

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



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 مهندسی

بررسی آلیاژ نانوساختار مس - کروم - زیر کونیم تهیه شده در فرآیند
آلیاژسازی مکانیکی

مؤلف :

سعیدرضا حیدری زاده

استاد راهنما :

دکتر غلامحسین اکبری

استاد مشاور :

دکتر شهریار شرفی

خرداد ماه ۱۳۹۱



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

بخش 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: سعیدرضا حیدری زاده

استاد راهنما: جناب آقای دکتر غلامحسین اکبری

استاد مشاور: جناب آقای دکتر شهریار شرفی

داور ۱: جناب آقای دکتر حمید دوست محمدی

داور ۲: جناب آقای دکتر عباس صادق زاده عطار

نماینده‌ی تحصیلات تکمیلی در جلسه دفاع: سرکار خانم مریم احتشام زاده

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده: سرکار خانم مریم احتشام زاده

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

تقدیم به:

مادر مہربانم

و

روان پاک پدرم

تقدیر و تشکر

اکنون که به یاری و توفیق خداوند این پژوهش به پایان رسید، بر خود لازم می‌دانم که تشکر و سپاس فراوانی از زحمات همه اساتید که موفقیت این پایان نامه مرهون همکاری‌ها، مشاوره‌ها و زحمات ایشان بوده است، نمایم. از جمله:

جناب آقای دکتر غلامحسین اکبری، استاد راهنما

جناب آقای دکتر شهریار شرفی، استاد مشاور

خانم مهندس افضلی، اطهره دادگری نژاد و فاطمه بقایی، مسئول آزمایشگاه

همچنین سپاس خود را به داوران محترم این پایان نامه جناب آقای دکتر حمید دوست محمدی و جناب آقای دکتر عباس صادق زاده عطار تقدیم می‌دارم و زحمات بی‌شائبه این بزرگواران را ارج می‌نهم.

یاد و خاطره همکلاسی‌های عزیزم، دانشجویان کارشناسی ارشد ورودی ۸۸ همواره در ذهنم باقی خواهد ماند.

در نهایت سپاس فراوان خود را نثار می‌کنم به یگانه خواهرم و همسرش، به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در سردترین روزگاران زندگی بهترین پشتیبان من بوده است و به پاس محبت بی‌دریغشان که هرگز رنگ خاموشی بخود نمی‌گیرد.

سعیدرضا حیدری زاده

چکیده

آلیاژهای پیرسخت شونده‌ی مس - کروم - زیرکنیم به دلیل استحکام و رسانایی بالا کاربردهای گسترده‌ای در صنایع الکتریکی و جوشکاری دارند. در تحقیق حاضر آلیاژسازی مکانیکی با آسیاکاری مخلوط پودرهای خالص مس، کروم و زیرکنیم در سه ترکیب مختلف در یک آسیاب گلوله سیاره‌ای انجام گرفت. مخلوط پودرها در زمان‌های ۴، ۱۲، ۴۸ و ۹۶ ساعت و تحت دو سرعت چرخش محفظه متفاوت آسیا شدند. پودرهای آسیا شده‌ی حاصل با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و پراش اشعه ایکس (XRD) بررسی شدند. اندازه متوسط کریستال و کرنش داخلی با روش ویلیامسون - هال و پارامتر شبکه با روش تابع برون یاب محاسبه شد. در ادامه، مخلوط پودرهای آسیا شده تحت پرس سرد فشرده شدند و در سه دمای ۴۵۰، ۶۰۰ و ۷۵۰ درجه سانتیگراد تف‌جوشی شدند. در نهایت تست ریزسختی سنجی ویکرز در نمونه‌های آسیا و تف‌جوشی شده انجام گرفت. نتایج حاصل نشانگر کاهش اندازه کریستال‌ها تا حد نانومتری و افزایش پارامتر شبکه نسبت به زمان آسیاکاری است، همچنین نتایج حاصل از بررسی تصاویر SEM نشان داد که ذرات پودر در ابتدای آسیاکاری درشت شده و در ادامه کار اندازه متوسط آنها کاهش یافته است، همین‌طور نتایج نشان داد که سختی نمونه‌ها با زمان آسیاکاری رابطه صعودی دارد. افزایش سختی نمونه‌ها بعد از عملیات تف‌جوشی نشانگر وقوع فرآیندهای پیرسختی در اثر حل شدن اتم‌های کروم و زیرکنیم در کریستال‌های مس در حین آسیاکاری است.

