

## فصل ۲

### آلیاژسازی مس

## کانی‌های معرف مس، استخراج مس، تغلیظ

در این قسمت کانی‌های معروف مس معرفی شده است و لازم است فرق کانی‌های سولفیدی و اکسیدی برای هنرجویان توضیح داده شود و همچنین باید درباره روش استخراج کانی‌های سولفیدی که ذوب است، توضیح داده شود که چرا کانی‌های اکسیدی را ذوب نمی‌کنند.

در روش پیرومتالورژی ذوب صورت می‌گیرد که کانی‌های سولفیدی استخراج می‌شوند ولی در روش هیدرومتالورژی حل کردن در اسید اتفاق می‌افتد که در نهایت به کاند ختم می‌گردد.

نکته



دانش‌افزایی

مس در برخی معادن به صورت خالص نیز یافت می‌شود ولی مقدار آن بسیار کم و اندک است و در استخراج مس همچنین مقدار قابل توجهی گوگرد یافت می‌شود عناصری مانند: مولیبدن - طلا - نقره - آرسنیک - سلنیم نیز وجود دارند.

مس استخراج شده در کوره‌های تشعشعی ریورب و فلش ذوب می‌گردد که نوع فلش جدیدتر می‌باشد و سوخت‌های آنها گازوییل - گاز شهری است. شعله بر روی سطح مذاب پخش می‌گردد و منجر به ذوب کنسانتره می‌گردد.

نکته



## مس و سنگ معدن‌های آن

مس حدود  $10^{-3} \times 5$  درصد پوسته زمین را تشکیل می‌دهد و مقدار آن در آب دریاها در حدود  $10^{-7} \times 3$  درصد است که در نتیجه قشر زمین برای استخراج مس مناسب‌تر است. مس به سه صورت در طبیعت یافت می‌شود که عبارت‌اند از: سنگ‌های اکسیده - سنگ‌های سولفور - مس طبیعی  
سنگ‌های اکسیده بیشتر در سطح قشر زمین وجود دارند و تغییرات جوی و فعل و انفعالاتی که در طبیعت صورت می‌گیرد باعث می‌شود که سنگ‌های سولفور تبدیل به سنگ‌های اکسیده شوند که بیشتر از کربنات طبیعی، اکسیدها و... تشکیل شده‌اند همانند کوپریت  $Cu_2O$ .  
سنگ‌های سولفور برعکس سنگ‌های اکسیده در عمق بیشتری از قشر زمین قرار گرفته‌اند. قسمت اعظم سنگ‌های مس را سنگ‌های سولفور تشکیل می‌دهند همانند کالکوپریت  $CuFeS_2$ .

یادآوری

## چرا محصولات مسی و آلیاژهای آن پس از مدتی به رنگ سبز در می آیند؟

مس در مجاورت هوا و رطوبت از یک قشر نازک مس اکسید که مخلوطی از  $\text{CuO}$  و  $\text{Cu}_2\text{O}$  است، پوشیده می شود. این قشر نازک بقیه فلز را از اکسید شدن حفظ می کند. اگر مدت زیادی این اکسیدها در مجاورت هوا قرار گیرند و یا سطح مس به شدت اکسیده شود رنگ مایل به سیاه آن به تدریج به رنگ سبز که مخلوطی از سولفات و یا کلورهای بازی است تبدیل می گردد که در آثار قدیمی مس مشاهده می شود و به نام زرنگار (Patina) معروف است.

توجه



معمولاً عملیات استخراج بر روی سنگ معدن های اکسیدی از طریق هیدرومتالورژی و سنگ معدن های سولفیدی از طریق پیرومتالورژی انجام می گیرد.

## شناسایی جریان های آرام و آشفته بر اساس محاسبه عدد رینولدز

یادآوری

ایجاد جریان آرام و حداقل آشفته گی، برای دستیابی به قطعاتی سالم و بدون تخلخل گازی و ذرات سرباره ای از اهمیت خاصی برخوردار است. معمولاً برای شناخت نوع جریان از عدد رینولدز استفاده می شود. اگر عدد رینولدز کمتر از ۳۰۰۰ باشد جریان سیستم راهگامی آرام و اگر بیش از ۳۰۰۰۰ باشد جریان آشفته است. بین این دو جریان آرام ریخته گری نام دارد.

