۰۵	باقی مانده	-	۰/۸	-	-	-	- - -
۵۰۵۰	باقی مانده	-	۱/۴	-	-	-	- - -
۵۰۵۲	باقی مانده	-	۲/۵	-	-	-	تا ۰/۲۵ کرم
۵۲۵۲	باقی مانده	-	۲/۵	-	-	-	- - -
۵۱۵۴	باقی مانده	-	۳/۵	-	-	-	تا ۰/۲۵ کرم
۵۰۸۶	باقی مانده	-	۴/۰	-	-	۰/۵	تا ۰/۱ کرم
۶۱۰۱	باقی مانده	-	۰/۶	۰/۵	-	-	تا ۰/۶ بر
۶۱۵۱ (T)	باقی مانده	-	۰/۷	۰/۱	-	۰/۵	کرم تا ۰/۲۵
۶۰۶۳ (T)	باقی مانده	-	۰/۷	۰/۴	-	-	کرم تا ۰/۲۵
۶۰۶۱ (T)	باقی مانده	۰/۲	۱	۰/۶	-	-	- - -
۷۰۰۱ (T)	باقی مانده	۲/۱	۳/۰	-	-	-	روی ۷/۴
۷۰۷۵ (T)	باقی مانده	۱/۶	۲/۵	-	-	-	روی ۵/۶ کرم ۰/۳
۷۱۷۸ (T)	باقی مانده	۲	۲/۷	-	-	-	روی ۶/۸ کرم ۰/۳
۷۰۷۹ (T)	باقی مانده	۰/۶	۳/۲	-	-	۰/۲	روی ۴/۳

در رابطه با این سیستم نام‌گذاری ابتدا گروه ۱۰۰۰ در نظر گرفته می‌شود. این گروه در واقع آلومینیومی را نشان می‌دهد که حداقل خلوص آن ۹۹/۰۰ درصد است، یک درصد باقی‌مانده شامل برخی عناصر خاص چون سیلیسیم، آهن، منیزیم و تعداد دیگری عناصر است که آنها را بیشتر به‌عنوان ناخالصی معرفی می‌کنند تا عنصر آلیاژی. مقادیر این عناصر در جداول استاندارد ترکیبات آلیاژی

در واقع حداکثر مقدار مجاز هر یک را نشان می‌دهد. این عناصر ناخالصی، هر یک بر روی خواص مکانیکی و فیزیکی آلومینیوم تأثیر خاص خود را دارد و مقادیر بیش از حد مجاز آنها می‌تواند چنان تأثیری بگذارد که آلومینیوم خواص مورد درخواست را به دست نیاورد. اگر چنین چیزی اتفاق افتد لازم است که مقدار مجاز آن عنصر تغییر داده شود. در اینجاست که رقم دوم از سمت چپ نشان‌دهنده این تغییر یا کنترل مقدار عنصر مربوطه است. همان‌گونه که قبلاً گفته شد رقم‌های سوم و چهارم از سمت چپ مقدار ناخالصی (یا خلوص) را تعیین می‌کند. مثلاً ترکیب ۱۰۶۰ دارای حداقل درصد خلوص ۹۹/۶۰ درصد است. یعنی مقدار ناخالصی نمی‌تواند از ۰/۴ درصد بیشتر باشد.

با مقایسه این ترکیب با ترکیب ۱۲۶۰ که دارای همان مقدار ۰/۴ درصد ناخالصی است می‌توان دید که اختلاف بین این دو ترکیب این است که در ترکیب ۱۲۶۰ کنترل خاصی نیز بر روی مقدار یک یا چند عنصر وجود دارد، مثلاً در این مورد مجموع ناخالصی‌ها نباید بیش از ۰/۴ درصد باشد و مقدار مس نباید از یک دهم این مقدار (یعنی بیش از ۰/۰۴ درصد) باشد. توجه شود که خود رقم دوم از سمت چپ از نظر عددی هیچ‌گونه معنی خاصی ندارد و فقط به‌عنوان قراردادی از AA مطرح گردیده است.

گروه‌های ۲۰۰۰ تا ۸۰۰۰ را بر خلاف گروه ۱۰۰۰ که به‌عنوان آلومینیوم شناخته شده است، آلیاژهای واقعی آلومینیوم می‌نامند. در این گروه‌های آلیاژی اعداد سوم و چهارم از سمت چپ فقط جهت تفکیک آلیاژها در یک گروه از هم به کار می‌روند. رقم دوم مانند قبل نشان‌دهنده تغییر یا کنترل خاصی بر روی آلیاژ است. اگر این رقم صفر باشد به معنی این است که در آلیاژ مربوطه از ابتدای ثبت آن هیچ‌گونه تغییری داده نشده است. اعداد ۱ تا ۹ نشان‌دهنده تغییر یا اصلاح آلیاژ اولیه است و خود عدد نشان‌دهنده مرحله تغییر است، مثلاً آلیاژ ۲۲۱۸ به معنی دومین تغییر در آلیاژ ۲۰۱۸ است، یعنی اینکه ترکیب آلیاژ همان ترکیب می‌باشد، به استثنای اینکه مقدار منیزیم آن حدوداً به دو برابر مقدار اولیه آن رسیده است.

علاوه بر استاندارد LM، آلیاژهای ریختگی یعنی قطعاتی که از طریق ریخته‌گری به شکل مورد نظر در آورده می‌شوند در سیستم AA به صورت یک عدد چهاررقمی که بین رقم‌های سوم و چهارم از سمت چپ یک نقطه گذاشته می‌شود، نام‌گذاری گردیده است. اولین رقم از سمت چپ نشان‌دهنده گروه آلیاژی می‌باشد که در جدول ۱ مشخص گردیده است. دو رقم بعدی (درست مانند دو رقم سوم و چهارم در آلیاژهای کارپذیر) مشخص‌کننده نوع آلیاژ و یا خلوص آلومینیوم است. آخرین رقم بعد از نقطه نوع تولید را نشان می‌دهد، مثلاً صفر برای قطعه ریختگی و عدد یک برای شمش به کار می‌رود.

جدول ۳- سیستم نام‌گذاری AA آلیاژهای ریختگی

گروه آلیاژی	۱XX-X	۲XX-X	۳XX-X	۴XX-X	۵XX-X	۷XX-X	۸XX-X	۹XX-X	۶XX-X
عنصر اصلی آلیاژی	آلومینیوم با خلوص ۹۹٪ یا بیشتر	مس	سیلیسیم همراه با مقداری مس یا منیزیم یا هر دو	سیلیسیم	منیزیم	روی	قلع	سایر عناصر	گروه‌های استفاده نشده

به هر صورت از جدول ۱ چنین استنباط می‌گردد که آلیاژهای ریختگی آلومینیوم عموماً از عناصر متعددی تشکیل یافته است که مهم‌ترین آنها مس، منیزیم و سیلیسیم می‌باشد. با اندک توجهی به جدول ۲ نیز مشخص می‌گردد که همین عناصر در مورد آلیاژهای نوردی نیز اهمیت بسیار دارند. روی و نیکل نیز دوفلزی محسوب می‌شوند که اهمیت آنها بعد از سه عنصر فوق قرار دارد. عناصر دیگری نظیر تیتانیوم، بُر و لیتیم از نظر آلیاژسازی در شرایط فعلی فاقد اهمیت ولی از نظر تأثیر در جوانه‌زایی، دانه‌بندی، اکسیدزدایی و سایر عملیات کیفی از اهمیت ویژه برخوردارند.

تمام آلیاژهای کارپذیر آلومینیوم، ابتدا به صورت شمش تولید می‌شوند، انواع شمشال و تختال که در نورد، پتک‌کاری و فشارکاری آلومینیوم به کار می‌روند، به صورت شمش تولید می‌شوند. عملیات کیفی، کنترل ترکیب، گاززدایی، اکسیژن‌زدایی و جوانه‌زنی در مذاب برای تولید شمش‌ها از آنچه که در شکل ریزی خواهد آمد جدا نیست.

ریخته‌گری آلیاژهای آلومینیوم

برای آموزش این روش بهتر است ابتدا در مورد پرسش خواسته شده بحث شود و نظر هر یک از هنرجویان را در این خصوص جویا شد. سپس با بیان اینکه آیا برای تولید یک قطعه از هر دو روش می‌توان استفاده کرد به بیان مزایای روش ریخته‌گری آلومینیوم پرداخته شود و اینکه کدام روش‌ها در ریخته‌گری آلومینیوم بیشتر استفاده می‌شود فیلم آموزشی را در کلاس نمایش داد. می‌توان قطعاتی که توسط روش‌های مختلف ریخته‌گری و نورد تولید شده‌اند را به هنرجویان نشان داد و روش تولید هر یک را از آنها سؤال کرد و مطالبی را که سال گذشته در این مورد خوانده‌اند را یادآوری کرد. همچنین می‌توان انواع قالب‌های ریخته‌گری موقت و دائم را آماده و در هر کدام عملیات ریخته‌گری مذاب آلومینیوم را انجام داد و قطعات تولیدی را با هم مقایسه کرد.

قالب‌های ساده، قالب‌های گردان، روش تولید شمش دورویل، قالب‌های آبگرد از انواع روش‌های ریخته‌گری تکباری (منفرد) و روش‌های ریخته‌گری مداوم و نیمه مداوم و همچنین انواع روش‌های تسمه‌ریزی، در تهیه آلیاژهای نوردی کارپذیر آلومینیوم مورد استفاده قرار می‌گیرند.

متداول‌ترین فرایندهای مورد استفاده ریخته‌گری در ماسه، ریخته‌گری در قالب دائمی (ثقلی) و ریخته‌گری در قالب تحت فشار محفظه سرد می‌باشند. مذاب فلزات تحت نیروی ثقل به داخل قالب‌های ماسه‌ای ریخته‌گری می‌گردند. انواع ماسه‌های طبیعی و ساختگی می‌توانند در ریخته‌گری آلیاژهای آلومینیوم مورد استفاده قرار می‌گیرند این مواد انواع سیلیس، اولیوین، زیرکن و کرومیت می‌باشند که در آن میان ماسه‌های سیلیسی طبیعی با مقدار ۱۲ تا ۱۸ درصد خاک و همچنین ماسه‌های سیلیسی ساختگی با ۴ تا ۵ درصد چسب بنتونیت بیشتر به کار می‌روند. به دلیل شرایط ذوب و نیروهای هیدرواستاتیکی آلیاژهای آلومینیوم می‌توان انواع ماسه‌های نرم و ریز را استفاده کرد. وزن مخصوص کم آلیاژ و کاهش نیروهای هیدرواستاتیکی و شرایط تسهیلی خروج گازها از محفظه قالب باعث آن می‌شود که مقاومت در حالت ماسه تر کم باشد و از این رو فشار ماسه تر از ۲ تا ۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع تجاوز نمی‌کند. جهت تقلیل تولید گاز و همچنین استحکام کم قالب، رطوبت ماسه از ۵ درصد تجاوز نمی‌کند و در غیر این صورت بخار ناشی از فعل و انفعال رطوبت قالب و مذاب باعث ایجاد تخلخل به خصوص در پوسته خارجی و قسمت‌های نزدیک به پوسته می‌گردد. برای ایجاد قابلیت نفوذ در ماسه و استحکام سطح آزاد ماسه (در قطعات بزرگ) معمولاً مواد سلولزی و خاک اره به ماسه می‌افزایند. در شرایط عمومی، قالب‌های ماسه از ماسه سوز و فعل و انفعالات شدید مذاب و قالب برکنار می‌باشند و از این رو در این قالب‌ها هیچ‌گونه مواد پوششی به کار نمی‌رود و فقط در مورد آلیاژهای آلومینیوم - منیزیم (با بیش از ۴٪ منیزیم) برای جلوگیری از فعل و انفعالات با رطوبت و تولید گاز و اکسیژن و همچنین عدم چسبندگی ماسه به قطعه ریختگی مواد پوششی مختلفی به کار می‌رود که تحت نام بازدارنده (Inhibitor) مشخصات کامل مواد پوششی را دارا نمی‌باشند. این مواد را در سطح قالب و یا مخلوط با ماسه قالب در مورد آلیاژهای منیزیم دار به کار می‌برند که عبارت‌اند از برآکس، بوریک‌اسید و فلوئور آمونیم. بایستی توجه کرد که ماسه‌های مخلوط با بازدارنده‌ها، قابلیت استفاده در ریخته‌گری سایر آلیاژها را ندارند و کلاً جداگانه نگهداری می‌شوند.

ماهیت ماسه‌ای: انواع ماسه‌های نرم سیلیسی همراه با چسب‌های روغنی، رزین‌های فنلی، سیلیکات سدیم (روش CO_۲) و انواع چسب‌های گرم و سرد

در ساخت ماهیچه‌های آلومینیوم ریزی به کار می‌روند که مشخصات کلی زیر را دارند:

- نرم و ریز هستند.
 - گاز بسیار کمی تولید می‌کنند.
 - استحکام زیادی ندارند و فقط نیروهای در حمل و نقل و در جاگذاری را تحمل می‌کنند.
 - قابلیت از هم پاشیدگی سریع دارند.
- تا جمعاً علاوه بر ایجاد سطوح صاف و عدم تخلخل در سطح، در مقابل انقباض آزاد آلیاژ مقاومتی نداشته باشند.

قالب‌های دائمی

در قالب‌های فلزی مورد استفاده در روش ریخته‌گری دائمی، مذاب یا تحت نیروی ثقل و یا با استفاده از هوا یا سایر گازهای تحت فشار کم به داخل قالب تزریق می‌گردد. آلیاژهای آلومینیوم همچنین در قطعات کوچک و متوسط و حداکثر به وزن ۲۰ کیلوگرم در قالب‌های فلزی ریخته می‌شوند. قالب‌های دائمی مورد استفاده در آلیاژهای آلومینیوم، اغلب به دلیل مقاومت کم این آلیاژ در هنگام انجماد، دارای ماهیچه‌های ماسه‌ای هستند که به نوعی قالب‌های نیمه دائمی تعبیر می‌گردد و بدیهی است به همین دلیل کلیه آلیاژهای آلومینیوم نمی‌توانند از این روش تهیه شوند. مشخصات عمومی قالب‌های فلزی از نظر دقت ابعادی، صافی سطوح، ریز دانه بودن آلیاژهای آلومینیوم به قوت خود باقی است به طوری که حتی در مورد قالب‌های تحت فشار، ظریف کردن ساختار آلیاژهای آلومینیوم - سیلیسیم به وسیله سدیم چندان موردی ندارد.

جنس قالب‌های فلزی معمولاً از چدن خاکستری (پر کربن) ساخته می‌شود تا حتی الامکان از خوردگی آهن توسط آلومینیوم مذاب جلوگیری شود و معمولاً قالب‌های فلزی را با گرافیت و یا زیرکن محلول در آب پوشش می‌دهند. عمل پوشش دادن با گرم کردن قالب تا حدود 80°C (برای جلوگیری از تبخیر سریع آب) انجام می‌گیرد و پس از هر بار خشک کردن، پوشش را تکرار می‌کنند تا حداقل به ضخامت یک میلی‌متر پوشش لازم داده شود. با تغییر ضخامت پوشش می‌توان در قالب‌های فلزی جهت انجماد ایجاد نمود و بنابراین قسمت‌هایی از قالب که باید دیرتر سرد شوند دارای ضخامت پوششی بیشتری هستند. ماهیچه‌های فلزی باید به سرعت بعد از اولین نشانه‌های انجماد در پوسته قالب از آن خارج شوند، چون در غیر این صورت به دلیل انقباض شدید خطی آلومینیوم امکان خروج آنها کم و شکستگی قطعه ریخته شده زیاد می‌شود. در ریخته‌گری قالب‌های فلزی معمولاً قالب را 270° تا 370° درجه

سلسیوس گرم می‌کنند. بدیهی است در مواردی که ریخته‌گری در قالب به سرعت انجام می‌گیرد، افزایش درجه حرارت قالب در چگونگی انجماد و تأخیر در انجماد کامل و در نتیجه ایجاد قطعه با عیوب انجمادی و گازی مؤثر می‌باشد که معمولاً در این موارد قالب را با عبور آب یا هوا خنک می‌کنند.