کلمات کلیدی: آلیاژسازی مکانیکی، آلیاژ مس - کروم - زیرکنیم، تف‌جوشی، سختی.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول (مقدمه)
۵	فصل دوم (مروری بر منابع و تحقیقات گذشته)
۶	۱-۲- آلیاژهای مس-کروم-زیرکیم
۷	۲-۲- کاربردها و محدودیت‌ها
۷	۳-۲- حد حلالیت
۷	۳-۲-۱- افزایش حد حلالیت
۸	۳-۲-۲- روش اندازه‌گیری حد حلالیت
۹	۳-۳-۲- محدودیت XRD در تعیین حد حلالیت
۱۰	۴-۲- روش انجماد سریع
۱۱	۵-۲- روش آلیاژسازی مکانیکی (MA)
۱۱	۵-۲-۱- مکانیزم آلیاژسازی مکانیکی
۱۳	۵-۲-۲- متغیرهای فرآیند آلیاژسازی مکانیکی
۱۴	۵-۲-۱- مواد خام
۱۴	۵-۲-۲- سرعت آسیاکاری
۱۵	۵-۲-۳- زمان آسیاکاری
۱۵	۵-۲-۴- نسبت وزنی گلوله به پودر
۱۵	۵-۲-۵- عامل کنترل فرآیند
۱۶	۵-۲-۶- جنس و اندازه گلوله‌ها (عامل آسیاکاری)
۱۶	۵-۲-۷- دمای آسیاکاری
۱۶	۵-۲-۸- اتمسفر آسیاکاری
۱۷	۵-۲-۹- نوع آسیاب

۱۷	..... محفظه آسیاب ۱۰-۲-۵-۲
۱۸	..... اثر متغیرهای فرآیند آلیاژسازی مکانیکی بر حد حلالیت ۳-۵-۲
۱۸	..... دمای آسیاکاری ۱-۳-۵-۲
۱۸	..... عامل کنترل فرآیند ۲-۳-۵-۲
۱۸	..... ترکیب اولیه مخلوط پودر ۳-۳-۵-۲
۱۸	..... مکانیزم تشکیل نانو ساختارها در آلیاژسازی مکانیکی ۴-۵-۲
۲۱	..... مواد نانو ساختار ۶-۲
۲۱	..... خواص مواد نانو ساختار ۱-۶-۲
۲۲	..... استحکام و سختی نانو ساختارها ۱-۱-۶-۲
۲۴	..... پایداری حرارتی ۲-۱-۶-۲
۲۵	..... قابلیت بالای تف جوشی ۳-۱-۶-۲
۲۵	..... روش‌های ساخت نانو ساختارها ۲-۶-۲
۲۵	..... حداقل اندازه دانه قابل دستیابی در MA ۳-۶-۲
۲۶	..... ساختار کریستالی ۱-۳-۶-۲
۲۶	..... دمای ذوب ۲-۳-۶-۲
۲۷	..... متغیرهای آسیاکاری ۳-۳-۶-۲
۲۸	..... انرژی آسیاکاری ۱-۳-۳-۶-۲
۲۸	..... دمای آسیاکاری ۲-۳-۳-۶-۲
۲۸	..... اثرات آلیاژسازی ۳-۳-۳-۶-۲
۳۰	..... فلزات نانو ساختار fcc ۴-۶-۲
۳۰	..... کار مکانیکی ۷-۲
۳۱	..... مکانیزم‌های نوین استحکام‌دهی آلیاژهای مس ۸-۲
۳۱	..... استحکام‌دهی از ذرات ریز ۱-۸-۲