رابطه سرعت جریان مذاب (سرعت لحظه ای مذاب) از رابطه زیر به دست می آید:

$$v = \frac{\eta \times R_e}{\rho \times D_e}$$

که در آن:

$v$  سرعت جریان مایع (متر بر ثانیه  $\frac{m}{s}$ )

$\eta$  گرانروی دینامیکی مایع [کیلوگرم بر (متر ثانیه)]  $\frac{kg}{m.s}$

$R_e$  عدد رینولدز (بدون بعد)

$D_e$  قطر معادل کانال (متر  $m$ )

$\rho$  چگالی (کیلوگرم بر متر مکعب  $kg/m^3$ )

قابل ذکر است که برای مقاطع غیر دایره ای  $D_e$ ، قطر معادل است، که از رابطه

$$D_e = \frac{4 \times A}{U}$$

زیر به دست می آید:

$A$  و  $U$  به ترتیب مساحت و محیط مقطع است.

## تفاوت کوره های فلش و ریورب

۱ ارتفاع مذاب در فلش کمتر از ریورب (حدود ۷۰ سانتی متر) و در ریورب بین ۱۰۰ تا ۱۲۰ سانتی متر می باشد.

۲ سوخت کمتری نیز نسبت به ریورب مصرف می کند حتی اگر  $O_2$  خالص اضافه کنیم می توان سوخت را حذف کرده و در نتیجه افزایش راندمان تولید را داریم (تولید  $\frac{ton}{h}$  ۱۱۰).

۳ ترمیم و بازسازی کوره فلش هر ۷ سال یکبار انجام می شود ولی در کوره ریورب هر سال انجام می گردد.

توجه

مولیبدن در تغلیظ کنسانتره مس از روش فلوتاسیون به دست می آید.



فعالیت عملی

عمل فلوتاسیون را در کارگاه در یک وان به صورت شماتیک انجام داده تا هنرجویان با روش فلوتاسیون آشنا گردند. (توسط ایجاد کف با مایع دست شویی یا ظرف شویی و استفاده از براده های آهن)



## کاربرد مس و آلیاژهای آن، جنس قالب ها و سیستم راهگامی

کاربرد مس خالص فقط در صنایع الکتریکی است. ولی آلیاژهای مس کاربرد فراوانی دارند به طور مثال یکی از کاربردهای برنج ها در قدیم استفاده از دستگیره های در و شیرآلات بوده است که علاوه بر بحث مقاومت به خوردگی، خاصیت میکروب کشی و اثر ضدباکتری آن مد نظر قرار داده می شود. امروزه ظروف مسی جهت پخت و پز استفاده می گردد که به این ظروف دودرصد روی جهت استحکام بخشیدن به مس اضافه می گردد.

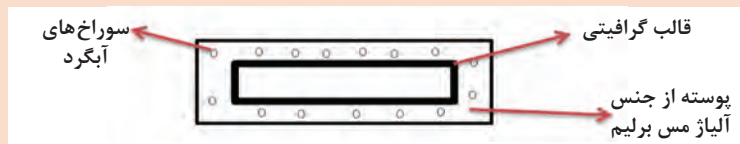
توجه

در ظروف مسی باید حتماً این مطلب را مد نظر داشته باشیم که دارای روکش قلع و یا قلع اندود باشد چون زنگار مس بسیار خطرناک و کشنده است.



دانش افزایی

جنس رادیاتورهای خودروها در گذشته از آلیاژهای مس مانند برنز-قلع بوده است که امروزه جای خود را به آلیاژهای آلومینیوم داده است. جنس شیرآلات بهداشتی نیز از آلیاژ برنج‌های سرب‌دار است و دلیل آن مقاومت به خوردگی بیشتر است. جنس قالب‌های شمش‌ریزی مس و آلیاژهای آن گرافیتی است که توسط یک قالب مسی آبگرد نگهداری می‌شود.



