

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی مواد

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی مواد

گرایش شناسایی و انتخاب مواد

اثر میزان کروم و کار سرد و درجه حرارت بر تبلور مجدد آلیاژ مس-کروم

مؤلف:

مرجان ابوالقاسمی

استاد راهنما:

دکتر غلامحسین اکبری

بهمن ماه ۱۳۹۰



تاریخ: ۹۰/۱۲/۱۶

تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب مرجان ابوالقاسمی متعهد می شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه/رساله تحت عنوان " اثر میزان کروم و کار سرد و درجه حرارت بر تبلور مجدد آلیاژ مس-کروم" حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست مراجع ذکر گردیده است. این پایان نامه/رساله قبلاً" برای احراز هیچگونه مدرک دیگری ارائه نشده است. در صورت اثبات تخلف، مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شهید باهنر کرمان می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو

امضاء



این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط درجه کارشناسی ارشد به

گروه مهندسی مواد

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو : مرجان ابوالقاسمی

استاد راهنما : دکتر غلامحسین اکبری

استاد مشاور : مهندس اطهره دادگری نژاد

داور ۱ : دکتر مرتضی زندر حیمی

داور ۲ : دکتر غلامرضا خیاطی

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده : دکتر رامین رئیسزاده

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

چکیده

در این تحقیق به بررسی اثر میزان کروم، کارسرد و دما بر رفتار تبلور مجدد همدمای آلیاژ مس-کروم پرداخته شده است. همچنین فرآیند تبلور مجدد به کمک متالوگرافی و آزمایش سختی سنجی مورد تحلیل قرار گرفته است. برای بررسی تغییرات ساختاری حین عملیات حرارتی آنیل و تعیین کسر حجمی مناطق تبلور مجدد یافته از میکروسکوپ نوری استفاده شده است. نتایج آزمایشات نشان داد که با در نظر گرفتن دمای آنیل ثابت و میزان تغییر فرم مشخص، افزایش میزان کروم در نمونه‌ها سبب به تأخیر انداختن تبلور مجدد شده و یا از پیشرفت آن جلوگیری به عمل می‌آورد. از آنجایی که حلالیت عنصر آلیاژی کروم در زمینه مس کم می‌باشد، قسمتی از این عنصر در زمینه مس به صورت محلول در آمده و مازاد به صورت رسوب و یا فاز ثانویه در آلیاژ قرار می‌گیرد که در هر دو صورت بر سینتیک تبلور مجدد تأثیر منفی دارد که تأثیر کروم نامحلول به مراتب کمتر از کروم محلول می‌باشد. همچنین بر اساس نتایج بدست آمده، نرخ تبلور مجدد با افزایش دما و میزان تغییر فرم افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: آلیاژ مس-کروم، تبلور مجدد، دمای آنیل، کارسرد.

