



دانشگاه آزاد اسلامی  
واحد تهران جنوب  
دانشکده تحصیلات تکمیلی

سمینار برای دریافت درجه کارشناسی ارشد “*M.Sc*”  
مهندسی مواد - شناسایی و انتخاب مواد مهندسی

عنوان :

مکانیزمهای مقاوم شدن در آلیاژهای مس

استاد راهنما:

نگارش:

## فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان مطالب
۱	چکیده
۲	مقدمه
۳	<b>فصل اول: کلیات</b>
۴	۱-۱) هدف
۵	۲-۱) پیشینه تحقیق
۷	۳-۱) روش کار و تحقیق
۸	<b>فصل دوم: مس و خواص آن</b>
۱۰	۱-۲) مس و آلیاژهای آن
۱۰	۱-۱-۲) هدایت الکتریکی
۱۲	۱-۱-۱-۲) مقیاس هدایت الکتریکی
۱۲	۲-۱-۱-۲) تاثیر دما
۱۲	۳-۱-۱-۲) اثر اندازه دانه و کار سرد
۱۴	۴-۱-۱-۲) تاثیر ترکیب
۱۴	۵-۱-۱-۲) اثر آلیاژ کردن
۱۵	۲-۱-۲) هدایت حرارتی
۱۶	۳-۱-۲) مقاومت به خوردگی
۱۸	۴-۱-۲) کارپذیری
۱۹	۵-۱-۲) جوش پذیری
۱۹	۶-۱-۲) لحیم کاری
۱۹	۷-۱-۲) قابلیت لحیم کاری سخت

۱۹	۸-۱-۲- قابلیت ماشینکاری
۲۲	<b>فصل سوم: روشهای استحکام دهی در فلزات</b>
۲۳	۱-۳- مقاوم کردن به واسطه ریز کردن اندازه دانه‌ها
۲۵	۲-۳- کرنش سختی
۲۵	۳-۳- پیر سازی کرنشی
۲۷	۴-۳- محلول جامد
۲۹	۵-۳- استحکام دهی بوسیله ذرات ریز
۳۱	۶-۳- رسوب سختی
۳۲	۷-۳- عبور از ذرات
۳۶	۸-۳- آنیل کردن فلزات کار سرد شده
۳۹	<b>فصل چهارم: استحکام دهی آلیاژهای مس</b>
۴۰	۱-۴- استحکام دهی مس خالص تجاری
۴۳	۲-۴- استحکام دهی در آلیاژهای مس- روی
۵۳	۳-۴- استحکام دهی در آلیاژهای مس- قلع
۵۸	۴-۴- استحکام دهی در آلیاژهای مس- آلومینیوم
۶۴	۵-۴- استحکام دهی در آلیاژهای مس- بریلیوم
۶۸	۶-۴- استحکام دهی در آلیاژهای مس- کروم

۷۰	فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۷۱	نتیجه‌گیری
۷۲	پیشنهادات
۷۳	پیوست‌ها
۷۵	منابع و ماخذ
۷۶	فهرست منابع فارسی
۷۶	فهرست منابع لاتین
۸۰	سایت‌های اطلاع‌رسانی
۸۱	چکیده انگلیسی

## فهرست جدول‌ها

شماره صفحه

عنوان

- 
- |    |   |
|----|---|
| ۱۰ | ۱-۲: میزان مصرف مس و آلیاژهای آن به‌واسطه کاربردهای مختلف                               |
| ۱۱ | ۲-۲: هدایت الکتریکی فلزات و آلیاژهای مختلف  |
| ۱۳ | ۳-۲: محدودیت حلالیت عناصر در مس و اثر آنها بر مقاومت الکتریکی                           |
| ۱۷ | ۴-۲: هدایت حرارتی فلزات و آلیاژهای مختلف  |
| ۱۸ | ۵-۲: روش‌های شکل دادن و کاربردهای اصلی آلیاژهای مس                                      |
| ۱۹ | ۶-۲: رتبه بندی تعدادی از آلیاژهای مس در تست غوطه‌وری لحیم                               |
| ۴۵ | ۱-۴: میزان حلالیت عناصر و اختلاف قطر اتمی آنها با مس                                    |
| ۵۳ | ۲-۴: خواص مکانیکی برنج کارتریج Cu-30Zn و Cu-40Zn  |
| ۵۷ | ۳-۴: خواص مکانیکی آلیاژهای CuZn و CuZnSn  |
| ۶۱ | ۴-۴: تاثیر عملیات حرارتی بر خواص مکانیکی دو آلیاژ مس-آلومینیوم با درصد آلومینیوم متفاوت |
| ۶۳ | ۵-۴: تاثیر عملیات حرارتی بر بعضی خواص مکانیکی آلیاژ Cu-9.8Al                            |

