فصل چهارم

محاسبات ساده در ریخته‌گری

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل، از فراگیر انتظار می‌رود که بتواند :

۱ــ آلیاژ را تعریف کند.

۲ــ انواع شمش‌ها را تعریف کند.

۳ــ قراضه و برگشتی‌ها را توضیح دهد.

۴ــ درصد ترکیب آلیاژ را محاسبه کند.

۵ــ وزن شارژ کوره‌ها را محاسبه کند.

۶ــ وزن قطعه را به کمک وزن مدل محاسبه کند.

۷ــ راندمان ریختگی و کل را بشناسد و محاسبات مربوط به آن‌ها را انجام دهد.

۴ــ محاسبات ساده در ریخته‌گری

۱ــ۴ــ محاسبه ترکیب آلیاژها

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 شود 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. به دلیل آن‌که دامنه آلیاژها و چگونگی اتلافات و شرایط کنترل ترکیبی هریک، نیازمند بررسی و تشریح جداگانه‌ای است، در این فصل به نکات عمومی و مشترک آن‌ها توجه خواهد شد و مسائل اختصاصی تهیه آلیاژ و ترکیب آن‌ها

به بعد موکول می‌شود.

در تهیه آلیاژ معمولاً از دسته‌های مختلف آلیاژی استفاده می‌شود که عبارتند از :

۱ــ شمش‌های اولیه

۲ــ شمش‌های ثانویه

۳ــ آلیاژسازها

۴ــ قراضه‌ها

۵ ــ مواد افزودنی مانند : فلاکس‌ها، گاززداها، ریزکننده‌ها و اصلاح کننده‌های دانه‌ها

۱ــ۱ــ۴ــ شمش‌های اولیه: شمش‌های اولیه قطعاتی هستند که برحسب نوع فلز در جرم معین، از مواد اولیه (سنگ معدن) تهیه می‌شوند. این شمش‌ها معمولاً درجه خلوص زیادی دارند، ولی عناصر ناخواسته و ناخالصی‌های آن‌ها تقریباً به حدود یک درصد و یا بیشتر می‌رسد. این شمش‌ها مستقیماً از روش‌های استخراجی تهیه می‌شوند و حاوی ناخالصی‌های موجود در سنگ معدن فلز می‌باشند. در این مورد می‌توان به شمش‌های آلومینیم، مس، چدن و ... اشاره کرد. تهیه و استخراج سنگ‌های معادن و تهیه شمش‌های اولیه خود بخش مفصلی است که در مورد فلزات ریخته‌گری در کتاب شناخت فلزات مورد مطالعه قرار گرفت.

۲ــ۱ــ۴ــ شمش‌های ثانویه: این شمش‌ها دارای ترکیب معین و مشخص می‌باشند، و از ذوب و تصفیه قراضه‌ها و یا از ذوب مجدد و تصفیه و اضافه کردن مواد ترکیبی معین تولید می‌شوند، از نظر درجه خلوص با شمش‌های اولیه متفاوت می‌باشند ولی کنترل ترکیبی معینی در آن‌ها وجود دارد. قیمت این شمش‌ها بالا است و با ترکیباتی معین ساخته می‌شوند که مستقیماً قابل مصرف در صنعت هستند.

۳ــ۱ــ۴ــ 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. به‌طور مثال چنانچه عنصری با نقطه ذوب پایین به عنصری با نقطه ذوب بالا افزوده شود و کاملاً در هم محلول باشند، هیچگونه مسئله متالورژیکی پدید نمی‌آید. درحالی 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 طرف دیگر در چنین حالتی تمایل عنصر با نقطه ذوب پایین به اکسیده شدن زیاد است که در نتیجه دامنه اتلافات فلزی زیاد می‌شود.

علاوه بر آن، چنانچه فلزی یاعنصری با نقطه ذوب بالا به فلزی با نقطه ذوب پایین اضافه شود،

امکان ذوب آن و پخش یکنواخت و محلولی آن بسیار کم است و نمی‌توان به سهولت آن را به شارژ اضافه نمود. در چنین مواردی از ترکیبات پرعیار آن‌ها تحت نام هاردنر[1] یا آلیاژساز استفاده می‌کنند که دارای نسبت ترکیبی زیادی هستند. بنابراین آلیاژسازها عبارت از آلیاژ دو یا چند عنصر با نسبت ترکیبی پرعیاری هستند 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 ــ دارای نسبت ترکیبی متنابهی از حداقل دو عنصر هستند.

ب ــ نقطه ذوب آن‌ها حتی‌الامکان پایین است (در این مورد عموماً از آلیاژهای اوتکتیک استفاده می‌شود).

ج ــ ترد و شکننده هستند.

سیلومین‌ها و فرو آلیاژها گرچه مستقلاً نیز ارزش صنعتی دارند ولی در هنگام آلیاژسازی به دلیل داشتن نسبت ترکیبی زیاد از آن‌ها نیز به‌عنوان آلیاژساز استفاده می‌شود. در جدول ۱ــ۴ ترکیب

جدول ۱ــ۴ــ نسبت ترکیب و نقطه ذوب چند نوع آلیاژساز

نوع آلیاژ	نسبت ترکیب	نقطه ذوب $^{\circ}C$
مس ــ منگنز	۷۳Cu , ۲۷Mn	۸۶۰
مس ــ آهن	۹۰ــ۹۵Cu , ۱۰ــ۵Fe	۱۴۵۰
مس ــ سیلیسیم	۷۵Cu , ۲۵Si	۱۰۰۰
مس ــ قلع	۵۰Cu , ۵۰Sn	۷۸۰
مس ــ نیکل	۶۷ــ۸۵Cu , ۱۵ــ۳۳Ni	۱۰۵۰ــ۱۲۵۰
مس ــ آلومینیم	۵۰Cu , ۵۰Al	۵۸۰
آلومینیم ــ سیلیسیم	۸۵ ــ ۸۸ Al , ۱۲ــ۱۵Si	۶۲۰ــ۶۶۰
آلومینیم ــ منیزیم	۸۹ــ۹۱ Al , ۹ــ۱۱Mg	۵۶۰ ــ ۶۴۰
آلومینیم ــ منگنز	۸۹ ــ۹۱ Al , ۹ــ۱۱Mn	۷۷۰ــ۸۳۰
آلومینیم ــ برلیم	۹۷ــ۹۸Al , ۲ــ۳ Be	۶۰۰ــ۶۶۰
آلومینیم ــ آهن	۸۹ــ۹۱ Al , ۹ــ۱۱Fe	۸۰۰ــ۸۵۰
آلومینیم ــ مس ــ منگنز	۵۰ Al , ۴۰ Cu , ۱۰Mn	۶۵۰
آلومینیم ــ مس ــ آهن	۷۰ Al , ۲۰ Cu , ۱۰Fe	۸۳۰

۱ــ Hardner

و نقطه ذوب چند نوع آلیاژساز نشان داده شده است.