شکل قالب اسلب‌ریزی مس و آلیاژهای آن

توجه



- ۱ جهت افزایش عمر قالب‌ها می‌توان به جای آب از گاز نیتروژن جهت خنک‌کاری قالب استفاده کرد.
- ۲ سیستم راهگامی در قالب‌گیری جهت ذوب‌ریزی مس و آلیاژهای آن از نوع فشاری می‌باشد.

دانش افزایی

با توجه به گرانروی بالای مس و آلیاژهای آن که ناشی از نحوه انجماد پوسته‌ای، خمیری می‌باشد بنابراین سرعت لحظه‌ای مذاب را محاسبه می‌کنیم.

فعالیت عملی



فعالیت صفحه ۵۶:

مذابی از آلومینیوم با جریانی آرام ( $R_e = 2000$ ) در راهگام اصلی یک سیستم راهگامی با مقطع مستطیل شکل به ابعاد ۲ و ۳ سانتی‌متر جاری شده است با توجه به اینکه گرانروی دینامیکی و جرم مخصوص مذاب آلومینیوم به ترتیب برابر است با ۰/۰۳ گرم بر سانتی‌متر ثانیه (پواز) و ۲/۴۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشند. سرعت خطی مذاب را برحسب ( $\frac{m}{s}$ ) محاسبه کنید. ابتدا باید قطر معادل را محاسبه کرد:

$$D_e = \frac{4 \times A}{U} \Rightarrow D_e = \frac{4 \times 2 \times 3}{2(2+3)} = 2/4 \text{ cm}$$

$$v = \frac{\eta \times R_e}{\rho \times D_e} \Rightarrow v = \frac{0/03 \times 2000}{2/45 \times 2/4} = 10/2 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 0/102 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

## محاسبه سیستم راهگاهی، محاسبه ابعاد تغذیه

پس از به دست آوردن  $A_s$  از رابطه، در صورتی که راهگاہ به صورت مخروط بود سطح مقطع تنگه آن را در فرمول مساحت دایره جایگزین کرده و قطر کانال به دست می آید.

$$A_s = \frac{d^2 \pi}{4}$$



و برای به دست آوردن  $A_r$  و  $A_g$  می توان  $A_s$  را در ضریب آن ضرب کرد و مساحت مقطع راهگاہ اصلی و فرعی را به دست آورد مثلاً اگر سیستم ۳:۹:۱ باشد و  $A_s$  به دست آمده  $10 \text{ cm}^2$  باشد  $A_r$  و  $A_g$  به صورت زیر حساب می گردد.

$$3:9:1 \rightarrow 10 : 30 : 3/3$$

یعنی  $A_r = 30 \text{ cm}^2$  و  $A_g = 3/3 \text{ cm}^2$  است.

پرسش

پرسش صفحه ۵۷:

بله، برای قطعات کوچک و با ضخامت کم



فعالیت  
کارگاهی

فعالیت ۱ صفحه ۵۹:

ابتدا از طریق حجم و چگالی، جرم قطعه محاسبه می شود:

$$V = \frac{d^2 \times \pi}{4} \times h \Rightarrow V = \frac{4^2 \times \pi}{4} \times 6 = 75/36 \text{ cm}^3$$

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho \times V \Rightarrow m = 8/5 \times 75/36 = 640/56 \text{ g}$$

$$A_c = \frac{m}{\rho \cdot \mu \cdot t \cdot \sqrt{2gh_e}} \rightarrow A_c = \frac{640/56}{8/5 \times 5 \times 0/6 \sqrt{2 \times 980 \times 6}}$$

$$A = \frac{640}{2764} \frac{56}{2} = 0/231 \text{ cm} = 2/31 \text{ mm}$$



فعالیت  
کارگاهی



فعالیت ۲ صفحه ۵۹:

حجم مکعب مستطیل:

$$V_1 = a \times b \times c = 7 \times 7 \times 2 = 98 \text{ cm}^3$$

حجم استوانه:

$$V_2 = \frac{\pi D^2}{4} \times h = V = \frac{3/14 \times 3^2}{4} \times 4 = 28/26 \text{ cm}^3$$

حجم کل قطعه (استوانه + مکعب مستطیل):

$$V = V_1 + V_2 = 98 + 28/26 = 126/26 \text{ cm}^3$$

محاسبه جرم از رابطه چگالی و حجم و در نهایت تعیین ارتفاع مؤثر:

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho \times V \Rightarrow m = 8/7 \times 126/26 = 1098/462 \text{ g}$$

$$A_c = \frac{m}{\rho \cdot \mu \cdot t \cdot \sqrt{2gh_e}} \Rightarrow 2 = \frac{1098/462}{8/7 \times 0/5 \times 10 \cdot \sqrt{2 \times 10000 \times h_e}}$$

$$\Rightarrow \sqrt{2000 \cdot h_e} = \frac{1098/462}{2 \times 8/7 \times 0/5 \times 10} \Rightarrow \sqrt{2000 \cdot h_e} = \frac{1098/462}{87} \Rightarrow$$

$$(\sqrt{2000 \cdot h_e})^2 = (12/62)^2 \Rightarrow 2000 \cdot h_e = 159/26 \rightarrow$$

$$h_e = \frac{159/26}{2000} = 0/079 \text{ cm}$$

فعالیت  
کارگاهی



فعالیت صفحه ۵۹:

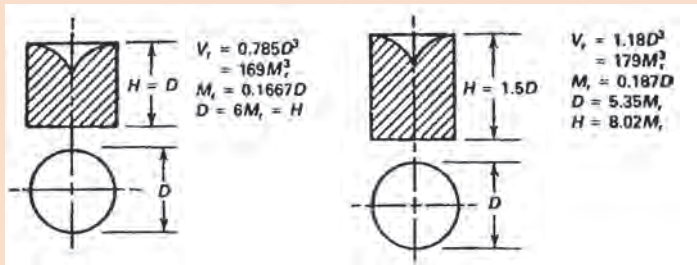
محاسبه مدول قطعه:

$$M_c = \frac{V_c}{A_c} \Rightarrow M_c = \frac{\frac{20^2 \times \pi}{4} \times 30}{(30 \times \pi \times 20) + (2 \times \frac{20^2 \times \pi}{4})} = 3/75 \text{ cm}$$

محاسبه مدول قطعه:

$$\frac{M_r}{M_c} = 1/2 \Rightarrow M_r = 3/75 \times 1/2 = 4/5 \text{ مدول تغذیه}$$

در صورتی که مدول و نسبت ابعادی تغذیه مشخص باشد می توان از روابطی ابعاد تغذیه را براساس مدول به دست آورد دو نمونه آن به صورت زیر است:



بنابراین قطر و سپس ارتفاع تغذیه براساس مدول حساب می شود:

$$M_r = 0.187D \Rightarrow D = \frac{M_r}{0.187}$$

$$D = \frac{4/5}{0.187} \Rightarrow D \approx 24 \text{ cm} \Rightarrow H = 24 \times 1.5 = 36 \text{ cm}$$

## روش شارژ کوره، کوره ناندیش و نقش آن، محاسبه آلیاژسازی، نمونه گیری از مذاب

با توجه به تفاوت نقطه ذوب و چگالی فلزات جهت آلیاژسازی باید چند نکته مدنظر باشد.