۳۱	۸-۱-۱-آلیاژهای پراکنده سخت
۳۲	۸-۱-۲-آلیاژهای رسوب سخت
۳۳	۲-۹-عملیات حرارتی تابکاری
۳۴	۲-۱۰-تحقیقات انجام شده بر روی آلیاژهای پر استحکام مس
۳۴	۲-۱۰-۱-تحقیقات انجام شده در مورد افزایش حلالیت عناصر کم محلول در مس
۳۵	۲-۱۰-۲-تحقیقات انجام شده بر روی آلیاژهای رسوب سخت Cu-Zr، Cu-Cr، Cu-Cr-Zr
۳۸	فصل سوم (مواد و روش پژوهش)
۳۹	۳-۱-مواد اولیه
۳۹	۳-۲-آسیاکاری پودرها و متغیرهای آن
۴۱	۳-۳-آنالیز پودرها
۴۱	۳-۳-۱-آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD)
۴۱	۳-۳-۱-۱-پارامتر شبکه
۴۳	۳-۳-۱-۲-اندازه کریستال و کرنش داخلی
۴۳	۳-۳-۲-آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)
۴۴	۳-۴-عملیات تفجوشی
۴۴	۳-۴-۱-پرس سرد
۴۴	۳-۴-۲-عملیات حرارتی
۴۴	۳-۴-۳-تست ریزسختی سنجی
۴۵	فصل چهارم (ارائه نتایج)
۴۶	۴-۱-آنالیز مخلوط پودرهای Cu-Cr-Zr در آسیاکاری
۴۶	۴-۱-۱-الگوی XRD
۵۴	۴-۱-۲-پارامتر شبکه
۵۵	۴-۱-۳-اندازه متوسط کریستال و کرنش داخلی

۵۷	۲-۴- مورفولوژی و اندازه ذرات پودر
۵۷	۱-۲-۴- مورفولوژی و اندازه ذرات پودر در شرایط ۳۰ دقیقه آسیاکاری و ۱۵ دقیقه استراحت
۶۱	۲-۲-۴- مورفولوژی ذرات پودر در شرایط آسیاکاری ۱ ساعت با سرعت راستگرد ۳۰۰ دور در دقیقه و ۳۰ دقیقه با سرعت چپگرد ۸۰ دور در دقیقه
۶۳	۳-۴- ریزسختی
۷۰	فصل پنجم (تحلیل و بحث نتایج)
۷۱	۱-۵- آنالیز پراش اشعه ایکس
۷۱	۲-۵- تغییرات پارامتر شبکه، اندازه کریستال و کرنش داخلی
۷۴	۳-۵- مورفولوژی و اندازه ذرات پودر
۷۶	۴-۵- ریزسختی
۷۹	فصل ششم (نتیجه گیری و پیشنهادات)
۸۰	۱-۶- نتیجه گیری
۸۱	۲-۶- پیشنهادات

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: مفهوم اصلی از تبادل انرژی در جهت ساخت مواد غیر تعادلی	۳
شکل ۱-۲: تغییر پارامتر شبکه نسبت به زمان آلیاژسازی مکانیکی	۹
شکل ۲-۲: نحوه بدام افتادن ذرات پودر بین دو گلوله	۱۲
شکل ۳-۲: شماتیکی از دو گروه از اتم‌ها در فلز نانو کریستال هم محور	۲۱
شکل ۴-۲: متوسط کرنش شبکه در ترکیب آسیا شده AIRu بصورت تابعی از زمان آسیاکاری	۲۲
شکل ۵-۲: تغییر سختی بر حسب $d^{-1/2}$ در آلیاژهای γ -TiAl تهیه شده با روش‌های مختلف	۲۳
شکل ۶-۲: اندازه دانه نرمال شده‌ی حاصل از آسیاکاری بر حسب دمای ذوب	۲۷
شکل ۷-۲: حداقل اندازه دانه در فلزات fcc آسیا شده بر حسب دمای ذوب	۲۹
شکل ۸-۲: کرنش داخلی در فلزات fcc آسیا شده بر حسب دمای ذوب	۳۰
شکل ۹-۲: کرنش در حد اتمی نسبت به عکس اندازه دانه در سرب	۳۰
شکل ۱-۳: ذرات پودر اولیه مس قبل از آسیاکاری	۳۹
شکل ۲-۳: الف) آسیاب گلوله سیاره‌ای و ب) محفظه آسیاب و گلوله‌ها در دو اندازه	۴۰
شکل ۳-۳: نمودار ویلیامسون - هال در ترکیب آسیا شده به مدت ۴ ساعت	۴۳
شکل ۱-۴: الگوی XRD حاصل از مخلوط پودرها با ترکیب Cu-3wt%Cr-3wt%Zr	۴۶
شکل ۲-۴: الگوی XRD حاصل از زمان‌های مختلف آسیاکاری در مخلوط پودرها با ترکیب Cu-0.5wt%Cr-0.5wt%Zr	۴۸
شکل ۳-۴: الگوی XRD حاصل از زمان‌های مختلف آسیاکاری در مخلوط پودرها با ترکیب Cu-1.5wt%Cr-1.5wt%Zr	۵۰
شکل ۴-۴: الگوی XRD حاصل از زمان‌های مختلف آسیاکاری در مخلوط پودرها با ترکیب Cu-3wt%Cr-3wt%Zr	۵۲
شکل ۵-۴: الگوی XRD سه بعدی حاصل از زمان‌های مختلف آسیاکاری در مخلوط پودرهای Cu-0.5wt%Cr-0.5wt%Zr	۵۳