۴ــ۱ــ۴ــ قراضه‌ها: استفاده از قراضه‌ها همواره به منظور کاهش قیمت مواد اولیه توصیه شده است، قراضه‌ها در مرحله اول به دو دسته برگشتی‌ها و قراضه‌های تجاری تقسیم می‌شوند.

الف ــ برگشتی‌ها: در هر کارگاه ریخته‌گری، قطعات برگشتی وجود دارد که مشخصات و منابع آن‌ها در قسمت‌های قبل توضیح داده شده است. این مواد شامل قطعات معیوب، راهگاه‌ها، منابع تغذیه و ... می‌باشند که در تولید قبلی بجا مانده‌اند. بنابراین برگشتی‌ها شامل قطعات اضافی است که در خود کارگاه وجود دارد و با توجه به این‌که نسبت ترکیبی آن‌ها نیز در کارگاه و کارخانه معلوم است باید طوری از آن‌ها استفاده شود که مازاد برگشتی‌ها مستلزم ایجاد انبار بزرگ و جداگانه‌ای نباشد، زیرا بدین ترتیب هزینه انبارداری و کاهش قیمت برگشتی‌ها باعث می‌گردد که هزینه تولید در کارگاه یا کارخانه زیاد شود.

ب ــ قراضه‌های تجاری: قراضه‌های تجاری عبارت از قطعات فلزی می‌باشند که قبلاً قسمتی از ماشین‌آلات یا دستگاه‌های تولیدی بوده‌اند و به دلیل شکستن، خرد شدن، تابیدن و ... ارزش تعمیراتی نداشته و به قیمت بسیار پایین و فقط به منظور ذوب مجدد فروخته می‌شوند. قیمت قراضه‌ها نسبت به قیمت مواد اصلی بخصوص در مورد قراضه آهن و فولاد بسیار پایین است و از این رو استفاده از آن‌ها به میزان ۳۰ تا ۷۰ درصد شارژ توصیه شده است.

در کاربرد قراضه‌ها معمولاً دقت می‌شود که قطعات متشابه و معین در کنار هم دسته‌بندی شوند و با توجه به استاندارد ترکیبی آن‌ها استفاده کامل به‌عمل آید، به عبارت دیگر تقریباً مشخص است که آلیاژهای پیستون از یک دامنه استاندارد محدود برخوردارند در حالی‌که دامنه برنزها و برنج‌ها و یا ورق‌های فولادی مورد استفاده در بدنه اتومبیل نیز چنین مشخصاتی دارند. بنابراین لازم است که قراضه‌ها برحسب نوع استفاده آن‌ها طبقه‌بندی شوند.

تسمه‌ها، براده‌ها و سوفاره‌ها نیز بر همین اساس دسته‌بندی می‌گردند و با توجه به آن‌که استفاده مستقیم از براده‌ها به دلیل افزایش سطح تماس باعث شدت اکسیده شدن عناصر می‌گردد معمولاً آن‌ها را به صورت بلوکه در می‌آورند.

اخیراً کارخانجاتی تأسیس شده‌اند که قراضه‌ها را ذوب کرده و تحت یک استاندارد ترکیبی معین و با هزینه زیادتر به فروش می‌رسانند و یا آن‌که مستقیماً از آن‌ها بهره صنعتی می‌گیرند.

به هر صورت هدف در این بحث محاسبات اولیه تعیین عیار آلیاژ می‌باشد که در ذیل به آن‌ها توجه خواهد شد.

۵ ــ۱ــ۴ــ آلیاژسازی: چنانچه عناصر آلیاژی در اثر ترکیب با هوا، یا گازهای دیگر به سرباره منتقل نشوند و در داخل مذاب باقی بمانند، 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 که حتی‌الامکان از داخل شدن ناخالصی‌ها و مواد ناخواسته جلوگیری به‌عمل آید.

در مورد شارژ و نسبت ترکیبی آلیاژ معمولاً طریقه درصد وزنی را به‌کار می‌برند.

مثال ۱: در تهیه یک آلیاژ برنز از ۵۰ کیلوگرم مس (فرضاً خالص)، ۳۰ کیلوگرم قلع، ۲۰ کیلوگرم شمش برنز با ترکیب (۸۷ درصد مس، ۷ درصد قلع، ۵ درصد روی و ۱ درصد سرب) و ۱۰۰ کیلوگرم تسمه برنزی با ترکیب (۸۵ درصد مس، ۱۰ درصد قلع، ۳ درصد روی و ۲ درصد سرب) استفاده شده است. چنانچه اتلافات مذاب منظور نشود تعیین کنید درصد ترکیب آلیاژ را.

حل:

جرم کل آلیاژ :

$$۵۰+۳۰+۲۰+۱۰۰=۲۰۰\,kg$$

ابتدا باید هریک از عناصر موجود در آلیاژ تعیین گردد :

جرم مس خالص $\frac{۵۰\times۱۰۰}{۱۰۰}=۵۰\,kg$

مقدار مس موجود در شمش برنز $\frac{۲۰\times۸۷}{۱۰۰}=۱۷/۴\,kg$

مقدار مس موجود در تسمه برنزی $\frac{۱۰۰\times۸۵}{۱۰۰}=۸۵\,kg$

بنابراین مقدار کل مس در آلیاژ برابر است با :

$$۵۰+۱۷/۴+۸۵=۱۵۲/۴\,kg$$

جرم قلع خالص $\frac{۳۰\times۱۰۰}{۱۰۰}=۳۰\,kg$

مقدار قلع موجود در شمش برنز $\frac{۲۰\times۷}{۱۰۰}=۱/۴\,kg$

مقدار قلع موجود در تسمه برنزی $\frac{۱۰۰\times۱۰}{۱۰۰}=۱۰\,kg$

و در نتیجه مقدار کل قلع در آلیاژ برابر است با :

$$۳۰+۱/۴+۱۰=۴۱/۴\,kg$$

مقدار روی موجود در شمش برنز $\frac{۲۰\times۵}{۱۰۰}=۱\,kg$

مقدار روی موجود در تسمه برنزی $\frac{۱۰۰\times۳}{۱۰۰}=۳\,kg$

کل مقدار روی که وارد آلیاژ می‌شود $۱+۳=۴\,kg$

مقدار سرب موجود در شمش برنز $\frac{۲۰\times۱}{۱۰۰}=۰/۲\,kg$

مقدار سرب موجود در تسمه برنزی $\frac{۱۰۰\times۲}{۱۰۰}=۲\,kg$

کل مقدار سرب که وارد آلیاژ می‌شود $۲+۰/۲=۲/۲\,kg$

جرم کل آلیاژ مجموع عناصر تشکیل دهنده آن است، بنابراین می‌توان نوشت :

$۱۵۲/۴+۴۱/۴+۴+۲/۲=۲۰۰\,kg$

چنانچه ملاحظه می‌شودجرم مجموع عناصر متشکله با جرم کلی آلیاژ یکسان بوده و بدین‌ترتیب صحت عملیات اثبات می‌گردد. اکنون می‌توان با تشکیل چند تناسب، درصد عناصر آلیاژ تهیه شده را حساب نمود.

