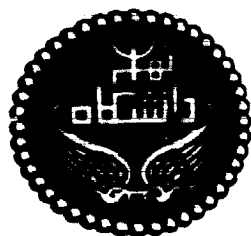


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

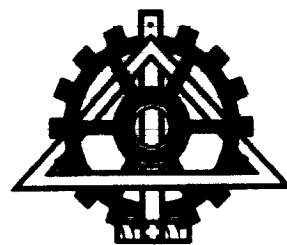
۱۳۸۱ / ۱ / ۲۰

وزارتخانه استواران علم ایران
توسعه و پیشرفت



دانشگاه تهران

دانشکده فنی



بررسی داکتیلیتی گرم مس چقرمه الکترولیتی و عوامل مؤثر بر آن

نکارش :

016918

حمیدرضا تقفدی

استاد راهنما :

دکتر عباس زارعی هنزکی

۴.۳.۱

استاد مشاور :

دکتر احمد علی آماده

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در

مهندسی متالورژی-شناسایی و انتخاب مواد فلزی

بهمن ۱۳۸۰

۴.۳.۱

صفحه تصویب پایان نامه

موضوع :

بررسی داکتیلیتی گرم مس چقرمه الکترولیتی و عوامل مؤثر بر آن

توسط :

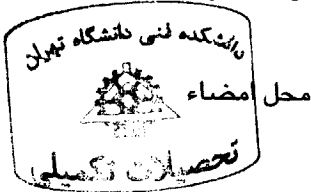
حمید رضا تفقدی

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته : مهندسی متالورژی و مواد

گرایش : شناسایی و انتخاب مواد فلزی



سرپرست کمیته تحصیلات تکمیلی : دکتر بنی هاشمی

مدیر گروه آموزشی : دکتر حلوابی

سرپرست تحصیلات تکمیلی : دکتر قاسمی

استاد راهنما : دکتر زارعی

استاد مشاور : دکتر آماده

عضو هیات داوران : دکتر اکبر زاده

عضو هیات داوران : دکتر پارسا

تقدیم به :

آنانی که دوستان دارند
و به آنها عشق می ورزیم .
آنهایی که آفتاب زندگی را به ما ارزانی داشتند
و بودن در کمال آنچه هستیم را آموختند
نه آرزومند غیر از آنچه هستیم .

چکیده:

بطور معمول، مس چقرمه الکترولیتی پس از تولید، جهت ساخت مفتولهای مسی تحت فرآیند تغییر شکل کرم قرار می‌گیرد. حصول مفتولهایی با خواص مکانیکی مطلوب، به کنترل دقیق پارامترهای تغییر شکل کرم، ترکیب شیمیایی و دانش کافی از رفتار کار کرم ماده بستگی دارد. در این راستا و در پژوهش حاضر مشخصه‌های کارگرم مفتولهای مسی حاوی مقادیر متفاوت اکسیژن، با انجام آزمایشهای کشش و فشار گرم در درجه حرارتهای مختلف و با نرخ کرنشهای متفاوت، تحت بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایشهای فشار گرم نشان می‌دهند که اگر چه با افزایش دما، استحکام کاهش می‌یابد، اما با افزایش مقدار اکسیژن تا یک مقدار بحرانی، تنش ماکزیمم در تبلور مجدد دینامیکی کاهش و سپس افزایش می‌یابد. در ادامه با تکیه بر پارامتر زبر - هولمان، اثر دما و نرخ کرنش بر شروع فرآیند تبلور مجدد دینامیکی مورد بررسی قرار گرفته است. از طرف دیگر نتایج آزمایش کشش مبین وجود محدوده‌های افت داکتیلیتی در بازه‌های حرارتی $400 \pm 50^{\circ}\text{C}$ و $600 \pm 50^{\circ}\text{C}$ در منحنی داکتیلیتی بر حسب درجه حرارت می‌باشد. در این حالت با افزایش نرخ کرنش محدوده افت داکتیلیتی به سمت درجه حرارتهای پایین انتقال یافته اما تغییر مقادیر اکسیژن (در محدوده مورد بررسی در این تحقیق) تأثیر محسوسی بر محدوده افت داکتیلیتی نداشته است. در نهایت پدیده‌های فوق با تکیه بر اصول بنیادین حاکم بر فرآیندها و شواهد آزمایشگاهی تحت تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

