بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی
بخش مهندسی مواد و متالورژی
پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مواد
گرایش شناسایی و انتخاب مواد

تاثیر عنصر کروم بر حلالیت تنگستن در آلیاژ نانو ساختار مس-تنگستن

مؤلف:

تینا فدایی

استاد راهنما:

پروفسور شهریار شرفی

استاد مشاور:

دکتر غلامحسین اکبری

بهمن ماه ۱۳۹۳

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط درجه کارشناسی ارشد

بخش مهندسی مواد

دنشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

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

دانشجو: تینا فدایی

استاد راهنما: پروفسور شهریار شرفی

استاد مشاور: دکتر غلامحسین اکبری

داور ۱:دکتر رامین رئیس زاده

داور ۲:دکتر حمید دوست محمدی

نماینده تحصیلات تکمیلی در جلسه دفاع:پروفسور مرتضی زند رحیمی

معاون آموزشی و پژوهشی دانشکده: پروفسور مرتضی زند رحیمی

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

تقدیم به:

مقدس‌ترین واژه‌ها در لغت نامه دلم، مادر مهربانم که زندگی را مدیون مهر و عطوفت آن می-دانم.

پدر ، مهربانی مشفق، بردبار و حامی.

همسرم که نشانه لطف الهی در زندگی من است.

سپاس‌گزاری:

خدای بزرگ را شاکرم که در طول مدت تحصیل همواره یاری دهنده من بوده و به من صبر وشکیبایی در برابر مشکلات وناملایمات عنایت فرمود.

در این رهگذر به رسم ادب خود را ملزم می‌دانم که با تواضع تمام و از صمیم قلب تشکر و سپاس خالصانه خود را از: اعضای خانواده‌ام به خصوص همسرم که امکان ادامه تحصیل را برای من مشتاقانه فراهم کرده‌اند و دعای خیرشان همواره، همراه و پشتیبان من بود.

برترین سپاسم را تقدیم استاد ارجمند جناب دکتر شهریار شرفی می‌نمایم که در انجام این پایان نامه صمیمانه مرا یاری فرمودند.

از تمامی اساتید محترم بخش مواد و متالورژی دانشگاه باهنر کرمان که اینجانب افتخار شاگردیشان را داشته‌ام.

از مسئولین محترم آزمایشگاه‌های بخش مهندسی مواد دانشگاه شهید باهنر کرمان سرکار خانم مهندس دادگری نژاد و خانم مهندس بقایی کمال تشکر را دارم.

چکیده:

سیستم آلیاژی مس- تنگستن-کروم، به دلیل خواص مناسبی از جمله شکل پذیری، استحکام و هدایت الکتریکی بالا، کاربردهای گسترده‌ای در صنایع الکتریکی، خودروسازی و جوشکاری دارد. یکی از روش‌های تولید این آلیاژ نانوساختار آلیاژسازی مکانیکی می‌باشد. در تحقیق حاضر، تاثیر عنصر کروم برروی حلالیت تنگستن در آلیاژ نانو ساختار مس- تنگستن به روش آلیاژسازی مکانیکی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. بدین منظور پودرهای اولیه مس، تنگستن و کروم در یک آسیای گلوله سیاره‌ای پر انرژی با هم مخلوط شدند وآسیاکاری در زمان‌های ۴، ۱۲، ۲۴، ۴۸ و ۹۶ ساعت انجام گردید تا ترکیب اسمی Cu-٪۴W-٪۵Cr بدست آید. پودرهای حاصله برای بررسی تغییرات میکروساختاری، تغییرات مورفولوژیکی و اندازه ذرات به ترتیب تحت آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مجهز به آنالیزگر EDS، قرار گرفتند. پارامتر شبکه به روش برون‌یابی و اندازه متوسط کریستال و کرنش داخلی با معادله ویلیامسون- هال محاسبه گردیدند. سپس پودرهای آسیا شده به وسیله‌ی پرس سرد فشرده شده و در نهایت آزمایش ریزسختی سنجی انجام گرفت. نتایج نشان داد، که با افزودن کروم و افزایش زمان آسیاکاری تا ۹۶ ساعت اندازه کریستالیت‌ها تا حد نانومتری کاهش، اما کرنش داخلی و پارامتر شبکه افزایش یافت. همچنین اضافه کردن کروم منجر به ریز شدن اندازه ذرات پودری می‌شود که این امر ناشی از این است که افزودن عنصر کروم باعث افزایش کارسختی و همگن‌تر شدن پودرها می‌شود. در زمان‌های بالای آسیا کاری با حل شدن اتم‌های کروم و تنگستن در زمینه مس به دلیل کارسختی شدید، سختی افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی:میکروساختار، آلیاژسازی مکانیکی ، نانو ساختار، محلول جامد، میکرو سختی.