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

فصل اول

مقدمه..... ۱

۱-۱ پیش‌گفتار..... ۲

۲-۱ آلیاژ مس-کروم..... ۲

فصل دوم

مروری بر منابع..... ۴

۱-۲ آلیاژهای مس-کروم..... ۵

۱-۱-۲ نمودار فازی آلیاژ Cu-Cr..... ۵

۲-۱-۲ میزان حلالیت کروم در زمینه‌ی مس..... ۷

۱-۲-۱-۲ نحوه‌ی تعیین میزان حلالیت کروم..... ۸

۳-۱-۲ اثر اتم‌های کروم بر هدایت الکتریکی این آلیاژ..... ۹

۴-۱-۲ سختی و اثر کروم بر آن..... ۱۱

۲-۲ کار سرد..... ۱۱

۱-۲-۲ تغییر شکل توسط لغزش..... ۱۲

۲-۲-۲ تغییر شکل توسط تشکیل دوقلو..... ۱۳

۳-۲ کارسختی..... ۱۳

۴-۲ تابانیدن فلزات کار سرد شده..... ۱۴

۱-۴-۲ بازیابی..... ۱۴

۲-۴-۲ تبلور مجدد..... ۱۵

۳-۴-۲ رشد دانه..... ۱۶

۵-۲ تاریخچه تبلور مجدد..... ۱۷

۶-۲ تبلور مجدد و مشخصه‌های آن..... ۱۸

۱-۶-۲ تعریف کلی تبلور مجدد..... ۱۸

۲-۶-۲ متغیرهای تأثیرگذار بر تبلور مجدد..... ۱۹

- ۱۹-۳-۶-۲ بررسی فرآیند تبلور مجدد.....
- ۲۳-۴-۶-۲ دمای تبلور مجدد.....
- ۲۳-۵-۶-۲ اثر خلوص فلز بر تبلور مجدد.....
- ۲۴-۶-۶-۲ درجه حرارت.....
- ۲۴-۷-۶-۲ اندازه دانه اولیه.....
- ۲۵-۸-۶-۲ جهتگیری دانه.....
- ۲۵-۹-۶-۲ شرایط آنیل.....
- ۲۵-۱-۹-۶-۲ درجه حرارت آنیل.....
- ۲۵-۲-۹-۶-۲ نرخ حرارت دادن.....
- ۲۵-۷-۲ بررسی سینتیک تبلور مجدد براساس مدل JMAK.....
- ۲۸-۸-۲ پیرسازی.....
- ۲۹-۱-۸-۲ ریزساختار بعد از عملیات حرارتی.....
- ۲۹-۱-۸-۲ ریزساختار عملیات حرارتی پیرسازی در سیستم آلیاژی مس-کروم.....
- ۳۰-۲-۸-۲ پیرسازی در سیستم آلیاژی مس-کروم.....
- ۳۲-۳-۸-۲ تأثیر پیرسازی بر سختی آلیاژ Cu-Cr.....
- ۳۳-۳-۸-۲ ترمودینامیک رسوبات و تبلور مجدد.....
- ۳۵-۴-۸-۲ تأثیر متقابل پیرسازی - تبلور مجدد.....

فصل سوم

- ۳۹-مواد و روش تحقیق.....
- ۴۰-۱-۳ مواد اولیهی تهیهی آلیاژ.....
- ۴۰-۲-۳ تهیهی آلیاژ.....
- ۴۰-۱-۲-۳ آلیاژسازی و ذوب.....
- ۴۰-۲-۲-۳ ریخته‌گری.....
- ۴۰-۳-۳ عملیات ترمومکانیکی.....
- ۴۰-۱-۳-۳ کار سرد.....
- ۴۰-۲-۳-۳ آنیلینگ.....
- ۴۱-۴-۳ بررسی‌های ریزساختار.....

۴۱	..... ۱-۴-۳ متالوگرافی
۴۱	..... ۲-۴-۳ میکروسکوپ نوری
۴۱	..... ۳-۴-۳ آزمایش XRD
۴۲	..... ۱-۳-۴-۳ محاسبه‌ی پارامتر شبکه
۴۲	..... ۵-۳ متالوگرافی کمی
۴۳	..... ۶-۳ ریز سختی

فصل چهارم

۴۴	..... نتایج
۴۵	..... ۱-۴ الگوی پراش اشعه‌ی ایکس (XRD)
۴۵	..... ۲-۴ ریز ساختار میکروسکوپ نوری
۴۷	..... ۳-۴ کسر حجمی تبلور مجدد
۴۷	..... ۱-۳-۴ کسر حجمی تبلور مجدد یافته بین ترکیبهای مختلف
۴۸	..... ۲-۳-۴ کسر حجمی تبلور مجدد یافته در دماهای متفاوت
۴۸	..... ۳-۳-۴ کسر حجمی تبلور مجدد یافته تحت کار سرد متفاوت
۴۸	..... ۴-۴ تغییرات ریز سختی

