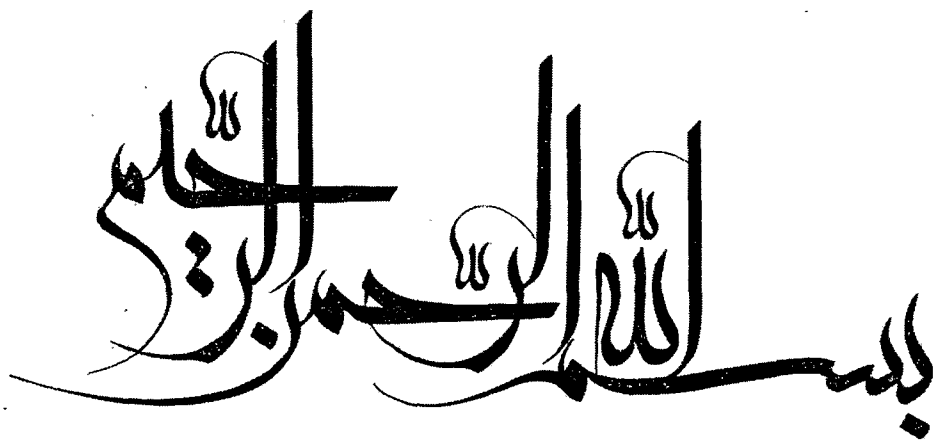

١٠٨٤٩

۸۷/۱۱۰۵۷۱۷
۸۷/۱۱/۴۰

دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی مواد

پایان‌نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی مواد
گرایش شناسایی و انتخاب مواد

اثر سرعت سرمایش بر میزان حلالیت کروم در فرآیند انجماد آلیاژ مس- کروم

استاد راهنما:

دکتر غلامحسین اکبری

مؤلف:

سید محمد حسین حجازی

دی ۱۳۸۶

۱۰۸۴۶۹

دانشگاه شهید باهنر کرمان

این پایان نامه به عنوان یکی ازشرایط احرازکارشناسی ارشد به

گروه مهندسی متالورژی

دانشکده فنی ومهندسی

دانشگاه شهیدباهنرکرمان

تسلیم شده است وهیچگونه مدرکی به عنوان فراغت ازتحصیل دوره مزبورشناخته نمی شود.

نام ونام خانوادگی: امضاء:

دانشجو:سید محمد حسین حجازی

اساتیدراهنما: دکتر غلامحسین اکبری

داور۱: دکترمرتضی زندرحیمی

داور۲: دکتررامین رئیس زاده

۱۳۸۷/۹/۲۳

نماینده تحصیلات تکمیلی : مهندس فاطمه بقایی (دانشگاه شهید باهنر)

حق چاپ محفوظ ومخصوص دانشگاه باهنر است

پروردگارا،

تو را سپاس می گویم که به من عافیت عطا فرمودی تا بتوانم به دور از تمامی لغزش گاه های دنیوی، قسمتی از وظیفه ی خطیر خود را به انجام رسانم.

پدرم، مادرم و دو خواهر عزیزتر از جانم،

پشتیبانی و همراهیتان مشوق من در تمامی مراحل زندگی است. بدون کمک هایتان طی این مسیر ممکن نبود.

همسرم،

علاوه بر همکاری مثمر و مشاوری آگاه، سنگ صبور تمامی مشکلات من در حین انجام این کار بودی. به خاطر حضور همیشگی ات سپاس گذارم.

از کلیه اساتید بخش مهندسی متالورژی که در طول تحصیل من را یاری فرمودند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

همچنین از زحمات استاد راهنمای گرامی جناب آقای دکتر غلامحسین اکبری و راهنمایی داوران ارجمند جناب آقای دکتر مرتضی زندرحیمی و جناب آقای دکتر رامین رئیس زاده کمال تشکر را می نمایم.

از کلیه کارکنان مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی کرمان نیز که یاری گر من در طول انجام این تحقیق بودند، قدردانی می نمایم.