فهرست مطالب

عنوان.....صفحه

فصل اول: ۱

۱-۱- مقدمه: ۲

فصل دوم: ۴

۲-۱-آلیاژهای پر استحکام پایه مس ۶

۲-۱-۱- کرنش - سختی ۶

۲-۱-۲-محلول جامد ۷

۲-۱-۳- استحکام دهی از ذرات ریز ۷

۲-۲-آلیاژهای مس -کروم-تنگستن ۸

۲-۲-۱- سیستم مس-تنگستن ۸

۲-۳-حد حلالیت ۱۰

۲-۳-۱-مشکلات تعیین میزان حلالیت در حالت جامد ۱۱

۲-۴-روشهای تولید کامپوزیت مس-تنگستن ۱۱

۲-۴- ۱-روش ذوبی ۱۱

۲-۴-۲-کندانس فاز بخار ۱۲

۲-۴-۳-آلیاژسازی مکانیکی ۱۲

۲-۵-آلیاژسازی مکانیکی ۱۲

۲-۵-۱- مکانیزم آلیاژسازی مکانیکی ۱۴

۲-۵-۱- ۱- ترکیبا ت نرم- نرم ۱۴

۲-۵-۱-۲- ترکیبات نرم-ترد ۱۵

۲-۵-۱-۳- ترکیبات ترد-ترد ۱۵

۲-۵-۲- متغیرهای فرآیند آلیاژسازی مکانیکی ۱۴۶

۲-۵-۳- کاربردها ۱۵۹

۲-۵-۳-۱- تولید آلیاژهای حقیقی ۱۵۹
۲-۵-۳-۲- تولید ترکیب بین فلزی و مواد دیر گداز ۱۹
۲-۵-۳-۳- تولید آلیاژهای پراکنده سخت شده ۱۹
۲-۵-۳-۴- تولید نانوکامپوزیتها ۱۹۰
۲-۵-۳-۵- تولید محلولهای جامد فوق اشباع ۱۹۰
۲-۵-۳-۶- تولید مواد نانوکریستال ۱۹۰
۲-۵-۳-۷- تولید مواد آمورف ۲۰۱
۲-۵-۳-۸- انجام و اکنشهای شیمیایی ۲۰۱
۲-۶-فناوری نانو ۲۰۲
۲-۶-۱-تاریخچه فناوری نانو ۲۱۲
۲-۶-۲-تعریف فناوری نانو ۲۱۳
۲-۷- مواد نانوساختار ۲۴
۲-۷-۱- روشهای تولید مواد نانو کریستال ۲۷
۲-۷-۲- خواص مکانیکی مواد نانو کریستال ۲۸
۲-۷-۲-۱- استحکام مواد نانو کریستال ۲۸
۲-۷-۲-۲- چکش خواری و شکست مواد نانو کریستال ۲۹
۲-۸- تحقیقات انجام شده بر روی آلیاژهای پر استحکام مس ۳۱
فصل سوم: ۳۵
۳-۱- مواد اولیه ۳۶
۳-۲- متغیرهای آسیاکاری ۳۶
۳-۳- بررسی محصول آسیاکاری ۳۷
۳-۳-۱- بررسی میکروسکوپی پودرها ۳۷
۳-۳-۲- بررسی پراش اشعه ایکس ۳۷