تقدیر و تشکر

با سپاس از یزدان بی همتا ، فرصت را مغتنم شمرده و از زحمات بی شائبه استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر زارعی که در تمامی مراحل انجام این پژوهش صادقانه مرا یاری نمودند و با راهنماییهای بی بدیلشان انجام این مهم را بر من تسهیل نمودند صمیمانه تشکر و قدر دانی می نمایم . همچنین از یکایک اعضای گروه پژوهشی جناب آقای دکتر زارعی بویژه مهندس حسینی و مهندس شکوهی و تمامی کسانی که مرا در انجام این پژوهش یاری نمودند سپاسگزارم .

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
------	-------

فصل اول: مقدمه

۲	مقدمه
---	-------

فصل دوم: مروری بر منابع

۵	۲-۱ - مختصری درباره تولید مس
۵	۲-۲ - تغییر شکل فلزات
۶	۲-۳ - پارامتر زنر - هولمان (Z)
۷	۲-۴ - فرآیندهای ترمیم دینامیکی
۷	۲-۴-۱ - بازیابی دینامیکی
۹	۲-۴-۲ - تبلور مجدد دینامیکی
۱۱	۲-۴-۳ - جوانه زنی در فرآیند تبلور مجدد دینامیکی
۱۳	۲-۴-۴ - ساختار میکروسکوپی دانه‌ها بعد از تبلور مجدد دینامیکی
۱۴	۲-۵ - تبلور مجدد دینامیکی مس و عوامل مؤثر بر آن
۱۸	۲-۶ - داکتیلیتی (Ductility) مس چقرمه الکترولیتی
۱۸	۲-۶-۱ - پارامترهای خارجی (دما و نرخ کرنش)
۲۱	۲-۶-۲ - پارامترهای درونی
۲۱	۲-۶-۲-۱ - حفره‌دار شدن مرزدانه‌ای (Intergranular Cavitation)
۲۳	۲-۶-۲-۲ - اثر ترکیب شیمیایی بر داکتیلیتی

فصل سوم: روشهای انجام آزمایش

۲۷	۳-۱- مواد مورد استفاده در آزمایشها
۲۸	۳-۲- آزمایشهای مکانیکی
۲۸	۳-۲-۱- آزمایش کشش گرم
۳۱	۳-۲-۲- آزمایش فشار گرم
۳۲	۳-۳- بررسی متالوگرافی
۳۲	۳-۴- بررسی SEM

فصل چهارم: نتایج آزمایشها

۳۴	۴-۱- نتایج آزمایش فشار گرم
۳۴	۴-۱-۱- اثر اکسیژن
۳۴	۴-۱-۲- اثر نرخ کرنش و دما
۳۵	۴-۲- نتایج آنالیز تصویری
۴۰	۴-۳- بررسیهای ریزساختاری
۴۰	۴-۴- نتایج آزمایش کشش
۴۰	۴-۴-۱- منحنیهای سیلان
۴۳	۴-۴-۲- اثر دما بر قابلیت کشش
۴۳	۴-۴-۳- اثر دما بر تنش تسلیم
۴۳	۴-۴-۴- اثر اکسیژن بر خواص مکانیکی
۴۷	۴-۴-۵- اثر نرخ کرنش بر قابلیت کشش
۴۷	۴-۴-۶- اثر اندازه دانه اولیه بر خواص مکانیکی
۵۱	۴-۵- نتایج بررسی با میکروسکوپ الکترونی