فصل پنجم

۶۵	..... بحث
۶۶	..... ۱-۵ بررسی میزان حلالیت کروم در زمینه‌ی مسی
۶۶	..... ۱-۱-۵ افزایش پارامتر شبکه
۶۶	..... ۲-۱-۵ اندازه‌گیری حلالیت کروم
۶۷	..... ۲-۵ بررسی ریز ساختار
۶۷	..... ۱-۲-۵ ریز ساختار کار سرد شده
۶۸	..... ۲-۲-۵ تغییرات ریز ساختاری در فرآیند آنیل
۷۰	..... ۳-۵ رفتار تبلور مجدد
۷۲	..... ۴-۵ تغییرات سختی در طول فرآیند آنیل
۷۳	..... ۵-۵ بررسی سینتیک تبلور مجدد با استفاده از مدل JMAK

فصل ششم

۷۸	نتیجه گیری و پیشنهادات
۷۹	۱-۶ نتیجه گیری
۸۰	۲-۶ پیشنهاداتی برای ادامه پروژه
۸۱	مراجع

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲ دیاگرام تعادلی دوتایی مس- کروم ۶
- شکل ۲-۲ دیاگرام تعادلی دوتایی مس- کروم قسمت غنی از کروم (سمت راست) و قسمت غنی از مس (سمت چپ)..... ۷
- شکل ۳-۲ دیاگرام فازی مس- کروم به همراه شکاف انحلال پذیری مایع شبه پایدار ۸
- شکل ۴-۲ تغییرات پارامتر شبکه‌ی آلیاژ مس-کروم نسبت به تغییرات میزان کروم..... ۱۰
- شکل ۵-۲ تغییرات مقاومت الکتریکی برحسب میزان کروم..... ۱۰
- شکل ۶-۲ تغییرات سختی نسبت به میزان کروم در آلیاژ مس-کروم تولید شده به روش ذوب چرخشی..... ۱۱
- شکل ۷-۲ منحنی تابکاری غیرتکدمای نیکل سرد شده..... ۱۵
- شکل ۸-۲ منحنی‌های تبلور مجدد برای مس خالص که تا ۹۸ درصد تغییر مقطع نورد سرد شده است ۲۰
- شکل ۹-۲ نمودار عکس دمای مطلق برحسب زمان برای تبلور مجدد نیمه کامل مس خالص ۲۱
- شکل ۱۰-۲ نمودار DSC مس خالص ۷۰٪ نورد شده با نرخ حرارت دهی $20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ۲۲
- شکل ۱۱-۲ کسر حجمی تبلور مجدد برحسب دما با استفاده از دو روش DSC و سختی ویکرز..... ۲۲
- شکل ۱۲-۲ رابطه بین اندازه دانه‌های تبلور مجدد یافته و تغییر فرم و دمای آنیل در آلیاژ Cu-0.2Cr-0.2Zr ۲۳
- شکل ۱۳-۲ هدایت الکتریکی برحسب زمان پیرسازی در آلیاژ ۴۰٪ تغییر فرم داده شده‌ی Cu-Cr-Zr-Mg ۳۲
- شکل ۱۴-۲ میکروسختی برحسب زمان پیرسازی در آلیاژ مس-کروم ۴۰٪ تغییر فرم داده شده Cu-Cr-Zr-Mg ۳۳
- شکل ۱۵-۲ رسوبات درشت شده داخل دانه‌های تبلور مجدد یافته ۳۵
- شکل ۱۶-۲ میکروساختار Cu-0.2Cr-0.2Zr (الف) بعد از تغییر فرم ، ب و ج و د و ه) بعد از آنیلینگ به ترتیب در دمای ۳۸۰ و ۴۳۰ و ۵۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتیگراد..... ۳۷
- شکل ۴-۱ الگوی پراش نمونه مس خالص..... ۴۹

