تأثیر افزودن منگنز بر فرآیند رشد در آلیاژ برنج ۳۰-۷۰ متبلور شده

اعظم زمانی[۱]، غلامحسین اکبری[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲- استادیار، دانشگاه شهید باهنر کرمان

Zamani_a007@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق نمونه آلیاژ 70B+0.25%Mn تحت شرایط اتمسفر کنترل‌شده به‌روش ریخته‌گری تبریدی ثقلی در قالب مسی تهیه گردید. سپس تسمه‌هایی به‌ابعاد ۵×۱۰×۵۰ میلی‌متر تهیه و بر روی تمامی نمونه‌ها با استفاده از نورد سرد کاهش سطح مقطع برابر ۶۵٪ اعمال گردید. پس از نورد، نمونه‌ها در حمام نمک در دماهای ۶۰۰، ۷۰۰ و ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان‌های مختلف بین ۲ دقیقه تا ۱ ساعت تحت عملیات آنیل هم‌دما قرار گرفتند و سپس در آب ۲۰ درجه سانتی‌گراد سرد شدند. بررسی‌های ریزساختاری با استفاده از میکروسکوپ نوری انجام شد و برای محاسبه اندازه دانه، مساحت حدود ۴۵۰-۲۰۰ دانه برای هر نمونه به‌وسیله دنبال کردن مرز دانه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Clemex اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از محاسبه اندازه دانه و انرژی اکتیواسیون نشان داد که حضور منگنز با تأثیر بر اتمسفر مرزهای دانه و نیز کاهش انرژی اکتیواسیون موجب تسریع فرآیند رشد دانه در آلیاژ برنج ۳۰-۷۰ خواهد شد. انرژی اکتیواسیون رشد دانه برابر با Q_{gg}=۲۲/۳۵ KJ/mol به‌دست آمده‌است. درحالی‌که این انرژی برای برنج ۳۰-۷۰ در محدوده دمایی ۷۰۰-۵۰۰ درجه سانتی‌گراد برابر ۱۷۱ KJ/mol است.

واژه‌های کلیدی:

برنج ۷۰B، آنیل، تأثیر منگنز، انرژی اکتیواسیون، رشد دانه.

۱- مقدمه

برنج‌ها آلیاژهای تشکیل‌یافته از مس و روی هستند که از کاربردهای مرسوم این آلیاژ می‌توان به‌کاربردهای الکتریکی، معماری، ساخت ابزارآلات، مهمات و لوله‌های صنعتی اشاره نمود[۱]. گر چه ساختار کریستالی مس و روی یکسان نیست و این دو عنصر در یکدیگر حلالیت کامل ندارند، ولی حلالیت روی در مس قابل توجه است. مهم‌ترین فازی که در دیاگرام مس و روی مشاهده می‌شود محلول جامد α می‌باشد. برنج‌های آلفا یا برنج‌های تک فاز، طیف گسترده‌ای از برنج‌ها با خواص متنوع را شامل می‌شوند که قابلیت کارسرد بالایی دارند ولی قابلیت کارگرم آنها نسبت به‌برنج‌های دو فازی کم است. در نتیجه عمده فرآیندهای شکل‌دهی این آلیاژها در صنعت از طریق اعمال کارسرد صورت می‌گیرد و از این‌رو عملیات تبلور مجدد بخش جدایی‌ناپذیر این‌گونه صنایع محسوب می‌شود.

رشد دانه به‌عنوان سومین مرحله از فرآیند تبلور مجدد نقش تعیین‌کننده‌ای در کنترل خواص مکانیکی فلز یا آلیاژ بر عهده

Archive of SID

www.SID.ir

دارد. در حقیقت رشد در دانه نتیجه مهاجرت مرز دانه رخ می‌دهد و فرآیندی است که در آن میانگین اندازه دانه در یک ماده پلی‌کریستال در اثر مهاجرت مرز دانه‌ها افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه مقدار کل مرز دانه‌ها در ماده پلی‌کریستال کاهش می‌یابد [۲ و ۳].

