

### محاسبات ساده در ریخته‌گری

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

- ۱- آلیاژ را تعریف کند.
- ۲- انواع شمش‌ها را تعریف کند.
- ۳- قراضه و برگشتی‌ها را توضیح دهد.
- ۴- درصد ترکیب آلیاژ را محاسبه کند.
- ۵- وزن شارژ کوره‌ها را محاسبه کند.
- ۶- وزن قطعه را به کمک وزن مدل محاسبه کند.
- ۷- راندمان ریختگی و کل را بشناسد و محاسبات مربوط به آن‌ها را انجام دهد.

### ۴- محاسبات ساده در ریخته‌گری

#### ۱-۴- 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:

۱- شمش‌های اولیه

۲- شمش‌های ثانویه

۳- آلیاژسازها

۴- قراضه‌ها

۵- مواد افزودنی مانند: فلاکس‌ها، گاززداها، ریزکننده‌ها و اصلاح‌کننده‌های دانه‌ها

۱-۱-۴- 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.

۲-۱-۴- 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.

۳-۱-۴- 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. به طور 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 اکسید شدن زیاد است که در نتیجه دامنه اتلافات فلزی زیاد می‌شود.

علاوه بر آن، چنانچه فلزی یا عنصری 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<sup>۱</sup> 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 - دارای نسبت ترکیبی متناهی از حداقل دو عنصر هستند.

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

ج - 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 ۱-۴ ترکیب

جدول ۱-۴ - نسبت ترکیب و نقطه ذوب چند نوع آلیاژساز

نوع آلیاژ	نسبت ترکیب	نقطه ذوب °C
مس - منگنز	۷۳Cu , ۲۷Mn	۸۶۰
مس - آهن	۹۰-۹۵Cu , ۱۰-۵Fe	۱۴۵۰
مس - سیلیسیم	۷۵Cu , ۲۵Si	۱۰۰۰
مس - قلع	۵۰Cu , ۵۰Sn	۷۸۰
مس - نیکل	۶۷-۸۵Cu , ۱۵-۳۳Ni	۱۰۵۰-۱۲۵۰
مس - آلومینیم	۵۰Cu , ۵۰Al	۵۸۰
آلومینیم - سیلیسیم	۸۵-۸۸Al , ۱۲-۱۵Si	۶۲۰-۶۶۰
آلومینیم - منیزیم	۸۹-۹۱Al , ۹-۱۱Mg	۵۶۰-۶۴۰
آلومینیم - منگنز	۸۹-۹۱Al , ۹-۱۱Mn	۷۷۰-۸۳۰
آلومینیم - برلیوم	۹۷-۹۸Al , ۲-۳Be	۶۰۰-۶۶۰
آلومینیم - آهن	۸۹-۹۱Al , ۹-۱۱Fe	۸۰۰-۸۵۰
آلومینیم - مس - منگنز	۵۰Al , ۴۰Cu , ۱۰Mn	۶۵۰
آلومینیم - مس - آهن	۷۰Al , ۲۰Cu , ۱۰Fe	۸۳۰

<sup>۱</sup> - Hardner

و نقطه ذوب چند نوع آلیاژساز نشان داده شده است.

#### ۴-۱-۴ 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 - 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 این که 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 - 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 به عمل آید، به عبارت دیگر تقریباً مشخص است که آلیاژهای پیستون از یک دامنه استاندارد محدود برخوردارند در حالی که دامنه برنرها 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 سوفا‌ها نیز بر همین اساس دسته‌بندی می‌گردند و با توجه به آن که استفاده مستقیم از براده‌ها به دلیل افزایش سطح تماس باعث شدت اکسید 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 آن‌ها که مستقیماً از آن‌ها بهره‌بر صناعی می‌گیرند.

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

توجه خواهد شد.

## ۵-۱-۴- 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 حتی الامکان از داخل شدن ناخالصی‌ها و مواد ناخواسته جلوگیری به عمل آید.