۳-۳-۲-۱- اندازه کریستالی و کرنش داخلی ۳۷
۳-۳-۲-۲- پارامتر شبکه مس ۳۸
۳-۴- میکروسختی ۳۹
فصل چهارم: ۴۱
۴-۱-۱- پراش اشعه ایکس ۴۱
۴-۱-۲- اندازه کریستالی ۴۸
۴-۱-۳- کرنش شبکه ۴۹
۴-۱-۴- پارامتر شبکه ۵۰
۴-۲- تست میکروسختی ۵۰
۴-۳- میکروسکوپ الکترونی روبشی ۵۱
فصل پنجم: ۶۱
۵-۱-۱- آنالیز پراش پرتو ایکس ۶۲
۵-۱-۲- اندازه کریستالی ۶۳
۵-۱-۳- کرنش داخلی ۶۴
۵-۱-۴- پارامتر شبکه ۶۴
۵-۲- میکرو سختی ۶۵
۵-۳- مورفولوژی و اندازه ذرات پودرها ۶۶
فصل ششم: ۶۸
۶-۱- نتیجه‌گیری کلی ۶۹
۶-۲- پیشنهادها ۷۰
منابع ۷۱

فهرست شکل‌ها

عنوان.....صفحه

شکل ۲-۱: دیاگرام تعادلی فازی مس-تنگستن [۲۱] ۹

شکل ۲-۲: دیاگرام تعادلی فازی مس-کروم [۱۶]..... ۹

شکل ۲-۳: تغییر پارمتر شبکه به زمان آسیاکاری در مخلوط‌های پودری با مقادیر مختلفی از عنصر آلیاژی و با شعاع اتمی‌بزرگ‌تر نسبت به اتم زمینه(x1<x2<x3) [۱۱]. ۱۰

شکل ۲-۴: تشکیل مرزهای فرعی به وسیله نابجایی‌ها [۲۹]. ۱۳۳

شکل ۲-۵: برخورد گلوله-پودر-گلوله در حین آلیاژسازی مکانیکی مخلوط پودری [۲۸]. ۱۳۳

شکل ۲-۶: چگونگی تغییر شکل ساختار پودرهای اولیه در آلیاژسازی مکانیکی[۲۸]. ۱۵۵

شکل ۲-۷: نحوه ی قرارگیری اتم ها در فاز نانوکریستال [۴۰]. ۲۵

شکل ۲-۸: نسبت حجمی مناطق بلوری، مرزدانه‌های، خطوط سه گانه و گره‌های چهارگانه بر حسب اندازه دانه [۴۰]. ۲۶

شکل ۲-۹: حداقل اندازه دانه قابل دستیابی در حین آسیاکاری برحسب نقطه ذوب ماده [۴۳]. ۲۷

شکل ۲-۱۰: منحنی تنش-کرنش قطعه نانوکریستال مس با خلوص و کیفیت بالا، در مقایسه با قطعه نانو کریستال با خلوص و کیفیت پایین و قطعه با اندازه درشت [۴۴]. ۳۱