## فهرست نمودارها

شماره صفحه

عنوان

- |    |   |
|----|---|
| ۱۲ | ۱-۲: اثر عناصر آلیاژی بر روی هدایت مس بدون اکسیژن   |
| ۱۴ | ۲-۲: رابطه بین استحکام و هدایت الکتریکی در مس و آلیاژهای آن   |
| ۲۰ | ۳-۲: رتبه‌بندی قابلیت ماشینکاری آلیاژهای مس، آلومینیوم (آلیاژ ۲۰۱۱) و فولاد<br>خوش تراش   |
| ۲۴ | ۱-۳: منحنی تنش کرنش یک فلز خالص در اثر چند بار اعمال بار و باربرداری  |
| ۲۶ | ۲-۳: نمودار تنش-کرنش فولاد کم کربن و پدیده پیرکرنشی   |
| ۲۷ | ۳-۳: اثر پورته‌وین-لوشاتولیه  |
| ۳۷ | ۴-۳: شماتیک تغییرات خواص فلز در اثر سه پدیده بازیابی، تبلور مجدد و رشد دانه   |
| ۴۱ | ۱-۴: نمودار فاز دیاگرام مس-اکسیژن   |
| ۴۲ | ۲-۴: مقایسه اثر کار سرد (دمای محیط) و متعاقب آن آنیل بر روی خواص<br>استحکام کششی و سختی مس تاف و مس بدون اکسیژن (با هدایت بالا) |
| ۴۳ | ۳-۴: اثر عناصر حل شده بر روی دمای تبلور مجدد مس خالص  |
| ۴۴ | ۴-۴: دیاگرام فاز مس-روی   |
| ۴۵ | ۵-۴: تاثیر عناصر حل شده بر روی تنش برشی بحرانی در مس  |
| ۴۶ | ۶-۴: تاثیر نورد سرد بر روی استحکام کششی و ازدیاد طول مس و برنجهای تک فاز<br>تجارتی (ضخامت ورق در حدود ۱ میلی‌متر)               |
| ۴۷ | ۷-۴: منحنی تنش کرنش مهندسی برای مس خالص و آلیاژ Cu-30Zn   |
| ۴۸ | ۸-۴: تغییرات استحکام کششی و داکتیلیته با افزایش میزان روی در مس   |
| ۴۹ | ۹-۴: دیاگرام مس-روی که در آن فاز $\beta'$ در دمای محیط پایدار است   |
| ۵۱ | ۱۱-۴: تاثیر سرعت سرد کردن از دمای $500^{\circ}\text{C}$ بر روی سختی فاز برنج $\beta$ در دمای<br>$25^{\circ}\text{C}$            |
| ۵۴ | ۱۴-۴: مقایسه تاثیر روی و قلع بر روی سختی محلول جامد دوتایی  |