فصل پنجم: بحث و نتیجه گیری

۵۹	۵-۱- بررسی رفتار کارگرم مس چقرمه الکترویتی
۵۹	۵-۱-۱- اثر اکسیژن
۶۱	۵-۱-۲- اثر نرخ کرنش و دما
۶۳	۵-۲- بررسی داکتیلیتی گرم مس چقرمه الکترویتی
۶۳	۵-۲-۱- اثر اکسیژن
۶۵	۵-۲-۲- اثر دما
۶۷	۵-۲-۲-۱- افت اول داکتیلیتی با دمای $200 \pm 20^\circ C$
۷۰	۵-۲-۲-۲- افت دوم داکتیلیتی با دمای $200 \pm 20^\circ C$
۷۲	۵-۲-۳- اثر نرخ کرنش
۷۵	نتایج
۷۷	مراجع

فهرست جدولها

عنوان	صفحه
جدول (۳-۱) مقادیر عناصر ناخالصی مرجع در سرکندی مجتمع مس سرچشمه	۲۷
جدول (۳-۲) شرایط انجام آزمایشی کنتر شید	۲۹
جدول (۳-۳) شرایط انجام آزمایشی نت شید	۳۲
جدول (۵-۱) مقادیر مختلف کرنش در مدول ۳۰۰ و ۵۰۰ درجه سانتیگراد	۶۹

فهرست شکلها

صفحه	عنوان
۸	شکل (۲-۱) نمونه‌هایی از منحنی‌های سیلان آلیاژ $Zr - 0.7\% Sn$ در دمای $775^{\circ}C$ ($0.5Tm$).....
۱۰	شکل (۲-۲) تأثیر دما بر منحنی سیلان فولاد محتوی $0.68\% C$
۱۲	شکل (۲-۳) دیاگرام شماتیک تغییرات دانسیته نابجایی‌ها در جبهه در حال پیشروی تبلور مجدد دینامیکی.....
۱۴	شکل (۲-۴) تکامل ریزساختار در طی تبلور مجدد دینامیکی.....
۱۶	شکل (۲-۵) منحنی تنش - کرنش مس $OFHC$
۱۷	شکل (۲-۶) منحنی تنش - کرنش مس $OFHC$ با اندازه دانه‌های متفاوت.....
۲۰	شکل (۲-۷) اثر دمای آزمایش بر داکتیلیتی مس در نرخ کرنش‌های $1/s \times 10^{-6}$ و 3×10^{-5}
۲۰	شکل (۲-۸) تصویر میکروسکوپ نوری در دمای $250^{\circ}C$ که نمایانگر مهاجرت مرزدانه‌ها می‌باشد.....
۲۲	شکل (۲-۹) حفرات و ترکها بر روی آخالها و ناخالصیها جوانه زده‌اند.....
۲۲	شکل (۲-۱۰) تشکیل ترک مرزدانه‌ای در اثر اتصال حفرات.....
۲۲	شکل (۲-۱۱) تصویر میکروسکوپ الکترونی سطح شکست که تخلخل (حفره دار شدن) را نشان میدهد.....
۲۴	شکل (۲-۱۲) تغییر انرژی فعال‌سازی ظاهری با اکسیژن محتوی.....
۲۸	شکل (۳-۱) نمونه آزمایش کشش.....
۳۰	شکل (۳-۲) دستگاه $Instron$ و تجهیزات جانبی جهت انجام آزمایش کارگرم.....
۳۱	شکل (۳-۳) نمونه آزمایش فشار گرم.....
۳۶	شکل (۴-۱) منحنی تنش حقیقی - کرنش حقیقی مس با مقادیر اکسیژن متفاوت در دمای الف) $500^{\circ}C$ و ب) $600^{\circ}C$ با نرخ کرنش $1/s \times 10^{-4}$
۳۷	شکل (۴-۲) اثر مقدار اکسیژن بر کرنش بحرانی و تنش ماکزیمم در تبلور مجدد دینامیکی.....
۳۷	شکل (۴-۳) منحنی‌های تنش حقیقی - کرنش حقیقی مس حاوی $390 ppm$ اکسیژن در درجه حرارت‌های.....