در مورد شارژ و نسبت ترکیبی آلیاژ معمولاً طریقه درصد وزنی را به کار 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:

$$۵۰ + ۳۰ + ۲۰ + ۱۰۰ = ۲۰۰ \text{ kg}$$

ابتدا باید هریک از عناصر موجود در آلیاژ تعیین گردد:

$$\frac{۵۰ \times ۱۰۰}{۱۰۰} = ۵۰ \text{ kg}$$

جرم مس خالص

$$\frac{۲۰ \times ۸۷}{۱۰۰} = ۱۷/۴ \text{ kg}$$

مقدار مس موجود در شمش برنز

$$\frac{۱۰۰ \times ۸۵}{۱۰۰} = ۸۵ \text{ kg}$$

مقدار مس موجود در تسمه برنزی

بنابراین مقدار کل مس در آلیاژ برابر است با:

$$۵۰ + ۱۷/۴ + ۸۵ = ۱۵۲/۴ \text{ kg}$$

$$\frac{۳۰ \times ۱۰۰}{۱۰۰} = ۳۰ \text{ kg}$$

جرم قلع خالص

$$\frac{۲۰ \times ۷}{۱۰۰} = ۱/۴ \text{ kg}$$

مقدار قلع موجود در شمش برنز

$$\frac{۱۰۰ \times ۱۰}{۱۰۰} = ۱۰ \text{ kg}$$

مقدار قلع موجود در تسمه برنزی

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

$$۳۰ + ۱/۴ + ۱۰ = ۴۱/۴ \text{ kg}$$

$$\frac{۲۰ \times ۵}{۱۰۰} = ۱ \text{ kg}$$

مقدار روی موجود در شمش برنز

$$\frac{100 \times 3}{100} = 3 \text{ kg} \quad \text{مقدار روی موجود در تسمه برتزی}$$

$$1 + 3 = 4 \text{ kg} \quad \text{کل مقدار روی که وارد آلیاژ می شود}$$

$$\frac{20 \times 1}{100} = 0.2 \text{ kg} \quad \text{مقدار سرب موجود در شمش برنز}$$

$$\frac{100 \times 2}{100} = 2 \text{ kg} \quad \text{مقدار سرب موجود در تسمه برتزی}$$

$$2 + 0.2 = 2.2 \text{ kg} \quad \text{کل مقدار سرب که وارد آلیاژ می شود}$$

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

$$152/4 + 41/4 + 4 + 2/2 = 200 \text{ kg}$$

چنانچه ملاحظه می شود جرم مجموع عناصر متشکله با جرم کلی آلیاژ یکسان بوده و بدین ترتیب صحت عملیات اثبات می گردد. اکنون می توان با تشکیل چند تناسب، درصد عناصر آلیاژ تهیه شده را حساب نمود.

آلیاژ	مس	
200 kg	152/4	
100	x	$x = \frac{100 \times 152/4}{200} = 76/2$ درصد مس

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

$$\frac{100 \times 41/4}{200} = 20.5 \quad \text{درصد قلع}$$

$$\frac{100 \times 4}{200} = 2 \quad \text{درصد روی}$$

$$\frac{100 \times 2/2}{200} = 1/1 \quad \text{درصد سرب}$$

۴-۱-۶- اتلافات کوره: در عمل همواره نسبتی از عناصر ترکیبی در اثر فعل و انفعال با هوا و یا مواد سوخت به سر باره منتقل می شوند. اتلافات ذوب به عوامل متعددی بستگی دارند که مهم ترین آن ها عبارتند از:

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

ب- روش و شرایط ذوب: آتمسفر محیط، درجه حرارت فوق ذوب، استفاده از فلاکس های

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

ج- نوع کوره: کوره‌ها اتلافات متفاوتی دارند که از نوع سوخت و ارتباط سوخت با مذاب ناشی می‌شوند. در جدول ۲-۴ اتلافات ذوب در کوره‌های متفاوت درج شده است.  
د- نوع شارژ: براساس آن‌که شارژ از شمش‌های اصلی و اولیه و یا از قراضه‌ها تشکیل شده باشد، مقدار اتلافات متفاوت خواهد بود.