## فهرست نمودارها

شماره صفحه

عنوان

- 
- |    |   |
|----|---|
| ۵۵ | ۱۵-۴: نمودار فازی مس-قلع  |
| ۵۸ | ۱۸-۴: مقایسه اثر آلومینیوم، قلع و روی بر روی استحکام دهی محلول جامد مس                  |
| ۵۹ | ۱۹-۴: دیاگرام فازی مس-آلومینیوم   |
| ۶۰ | ۲۰-۴: منطقه غنی از مس در دیاگرام فازی مس-آلومینیوم                                      |
| ۶۲ | ۲۲-۴: تاثیر دمای کونچ بر روی سختی آلیاژ Cu-10.2Al                                       |
| ۶۵ | ۲۴-۴: دیاگرام فازی مس-بریلیوم   |
| ۶۵ | ۲۵-۴: دیاگرام فازی مس-بریلیوم. منطقه غنی از مس  |
| ۶۶ | ۲۶-۴: تاثیر میزان بریلیوم، دمای پیرسازی و زمان پیرسازی بر رسوب سختی آلیاژهای مس-بریلیوم |
| ۶۸ | ۲۸-۴: تاثیر کار سرد بر روی رفتار پیرسازی آلیاژ مس-بریلیوم                               |
| ۶۹ | ۲۹-۴: دیاگرام تعادلی مس-کروم  |

## فهرست شکل‌ها

شماره صفحه

عنوان

- 
- |    |   |
|----|---|
| ۲۸ | ۴-۲ اتمهای بین نشین و جانشین در زمینه   |
| ۳۰ | ۵-۳: حالت‌های هم سیما، نیمه هم سیما و ناهم سیما رسوب نسبت به زمینه  |
| ۳۵ | ۶-۳: برخورد و عبور نابجایی‌ها از میان رسوبات  |
| ۵۰ | ۱۰-۴: شماتیک منظم شدن احتمالی و تشکیل دو منطقه جدا از هم  |
| ۵۱ | ۱۲-۴: ریز ساختار آلیاژ Cu-40Zn  |
| ۵۲ | ۱۳-۴: نمونه Cu-40Zn سرد شده در هوا  |
| ۵۵ | ۱۶-۴: ساختار ریختگی آلیاژ Cu-10Sn که در دمای $530^{\circ}\text{C}$ آنیل و سپس کونچ شده است                                    |
| ۵۷ | ۱۷-۴: ساختار ریختگی آلیاژ Cu-10Sn-یوتکتوئید متشکل از $\alpha$ و $\delta$  |
| ۶۱ | ۲۱-۴: ساختار آلیاژ Cu-11.8Al که در دمای $800^{\circ}\text{C}$ به مدت دو ساعت همگن شده و سپس به آرامی در محیط کوره سرد شده است |
| ۶۲ | ۲۳-۴: ساختار آلیاژ Cu-10.2Al که از دمای $750^{\circ}\text{C}$ کونچ گردیده است   |
| ۶۷ | ۲۷-۴: ساختار آلیاژ Cu-2Be   |



## چکیده:

در این تحقیق ابتدا آلیاژهای مس مورد بررسی قرار گرفتند و سپس مکانیزم‌های مختلف جهت مقاوم سازی فلزات بررسی گردید. در نهایت کاربرد این مکانیزم‌ها در آلیاژهای مس مورد توجه قرار گرفت و چگونگی افزایش استحکام در این مواد بررسی شد.

مس خالص بوسیله انجام کار مکانیکی مقاوم می‌گردد، در صورتیکه آلیاژهایی مانند برنج به واسطه محلول جامد ایجاد شده دچار افزایش سختی و استحکام خواهند شد. آلیاژهای دیگری از مس وجود دارند که مقدار بسیار دارای مقدار کمی از عناصر آلیاژی بوده و این عناصر قابلیت رسوب دهی در آلیاژ را دارا می‌باشند. به همین دلیل با انجام عملیات حرارتی مرتبط که شامل پیر سازی، فوق پیر سازی و یا پیر سازی مصنوعی می‌باشد می‌توان به خواص مورد نظر رسید. وجود دارند آلیاژهایی که به واسطه ایجاد رسوب از طریق پراکنده سختی استحکامشان افزایش می‌یابد اشاره‌ای نیز به اینگونه آلیاژها گردید.

## مقدمه:

مکانیزم‌های مقاوم شدن به عنوان یکی از مهمترین مباحث در متالورژی مکانیکی همواره مورد توجه محققین بوده و تاکنون پژوهش‌های بسیاری در این زمینه صورت گرفته است. بسیاری از فلزات با انجام کار سرد و آنیل خواص مورد نیاز را تامین می کنند، همچنین می توان با ایجاد محلول جامد جانشینی یا بین نشینی باعث افزایش استحکام و سختی و یا تغییر آنها در جهت مطلوب گردید به عنوان مثال برنج به عنوان یکی از مهمترین محلولهای جامد در صنایع استفاده فراوانی دارد، عملیات حرارتی پیرسازی نیز به عنوان یکی از مهمترین عوامل ایجاد استحکام خصوصا در آلیاژهای غیر آهنی هر روز بیشتر از قبل بکار گرفته می شود.