چکیده

آلیاژهای مس- کروم به دلیل داشتن هدایت الکتریکی و حرارتی بالا، استحکام مناسب در دمای بالا و مقاومت به خوردگی و خستگی خوب، کاربرد گسترده‌ای در صنعت یافته‌اند. کاربرد اصلی این مواد در ساخت الکترودهای جوش نقطه‌ای، سوئیچ‌های خلأ ولتاژ بالا، قالب‌های ریخته‌گری، الکترودهای جوشکاری شیاری است. از آن‌جایی که این مواد جزء خانواده‌ی آلیاژهای رسوب سختی‌پذیر محسوب می‌شوند، هرچه میزان حلالیت کروم در زمینه‌ی مسی آلیاژ ریخته‌گری شده بیشتر باشد، در حین مرحله‌ی عملیات حرارتی، رسوبات بیشتری ایجاد می‌شود و خواص مکانیکی و فیزیکی آلیاژ بهبود می‌یابد. روش‌های افشانش پودر و ذوب چرخشی که تا کنون برای تولید این آلیاژها به کار گرفته شده‌اند بیشتر جنبه‌ی تحقیقاتی دارند. در کارهای مشابه قبلی، از قالب تبریدی مسی و قالب مسی خنک شده در نیتروژن مایع استفاده شد، اما هیچ‌کدام از این روش‌ها قابلیت تبدیل شدن به روشی کاملاً صنعتی را ندارند. از این‌رو در پژوهش حاضر برای افزایش حلالیت کروم در مس و در عین حال دست‌یابی به راه‌کاری صنعتی برای تولید، از روش ریخته‌گری در قالب مسی آبگرد استفاده شد. در این تحقیق به‌منظور تعیین تأثیر سرعت‌های سرمایش مختلف بر میزان حلالیت کروم، سه سرعت سرمایش مورد بررسی قرار گرفت. سپس برای دست‌یابی به حداکثر سختی، عملیات حرارتی پیرسازی انجام و زمان و دمای بهینه تعیین شد. نتایج آزمایشات نشان داد که با استفاده از روش ریخته‌گری در قالب مسی آبگرد، علاوه بر ریز شدن ساختار، حلالیت کروم نیز به میزان مطلوبی افزایش می‌یابد. از این‌رو روش مذکور به عنوان روش تولید صنعتی مناسبی برای آلیاژ مس- کروم جهت تولید الکترودهای جوش نقطه‌ای پیشنهاد می‌گردد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول- مقدمه	
۱-۱ پیش‌گفتار	۲
۱-۲ آلیاژهای مس با عناصر آلیاژی کم	۳
۱-۳ شرایط ویژه‌ی تهیه‌ی آلیاژهای مس- کروم	۴
فصل دوم- مروری بر منابع	
۲-۱ آلیاژهای مس- کروم	۶
۲-۱-۱ کاربردها	۷
۲-۱-۲ نمودارهای تعادلی فازی دوتایی	۸
۲-۱-۳ هدایت الکتریکی و عوامل مؤثر بر آن	۱۰
۲-۱-۴ سختی و عوامل مؤثر بر آن	۱۱
۲-۱-۴-۱ میزان حلالیت کروم در زمینه‌ی مس	۱۲
۲-۱-۴-۱-۱ نحوه‌ی تعیین میزان حلالیت کروم	۱۳
۲-۱-۴-۲ دما	۱۶
۲-۱-۴-۳ کار مکانیکی	۱۶
۲-۱-۴-۴ عملیات حرارتی پیرسازی	۱۸
۲-۲ روش‌های تولید آلیاژهای مس- کروم	۱۹
۲-۲-۱ روش‌های معمول	۱۹