در ریخته‌گری تحت فشار، مذاب آلومینیوم با کمک یک پیستون هیدرولیکی، با فشار زیاد به داخل قالب فولادی تزریق می‌شود. از مزایای دیگر آلیاژهای آلومینیوم برای قطعات ریختگی، علاوه بر وزن کم می‌توان دمای ذوب نسبتاً پایین، حلالیت کم برای تمام گازها به استثنای هیدروژن و سطح تمام شده خوب قطعات تولیدی را نام برد. اغلب آلیاژها سیالیت خوبی نیز از خود نشان می‌دهند و می‌توان ترکیباتی با دامنه مناسب انجمادی برای موارد مصرف خاص انتخاب کرد. مسئله اصلی در مورد قطعات ریختگی آلومینیوم، انقباض نسبتاً بالای بین $\frac{3}{5}$ تا $\frac{8}{5}$ درصد است که در خلال انجماد صورت می‌گیرد. این انقباض باید در طراحی قالب در نظر گرفته شود تا دقت ابعادی لازم حاصل گردد و از مسائلی مانند ترک یا پارگی داغ، تنش‌های باقی مانده و حفره‌های انقباضی جلوگیری شود.

در مورد آلیاژهای ریخته‌گری آلومینیوم نیز همانند آلیاژهای کارپذیر، آلیاژهایی وجود دارند که به عملیات حرارتی عکس‌العمل نشان می‌دهند معمولاً قطعات ریخته‌گری تحت فشار، تنش عملیات حرارتی انحلالی نمی‌شوند زیرا ممکن است در اثر انبساط هوا که داخل فرایند ریخته‌گری در قطعات محبوس شده‌اند تاول ایجاد شود به علاوه با آزاد شدن تنش‌های باقی مانده احتمال عوجاج وجود دارد.

سیستم راهگامی

در این قسمت هنرجویان با اصول علمی و عملی محاسبات سیستم‌های راهگامی آشنا می‌شوند و می‌توانند توسط روابطی که از طریق قانون برنولی، تریچلی و پاسکال به دست می‌آورند سرعت خطی مذاب در تنگه، سطح مقطع لوله راهگام و سطح مقطع تنگه را محاسبه کنند و همچنین با توجه به ضریب ریختگی و محاسبه ارتفاع مؤثر قالب می‌توانند زمان بارریزی مذاب و سطح مقطع کانال فرعی را نیز محاسبه نمایند. در ابتدا جهت یادآوری مطالبی از سال‌های گذشته در مورد سیستم راهگامی را بیان کنید. سؤالاتی در این مورد از هنرجویان پرسیده شود و در مورد جواب آنها بحث کنید. سپس چند قطعه سالم و معیوب را به همراه سیستم راهگامی به هنرجویان نشان داده و از آنان خواسته شود تا نقش سیستم راهگامی را در سلامت قطعات ریختگی توضیح دهند. سپس از آنان خواسته شود که آیا نیاز به محاسبات خاصی دارد یا هر اندازه که خواستیم می‌توان آن را طراحی کرد؟ اندازه آن را چگونه محاسبه کنیم؟ این اندازه چه تأثیری بر مسائل اقتصادی دارد؟ تمرین‌های موجود در کتاب با

مشارکت هنرجویان حل شوند و در انتها محاسبات سیستم راهگامی را برای مدل‌های موجود در کارگاه انجام دهند و درستی محاسبات آنها حتماً مورد بررسی قرار گیرد.

دانش‌افزایی

سیستم راهگامی مجموعه‌ای از کانال‌هاست که مذاب را از بوت‌ه به محفظه قالب هدایت می‌کند. ایجاد سیستم راهگامی و تغذیه‌گذاری صحیح در ریخته‌گری آلومینیوم از دیرباز به‌عنوان عامل مؤثر در ایجاد قطعه سالم شناخته شده و باید دارای ویژگی‌ها و مشخصات اصلی زیر باشد:

ویژگی‌های سیستم راهگامی

- هدایت جریان مذاب به‌صورت آرام و یکنواخت و بدون تلاطم سطحی
- پرکردن به ترتیب و کامل اجزای سیستم
- جلوگیری از تشکیل اکسید، آخال، سرباره، گاز و حباب و ورود آنها به محفظه قالب
- تنظیم شیب دمایی مناسب به منظور ایجاد انجماد جهت‌دار در قطعه ریخته‌گری
- تولید قطعه سالم
- اقتصادی بودن وزن سیستم راهگامی
- سهولت جدا کردن سیستم راهگامی از قطعه
- کاهش عملیات تراشکاری قطعه ریخته‌گری

معایب طراحی اشتباه سیستم راهگامی

- وارد شدن ماسه، سرباره و آخال به همراه مذاب به درون محفظه قالب
 - خشن شدن سطح قطعه ریخته‌گری
 - انحلال گازها در مذاب و ایجاد مک و حفره در قطعه ریخته‌گری
 - اکسید شدن بیش از حد مذاب
 - ایجاد حفره انقباضی در قطعه ریخته‌گری
 - پر نشدن کامل قالب
 - نفوذ مذاب درون ماهیچه‌ها
 - وارد شدن ذرات پیش جامد شده به محفظه قالب
- هرچند در عمل در طی جریان بارریزی و نیز توقف فلز مذاب در قالب، سیالیت و گرانروی آن دائماً در حال تغییر است و به همین دلیل نیز از نظر فیزیکی نمی‌توان آن را یک سیال کامل (ایده‌آل) تلقی نمود. با این حال بسیاری از قوانین مربوط به مکانیک سیالات را می‌توان در مورد جریان مذاب در سیستم راهگامی و نیز درون قالب مورد استفاده قرار داد. رفتار مایعات در علوم و نیز در

صنعت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، علم مکانیک سیالات رفتار مایعات را در دو مقوله مورد بحث قرار می‌دهد: ۱- استاتیک مایعات که در رابطه مایعات ساکن و ۲- دینامیک مایعات که در رابطه با مایعات جاری صحبت می‌کند. دینامیک مایعات موضوعی پیچیده است و در واقع یکی از پیچیده‌ترین شاخه‌های مکانیک به حساب می‌آید (مثل حرکت آب رودخانه) خوشبختانه در بسیاری از موارد مهم، مسائل را می‌توان با مدل‌های ایده‌آل، تطبیق داد که در این صورت تجزیه و تحلیل آنها به مراتب آسان‌تر می‌شود.

راندمان ریختگی: عبارت است از نسبت جرم قطعات بدون سیستم راهگاهی و تغذیه (Q) به جرم قطعات با سیستم راهگاهی و تغذیه (P). در این مرحله قطعات راهگاهی و منابع تغذیه جز ضایعات (برگشتی) محسوب شده‌اند و لذا راندمان ریختگی پدیده‌ای است که در مورد طراحی سیستم راهگاهی حایز اهمیت است.

$$Rc = \frac{Q}{P} \times 100$$

راندمان کلی یا راندمان مفید: عبارت است از نسبت مجموع جرم قطعات قابل فروش (S) به جرم کل آلیاژ شارژ شده (M). بدیهی است که در راندمان کل هر دو گروه برگشتی و ضایعات غیرقابل برگشت توأمًا دخالت دارند.

$$Rt = \frac{S}{M} \times 100$$

هر نوع مخارجی که برای راندمان ریختگی منظور می‌شود در بازده و راندمان کلی نیز مؤثر است. چنانچه بازده ریختگی زیاد باشد (میزان برگشتی‌ها کم می‌شود) مسلماً در بازده کلی مؤثر است، به هر حال اگرچه تقلیل بازده کلی باعث افزایش قیمت است ولی هزینه ذوب برگشتی‌ها از نظر سوخت و انبار کردن و غیره عاملی است که می‌تواند کاهشی در مقدار هزینه بازده کلی ایجاد نماید و از این نظر نمی‌توان مخارج بازده کلی را فقط با مخارج و هزینه‌های ذوب در مدتی کوتاه بررسی نمود.

مثال:

جرم یک قطعه ریختگی (بدون سیستم راهگاهی و تغذیه) ۲۴kg و جرم سیستم راهگاهی و تغذیه ۸kg وزن شده است. چنانچه جرم قطعات قابل فروش کلاً ۲۱۰kg و جرم کل آلیاژ شارژ شده ۲۴۰kg باشد راندمان ریختگی و راندمان کل را محاسبه کنید؟

$$Rc = \frac{Q}{P} \times 100$$

$$Rc = \frac{24}{32} \times 100 \Rightarrow Rc = 75\%$$

$$Rt = \frac{S}{M} \times 100$$

$$Rt = \frac{210}{240} \times 100 \Rightarrow Rt = 87.5\%$$

۳۰۰ کیلو از شمش چدن نشکن (سورل) و ۲۰۰ کیلو از برگشتی های چدن نشکن کارگاه در کوره القایی شارژ شده اند. برای ریختن قطعاتی به وزن ۱۵ کیلو سیستم راهگامی و تغذیه طوری طراحی شده اند که راندمان ریختگی برابر ۵۰ درصد است در صورتی که تعداد قطعات قابل فروش ۱۲ عدد باشد راندمان کلی و درصد ضایعات را محاسبه کنید؟

$$300 + 200 = 500 \text{ kg} \quad \text{وزن شارژ}$$

$$Rc = \frac{Q}{P} \times 100 \Rightarrow 50 = \frac{15}{P} \times 100 \Rightarrow P = 30 \text{ Kg} \quad \text{وزن قطعه و سیستم راهگامی}$$

$$30 - 15 = 15 \quad \text{وزن سیستم راهگامی}$$

$$12 \times 30 = 360 \text{ kg} \quad \text{وزن فلز ریخته شده}$$

$$500 - 360 = 140 \text{ kg} \quad \text{وزن اتلافات و سرریز در مرحله ذوب}$$

$$\frac{140}{500} \times 100 = 28\% \quad \text{درصد اتلافات ذوب و سرریز}$$

$$Rt = \frac{S}{M} \times 100 \Rightarrow Rt = \frac{360}{500} \times 100 \Rightarrow Rt = 72\%$$

سیال کامل (ایده آل)

سیال کامل (ایده آل) سیالی است تراکم ناپذیر، بدون اصطکاک و بدون گرانشی. سیال کامل سیالی فرضی است که وضع مایعات را با تقریب کافی مشخص می کند.

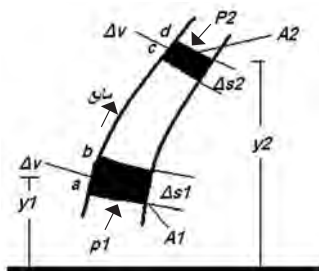
معادله برنولی

این رابطه فشار، سرعت و ارتفاع را در حرکت یک مایع ایده آل به هم ربط می دهد. ابتدا باید به این نکته توجه کرد که اگر مایعی تراکم ناپذیر درون یک لوله افقی با سطح مقطع متغیر در حرکت باشد سرعت آن تغییر می کند.

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

یعنی حاصل ضرب AV در طول لوله مایع ثابت است، نتیجه می شود که هر جا سطح مقطع لوله کاهش یابد سرعت افزایش می یابد و بالعکس. هر جزء از مایع باید شتاب داشته باشد و نیروی لازم برای ایجاد این شتاب از طرف مایع همجوار با این جزء بر

آن وارد می‌شود، پس فشار درون مایع باید از منطقه‌ای به منطقه دیگر تغییر کند. اگر مایع از منطقه‌ای با فشار زیاد به منطقه‌ای با فشار کم در حرکت باشد جهت برآیند نیروی وارد بر آن رو به جلو است و سرعت حرکت افزایش می‌یابد. پس اگر سطح مقطع لوله مایع تغییر کند حتی اگر ارتفاع نقاط مختلف آن یکسان باشد فشار باید تغییر کند، اگر ارتفاع نقاط مختلف لوله نیز متغیر باشد یک تغییر فشار قبلی نیز افزوده می‌شود. معادله برنولی اختلاف فشار بین دو نقطه درون سیال را با اختلاف ارتفاع این دو نقطه و نیز اختلاف سرعت حرکت



در آنها به هم ربط می‌دهد.

برای به دست آوردن معادله برنولی قضیه کار انرژی را در مورد جزیی از مایع که درون لوله در حرکت است به کار می‌بندیم. در شکل روبه‌رو جزیی از مایع را که بین دو مقطع a و c قرار دارد در نظر می‌گیریم.

در زمان Δt مایعی که ابتدا در a بوده است فاصله $\Delta s_1 = v_1 \Delta t$ را پیموده و به b می‌رسد (v_1 سرعت مایع در این طرف لوله است) در همین مدت مایعی که ابتدا در c بوده است نیز $\Delta s_2 = v_2 \Delta t$ را پیموده و به d می‌رسد دو سطح مقطع در دو طرف لوله مذکور را به ترتیب A_1 و A_2 فرض کنید بنابر معادله پیوستگی ΔV حجم مایعی که در زمان Δt از هر مقطع عبور می‌کند است. $\Delta V = A_1 \Delta s_1 = A_2 \Delta s_2$

اکنون کار انجام شده بر روی مایع در زمان Δt را حساب می‌کنیم، اندازه نیروهای وارد بر سیال در a و c به ترتیب $p_1 A_1$ و $p_2 A_2$ هستند که در آنها p_1 و p_2 به ترتیب فشار در a و c هستند، پس قدرمطلق کار انجام شده بر روی مایع در این جابه‌جایی عبارت است از:

$$W = p_1 A_1 \Delta s_1 - p_2 A_2 \Delta s_2 = (p_1 - p_2) \Delta V \quad 1$$

علامت منفی در جز دوم رابطه بالا به این دلیل است که نیروی وارد بر جزء مایع در c در جهت مخالف حرکت آن است.

اکنون این کار را برای تغییر انرژی‌های جنبشی و پتانسیل جزء مایع قرار می‌دهیم. در فاصله b تا c انرژی جنبشی مایع تغییر نمی‌کند در لحظه شروع Δt ، حجم، جرم و انرژی جنبشی مایع واقع بین a و b به ترتیب $\rho A_1 \Delta s_1$ ، $A_1 \Delta s_1$ و $\rho \frac{1}{2} A_1 \Delta s_1 v_1^2$ و در انتهای Δt مایع واقع بین c و d انرژی جنبشی $\rho \frac{1}{2} A_2 \Delta s_2 v_2^2$ را دارد لذا قدرمطلق تغییر انرژی جنبشی عبارت است از:

$$\Delta K = \frac{1}{2} \rho \Delta V (v_2^2 - v_1^2) \quad 2$$

تغییر انرژی پتانسیل را نیز به طریق مشابهی حساب می‌کنیم انرژی پتانسیل

جرمی از مایع که در زمان Δt از مقطع b لوله وارد لوله می‌شود $\rho \Delta v g y_1 = \Delta m g y_1$ و انرژی پتانسیل جرمی که در همین مدت از c خارج می‌شود $\rho \Delta v g y_2 = \Delta m g y_2$ و قدرمطلق تغییر انرژی پتانسیل برابر است با

$$\Delta u = \rho \Delta v g (y_2 - y_1) \quad \text{۳}$$

با به کار گرفتن روابط ۱ و ۲ و ۳ در قضیه کار - انرژی $w = \Delta k + \Delta u$ رابطه زیر به دست می‌آید:

$$(p_1 - p_2) \Delta V = \frac{1}{2} \rho \Delta V (v_2^2 - v_1^2) + \rho \Delta V g (y_2 - y_1)$$

و یا با تقسیم طرفین بر (ΔV)

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) + \rho g (y_2 - y_1) \quad \text{۴}$$

معادله برنولی به صورتی که در بالا آمده است نشان می‌دهد که کار انجام شده بر روی یک واحد حجم از مایع $(p_2 - p_1)$ با تغییر انرژی‌های جنبشی و پتانسیل یک واحد حجم از مایع برابر هستند.