جدول ۲-۴- 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	۲-۳	۳-۵	۳-۵	۳-۱۰
برلیم	۲-۳	۳-۵	۳-۵	۵-۱۰
آلومینیم	۱-۱/۵	۱-۲	۱-۲	۲-۳
سدیم	۲-۳	۳-۵	۳-۵	۵-۱۰
روی	۱-۳	۲-۴	۲-۳	۳-۵
منگنز	۰/۵-۱	۱-۲	۱-۲	۲-۳
قلع	۰/۵-۱	۱-۱/۵	۱-۱/۵	۱/۵-۲
آهن	۰/۵-۱	۰/۵-۱	۰/۵-۱	۰/۵-۱
نیکل	۰/۵-۱	۰/۵-۱	۰/۵-۱	۰/۵-۱
سیلیسیم	۰/۵-۱	۱-۱/۵	۱-۱/۵	۱/۵-۲
مس	۰/۵-۱	۱-۲	۱-۲	۲-۳
سرب	۰/۵-۲	۱-۲	-	-

مثال ۲: مطلوب است تعیین جرم مقادیر بار یک نوع کوره الکتریکی قوسی به منظور تهیه ۵۰۰ کیلوگرم از یک آلیاژ برتر 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 ۲-۴) 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:

$$\frac{6 \times 1}{100} = 0/06 \text{ kg} \quad \text{جرم قلع تلف شده}$$

$$\frac{6 \times 2}{100} = 0/12 \text{ kg} \quad \text{جرم روی تلف شده}$$

$$\frac{3 \times 2}{100} = 0/06 \text{ kg} \quad \text{جرم سرب تلف شده}$$

$$\frac{85 \times 1}{100} = 0/85 \text{ kg} \quad \text{جرم مس تلف شده}$$

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:

$$\frac{500 \times 4/26}{100} = 21/3 \text{ kg} \quad \text{شمش قلع}$$

$$\frac{500 \times 4/32}{100} = 21/6 \text{ kg} \quad \text{شمش روی}$$

$$\frac{500 \times 2/16}{100} = 10/8 \text{ kg} \quad \text{شمش سرب}$$



$$\frac{500 \times 60 / 35}{100} = 301.75 \text{ kg}$$

شمش مس

$$\frac{500 \times 30}{100} = 150 \text{ kg}$$

برگشتی قراضه

$$505 / 45 \text{ kg}$$

جرم کل بار کوره

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 ۲-۴ برابر: مس ۲ درصد - سیلیسیم ۱/۵ درصد - سرب ۲ درصد و روی ۳ درصد باشد.

۱- شمش خالص مس با ترکیب ۱۰۰٪ مس.

۲- شمش خالص سرب با ترکیب ۱۰۰٪ سرب.

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

۴- 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:

$$80 \times \frac{2}{100} = 1.6 \text{ kg}$$

اتلافات مس

$$14 \times \frac{3}{100} = 0.42 \text{ kg}$$

اتلافات روی

$$3 \times \frac{2}{100} = 0.06 \text{ kg}$$

اتلافات سرب

$$3 \times \frac{1/5}{100} = 0.045 \text{ kg}$$

اتلافات سیلیسیم

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

$$x = \frac{3/0.45 \times 100}{20} = 15/225 \text{ kg}$$

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

روی ۲ ۱۰۰ آلیاژ شماره ۴

$$x = \frac{15/225 \times 2}{100} = 0/30 \text{ kg}$$

جرم روی موجود در آلیاژ شماره ۴

جرم روی که باید از آلیاژ شماره ۳ تأمین شود:  $14/42 - 0/30 = 14/12 \text{ kg}$

روی ۴۰ ۱۰۰ آلیاژ شماره ۳

$$x = \frac{14/12 \times 100}{40} = 35/3 \text{ kg}$$

جرم مصرف شده از آلیاژ شماره ۳

۵ ۱۰۰ آلیاژ شماره ۳

$$x = \frac{35/3 \times 5}{100} = 1/76 \text{ kg}$$

جرم سرب تأمین شده توسط آلیاژ شماره ۳ که بقیه سرب لازم فقط از شمش سرب خالص (شماره ۲) تأمین می‌شود.