آلیاژ	مس	
۲۰۰ kg	۱۵۲/۴	
۱۰۰	x	درصد مس $x=\frac{۱۰۰\times۱۵۲/۴}{۲۰۰}=۷۶/۲$

و به همین ترتیب در مورد عناصر دیگر می‌توان چنین عمل نمود :

درصد قلع $\frac{۱۰۰\times۴۱/۴}{۲۰۰}=۲۰/۷$

درصد روی $\frac{۱۰۰\times۴}{۲۰۰}=۲$

درصد سرب $\frac{۱۰۰\times۲/۲}{۲۰۰}=۱/۱$

۶ــ۱ــ۴ــ اتلافات کوره: در عمل همواره نسبتی از عناصر ترکیبی دراثر فعل و انفعال با هوا و یا مواد سوخت به سرباره منتقل می‌شوند. اتلافات ذوب به عوامل متعددی بستگی دارند که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از :

الف ــ روش باردهی و اندازه قطعات: قطعات کوچک سطح تماس زیادتری داشته (نسبت به حجم خود) و با سرعت بیشتری اکسیده می‌شود.

ب ــ روش و شرایط ذوب: آتمسفر محیط، درجه حرارت فوق ذوب، استفاده از فلاکس‌های

پوششی و... می‌تواند در مقدار اتلافات مذاب مؤثر باشد.

ج ــ نوع کوره: کوره‌ها اتلافات متفاوتی دارند که از نوع سوخت و ارتباط سوخت با مذاب ناشی می‌شوند. در جدول **۲ــ۴** اتلافات ذوب در کوره‌های متفاوت درج شده است.

د ــ نوع شارژ: براساس آن‌که شارژ از شمش‌های اصلی و اولیه و یا از قراضه‌ها تشکیل شده باشد، مقدار اتلافات متفاوت خواهد بود.

جدول ۲ــ۴ــ درصد اتلافات برحسب نوع شارژ و نوع کوره

فلز	شمش اصلی و اولیه		قراضه	
	کوره‌های الکتریکی و بوته‌ای	کوره‌های شعله‌ای	کوره‌های الکتریکی و بوته‌ای	کوره‌های شعله‌ای
منیزیم	۲ــ۳	۳ــ۵	۳ــ۵	۳ــ۱۰
برلیم	۲ــ۳	۳ــ۵	۳ــ۵	۵ــ۱۰
آلومینیم	۱ــ۱/۵	۱ــ۲	۱ــ۲	۲ــ۳
سدیم	۲ــ۳	۳ــ۵	۳ــ۵	۵ــ۱۰
روی	۱ــ۳	۲ــ۴	۲ــ۳	۳ــ۵
منگنز	۰/۵ــ۱	۱ــ۲	۱ــ۲	۲ــ۳
قلع	۰/۵ــ۱	۱ــ۱/۵	۱ــ۱/۵	۱/۵ــ۲
آهن	۰/۵ــ۱	۰/۵ــ۱	۰/۵ــ۱	۰/۵ــ۱
نیکل	۰/۵ــ۱	۰/۵ــ۱	۰/۵ــ۱	۰/۵ــ۱
سیلیسیم	۰/۵ــ۱	۱ــ۱/۵	۱ــ۱/۵	۱/۵ــ۲
مس	۰/۵ــ۱	۱ــ۲	۱ــ۲	۲ــ۳
سرب	۰/۵ــ۲	۱ــ۲	ــ	ــ

مثال ۲: مطلوب است تعیین جرم مقادیر بار یک نوع کوره الکتریکی قوسی به منظور تهیه ۵۰۰ کیلوگرم از یک آلیاژ برنز با ترکیب : ۶٪ قلع، ۶٪ روی، ۳٪ سرب و بقیه (۸۵٪) مس. بار این کوره کلاً شامل ۷۰٪ از شمش‌های خالص فلزات و ۳۰٪ قراضه برگشتی (با همان ترکیب) است. درصد اتلافات (مطابق جدول **۲ــ۴**) عبارتند از : ۱٪ قلع، ۲٪ روی، ۲٪ سرب و ۱٪ مس.

حل: ابتدا فرض می‌شود که جرم کل بار کوره ۱۰۰ کیلوگرم باشد، براین اساس و با توجه به درصد اتلافات و درصد عناصر موجود در آلیاژ می‌توان نوشت :

جرم قلع تلف شده $\frac{۶\times۱}{۱۰۰}=۰/۰۶\text{kg}$

جرم روی تلف شده $\frac{۶\times۲}{۱۰۰}=۰/۱۲\text{kg}$

جرم سرب تلف شده $\frac{۳\times۲}{۱۰۰}=۰/۰۶\text{kg}$

جرم مس تلف شده $\frac{۸۵\times۱}{۱۰۰}=۰/۸۵\text{kg}$

برای سهولت محاسبات می‌توان نحوه عملیات را مطابق فرم زیر نشان داد :

	قلع	روی	سرب	مس	جمع کل
ترکیب آلیاژ برحسب درصد	۶	۶	۳	۸۵	۱۰۰
جرم مواد در ۱۰۰ کیلوگرم از بار	۶	۶	۳	۸۵	۱۰۰
اتلافات برحسب درصد	۱	۲	۲	۱	
اتلافات برحسب کیلوگرم	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۰۶	۰/۸۵	۱/۰۹
جرم محاسبه شده در شارژ برحسب کیلوگرم	۶/۰۶	۶/۱۲	۳/۰۶	۸۵/۸۵	۱۰۱/۰۹
جرم عناصر موجود در قراضه (۳۰٪) برحسب کیلوگرم	۱/۸	۱/۸	۰/۹	۲۵/۵	۳۰
جرم عناصر لازم که باید توسط شمش فلزات برای تهیه ۱۰۰ کیلوگرم آلیاژ تأمین شود	۴/۲۶	۴/۳۲	۲/۱۶	۶۰/۳۵	۷۱/۰۹

به این ترتیب بار کوره برای تهیه ۵۰۰ کیلوگرم از آلیاژ موردنظر عبارت است از :

شمش قلع $\frac{۵۰۰\times۴/۲۶}{۱۰۰}=۲۱/۳\text{kg}$

شمش روی $\frac{۵۰۰\times۴/۳۲}{۱۰۰}=۲۱/۶\text{kg}$

شمش سرب $\frac{۵۰۰\times۲/۱۶}{۱۰۰}=۱۰/۸\text{kg}$

شمش مس	$\frac{۵۰۰\times۶۰/۳۵}{۱۰۰}=۳۰۱/۷۵\,kg$
برگشتی قراضه	$\frac{۵۰۰\times۳۰}{۱۰۰}=۱۵۰\,kg$
جرم کل بار کوره	۵۰۵/۴۵kg

مثال ۳: برای تهیه ۵۰۰ کیلوگرم آلیاژی با ترکیب ۳٪ سیلیسیم، ۳٪ سرب، ۱۴٪ روی و بقیه مس چه مقداری از شمش‌ها و آلیاژهای زیر باید استفاده شود، در حالی که اتلافات ذوب در کوره شعله‌ای و براساس جدول ۲ــ۴ برابر : مس ۲ درصد ــ سیلیسیم ۱/۵ درصد ــ سرب ۲ درصد و روی ۳ درصد باشد.