بررسی‌های متعددی برای شناخت هر چه بیشتر عوامل مؤثر بر این فرآیند صورت گرفته و تئوری‌های بسیاری در این خصوص ارائه شده‌است که تئوری‌های موجود در خصوص سینتیک رشد دانه را می‌توان به‌دو بخش تقسیم نمود:

۱-۱- سینتیک رشد دانه پارابولیک

این رابطه تجربی ابتدا توسط بیک[۲] و همکارانش مطرح شد. مقادیر آزمایشی به‌دست آمده نشان می‌داد که افزایش اندازه دانه به‌صورت معادله پارابولیک زیر با زمان آنیل رابطه دارد:

$$d = Kt^m \qquad (۱)$$

که در آن d اندازه متوسط دانه، t زمان آنیل، K و m مقادیر ثابت وابسته به‌دمای آنیل و ترکیب ماده هستند. این معادله فقط زمانی با داده‌ها هم‌خوانی دارد که اندازه دانه برای شروع (t = 0)، نسبت به‌دانه‌هایی که محاسبه می‌شوند خیلی کوچک باشد. از آنجا که در عمل همیشه این رابطه صادق نیست بنابراین شکل عمومی‌تر این معادله به‌صورت زیر ارائه شد:

$$d^{\frac{1}{m}} - d_0^{\frac{1}{m}} = Kt \qquad (۲)$$

که در رابطه جدید d_0 اندازه دانه اولیه قبل از رشد است.

۱-۲- آنالیز بورک و ترنبول

این روش رشد دانه را با در نظر گرفتن فرضیاتی مانند مهاجرت مرزها به‌صورت انتقال اتم‌ها در عرض مرز تحت نیروی محرکه انرژی سطحی مرز، مدل‌سازی می‌کند. مرزها برای کاهش سطح مرز دانه‌ها و انرژی مربوط به‌آن، تمایل دارند به‌سمت مرکز انحنا مهاجرت کنند. با این فرضیات سرعت مهاجرت مرز دانه، υ برای شرایط ایزوترمال برای مواد خالص به‌صورت زیر ارائه شد:

$$\upsilon = \mu P \qquad (۳)$$

در جایی‌که μ تحرک‌پذیری و P به‌صورت زیر تعیین می‌شود:

$$P = \gamma(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}) \qquad (۴)$$

که در این رابطه γ انرژی آزاد مرز دانه، r_1 و r_2 شعاع‌های اصلی انحناء سطح هستند. با در نظر گرفتن فرضیات تئوری و پس از انجام محاسبات نهایتاً رابطه زیر به‌دست آمد:

$$n = 0.5\overline{R} = Kt^n \qquad (۵)$$

که در آن n توان رشد دانه و K پارامتری است که طبق رابطه زیر بستگی به‌دما دارد.

$$K = A\exp(-\frac{Q_{gg}}{RT}) \qquad (۶)$$

در جایی‌که Q_{gg} انرژی اکتیواسیون رشد دانه، A ثابت و T دمای مطلق برحسب درجه کلوین است. بنابراین معادله رشد پارابولیک به‌صورت زیر خواهد بود[۲ و ۳]:

$$\overline{R_t} = At^n \exp(-\frac{Q_{gg}}{RT}) \qquad (۷)$$

۱-۳- تأثیر عناصر آلیاژی در فرآیند رشد دانه

یکی از مهم‌ترین مسائل در فرآیند رشد دانه، اثر اتم‌های خارجی موجود در شبکه با مرز دانه‌ها است. اتم‌های خارجی می‌توانند بر روی حرکت مرز دانه‌ها اثر ممانعت‌کنندگی داشته‌باشند [۲، ۳ و ۴]. در حقیقت تأثیر عناصر آلیاژی را می‌توان مشابه اثر اتم‌های ناخالصی بر روی نابجائی‌ها در نظر گرفت.

در صورت وجود اختلاف بین اندازه اتم‌های بیگانه و شبکه اصلی در اطراف هر اتم بیگانه یک میدان الاستیک در شبکه ایجاد خواهد شد. از طرفی به‌دلیل این‌که در مرز دانه‌ها از نظر نظم اتمی نسبت به‌داخل دانه انطباق کمتری وجود دارد، اتم خارجی می‌تواند به‌همسایگی مرز دانه منتقل شده تا از میزان انرژی کرنشی مرز و شبکه اطراف اتم خارجی کاسته شود. در حقیقت همانند اتمسفر نابجائی، در اینجا نیز اتمسفر مرز دانه به‌وجود می‌آید. نتایج تجربی نشان داده‌است که این اتمسفر می‌تواند به‌طور مؤثری حرکت مرز دانه را با مشکل مواجه کند. مرز برای حرکت باید این اتمسفر را نیز به‌دنبال خود بکشد. همین نکته سبب به‌تأخیر افتادن حرکت مرز می‌گردد. هر چه یک عنصر، شبکه را بیشتر تحت اعوجاج قرار دهد، اثر بیشتری بر روی نرخ رشد دانه خواهد داشت[۳].