- شکل ۴-۶: الگوی XRD سه بعدی حاصل از زمان‌های مختلف آسیاکاری در مخلوط پودرهای
 ۵۳..... Cu-1.5wt%Cr-1.5wt%Zr
- شکل ۴-۷: الگوی XRD سه بعدی حاصل از زمان‌های مختلف آسیاکاری در مخلوط پودرهای
 ۵۴..... Cu-3wt%Cr-3wt%Zr
- شکل ۴-۸: تغییر پارامتر شبکه مس بر حسب زمان آسیاکاری در سه مخلوط پودر
 ۵۵.....
- شکل ۴-۹: تغییر اندازه کریستال بر حسب زمان آسیاکاری در سه مخلوط پودر
 ۵۶.....
- شکل ۴-۱۰: تغییر کرنش داخلی بر حسب زمان آسیاکاری در سه مخلوط پودر
 ۵۷.....
- شکل ۴-۱۱: روند تغییر مورفولوژی و اندازه ذرات پودر در ترکیب Cu-0.5 Cr-0.5 wt%Zr
 ۵۸..... wt% طی آسیاکاری
- شکل ۴-۱۲: روند تغییر مورفولوژی و اندازه ذرات پودر در ترکیب Cu-1.5 Cr-1.5 wt%Zr
 ۵۹..... wt% طی آسیاکاری
- شکل ۴-۱۳: روند تغییر مورفولوژی و اندازه ذرات پودر در ترکیب Cu-3 wt% Cr-3 wt%Zr
 ۶۰..... طی آسیاکاری
- شکل ۴-۱۴: تغییر اندازه ذرات مس مخلوط پودر ها بر حسب زمان آسیاکاری
 ۶۱.....
- شکل ۴-۱۵: روند تغییر مورفولوژی و اندازه ذرات پودر در ترکیب Cu- Cr-0.5 wt%Zr
 ۶۲..... 0.5wt% طی آسیاکاری بدون زمان استراحت
- شکل ۴-۱۶: تغییر ذرات پودر در دو شرایط آسیاکاری همراه و بدون زمان استراحت
 ۶۲.....
- شکل ۴-۱۷: تغییر ریزسختی آلیاژهای Cu-Cr-Zr بر حسب زمان آسیاکاری و در الف) حالت
 ۶۵..... آسیاشده و ب) تف‌جوشی در دمای ۴۵۰، ج) ۶۰۰ و د) ۷۵۰ °C
- شکل ۴-۱۸: تغییرات ریزسختی در ترکیب Cu-0.5wt%Cr-0.5wt%Zr بر حسب دمای تف-
 ۶۶..... جوشی در زمان‌های مختلف آسیاکاری
- شکل ۴-۱۹: تغییرات ریزسختی در ترکیب Cu-1.5wt%Cr-1.5wt%Zr بر حسب دمای تف-
 ۶۶..... جوشی در زمان‌های مختلف آسیاکاری
- شکل ۴-۲۰: تغییرات ریزسختی در ترکیب Cu-3wt%Cr-3wt%Zr بر حسب دمای تف‌جوشی
 ۶۷..... در زمان‌های مختلف آسیاکاری