در این تحقیق آلیاژهای مس بررسی و روش‌های مختلف افزایش استحکام در این آلیاژها مطرح گردید. مس عموماً به واسطه کار سرد و ریزدانه کردن افزایش استحکام را تجربه خواهد کرد که می توان با اضافه نمودن عملیات آنیل نیز به خواص مورد نظر رسید. در گروه آلیاژهایی که از نوع محلول جامد می باشند همانند برنجها، اضافه کردن میزان ماده آلیاژی به عنوان مثال روی، می تواند خواص آلیاژ را به میزان قابل توجهی تغییر دهد همچنین بر روی این آلیاژها می توان کار سرد انجام داد و خواص مورد نظر را بدست آورد. آلیاژهایی با قابلیت پیرسازی همانند آلیاژهای مس- کروم یا مس- بریلیوم دارای توانایی افزایش استحکام خود به واسطه ایجاد رسوب‌هایی ریز و پراکنده در فاز زمینه می باشند. به همین واسطه کاربرد وسیعی نیز در صنعت دارند.

فصل اول

کلیات

## فصل اول: کلیات

### ۱-۱) هدف

هدف از انجام این تحقیق بررسی آلیاژهای مس و روش‌های متداول ایجاد استحکام در آنها بود. مس از جمله فلزات بسیار پر کاربرد در صنعت می‌باشد که از سالیان دور مورد استفاده قرار گرفته است. به علت خواص الکتریکی عالی و هدایت گرمایی بسیار خوب آلیاژهای مس استفاده از آنها بصورت گسترده وجود دارد. همچنین به دلیل مقاومت به خوردگی خوب و آسانی شکل دهی و همچنین مقاومت به خستگی مناسب مورد استفاده قرار می‌گیرند. آلیاژهای جدیدتر مس دارای خواص مختلف و متنوعی می‌باشند از جمله آلیاژهای حافظه دار مانند Cu-Zn-Al-Ni، آلیاژهای ضربه گیر مانند Cu-Al-Ni و یا آلیاژ Cu-Cr-Zr با استحکام بالا می‌باشد. همچنین آلیاژهایی که توسط پراکنده سختی استحکام بیشتری نسبت به مس دارند در سالهای اخیر بیشتر تولید و استفاده قرار گرفته اند که عمدتاً به دلیل سختی، مقاومت به خزش خوب و استحکام تسلیم بالا می‌باشد. خواص خوب خود از جمله استحکام مناسب، رسانایی عالی و مقاومت به خوردگی کاربردهای مختلفی دارد. برای کاربردهای گوناگون خواص متفاوتی از نظر استحکامی لازم می‌باشد که این مهم به واسطه روش‌های متفاوتی انجام می‌شود. هدف از انجام این تحقیق بررسی این روش‌ها برای مس و آلیاژهای آن بود.

### ۱-۲) پیشینه تحقیق

ایجاد تغییر در مرز دانه و اندازه دانه‌ها سالهاست که از جمله روشهای تغییر استحکام در مواد می‌باشد. هنگامی که دانه‌ها ریز باشند مساحت کل مرز دانه‌ها در واحد حجم پلی کریستال افزایش می‌یابد و به تبع آن خواص ماده بیشتر بر اساس خواص مرز دانه خواهد بود، برعکس هرچه دانه‌ها درشت‌تر باشند خواص ماده نزدیک به رفتار درون دانه‌ها خواهد شد. مرز دانه‌ها در دمای کمتر از نصف نقطه ذوب فلز، موانع قوی در برابر حرکت نابجایی‌ها به حساب می‌آیند و به علت اختلاف آرایش کریستالی دانه‌های

مجاور مانع لغزش نابجایی از یک دانه به دانه دیگر می‌گردند. لیکن در دماهایی بیش از حدود نصف نقطه ذوب، به عنوان مکانهایی مناسب جهت شروع ترک عمل می‌نمایند، زیرا تغییر شکل بیشتر بر مرز دانه‌ها متمرکز می‌گردد و به علت وجود ناخالصی در آنها تمایل به جدایش و شکست مرز دانه‌ای افزایش می‌یابد.