می‌توان رابطه ۴ را برحسب فشارها نیز مورد تفسیر قرار داد. عبارت دوم سمت راست این رابطه اختلاف فشار حاصل از وزن مایع به ازای اختلاف ارتفاع موجود بین ابتدا و انتهای لوله است، عبارت اول سمت راست نیز فشار حاصل از تغییر سرعت مایع است، می‌توان رابطه ۴ را به صورت زیر نوشت:

$$P_1 + \rho g y_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

و چون اندیس‌های ۱ و ۲ را می‌توان به هر دو نقطه دلخواه درون لوله جریان نسبت داد معادله برنولی را به صورت زیر نیز می‌نویسند:

$$v^2 = \text{const } P + \rho g y + \frac{1}{2} \rho$$

اگر کل رابطه بالا را بر ρg تقسیم کنیم آنگاه رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\text{const} = \frac{P}{\rho g} + y + \frac{v^2}{2g}$$

مثال: از لوله‌ای که قطر داخلی آن ۲ سانتی‌متر است آب با فشار 4×10^5 پاسکال (در حدود ۴ اتمسفر) وارد خانه‌ای می‌شود، در حمام طبقه دوم ساختمان به ارتفاع ۵ متر قطر لوله آب ۱ سانتی‌متر است، اگر سرعت عبور آب در لوله ورودی ۴ متر بر ثانیه باشد سرعت آب و فشار در لوله آب حمام چقدر است؟

حل:

نقطه یک را در لوله ورودی و نقطه دو را در حمام انتخاب می‌کنیم، سرعت v_1 در حمام از معادله $A_1 v_1 = A_2 v_2$ معادله پیوستگی به دست می‌آید:

$$\frac{\pi D_1^2}{4} \times v_1 = \frac{\pi D_2^2}{4} \times v_2 \Rightarrow \frac{\pi 2^2}{4} \times 4 = \frac{\pi 1^2}{4} \times v_2 \Rightarrow v_2 = 16 \text{ m/s}$$

فرض کنید ارتفاع لوله ورودی $y_1=0$ باشد، ارتفاع لوله حمام $y_2=\Delta m$ است فشار p_1 و سرعت v_1 معلوم است P_2 را از معادله برنولی به دست می آوریم.

$$\rho = 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) + \rho g (y_2 - y_1)$$

$$4 \times 10^5 - p_2 = \frac{1}{2} \times 1 \times 10^3 \times (16^2 - 4^2) + 1 \times 10^3 \times 9.8 \times (5 - 0)$$

$$\Rightarrow p_2 = 231000 \text{ pa}$$

$$\Rightarrow p_2 = 2/3 \times 10^5 \text{ pa}$$

مفهوم عملی این موضوع آن است که هر قدر ارتفاع راهگاه بارریز بیشتر باشد، سطح مقطع کل کانال های فرعی را کوچک تر در نظر می گیرند. زیرا افزایش ارتفاع بارریز، باعث افزایش انرژی پتانسیل مذاب شده و در نتیجه سرعت خطی مذاب نیز هنگام ورود به محفظه قالب در این مقاطع (یا مقطع) بیشتر می شود به عنوان مثال در مورد قطعات چدنی، مجموع سطوح مقاطع کانال های فرعی بستگی به ارتفاع راهگاه بارریز دارد.

جدول زیر تأثیر آن را نشان می دهد:

مجموع سطوح مقاطع فرعی (cm ²)		وزن قطعه ریختگی (کیلوگرم)
راهگاه بارریز کوتاه	راهگاه بارریز بلند	
3/2	2/5	10
3/8	3	30
4/5	3/5	50
6	4	100
10	6	500
15	9	1000

قانون تداوم (پیوستگی)

بر اساس این قانون، حجم مذاب یا مایع جاری در هر مقطع در واحد زمان مقداری ثابت است.

$$Q = \frac{V}{T} = \text{const}$$

با توجه به اینکه حجم V را می‌توان به صورت حاصلضرب مساحت A در ارتفاع یا طول L بیان کرد از این رو رابطه بالا را می‌توان به صورت زیر نوشت:

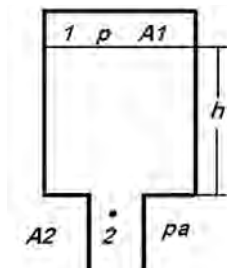
$$Q = \frac{V}{T} \rightarrow Q = \frac{A \times L}{t} \rightarrow Q = A \frac{L}{t} \rightarrow Q = A \times V$$

بنابراین قانون تداوم برای دو نقطه مختلف از یک سیستم بسته به صورت رابطه زیر می‌باشد:

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2$$

قضیه تریچلی (سرعت فوران)

شکل زیر مخزنی را نشان می‌دهد که سطح مقطع آن A_1 است و تا ارتفاع h از مایعی به چگالی ρ پر شده است.



روی سطح بالایی مایع هوا با فشار P قرار دارد و مایع از مجرای به سطح مقطع A_2 بیرون می‌ریزد فرض کنید همه مایعی که به طرف خارج در حرکت است درون یک لوله منفرد حرکت می‌کند و V_1 و V_2 به ترتیب سرعت‌های حرکت مایع در نقاط ۱ و ۲ باشند V_2 را سرعت فوران می‌نامند. فشار در نقطه ۲ فشار جو یعنی P_a است. اگر معادله برنولی را برای نقاط ۱ و ۲ بنویسیم و تراز مرجع را کف مخزن فرض کنیم خواهیم داشت:

انرژی پتانسیل + انرژی جنبشی + فشار

$$P + \rho gh + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = P_a + \rho gh + \frac{1}{2} \rho V_2^2$$

از آنجایی که ارتفاع در کف ظرف صفر باشد بنابراین

$$P + \rho gh + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_a + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \rightarrow v_2^2 = v_1^2 + \frac{2(P - P_a)}{\rho} + 2gh$$

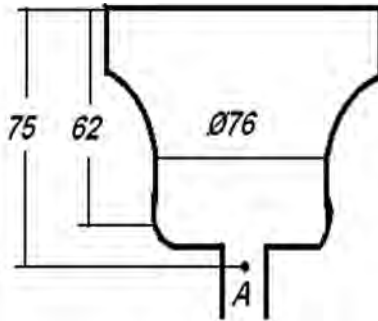
اگر مخزن باز و به هوای جو مربوط باشد داریم:

$$P = P_a \rightarrow P - P_a = 0 \rightarrow (v_2^2 - v_1^2) = 2gh$$

چنانچه در شکل بالا سطح A_2 به مراتب از A_1 کوچک تر باشد V_1^2 نیز به مراتب از V_2^2 کوچک تر و قابل چشم پوشی است در این صورت رابطه قبلی چنین می شود:

$$V_2^2 = 2gh \rightarrow V_2 = \sqrt{2gh}$$

یعنی سرعت مایعی با سرعت جسمی که از ارتفاع h آزادانه رها شده باشد برابر است. این قضیه را قضیه تریچلی می نامند. لازم نیست مجرای خروجی حتماً در کف مخزن باشد این رابطه برای هر وضع مجرا در عمق h صادق است. به عنوان مثال سرعت جریان مذاب در کف حوضچه (نقطه A) به داخل راهگاه باریز برابر است:



طبق رابطه تریچلی تنها اندازه مؤثر در سرعت جریان مذاب ۷۵ میلی متر است بنابراین:

$$V = \sqrt{2gh} \rightarrow V = \sqrt{2 \times 9.81 \times 0.075} \rightarrow V = 1.213 \text{ m/s}$$

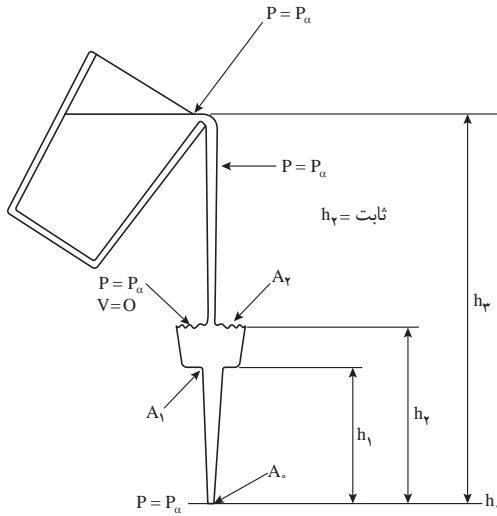
به کمک قانون تریچلی و قانون تداوم می توان تأثیر ارتفاع ریختن مذاب را بر سرعت پیر شدن قالب محاسبه کرد. در شکل زیر مقدار بار خروجی از پاتیل باریز باید معادل مقدار مذاب خروجی از انتهای راهگاه باریز باشد براساس قانون تریچلی:

$$V_o = \sqrt{2gh_r} \rightarrow V_o = \sqrt{2g} \times \sqrt{h_r}$$

V_o سرعت خروج مذاب از انتهای راهگاه باریز است و مقدار خروج مایع از سطح مقطع A_2 برابر است با:

$$Q_o = V_o A_o = \sqrt{2g} \sqrt{h_r} \times A_o$$

فصل اول: آلیاژسازی آلومینیوم



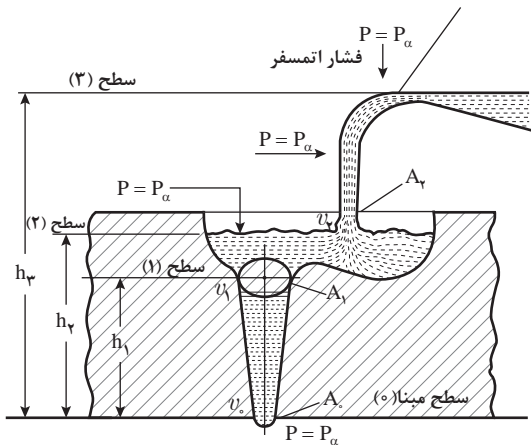
در نتیجه برای آنکه مقدار h_p ثابت بماند لازم است همواره سیستم راهگاهی از مذاب پر نگه داشته شود در این صورت دبی در تمام سطوح مقاطع یکسان خواهد بود.

$$Q_1 = Q_p = V_p A_p = \sqrt{2g} \times \sqrt{h_p - h_p} \times A_p$$

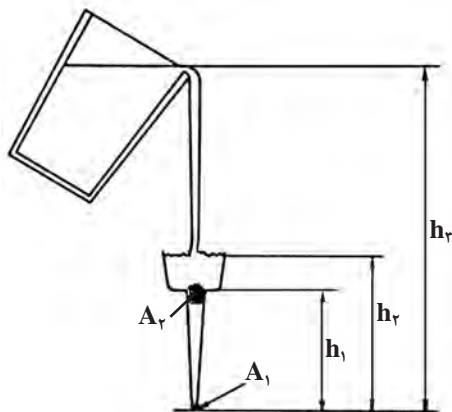
Q_p و V_p به ترتیب دبی جریان و سرعت جریان ورودی به حوضچه هستند. از رابطه اخیر می توان نتیجه گرفت:

$$A_p = A_1 \sqrt{\frac{h_p}{h_p - h_p}}$$

که در آن مقدار $h_p - h_p$ فاصله بین دهانه پاتیل تا سطح فوقانی حوضچه می باشد.



باید توجه کرد که فشار در تمام سطوح مساوی و برابر فشار اتمسفر است. ریختن مذاب از پاتیل به داخل حوضچه باعث افزایش موضعی فشار در حوضچه می‌گردد که به نوبه خود حرکت مذاب را به صورت اغتشاشی درمی‌آورد (هرچه فاصله بین محل ریزش مذاب و سوراخ کف حوضچه بیشتر باشد این اغتشاش کمتر شده و مذاب آرام‌تر حرکت می‌کند) این حرکت ناآرام تلف‌کننده انرژی است و اتلاف انرژی را می‌توان با افزایش مقدار کمی به h_p جبران کرد. (با بالا بردن پاتیل مذاب) افزایش موضعی فشار در حوضچه روی مقدار مذاب خروجی از قسمت تحتانی راهگاه (سطح مینا) تأثیری ندارد. بنابراین شخص باریز می‌تواند ریختن مذاب را به دلخواه به وسیله تغییر ارتفاع h_p یا میزان خم کردن پاتیل کنترل کند. از آنچه که در فوق گفته شد چنین استنباط می‌گردد که سرعت پر کردن قالب از مذاب مستقل از ارتفاع لبه پاتیل تا حوضچه می‌باشد لکن در خارج از حدود تعادل، یا مذاب به بیرون از حوضچه پاشیده می‌شود و یا راهگاه باریز از مذاب پر نمی‌ماند.



براساس قانون تریچلی داریم:

$$Q = v_r \times A_r$$

$$v_r = \sqrt{2g} \times \sqrt{h_p - h_r}$$

$h_p - h_r$ ارتفاع مذاب از پاتیل سطح فوقانی حوضچه باریز است در نتیجه خواهیم

$$Q_1 = Q_r = v_r A_r = \sqrt{2g} \times \sqrt{h_p - h_r} \times A_r$$

داشت:

$$Q_1 = \sqrt{2g} \times \sqrt{h_p} \times A_1 = Q_r = \sqrt{2g} \times \sqrt{h_p - h_r} \times A_r$$

$$\sqrt{h_p} \times A_1 = \sqrt{h_p - h_r} \times A_r$$

طرفین رابطه بالا را بر $\sqrt{h_3 - h_2}$ تقسیم می‌کنیم:

$$\frac{\sqrt{h_2}}{\sqrt{h_3 - h_2}} \times A_1 = \frac{\sqrt{h_3 - h_2}}{\sqrt{h_3 - h_2}} \times A_2 \rightarrow \frac{\sqrt{h_2}}{\sqrt{h_3 - h_2}} \times A_1 = A_2$$

$$A_2 = A_1 \sqrt{\frac{h_2}{h_3 - h_2}}$$

$h_3 - h_2$ فاصله بین دهانه پاتیل تا سطح فوقانی حوضچه بارریز است. پیشنهاد می‌شود هنرآموزان محترم در انتها چند مدل را به همراه محاسبات سیستم راهگاهی (با روش محاسبه و نمودگرام) قالب‌گیری و ریخته‌گری نمایند و تأثیر سیستم راهگاهی صحیح همراه با محاسبات را در تولید قطعه به صورت عملی بررسی کنند.

نمودگرام برای محاسبه سطوح سیستم راهگاهی

برای این قسمت ابتدا روش محاسبه سیستم راهگاهی را با استفاده از نمودگرام با چند مثال به هنرجویان آموزش داده و سپس اندازه سیستم راهگاهی قطعاتی که با روش قبل محاسبه کرده‌اند را با اعداد به دست آمده با نمودگرام (برای همان قطعات) مقایسه نمایند.

تغذیه‌گذاری در قطعات ریخته‌گری

هنرجویان در این قسمت با مفهوم انقباض قطعات آشنا شده و لزوم استفاده از تغذیه را در قطعات ریخته‌گری می‌آموزند. روش‌های مختلف محاسبه ابعاد تغذیه اعم از قطر، ارتفاع و حجم را برای قطعات مشخص انجام می‌دهند، و همچنین با روش مدول که زمان انجماد قطعه و تغذیه را محاسبه می‌کند آشنا شده و می‌تواند با این روش زمان انجماد قطعه ریخته‌گری را محاسبه کند و ابعاد تغذیه را به دست آورد. لذا ابتدا مطالبی را جهت یادآوری از پایه یازدهم در این رابطه بیان نموده و بعد از آموزش نحوه محاسبه ابعاد تغذیه چند مثال برای حل کردن به هنرجویان داده شود و از آنها خواسته شود فعالیت‌ها را حل کنند. سپس ابعاد تغذیه را برای چند مدل موجود در کارگاه حساب کرده عملیات ذوب و ریخته‌گری را انجام دهد همچنین می‌توان جهت مقایسه بهتر چند قطعه که دارای حفره انقباضی بوده‌اند را با قطعات سالم مقایسه کرد و نحوه به وجود آمدن حفره انقباضی را روی سطح قطعه مشاهده نمایند. البته باید تفاوت بین حفره انقباضی با حفره گازی برای هنرجویان بیان گردد تا در تشخیص نوع عیب دچار اشتباه نشوند.

بیشتر فلزات و آلیاژها در هنگام انجماد منقبض می‌شوند و کاهش حجم پیدا می‌کنند. تغییرات حجمی ناشی از انجماد برای فلزات و آلیاژهای مختلف حدود ۲ تا ۷ درصد است در نتیجه این انقباض شکل قطعه ریختگی دگرگون شده و دارای عیوب ناشی از کشیدگی و کاهش حجم می‌گردد.