- ۱ زمان افزودن عناصر آلیاژی
- ۲ نحوه اضافه کردن عناصر آلیاژی
- ۳ استفاده از پوشش هنگام اضافه کردن عناصر آلیاژی

نحوه افزودن عناصر آلیاژ با توجه به مباحثی که گفته شد متفاوت است که در کتاب نحوه افزودن قلع و آلومینیوم و روی آورده شده است. نحوه افزودن نیکل در ورشو به این صورت است که ابتدا کوره القایی را تا یک چهارم ظرفیت آن شارژ کرده و مس را ذوب می کنیم.  $\frac{1}{4}$  درصد نیکل به مذاب اضافه کرده و پس از آماده سازی مذاب آلیاژ، مقدار مس را تا  $\frac{1}{3}$  ظرفیت کوره رسانده و با داشتن فوق ذوب مناسب



## فصل دوم: آلیاژسازی مس

(حدود  $150^{\circ}\text{C}$ ) کل نیکل را به مذاب اضافه می‌کنیم، سپس مس باقی‌مانده را به کوره افزوده و پوشش زغال را به کوره می‌دهیم تا کوره به فوق ذوب مناسب برسد.

### توجه



پوشش زغال متداول‌ترین پوشش در مس و آلیاژهای آن است به دو دلیل شیشه به‌عنوان پوشش مصرف کمتری دارد.

۱) جداسازی سختی دارد (مانند پنیر پیتزا کش می‌آید)

۲) بلافاصله به‌صورت تیغه‌های تیز در می‌آید که بسیار تیز و برنده می‌باشد.

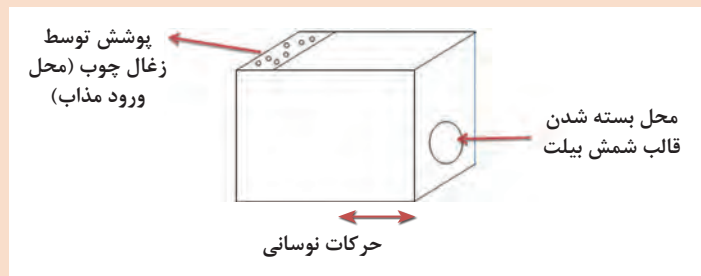
### توجه



جوانه‌زایی مکانیکی یکی از پرکاربردترین و مؤثرترین راه‌جهت جوانه‌زایی مس و آلیاژهای آن است.

### دانش‌افزایی

جوانه‌زایی مکانیکی به این صورت است که کوره‌ای تهیه می‌شود که از یک طرف آن مذاب از کوره ذوب و آلیاژسازی شده وارد و از طرف دیگر که قالب به آن متصل است خارج می‌گردد. این نوع کوره‌ها دارای حرکات نوسانی است که این حرکات منجر به خرد و ریز شدن یکنواخت دندریت‌ها می‌گردد.



شکل تاندیش

آلیاژسازی مس باید تحت پوشش‌های زیر باشند.

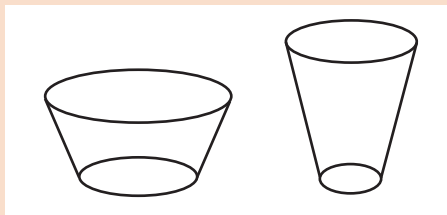
۱ بوراکس

۲ شیشه

۳ کریولیت

۴ زغال چوب

برای آلیاژسازی در کوره‌های زمینی حتماً در نظر داشته باشید جهت آلیاژسازی پوشش زغال همواره تا قبل از ریختن مذاب بر روی سطح مذاب باشد و برای استفاده از ظرفیت اسمی بوته می‌توان به صورت زیر از یک طوقه بریده شده استفاده کرد تا بتوان از قراضه‌ها و برگشتی‌ها استفاده کرد.



قطر کوچک‌تر بوته بریده شده باید برابر با قطر بزرگ بوته ذوب باشد.

توجه



برای آلیاژهای برنج نباید بیش از یک میزانی فوق ذوب در نظر گرفت چون فشار بخار روی نسبت به دما به شدت افزایش پیدا می‌کند که در جدول زیر مشهود است که روی در دمای  $900^{\circ}\text{C}$  دارای فشار بخار  $160\text{ mm Hg}$  است و در دمای  $1200$  درجه سلسیوس این فشار بخار به  $2000\text{ mm Hg}$  رسیده است.