۱ــ شمش خالص مس با ترکیب ۱۰۰٪ مس.

۲ــ شمش خالص سرب با ترکیب ۱۰۰٪ سرب.

۳ــ آلیاژ برنج با ۵۵ درصد مس، ۴۰ درصد روی و ۵ درصد سرب.

۴ــ آلیاژ هاردنر سیلیسیم برنج با ترکیب ۷۸ درصد مس، ۲۰ درصد سیلیسیم و ۲ درصد روی.

حل: چنانچه در ابتدا، محاسبات براساس تهیه ۱۰۰ کیلوگرم آلیاژ انجام شود اتلافات ذوب عبارت است از :

اتلافات مس	$۸۰\times\frac{۲}{۱۰۰}=۱/۶\,kg$
اتلافات روی	$۱۴\times\frac{۳}{۱۰۰}=۰/۴۲\,kg$
اتلافات سرب	$۳\times\frac{۲}{۱۰۰}=۰/۰۶\,kg$
اتلافات سیلیسیم	$۳\times\frac{۱/۵}{۱۰۰}=۰/۰۴۵\,kg$

بنابراین جدول تهیه ۱۰۰ کیلوگرم آلیاژ با ترکیب خواسته شده به صورت زیر می‌باشد :

	قلع	روی	سرب	سیلیسیم	جمع
ترکیب آلیاژ	۸۰	۱۴	۳	۳	۱۰۰
اتلافات ذوب	۱/۶	۰/۴۲	۰/۰۶	۰/۰۴۵	۲/۱۲۵
جرم بار محاسباتی	۸۱/۶	۱۴/۴۲	۳/۰۶	۳/۰۴۵	۱۰۲/۱۲۵

سیلیسیم لازم فقط از آلیاژ شماره ۴ تأمین می‌شود :

سیلیسیم ۲۰ ۱۰۰ آلیاژ شماره ۴

x ۳/۰۴۵ $x = \frac{۳/۰۴۵ \times ۱۰۰}{۲۰} = ۱۵/۲۲۵ kg$

جرم مصرف شده از آلیاژ شماره ۴ برای تهیه ۱۰۰ کیلوگرم آلیاژ.

روی۲ ۱۰۰ آلیاژ شماره ۴

۱۵/۲۲۵ x $x = \frac{۱۵/۲۲۵ \times ۲}{۱۰۰} = ۰/۳۰ kg$

جرم روی موجود در آلیاژ شماره ۴

جرم روی که باید از آلیاژ شماره ۳ تأمین شود : $۱۴/۴۲ - ۰/۳۰ = ۱۴/۱۲ kg$

روی۴۰ ۱۰۰ آلیاژ شماره ۳

x ۱۴/۱۲ $x = \frac{۱۴/۱۲ \times ۱۰۰}{۴۰} = ۳۵/۳ kg$

جرم مصرف شده از آلیاژ شماره ۳

۵ ۱۰۰ آلیاژ شماره ۳

۳۵/۳ x $x = \frac{۳۵/۳ \times ۵}{۱۰۰} = ۱/۷۶ kg$

جرم سرب تأمین شده توسط آلیاژ شماره ۳ که بقیه سرب لازم فقط از شمش سرب خالص (شماره۲) تأمین می‌شود.

جرم شمش سرب خالص مصرف شده $۳/۰۶ - ۱/۷۶ = ۱/۳۰ kg$

جرم مس مصرف شده خالص باقی مانده مجموع شمش‌های مصرفی فوق از مجموع جرم لازم ۱۰۲/۱۲۵ کیلوگرم می‌باشد :

$۱۰۲/۱۲۵ - (۱۵/۲۲۵ + ۳۵/۳۰ + ۱/۳۰) = ۵۰/۳ kg$

جرم مس خالص مصرفی

محاسبات فوق برای تهیه ۱۰۰ کیلوگرم آلیاژ بوده است و برای ذوب ۵۰۰ کیلوگرم با توجه به رابطهٔ $\frac{۵۰۰}{۱۰۰} = ۵$:

۱ــ جرم مس خالص مصرفی (شماره ۱) $۵۰/۳ \times ۵ = ۲۵۱/۵ kg$

۲ــ جرم سرب خالص مصرفی (شماره ۲) $۱/۳ \times ۵ = ۶/۵ kg$

۳ــ جرم برنج مصرفی (شماره ۳) $۳۵/۳\times۵=۱۷۶/۵\ kg$

۴ــ جرم سیلیسیم برنج مصرفی (شماره ۴) $۱۵/۲۲۵\times۵=۷۶/۱۲۵\ kg$

۲ــ۴ــ محاسبه جرم قطعه ریختگی به کمک جرم مدل

جرم قطعاتی که قالب گیری آن‌ها احتیاج به ماهیچه گذاری ندارند از روی نسبت چگالی قطعه به چگالی مدل محاسبه می‌شود. اگر حجم قطعه و حجم مدل یکسان فرض شود (انقباض قطعه ناچیز در نظر گرفته شود) در این صورت :

$$m_C = V_C.\rho_C$$

$$m_M = V_M.\rho_M \ , \ V_C = V_M \Rightarrow \frac{\text{جرم قطعه } m_C}{m_M} = \frac{\text{چگالی قطعه } \rho_C}{\text{چگالی مدل } \rho_M}$$

در عمل، چون جرم مدل در دست است، می‌توان جرم قطعه ریخته شده را پیش‌بینی کرد و با ضرب کردن جرم مدل در نسبت چگالی قطعه به چگالی مدل، مقدار آن تعیین می‌شود :

$$m_C = m_M \times \frac{\rho_C}{\rho_M}$$

مثال: جرم یک قطعه ریخته شده از چدن به چگالی $۷/۲g/cm^۳$ برابر ۵۱ کیلوگرم است. چنانچه قالب‌گیری ساده و بدون ماهیچه‌گذاری انجام گیرد و از انقباض قطعه صرفنظر شود، مطلوب است محاسبه و تعیین :

الف ــ حجم قطعه برحسب دسی‌متر مکعب.