در سال ۱۹۴۰ نیکلاس چورنیف ریاضی‌دان روسی اولین کسی بود که نسبت حجم به سطح را در محاسبه زمان انجماد ارائه نمود این نسبت مدول نامیده شد.

$$t_r = K \left(\frac{V}{A} \right)^n$$

در این رابطه n ضریب ثابتی است که بین ۲-۱/۵ متغیر است که معمولاً آن را ۲ در نظر می‌گیرند.

t = زمان انجماد بر حسب دقیقه

K = ضریب قالب که بستگی به جنس مذاب، دانسیته مذاب، ظرفیت گرمایی مذاب، گرمای نهان ذوب فلز، فوق ذوب فلز مذاب، دمای اولیه قالب، ضریب هدایت حرارتی قالب، دانسیته قالب و ضخامت دیواره قالب دارد.

V = حجم قطعه یا تغذیه بر حسب cm^3

A = سطح تماس ماسه با قالب یا تغذیه بر حسب cm^2

مقدار k از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$K = \left(\frac{\rho_m L}{T_m - T_0} \right)^2 \left(\frac{\pi}{4k\rho_c} \right) \left(1 + \left(\frac{C_m \Delta T_s}{L} \right)^2 \right)$$

ρ_m چگالی فلز مذاب، L گرمای نهان ذوب، T_m نقطه ذوب یا نقطه انجماد، T_0 دمای اولیه مذاب، C_m گرمای ویژه فلز، ρ_c چگالی قالب، ΔT_s فوق ذوب $(T_{\text{pour}} - T_{\text{melt}})$

یک راه محاسبه حداقل اندازه تغذیه رابطه چورنیف است اما باید زمان انجماد تغذیه طولانی‌تر از زمان انجماد قطعه باشد در بیشتر محاسبات معمولاً زمان انجماد تغذیه را ۲۵٪ طولانی‌تر از زمان انجماد قطعه در نظر می‌گیرند.

$$t_{\text{riser}} = 1/25 t_{\text{casting}} \rightarrow \left(\frac{V}{A} \right)_{\text{riser}}^n = 1/25 \left(\frac{V}{A} \right)_{\text{casting}}^n$$

نسبت حجم به سطح ریختگی اعم از قطعه یا تغذیه که در رابطه فوق با $\frac{V}{A}$ نشان داده شده را مدول قطعه یا مدول تغذیه گویند و با علامت M نمایش می‌دهند.

$$\Rightarrow \frac{t_r}{t_c} = \frac{k_r (M_r)^2}{k_c (M_c)^2} \Rightarrow \frac{t_r}{t_c} = \frac{k_r \left(\frac{V_r}{A_r} \right)^2}{k_c \left(\frac{V_c}{A_c} \right)^2}$$

از آنجایی که جنس مذاب، قطعه و تغذیه یکسان است بنابراین $K_r = K_c$

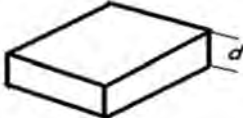
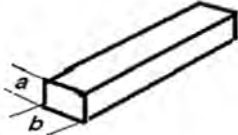
$$\Rightarrow \frac{t_r}{t_c} = \left(\frac{M_r}{M_c}\right)^2 \Rightarrow \frac{t_r}{t_c} = \frac{M_r^2}{M_c^2}$$

با افزایش مدول حرارتی، زمان انجماد نیز افزایش می‌یابد لذا برای عملکرد درست یک تغذیه مدول حرارتی آن باید از مدول حرارتی قطعه بزرگ‌تر باشد. در محاسبات عملی، با احتساب نسبت زمان انجماد در تغذیه به قطعه (قالب) و یا احتساب مدول آنها به راحتی حجم تغذیه را محاسبه می‌کنند. در محاسبات مقدماتی معمولاً نسبت t_r به t_c را حدود ۱/۵ در نظر می‌گیرند تا تأخیر در انجماد تغذیه، نسبت به قطعه مشخص باشد.

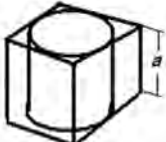
برای فولادها و آلیاژهای با انجماد پوسته‌ای، معمولاً اگر $M_r = 1/2 M_c$ باشد مذاب‌رسانی با موفقیت انجام می‌شود. برای دیگر آلیاژها معمولاً این نسبت بین ۱/۲ تا ۱/۵ متغیر می‌باشد.


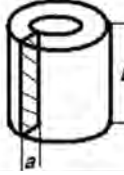
به منظور سرعت بخشیدن به عملیات محاسباتی در مورد برخی شکل‌ها می‌توان بدون محاسبه واقعی، سطح و حجم مقدار مدول را محاسبه نمود.

جدول ۴- روابط مدول ساده‌ترین اشکال هندسی

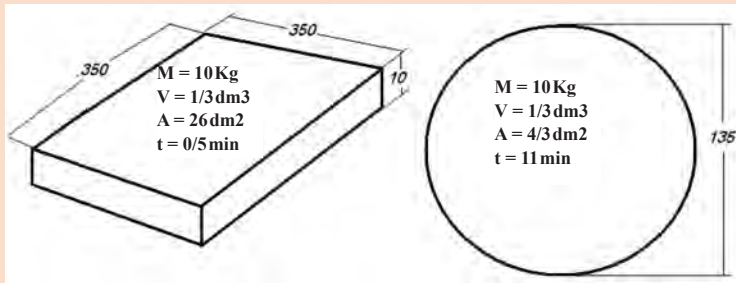
	صفحه با ابعاد نامحدود	$M_c = d/2$
	میله با طول نامحدود	$M_c = ab/2(a+b)$

* منظور از صفحه با ابعاد نامحدود و میله با طول نامحدود قطعاتی هستند که از طرف سطوح نامحدود آنها انتقال حرارت صورت نمی‌گیرد و لذا این سطوح در محاسبه مدول آنها دخالت نمی‌کنند.

	مکعبی با ابعاد a استوانه محاط در مکعبی با ابعاد a کره محاط در مکعبی با ابعاد a	$M_c = a/6$
---	--	-------------

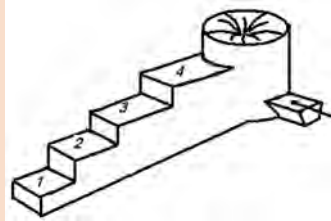
		$M_c = rh/\sqrt{r+h}$
		$M_c = ab/\sqrt{a+b}$

برای ساده و سریع تر شدن روش مدول برخی از شکل‌های مهم و متداول منابع تغذیه مورد محاسبه قرار گرفته و مدول تغذیه برحسب ابعاد مختلف آنها داده شده است که جداول مربوط به اشکال مختلف در کتاب همراه هنرجو آورده شده است. اگر ده کیلوگرم مذاب، نخست به صورت کره‌ای و سپس به شکل صفحه نازکی ریخته شود، صفحه سریع‌تر از کره منجمد خواهد شد، علت کوتاه‌تر بودن زمان انجماد صفحه به خاطر این است که گرمای موجود در ده کیلو مذاب از سطح بزرگ‌تری در آن خارج می‌شود. یعنی هرچه سطح دفع گرما در یک حجم مشخص بزرگ‌تر باشد انجماد سریع‌تر صورت می‌گیرد.

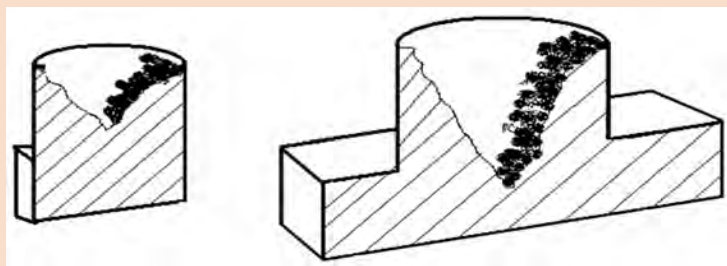


مقایسه رفتار انجماد یک کره فولادی با صفحه‌ای فولادی با همان وزن حال یک قطعه پله‌ای را در نظر بگیرید نخست نازک‌ترین قسمت پله منجمد می‌شود زیرا مدول آن کمتر از پله بعدی است، پله ضخیم‌تر (یعنی دومین پله) مانند تغذیه‌ای برای پله نازک‌تر عمل کرده و به آن مذاب‌رسانی می‌کند. پله دوم نیز به نوبه خود توسط پله سوم تغذیه می‌شود و به همین ترتیب ادامه می‌یابد. مقدار مذاب لازم برای پله آخر از تغذیه تأمین می‌شود. در نتیجه مذاب مورد نیاز برای جبران حفره‌های انقباضی در کل قطعه پله‌ای شکل از طریق

پله‌های منفرد به توسط تغذیه تأمین می‌گردد.



نکته مهمی که باید در هنگام استفاده از روش مدول بدان توجه نمود این است که در مورد قطعات نازک، تغذیه پیشنهادی بر اساس رابطه چورنیف بسیار کوچک است و در عمل نمی‌توان قطعه را به‌خوبی مذاب‌رسانی نماید این موضوع از این حقیقت سرچشمه می‌گیرد که در رابطه چورنیف مقدار انقباض حاصل از انجماد قطعه که به حجم قطعه مربوط است در محاسبات دخالت داده نشده است. برای اینکه مشخص شود دو قطعه مکعبی با ابعاد متفاوت، با توجه به رابطه چورنیف نیاز به تغذیه‌های متفاوت دارند مثالی در این رابطه زده می‌شود. محاسبات نشان می‌دهند که حجم تغذیه برای دو مکعب یکی با ابعاد $10 \times 10 \times 10$ و دیگری با ابعاد $20 \times 20 \times 5$ مناسب است اما در عمل این اتفاق نمی‌افتد. در عمل هنگامی که از تغذیه فوق برای دو مکعب استفاده می‌شود انتظار می‌رود که برای هر دو قطعه تغذیه مناسبی باشد ولی با توجه به شکل زیر تغذیه انتخاب شده برای مکعب مستطیل مناسب نیست و حفره انقباضی به داخل قطعه امتداد می‌یابد.



جهت درک بهتر هنرجویان، که چرا یک تغذیه برای مکعب مستطیل مناسب نیست و کم است همکاران محترم باید اصطلاحاتی از جمله برد قالب - برد تغذیه - میرد - مواد عایق - مواد گرمازا را برای هنرجویان توضیح دهند. جهت کسب اطلاعات بیشتر همکاران محترم می‌توانند به کتاب اصول متالورژی سال سوم هنرستان چاپ سال ۱۳۷۹ به بعد مراجعه کنند.

فاصله مذاب‌رسانی

به حداکثر فاصله‌ای که تغذیه می‌تواند عمل مذاب‌رسانی به قطعه را به خوبی انجام دهد فاصله مذاب‌رسانی گفته می‌شود. با توجه به تعریف فوق می‌توان با کمک فاصله مذاب‌رسانی، تعداد تغذیه‌های لازم را برای یک قطعه مشخص نمود که برای این منظور لازم است عوامل مؤثر در فاصله مذاب‌رسانی را مورد بررسی قرار داد این عوامل عبارت‌اند از:

الف) تأثیر تغذیه که از آن به‌عنوان برد تغذیه یاد می‌شود.

ب) تأثیر قالب که تحت عنوان برد قالب نام برده می‌شود.

فاصله مذاب‌رسانی در حقیقت مجموع دو عامل فوق می‌باشد.

الف) برد تغذیه

فاصله‌ای است که تغذیه با توجه به شکل و نوع آلیاژ می‌تواند عمل مذاب‌رسانی را انجام دهد. استفاده از مواد عایق و گرمازا در منبع تغذیه به منظور طولانی‌تر نمودن زمان انجماد تغذیه می‌تواند در افزایش برد تغذیه مؤثر باشد.

ب) برد قالب

حداکثر فاصله‌ای است که قالب می‌تواند در جهت‌دار کردن انجماد تأثیر گذاشته و فاصله مذاب‌رسانی را افزایش دهد. با افزایش قابلیت سردکنندگی قالب، برد قالب به‌طور محسوسی افزایش می‌یابد. بنابراین استفاده از مبرد در افزایش برد قالب و نهایتاً فاصله مذاب‌رسانی بسیار مؤثر است.

شکل و ضخامت دیواره قالب، اثر در برد قالب دارد. شکل‌های پیچیده و با سطح مقطع غیریکنواخت نیاز به تعداد تغذیه‌های بیشتری دارند.

پس از توضیحات به هر یک از هنرجویان در کارگاه یک مدل داده شود تا به‌طور انفرادی تغذیه و سیستم راهگامی را حساب کنند و بعد از قالب‌گیری به همراه تغذیه ریخته‌گری نمایند در پایان قطعات از سیستم راهگامی و تغذیه جدا گردند و عیوب احتمالی قطعات بررسی گردد تا در مراحل بعدی اصلاح گردند.

محاسبه حجم تغذیه با استفاده از روش کاین

اساس تئوریک روش‌هایی که تاکنون مورد مطالعه قرار گرفته‌اند بر این اصل استوار بود که تغذیه باید دارای زمان انجماد به مراتب بیشتری از زمان انجماد قطعه باشد تا بتواند کمبود مذاب قطعه را که در اثر انجماد حاصل می‌شود به‌طور کامل جبران کند. بنابراین در صورت وجود رابطه‌ای بین زمان‌های انجماد تغذیه، قطعه و ابعاد آنها به راحتی می‌توان ابعاد تغذیه را از روی ابعاد قطعه محاسبه نمود.

بدین ترتیب روش‌های مختلفی طرح و پیشنهاد گردید که می‌توان آنها را براساس نام بنیان‌گذارانشان چنین تقسیم‌بندی نمود.

۱ روش چورنیف (کاوارینف) N.Chvorinov

۲ روش کاین J.B.Caine

۳ روش بیشاپ Bishop

۴ روش نامور R.Namur

اساس محاسبه ابعاد تغذیه به روش چورنیف که در قسمت‌های قبلی آورده شده است بر ارتباط مناسب بین مدول قطعه M_c و مدول تغذیه M_r و حجم قطعه نهاده شده بود به‌طوری که $M_r = f M_c$ باشد. با انتخاب $f > 1$ مدول اولیه تغذیه کمی بزرگ‌تر از مدول قطعه بوده تا با کاهش تدریجی آن در آخر انجماد بتواند برابر مدول قطعه گردد. لذا با داشتن مدول قطعه و انتخاب مقدار f (تقریباً $f = 1/2$) مدول تغذیه محاسبه شده و از این طریق ابعاد آن نیز مشخص می‌گردد.

به‌طور کلی این روش (چورنیف) مستقل از شکل قطعه، حفره انقباضی ایجاد شده در تغذیه به‌صورت سهمی و حداکثر حجم آن نسبت به حجم تغذیه برای تغذیه‌های استوانه‌ای و کروی به ترتیب ۱۴٪ و ۲۰٪ فرض گردیده بود. در روش چورنیف عمدتاً مدول قطعه (M_c) در محاسبه تغذیه مناسب شرکت داشته و شکل قطعات به‌طور دقیقی در محاسبات مربوطه دخالتی ندارند.