Archive of SID

www.SID.ir

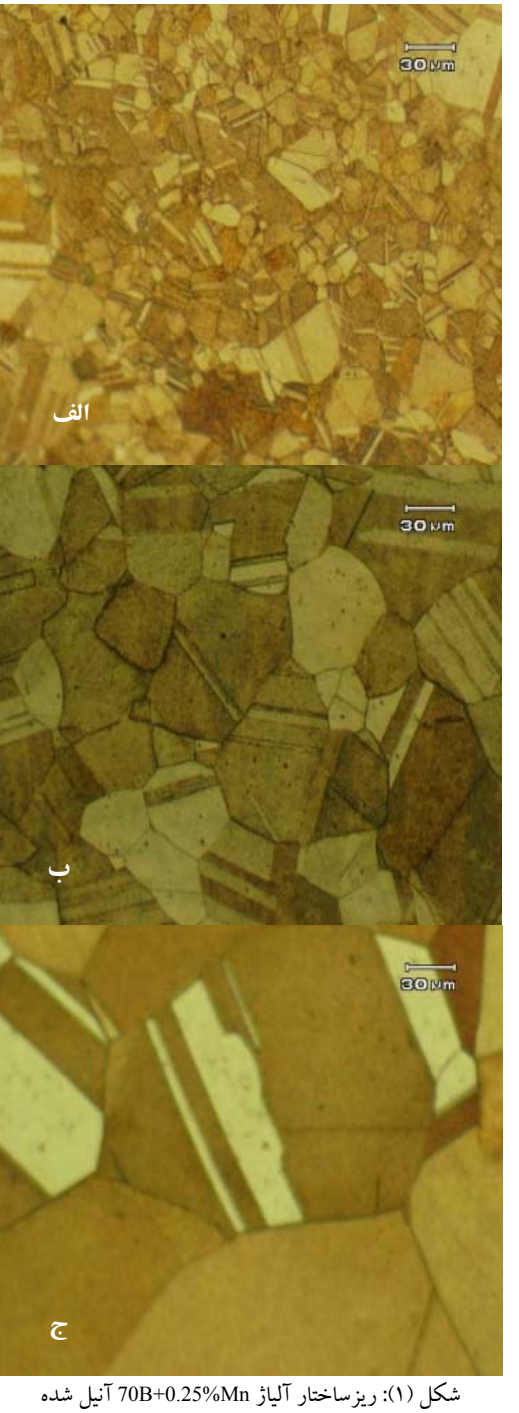
هدف از انجام این تحقیق بررسی اثر حضور منگنز در آلیاژ برنج ۳۰-۷۰ بر فرآیند رشد دانه بود که به‌این منظور با استفاده از روابط موجود جهت محاسبه اندازه دانه و انرژی اکتیواسیون، نقش این عنصر در تسریع فرآیند رشد دانه ارزیابی گردید.

۲- روش تحقیق

برای تولید نمونه‌های آلیاژی، عملیات ذوب و آلیاژسازی در بوته گرافیتی با کوره موفلی مدل اکسایتون تحت شرایط اتمسفر کنترل‌شده با گاز آرگون و به‌روش ریخته‌گری تبریدی ثقلی در قالب مسی (با ابعاد ۸۰×۸۰×۲۵۰ میلی‌متر) انجام شد. از نمونه‌های ریخته شده تسمه‌های مسی با ابعاد ۵×۱۰×۵۰ میلی‌متر تهیه و جهت حصول اطمینان از رسیدن به‌ترکیب‌های شیمیایی موردنظر، آنالیز شیمیایی نمونه‌ها با استفاده از روش کوانتومتری انجام شد. سپس بر روی تمامی نمونه‌ها با استفاده از نورد سرد کاهش سطح مقطع ۶۵٪ اعمال گردید، در مرحله بعد نمونه‌هایی به‌ابعاد ۲×۱۰×۱۰ میلی‌متر از ورق‌های نورد شده بریده و سپس در حمام نمک در دماهای ۶۰۰، ۷۰۰ و ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان‌های مختلف بین ۲ تا ۶۰ دقیقه تحت عملیات آنیل هم‌دما قرار گرفتند و سپس در آب ۲۰ درجه سانتی‌گراد سرد شدند. برای بررسی ریزساختار پس از آماده‌سازی سطحی، نمونه‌ها در محلول اسیدفسفریک ۲۵٪ و آب دو بار تقطیر ۷۵٪ اچ شده و توسط میکروسکوپ نوری مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای محاسبه اندازه دانه، مساحت حدود ۴۵۰-۲۰۰ دانه برای هر نمونه به‌وسیله دنبال کردن مرز دانه‌ها با استفاده از نرم‌افزار clemex اندازه‌گیری شد.