ب ــ جرم مدل چوبی آن برحسب kg با چگالی $۰/۶۵g/cm^۳$.

ج ــ جرم مدل آلومینیمی آن برحسب کیلوگرم kg با چگالی $۲/۷g/cm^۳$.

د ــ جرم قطعه ریخته شده از جنس نوعی برنج با چگالی $۸/۵g/cm^۳$ (از تمام انقباض‌ها، صرفنظر می‌شود).

حل: الف ــ حجم قطعه با توجه به رابطه $m_C = V_C.\rho_C$ عبارت است از :

حجم قطعه $V_C = \frac{m_C}{\rho_C} = \frac{۵۱}{۷/۲} = ۷/۰۸۳$ دسی‌مترمکعب

این حجم با حجم مُدل (یا قالب) برابر است، زیرا از انقباض قطعه صرفنظر شده است.

ب ــ چون حجم قطعه با حجم مدل برابر است، لذا می‌توان نوشت :

$$m_M = V_M \cdot \rho_M \quad , \quad V_M = V_C = ۷/۰۸۳ dm^۳$$

جرم مدل چوبی $m_M = ۷/۰۸۳ \times ۰/۶۵ = ۴/۶۰۴ kg$

ج ــ جرم مدل آلومینیمی نیز با توجه به چگالی آن چنین است :

جرم مدل آلومینیمی $m_M = ۷/۰۸۳ \times ۲/۷ = ۱۹/۱۲۴ kg$

د ــ چنانچه قطعه از جنس برنج ریخته شده باشد، در این صورت، جرم آن برابر است با :

جرم قطعه برنجی $m_C = V_C \cdot \rho_C = ۷/۰۸۳ \times ۸/۵ = ۶۰/۲۰۵ kg$

با توجه به این مثال، در عمل، به طور تقریبی می‌توان جرم قطعه را از روی نسبت سنگینی قطعه به سنگینی مدل به دست آورد. مثلاً چنانچه چگالی قطعه $۷/۲ g/cm^۳$ (چدنی) چگالی مدل $۰/۶۵ g/cm^۳$ (چوبی) باشد، خواهیم داشت :

$$m_C = \frac{\rho_C}{\rho_M} \times m_M = \frac{۷/۲}{۰/۶۵} \times m_M \approx ۱۱ m_M$$

به عبارت دیگر می‌توان گفت که جرم قطعه چدنی تقریباً ۱۱ برابر جرم مدل چوبی است. باید توجه کرد که محاسبات مذکور در صورتی صحیح است که از تمام انقباض‌های قطعه و همچنین مدل آلومینیمی ریخته شده (یا هر مدل فلزی ریخته شده از روی مدل اصلی) صرفنظر شده باشد. در غیر این صورت برای محاسبات مربوطه لازم است درصد انقباض‌ها و یا ضریب انقباض‌ها منظور شود. مثال بعد، این مطلب را روشن می‌کند.

مثال: جرم یک مدل فلزی از آلیاژ منیزیم ــ آلومینیم با چگالی $۱/۸۲ g/cm^۳$ برابر است با $۷/۷ kg$. چنانچه قالب‌گیری ساده و بدون ماهیچه‌گذاری و قطعه ریختگی از یک نوع چدن با چگالی $۷/۲ g/cm^۳$ باشد، مطلوب است محاسبه و تعیین :

الف ــ جرم قطعه ریختگی در صورتی که انقباض این چدن ناچیز فرض شود.

ب ــ جرم قطعه ریختگی، با منظور کردن ضریب انقباض خطی متوسط چدن برابر :

$$\bar{\alpha} = ۱۰/۲ \times ۱۰^{-۶} \frac{۱}{^\circ C}$$

و همچنین تعیین اختلاف جرم و مشخص کردن درصد کاهش آن در این دو حالت.

نقطه ذوب این چدن $۱۲۵۰^\circ C$ است و قطعه تا درجه حرارت محیط ($۲۵^\circ C$) سرد می‌شود.

حل: الف ــ حجم مدل فلزی برابر است با :

$$V_M = \frac{m_M}{\rho_M} = \frac{۷/۷}{۱/۸۲} = ۴/۲۳۱ dm^۳$$

و چون در این حالت، انقباض چدن ناچیز فرض شده است، لذا حجم قطعه با حجم مدل برابر خواهد بود :

$V_C = V_M = ۴/۲۳۱ dm^۳$ حجم قطعه

در نتیجه می‌توان جرم قطعه ریختگی را به دست آورد :

$m_C = V_C . \rho_C = ۴/۲۳۱ \times ۷/۲ = ۳۰/۴۶۳ kg$

ب ــ در این حالت می‌توان جرم قطعه ریختگی را با توجه به مقدار انقباض خطی چدن، از این رابطه تعیین کرد :

$m_C = V_M(۱ - ۳\alpha \quad)\rho_C$ $\quad \theta_m - \theta_i = ۱۲۵۰ - ۲۵ = ۱۲۲۵^\circ C$

$W_C = ۴/۲۳۱ \times (۱ - ۳ \times ۱۰/۲ \times ۱۰^{-۶} \times ۱۲۲۵) \times ۷/۲ = ۲۹/۳۲۱ kg$

جرم قطعه چدنی

و تفاوت جرم این دو حالت چنین است :

$۳۰/۴۶۳ - ۲۹/۳۲۱ = ۱/۱۴۲ kg$

بنابراین درصد کاهش جرم در این دو حالت عبارت است از :

درصد $\frac{۱/۱۴۲}{۳۰/۴۶۳} \times ۱۰۰ \approx ۳/۷۵$

۱ــ۲ــ۴ــ انقباض مضاعف: در مواردی، لازم است که از روی مدل اولیه (چوبی)، مدل فلزی (ثانویه) قالب گیری و ریخته‌گری شود. در این صورت، برای محاسبه جرم قطعه ریختگی، باید هر دو انقباض : مدل فلزی و قطعه ریختگی در نظر گرفته شود. در این موارد می‌توان مجموع انقباض‌های مذکور را تعیین کرد و به کمک آن، جرم قطعه ریختگی را به دست آورد :

$S = S_۱ + S_۲$ درصد انقباض خطی نهایی

$m_C = V_M(۱ - \frac{۳S}{۱۰۰})\rho_C$ جرم قطعه

در این روابط $S_۱$ و $S_۲$ به ترتیب عبارتند از درصد انقباض خطی مدل فلزی و قطعه ریختگی، V_M حجم مدل اولیه یا چوبی که برابر است با جرم آن، تقسیم بر چگالی مدل اولیه و ρ_c چگالی قطعه است.