۳۷ $2 \times 10^{-2} 1/s$ و $2 \times 10^{-2} 1/s$ و $500^\circ C$ و $200^\circ C$

شکل (۴-۴) منحنی تنش حقیقی - کرنش حقیقی مس حاوی $290 ppm$ اکسیژن و نرخ کرنش

۳۸ $2 \times 10^{-2} 1/s$

شکل (۴-۵) منحنی های تنش حقیقی - کرنش حقیقی مس حاوی $290 ppm$ اکسیژن و نرخ کرنش

۳۸ $2 \times 10^{-2} 1/s$ در دماهای مختلف

شکل (۴-۶) اثر نرخ کرنش و دما بر کرنش بحرانی و تنش ماکزیمم در تبلور مجدد دینامیکی ۳۹

شکل (۴-۷) نمودار تغییرات دانسیته ذرات اکسید مس بر حسب میزان اکسیژن نمونه ها ۳۹

شکل (۴-۸) تصاویر میکروسکوپ نوری نمونه های کشیده شده در درجه حرارت های الف) $200^\circ C$ ب) $400^\circ C$

ج) $500^\circ C$ با بزرگنمایی $\times 100$ ۴۱

شکل (۴-۹) تصاویر میکروسکوپ نوری ۴۲

الف) نمونه *as-rolled* آنیل نشده $\times 100$ ب) نمونه آنیل شده در دمای $400^\circ C \times 100$

ج) نمونه آنیل شده در دمای $600^\circ C \times 100$ د) نمونه آنیل شده در دمای $800^\circ C \times 100$

شکل (۴-۱۰) تغییرات تنش حقیقی - کرنش حقیقی مس حاوی ۴۴

الف) $160 ppm$ ب) $290 ppm$ اکسیژن با نرخ کرنش $2 \times 10^{-2} 1/s$

شکل (۴-۱۱) نمودار تغییرات درصد تغییر طول بر حسب دما ۴۵

الف) $\dot{\epsilon} = 2 \times 10^{-4} 1/s$ 02: 390ppm ب) $\dot{\epsilon} = 2 \times 10^{-4} 1/s$ 02: 160ppm

ج) $\dot{\epsilon} = 2 \times 10^{-4} 1/s$ 02: 220ppm د) $\dot{\epsilon} = 2 \times 10^{-4} 1/s$ 02: 440ppm

ه) $\dot{\epsilon} = 2 \times 10^{-3} 1/s$ 02: 390ppm و) $\dot{\epsilon} = 2 \times 10^{-3} 1/s$ 02: 160ppm

شکل (۴-۱۲) تأثیر دما بر تنش تسلیم مس محتوی $290 ppm$ اکسیژن ۴۸

شکل (۴-۱۳) تغییرات درصد تغییر طول با اکسیژن محتوی در دماهای مختلف ۴۸

شکل (۴-۱۴) تغییرات تنش تسلیم با اکسیژن محتوی در دماهای مختلف ۴۹

شکل (۴-۱۵) تغییرات قابلیت کشش مفتولهای مسی محتوی 290 ppm اکسیژن بر حسب نرخ کرنش ۴۹

شکل (۴-۱۶) منحنی‌های تنش حقیقی - کرنش حقیقی نمونه‌های آنیل شده در دماهای مختلف با اندازه اولیه

۵ (a) ۲۰ (b) ۵۰ (c) ۵۰ (d) ۲۵۰ میکرون متر ۵۰

شکل (۴-۱۷) تصویر SEM سطح شکست نمونه کشیده شده در ۵۲

الف) $T = 400^\circ\text{C}$ و $\dot{\epsilon} = 2 \times 10^{-2} 1/s$ ب) $T = 400^\circ\text{C}$ و $\dot{\epsilon} = 2 \times 10^{-3} 1/s$

شکل (۴-۱۸) تصویر SEM سطح شکست نمونه کشیده شده در ۵۳

الف) $T = 300^\circ\text{C}$ و $\dot{\epsilon} = 2 \times 10^{-2} 1/s$ ب) $T = 300^\circ\text{C}$ و $\dot{\epsilon} = 2 \times 10^{-3} 1/s$

شکل (۴-۱۹) تصویر SEM سطح شکست نمونه کشیده شده در ۵۴

الف) $T = 600^\circ\text{C}$ و $\dot{\epsilon} = 2 \times 10^{-2} 1/s$ ب) $T = 600^\circ\text{C}$ و $\dot{\epsilon} = 2 \times 10^{-3} 1/s$