- شکل ۴ - ۲ الگوی پراش نمونه Cu-1.37Cr ۴۹
- شکل ۴ - ۳ الگوی پراش نمونه Cu-2.23Cr ۵۰
- شکل ۴ - ۴ تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ی ۱- ۳۰٪ نورد، بدون آنیل ۵۰
- شکل ۴ - ۵ تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ی ۲- ۳۰٪ نورد، بدون آنیل ۵۱
- شکل ۴ - ۶ تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ی ۳- ۳۰٪ نورد، بدون آنیل ۵۱
- شکل ۴ - ۷ تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ی ۱- ۳۰٪ نورد، ۹۰ دقیقه آنیل، دمای ۴۵۰°C ۵۲
- شکل ۴ - ۸ تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ی ۲- ۳۰٪ نورد، ۵ دقیقه آنیل، دمای ۵۳۴۵۰°C ۵۳
- شکل ۴ - ۹ تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ی ۳- ۳۰٪ نورد، ۵ دقیقه آنیل، دمای ۴۵۰°C ۵۳
- شکل ۴ - ۱۰ تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ی ۲- ۳۰٪ نورد، ۱۵ دقیقه آنیل، دمای ۴۵۰°C ۵۴
- شکل ۴ - ۱۱ تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ی ۳- ۳۰٪ نورد، ۱۵ دقیقه آنیل، دمای ۴۵۰°C ۵۴
- شکل ۴ - ۱۲ تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ی ۲- ۶۰٪ نورد، ۵ دقیقه آنیل، دمای ۴۵۰°C ۵۵
- شکل ۴ - ۱۳ تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ی ۳- ۶۰٪ نورد، ۵ دقیقه آنیل، دمای ۴۵۰°C ۵۵
- شکل ۴ - ۱۴ تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ی ۲- ۶۰٪ نورد، ۲ دقیقه آنیل، دمای ۶۰۰°C ۵۶
- شکل ۴ - ۱۵ تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ی ۳- ۶۰٪ نورد، ۲ دقیقه آنیل، دمای ۶۰۰°C ۵۶
- شکل ۴ - ۱۶ تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ی ۲- ۴۵٪ نورد، ۲ دقیقه آنیل، دمای ۶۰۰°C ۵۷
- شکل ۴ - ۱۷ تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ی ۳- ۴۵٪ نورد، ۲ دقیقه آنیل، دمای ۶۰۰°C ۵۷
- شکل ۴ - ۱۸ تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ی ۲- ۳۰٪ نورد، ۱۵ دقیقه آنیل، دمای ۶۰۰°C ۵۸

- شکل ۴ - ۱۹ تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ی ۳- ۳۰٪ نورد، ۵ دقیقه آنیل، دمای ۶۰۰°C ۵۸
- شکل ۴ - ۲۰ منحنی کسر تبلور مجدد یافته بر حسب زمان آنیل - ۳۰٪ نورد، دمای ۴۵۰°C ۵۹
- شکل ۴ - ۲۱ منحنی کسر تبلور مجدد یافته بر حسب زمان آنیل - ۶۰٪ نورد، دمای ۴۵۰°C ۶۰
- شکل ۴ - ۲۲ کسر تبلور مجدد یافته بر حسب زمان آنیل - ۳۰٪ نورد، دمای ۶۰۰°C ۶۰
- شکل ۴ - ۲۳ منحنی کسر تبلور مجدد یافته بر حسب زمان آنیل - ۴۵٪ نورد، دمای ۶۰۰°C ۶۰
- شکل ۴ - ۲۴ منحنی کسر تبلور مجدد یافته بر حسب زمان آنیل - نمونه ۳، ۴۵٪ نورد ۶۱
- شکل ۴ - ۲۵ منحنی کسر تبلور مجدد یافته بر حسب زمان آنیل - نمونه ۳، ۶۰٪ نورد ۶۱
- شکل ۴ - ۲۶ منحنی کسر تبلور مجدد یافته بر حسب زمان آنیل - نمونه ۲، دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد ۶۲
- شکل ۴ - ۲۷ منحنی کسر تبلور مجدد یافته بر حسب زمان آنیل - نمونه ۲، دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد ۶۲
- شکل ۴ - ۲۸ منحنی سختی بر حسب زمان آنیل - نمونه ۲، دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد ۶۳
- شکل ۴ - ۲۹ منحنی سختی بر حسب زمان آنیل - نمونه ۲، دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد ۶۳
- شکل ۴ - ۳۰ منحنی سختی بر حسب زمان آنیل - نمونه ۲ ۶۴
- شکل ۵ - ۱ نمودار $\ln(\ln(1/(1-X)))$ بر حسب $\ln(t)$ مس خالص ریخته‌گری شده با درصد نورد ۴۵٪ ۷۵
- شکل ۵ - ۲ نمودار $\ln(\ln(1/(1-X)))$ بر حسب $\ln(t)$ نمونه دوم (Cu-1/37Cr) با درصد نورد ۴۵٪ ۷۶
- شکل ۵ - ۳ نمودار $\ln(\ln(1/(1-X)))$ بر حسب $\ln(t)$ نمونه سوم (Cu-2/23 Cr) با درصد نورد ۴۵٪ ۷۶