مثال: جرم یک مدل اولیه[۱] (چوبی) ۴/۶kg و چگالی آن $۰/۶۲ g/cm^۳$ است. چنانچه درصد انقباض خطی مدل فلزی (ثانویه) مربوط به این مدل اولیه و درصد انقباض خطی قطعه به ترتیب ۱/۳٪

۱ــ Master Pattern

و ۲/۱٪ باشد، جرم قطعه ریختگی از یک نوع آلیاژ برنز آلومینیم با چگالی $8/4\ g/cm^3$ را از روی مدل فلزی، تعیین کنید.

حل: درصد انقباض خطی نهایی چنین است :

$$S = S_1 + S_2 = 1/3 + 2/1 = 3/4 \quad \text{درصد}$$

و حجم مدل اولیه برابر است با :

$$V_M = \frac{m_M}{\rho_M} = \frac{4/6}{0/62} = 7/42 dm^3$$

در نتیجه می‌توان از رابطه مربوطه جرم قطعه را تعیین کرد :

$$m_C = V_M(1 - \frac{3S}{100})\rho_C$$

$$m_C = 7/42 \times (1 - \frac{3 \times 3/4}{100}) \times 8/4 \approx 56 kg$$

چنانچه بخواهیم جرم مدل فلزی را تعیین کنیم بدیهی است که فقط درصد انقباض آن در محاسبه دخالت می‌کند (چگالی مدل فلزی $2/2 g/cm^3$ است) :

$$\text{جرم مدل فلزی} = 7/42 \times (1 - \frac{3 \times 1/3}{100}) \times 2/2 \approx 15/7 kg$$

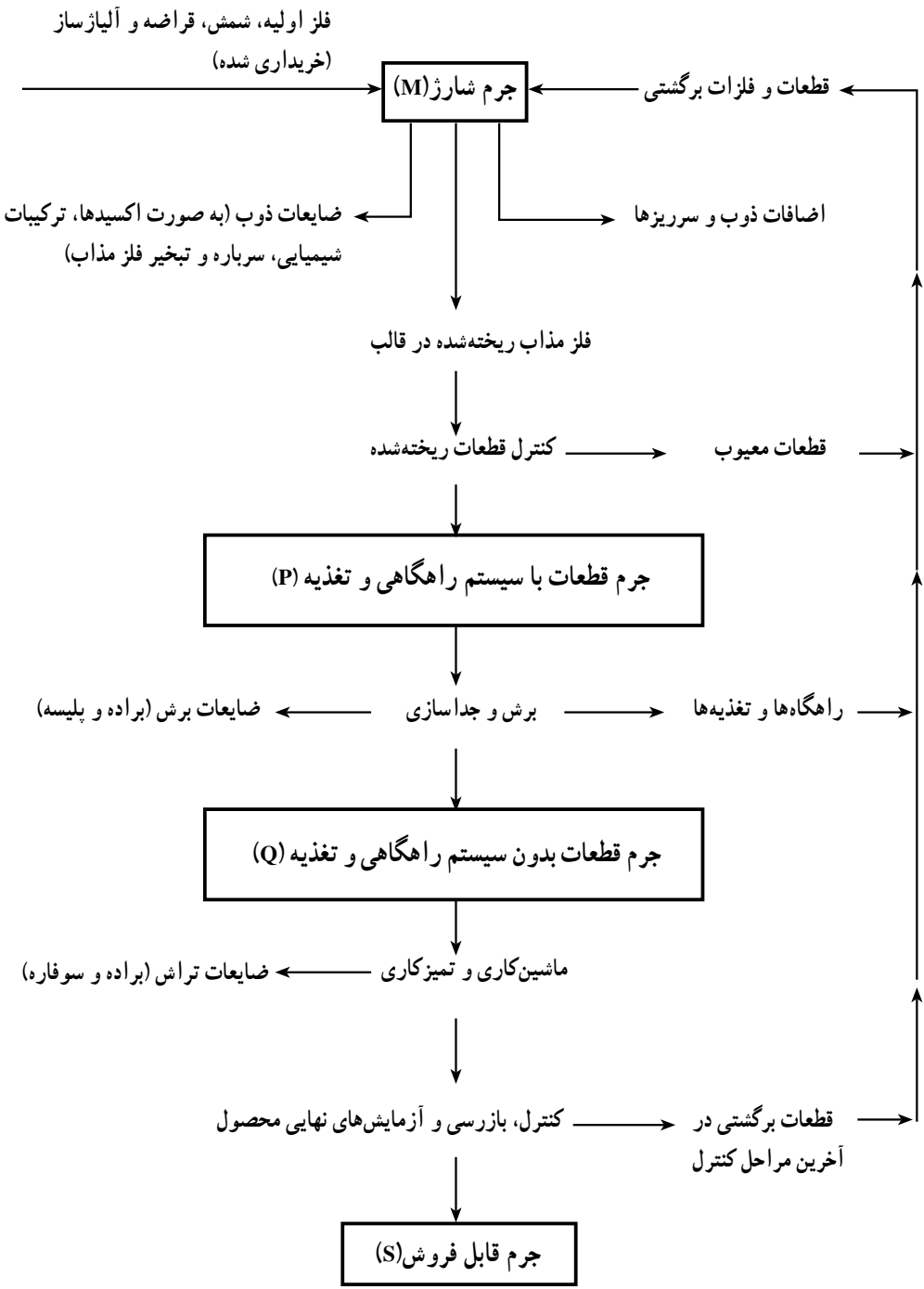
۳ــ۴ــ راندمان ریخته‌گری

قطعات ریختگی اعم از محصولات نیم‌ساخته و یا قطعات تمام شده (حاصل از عملیات ریخته‌گری، متالورژیکی، ماشین‌کاری و ...) همواره شامل عیوب و نواقصی هستند که در اغلب موارد، باعث مردود شناخته‌شدن محصول و درنتیجه موجب کاهش تولید و به عبارت دیگر کاهش راندمان[1] واحد تولید می‌شوند.

از آن‌جا که تولید قطعات بدون عیب باید با حداقل قیمت ممکن انجام گیرد و از نظر اقتصادی نیز مطلوب باشد، لذا باید مهمترین عامل هزینه‌های ریخته‌گری، یعنی مقدار جرم فلز ریخته شده به‌صورت «برگشتی[2]» تعیین شود.

در شکل ۱ــ۴ گردش تولید، از نظر فلز مورد مصرف، نشان داده شده است. از آن چنین استنباط می‌شود که ضایعات در قسمت‌های مختلف تولید وجود دارند و بعضی از آن‌ها را عملاً نمی‌توان به صفر کاهش داد.

۱ــ Efficiency ۲ــ Foundry returns



شکل ۱ــ۴ــ گردش تولید از نظر فلز مورد مصرف

می‌توان ضایعات در جریان تولید را به این صورت دسته‌بندی کرد :

الف ــ ضایعات در عملیات ذوب از طریق اکسیده‌شدن مذاب، ایجاد ترکیبات شیمیایی، تبخیر فلز مذاب، تجمع مذاب در سرباره و ... که عملاً غیرقابل استفاده مجدد است.