- شکل ۴-۲۱: تغییرات ریزسختی در ترکیب $\text{Cu-0.5wt\%Cr-0.5wt\%Zr}$ بر حسب زمان آسیاکاری در حالت آسیاشده و در سه دمای تف جوشی ۶۸
- شکل ۴-۲۲: تغییرات ریزسختی در ترکیب $\text{Cu-1.5wt\%Cr-1.5wt\%Zr}$ بر حسب زمان آسیاکاری در حالت آسیاشده و در سه دمای تف جوشی ۶۸
- شکل ۴-۲۳: تغییرات ریزسختی در ترکیب $\text{Cu-3wt\%Cr-3wt\%Zr}$ بر حسب زمان آسیاکاری در حالت آسیاشده و در سه دمای تف جوشی ۶۹

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۷	جدول ۱-۲: خواص کریستالوگرافی و فیزیکی مس، کروم و زیرکنیم
۲۰	جدول ۲-۲: طبقه بندی مواد نانو ساختار و روش های معمول ساخت
۴۲	جدول ۱-۳: شرایط آسیا کاری مورد استفاده

فصل اول

مقدمه

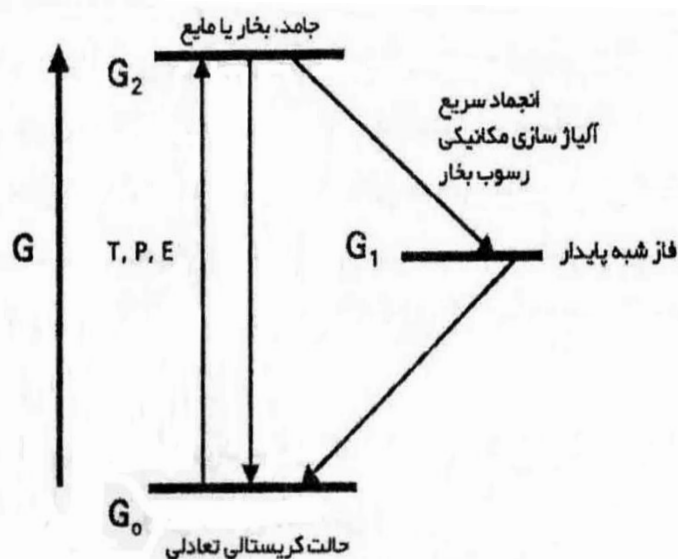
آلیاژهای صنعتی روز به روز طیف گسترده تری پیدا می‌کنند و دارای خصوصیات و کاربردهای بیشتری می‌شوند. آلیاژهایی که در دمای بالا بتوانند استحکام خود را حفظ کنند و هدایت الکتریکی مناسبی داشته باشند بسیار مورد توجه هستند. آلیاژهای کم محلول دوتایی مس نظیر Cu-Cr [۱-۲] و Cu-Zr [۳-۴] و آلیاژهای سه‌تایی Cu-Cr-Zr [۵-۷] عملکرد مطلوبی در الکترودهای جوش نقطه‌ای [۸-۱۰] و مبدل‌های حرارتی [۸] نشان می‌دهند. استحکام‌دهی در این آلیاژها با حفظ رسانایی مس نسبت به استحکام‌دهی محلول جامد، خواص مکانیکی آن را افزایش می‌دهد و محدودیت استفاده از مس را در صنایع مختلف به دلیل استحکام پایین آن، برطرف می‌سازد.