کاین در بررسی دقیقی برای تأثیر شکل قطعه بر محاسبه ابعاد تغذیه دو نسبت را به‌عنوان انعکاس هرچه بیشتر قطعه و تغذیه به‌صورت زیر تعریف نمود.

$$X = \frac{M_r}{M_c} \Rightarrow X = \frac{\text{مدول تغذیه}}{\text{مدول قطعه}} = \text{نسبت سرد شدن}$$

$$Y = \frac{V_r}{V_c} \Rightarrow Y = \frac{\text{حجم تغذیه}}{\text{حجم قطعه}} = \text{نسبت حجمی}$$

در روش چورنیف برای یک تغذیه باز استوانه‌ای حداقل مقادیر X و Y به قرار زیر است.

$$X = \frac{M_r}{M_c} = f > 1/2$$

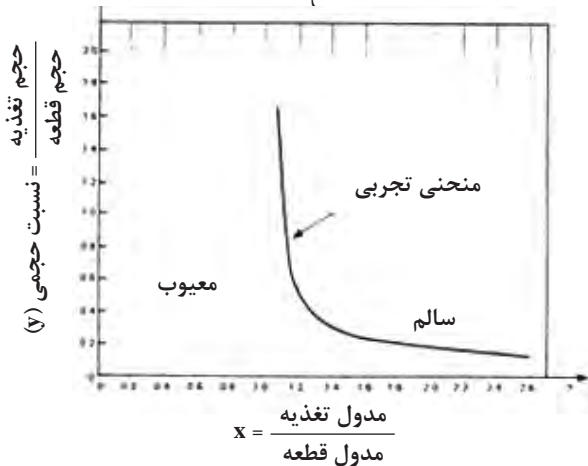
طبق این روش اگر حداکثر حجم قابل تغذیه شدن قطعه V_c و حجم تغذیه استوانه‌ای باز مربوطه V_r و ضریب انقباض حجمی فولاد $\beta = 5\%$ و حجم حفره انقباضی نسبت به تغذیه برابر 14% باشند خواهیم داشت.

$$V_c = V_r \frac{14 - \beta}{\beta}$$

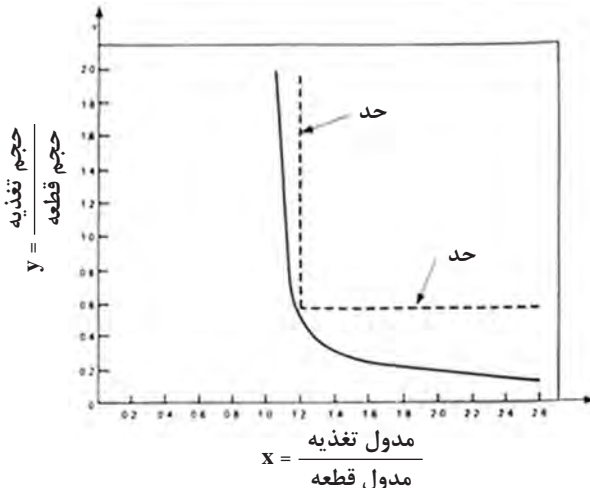
$$\frac{V_r}{V_c} = \frac{\beta}{14 - \beta} = \frac{5}{14 - 5} = \frac{5}{9}$$

$$Y = \frac{V_r}{V_c} > \frac{5}{9}$$

لذا در روش چورنیف انتخاب درست تغذیه ایجاب می‌کند که تغییرات Y نسبت به تغییرات X همواره در محدوده $X > 1/2$ و $Y > 5/9$ قرار بگیرد.



کاین ارتباط واقعی نسبت سرد شدن X و نسبت حجمی Y قطعه و تغذیه استوانه‌ای باز را با انجام آزمایشات متعدد روی قطعات مختلف نازک و ضخیم به صورت زیر ارائه کرد.



نمودار خط چین در شکل صفحه قبل براساس روش چورنیف رسم شده و اختلاف آن را با منحنی تجربی کاین نشان می‌دهد. کاین در این آزمایشات متوجه شد که برای قطعات نازک‌تر کارایی تغذیه بیشتر بوده، به طوری که با افزایش نسبت سرد شدن ($X = \frac{M_r}{M_c} = f$) نسبت حجمی تغذیه به قطعه کاهش یافته و در نتیجه توسط تغذیه کوچک‌تری در قطعات نازک نسبت به قطعات ضخیم می‌توان حجم

معینی را تغذیه نمود. در این شرایط راندمان ریختگی نیز افزایش خواهد یافت. به‌طور کلی کاین نتایج آزمایشات خود را به‌صورت رابطه زیر نشان داده است.

$$X = \frac{a}{Y-b} + c$$

که X و Y به ترتیب نسبت‌های سرد شدن و حجمی بوده و a , b , c مقادیر ثابت تجربی هستند. تجربیات کاین اساس روش‌های جدیدی در محاسبه ابعاد تغذیه گردید که توسط افراد دیگری ادامه یافت. عمدتاً این روش‌ها به روابط ریاضی پیچیده منتهی می‌شوند که ضرورت به‌کارگیری کامپیوتر را ایجاب می‌کنند. در اینجا تمام روش‌های ارائه شده براساس تجربیات کاین که به تغییرات کارایی تغذیه نسبت به شکل قطعات مختلف توجه کرده‌اند تحت عنوان روش کاین نامیده شده‌اند.

در زیر چگونگی محاسبات انجام شده برای محاسبه قطر تغذیه D برحسب مدول قطعه M_c و حجم قابل تغذیه قطعه یا بخشی از آن V_c با توجه به شکل قطعه ملاحظه می‌گردد که به یک معادله درجه سه منتهی شده است. البته در این محاسبات تغذیه به‌صورت باز و استوانه‌ای در نظر گرفته شده به طوری که قطر و ارتفاع آن مساوی باشند $H=D$

همان‌طور که در مورد زمان انجماد قطعه و تغذیه مربوط به آن در بخش‌های قبلی آمده است اگر تغذیه قبل از قطعه به انجماد کامل برسد، قطعه با کمبود مذاب مواجه شده و معیوب خواهد شد و برعکس وجود مذاب در تغذیه پس از انجماد کامل قطعه نیز ضرورتی نخواهد داشت و لذا بهترین حالت زمانی است که تغذیه و قطعه با هم به پایان انجماد برسند و به عبارت دیگر باید زمان انجماد قطعه و تغذیه یکسان باشد.

طبق قانون چورنیف زمان انجماد از رابطه زیر محاسبه می‌شود

$$t = k \left(\frac{V}{A} \right)^n$$

چون در خلال انجماد مقداری از مذاب تغذیه به قطعه منتقل شده و مقدار دیگری از آن صرف جبران انقباض در انجماد خود تغذیه می‌شود لذا زمان انجماد تغذیه برای ریخته‌گری یک صفحه خواهد شد.

$$t_r = k_r \left[\frac{V_r - \beta(V_c - V_r)}{A_r} \right]^{n_r} \Rightarrow k_r \left[\frac{V_r(1-\beta) - \beta V_c}{A_r} \right]^{n_r}$$

مقداری از مذاب تغذیه در طول انجماد به مذاب قطعه اضافه می شود و در حقیقت می توان قطعه را با حجم بیشتر ولی با سطح سردشونده اولیه تصور کرد در نتیجه زمان انجماد آن خواهد شد.

$$t_c = k_c \left[\frac{V_c + \beta V_c}{A_c} \right]^{n_c} \Rightarrow k_c \left[\frac{V_c(1+\beta)}{A_c} \right]^{n_c}$$

در روابط بالا β درصد انقباض حجمی فولاد در خلال انجماد می باشد با مساوی قرار دادن زمان های انجماد قطعه و تغذیه خواهیم داشت.

$$K_r \left[\frac{V_r(1-\beta) - \beta V_c}{A_r} \right]^{n_r} = K_c \left[\frac{V_c(1+\beta)}{A_c} \right]^{n_c}$$

با فرض اینکه $K_r = K_c$ و نسبت $\frac{n_c}{n_r}$ برابر مقدار ثابتی چون α باشد داریم.

$$\left[\frac{V_r(1-\beta) - \beta V_c}{A_r} \right] = \left[\frac{V_c(1+\beta)}{A_c} \right]^\alpha$$

$$M_r(1-\beta) - \beta \frac{V_c}{A_c} = (M_c)^\alpha (1+\beta)^\alpha$$

در صورتی که تغذیه را استوانه بازروی با مشخصات $H=D$ در نظر بگیریم یک سطح تغذیه در محل اتصال به قطعه به عنوان سطح سردشونده محسوب نمی شود لذا مدول آن خواهد شد.

$$M_r = \frac{\pi \frac{D^r}{4} \times D}{\pi \frac{D^r}{4} + \pi D \times D} \Rightarrow M_r = \frac{\pi \frac{D^r}{4}}{\pi \frac{D^r}{4} + \pi D^2} \Rightarrow M_r = \frac{D}{\delta}$$

در نتیجه رابطه بالا خواهد شد.

$$\frac{D}{\delta}(1-\beta) - \beta \frac{V_c}{\pi \frac{D^r}{4} + \pi D^2} = (M_c)^\alpha (1+\beta)^\alpha$$

$$D^r - \delta D^2 \times (M_c)^\alpha \times \frac{(1+\beta)^\alpha}{1-\beta} - \frac{4}{\pi} \times \frac{\beta}{1-\beta} \times V_c = 0$$

α به صورت تجربی با توجه به شکل قطعه و تغذیه و نوع آلیاژ تعیین می گردد (مثلاً مقدار n در رابطه چورنیف را برحسب شکل قطعه و نوع آلیاژ ریختگی برای فولاد کربنی و قطعه صفحه ای شکل برابر ۲ در نظر می گیرند) و با مشخص بودن درصد انقباض فولاد β و همچنین حجم و مدول قطعه V_c و V_r قطر تغذیه باز استوانه ای D از رابطه بالا قابل محاسبه خواهد بود. باید توجه نمود که V_c برابر حجم قابل تغذیه

شدن قطعه می‌باشد و با توجه به شکل قطعه و منطقه اثر یک تغذیه باید محاسبه گردد. این روابط تنها برای تغذیه‌های باز استوانه‌ای با نسبت $H=D$ صادق است، در صورتی که انواع دیگر تغذیه‌ها مورد نظر باشد، باید در محاسبات قبلی مقادیر V_r و M_r مربوط به این نوع تغذیه‌ها را منظور نمود و در نتیجه به جای معادله درجه سه قبلی معادله دیگری حاصل خواهد شد.

محاسبه ابعاد تغذیه با روش بیشاپ Bishop

علت ارائه این روش مشکلاتی بود که در محاسبه مدول قطعات پیچیده در روش کلاسیک چورنیف به وجود می‌آمد لذا در روش بیشاپ به جای مدول $M = \frac{V}{A}$ ضریب دیگری به نام ضریب شکل جایگزین گردید که با حجم قطعه و تغذیه ارتباط پیدا می‌کرد.

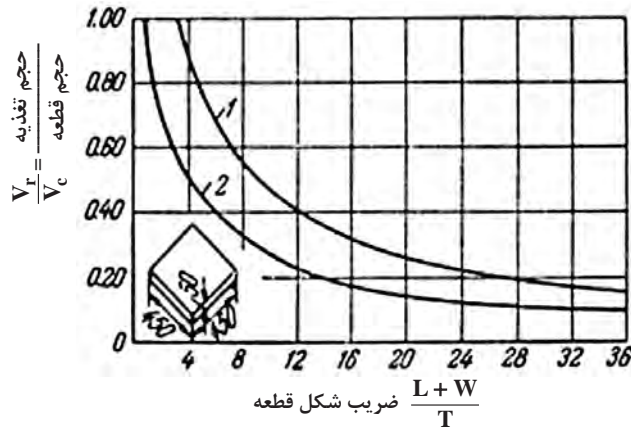
$$\frac{L+W}{T} = \text{ضریب شکل}$$

W = پهناي قطعه

L = طول قطعه

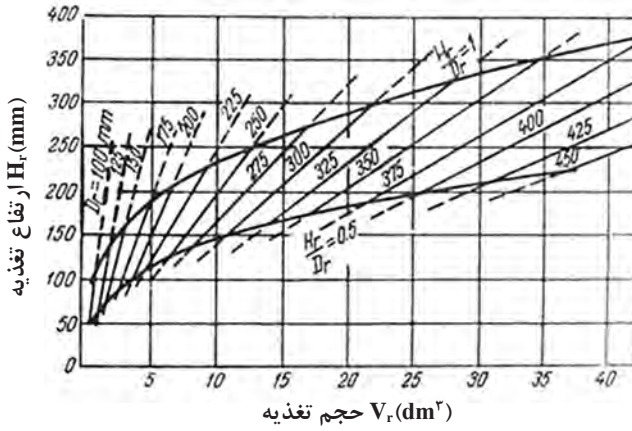
T = ضخامت قطعه می‌باشد.

شکل زیر نشان دهنده رابطه بین ضریب شکل قطعه و نسبت حجم تغذیه به حجم قطعه است.

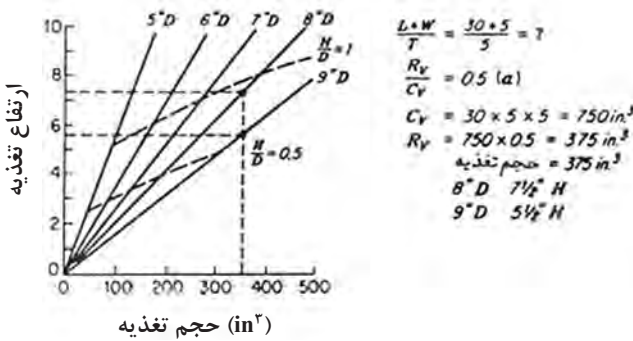


چگونگی ارتباط ضریب شکل قطعه $\left(\frac{L+W}{T}\right)$ و نسبت حجمی $\left(\frac{V_r}{V_c}\right)$

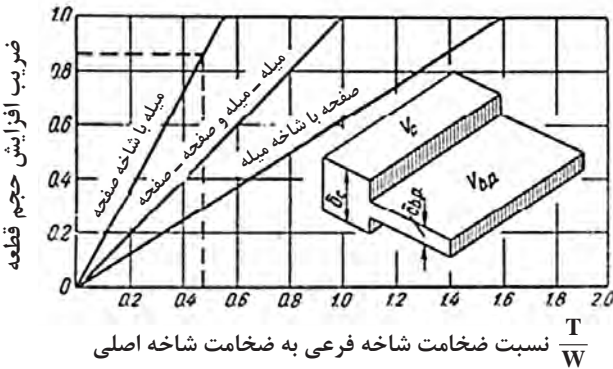
با تعیین ضریب شکل قسمتی از قطعه که نیاز به تغذیه دارد و با استفاده از منحنی بالا نسبت حجم تغذیه به حجم قطعه به دست می‌آید و با معلوم بودن حجم قطعه، حجم تغذیه و در نتیجه ابعاد آن قابل محاسبه می‌گردد.



تعیین ارتفاع تغذیه از روی حجم آن در سیستم متریک



تعیین ارتفاع تغذیه از روی حجم آن در سیستم اینچی



تعیین ضریب افزایش حجم قطعه

محاسبه ابعاد تغذیه به روش نامور R.Namur

در این روش حجم تغذیه V_r از معادله زیر به دست می آید:

$$V_r = AR_c^r + \alpha V_c$$

که $A = \frac{V_c}{R_r^3}$ به عنوان ضریب شکل تغذیه، که R_r ضخامت تغذیه، RC ضخامت قطعه در نقطه اتصال به تغذیه و α ضریب انقباض حجمی فولاد از مایع به جامد و V_c حجم قسمتی از قطعه که از یک تغذیه استفاده می کند می باشد با داشتن حجم تغذیه و انتخاب شکل آن، ابعاد آن به راحتی قابل محاسبه هستند.

محاسبه ترکیب آلیاژ

برای تدریس این قسمت بهتر است که ابتدا شمش خالص آلومینیوم، انواع هاردنرهای آلومینیوم-سیلیسیم، آلومینیوم-مس همچنین چند قطعه برگشتی از کارگاه به همراه قراضه به هنرجویان نشان داده شود و سپس در مورد هر کدام و مشخصاتشان از آنها سؤالاتی پرسیده شود و در صورت نیاز آنها را راهنمایی کرده و در نهایت نقش هر کدام در شارژ کوره بیان شود. لذا از هنرجویان خواسته شود در صورت امکان قطعاتی از جنس فلزات خالص را نام ببرند و علت خالص بودن آنها را شرح دهند سپس به تعریف آلیاژ و علت ترکیب کردن فلزات با یکدیگر پرداخته شود.