۳- نتایج و بحث

جدول (۱) نتایج حاصل از آزمون کوانتومتری روی نمونه‌های ریخته شده را نشان می‌دهد. شکل (۱) تصاویر ریزساختار آلیاژ فوق را در دماهای مختلف آنیل در زمان ۱ ساعت نشان می‌دهد. در تمامی دماها و زمان‌های مورد بررسی دانه‌های هم‌محور شامل دوقلویی‌ها مشاهده می‌شوند. منگنز در تمامی دماها در زمینه



شکل (۱): ریزساختار آلیاژ 70B+0.25%Mn آنیل شده
الف) در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد
ب) در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد
ج) در دمای ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد
به‌مدت یک ساعت.

Archive of

www.SID.ir

جدول (۱): ترکیب شیمیائی آلیاژ بر حسب درصد وزنی.

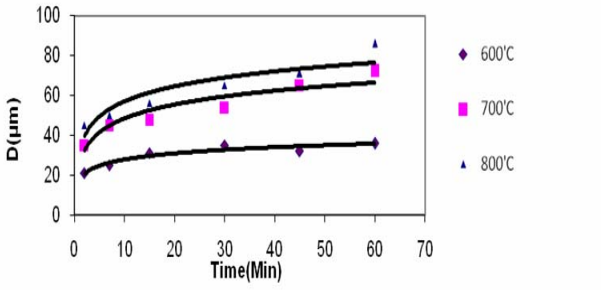
ترکیب آلیاژ	Zn	Fe	Mn	Al	Si	Cu
70B+Mn	۳۰/۳	۰/۰۰۳	۰/۲۵	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲	Bal.

جدول (۲): شعاع متوسط دانه‌ها در نمونه 70B+0.25%Mn در دماها و زمان‌های مختلف آنیل.

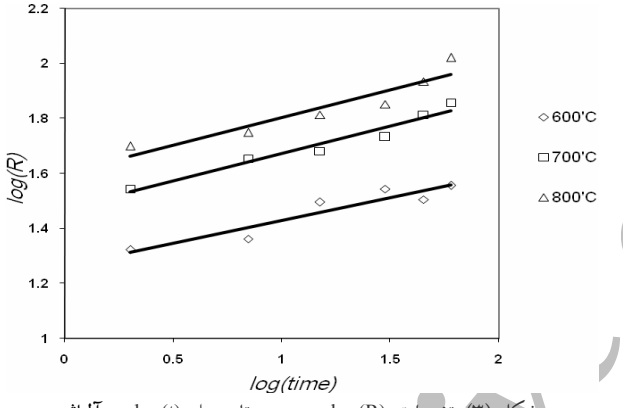
70B+0.25%Mn			
زمان(دقیقه)	شعاع(میکرون) ۶۰۰°C	شعاع(میکرون) ۷۰۰°C	شعاع(میکرون) ۸۰۰°C
۲	۲۱	۳۵	۵۰
۷	۲۵	۴۵	۵۶
۱۵	۳۱/۲۵	۴۸	۶۵
۳۰	۳۵	۵۴	۷۱
۴۵	۳۲	۶۵	۸۶
۶۰	۳۶	۷۲	۱۰۵

برنجی حل شده و هیچ آثاری از ذرات فاز ثانویه و بین فلزی مشاهده نمی‌شود. با افزایش دما در زمان‌های یکسان آنیل، اندازه دانه‌ها افزایش یافته‌است. در تمامی دماها و زمان‌ها نایکنواختی در اندازه دانه‌ها مشاهده می‌شود و دانه‌های کوچک در کنار دانه‌های بزرگتر وجود دارند. جدول (۲) نتایج محاسبه اندازه دانه میانگین را برای تمام زمان‌ها و دماهای مورد آزمایش نشان می‌دهد.