شکل (۴-۲۰) تصویر SEM سطح شکست نمونه کشیده شده در ۵۵

الف) $T = 600^\circ\text{C}$ و $\dot{\epsilon} = 2 \times 10^{-5} 1/s$ ب) $T = 600^\circ\text{C}$ و $\dot{\epsilon} = 2 \times 10^{-2} 1/s$

شکل (۴-۲۱) تصویر SEM سطح شکست نمونه‌های کشیده شده در دمای 600°C و با نرخ کرنش

..... $2 \times 10^{-2} 1/s$ ۵۶

الف) نمونه آنیل شده در دمای 400°C با اندازه دانه اولیه ۲۰ میکرومتر

ب) نمونه آنیل شده در دمای 600°C با اندازه دانه اولیه ۵۰ میکرومتر

ج) نمونه آنیل شده در دمای 800°C با اندازه دانه اولیه ۲۵۰ میکرومتر

شکل (۵-۱) تصاویر شماتیک، بهم پیوستن حفرات ریز بین دانه‌ای در اثر تغییر شکل ۶۸

شکل (۵-۲) مدل شماتیک نحوه تشکیل ترک در اثر سر خوردن مرزدانه‌ها، پیکان‌ها نشانگر مرز در حال سر

خوردن و جهت حرکت می‌باشند ۷۱

شکل (۵-۳) مدل شماتیک بیانگر الف) کنترل افت داکتیلیتی با تبلور مجدد دینامیکی ب) افزایش نرخ کرنش و

باریکتر و کم عمق تر شدن محدوده افت داکتیلیتی ۷۳

فصل اول

مقدمه

مقدمه

امروزه در تهیه و ساخت قطعات و مجموعه‌های فلزی، اعمال تغییر شکل بر مواد اولیه اجتناب‌ناپذیر بوده و درصدناچیزی از مواد به صورت ریختگی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این میان فرآیند کارگرم که در تغییر شکل بسیاری از فلزات و آلیاژها بکار برده می‌شود فرآیندی است که منجر به تغییرات گسترده‌ای در شکل و ریز ساختار فلزات و آلیاژها در دمای بالا می‌گردد. این فرآیند به سبب کاهش انرژی مورد نیاز و افزایش قابلیت سیلان و همچنین تسهیل در انجام فرآیندهای تحریک شونده توسط حرارت و به سرعت گسترش یافته و مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است. اما به رغم مزایای ذکر شده معایبی نیز برای این فرآیند می‌توان برشمرد که از مهمترین آنها می‌توان به معایب حاصله در اثر عدم کنترل دقیق فرآیند اشاره نمود. یکی از این معایب پدیده‌افت داکتیلیتی است که به طور مثال در رفتار پلی‌کریستال مس در حین کارگرم همواره بصورت یک تغییر ناخواسته در خواص (به صورت یک افت) مشاهده شده است. مشخصه‌های فیزیکی این آنومالی (یعنی میزان افت دامنه حرارتی وقوع این افت) همواره به شدت تحت تأثیر سرعت کرنش و ترکیب شیمیایی مس پلی‌کریستال قرار می‌گیرد. بنابراین برای ایجاد دانش لازم در کنترل فرآیند کارگرم این دسته از فلزات و آلیاژها باید دمای افت داکتیلیتی شناسایی و پارامترها و مکانیزمهای حاکم بر آن بررسی شود.

در این تحقیق ابتدا در فصل بعد مطالعات انجام گرفته در مورد تغییرات ساختاری مهم ایجاد شده در حین تغییر شکل گرم فلزات و آلیاژها (بازیابی و تبلور مجدد) با تمرکز بر در خواص مس و آلیاژهای آن مرور شده است. در این مطالعات فرآیندهای بازیابی و تبلور مجدد دینامیکی و اثر عوامل مختلف بر این فرآیندها و همچنین عوامل مؤثر بر داکتیلیتی مس چقرمه الکترولیتی، مورد تأکید قرار گرفته‌اند.