۲-۲-۲ روش‌های مدرن ۲۰

۲-۲-۲-۱ ذوب چرخشی ۲۰

۲-۲-۲-۲ افشانش پودر ۲۱

۲-۲-۲-۳ آلیاژسازی مکانیکی ۲۳

۲-۳ ریزساختار آلیاژهای مس- کروم ۲۵

۲-۳-۱ ریزساختار تعادلی ۲۵

۲-۳-۲ ریزساختار بعد از انجماد سریع ۲۵

۲-۳-۳ ریزساختار بعد از عملیات حرارتی پیرسازی ۲۸

۲-۴ مکانیزم‌های افزایش استحکام و سختی در آلیاژهای مس- کروم ۳۲

فصل سوم- مواد و روش تحقیق

۳-۱ مواد اولیه‌ی تهیه‌ی آلیاژ ۳۵

۳-۲ تهیه‌ی آلیاژ ۳۵

۳-۲-۱ آلیاژسازی و ذوب ۳۵

۳-۲-۲ ریخته گری ۳۵

۳-۳ رسم منحنی‌های سرد شدن ۳۶

۳-۴ آنالیز شیمیایی ۳۷

۳-۵ برش نمونه‌ها ۳۸

۳-۶ عملیات حرارتی پیرسازی ۳۸

۳-۷ آماده سازی نمونه‌ها ۳۸

۳-۸ متالوگرافی ۳۹
۳-۸-۱ میکروسکوپ نوری (OM) ۳۹
۳-۸-۲ میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ۳۹
۳-۹ ریزسختی سنجی ۴۰
۳-۱۰ آزمایش XRD ۴۰
۳-۱۱ تعیین درصد سطحی رسوبات کروی ۴۰
۳-۱۲ توزیع اندازه‌ی رسوبات کروی ۴۱

فصل چهارم- نتایج

۴-۱ سرعت سرد شدن نمونه‌ها ۴۳
۴-۲ الگوی پراش اشعه‌ی x ۴۳
۴-۲-۱ بررسی الگوی پراش اشعه‌ی x ۴۳
۴-۲-۲ پارامتر شبکه‌ی نمونه‌ها و میزان حلالیت کروم ۴۳
۴-۳ ریزساختار نمونه‌ها ۴۴
۴-۳-۱ ریزساختار میکروسکوپ نوری ۴۴
۴-۳-۲ ریزساختار میکروسکوپ الکترونی روبشی ۴۴
۴-۴ آنالیز شیمیایی ۴۴
۴-۴-۱ آنالیز کوانتومتری ۴۴
۴-۴-۲ آنالیز EDS ۴۴
۴-۵ منحنی‌های عملیات حرارتی ۴۵

۴-۶ درصد سطحی رسوبات کروی ۴۵

۴-۷ نمودار توزیع اندازه‌ی رسوبات کروی ۴۵

فصل پنجم- بحث

۵-۱ منحنی‌های سرد شدن ۵۸

۵-۲ بررسی میزان حلالیت کروم در زمینه‌ی مس ۵۸

۵-۲-۱ افزایش پارامتر شبکه ۵۸

۵-۲-۲ اندازه‌گیری حلالیت کروم ۵۹

۵-۳ بررسی ریزساختار آلیاژ مس- کروم ۶۳

۵-۳-۱ ریزساختار میکروسکوپ نوری ۶۳

۵-۳-۲ مکانیزم انجماد ۶۴

۵-۳-۳ ریزساختار میکروسکوپ الکترونی روبشی ۶۵

۵-۳-۴ بررسی درصد سطحی رسوبات کروی ۶۶

۵-۳-۵ بررسی نمودار توزیع اندازه‌ی رسوبات غنی از کروم ۶۶

۵-۴ سختی آلیاژ مس- کروم ۶۷

۵-۵ بررسی مکانیزم‌های استحکام‌دهی در آلیاژهای مس- کروم ۶۹

فصل ششم- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۶-۱ نتیجه‌گیری ۷۳

۶-۲ پیشنهادات ۷۴

مراجع ۷۶

فهرست اشکال و جداول

اشکال

شکل۲-۱ (الف). دیاگرام تعادلی دوتایی مس- کروم ۹

شکل۲- ۱(ب). قسمت غنی از کروم (سمت راست) و غنی از مس (سمت چپ) دیاگرام تعادلی دوتایی مس- کروم ۹

شکل ۲-۲. دیاگرام تعادلی دوتایی مس- کروم به همراه شکاف انحلال‌پذیری مایع ۱۰

شکل ۲-۳. هدایت الکتریکی آلیاژ مس- کروم تولید شده به روش ذوب چرخشی ۱۱

شکل۲-۴. تغییرات سختی با محتوای کروم در آلیاژ مس- کروم تولید شده به روش ذوب چرخشی ۱۴