شکل (۲) نشان‌دهنده تغییرات اندازه دانه در شرایط دمایی یکسان برای نمونه مورد بررسی می‌باشد. با توجه به‌شکل، می‌توان تغییرات اندازه دانه با زمان فرآیند آنیل را با هم مقایسه کرد. در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد نرخ رشد دانه در ترکیب مورد بررسی نسبت به دماهای ۷۰۰ و ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد کمتر است. در دماهای بالاتر آنیل اثر عناصر آلیاژی بر روی فرآیند رشد دانه تا حدی کمتر می‌شود. دلیل آن می‌تواند این باشد که تأثیرپذیری مرز دانه از اتمسفر به‌وجود آمده ناشی از حل شدن عناصر آلیاژی در دماهای بالاتر کاهش می‌یابد[۳].



شکل (۲): تغییر اندازه دانه آلیاژ 70B+0.25%Mn بر حسب زمان در دماهای مختلف.



شکل (۳): تغییرات log(R) بر حسب تابعی از log(t) در آلیاژ 70B+0.25%Mn در دماهای مختلف آنیل.

چنانچه از دو طرف این رابطه (۵) لگاریتم گرفته شود و تغییرات log(R) بر حسب log(t) رسم شود، خط راستی حاصل خواهد شد که شیب آن، n، توان رابطه (۵) و عرض آن از مبدأ K را ارائه می‌دهد. شکل (۳) تغییرات log(R) بر حسب log(t) در دماهای مختلف برای آلیاژ 70B+0.25%Mn را نشان می‌دهد. مقادیر n برای دماها و پارامترهای مختلف در جدول (۳) آورده شده‌است. مطابق با جدول، توان رشد محاسبه شده از اندازه‌گیری مساحت دانه‌ها در دماهای مختلف تقریباً برابر ۰/۱۹ = n است. در حالت ایده‌آل مقدار توان رشد برابر با ۰/۵ است[۵]. معمولاً مقادیر تجربی به‌دست آمده برای توان رشد، کمتر از ۰/۵ است. فولاد ساده کربنی آستنیتی (۰/۸ درصد کربن) محدوده آن بین ۰/۱ در ۷۶۰ درجه سانتی‌گراد [۵]، ۰/۲۳ در ۹۸۰ درجه

Archive of SID

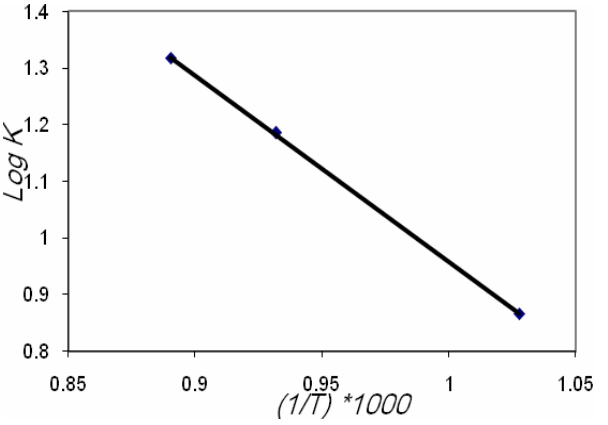
www.SID.ir

جدول (۳): مقادیر توان رشد آلیاژ 70B+0.25%Mn به‌دست آمده در دماهای مختلف.

دما (°C)	معادله خط راست	n	R^2
۶۰۰	Log(R) = 0.1658Log(t)+1.2642	۰/۱۷	۰/۸۸۶۲
۷۰۰	Log(R) = 0.1985log(t)+1.4743	۰/۲	۰/۹۵۰۶
۸۰۰	Log(R) = 0.2002Log(t)+1.6032	۰/۲	۰/۸۷۸۲

سانتی‌گراد، برای برنج ۳۰-۷۰ در محدوده دمایی ۷۰۰-۵۰۰ درجه سانتی‌گراد برابر ۰/۲ [۶] و در محدوده دمایی ۹۰۰-۷۰۰ درجه سانتی‌گراد تقریباً ۰/۲۶ [۸]، گزارش شده‌است. مقایسه مقادیر به‌دست آمده با برنج ۳۰-۷۰ نشان می‌دهد که افزودن ۰/۲۵ درصد منگنز به‌آن سبب کاهش مقدار n (توان رشد) شده‌است[۹ و ۱۰].