دانش افزایی

فلزات خالص در صنعت تعدادشان محدود است و بنابراین خواص و کاربرد آنها نیز محدود است. از فلزات خالص به جز در موارد به خصوصی نمی توان استفاده نمود (مانند خاصیت حرارتی بالا - خاصیت الکتریکی بالا - تغییر شکل و...) لذا برای بهبود مشخصات و ایجاد تغییرات مناسب در آنها عناصری به فلز خالص اضافه می شود. این اضافه کردن عناصر به فلز خالص یا به طور کلی آلیاژسازی باعث می شود که استحکام فلز خالص افزایش یابد. بنابراین آلیاژ عبارت است از ترکیب یا محلول یا کریستال های مخلوط دو یا چند عنصر که یکی از آنها فلز بوده یا کلاً خاصیت فلزی داشته باشد. به عناصری که این آلیاژ را تشکیل می دهند اجزای آلیاژ گفته می شود. اگر سیستمی از دو جزء تشکیل شده باشد مجموعه ای از ترکیبات متفاوت این دو جزء پدیدآورنده یک سیستم آلیاژی دوتایی است. حال اگر یک سیستم آلیاژی سه جزئی تشکیل شود یک سیستم آلیاژی سه تایی نامیده می شود. مثلاً مس-روی (برنج) از دو جزء تشکیل شده و مس-روی-سرب از سه جزء و مس-روی-سرب-قلع از چهار و... . اگر تنها ۴۵ عنصر معروف فلزات در نظر گرفته شوند با آنها می توان ۹۹۰ سیستم دوتایی پدید آورد و ترکیب سه تایی آنها بیش از ۱۴۰۰۰ سیستم سه تایی خواهد بود. در یک سیستم دوتایی تنها با تغییر ترکیب دو جزء به میزان یک درصد ۱۰۰ آلیاژ گوناگون پدید می آیند. از آنجایی که اغلب آلیاژهای صنعتی حاوی

چند جزء (عنصر یا ترکیب) هستند روشن است که تعداد آلیاژهای امکان پذیر به بی نهایت خواهد رسید.

در ساخت آلیاژها فلزی که درصد بیشتری را تشکیل می دهد عنصر پایه و بقیه عناصر را آلیاژی گویند.

ترکیب: اغلب ترکیبات شیمیایی از عناصری تشکیل می شوند که دارای ظرفیت های منفی و مثبت هستند، انواع مختلف اتم ها به نسبت های مشخصی با هم ترکیب می شوند و در کنار هم قرار گیرند که با فرمول شیمیایی نشان داده می شوند از نمونه های معروف NaCl و H_2O و... که در فرمول آب دو اتم هیدروژن با یک اتم اکسیژن ترکیب شده. اتم ها با هم ترکیب شده و مولکول را بوجود می آورند که کوچک ترین واحدی است که خواص یک ترکیب شیمیایی را دارد، در ترکیب ها اتم ها در محل های معینی قرار می گیرند.

محلول: اکثر فلزات در حالت مذاب با هم تشکیل محلول های مذاب همگنی را می دهند، در تبدیل آنها به یک حالت کریستالی جامد، همگنی بسیاری از آلیاژها حفظ می شود در نتیجه قابلیت آنها نیز حفظ می شود. فازهای جامدی که در آنها نسبت اجزاء می توانند بدون تخلف از یکنواختی تغییر کنند را محلول جامد گویند. در محلول جامد انواع مختلف اتم های اجزای موجود در آلیاژ یک شبکه کریستالی مشترک را تشکیل می دهند. عنصری که شبکه کریستالی اش حفظ شود حلال و عنصری که شبکه کریستالی آن از بین برود محلول نامیده می شود. **کریستال مخلوط:** بسیاری از فلزات دارای خاصیتی می باشند که می توانند، اتم های فلزات دیگر را تحت شرایطی در شبکه خود جای دهند، بدین ترتیب مخلوطی بسیار ظریف از هر دو نوع اتم در یک شبکه کریستالی بوجود می آید که به کریستال مخلوط معروف است. این کریستال مخلوط دارای شبکه کریستالی فلزات اصلی می باشد و با حروف یونانی α ، β ، γ و... نشان داده می شوند. مثلاً آلیاژ برنج (مس-روی) یک محلول است ولی نمک طعام یک ترکیب است، فاز α (فریت) در فولادها یک کریستال مخلوط است.

جدول ۵- خصوصیات فلزی که توسط آلیاژسازی تحت تأثیر قرار می گیرند

خواص مکانیکی	خواص فزاینده	خواص کاری	خواص فیزیکی
استحکام در دمای بالا	قابلیت ریخته گری	مقاومت حرارتی	مدول الاستیسیته
سختی پذیری	قابلیت جوشکاری (لحیم کاری)	تافنس و مقاومت سرمایی	دانسیته
مقاومت خستگی	قابلیت شکل پذیری	مقاومت خوردگی	خواص مغناطیسی
مقاومت خزشی	قابلیت ماشین کاری	سختی و مقاومت به سایش	خواص الکتریکی
		مقاومت اکسیداسیون	انبساط حرارتی
			رنگ

در متالورژی تعیین درصد عناصر یا مواد تشکیل دهنده و یا انطباق بعضی از خواص اجسام با نسبت اتم‌های متشکل آن لازم به نظر می‌رسد. در عمل همواره مقدار کل و مجموعه اتم‌ها یا مواد را با عدد ۱۰۰ نشان می‌دهند. بنابراین محاسبه عناصر متشکله به صورت دو درصد اتمی و وزنی بوده که درصد وزنی از آنجایی که با وزن کردن مواد با ترازو راحت‌تر است معمول‌تر می‌باشد و از درصد اتمی کمتر استفاده می‌شود.

بنابراین یکی از مهم‌ترین مسائلی که در تهیه قطعات ریختگی همواره مورد توجه است تعیین ترکیب آلیاژ می‌باشد. مهم‌تر آنکه در تهیه آلیاژ و ساخت قطعات باید به مشخصات اقتصادی نیز توجه نمود و با استفاده حداکثر از مواد اولیه ارزان، هزینه تمام شده قطعات را حتی‌الامکان کاهش داد.

تحصیل دو عامل متالورژیکی و اقتصادی فوق، استفاده از قراضه‌ها، برگشتی‌ها و کاهش اتلافات مواد ذوب و محاسبات دقیق و کنترل شرایط ذوب را لازم می‌نماید. در تهیه آلیاژ معمولاً از دسته‌های مختلف آلیاژی استفاده می‌شود که عبارت‌اند از:

۱ شمش‌های اولیه

۲ شمش‌های ثانویه

۳ آلیاژسازها

۴ قراضه‌ها

شمش‌های اولیه

شمش‌های اولیه قطعاتی هستند که برحسب نوع فلز در وزن معین، از مواد اولیه (سنگ معدن) تهیه می‌شوند، این شمش‌ها معمولاً درجه خلوص زیادی دارند، این شمش‌ها مستقیماً از روش‌های استخراجی تهیه می‌شوند و حاوی ناخالصی‌های موجود در سنگ معدن فلز می‌باشند. در این مورد می‌توان به شمش‌های آلومینیوم، مس، روی و... اشاره کرد.

شمش‌های ثانویه

این شمش‌ها دارای ترکیب معین و مشخصی می‌باشد و از ذوب و تصفیه قراضه‌ها و یا ذوب مجدد و تصفیه و اضافه کردن مواد ترکیبی معین تولید می‌شوند، از نظر درجه خلوص با شمش‌های اولیه متفاوت می‌باشند ولی کنترل ترکیبی معین در آنها وجود دارد. این شمش‌ها با ترکیباتی معین ساخته می‌شوند که مستقیماً قابل مصرف در صنعت هستند.

آلیاژسازها

در تهیه آلیاژهای مختلف، اغلب لازم است که فلزی را به فلز دیگر افزود، افزایش

یک فلز (عنصر) به فلز دیگر اشکالاتی را پدید می‌آورد که به نقطه ذوب آنها و تفاوت فشار بخار آنها بستگی دارد.

به‌عنوان مثال چنانچه عنصری با نقطه ذوب پایین به عنصری با نقطه ذوب بالا افزوده شود و کاملاً درهم محلول باشند، هیچ‌گونه مسئله متالورژیکی پدید نمی‌آید. در حالی که اگر میزان حلالیت این دو عنصر کم باشد و یا اختلاف فشار آنها زیاد باشد امکان تبخیر و تصعید عنصر با نقطه ذوب پایین زیاد می‌شود، از طرفی در چنین حالتی تمایل عنصر با نقطه ذوب پایین به اکسیده شدن زیاد است که در نتیجه دامنه اتلافات فلزی زیاد می‌شود، علاوه بر آنچه عکس مسئله بالا باشد یعنی فلزی یا عنصری با نقطه ذوب بالا به فلزی با نقطه ذوب پایین اضافه شود امکان ذوب آن و پخش یکنواخت و محلولی آن کم است و نمی‌توان به سهولت آن را به شارژ اضافه کرد. در چنین مواردی از ترکیبات پرعیار آنها تحت نام آلیاژساز استفاده می‌شود.

بنابراین آلیاژسازها عبارت‌اند از آلیاژ دو یا چند عنصر با نسبت ترکیبی پرعیار که عموماً ارزش صنعتی و مکانیکی ندارند و فقط در مورد عملیات ذوب و افزودن عنصری به عنصر دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. از مشخصات مهم این آلیاژها آن است که:

الف) دارای نسبت ترکیبی مشخصی از حداقل دو عنصر هستند.

ب) نقطه ذوب آنها حتی‌الامکان پایین است.

ج) قابل شکستن هستند.

برای این قسمت می‌توان فعالیت خواسته شده در کتاب را طبق مراحل خواسته شده انجام دهند تا روش ساخت هاردنرها و محاسبات آنها آشنا شوند

۱) ۱۰ کیلوگرم هاردنر آلومینیوم - مس (۵۰-۵۰) را پس از محاسبات لازم

تحت نظر هنرآموز شارژ و عملیات ریخته‌گری را انجام دهید.

۲) ابتدا مس را تحت یک فلاکس پوششی مثل بوراکس، خرده شیشه، زغال چوب و... ذوب کنید.

۳) از ایجاد فوق ذوب جلوگیری نمایید.

۴) آلومینیوم را در قطعات کوچک و به دفعات ۴ تا ۵ مرتبه به مذاب مس اضافه کنید و مذاب را خوب بهم بزنید.

۵) مذاب را در قالب شمش تخلیه کنید.

نکته: برای ساخت هاردنر از شمش خالص آلومینیوم و مس استفاده نمایید. در هنگام توزین مقادیر محاسبه شده آلومینیوم و مس دقت کنید و از ترازویی با دقت بالا استفاده کنید.

قراضه‌ها

مواد غیرقابل استفاده را قراضه گویند، قراضه‌ها به دو دسته برگشتی‌ها و قراضه‌های تجاری تقسیم می‌شوند.

۱ برگشتی‌ها

۲ قراضه‌های تجاری

الف) برگشتی‌ها: در هر کارگاه ریخته‌گری، قطعات برگشتی وجود دارد که این مواد شامل قطعات معیوب، راهگاه‌ها، منابع تغذیه و... می‌باشند که از تولید قبلی به جا مانده‌اند. بنابراین برگشتی‌ها شامل قطعات اضافی است که در خود کارگاه وجود دارد و از آنجایی که در کارگاه تولید شده نسبت ترکیبی آن مشخص است.

ب) قراضه‌های تجاری: قراضه‌های تجاری عبارت از قطعات فلزی می‌باشند که قبلاً قسمتی از ماشین‌آلات یا دستگاه‌های تولیدی بوده‌اند و به دلیل شکستن، خرد شدن و... ارزش تعمیراتی ندارند و فقط به منظور ذوب مجدد از آنها استفاده می‌شود. از این رو از آنها به میزان ۳۰ تا ۷۰ درصد شارژ توصیه می‌شود، به‌طور کلی قراضه‌ها ترکیباتی مشخص ندارند و فقط از روی شکل ظاهری هر قطعه به دامنه آلیاژی آن می‌توان پی برد. در کارخانه‌های صنعتی پیشرفته ابتدا قراضه‌ها را ذوب کرده، ترکیبی از آن مشخص می‌کنند و سپس از آن استفاده می‌کنند.

عملیات کیفی مذاب

برای آموزش این قسمت ابتدا توضیحاتی در مورد عیوب ریختگی را بیان نموده و مطالبی از سال‌های قبل در این مورد یادآوری شود. سپس در مورد عیوب حفره‌های گازی و انقباضی بحث و تبادل نظر شود و به بیان تفاوت بین این دو عیب پرداخته شود و روش‌های جلوگیری از ایجاد این عیوب بررسی گردد و در نهایت فعالیت زیر را طبق مراحل خواسته شده انجام دهند و قطعات تولیدی بررسی گردد و تفاوت آنها را به عینه مشاهده نمایند.

در درجه حرارت ذوب آلومینیوم، فعل و انفعالات شیمیایی مختلف بین مواد اکسیدی و ترکیبات مختلف و آلومینیوم و مواد آلیاژی آن انجام می‌گیرد که حاصل آن به صورت مواد جامد غیرفلزی (اکسیدی) و یا حباب‌های گازی در قطعه باقی می‌ماند. اکسیژن هوا و همچنین ازت موجود در آن مهم‌ترین منشأ وجود ترکیبات غیرفلزی در مذاب آلومینیوم هستند. سوخت‌های فسیلی در درجه حرارت اشتعال به CO ، CO_2 و H_2O تجزیه می‌شوند. سایر ترکیبات سوخت مانند CH_4 ، H_2 و N_2 می‌توانند تا حدودی از شدت اکسیداسیون بکاهند ولی اغلب آنان به صورت دیگری گازهای محلول در مذاب را افزایش می‌دهند. باید توجه داشت که کلیه گازها مانند CO ، H_2O ، CO_2 و CH_4 در مذاب آلومینیوم نامحلول هستند و فقط هیدروژن در آن حل می‌گردد و CH_4 نیز در اثر تجزیه به هیدروژن و کربن تبدیل می‌شود. بخار آب از هر منبعی که حاصل شود با آلومینیوم مذاب و مواد آلیاژی آن ترکیب می‌شود که نتیجه آن علاوه بر ترکیبات اکسیدی، وجود هیدروژن به صورت اتمی می‌باشد که در مذاب حل می‌گردد. مواد نسوز مورد استفاده در صنایع آلومینیوم بیشتر از انواع گرافیت و ترکیبات سیلیسی می‌باشد تا تشکیل ترکیبات مختلف را کاهش دهد. مواد نسوز، اغلب با روش مکانیکی شکسته و به مذاب آلومینیوم افزوده می‌شود ولی در درجه حرارت‌های ذوب نیز وجود فعل و انفعالاتی امکان‌پذیر است. هیدروژن تنها گاز قابل حل در آلومینیوم مذاب است و به دلیل آنکه حلالیت آن در حالت جامد بسیار کم است، گازهای خارج شده از حلالیت به صورت حباب و تخلخل در قطعه ریخته شده خواص مکانیکی را به شدت کاهش می‌دهند. علاوه بر فعل و انفعالات فوق مواد ناخالصی و مواد غیرفلزی از طرق مکانیکی، در جریان ذوب، کاربرد وسایل ذوب، حمل و نقل، مواد قالب و... نیز به داخل مذاب رانده می‌شوند که ممکن است به همان صورت در مذاب باقی بمانند و یا تحت تأثیر یکی از فعل و انفعالات فوق، تغییرات ترکیبی آلیاژ را نیز باعث شوند.

روش‌های جلوگیری از فعل و انفعالات با مذاب

برای جلوگیری از این فعل و انفعالات باید نکاتی را رعایت کرد که عبارت‌اند از:

- ۱] جلوگیری از تلاطم مذاب
- ۲] استفاده از فلاکس‌های پوششی
- ۳] پیش گرم کردن و تمیز کردن مواد شارژ
- ۴] پیش گرم کردن بوته و نسوز
- ۵] استفاده از شعله نسبتاً اکسیدان در کوره‌های با سوخت‌های فسیلی
- ۶] استفاده از کوره‌های الکتریکی

۷ استفاده از نسوزهای مناسب برای هر آلیاژ

در ریخته‌گری آلیاژهای آلومینیوم بسیاری از عناصر به صورت‌های ناخالصی فلزی، ترکیبات بین فلزی، گازها و آخال‌ها از منابع متنوع و متعدد به مذاب افزوده می‌گردند که در صورت عدم کنترل دقیق بر آنها و یا انجام عملیات خاص جهت حذف این مواد و یا تقلیل خواص مضر آنان، آلیاژ ریخته شده از کیفیت مطلوب برخوردار نخواهد بود. وجود مواد اکسیدی، حباب‌های گازی و درشت بودن شبکه از جمله مسائلی است که در ذوب آلومینیوم همواره مورد توجه و بررسی قرار می‌گیرد. از این رو عملیات کیفی در مذاب آلومینیوم به دسته‌های مختلف تقسیم می‌گردد.