فهرست جداول

جدول ۳-۱ مراحل انجام کار سرد ۴۱

جدول ۴-۱ پارامتر شبکه و میزان حلالیت کروم نمونه‌ها ۶۴

جدول ۵-۱ مقادیر n برای ترکیب‌ها و دماهای مختلف ۷۴

فصل اول

مقدمه

۱-۱ پیش گفتار

آلیاژهای پایه مس از هدایت الکتریکی و حرارتی بالایی برخوردار بوده ضمن اینکه سختی و استحکام مناسبی نیز دارا هستند و حفظ این خصوصیات در دمای بالا از مهمترین جنبه‌های کاربردی آنها می‌باشد. آلیاژهای دوتایی Cu-Zr, Cu-Be, Cu-Cr و آلیاژهای چندتایی Cu-Cr-Zr و Cu-Cr-Mg جزء مناسب‌ترین مواد برای این منظور هستند. این مواد با داشتن هدایت الکتریکی و حرارتی بالا، استحکام و مقاومت به خستگی و خوردگی خوب و شکل‌پذیری نسبتاً آسان، کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده‌اند. این ویژگی‌ها سبب شده‌اند تا محققین بسیاری به بررسی خواص میکروسکوپی، ماکروسکوپی، فیزیکی و مکانیکی این دسته از آلیاژها بپردازند. نمونه‌ای از مطالعاتی که تاکنون انجام گرفته است عبارتند از: بررسی روش‌های مختلف تولید این آلیاژها، بررسی نمودارهای فازی دوتایی و سه‌تایی از نقطه نظر ترمودینامیکی، بررسی تبلور مجدد در آلیاژهای دوتایی و سه‌تایی و روش‌های تعیین کسر حجمی مناطق تبلور مجدد یافته و مطالعه نحوه رسوب‌گذاری و شناسایی ریخت‌شناسی رسوبات مؤثر در سختی و استحکام به کمک میکروسکوپ‌های الکترونی [۶-۱].

۲-۱ آلیاژ مس-کروم

کاربرد اصلی این آلیاژ در ساخت الکترودهای جوش نقطه‌ای، قالب‌های ریخته‌گری، الکترودهای جوشکاری شیاری و سوئیچ‌های خلأ ولتاژ بالا است [۷]. از این آلیاژها همچنین در ساخت فکهای نگهدارنده الکتروود، چرخ‌های جوشکاری درزی و سیم پیچی ترانسفورماتورها استفاده می‌شود [۸-۱۱]. همچنین کامپوزیت‌های در جای^۱ مس-کروم، به علت استحکامی بیش از ۱ GPa و رسانایی الکتریکی بیش از ۸۰٪ IACS، در صنایع اتومبیل سازی به کار می‌روند [۱۲ و ۱۳].

در سیستم آلیاژی مس-کروم، بدلیل اینکه حلالیت کروم با کاهش دما کاهش می‌یابد، می‌توان از عملیات حرارتی پیرسازی برای بالا بردن سختی و استحکام این آلیاژ استفاده کرد. عملیات حرارتی معمولاً در بازه‌ی ۴۰۰-۵۰۰ درجه سانتیگراد در زمان‌های مختلف انجام می‌شود. فرآیند عمومی پیرسازی این دسته از آلیاژها به مدت ۴ ساعت در دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد به طول می‌انجامد [۱۴]. رسوب سختی ایجاد شده در آلیاژ مس-کروم سبب افزایش استحکام می‌گردد، در این سیستم آلیاژی اتم حل شونده کروم، با زمینه مس وارد واکنش شده و رسوبات استحکام دهنده را ایجاد می‌کند [۱۵].