$$3/06 - 1/76 = 1/30 \text{ kg}$$

جرم شمش سرب خالص مصرف شده

جرم مس مصرف شده خالص باقی مانده مجموع شمش‌های مصرفی فوق از مجموع جرم لازم  $102/125$  کیلوگرم می‌باشد:

$$102/125 - (15/225 + 35/30 + 1/30) = 50/3 \text{ kg}$$

جرم مس خالص مصرفی

محاسبات فوق برای تهیه ۱۰۰ کیلوگرم آلیاژ بوده است و برای ذوب ۵۰۰ کیلوگرم با توجه به

$$\text{رابطه } \frac{500}{100} = 5$$

$$50/3 \times 5 = 251/5 \text{ kg}$$

۱- جرم مس خالص مصرفی (شماره ۱)

$$1/3 \times 5 = 6/5 \text{ kg}$$

۲- جرم سرب خالص مصرفی (شماره ۲)

$$۳- \text{جرم برنج مصرفی (شماره ۳)} \quad ۳۵/۳ \times ۵ = ۱۷۶/۵ \text{ kg}$$

$$۴- \text{جرم سیلیسیم برنج مصرفی (شماره ۴)} \quad ۱۵/۲۲۵ \times ۵ = ۷۶/۱۲۵ \text{ kg}$$

## ۴-۲- 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:

$$m_C = V_C \cdot \rho_C$$

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

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  $۷/۲ \text{ g/cm}^۳$  برابر  $۵۱$  کیلوگرم است. چنانچه قالب گیری ساده و بدون ماهیچه گذاری انجام گیرد و از انقباض قطعه صرف‌نظر شود، مطلوب است محاسبه و تعیین:

الف - حجم قطعه برحسب دسی متر مکعب.

ب - جرم مدل چوبی آن برحسب kg با چگالی  $۰/۶۵ \text{ g/cm}^۳$ .

ج - جرم مدل آلومینیمی آن برحسب کیلوگرم kg با چگالی  $۲/۷ \text{ g/cm}^۳$ .

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

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

$$V_C = \frac{m_C}{\rho_C} = \frac{۵۱}{۷/۲} = ۷/۰۸۳ \text{ دسی متر مکعب} \quad \text{حجم قطعه}$$

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

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

$$m_M = V_M \cdot \rho_M \quad , \quad V_M = V_C = 7/0.83 \text{ dm}^3$$

$$m_M = 7/0.83 \times 0/65 = 4/60.4 \text{ kg} \quad \text{جرم مدل چوبی}$$

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

$$m_M = 7/0.83 \times 2/7 = 19/124 \text{ kg} \quad \text{جرم مدل آلومینیمی}$$

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

$$m_C = V_C \cdot \rho_C = 7/0.83 \times 8/5 = 60/205 \text{ kg} \quad \text{جرم قطعه برنجی}$$

با توجه به این مثال، در عمل، به طور تقریبی می توان جرم قطعه را از روی نسبت سنگینی قطعه به سنگینی مدل به دست آورد. مثلاً چنانچه چگالی قطعه  $7/2 \text{ g/cm}^3$  (چدنی) چگالی مدل  $0/65 \text{ g/cm}^3$  (چوبی) باشد، خواهیم داشت:

$$m_C = \frac{\rho_C}{\rho_M} \times m_M = \frac{7/2}{0/65} \times m_M \approx 11 m_M$$

به عبارت دیگر می توان 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 انقباض های قطعه و همچنین مدل آلومینیمی ریخته شده (یا هر مدل فلزی ریخته شده از روی مدل اصلی) صرف نظر شده باشد. در غیر این صورت برای محاسبات مربوطه لازم است درصد انقباض ها و یا ضریب انقباض ها منظور شود. مثال بعد، این مطلب را روشن می کند.