در بسیاری موارد برای جلوگیری از اکسیداسیون مواد شارژ، آنها را با فلاکس (Coveral Flux) پوشش می‌دهند. برای جلوگیری از تمام مراحل ترکیبی، بایستی آلومینیوم قبل از ریختن از نظر ترکیب شیمیایی کنترل شود و چنانچه درصد یکی از عناصر زیادتر از اندازه متعارف باشد با افزودن آلومینیوم خالص و یا آمیزان‌های مخصوص ترکیب آن را موازنه نمود. در آزمایشات کنترل ترکیبی معمولاً مذاب را در یک قالب فلزی (کتابی) ریخته و از قسمت‌ها مختلف آن نمونه‌برداری می‌کنند و همچنین آزمایشات متالوگرافی نیز می‌تواند در این امر از اهمیت خاصی برخوردار باشد.

گازهای محلول در مایع بعد از انجماد به دلیل تنش سطحی مذاب و عدم امکان خروج کامل به صورت حباب‌هایی با اندازه‌های مختلف در قطعه ریخته شده باقی می‌مانند که خواص مکانیکی و وزن مخصوص قطعه را شدیداً کاهش می‌دهند. در مورد ذوب آلیاژهای آلومینیوم، هیدروژن تنها گازی است که به صورت محلول در مایع و حباب در جامد ظاهر می‌گردد و از این رو عملیات گاززدایی (هیدروژن زدایی) در ذوب آلومینیوم و آلیاژهای آن از اهمیت خاص برخوردار است. میزان حلالیت هیدروژن در مذاب آلومینیوم به درجه حرارت و فشار خارج از مذاب (نسبت به فشار داخل مذاب) بستگی دارد و همین امر پایه و اساس گاززدایی آلومینیوم را تشکیل می‌دهد. لذا کنترل درجه حرارت برای اجتناب از جذب گاز (که بایستی حداقل ممکن باشد) اولین عاملی است که در جریان ذوب باید رعایت شود. ذوب در خلأ به دلیل عدم وجود گازهای محیطی، علاوه بر تقلیل میزان هیدروژن از شدت اکسیداسیون و امکان وجود سایر ترکیبات غیرفلزی نیز می‌کاهد. مهم‌ترین اصل در این روش تقلیل فشار خارجی است که در نتیجه حلالیت هیدروژن را به نسبت زیادی تقلیل می‌دهد. این روش در صنایع امروزه در حال توسعه است. افزودن گازهای بی‌اثر مانند ازت و آرگون باعث آن می‌گردد که فشار نسبی داخل مذاب افزایش پیدا کرده

و در نتیجه از حلالیت هیدروژن کاسته شود. ترکیب فلئوئور مضاعف سدیم سیلیسیم Na_3SiF_6 نیز که در داخل مذاب تجزیه می‌شود و گاز SiF_4 را که نسبت به مذاب آلومینیوم بی‌اثر است، تولید می‌کند نیز همان نتایج گازهای ازت و آرگون را دارد جز آنکه سدیم حاصل نمی‌تواند در آلیاژهای منیزیم‌دار به کار رود. بهترین روش مؤثر در هیدروژن‌زدایی از آلومینیوم مذاب استفاده از کلر می‌باشد. به جای استفاده از گاز کلر، اغلب ترکیبات قابل تبخیر آن و به خصوص هگزاکلرواتان C_6Cl_6 استفاده می‌شود در بسیاری موارد تتراکلر و کربن مخلوط با ازت نیز به عنوان مواد گاززدا به کار می‌رود. همچنین به دلیل سمی بودن گاز کلر در کارخانجات امروز از مخلوط ۱ به ۶ گاز ازت و کلر استفاده می‌کنند.

جوانه‌زها (Grain refiners)

جوانه‌زها ذرات جامد معلق در مایع می‌باشند که به عنوان هسته‌های غیریکنواخت در انجماد عمل می‌کنند و افزایش تعداد هسته‌ها، باعث کوچک و یکنواخت شدن شبکه‌های کریستالی آلیاژ جامد می‌گردند. مشخصات عمومی این عناصر نقطه ذوب بالا، شباهت ساختمان کریستالی و نزدیکی ابعاد سلولی به ساختمان جامد آلومینیوم و قابلیت ترشوندگی (Wettability) است. TiC که در 3250°C ذوب می‌شود و دارای ساختمان کریستالی FCC است. ضلع ثابت آن $a = 4/329$ قطر

اتمی تیتان و کربن به ترتیب برابر $2/91$ و $1/54$ آنگستروم می‌باشد و نسبت اندازه

اتمی TiC به آلومینیوم برابر $1/07 = \frac{4/329 a(\text{TiC})}{4/041 a(\text{Al})}$ می‌باشد که تغییرات

ابعادی آن $7\%+$ و دقیقاً می‌توانند به عنوان هسته غیریکنواخت در آلومینیوم مذاب حضور داشته باشند.

TiN همچنین با ساختمان نمک طعام (NaCl) و ضلع ثابت $4/23$ و نقطه ذوب 2950°C یکی دیگر از ترکیبات برای کوچک کردن دانه‌های ساختمان آلیاژهای آلومینیوم می‌باشد. ترکیبات تیتان توسط آمیزان‌های آلومینیوم، تیتانیوم و یا توسط فلاکس K_2TiF_6 به مذاب افزوده می‌گردد. زیر کنیم که همراه فلاکس K_2ZrF_6 به مذاب افزوده می‌گردد (این فلاکس خاصیت گاززدایی مهمی ندارد) در آلیاژ مذاب تبدیل به ZrC می‌گردد که در ساختمان FCC نوع نمک طعام دارای

ثابت کریستالی $a = 4/763$ آنگستروم و نسبت سلولی $1/17 = \frac{4/763}{4/041}$ می‌باشد

و خاصیت ریز کردن کمتری از TiN و TiC دارد. مهم‌ترین عنصر در ریز کردن دانه‌ها وجود تیتانیوم می‌باشد و باید توجه کرد که چنانچه مقدار تیتانیوم از حدود ۰/۲ درصد تجاوز کند بسیاری از ترکیبات بین فلزی تیتان حاصل می‌گردد که قابلیت کار مکانیکی بحرانی آلیاژ را شدیداً کاهش می‌دهند. از طرف دیگر وجود B بیش از اندازه مورد نیاز (۰/۰۳ درصد) باعث افزایش مقدار هیدروژن محلول در مذاب می‌گردد.

در ذوب مجدد آلیاژهای آلومینیوم، تیتانیوم و بُر امکان ریز کردن شبکه را ندارند و ترکیبات مختلف در مذاب بدون تأثیر خواهند بود و همچنین گاززدایی و عملیات فلاکس تأثیر ریزکننده‌ها را از بین خواهد برد. از این رو بایستی این مواد در انتهای عملیات ذوب افزوده شوند و به دلیل امکان رسوب ترکیبات زمان نگهداری مذاب بعد از عملیات ریز کردن نبایستی طولانی باشد.

در خاتمه توضیح این نکته ضروری است که ریز کردن دانه‌ها تحت تأثیر شرایط سرد کردن نیز انجام می‌گیرد و به‌خصوص در شمش‌ریزی‌های مداوم و نیمه‌مداوم به دلیل سرعت زیاد انجماد اندازه کریستال‌ها بسیار کوچک می‌باشند. از طرف دیگر ریز کردن دانه‌ها که قابلیت کار مکانیکی آلیاژ را افزایش می‌دهد بیشتر در مورد آلیاژهای نوردی مورد استفاده قرار می‌گیرد و آلیاژهای ریخته‌گری فقط در اثر شرایط خاص مشمول این عملیات می‌گردند.

آلیاژسازی

برای آموزش این قسمت می‌توان قطعاتی از جنس آلومینیوم خالص را به همراه قطعاتی از جنس آلومینیوم - سیلیسیم یا آلومینیوم - مس را به هنجرویان نشان داد سپس به بررسی خواص آنها و کاربردهای مختلف این آلیاژها در صنعت پرداخت. در نهایت می‌توان در آزمایشگاه تست‌های سختی، مقاومت به ضربه و... را انجام داد و نتایج را با هم مقایسه کرد تا علت کاربرد آلیاژها در صنعت برای هنجرویان مشخص شود. سپس روش محاسبه ترکیب شارژ و مقدار مورد نیاز از مواد شارژ را برای آنها بیان کرده و ضمن حل کردن چند مثال دیگر از هنجرویان خواسته شود تا فعالیت‌های خواسته شده در کتاب را حل نمایند و در نهایت محاسبات آنها را بررسی کرد تا فعالیت‌ها را درست انجام دهند.

آلیاژسازی را می‌توان به صورت فرایند افزودن یک یا چند عنصر به فلز پایه به منظور ایجاد تغییرات مفید در خواص فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی تعریف کرد. چنانچه یک یا چند عنصر اضافه شده به فلز پایه در اثر ترکیب با هوا، یا گازهای دیگر به سرباره منتقل نشوند و در داخل مذاب باقی بمانند عمل آلیاژسازی انجام شده است. بدیهی است که هر عنصری و به هر دلیلی که وارد مذاب شده باشد قسمتی از نسبت ترکیب آلیاژ را اشغال خواهد نمود. در آلیاژسازی سعی می‌شود تا جایی که ممکن است از داخل شدن ناخالصی‌ها و مواد ناخواسته جلوگیری به عمل آید.

مقادیر تشکیل دهنده هر آلیاژ به صورت جزء وزنی (یا اتمی) و یا درصد وزنی (یا اتمی) بیان می‌گردد.

توجه: مجموع مقادیر وزنی (یا اتمی) اجزای تشکیل دهنده یک آلیاژ در صورت بیان به صورت جزء وزنی (یا اتمی) برابر واحد و در صورت بیان به صورت درصد وزنی (یا اتمی) برابر ۱۰۰٪ است.

درصد وزنی عبارت است از نسبت وزن یک عنصر یا یک ترکیب در ۱۰۰ واحد وزن از یک ماده.

درصد اتمی عبارت است از نسبت تعداد اتم‌های یک عنصر یا یک ترکیب در ۱۰۰ واحد اتم از یک ماده.

نسبت اجزای تشکیل دهنده هر آلیاژ می‌تواند در دو مقیاس اتمی و وزنی به صورت‌های جزء اتمی یا جزء وزنی و یا درصد اتمی یا وزنی بیان شود. در بسیاری از موارد لازم است تا این دو معیار به یکدیگر تبدیل شوند. معادلات زیر روش محاسبه مقیاس‌های اتمی و وزنی و نحوه تبدیل آنها به یکدیگر برای آلیاژی متشکل از دو جزء فرضی A و B را نشان می‌دهد.

$$\text{درصد وزنی (X)} = \frac{\text{تعداد اتم‌های A}}{\text{تعداد اتم‌های A} + \text{تعداد اتم‌های B}} \times 100 \Rightarrow \frac{\text{درصد وزنی (X)}}{\text{وزن اتمی (M)}} \times 100 = \frac{\text{درصد وزنی (X)}}{\text{وزن اتمی (M)}} + \frac{\text{درصد وزنی (Y)}}{\text{وزن اتمی (N)}} \times 100$$

$$\text{درصد اتمی (Y)} = \frac{\text{تعداد اتم‌های B}}{\text{تعداد اتم‌های A} + \text{تعداد اتم‌های B}} \times 100 \Rightarrow \frac{\text{درصد اتمی (Y)}}{\text{وزن اتمی (N)}} \times 100 = \frac{\text{درصد اتمی (Y)}}{\text{وزن اتمی (N)}} + \frac{\text{درصد اتمی (X)}}{\text{وزن اتمی (M)}} \times 100$$

$$\text{درصد وزنی جزء A} = \frac{\text{وزن جزء A}}{\text{وزن جزء A} + \text{وزن جزء B}} \times 100 \Rightarrow \frac{\text{وزن اتم (M)} \times \text{درصد اتمی (X)}}{\text{وزن اتم (M)} \times \text{درصد اتمی (X)} + \text{وزن اتم (N)} \times \text{درصد اتمی (Y)}} \times 100 = \frac{\text{وزن اتم (M)} \times \text{درصد اتمی (X)}}{\text{وزن اتم (M)} \times \text{درصد اتمی (X)} + \text{وزن اتم (N)} \times \text{درصد اتمی (Y)}} \times 100$$

$$\text{درصد وزنی جزء B} = \frac{\text{وزن جزء B}}{\text{وزن جزء A} + \text{وزن جزء B}} \times 100 \Rightarrow \frac{\text{وزن اتم (N)} \times \text{درصد اتمی (Y)}}{\text{وزن اتم (M)} \times \text{درصد اتمی (X)} + \text{وزن اتم (N)} \times \text{درصد اتمی (Y)}} \times 100 = \frac{\text{وزن اتم (N)} \times \text{درصد اتمی (Y)}}{\text{وزن اتم (M)} \times \text{درصد اتمی (X)} + \text{وزن اتم (N)} \times \text{درصد اتمی (Y)}} \times 100$$

مثال های مختلف

۱ چنانچه در ۲۰ کیلو از یک آلیاژ برنز (مس - قلع) ۲ کیلو قلع وجود داشته باشد درصد وزنی هر یک از عناصر را محاسبه نمایید؟
این آلیاژ از دو جزء A مس و جزء B قلع تشکیل شده است طبق روابط بالا داریم:
وزن مس $2 - 20 = 18 \text{ kg}$

$$\text{درصد مس در آلیاژ} = \frac{18}{18+2} \times 100 = 90\% \Rightarrow \text{درصد وزنی مس} = \frac{\text{وزن جزء A}}{\text{وزن جزء A} + \text{وزن جزء B}} \times 100 = \text{درصد وزنی جزء A}$$

$$\text{درصد قلع در آلیاژ} = \frac{2}{18+2} \times 100 = 10\% \Rightarrow \text{درصد وزنی قلع} = \frac{\text{وزن جزء B}}{\text{وزن جزء A} + \text{وزن جزء B}} \times 100 = \text{درصد وزنی جزء B}$$

راه حل دوم که به صورت تناسب است (روشی که آموزش آن برای هنرجو آسان تر است پیشنهاد می گردد)

۲۰ kg	آلیاژ	۲ kg	قلع	
۱۰۰		x		$\Rightarrow \frac{x = 2 \times 100}{20} = 10\%$

۲۰ kg	آلیاژ	۱۸ kg	مس	
۱۰۰		x		$\Rightarrow \frac{x = 18 \times 100}{20} = 90\%$

۲ مطلوب است تعیین درصد اتمی اکسیژن و هیدروژن در آب خالص به فرمول شیمیایی H_2O ؟

این رابطه از دو جزء A هیدروژن و جزء B اکسیژن تشکیل شده است طبق روابط بالا داریم:

تعداد اتم های موجود در مولکول آب $2(H) + 1(O) = 3$

$$\text{درصد اتمی هیدروژن} = \frac{2}{3} \times 100 = 66.67\% \Rightarrow \text{درصد اتمی جزء A} = \frac{\text{تعداد اتم های A}}{\text{تعداد اتم های A} + \text{تعداد اتم های B}} \times 100 = \text{درصد اتمی جزء A}$$

$$\text{درصد اتمی اکسیژن} = \frac{1}{3} \times 100 = 33.33\% \Rightarrow \text{درصد اتمی جزء B} = \frac{\text{تعداد اتم های B}}{\text{تعداد اتم های A} + \text{تعداد اتم های B}} \times 100 = \text{درصد اتمی جزء B}$$