1. In situ composite

بررسی پدیده تبلور مجدد در آلیاژ مس-کروم از اهمیت خاصی برخوردار است چرا که با ایجاد تبلور مجدد در نمونه کارسخت شده، ساختار حاصل عاری از تنش بوده و نرمی ماده بازگردانده می‌شود. اثر عناصر آلیاژی و ناخالصی‌ها چه آن‌ها که در مس وجود دارند و چه حین فرآیند تولید خواسته یا ناخواسته به آن افزوده می‌شوند مانند ناخالصی اکسیژن و عناصر آلیاژی، در خواص ماده حاصل بسیار تأثیرگذارند و پدیده تبلور مجدد را به تأخیر می‌اندازند [۱۶]. در تحقیقی که توسط جاکانی و همکارانش انجام شده است نشان می‌دهد که رفتار تبلور مجدد به طور چشمگیری به میزان ناخالصی‌ها وابسته است بطوریکه ناخالصی‌ها سینتیک تبلور مجدد را به تأخیر انداخته و سبب تغییر دمای آن می‌شوند. افزایش دما و میزان کار سرد نیز بر رفتار تبلور مجدد اثر گذاشته و سبب تسریع این پدیده می‌شوند [۱۶].

پارامتر شبکه عنصر آلیاژی کروم نزدیک به مس بوده و انحلال پذیری آن در مس محدود است، قسمتی از این عنصر در زمینه مس به صورت محلول در آمده و مازاد به صورت رسوب و یا فاز ثانویه در آلیاژ قرار می‌گیرد. کروم زمانی که به صورت محلول در آید با ایجاد اعوجاج در شبکه بلوری، نظم ساختار را بهم زده و سبب به تأخیر انداختن تبلور مجدد می‌شود و یا از پیشرفت آن جلوگیری می‌کند ولی تأثیر کروم نامحلول به مراتب کمتر است [۹].

با انجام عملیات حرارتی آنیل، در این آلیاژ هم پدیده پیرسازی و هم پدیده تبلور مجدد صورت می‌گیرد. حین پیرسازی، کروم محلول در زمینه مس به صورت رسوبات ریز درمی‌آید که حضور این رسوبات نانومتری تشکیل شده سبب به تأخیر انداختن تبلور مجدد شده یا از اتمام آن جلوگیری به عمل می‌آورد [۹]. بررسی تأثیر این رسوبات و همچنین تأثیر عوامل مؤثر دیگر بر فرآیند تبلور مجدد آلیاژ مس-کروم در پژوهش حاضر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

فصل دوم

مروری بر منابع

۲-۱ آلیاژهای مس-کروم

آلیاژهای مس-کروم از مواد مهم مهندسی محسوب می شوند که استحکام حرارتی بالا، هدایت الکتریکی خوب و مقاومت به خوردگی مطلوبی را از خود نشان می دهند. حوزه وسیعی در زمینه بهبود بخشی به خواص این آلیاژها وجود دارد که کیفیت و عملکرد آنها را ارتقا می دهد. در زمینه استفاده از مواد الکتریکی آلیاژی مانند: مس-کروم، مس-زیرکونیم، مس-کروم-زیرکونیم، مس-نیکل-تیتانیم و مانند اینها مورد استفاده قرار گرفته اند [۱۷].

هدایت الکتریکی و حرارتی بالا همراه با استحکام، مقاومت به خستگی و شکل پذیری خوب سبب می شود تا آلیاژهای مس-کروم کاربردهای گسترده ای در صنایع پیدا کنند، به طور کلی آلیاژی با مقدار کروم اندک، به عنوان ماده اصلی برای ساخت آلیاژهای دیرگداز با هدایت حرارتی و الکتریکی بالا استفاده می شوند. با افزایش محتوای کروم این آلیاژها، مقاومت به فرسایش الکتریکی افزایش می یابد و به همین دلیل از این مواد در ساخت مواد تماسی الکتریکی استفاده می شود [۷].