شکل ۴-۱: الگوی پراش ترکیب Cu–W–٪۰Cr ۴۱

شکل ۴-۲: الگوی پراش ترکیب Cu–W–٪۵Cr ۴۲۲

شکل ۴-۳: الگوی پراش نمونه بدون کروم پس از ۴ ساعت آسیاکاری ۴۲

شکل ۴-۴: الگوی پراش نمونه کروم دار پس از ۴ ساعت آسیاکاری ۴۳۳

شکل ۴-۵: الگوی پراش نمونه بدون کروم پس از ۱۲ ساعت آسیاکاری ۴۳

شکل ۴-۶: الگوی پراش نمونه با کروم پس از ۱۲ ساعت آسیاکاری.....۴۴۴

شکل ۴-۷: الگوی پراش نمونه بدون کروم پس از ۲۴ ساعت آسیاکاری ۴۴۴

شکل ۴-۸: الگوی پراش نمونه با کروم پس از ۲۴ ساعت آسیاکاری.....۴۵۵

شکل ۴-۹: الگوی پراش اشعه ایکس در نمونه بدون کروم پس از ۴۸ ساعت آسیاکاری ۴۵

شکل ۴-۱۰: الگوی پراش اشعه در نمونه با کروم در زمان ۴۸ ساعت آسیاکاری ۴۶

شکل ۴-۱۱: الگوی پراش نمونه بدون کروم پس از ۹۶ ساعت آسیاکاری.....۴۶

شکل ۴-۱۲: الگوی پراش اشعه در نمونه با کروم در ۹۶ ساعت آسیاکاری.....۴۷

شکل ۴-۱۳: الگوی تفرق اشعه ایکس نمونه بدون کروم ۴۷
شکل ۴-۱۴: الگوی تفرق اشعه ایکس نمونه حاوی کروم ۴۸
شکل ۴-۱۵: تغییرات اندازه کریستالیت بازمان آسیاکاری ۴۸۸
شکل ۴-۱۶: تغییرات کرنش شبکه با زمان آسیاکاری ۴۹
شکل ۴-۱۷: تغییرات پارامتر شبکه با زمان آسیاکاری ۵۰
شکل ۴-۱۸: تغییرات سختی با زمان آسیاکاری ۵۰
شکل ۴-۱۹: تصویر SEM مربوط به مس خالص ۵۱
شکل ۴-۲۰: تصویر SEM مربوط به تنگستن خالص ۵۲۲
شکل ۴-۲۱: تصویر SEM مربوط به کروم خالص ۵۲۲
شکل ۴-۲۲: تصویر SEM ذرات پودر (Cu–٪۴ w) در صفرساعت ۵۳۳
شکل ۴-۲۳: تصویر SEM ذرات پودر (Cu –٪۴ W – ٪۵ Cr) در صفر ساعت ۵۳۳
شکل ۴-۲۴: تصویر SEM ترکیب(cu-4%w) در ۴ ساعت ۵۴۴
شکل ۴-۲۵: تصویر SEM ترکیب (cu-4%w-5%cr) در۴ساعت ۵۴
شکل ۴-۲۶: تصویر SEM ترکیب (Cu – ٪۴W) در ۱۲ ساعت ۵۵۵
شکل ۴-۲۷: تصویر SEM ترکیب (Cu – ٪۴W – ٪۵ Cr) در ۱۲ ساعت ۵۵۵
شکل ۴-۲۸: تصویر SEM ترکیب (Cu – ٪۴W) در ۲۴ ساعت ۵۶
شکل ۴-۲۹: تصویر SEM ترکیب (Cu – ٪۴W – ٪۵ Cr) در ۲۴ ساعت ۵۶
شکل ۴-۳۰: تصویر SEM ترکیب (Cu – ٪۴W) در ۴۸ ساعت ۵۷۷
شکل ۴-۳۱: تصویر SEM ترکیب (Cu – ٪۴W – ٪۵ Cr) در ۴۸ ساعت ۵۷
شکل ۴-۳۲: تصویر SEM ترکیب (Cu – ٪۴W) در ۹۶ ساعت ۵۸
شکل ۴-۳۳: تصویر SEM ترکیب (Cu – ٪۴W – ٪۵ Cr) در ۹۶ ساعت ۵۸۸
شکل ۴-۳۴: تصویر نگاشت عنصری ترکیب (Cu – ٪۴W) ۵۸۸
شکل ۴-۳۵: تصویرنگاشت عنصری ترکیب (Cu – ٪۴W – ٪۵ Cr) ۵۹۹
شکل ۴-۳۶: تصویر نگاشت عنصری ترکیب (Cu – ٪۴W) ۶۰۰
شکل ۴-۳۷: تصویرنگاشت عنصری ترکیب (Cu – ٪۴W – ٪۵ Cr) ۶۱

فهرست جداول

عنوان.....صفحه

جدول ۲-۱: خواص فیزیکی مس و تنگستن و کروم [۲۲]. ۹

فصل اول:
مقدمه

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه:

تحقیقات و مطالعه علم مواد همواره جهت تولید محصولات با خواص و کارایی مطلوب‌تر مواد در حال انجام است. به هر حال افزایش تقاضا برای داشتن خواص بهتر در مواد مثل استحکام، سختی، سبکی و درخشندگی بیشتر نسبت به مواد حاضر منجر به طراحی وگسترش مواد پیشرفته‌تر می‌شود. مس با داشتن هدایت الکتریکی وحرارتی بالا مقاومت به خستگی وخوردگی خوب و شکل پذیری نسبتاً آسان جز مناسب‌ترین مواد برای این منظور می‌باشد. استحکام پایین مس به عنوان محدودیتی مطرح است که برای استحکام‌دهی به مس از پراکنده سختی در تولید کامپوزیت‌های پایه مس و پیرسختی در تولید آلیاژهای پایه مس استفاده می‌شود. مس وآلیاژهای مس به علت خواص خوردگی و هدایت الکتریکی و هدایت گرمایی کاربردهای بسیاری در مواد مهندسی می‌باشند [۱].