شکل ۲-۵. تغییرات پارامتر شبکه‌ی آلیاژ مس- کروم نسبت به تغییرات میزان کروم ۱۵

شکل ۲-۶. تغییرات سختی نسبت به دمای عملیات حرارتی آلیاژ مس- کروم ۱۷

شکل ۲-۷. منحنی عملیات حرارتی پیرسازی یک آلیاژ مس- کروم ۱۹

شکل ۲-۸ نمونه‌ای از نوارهای تولید شده به روش ذوب چرخشی؛(الف) آلیاژ مس- کروم؛ (ب) آلیاژ روی- منیزیم ۲۲

شکل ۲-۹. شمایی از فرآیند آلیاژسازی مکانیکی ۲۴

شکل ۲-۱۰. ساختار یوتکتیک تعادلی آلیاژ Cu- 0.74wt.% Cr ۲۶

شکل ۲-۱۱. نمونه‌ای از ذرات کروی ناشی از جدایش فاز مایع ۲۷

شکل ۲-۱۲. نمونه‌ای از رسوبات سوزنی شکل کروم ۲۹

شکل ۲-۱۳. نمونه‌ای از رسوبات نانومتری در آلیاژ مس- کروم ۳۱

شکل ۳-۱. شمایی از قالب مسی آبگرد و دستگاه ثبت داده	۳۷
شکل ۴-۱. منحنی‌های سرد شدن سه نمونه‌ی ریخته‌گری شده	۴۶
شکل ۴-۲ (الف). الگوی پراش نمونه‌ی ۱	۴۶
شکل ۴-۲ (ب). الگوی پراش نمونه‌ی ۲	۴۷
شکل۴-۲ (ج). الگوی پراش نمونه‌ی ۳	۴۷
شکل ۴-۳ (الف).تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ی ۱	۴۸
شکل ۴-۳ (ب). تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ی ۲	۴۸
شکل ۴-۳ (ج). تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ی ۳	۴۹
شکل ۴-۴ (الف). تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ی ۱ (الکتروپالیش)	۴۹
شکل ۴-۴ (ب). تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ی ۲ (الکتروپالیش)	۵۰
شکل ۴-۴ (ج). تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ی ۳ (الکتروپالیش)	۵۰
شکل۴-۵ (الف). تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه‌ی ۱	۵۱
شکل ۴-۵ (ب). تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه‌ی ۲	۵۱
شکل ۴-۵ (ج). تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه‌ی ۳	۵۲
شکل ۴-۶ (الف). تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه‌ی ۱	۵۳
شکل ۴-۶(ب) آنالیز EDS فاز رسوب نمونه‌ی ۱	۵۳
شکل ۴-۶(ج) آنالیز EDS فاز زمینه‌ی نمونه‌ی ۱	۵۳
شکل۴-۷ (الف). منحنی‌های سختی- زمان، دمای ۴۵۰ درجه‌ی سانتی گراد	۵۴
شکل۴-۷ (ب). منحنی‌های سختی- زمان، دمای ۵۵۰ درجه‌ی سانتی گراد	۵۴

شکل۴-۷ (ج). منحنی‌های سختی- زمان، دمای ۶۰۰ درجه‌ی سانتی گراد ۵۵

شکل ۴-۸. منحنی توزیع اندازه‌ی رسوبات در سه نمونه ۵۵

شکل ۵-۱. تأثیر روش‌های تولید آلیاژ مس- کروم در میزان حلالیت کروم ۶۲

شکل ۵-۲.میزان حلالیت کروم بر حسب سرعت سرمایش ۶۲

شکل ۵-۳. نمودارتغییرات سختی بر حسب کسر حجمی رسوبات ۶۹

جداول

جدول ۴-۱. پارامتر شبکه‌ی نمونه‌ها و میزان حلالیت کروم ۵۶

جدول ۴-۲. نتایج آنالیز کوانتومتری آلیاژ مورد مطالعه ۵۶

جدول ۴-۳. درصد سطحی رسوبات در نمونه‌ها ۵۶

جدول ۵-۱. سختی نمونه‌های خالص، حداکثر سختی و کسر حجمی رسوبات در نمونه‌ها ۶۸

جدول ۵-۲. سختی نمونه‌های خالص، آلیاژی بعد از ریخته‌گری و حداکثر سختی نمونه‌های آلیاژی بعد از عملیات حرارتی پیرسازی ۷۰