در تحقیقی که روی آلیاژهای مس-کروم انجام شده، بیان شده است که رسوبات کروم بر روی زمینه مس در دمای ۶۷۳-۷۷۳ کلوین به صورت رسوبات همدوس با ساختار مکعبی با وجوه مرکزپر بوده و شکل صفحات نازک و موازی صفحات {۱۱۱} زمینه‌ی مس می باشد [۱۷].

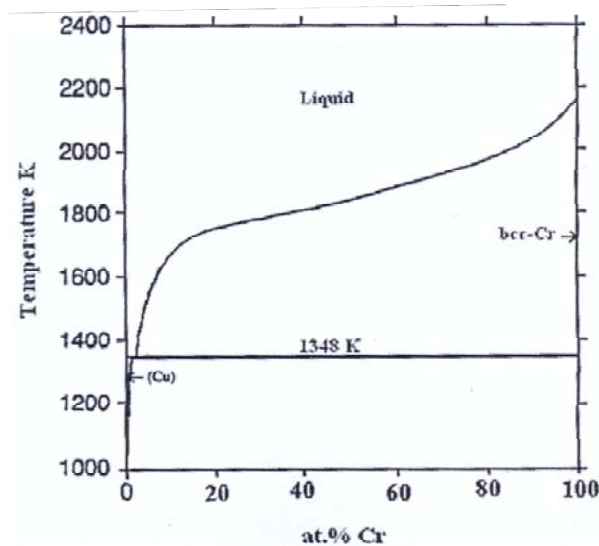
رسوب سختی در آلیاژهای پایه مس به طور وسیعی سبب افزایش استحکام می شود، چند نمونه از رسوب سختی در آلیاژهای مس با مقادیر کم عناصر آلیاژی مانند تیتانیم، آلومینیم، کروم و برلیم دیده شده است، در این سیستم‌های آلیاژی اتم حل شونده با زمینه مس وارد واکنش شده و رسوبات استحکام دهنده را ایجاد می کند [۲]. استحکام بالای آلیاژهای مس-کروم با توجه به انحلال کم عنصر آلیاژی، مرهون رسوب سختی این آلیاژهاست که با ایجاد رسوبات ریز و پراکنده و همدوس با زمینه مس سبب افزایش سختی، بدون تنزل هدایت الکتریکی می شود، بنابراین با افزایش این رسوبات می توان خواص آلیاژ را بهبود بخشید. افزایش این رسوبات نیز مرهون افزایش درصد کروم محلول، مقدار کارسرد ایجاد شده و زمان و دمای پیرسازی است [۹].

۲-۱-۱ نمودار فازی آلیاژ Cu-Cr

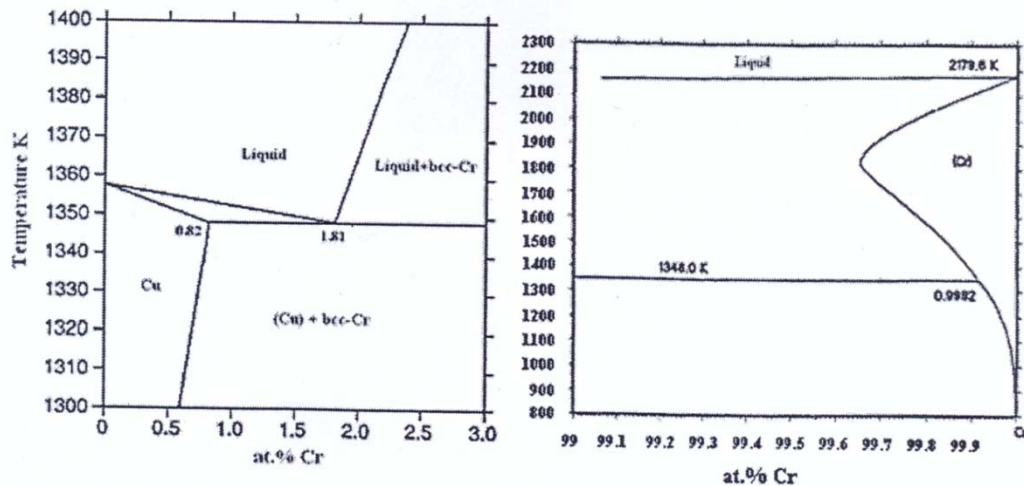
با توجه به کاربرد وسیع آلیاژهای مس-کروم در صنایع که نتیجه استحکام مناسب و هدایت الکتریکی و حرارتی خوب این دسته از آلیاژهاست، آگاهی از روابط فازی و ترمودینامیکی به

منظور بهبود خواص این دسته از آلیاژها و بهینه سازی تکنیک‌های تولیدشان امری ضروری است.