آلیاژهای مس وکروم در الکترود جوشکاری ودر خودرو استفاده می‌شوند [۲ و ۳] .درآلیاژ مس- تنگستن تشکیل فاز کم ثبات در طول واکنش حالت جامد عناصر با گرمای اختلاط منفی هم از دید ترمودینامیکی هم از دید سینتیکی می‌تواند شرح داده شود ولی واکنش حالت جامد بین عناصر نامحلول هنوز کامل درک نشده است [۴-۶]. به دلیل گرمای انحلال مثبت خیلی بالا (۳۵/۵ کیلو ژول بر مول) برای سیستم مس- تنگستن این سیستم حتی در حالت مذاب نیز نامحلول است [۷ و ۸].

سیستم آلیاژی مس- تنگستن- کروم از جمله سیستم‌های آلیاژی است که به دنبال تجزیه‌ی محلول جامد در حین عملیات پیرسازی رسوبات کروم و تنگستن در زمینه مس تشکیل می‌شوند. البته تشکیل محلول جامد فوق اشباع به سبب حد حلالیت پایین آن‌ها در یکدیگر با روش‌های تعادلی امکان پذیر نیست و با روش‌های غیرتعادلی ازجمله روش‌های آلیاژسازی مکانیکی امکان‌پذیر است. با توجه به قابلیت‌هایی که برای فرآیند آلیاژسازی مکانیکی شناخته شده است گستره وسیعی از مواد و ساختارهای مختلف با این روش تولید شده‌اند [۹].

یکی از مزیت‌های آلیاژسازی مکانیکی نسبت به انجماد سریع، تولید آلیاژهایی با ترکیب و ریزساختار همگن‌تر و همچنین افزایش بیشتر حلالیت عنصر آلیاژی می‌باشد که این مزیت باعث رویکرد محققان در سال‌های اخیر به این روش شده است [۱۰ و ۱۱]. آلیاژسازی مکانیکی علاوه بر

این که روشی معتبر برای دستیابی به توزیع همگن و نانومتری فاز ثانویه در زمینه‌های فلزی است، همچنین گسترش حد حلالیت را در بسیاری از سیستم‌ها در پی دارد. از این رو انتظار می‌رود کامپوزیت مس- تنگستن-کروم به روش آلیاژسازی با ساختار زیر میکرون و نانومتری تولید شود. بنابراین با ریز کردن رسوبات کروم و تنگستن تا ابعاد نانو خواص الکتریکی و مکانیکی کامپوزیت بهبود می‌یابد [۸]. دراین فرآیند ذرات پودر در حین آسیاکاری بین گلوله‌ها گیر افتاده و متحمل تغییر شکل و یا شکست می‌شوند که این امر ساختار نهایی را تعیین می‌کند [۱۲ و ۱۳].

در تحقیق حاضرسعی شده است با انجام فرآیند آلیاژسازی مکانیکی، محلول جامد فوق اشباع مس-کروم-تنگستن در ترکیبات مختلفی از مخلوط پودر تهیه شده و توسط تکنیک‌های XRD و SEM، تشکیل محلول جامد فوق اشباع و روند تغییر مشخصه‌های ذرات و کریستال‌های آن در زمان-های مختلف آسیاکاری بررسی شوند. در آسیاکاری عوامل مختلفی از جمله نوع آسیا، اتمسفر آسیاکاری، تعداد و اندازه گلوله‌ها، مقدار عامل کنترل کننده فرآیند استفاده شده نقش مهمی را ایفا می‌کنند. با وجودی که روی آلیاژ مس-کروم [۱۴] و آلیاژ مس- تنگستن [۱۵] تحقیقات زیاد و گسترده‌ای انجام شده، این پایان نامه در مورد تولید سیستم سه‌تایی مس- تنگستن-کروم به روش آسیاکاری می‌باشد و هدف از تحقیق حاضر بررسی اثر افزودن کروم روی خواص میکروساختاری آلیاژ نانوساختار Cu -٪۴ w می‌باشد که انتظار می‌رود که با اضافه کردن کروم بتوان آلیاژ جدیدی با خواص فیزیکی و مکانیکی مناسب تولید کرد. کروم با قرارگیری در شبکه و ایجاد محلول جامد به بهبود نواقص از جمله استحکام پایین مس کمک فراوانی می‌کند. لذا سایر عوامل ذکر شده ثابت و فقط زمان آسیاکاری و ترکیب شیمیایی متغیر انتخاب شده است. بنابراین مراحل زیر مورد بررسی قرار گرفت:

- آسیا کردن پودرها
- بررسی مورفولوژی پودرهای آسیا شده توسط میکروسکوپ الکترونی (SEM)
- بررسی تشکیل فازهای تشکیل شده با استفاده از آنالیز اشعه ایکس (XRD)
- بررسی تغییرات اندازه دانه، کرنش شبکه و پارامتر شبکه با استفاده از آنالیز اشعه ایکس
- پرس و بررسی سختی نمونه‌ها

فصل دوم:
مروری بر منابع تحقیق

فصل دوم: مروری بر منابع تحقیق

۲-۱- آلیاژهای پر استحکام پایه مس:

عنصر مس دارای خواص منحصر به فردی ازجمله شکل‌پذیری، مقاومت به خوردگی و هدایت الکتریکی است اما این عنصر دارای استحکام، مقاومت سایشی و مقاومت خزشی نامناسب بوده که به همین دلیل از آلیاژهای پایه مس به جای عنصر خالص مس استفاده می‌شود [۱۶].

فازهای تقویت کننده متفاوتی قابلیت قرارگرفتن در زمینه مس را دارند، اما عملکرد آن‌ها متفاوت است. هنگامی‌که فازهای تقویت کننده سرامیکی مثل اکسیدها، بوریدها و کاربیدها در زمینه مس قرار می‌گیرند هدایت الکتریکی به شدت افت می کند، اما برای حفظ خواص مکانیکی به دلیل مقاوم بودن آن‌ها در برابر درشت شدن حین آنیل مناسب هستند[۱۷].

اگر از فازهای تقویت کننده فلزی قابل حل در مس مانند عناصر Mn، Au، Ni استفاده شود با وجود استحکام به واسطه تشکیل محلول جامد هدایت الکتریکی را به شدت کاهش داده و اما اگر از عناصر فلزی غیر قابل حل در مس مانند Mo، Be، Mg استفاده شود، با توجه به حلالیت ناچیزشان در مس هدایت الکتریکی را کم نمی‌کنند، اما در عین حال استحکام را نیز چندان افزایش نمی‌دهند برای استحکام‌دهی، چندین مکانیزم در سیستم‌های مس پیشنهاد شده است. کرنش سختی، محلول جامد و ذرات نامحلول به عنوان سه مکانیزم اصلی استحکام‌دهی ساختار جامد شناخته شده است [۱۸].

۲-۱-۱- کرنش- سختی:

کرنش سختی فرآیند مهمی است که برای سخت کردن فلزات یا آلیاژهایی که عملیات گرمایی نمی‌شوند به کار می‌رود. کرنش سختی بر همکنش نابجایی‌ها با عیوب دیگر می‌باشد. استحکام نهایی یک آلیاژ مس کارسرد شده همیشه بیشتر از استحکام نهایی مس خالص با همان اندازه کار سرد است [۱۹]. در نتیجه یکی از روش‌های مرسوم برای استحکام بخشی به آلیاژهای پایه مسی روش کارسختی علاوه بر رسوب سختی می‌باشد.

۲-۱-۲- محلول جامد:

انحلال اتم‌های محلول در شبکه حلال آلیاژی مستحکم‌تر از فلز خالص تولید می‌کند. در مس مانند اکثر فلزات، محلول‌های جامد به صورت جانشین و بین نشین وجود دارند. عناصر زیادی به طور کامل در مس حل می‌شوند و خواص مکانیکی مس را بهبود می‌دهند ولی در عین حال باعث افت شدید هدایت الکتریکی می‌شوند [۱۸].

قوانین هیوم روتری که برای انحلال در حالت جانشینی و تعادلی تعریف شده‌اند در شرایط غیر تعادلی نیز تا حدودی معتبر هستند. یکی از مهم‌ترین معیارهای این قوانین فاکتور اندازه اتمی می‌باشد که اگر اختلاف نسبی شعاع اتمی بیش از ۱۵٪ باشد، حلالیت دو عنصر در هم به شدت کاهش می‌یابد. همچنین ساختار کریستالی دو فلز نیز در حلالیت آن‌ها در هم مهم می‌باشد و در صورت یکسان نبودن ساختار کریستالی، حلالیت آن‌ها در هم کم می‌گردد. از دیگر پارامترهای مهم در این قوانین الکترونگاتیویته و ظرفیت نسبی دو عنصر می باشد که بایستی در نظر گرفته شود [۱۸].