با توجه به‌ثابت بودن توان رشد با تغییر دما، انرژی اکتیواسیون رشد دانه به‌وسیله معادله (۶) محاسبه می‌شود. شکل (۴) تغییرات log(k) برحسب 1/T را نشان می‌دهد. شیب این خط برابر $-\frac{Q}{R}$ است بنابراین انرژی اکتیواسیون رشد دانه برای این آلیاژ مورد بررسی در محدوده دمایی ۸۰۰-۶۰۰ درجه سانتی‌گراد برابر Q_{gg}=۲۲/۳۵ KJ/mol است. انرژی اکتیواسیون رشد دانه سیستم‌های فلزی دیگر مانند مس خالص در محدوده دمایی ۷۰۰-۴۲۵ درجه سانتی‌گراد برابر ۱۲۰ KJ/mol، Ti-α در محدوده دمایی ۸۰۰-۷۰۰ درجه سانتی‌گراد برابر با ۱۰۰KJ/mol، Ti-β در محدوده دمایی ۱۱۰۰-۹۰۰ درجه سانتی‌گراد برابر با ۲۰KJ/mol [۵] و برنج ۳۰-۷۰ در محدوده دمایی ۷۰۰-۵۰۰ درجه سانتی‌گراد برابر ۱۷۱ KJ/mol [۶]، برنج ۳۰-۷۰ در محدوده دمایی ۹۰۰-۷۰۰ درجه سانتی‌گراد برابر ۳۷/۴ KJ/mol [۸] و آلیاژ سه‌تایی Cu-Zn-Al حاوی مقادیر مختلف کبالت حدوداً ۳۹-۳۷ KJ/mol [۷]، گزارش شده‌است. انرژی اکتیواسیون به‌دست آمده در این آلیاژ در مقایسه با سیستم‌های فلزی ۳۰-۷۰ خالص مقدار کمتری را نشان می‌دهد.



شکل (۴): تغییرات $Log(K_0)$ بر حسب 1/T و محاسبه انرژی اکتیواسیون رشد دانه در آلیاژ 70B+0.25%Mn.

نکته جالب توجه اینکه وقتی مقدار به‌دست آمده برای این آلیاژ با مقدار گزارش شده برای برنج ۳۰-۷۰ گزارش شده علی اکبری و بیژن صالحی[۹ و ۱۰] مقایسه می‌شود، کاهش انرژی اکتیواسیون را نشان می‌دهد.

٤-نتیجه‌گیری

۱- سینتیک رشد دانه ترکیب مورد بررسی از قوانین رشد دانه نرمال پیروی می کند.

۲- توان رشد محاسبه شده در محدوده دمایی ۸۰۰-۶۰۰ درجه سانتی‌گراد تقریباً ۰/۱۹ می‌باشد.

۳- انرژی اکتیواسیون برای این آلیاژ Q_{gg}= ۲۲/۳۵ KJ/mol به‌دست آمده‌است که در مقایسه با انرژی اکتیواسیون برنج ۷۰-۳۰ (Q_{gg}= ۱۷۱ KJ/mol) مقدار کمتری نشان می‌دهد.

۵- مراجع

[1] J. R. Davis, "copper and copper alloy", First Edition, ASM Specialty Handbook, ASM, pp. 485-488, 2001.

[2] F. J. Humphreys and M. Hatherly, "Recrystallization and Related Annealing phenomena", Elsevier Science and Technology, 1995.

[3] R. E. Read Hill and R. Abbaschian, "Physical Metallurgy Principles", Third Edition, PWS Publishing Co, 1994.

[4] G. Gottstein, "Physical Foundation of Materials Science", June 30, Springer, 2005.

Archive of SID

www.SID.ir

[5] F. X. Gil, D. Rodriguez and J. A. Planell, "Grain Growth Kinetics of Pure Titaninium", Scripta Metall. Mat., 33, pp. 1361-66.

[6] R. L. Fullman, ASM Seminar Metal Interfaces, pp. 179, 1952.

[7] F. J. Gil and J. M. Guilemany, "Effects of Cobalt Addition on Grain Growt Kinetics in Cu-Zn-Al Shape Memory Alloys", Intermetallics 6, pp. 445-450, 1998.

[۸] ع. اکبری، ر. محمودی و غ. اکبری، "بررسی سینتیک رشد دانه برنج ۳۰-۷۰"، هشتمین کنگره انجمن مهندسین متالورژی ایران، مهرماه، ص. ۴۶-۳۹، ۱۳۸۳.

[۹] ع. اکبری، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تهران، ۱۳۸۳.

[۱۰] ب. صالحی، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۵۸.

Archive of SID

www.SID.ir