ب ــ اضافات ذوب و سرریزها که به‌صورت برگشتی استفاده می‌شوند.

ج ــ قطعات معیوبی که پس از ریختن، عملاً قابل بهره‌برداری نیستند و به‌صورت برگشتی مجدداً ذوب می‌شوند.

د ــ راهگاه‌ها و منابع تغذیه که قسمت عمده قراضه برگشتی کارگاه را تشکیل می‌دهند.

هـ ــ ضایعات براده، سوفاره و پلیسه‌ها که در جریان برش و جداکردن و همچنین تراش‌کاری که عملاً، در مواردی، غیربرگشتی و غیرقابل استفاده مجدد هستند ؛ ولی در بسیاری از موارد سوفاره و براده‌های درشت را جمع و پس از فشردن به‌صورت بلوکه، در ذوب مجدد استفاده می‌کنند.

و ــ قطعات معیوبی که پس ازکنترل نهایی از دور خارج شده و برای ذوب مجدد برگشت داده می‌شوند.

با توجه به نکات مذکور اکنون می‌توانیم راندمان یا بازده تولید را از دو نظر مورد بررسی قرار دهیم :

۱ــ۳ــ۴ــ راندمان ریختگی: عبارت است از نسبت جرم قطعات بدون سیستم راهگاهی و تغذیه (Q) به جرم قطعات با سیستم راهگاهی و تغذیه (P). اگر به‌شکل **۱ــ۴** توجه شود مشخص می‌شود که در این مرحله قطعات راهگاهی و منابع تغذیه جزء ضایعات (برگشتی) محسوب شده‌اند و لذا راندمان ریختگی پدیده‌ای است که در مورد طراحی سیستم راهگاهی حایز اهمیت است :

$$R_c = \frac{Q}{P} \times ۱۰۰$$ راندمان ریختگی

۲ــ۳ــ۴ــ راندمان کلّی 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 توأماً دخالت دارند :

$$R_t = \frac{S}{M} \times ۱۰۰$$ بازده یا راندمان کلی(مفید)

هر نوع مخارجی که برای راندمان ریختگی منظور می‌شود در بازده و راندمان کلی نیز مؤثر است. از این رو چنانچه بازده ریختگی زیاد باشد (میزان برگشتی‌ها کم شود)، مسلماً در بازده کلی

مؤثر است و آن را افزایش می‌دهد.

مثال: جرم یک قطعه ریختگی (جرم قطعه بدون سیستم راهگاهی و تغذیه : Q) ۴۴kg و جرم سیستم راهگاهی و تغذیه آن ۱۲kg توزین شده است. اگر از ضایعات برش و جداسازی قطعه از سیستم راهگاهی و تغذیه صرفنظر شود، راندمان ریختگی چه اندازه خواهد بود؟

حل: مجموع جرم قطعه ریختگی و سیستم راهگاهی و منبع تغذیه آن (جرم قطعه سالم : P) برابر است با :

$$P = ۴۴ + ۱۲ = ۵۶\,kg$$

به این ترتیب چون مقادیر Q و P معلوم هستند، راندمان ریختگی قابل محاسبه خواهد بود :

$$R_c = \frac{Q}{P} \times ۱۰۰ \Rightarrow R_c = \frac{۴۴}{۵۶} \times ۱۰۰ \approx ۷۸/۶ \text{ درصد}$$

تمرین

۱ــ چه مقداری ساچمه‌های نیکلی (۹۵٪ نیکل) و فروکرم (۶۰٪ کرم) بایستی به ۷۵۰ کیلوگرم چدن مذاب اضافه گردد تا مقدار نیکل چدن به ۰/۸٪ و مقدار کرم به ۰/۲۵٪ برسد. (هیچگونه سوختی برای نیکل و کرم درنظر گرفته نشود).

۲ــ تولید یک کارخانه ریخته‌گری ۷/۲ تن قطعه ریختگی در روز است. در صورتی که این مقدار، ۶۰٪ فلز شارژ شده در کوره را تشکیل دهد، تعیین کنید روزانه چه مقدار فلز در کوره شارژ می‌گردد. همچنین درصورتی که ۵٪ قطعات ریختگی به علت عیوب موجود در آن‌ها قابل مصرف نباشد، مقدار برگشتی این کارخانه را به دست آورید.

۳ــ برای تهیه ۵۰۰ کیلوگرم چدن با ۲/۲٪ سیلیسیم از ۲۵۰ کیلوگرم برگشتی با درصد سیلیسیم مشابه بقیه از دو نوع شمش A با ۱/۵٪ سیلیسیم و B با ۳/۴٪ سیلیسیم استفاده گردیده است. مطلوب است تعیین مقادیر لازم از شمش‌های A و B برای تهیه چدن موردنظر.

۴ــ چه مقدار فرومنگنز (۷۰٪ منگنز) بایستی به ۱ تن مذاب خروجی از کوره کوپل، اضافه گردد تا درصد منگنز را از ۰/۵٪ به ۰/۷۵٪ افزایش دهد (سوخت منگنز محتوی فرومنگنز ۲۵٪ درنظر گرفته شود).

۵ ــ در داخل یک بوته ۲۰ کیلوگرم مس، ۱/۷۵ کیلوگرم روی، ۱/۲۵ کیلوگرم قلع قرار دارد. چنانچه اکسیداسیون مس برابر ۱٪، روی برابر ۳٪ و قلع برابر ۱/۲٪ منظور شود، درصد

ترکیب شیمیایی برنج حاصل چیست؟

۶ ــ تهیه ۱۰۰۰ کیلوگرم آلیاژ آلومینیم با ۵٪ سیلیسیم، ۰/۴٪ منیزیم ۱/۲۵٪ مس و بقیه آلومینیم (با نسبت وزنی) موردنظر است. برای تهیه مذاب فوق عناصر و آلیاژهای زیر در اختیار قرار دارند :

آلومینیم خالص ــ آلیاژ آلومینیم با ۱۰٪ منیزیم ــ آلیاژ آلومینیم با ۵۰٪ مس ــ آلیاژ آلومینیم با ۱۳٪ سیلیسیم.

در صورتی که مقدار سوخت عناصر در هنگام ذوب ۱٪ برای سیلیسیم، ۳٪ برای منیزیم، ۱٪ برای مس و ۱٪ برای آلومینیم درنظر گرفته شوند، مطلوب است تعیین مقادیر اجزای متشکله شارژ کوره برای تهیه آلیاژ فوق.

۷ــ جرم یک قطعه فولادی ریختگی به چگالی $7/84 g/cm^3$ برابر است با ۲۴کیلوگرم. اگر قالب‌گیری ساده و بدون ماهیچه گذاری انجام گیرد، و از انقباض قطعه صرفنظر شود، مطلوب است محاسبه و تعیین :

الف ــ حجم قطعه برحسب دسی‌متر مکعب.