مثال: جرم یک مدل فلزی از آلیاژ منیزیم - آلومینیم با چگالی  $1/82 \text{ g/cm}^3$  برابر است با  $7/7 \text{ kg}$ . چنانچه قالب گیری ساده و بدون ماهیچه گذاری و قطعه ریختگی از یک نوع چدن با چگالی  $7/2 \text{ g/cm}^3$  باشد، مطلوب است محاسبه و تعیین:

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

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

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{10} \times 10^{-6} = 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

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

نقطه ذوب این چدن  $125^\circ\text{C}$  است و قطعه تا درجه حرارت محیط ( $25^\circ\text{C}$ ) سرد می شود.

حل: الف - حجم مدل فلزی برابر است با:

$$V_M = \frac{m_M}{\rho_M} = \frac{7/7}{1/82} = 4/231 \text{ dm}^3$$

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

$$V_C = V_M = 4/231 \text{ dm}^3 \text{ حجم قطعه}$$

در نتیجه می توان جرم قطعه ریختگی را به دست آورد:

$$m_C = V_C \cdot \rho_C = 4/231 \times 7/2 = 30/463 \text{ kg}$$

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

$$m_C = V_M (1 - 3 \times 10^{-6}) \rho_C \quad \theta_i = 1250 - 25 = 1225^\circ \text{C}$$

$$W_C = 4/231 \times (1 - 3 \times 10^{-6} \times 1225) \times 7/2 = 29/321 \text{ kg}$$

جرم قطعه چدنی

و تفاوت جرم این دو حالت چنین است:

$$30/463 - 29/321 = 1/142 \text{ kg}$$

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

$$\frac{1/142}{30/463} \times 100 \approx 3/75 \text{ درصد}$$

۱-۲-۴- انقباض مضاعف: در مواردی، لازم است که از روی مدل اولیه (چوبی)، مدل

فلزی (ثانویه) قالب گیری و ریخته گری 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 می توان مجموع انقباض های مذکور را تعیین کرد و به کمک آن، جرم قطعه ریختگی را به دست آورد:

$$S = S_1 + S_2 \text{ درصد انقباض خطی نهایی}$$

$$m_C = V_M \left(1 - \frac{3S}{100}\right) \rho_C \text{ جرم قطعه}$$

در این روابط  $S_1$  و  $S_2$  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  $\rho_C$  چگالی قطعه است.

مثال: جرم یک مدل اولیه (چوبی)  $4/6 \text{ kg}$  و چگالی آن  $0/62 \text{ g/cm}^3$  است. چنانچه درصد

انقباض خطی مدل فلزی (ثانویه) مربوط به این مدل اولیه و درصد انقباض خطی قطعه به ترتیب  $1/3\%$

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

حل: درصد انقباض خطی نهایی چنین است:

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

و حجم مدل اولیه برابر است با:

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

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

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

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

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

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

### ۳-۴- راندمان ریخته‌گری

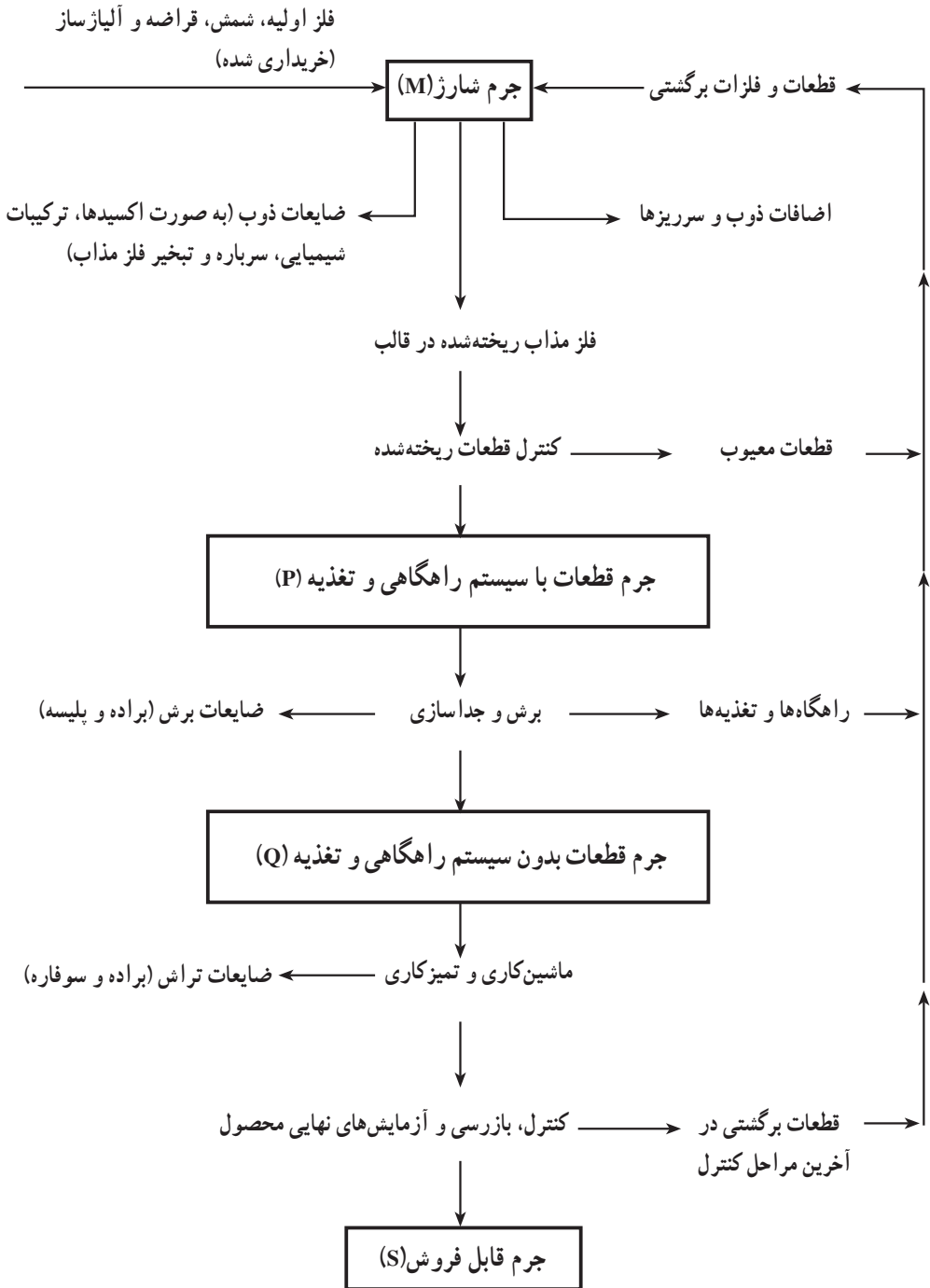
قطعات ریختگی اعم از محصولات نیم‌ساخته و یا قطعات تمام شده (حاصل از عملیات ریخته‌گری، متالورژیکی، ماشین کاری و ...) همواره شامل عیوب و نواقصی هستند که در اغلب موارد، باعث مردود شناخته‌شدن محصول و در نتیجه موجب کاهش تولید و به عبارت دیگر کاهش راندمان<sup>۱</sup> واحد تولید می‌شوند.

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 به صورت «برگشتی<sup>۲</sup>» تعیین شود.

در شکل ۱-۴ 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.

۱- Efficiency

۲- Foundry returns



شکل ۱-۴- گردش تولید از نظر فلز مورد مصرف

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

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

ب - اضافات ذوب و سرریزها که به صورت برگشتی استفاده می‌شوند.

ج - قطعات معیوبی که پس از ریختن، عملاً قابل بهره‌برداری نیستند و به صورت برگشتی مجدداً ذوب می‌شوند.

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

ه - ضایعات براده، سوفاره و پلیسه‌ها که در جریان برش و جدا کردن و همچنین تراش کاری که عملاً، در مواردی، غیر برگشتی و غیر قابل استفاده مجدد هستند؛ ولی در بسیاری از موارد سوفاره و براده‌های درشت را جمع و پس از فشردن به صورت بلوکه، در ذوب مجدد استفاده می‌کنند.