در آلیاژهای رقیق رسوب سخت Cu-Cr-Zr به دلیل حلالیت پایین عناصر کروم و زیرکینم در مس، کسر حجمی رسوبات حاصل از پیرسازی کم بوده و استحکام، چندان افزایش نمی‌یابد. در سال‌های اخیر از ویژگی نانو ساختارها در راستای افزایش حلالیت عناصر آلیاژی کم محلول استفاده شده است [۱۱]. مواد نانو ساختار توسط فرآیندهایی که به صورت فاز بخار (مثلاً تصعید گاز خنثی)، فاز مایع (مثلاً رسوب الکتریکی، انجماد سریع) و حالت جامد (برای مثال آلیاژسازی مکانیکی) هستند، ساخته می‌شوند. آلیاژسازی مکانیکی^۱ و انجماد سریع^۲ کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند. با این وجود، انواع روش‌های انجماد سریع، فرآیندهای تولید طولانی و پیچیده ای با بازدهی اندکی را دارند. در نتیجه قیمت محصول نهایی تولیدی بسیار زیاد خواهد بود. یکی از روش‌های مهم تولید مواد نانو ساختار، روش آلیاژسازی مکانیکی است. آلیاژسازی مکانیکی به دلیل امکان تشکیل جامد یکنواخت و غنی‌تر و توانایی آن در تولید مقادیر زیادی از مواد در حالت جامد، با استفاده از تجهیزات ساده و در دمای اتاق، بیشتر گسترش یافته است [۱۲]. آلیاژسازی مکانیکی شامل تغییر شکل تکراری (جوش خوردن، شکستن و جوش خوردن مجدد) ذرات پودری در یک آسیای پر انرژی است تا هنگامی که ترکیب مورد نظر بدست آید. نشان داده شده است که دانه‌های دارای ابعاد نانومتری، تقریباً در هر ماده‌ای پس از مدتی آسیا کردن قابل دستیابی است [۱۳-۱۴].

^۱ Mechanical alloying

^۲ Rapid solidification

در دو روش آلیاژسازی مکانیکی و انجماد سریع سعی می‌شود، با دادن انرژی ابتدا ساختاری غیر تعادلی بدست آورد و سپس در مراحل بعدی به ساختار مطلوب رسید (شکل ۱-۱). توانایی فرآیندهای مختلف در تولید ساختارهای شبه تعادلی (نیمه پایدار)، با استفاده از روش‌های متداول که اندازه گیری و یا تخمین انحراف از تعادل است، ارزیابی می‌شود. این انحراف از تعادل حداکثر انرژی است که می‌تواند به صورت اضافی در ساختار پایدار و یا تعادلی آن ذخیره شود. مقایسه دو روش آلیاژسازی مکانیکی و انجماد سریع توسط محققین نشان می‌دهد که روش آلیاژسازی مکانیکی، انحراف از حالت تعادل بیشتری را نسبت به انجماد سریع ایجاد می‌کند، که نشانگر پتانسیل فوق العاده‌ی این روش در توسعه‌ی مواد غیر تعادلی است [۱۲].



شکل ۱-۱- مفهوم اصلی از تبادل انرژی در جهت ساخت مواد غیر تعادلی [۱۲].

با آلیاژسازی مکانیکی و تشکیل محلول جامد فوق اشباع و نانو ساختار مس - کروم - زیرکونیم، کسر حجمی بالایی از رسوبات همدوس می‌توانند در پیرسازی محلول جامد تشکیل شوند. در عملیات حرارتی علاوه بر رسوب‌دهی، فرآیندهای نرم‌کاری بازیابی و تبلور مجدد به طور همزمان اتفاق می‌افتند و رقابت بین این پدیده‌ها، سختی و استحکام نهایی آلیاژ را تعیین می‌کند. ذکر این نکته حائز اهمیت است که در سیستم مس - کروم - زیرکونیم، در محدوده وسیعی از ترکیب شیمیایی رسوبات مختلف غنی از کروم و زیرکونیم تشکیل می‌شوند [۱۵] و با اندازه، مورفولوژی و میزان همدوسی متفاوت، سطح استحکام حاصل را تغییر می‌دهند.

در پژوهش حاضر، با استفاده از فرآیند آلیاژسازی مکانیکی، محلول جامد فوق اشباع مس - کروم - زیرکنیم در ترکیبات مختلفی از مخلوط پودر تهیه شده و توسط تکنیک‌های XRD و میکروسکوپ الکترونی روبشی، تشکیل محلول جامد فوق اشباع و روند تغییر مشخصه‌های ذرات پودر و کریستال‌های آن در زمان‌های مختلف آسیاکاری بررسی شدند. در ادامه، عملیات حرارتی تف‌جوشی در آلیاژ حاصل از آسیاکاری و در دماهای مختلف انجام گرفت. تغییرات سختی آلیاژ تحت عملیات حرارتی، با میکروسختی سنج و یکرز مورد مطالعه قرار گرفتند.