ب ــ جرم مدل چوبی آن برحسب kg با چگالی $0/61 g/cm^3$.

ج ــ جرم مدل فلزی آن برحسب کیلوگرم با چگالی $8/3 g/cm^3$.

د ــ جرم قطعه ریخته شده از جنس نوعی آلیاژ آلومینیم ــ منیزیم‌باچگالی $1/83 g/cm^3$ (از تمام انقباض‌ها صرفنظر می‌شود).

۸ ــ جرم یک مدل چوبی با چگالی $0/6 g/cm^3$، برابر است با 8/4kg. چنانچه قالب‌گیری ساده و بدون ماهیچه گذاری و قطعه ریختگی از یک نوع چدن با چگالی $7/1 g/cm^3$ باشد، مطلوب است محاسبه و تعیین :

الف ــ جرم قطعه چدنی، در صورتی که انقباض آن ناچیز فرض شود.

ب ــ جرم قطعه ریختگی، با توجه به اینکه ضریب انقباض خطی متوسط این چدن $10/3\times10^{-6}\ \frac{1}{^\circ C}$ باشد. $\theta_m = 1225^\circ C$ و $\theta_i = 25^\circ C$

ج ــ تعیین اختلاف جرم و مشخص کردن درصد آن در دو حالت الف و ب.

۹ــ جرم یک مدل چوبی (مدل مادر) ۱۱/۲ کیلوگرم و چگالی آن $0/65 g/cm^3$ است. اگر درصد انقباض خطی مدل فلزی (ثانویه) که به کمک مدل چوبی و از طریق ریخته‌گری تهیه شده باشد، برابر ۱/۵٪ و درصد انقباض خطی قطعه ۱/۹٪ باشد، جرم قطعه ریختگی از یک نوع برنج با چگالی

$8/8 g/cm^3$ را از روی مدل فلزی به دست آورید (قالب‌گیری بدون ماهیچه‌گذاری است).

۱۰ــ جرم یک مدل چوبی ۸/۴ کیلوگرم و جرم قطعه ریختگی چدنی که از روی آن قالب‌گیری شده است ۹۲/۲۵ کیلوگرم است. در صورتی که چگالی مدل چوبی و قطعه چدنی به ترتیب برابر $0/64 g/cm^3$ و $7/1 g/cm^3$ باشد، درصد انقباض حجمی این چدن را تعیین کنید.

۱۱ــ در یک کارگاه ریخته‌گری مقادیر توزین شده عبارتند از :

جرم شارژ : ۴۲۰kg ــ جرم قطعات با سیستم راهگاهی و تغذیه : ۳۴۰kg ــ جرم قطعات بدون سیستم راهگاهی و تغذیه ۲۸۰kg ــ جرم قطعات قابل فروش : ۲۵۰kg مطلوب است :

الف ــ راندمان ریختگی

ب ــ راندمان کل (مفید)

ج ــ جرم قطعات برگشتی در آخرین مراحل کنترل در صورتی که ضایعات تراش ۲/۵ درصد باشد.

۱۲ــ ۷۵۰ کیلوگرم آلیاژی از روی و آلومینیم و ۲۵۰ کیلوگرم از برگشتی‌های کارگاه در کوره شارژ شده‌اند. برای ریختن قطعاتی به جرم 5kg سیستم راهگاهی و منابع تغذیه طوری طرح شده‌اند که راندمان ریختگی برابر ۶۲/۵٪ است. درصورتی که تعداد قطعات ریخته شده ۱۲۲ عدد باشند، و در کنترل اولیه ۸ عدد و در کنترل نهایی ۴ عدد از آن‌ها معیوب تشخیص داده شوند، راندمان کلی و درصد ضایعات را تعیین کنید.

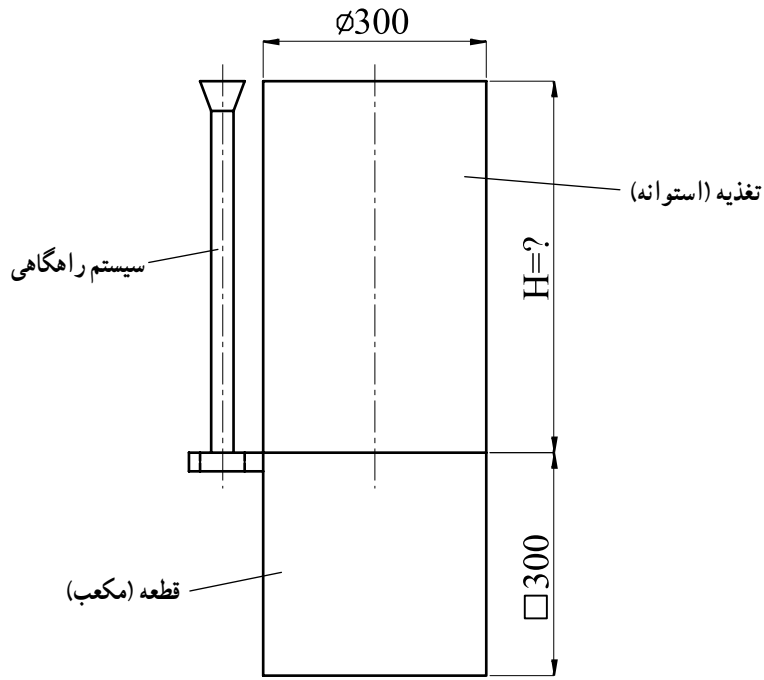
۱۳ــ برای تهیه ۲۶۵ قطعه برنزی که جرم هر یک به انضمام راهگاه و تغذیه ۱/۸ کیلوگرم و جرم هر قطعه ۱/۲ کیلوگرم است از 375kg بُرنز، 165kg آلیاژ برگشتی روز قبل، استفاده شده است. مطلوب است :

الف ــ تعیین راندمان ریختگی

ب ــ با توجه به این‌که جرم فلز ضایع شده در اثر ذوب برابر ۱٪ فلز شارژ شده باشد، تعداد قطعات معیوب را حساب و درصد عیوب را تعیین کنید.

۱۴ــ شکل ۲ــ۴ سیستم راهگاهی و تغذیه‌گذاری برای یک قطعه مکعبی از آلیاژ مس، قلع، روی (برنز محتوای روی با چگالی $8/8 g/cm^3$) را نشان می‌دهد.

چنانچه بخواهیم راندمان ریختگی از ۴۶٪ کمتر نباشد، ارتفاع تغذیه (H) باید چه اندازه انتخاب شود؟ درصورتی که جرم سیستم راهگاهی به‌تنهایی ۶ کیلوگرم است.



شکل ۲ــ۴ــ تعیین ارتفاع تغذیه با معلوم‌بودن راندمان ریختگی