و - قطعات معیوبی که پس از کنترل 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 :

۱-۳-۴ - راندمان ریختگی: عبارت است از نسبت جرم قطعات بدون سیستم راهگاهی و تغذیه (Q) به جرم قطعات با سیستم راهگاهی و تغذیه (P). اگر به شکل ۱-۴ 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 :

$$R_c = \frac{Q}{P} \times 100 \quad \text{راندمان ریختگی}$$

۲-۳-۴ - 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 توأمأ دخالت دارند :

$$R_t = \frac{S}{M} \times 100 \quad \text{بازده یا راندمان کلی (مفید)}$$

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 می دهد.

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:

$$P = 44 + 12 = 56 \text{ kg}$$

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

$$R_c = \frac{Q}{P} \times 100 \Rightarrow R_c = \frac{44}{56} \times 100 \approx 78.6 \text{ درصد}$$

## تمرین

۱- چه مقداری ساچمه های 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 در نظر گرفته نشود).

۲- تولید یک کارخانه ریخته گری 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 می گردد. همچنین در صورتی که ۵٪ قطعات ریختگی به علت عیوب موجود در آنها قابل مصرف نباشد، مقدار برگشتی این کارخانه را به دست آورید.

۳- 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 شمش های A و B برای تهیه چدن مورد نظر.

۴- 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٪ در نظر گرفته شود).

۵- 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- تهیه ۱۰۰۰ کیلوگرم آلیاژ آلومینیم با ۵٪ سیلیسیم، 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 - آلیاژ آلومینیم با ۱۰٪ منیزیم - آلیاژ آلومینیم با ۵۰٪ مس - 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 در نظر گرفته شوند، مطلوب است تعیین مقادیر اجزای متشکله شارژ کوره برای تهیه آلیاژ فوق.

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

الف - حجم قطعه برحسب دسی متر مکعب.

ب - جرم مدل چوبی آن برحسب kg با چگالی  $0/61 \text{ g/cm}^3$ .

ج - جرم مدل فلزی آن برحسب کیلوگرم با چگالی  $8/3 \text{ g/cm}^3$ .

د - جرم قطعه ریخته شده از جنس نوعی آلیاژ آلومینیم - منیزیم با چگالی  $1/83 \text{ g/cm}^3$  (از تمام انقباضها صرفنظر می شود).

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

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

ب - جرم قطعه ریختگی، با توجه به اینکه ضریب انقباض خطی متوسط این چدن

$$\theta_i = 25^\circ\text{C} \quad \text{و} \quad \theta_m = 1225^\circ\text{C} \quad \frac{1}{10^6} \times 10/3 \quad \text{باشد.}$$

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

۹- جرم یک مدل چوبی (مدل مادر)  $11/2$  کیلوگرم و چگالی آن  $0/65 \text{ g/cm}^3$  است. اگر درصد انقباض خطی مدل فلزی (نانویه) که به کمک مدل چوبی و از طریق ریخته گری تهیه شده باشد، برابر  $1/5$ ٪ و درصد انقباض خطی قطعه  $1/9$ ٪ باشد، جرم قطعه ریختگی از یک نوع برنج با چگالی

$8/8 \text{ g/cm}^3$  را از روی مدل فلزی به دست آورید (قالب گیری بدون ماهیچه گذاری است).  
 ۱- جرم یک مدل چوبی  $8/4$  کیلوگرم و جرم قطعه ریختگی چدنی که از روی آن قالب گیری شده است  $92/25$  کیلوگرم است. در صورتی که چگالی مدل چوبی و قطعه چدنی به ترتیب برابر  $0/64 \text{ g/cm}^3$  و  $7/1 \text{ g/cm}^3$  باشد، درصد انقباض حجمی این چدن را تعیین کنید.  
 ۱۱- در یک کارگاه ریخته گری مقادیر توزین شده عبارتند از:

جرم شارژ:  $42^\circ \text{ kg}$  - جرم قطعات با سیستم راهگاهی و تغذیه:  $34^\circ \text{ kg}$  - جرم قطعات بدون سیستم راهگاهی و تغذیه  $28^\circ \text{ kg}$  - جرم قطعات قابل فروش:  $25^\circ \text{ kg}$  مطلوب است:

الف - راندمان ریختگی

ب - راندمان کل (مفید)

ج - جرم قطعات برگشتی در آخرین مراحل کنترل در صورتی که ضایعات تراش  $2/5$  درصد باشد.