فصل اول:

مقدمه

۱-۱ پیش‌گفتار

پیشرفت‌های سریع و رو به رشد صنایع الکتریکی و الکترونیکی، استفاده از مواد نو را به امری ضروری و حیاتی برای شرکت‌های سازنده تبدیل کرده است. با توجه به نوع کاربرد، این مواد باید از هدایت الکتریکی و حرارتی و در عین حال استحکام بالایی برخوردار باشند و باید این خصوصیات را در دماهای بالا حفظ نمایند.

آلیاژهای پایه‌ی مس از جمله آلیاژهای دوتایی Cu-Cr، Cu-Be، Cu-Zr 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. مطالعاتی که تا کنون انجام گرفته است عبارتند از: بررسی روش‌های مختلف تولید، بررسی تأثیر سیکل‌های مختلف عملیات حرارتی، بررسی نمودارهای فازی دوتایی و سه‌تایی از نقطه نظر ترمودینامیکی و مطالعه‌ی نحوه‌ی رسوب‌گذاری و شناسایی ریخت‌شناسی رسوبات مؤثر در سختی و استحکام به کمک میکروسکوپ‌های الکترونی[۴-۱].

یکی از مهم‌ترین فاکتورهایی که باید در هنگام تولید این دسته از آلیاژها مد نظر قرار گیرد، رسیدن به حداکثر مقدار حلالیت عنصر آلیاژی در فاز زمینه است. به این منظور روش‌های تولید انجماد سریع کاربرد بیشتری پیدا کرده‌اند. اما فرآیند تولید نسبتاً طولانی و پیچیده و بازدهی اندک این روش‌ها سبب افزایش قیمت محصول نهایی شده است و از میان روش‌های مختلف

انجماد سریع، تنها روش افشانش پودر کاربرد گسترده‌ی صنعتی دارد و سایر روش‌ها فقط از نقطه نظر تحقیقاتی دارای اهمیت هستند.

از این رو، رویکرد اساسی در پژوهش حاضر ارائه‌ی روشی نو در تولید این دسته از آلیاژها، خصوصاً آلیاژهای مس- کروم است تا علاوه بر رسیدن به میزان حلایت قابل قبول عنصر آلیاژی کروم در مس، هزینه‌های تولید افزایش چندانی نداشته باشند.

کارهای قبلی و مشابهی که در این زمینه انجام پذیرفته است عبارتند از: ریخته‌گری در قالب گوه‌ای شکل به منظور بررسی تأثیر سرعت سرمایش بر میزان حلالیت کروم و ریخته‌گری در قالب مسی که قبلاً در نیتروژن مایع سرد شده است[۶و ۵]. متأسفانه هیچ‌کدام از روش‌های مذکور توانایی تبدیل شدن به روشی کاملاً صنعتی را ندارند. از این رو در این پژوهش، بعد از تهیه‌ی مذاب آلیاژ مس- کروم، ریخته‌گری در قالب مسی آبگرد صورت گرفت.

نتایج بدست آمده حاکی از دستیابی به میزان نسبتاً قابل قبولی از حلالیت کروم در زمینه‌ی مس و به تبع آن رسیدن به سختی و استحکام مناسب جهت تولید الکترودهای جوشکاری نقطه‌ای[1] است.

۱-۲ آلیاژهای مس با عناصر آلیاژی کم

آلیاژهای پر مس دسته‌ای از آلیاژهای مس هستند که علاوه بر مس، یک عنصر آلیاژی دیگر نیز در ساختار خود دارند. این آلیاژها بر اساس مهم‌ترین عنصر آلیاژی خود نام‌گذاری می‌شوند. به عنوان نمونه آلیاژهای استاندارد مس- بریلیم حاوی ۲ درصد وزنی بریلیم هستند. این دسته از آلیاژها با حفظ نسبی هدایت الکتریکی و حرارتی بالای مس خالص، خواص مکانیکی مطلوبی را نیز دارا هستند.

