



پژوهش‌نامه ریخته‌گری

مقاله پژوهشی:

تعیین فشار بحرانی و فشار ممانعت کننده برای تبخیر منگنز در حین فرایند ذوب القایی آلیاژهای منگنز-نیکل

محسن صادقی محمدی^{۱*}، مرتضی هادی^۲، هادی کریمی^۳، امید بیات^۴

۱- محقق، دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر.

۲- استادیار، گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده فنی و مهندسی گلپایگان.

۳- محقق، دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر.

۴- استادیار، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه صنعتی همدان

* نویسنده مکاتبه کننده: E-mail: scippi@gmail.com

چکیده:

دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۱۹

پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۱۱

در سال‌های اخیر، آلیاژهای منگنز-نیکل با توجه به خواص مغناطیسی منحصر به فرد مورد مطالعه محققین بسیاری قرار گرفته‌اند. هدف از این پژوهش، بررسی اثر فشار محفظه بر فرایند تبخیر منگنز و تعیین فشارهای بحرانی و ممانعت کننده تبخیر و دما برای این عنصر در آلیاژهای منگنز-نیکل (70Mn-25Ni-5Cr و 40Mn-55Ni-5Cr) است. در این زمینه، آلیاژهای منگنز-نیکل در کوره‌ی ذوب القایی تحت خلأ، تحت اتمسفر آرگون با فشار مثبت ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱، ۲، ۲/۵، ۳، ۴ و ۴/۵ بار در دماهای ۱۴۵۰، ۱۶۵۰ و ۱۸۵۰ درجه سانتی‌گراد ذوب شدند. برای شرایط فوق، نرخ تبخیر محاسبه شد و با ترسیم نمودارهای نرخ تبخیر با فشار، میزان فشار بحرانی و فشار ممانعت کننده برای تبخیر منگنز مشخص شد. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد است که برای تبخیر منگنز در آلیاژهای منگنز-نیکل، فشار ۱ بار، فشار بحرانی و فشار ۳ بار، فشار ممانعت کننده است. همچنین مشخص شد که افزایش دمای ذوب، باعث افزایش نرخ تبخیر می‌شود اما میزان فشار بحرانی و فشار ممانعت کننده برای تبخیر منگنز در آلیاژها بدون تغییر باقی می‌ماند.

واژه‌های کلیدی:

آلیاژهای منگنز-نیکل،

تبخیر،

فشار بحرانی،

فشار ممانعت کننده.

ارجاع به این مقاله:

محسن صادقی محمدی، مرتضی هادی، هادی کریمی، امید بیات، تعیین فشار بحرانی و فشار ممانعت کننده برای تبخیر منگنز در حین فرایند ذوب القایی آلیاژهای منگنز-نیکل، پژوهش‌نامه ریخته‌گری، تابستان ۱۳۹۸، جلد ۳، شماره ۲، صفحات ۶۶-۷۴.
شناسه دیجیتال: (DOI): 10.22034/FRJ.2019.188516.1087

۱- مقدمه

کاهش‌دهنده‌ی نقطه‌ی ذوب و حلالیت بسیار خوب منگنز در نیکل جز سیستم‌های مناسب هستند [۹-۱۱]. عناصر با فشار بخار بالا مانند آلومینیم و منگنز در شرایط ذوب در خلأ به شدت تبخیر می‌شوند. در مورد تبخیر منگنز در کوره‌های ذوب القایی تحت خلأ گزارش‌های بسیار محدودی وجود دارد. اما در مورد تبخیر آلومینیم در فرایند ذوب در خلأ در کوره‌های القایی تحقیقات وسیعی انجام شده است [۱۲-۱۵]. از این رو با بررسی فرایند تبخیر آلومینیم می‌توان به شرایط تبخیر منگنز نیز پی برد.