۱۲-  $75^\circ$  کیلوگرم آلیاژی از روی و آلومینیم و  $25^\circ$  کیلوگرم از برگشتی های کارگاه در کوره شارژ شده اند. برای ریختن قطعاتی به جرم  $5 \text{ kg}$  سیستم راهگاهی و منابع تغذیه طوری طرح شده اند که راندمان ریختگی برابر  $62/5\%$  است. در صورتی که تعداد قطعات ریخته شده  $122$  عدد باشند، و در کنترل اولیه  $8$  عدد و در کنترل نهایی  $4$  عدد از آنها معیوب تشخیص داده شوند، راندمان کلی و درصد ضایعات را تعیین کنید.

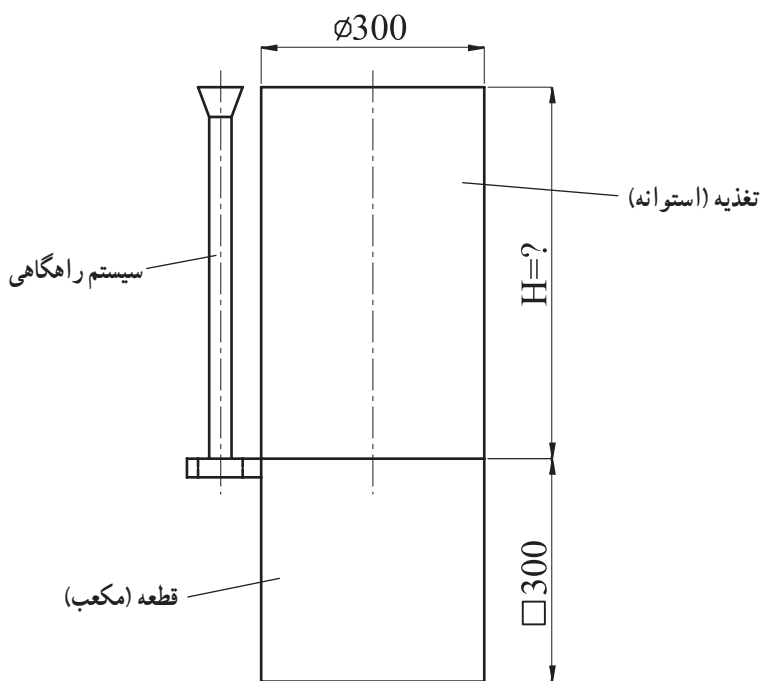
۱۳- برای تهیه  $265$  قطعه برنزی که جرم هر یک به انضمام راهگاه و تغذیه  $1/8$  کیلوگرم و جرم هر قطعه  $1/2$  کیلوگرم است از  $375 \text{ kg}$  برنز،  $165 \text{ kg}$  آلیاژ برگشتی روز قبل، استفاده شده است. مطلوب است:

الف - تعیین راندمان ریختگی

ب - با توجه به این که جرم فلز ضایع شده در اثر ذوب برابر  $1\%$  فلز شارژ شده باشد، تعداد قطعات معیوب را حساب و درصد عیوب را تعیین کنید.

۱۴- شکل ۲-۴ سیستم راهگاهی و تغذیه گذاری برای یک قطعه مکعبی از آلیاژ مس، قلع، روی (برنز محتوای روی با چگالی  $8/8 \text{ g/cm}^3$ ) را نشان می دهد.

چنانچه بخواهیم راندمان ریختگی از  $46\%$  کمتر نباشد، ارتفاع تغذیه (H) باید چه اندازه انتخاب شود؟ در صورتی که جرم سیستم راهگاهی به تنهایی  $6$  کیلوگرم است.



شکل ۲-۴- تعیین ارتفاع تغذیه با معلوم بودن راندمان ریختگی