1. Spot welding

طبق تعریف، آلیاژهای پر مس به آن دسته از آلیاژهای مس اطلاق می‌شوند که بیش از ۹۶/۰۱ درصد وزنی و کمتر از ۹۹/۳ درصد وزنی مس دارند[۷]. در تعریفی دیگر، آلیاژهای پر مس، آلیاژهای پایه‌ی مس معرفی می‌شوند که میزان حلالیت عنصر آلیاژی در حالت جامد در دمای ۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد کمتر از ۸ درصد اتمی باشد[۸].

۱-۳ شرایط ویژه‌ی تهیه‌ی آلیاژهای مس-کروم

نکته‌ی بسیار مهم در تهیه‌ی آلیاژهای مس- کروم، دستیابی به حداکثر ممکن حلالیت کروم در زمینه‌ی مسی است. این امر مهم نیز با افزایش سرعت سرمایش در همان مراحل اولیه‌ی انجماد قابل حصول است. از این‌رو در پژوهش حاضر به منظور اطمینان از انحلال کامل عنصر کروم در مذاب مس، دمای ذوب تا ۱۶۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد بالا افزایش یافت و بعد از همگن شدن کامل مذاب، ریخته‌گری در قالب مسی آبگرد انجام شد. برای بررسی تأثیر سرعت سرمایش بر میزان حلالیت کروم و رفتار عملیات حرارتی پیرسازی و سختی آلیاژ، سرد کردن با سه سرعت متفاوت انجام شد.

فصل دوم:

مروری بر منابع

۲-۱ آلیاژهای مس- کروم

عنصر مس به دلیل هدایت الکتریکی بسیار مطلوب، مقاومت به خوردگی خوب و خواص شکل‌پذیری مناسب، کاملاً شناخته شده است. اما استحکام اندک این عنصر سبب می‌شود تا بیشتر، از آلیاژهای پایه مس در صنعت استفاده شود [۷] . از آن‌جایی که عناصر آلیاژی باعث کاهش هدایت الکتریکی، این خصیصه‌ی ارزشمند مس می‌شوند باید راهی یافت تا علاوه بر افزایش استحکام این ماده، از هدایت الکتریکی آن نیز کاسته نشود.

عناصری که به طور کامل در مس حل می‌شوند، مانند Ni, Mn, Pt, Au, Pd ، گرچه استحکام را به واسطه‌ی تشکیل محلول جامد بهبود می‌بخشند، اما هدایت الکتریکی را به شدت کاهش می‌دهند[۹] . از سوی دیگر عناصر کم محلول مانند Be, Mg, B, Si, Cr و اغلب عناصر واسطه، با توجه به اینکه حلالیت ناچیزی در مس دارند، هدایت الکتریکی را کاهش نمی‌دهند، اما افزایش استحکام چندانی را هم ایجاد نمی‌نمایند[۹].

بهترین راه برای افزایش استحکام و در عین حال بهره‌مندی از هدایت الکتریکی مطلوب، استفاده از عناصر آلیاژی کم محلول به همراه به‌کارگیری شیوه‌ی استحکام‌دهی سختی رسوبی است [۸] . در این شیوه به کمک روش‌های تولید موجود (بخش ۲-۲ را ببینید) و با ایجاد محلول جامد فوق اشباع (با میزان اشباعیت بسیار بالا) و انجام عملیات پیرسازی، رسوبات بسیار ریز و پراکنده‌ای در زمینه‌ی آلیاژ ایجاد می‌شوند. با خارج شدن عنصر آلیاژی حل شده از محلول جامد فوق اشباع، هدایت الکتریکی که در اثر ایجاد محلول جامد کاهش یافته بود، دوباره افزایش می‌یابد. در عین حال به دلیل حضور رسوبات ریز همدوس[1] و پراکنده در زمینه‌ی آلیاژ، استحکام نیز افزایش می‌یابد.

کروم یکی از عناصر کم محلول در مس است که کاربرد فراوانی در آلیاژسازی دارد. آلیاژ مس- کروم به آلیاژهای پایه‌ی مس اطلاق می‌شود که حداکثردارای ۱/۲ درصد وزنی کروم برای ایجاد قابلیت

1. Coherent