۲-۱-۳- استحکام دهی از ذرات ریز:

از ذرات ریز به دو صورت رسوب سختی و پراکنده سختی برای استحکام‌دهی استفاده می‌شود. رسوب سختی با عملیات محلول سازی و کوئنچ یک آلیاژ انجام می‌شود. در پراکنده سازی حتی در دماهای بالا نیز فاز ثانویه حلالیت بسیار کمی در زمینه دارد. چون قابلیت انحلال ذرات فاز ثانویه موجود در زمینه بسیار کم است، ذرات در این سیستم‌ها به مراتب بیشتر از ذرات فاز ثانویه در سیستم‌های رسوب سخت در برابر رشد دانه مقاومت می‌کنند. در پیرسازی تنها وقتی رسوبات ریز، به تعداد زیاد و با پراکندگی یکنواختی تشکیل شود می‌توانند نابجایی‌ها راقفل کرده و مقاومت خزشی خوبی ایجادکنند [۱۸]. ازآلیاژهای پراکنده سخت مس، می‌توان به کامپوزیت‌ها Al_2O_3-Cu و Cu-WC اشاره کرد[۱۱]. این کامپوزیت‌ها با اختلاف زیاد در دمای ذوب و قابلیت پایین ترشوندگی اجزای تشکیل دهنده آن‌ها، به عنوان سینک‌های حرارتی در مدارهای الکترونیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند و با انتقال سریع گرما، از کاهش بازدهی این مدارها جلوگیری می‌کنند. ساخت این کامپوزیت‌ها با آلیاژسازی مکانیکی کیفیت بالای آن‌ها را تأمین می‌کند [۱۲]. همان‌طور که گفته شد، این نوع استحکام بخشی ناشی از اختلاف حد حلالیت عنصر آلیاژی در مس با اختلاف دما است. این اختلاف ضریب انحلال غالباً نیاز حضور کافی فاز ثانویه به صورت محلول در فاز زمینه مس را برآورده نمی‌کند، در نتیجه میزان رسوبات تشکیل شده بعد از پیرسازی اندک است. از

این رو تولید محلول فوق اشباع از روش‌های گوناگونی مثل انجماد سریع، رسوب شیمیایی بخار، رسوب فیزیکی بخار و آلیاژسازی مکانیکی مورد توجه قرار گرفته است [۱۸].

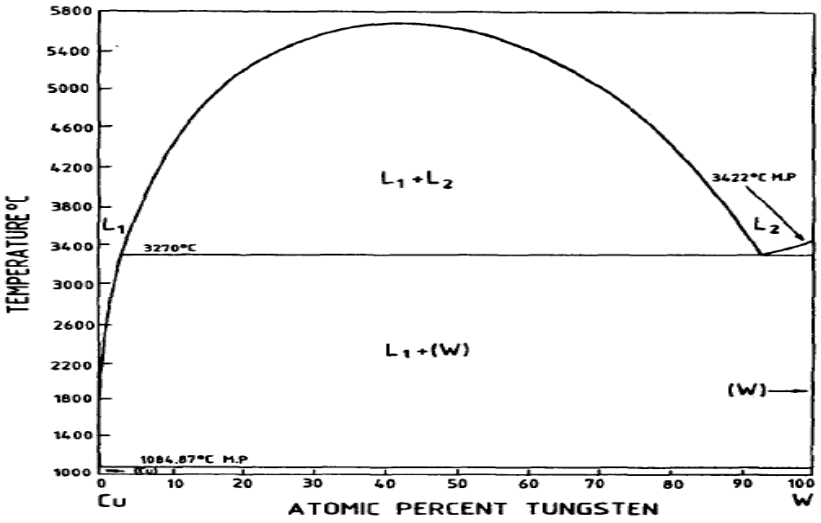
یکی از نکات حائز اهمیت آن است که باتوسعه نانو مواد و امکان پراکنده نمودن ذرات با ابعاد نانومتری در زمینه مس دستیابی به ترکیبی از خواص مس و نانوذرات فراهم شده و آلیاژ با کارآیی مطلوب‌تر به دست آمده است. شایان ذکر است تهیه این آلیاژها با ساختار نانومتری سبب شده تا خواص مکانیکی آن‌ها تا حد قابل توجهی بهبود یافته و به کارایی محصولات به دست آمده از این آلیاژها افزوده شود.