در ابتدا تصور بر آن بود که سیستم آلیاژی مس- کروم به صورت مونوتکتیک و دمای واکنش مونوتکتیک در آن ۱۷۵۰ درجه سانتیگراد [۱۸] و بازه شکاف انحلال پذیری مایع بین ۳۷ تا ۹۳ درصد وزنی کروم تخمین زده شد [۱۹]، در حالیکه مطابق با محاسبات ترمودینامیکی انجام شده توسط برخی محققین [۲۰ و ۲۱]، این سیستم آلیاژی به جای مونوتکتیک، یوتکتیک است (شکل ۱-۲ و ۲-۲). نقطه یوتکتیک در این دیاگرام در دمای ۱۳۴۸ درجه کلون و ۱/۱۸ درصد اتمی کروم قرار دارد و حداکثر حلالیت کروم در مس در دمای یوتکتیک، ۰/۸۲ درصد اتمی است که با کاهش دما به سرعت کاهش می‌یابد، این امر شرایط مساعدی را برای عملیات محلول‌سازی و پیرسازی فراهم می‌آورد.



شکل ۱-۲ دیاگرام تعادلی دوتایی مس- کروم [۲۰].



شکل ۲-۲ دیگرام تعادلی دوتایی مس- کروم . قسمت غنی از کروم (سمت راست) [۲۰] و قسمت غنی از مس (سمت چپ) [۲۲].

نکته بسیار مهم در دیگرام فازی مس- کروم وجود شکاف انحلال پذیری مایع^۱ MG است که در شکل ۲-۳ ارائه شده است. محققین نیز وجود شکاف انحلال پذیری مایع را به صورت شبه پایدار^۲ تأیید کرده اند [۲۰].

در شکل ۲-۳، خط‌چینهای ۱ و ۲ بترتیب خطوط بینودال MG و اسپینودال می باشند که توسط زنگ^۳ و همکارانش [۲۰]، ترسیم شده‌اند در حالیکه خطوط ۳ و ۴ نیز بترتیب خطوط بینودال MG و اسپینودال می باشند که توسط ژاکوب^۴ و همکارانش [۲۳]، بدست آمده اند.

۲-۱-۲ میزان حلالیت کروم در زمینه‌ی مس

تاکنون مطالعات گسترده‌ای روی آلیاژهای پایه مس مانند Cu-Cr ، Cu-Cr-Zr ، Cu-Fe ، Cu-Co و Cu-Ti صورت گرفته است [۲۱]. تنها عناصر معدودی مانند Ni ، Mn ، Pd ، Pt و Au به صورت کامل در مس حل می‌شوند و عناصری مانند Be ، Mg ، B ، Si و اغلب عناصر واسطه حلالیت بسیار اندکی در مس دارند [۲۴]. برای مثال حداکثر حلالیت کروم - که یک عنصر واسطه است- در مس در دمای یوتکتیک- ۱۳۴۸ درجه‌ی کلوین- تنها حدود ۰/۸۲ درصد اتمی است [۲۰]. از این رو بهبود خواص مکانیکی و حتی الکتریکی این دسته از آلیاژها به کمک شیوه‌های معمول عملیات حرارتی پیرسازی- یعنی عملیات آنیل محلولی ، سریع سرد کردن به منظور تهیه‌ی محلول جامد فوق اشباع و حرارت دادن تا زیر خط سالیدوس برای ایجاد رسوبات

-
- 1- Liquid miscibility gap
 - 2- Metastable
 - 3 - Zeng
 - 4 - Jacob