راه حل دوم که به صورت تناسب است

۳ atom	(H_2O)	۱ atom	(O)	
۱۰۰		x		$\Rightarrow \frac{1 \times 100}{3} = 33.33\%$

۳ atom	(H_2O)	۲ atom	(H)	
۱۰۰		x		$\Rightarrow \frac{2 \times 100}{3} = 66.67\%$

۳) مطلوب است تعیین درصد اتمی و درصد وزنی آهن و اکسیژن در یک ترکیب متجانس اکسیدی آن به فرمول Fe_xO_y ؟

$$M_{Fe} = 56$$

$$M_O = 16$$

تعداد اتم‌های موجود در مولکول اکسید آهن $2(Fe) + 3(O) = 5$

درصد اتمی

اتم اکسید آهن

5

اتم آهن

2

100

$$\Rightarrow \%Fe = \frac{2 \times 100}{5} = 40\%$$

درصد اتمی

اتم اکسیژن اتم اکسید آهن

$$\Rightarrow \%O = \frac{3 \times 100}{5} = 60\%$$

5

3

100

x

درصد وزنی

$$Fe_2O_3 = 2 \times 56 + 3 \times 16 = 160$$

اکسید آهن

160 gr

آهن

112 gr

100

$$x \Rightarrow \%Fe = \frac{112 \times 100}{160} = 70\%$$

اکسید آهن

160 gr

اکسیژن

48

100

$$x \Rightarrow \%O = \frac{48 \times 100}{160} = 30\%$$

۴) مقدار آلومینیوم در یک آلیاژ مس - آلومینیوم برابر ۹ درصد وزنی است تعیین کنید درصد اتمی آلومینیوم را در این آلیاژ؟

چنانچه وزن این آلیاژ ۱۰۰ گرم در نظر گرفته شود معلوم است که ۹ گرم از آن به آلومینیوم و ۹۱ گرم از آن به مس اختصاص دارد. با توجه به وزن اتمی آلومینیوم و مس که به ترتیب برابر ۲۷ و ۶۴ می‌باشد.

$$100 - 9 = 91 \text{ gr} \quad \text{وزن مس}$$

$$\%Al = \frac{\frac{A \text{ درصد وزنی } (X)}{\text{وزن اتمی } (M)}}{\frac{A \text{ درصد وزنی } (X)}{\text{وزن اتمی } (M)} + \frac{B \text{ درصد وزنی } (Y)}{\text{وزن اتمی } (N)}} \times 100 \Rightarrow \%Al = \frac{\frac{9}{27}}{\frac{9}{27} + \frac{91}{64}} \times 100$$

$$\Rightarrow \%Al = \frac{0.33}{1/42 + 0/33} \times 100 \Rightarrow \%Al = 18/85\%$$

$$\%Cu = \frac{\frac{B \text{ درصد وزنی (Y)}}{B \text{ وزن اتمی (N)}}}{\frac{A \text{ درصد وزنی (X)}}{A \text{ وزن اتمی (M)}} + \frac{B \text{ درصد وزنی (Y)}}{B \text{ وزن اتمی (N)}}} \times 100 \Rightarrow \%Cu = \frac{\frac{91}{64}}{\frac{9}{27} + \frac{91}{64}} \times 100$$

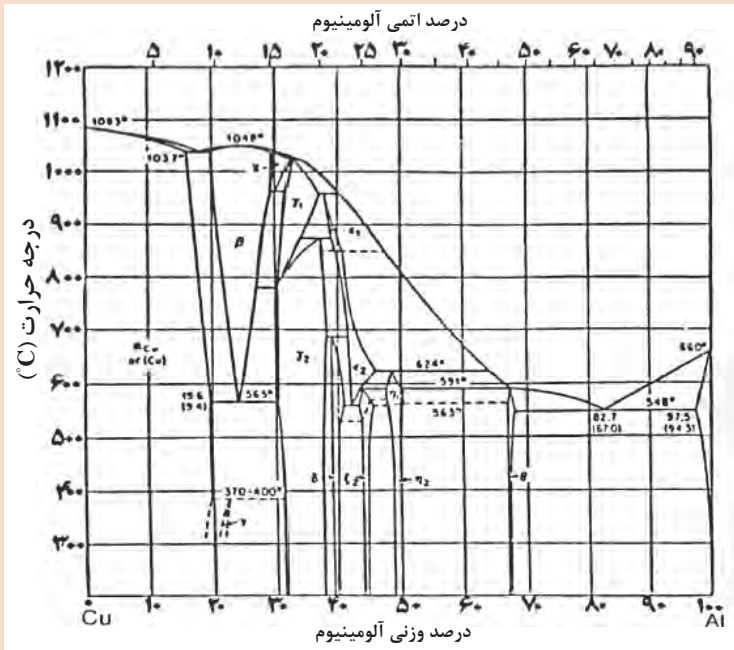
$$\Rightarrow \%Cu = \frac{1/42}{1/42 + 0/33} \times 100 \Rightarrow \%Cu = 81/15\%$$

آلومینیوم – مس

برای این قسمت ابتدا به معرفی آلیاژ آلومینیوم - مس پرداخته خصوصیات، کاربرد و روش تولید آن را بیان کرده و مسائل و نکات مربوط به محاسبات شارژ بیان شود چند مثال مختلف علاوه بر مثال کتاب حل شود و پس از تسلط هنرجویان برای حل مسائل فعالیت عملی خواسته شده را طبق مراحل انجام دهید.

تأثیر مس در آلومینیوم توسط دیاگرام تعادلی دوگانه مس - آلومینیوم در نمودار زیر نشان داده شده است. این دیاگرام نشان می‌دهد که حلالیت مس در آلومینیوم جامد با افزایش درجه حرارت از ۵/۵ درصد در درجه حرارت محیط به ۵/۶۵ درصد در دمای اوتکتیک ۵۴۸ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد. مس مازاد بر حلالیت در هر درجه حرارت در شبکه به فرمول تقریبی $CuAl$ (فاز θ) ظاهر می‌شود که سخت و شکننده است.

از این رو افزایش مس در آلومینیوم باعث افزایش درصد فاز θ و در نتیجه افزایش مقاومت و سختی آلیاژ و کاهش انعطاف‌پذیری آن می‌گردد. همچنین سیالیت آلیاژ را به مقدار کمی کاهش می‌دهد. اغلب آلیاژهای آلومینیوم و مس کمتر از ۱۰٪ مس دارند و اغلب آلیاژهای صنعتی آنها نیز حدود ۲ تا ۵٪ مس دارند.



آلیاژهای آلومینیوم با ۸ تا ۱۲ درصد مس در قدیم موارد استفاده زیاد داشتند که پس از کشف آلیاژهای با ۵ درصد وزنی مس و امکان عملیات حرارتی آنها و به دلیل مشکلات ریخته‌گری آلیاژهای آلومینیوم - مس، استفاده از آلیاژهای ۸ تا ۱۲ درصد مس کاهش یافت.

وجود مس باعث افزایش مقاومت و سختی آلیاژ و کاهش انعطاف‌پذیری آن می‌گردد. مس شدت اکسیداسیون مذاب و همچنین درصد حلالیت هیدروژن

را کاهش می‌دهد. آلیاژهای آلومینیوم - مس عموماً دارای دامنه انجماد وسیع بوده و از این رو انقباضات پراکنده در آنها زیاد است و کاربرد مبرد را لازم می‌سازد علاوه بر آن جذب گاز در این آلیاژها نیز نسبتاً زیاد بوده و گاززدایی با کلر و ازت را ایجاب می‌کند عمل گاززدایی باعث حذف هسته‌های غیریکنواخت گردیده از تیتانیوم به میزان حداکثر ۰/۱۵ درصد و یا بر به میزان ۰/۰۳ درصد می‌توان برای ریز کردن دانه‌ها استفاده کرد. ساختار ریختگی این آلیاژ معمولاً از شرایط تعادلی به دور است و با عملیات حرارتی می‌توان خواص مکانیکی و ساختار ریختگی قطعات را بهبود بخشید. آلیاژهای آلومینیوم - مس از نظر ماشین‌کاری بسیار خوب و سطوح تمام شده مطلوبی را ارائه می‌کنند. این آلیاژها بعد از عملیات حرارتی، سختی و مقاومت به کشش بالایی داشته و در ساخت قطعات ماشین‌تحریر، اتصالات موتور، پیستون و... به کار می‌رود. از این آلیاژها به دلیل مقاومت به خوردگی پایین نمی‌توان در ساخت پمپ، شیر و قطعات دیگری که باید به خوردگی مقاوم باشند استفاده نمود.

آلومینیوم - سیلیسیم

در این قسمت ابتدا به معرفی آلیاژ آلومینیوم - سیلیسیم پرداخته، خصوصیات، کاربرد و روش تولید آن را بیان کرده و مسائل و نکات مربوط به محاسبات شارژ بیان شود. چند مثال مختلف علاوه بر مثال کتاب حل شود. سپس فعالیت عملی خواسته شده را طبق مراحل انجام دهید. ابتدا تجهیزات و وسایل لازم را تهیه نمایند و پس از رعایت مسائل و نکات ایمنی و زیست‌محیطی اقدام به تهیه آلیاژ مورد نظر نمایند.

دانش‌افزایی

این آلیاژها، امروزه وسعت ریخته‌گری بسیار یافته‌اند و این امر ناشی از خواص ریخته‌گری مطلوب آنهاست، در حالی که از نظر تاریخی، اهمیت آنها بعد از آلیاژهای آلومینیوم - مس قرار دارد.

آلومینیوم - سیلیسیم در مقیاس صنعتی معمولاً از ۵٪ یا ۱۲٪ سیلیسیم تشکیل می‌شوند که آلیاژ دوم تقریباً دارای ترکیب اوتکتیکی بوده و از دامنه انجماد بسیار کوتاه برخوردار است. آلیاژهای آلومینیوم - سیلیسیم از مشخصات ریخته‌گری بسیار مطلوب برخوردار هستند. سیالیت بسیار زیاد این آلیاژها بهترین و مناسب‌ترین شرایط برای ریخته‌گری را ایجاد می‌کند و همین امر کاربرد این آلیاژها را در

ریختن قطعات نازک تسهیل می‌نماید. به‌طور کلی سیلیسیم با افزایش سیالیت آلیاژ و کاهش درصد جذب گاز و تسهیل انجماد پوسته‌ای، خواص ریخته‌گری آلیاژ را بهبود می‌بخشد و از این نظر آلیاژ بسیار مناسبی است. آلیاژ آلومینیوم-سیلیسیم به شکستگی گرم و انقباضات پراکنده حساس نیست. ظریف‌سازی این آلیاژ به‌وسیله سدیم و اخیراً به وسیله استرانسیم از نظر بهبود ساختار درونی و خواص مکانیکی به‌خصوص در ریخته‌گری قالب‌های ماسه‌ای و برخی از قطعات ضخیم در قالب‌های فلزی انجام می‌گیرد. زیرا سرعت سرد کردن نیز در ظریف کردن ساختار شبکه یوتکتیک نقش اساسی دارد. در هر حال قبل از ظریف کردن شبکه به وسیله سدیم یا استرانسیم باید عملیات گاززدایی انجام پذیرد. وجود آهن در این آلیاژها می‌تواند استحکام کششی را افزایش دهد ولی مقدار آن نباید از یک درصد تجاوز نماید. این مقدار نیز به‌خصوص برای ریخته‌گری تحت فشار منظور شده است. سیلیسیم معمولاً به‌صورت هاردنر آلومینیوم - سیلیسیم با ترکیب ۱۳٪ یا ۲۲٪ سیلیسیم به مذاب افزوده می‌شود.

آلومینیوم - منیزیم

پیشنهاد می‌شود هنرآموزان محترم در این قسمت ابتدا به معرفی آلیاژهای آلومینیوم - منیزیم پرداخته، خصوصیات، کاربرد و روش تولید آنها را بیان کرده و مسائل و نکات مربوط به محاسبات شارژ بیان شود. چند مثال مختلف علاوه بر مثال کتاب حل شود سپس فعالیت عملی خواسته شده را طبق مراحل انجام دهید. ابتدا تجهیزات و وسایل لازم را تهیه نمایند و پس از رعایت مسائل و نکات ایمنی و زیست‌محیطی اقدام به تهیه آلیاژ مورد نظر نمایند.

این آلیاژ نیز مقاومت به خوردگی و استحکام زیادی دارد. مس در این آلیاژ جزء عناصر نامطلوب می‌باشد و باید کنترل گردد زیرا وجود ترکیب $AlCu_2MgTi$ در حضور مس اجتناب‌ناپذیر می‌باشد و خواص کششی قطعه را شدیداً کاهش می‌دهد. در امر ذوب و ریخته‌گری این آلیاژ، نکات ویژه‌ای را باید در نظر داشت که مهم‌ترین آنها عبارت‌اند از:

۱) ذوب باید در بوت‌های گرافیتی و یا بوت‌هایی که ورود آهن و سیلیسیم (بوت‌های سیلیکاتی) را به مذاب حداقل می‌کنند انجام شود.

دانش‌افزایی

- ۲ از درجه فوق ذوب بالا به دلیل افزایش اکسیداسیون مذاب، اجتناب شود.
- ۳ از استفاده مستقیم برگشتی‌ها، برای ذوب مجدد، خودداری شود.
- ۴ از دگازرها و فلاکس‌های حاوی سدیم، اجتناب شود.
- ۵ طراحی صحیح سیستم راهگامی، تغذیه‌گذاری برای اجتناب از ایجاد تنش‌های انجماد.
- ۶ استفاده از تیتانیوم برای ریز کردن دانه.
- ۷ تقلیل خواص رطوبتی ماسه با استفاده از مواد مختلف (بوریک‌اسید، گوگرد)

تلفات کوره

برای این قسمت پس از ارائه مطالب مربوط به تلفات و اهمیت محاسبات مربوط به این قسمت چند مثال مختلف حل شود سپس فعالیت خواسته شده کتاب را انجام دهید.

دانش‌افزایی

محاسبه مقدار تلفات با دو روش تناسب و محاسبه مستقیم مقدار کل تلفات انجام می‌گیرد، محاسبه مقدار تلفات به روش تناسب مقدار دقیقی را به ما نمی‌دهد زیرا وزن تلفات محاسبه شده خود دارای اتلاف است که این تلفات محاسبه نشده است، بنابراین در درصدهای کم تلفات این مقدار کم بوده و گاه قابل چشم‌پوشی است ولی وقتی درصد تلفات زیاد باشد و قطعه تولیدی نیز به مقادیر جزیی عنصر آلیاژی حساس باشد بنابراین مقدار محاسبه شده دیگر قابل چشم‌پوشی نیست. بهترین روش محاسبه مقدار تلفات که در نهایت مقدار کل به همراه تلفات را می‌دهد رابطه زیر است.

$$\text{مقدار مورد نیاز} = \frac{\text{ترکیب}}{\text{درصد تلفات} - 1}$$

مثال:

منیزیم را برای یک آلیاژ آلومینیوم در نظر بگیرید طبق جدول اتلاف عناصر مقدار تلفات در کوره‌های مختلف از ۲ درصد تا ۱۰ درصد متغیر است و از طرفی مقدار منیزیم طبق جدول اتلاف عناصر در آلیاژ آلومینیوم بین ۹ تا ۱۱ درصد نیز می‌رسد.
حال آلیاژی از قراضه منیزیم را اگر بخواهیم در یک کوره شعله‌ای که ۱۰ درصد

تلفات دارد ذوب کنیم به فرض اینکه ۱۱ کیلوگرم منیزیم داشته باشیم،

تلف شده ۱۰ ۱۰۰

$$11 \quad x \quad \Rightarrow x = \frac{10 \times 11}{100} = 1/1 \text{ kg} \text{ به روش تناسب}$$

وزن منیزیم محاسبه شده $12/1 = 11 + 1/1 = X_{\text{Mg}}$

$$X_{\text{Mg}} = \frac{11}{1 - \frac{10}{100}} = \frac{11}{1 - 0/1} = 12/22 \text{ تلفات}$$

اختلاف دو وزن محاسبه شده $12/22 - 12/1 = 0/12$

این سؤال ایجاد می شود که این اختلاف به چه دلیل است.

همان گونه که دیده می شود با استفاده از روش دوم راحت تر و سریع تر مقدار کل به دست می آید. از طرفی مقدار محاسبه شده در روش دوم کمی بیشتر از روش اول است و این مقدار همان گونه که قبلاً گفته شد وزن تلفات محاسبه شده خود دارای تلفات است که این تلفات در روش اول (تناسب) محاسبه نشده است.