۲-۲- آلیاژهای مس-کروم- تنگستن:

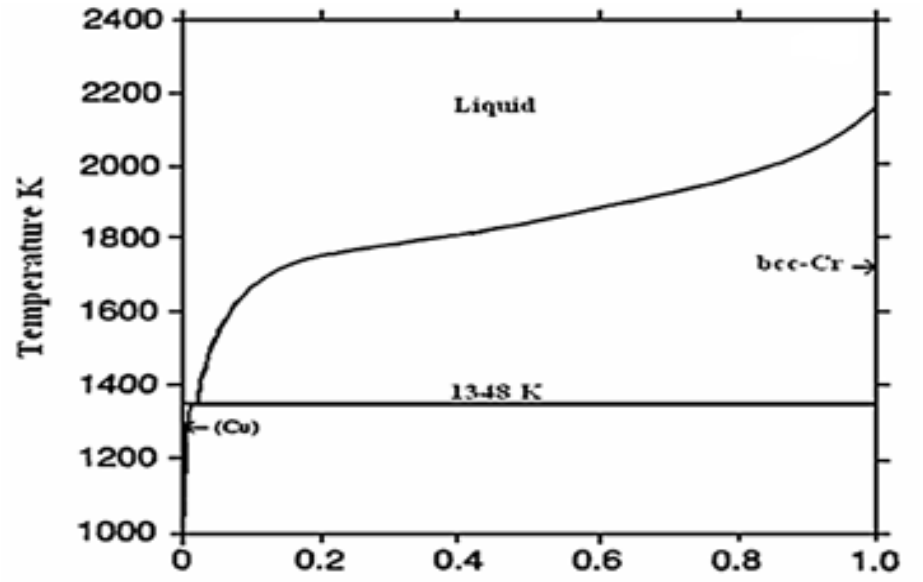
کروم به عنوان عنصر کم محلول در مس و تنگستن به عنوان عنصر غیر قابل حل در مس کاربرد فراوانی در آلیاژسازی دارند.کاربردهای فراوانی برای مواد با ساختار پایدار و استحکام در دمای بالا همراه با هدایت الکتریکی یا حرارتی بالا مانند آلیاژهای مس-کروم- تنگستن وجود دارد. این کاربردها به دو دسته تقسیم می‌شوند: دسته اول کاربردهای الکتریکی مثل سوییچ‌های با کارایی بالا، الکترو موتورها و مبدل‌های حرارتی هستند و دسته دوم کاربرد در صنایع ساخت و تولید مانند اجزای خنک شونده نازل موشک، کابل‌ها و سیم‌های مغناطیسی است [۲۰].

۲-۲-۱- سیستم مس – تنگستن:

دیگرام تعادلی فازی مس تنگستن و سیستم مس- کروم در شکل ۲-۱ وشکل ۲-۲آورده شده است. همان‌طور که در دیاگرام تعادلی مشاهده می‌شود مس و تنگستن نه تنها در حالت جامد نامحلول هستند بلکه در حالت مذاب نیز در هم حل نمی‌شوند. این ویژگی نادر باعث شده است که روش‌های معمول ذوب و ریخته‌گری در بهترین حالت و با بیشترین سرعت انجماد نیز از پس تولید این آلیاژ برنیایند [۶].



شکل ۲-۱: دیاگرام تعادلی فازی مس-تنگستن [۲۱]



شکل ۲-۲: دیاگرام تعادلی فازی مس-کروم [۱۶]

در جدول ۲-۱ برخی از خواص فیزیکی سه عنصر مس،تنگستن و کروم آورده شده است.

جدول ۲-۱: خواص فیزیکی مس و تنگستن و کروم [۲۲].

عناصر	ساختار کریستالی	عدد اتمی	شعاع اتمی (Å)	وزن اتمی (gr/mol)	دمای ذوب (℃)	دمای جوش (℃)
مس	FCC	۲۹	۱/۲۸	۶۳/۵۴	۱۰۸۴	۲۵۹۵
تنگستن	BCC	۷۴	۱/۴۱	۱۸۳/۸۴	۳۴۲۲	۵۵۵۵
کروم	BCC	۲۴	۱/۸۵	۵۱/۹۶۶	۱۸۷۵	۲۶۶۵