کرنش سختی یا کارسختی یکی دیگر از روش‌های استحکام دهی در فلزات می‌باشد و بیشتر برای استحکام دهی فلزات و آلیاژهایی بکار می‌رود که با عملیات حرارتی سخت نمی‌شوند. تغییر شکل پلاستیک تعداد نابجایی‌ها را زیاد می‌کند در نتیجه برخورد آنها بیشتر می‌شود و این خود باعث ایجاد جاگ‌های متعدد روی نابجایی‌ها و متوقف یا کند شدن آنها می‌شود. یک فلز آنیل شده تقریباً شامل  $10^6$  تا  $10^8$  نابجایی بر سانتی متر مربع می‌باشد در حالیکه چگالی نابجایی یک فلز کار سخت شده در حدود  $10^{14}$  نابجایی بر سانتی متر مربع است.

مخلوط همگن دو یا چند نوع اتم در حالت جامد را محلول جامد می‌نامند اضافه کردن اتمهای حل شونده در شبکه اتمهای حلال، یا تشکیل محلول جامد، باعث افزایش استحکام آلیاژ می‌گردد. هنگامی که اتمهای فلزی دیگر در زمینه فلز اولیه حل می‌شوند ممکن است در هر یک از دو مکان جانشین با بین نشین قرار بگیرند. هنگامی که اتم حل شونده در جای اتمهای حلال قرار گیرد محلول جامد جانشینی خواهد بود و هنگامی که اتم حلال در فضاهای خالی بین اتمهای حلال قرار بگیرد محلول جامد بین نشینی نام دارد. در عمل وقتی اتمهای حل شونده به اندازه اتمهای حلال باشد محلول جامد جانشینی و چنانچه بسیار کوچک‌تر باشد محلول جامد بین نشینی ایجاد خواهد شد.

استحکام یک زمینه نرم را می‌توان با ایجاد یا افزودن ذرات ریز افزایش داد. در این شرایط امکان بوجود آمدن دو حالت وجود دارد، اگر ذرات ریز مورد استفاده برای افزایش استحکام در دماهای بالا در زمینه قابل حل باشند به این مکانیزم رسوب سختی یا پیر سختی<sup>۱</sup> می‌گوییم و چنانچه ذرات در دمای بالا در آلیاژ غیر قابل حل باشند به آن پراکنده سختی<sup>۲</sup> می‌گوییم.

---

<sup>1</sup> Age Hardening

<sup>2</sup> Dispersion Hardening

ایجاد رسوب در مواد پلی کریستال پروسه‌ای است که می‌تواند بسیاری از خواص ماده را تا حد قابل توجهی تغییر دهد اصول اولیه این تکنیک سالها قبل صورت پذیرفت. امروزه این مکانیزم به میزان وسیعی جهت افزایش استحکام فلزات مورد استفاده قرار می‌گیرد. میزان استحکام بدست آمده وابسته به نوع سیستم فلزی مربوطه، جزء حجمی، اندازه ذرات و طبیعت در هم کنش ذرات و نابعی‌ها می‌باشد

### ۱-۳) روش کار و تحقیق

برای انجام این تحقیق منابع مختلفی که در لیست مراجع عنوان شده‌اند مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا مطالعه اولیه از مس و خواص آن صورت پذیرفت سپس روش‌های استحکام دهی و علت افزایش استحکام در این روش‌ها بررسی شد که این تحقیق بطور کلی همه فلزات را در بر می‌گرفت. در مرحله نهایی روش‌هایی که کاربرد مناسب و مطرحی جهت افزایش استحکام مس و آلیاژهای گوناگون آن دارد مشخص و رسیدگی شد در و جهت تعدادی از آلیاژهای مس به تفکیک آنها این روش‌ها و خواص مواد ذکر شده مشخص گردید.