جدول فشار بخار روی در برنج مذاب (میلی‌متر جیوه)

درجه حرارت	۴۰٪	۳۵٪	۳۰٪	۲۰٪
۹۰۰	۱۶۰	۱۲۵	۹۰	۳۰
۱۰۰۰	۴۳۰	۳۳۰	۲۳۰	۸۰
۱۱۰۰	۹۸۰	۷۶۰	۵۴۰	۱۸۰
۱۲۰۰	۲۰۰۰	۱۵۵۰	۱۱۰۰	۳۷۰



فعالیت کارگاهی صفحه ۶۸:

اگر محاسبات بر اساس تهیه ۱۰۰ کیلوگرم آلیاژ انجام شود، اتلافات ذوب عبارت است از:

$$۸۰ \times \frac{۲}{۱۰۰} = ۱/۶ \text{ kg} \text{ اتلافات مس}$$

$$۱۴ \times \frac{۳}{۱۰۰} = ۰/۴۲ \text{ kg} \text{ اتلافات روی}$$

$$۳ \times \frac{۲}{۱۰۰} = ۰/۰۶ \text{ kg} \text{ اتلافات سرب}$$

$$۳ \times \frac{۱/۵}{۱۰۰} = ۰/۰۴۵ \text{ kg} \text{ اتلافات سیلیسیم}$$

بنابراین برای تهیه ۱۰۰ کیلوگرم آلیاژ با ترکیب مورد نظر داریم:

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

سیلیسیم لازم فقط از آلیاژ ۴ تأمین می‌شود بنابراین جرم آلیاژ ۴:

$$۱۰۰ \quad ۲۰$$

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

جرم روی موجود در آلیاژ ۴:

$$۱۰۰ \quad ۲$$

$$۱۵/۲۲۵ \quad x \Rightarrow x = \frac{۲ \times ۱۵/۲۲۵}{۱۰۰} = ۰/۳ \text{ kg}$$

جرم روی باقی‌مانده که باید از آلیاژ ۳ تأمین شود و همچنین جرم آلیاژ ۳:

$$۱۴/۴۲ - ۰/۳ = ۱۴/۱۲ \text{ kg}$$

$$۱۰۰ \quad ۴۰$$

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

جرم سرب موجود در آلیاژ ۳:

$$۱۰۰ \quad ۵ \quad w$$

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

جرم شمش سرب خالص:

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

جرم شمش مس خالص:

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

برای تهیه ۵۰۰ کیلوگرم آلیاژ باید مقادیر به دست آمده را در عدد پنج ضرب کنیم:

جرم شمش مس خالص:

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

جرم شمش سرب خالص:

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

جرم کل آلیاژ ۳:

$$35/30 \times 5 = 176/5 \text{ kg}$$

جرم کل آلیاژ ۴:

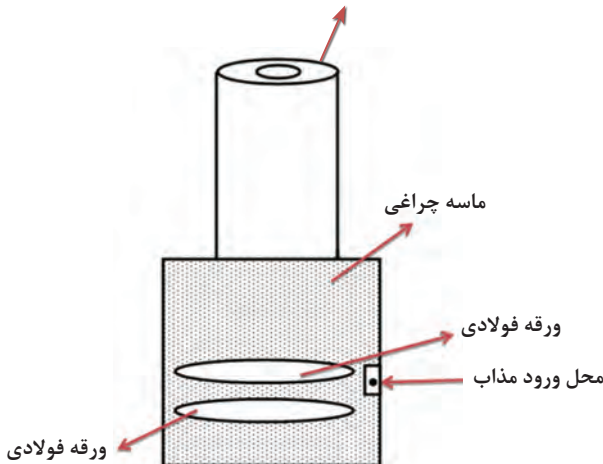
$$15/225 \times 5 = 76/125 \text{ kg}$$

## نحوه نمونه گیری

۱ توسط ملاقه و ریختن در قالب فلزی

۲ توسط نمونه گیر یک بار مصرف

مقوا چند لایه استوانه‌ای جهت وارد کردن میله برای نمونه‌گیری مستقیم از مذاب



شکل نمونه‌گیر یک بار مصرف