امکان دستیابی به استحکام و رسانایی بالا در آلیاژهای Cu-Cr-Zr باعث شد در این کار از عناصر کروم و زیرکنیم برای ساخت آلیاژ پر استحکام مس استفاده شود. از طرفی سعی شد با تشکیل محلول جامد فوق اشباع در فرآیند غیر تعادلی آلیاژسازی مکانیکی، مشکل حلالیت پایین کروم و زیرکنیم رفع شود و بدین ترتیب، استحکام دهی رسوبی بالای آن تأمین گردد. برای بررسی خواص مکانیکی نمونه‌ها از سنجش سختی استفاده گردید. سختی به عنوان نماینده خواص مکانیکی و معیاری مناسب برای اندازه‌گیری خواص مکانیکی نمونه‌ها استفاده گردید. به طور کلی هدف از انجام این کار بررسی پارامترهایی همچون اندازه کریستال، پارامتر شبکه، کرنش داخلی و سختی آلیاژ بوده است و شرایط بهینه تولید آلیاژ در حین آسیاکاری با استفاده از پارامترهای مذکور بررسی شده است.

با استفاده از نتایج حاصل از این پژوهش، پارامترهای مؤثر در مرحله آلیاژسازی مکانیکی و عملیات حرارتی پیرسازی برای ایجاد خواص بهینه مورد بررسی قرار گرفتند.

فصل دوم

مروری بر منابع و تحقیقات گذشته

۲-۱- آلیاژهای مس - کروم - زیرکنیم

عنصر مس به دلیل هدایت الکتریکی بسیار مطلوب، مقاومت به خوردگی خوب و خواص شکل‌پذیری مناسب، کاملاً شناخته شده است، ولی در صنایع به علت استحکام اندکی که دارد، بیشتر از آلیاژهای پایه مس استفاده می‌شود [۱۶]. با توجه به این که عناصر آلیاژی باعث کاهش هدایت الکتریکی مس می‌شوند می‌بایست راه حلی اتخاذ نمود تا علاوه بر افزایش استحکام، هدایت الکتریکی این عنصر کاهش نیابد.

عناصر Pd ، Au ، Pt ، Mn و Ni به طور کامل در مس حل می‌شوند، اما با وجود بهبود استحکام به واسطه تشکیل محلول جامد، هدایت الکتریکی را به شدت کاهش می‌دهند. از سوی دیگر، عناصر کم محلول مانند Cr ، Zr ، B ، Mg ، Be و اغلب عناصر واسطه، با توجه به حلالیت ناچیزشان در مس، هدایت الکتریکی را کم نمی‌کنند، اما در عین حال استحکام را نیز چندان افزایش نمی‌دهند [۱۷]. بهترین شیوه برای افزایش استحکام و بهره‌مندی از هدایت الکتریکی مطلوب، استفاده از عناصر آلیاژی کم محلول به همراه به کارگیری شیوه استحکام دهی سختی رسوبی است [۱۸]. در این شیوه به کمک روش‌های تولید موجود و با ایجاد محلول جامد فوق اشباع و انجام عملیات پیرسازی، رسوبات بسیار ریز و پراکنده‌ای در زمینه‌ی آلیاژ ایجاد می‌شوند. در نتیجه با خروج عنصر آلیاژی حل شده از محلول جامد فوق اشباع، هدایت الکتریکی که در اثر ایجاد محلول جامد کاهش یافته بود، دوباره افزایش می‌یابد. از سوی دیگر به دلیل حضور رسوبات ریز همدوس و پراکنده در زمینه‌ی آلیاژ، استحکام نیز افزایش می‌یابد.

کروم و زیرکنیم به عنوان عناصر کم محلول در مس کاربرد فراوانی در آلیاژسازی دارند. هدایت الکتریکی و حرارتی بالا، استحکام مناسب، شکل‌پذیری و مقاومت به خوردگی خوب در این دسته از آلیاژها سبب افزایش کاربرد آنها در صنایع شده است [۱۹-۱۸]. در جدول (۲-۱) خواص کریستالوگرافی و فیزیکی سه عنصر مس، کروم و زیرکنیم آورده شده است [۲۰].