آلیاژهای منگنز-نیکل غنی از منگنز، به دلیل خواص مغناطیسی منحصر به فرد، مورد توجه محققین بسیاری قرار گرفته‌اند [۱-۵]. این آلیاژها خواص فرومغناطیسی دارند که با تغییر ساختار کریستالی می‌تواند این خاصیت تغییر کند [۶-۸]. از طرفی این آلیاژها به عنوان فویل لحیم‌کاری برای لحیم‌کاری سخت سوپرآلیاژهای پایه نیکل و فولادهای ضدزنگ نیز استفاده می‌شوند. سیستم منگنز-نیکل به خاطر سازگاری مناسب با سوپرآلیاژهای پایه نیکل، تاثیر منگنز به عنوان یک

ایده می‌توان نشان داد، برای فشار محفظه ذوب دو نقطه کلیدی وجود دارد، که عبارتند از فشار بحرانی^۲ (P_{crit}) و فشار ممانعت کننده^۳ (P_{impe}) [۱۴-۱۵].

با وجود اهمیت فرایند تبخیر منگنز در آلیاژهای منگنز-نیکل تاکنون تحقیق جامعی در مورد این فرایند انجام نشده است. آلیاژهای منگنز-نیکل به دلیل قابلیت ترشندگی و بازه دمای ذوب مطلوب برای لحیم کاری فولادهای زنگ‌نزن برای شرایط خاص کاربرد دارد. در این تحقیق اثر فشار محفظه و دما بر فرایند تبخیر منگنز در حین عملیات ذوب آلیاژهای منگنز-نیکل در کوره‌های ذوب القایی تحت خلأ بررسی شده است.

۲- مواد و روش تحقیق

در جدول (۱)، مشخصات مواد اولیه‌ی استفاده شده در این پژوهش آمده است. آلیاژها با استفاده از فرایند ذوب القایی در خلأ با ترکیب‌های 70Mn-25Ni-5Cr و 40Mn-55Ni-5Cr تولید شدند. محفظه‌ی ذوب پس از اعمال خلأ اولیه به میزان 10^{-2} میلی‌بار با دمش گاز آرگون شستشو و مجدداً به میزان 10^{-4} میلی‌بار خلأ ثانویه شد و پس از آن ذوب تحت اتمسفر آرگون در کوره‌ی ذوب القایی انجام شد.

به منظور تعیین فشار بحرانی و فشار ممانعت کننده تبخیر منگنز در حین ذوب آلیاژها، عملیات ذوب در فشارهای مختلف ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱، ۲، ۳/۵، ۴، ۴/۵ و دماهای ۱۴۵۰، ۱۵۵۰ و ۱۶۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد انجام شد. در هر مرحله ذوب، مدت زمان ذوب هر آلیاژ در حدود ۱۰ دقیقه و مدت زمان نگهداری در حالت مذاب در حدود ۳ دقیقه در نظر گرفته شد. پس از عملیات ذوب با اندازه‌گیری دقیق وزن از دست رفته در حین ذوب در واحد زمان و سطح، نمودار نرخ تبخیر (N_m) بر حسب فشار محفظه برای هر دو آلیاژ ترسیم شده و بر اساس این نمودار مطابق با تعاریف موجود، فشارهای بحرانی و ممانعت کننده برای آلیاژهای موجود تعریف شدند.

جدول ۱- مشخصات مواد اولیه

نام عنصر	شکل ظاهری	خلوص	کشور سازنده
منگنز	پولکی	< ۹۹٪	روسیه
نیکل	گلوله‌ای	< ۹۹٪	اوکراین

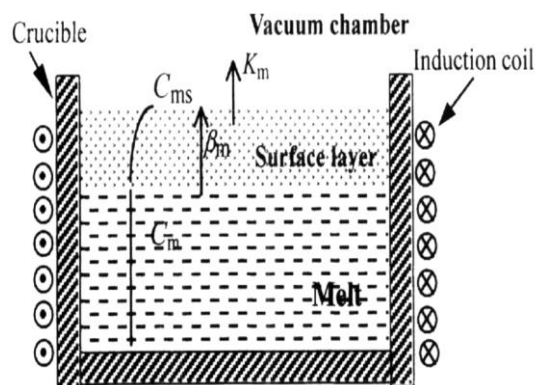
گواو^۱ و همکارانش در تحقیقی جامع به بررسی تبخیر آلومینیم در فرایند ذوب القایی در خلأ در حین ذوب آلیاژهای آلومینیم-تیتانیوم پرداخته‌اند. همچنین مطالعات تئوریک بر روی تبخیر عناصر فرار تحت شرایط ذوب القایی نشان می‌دهد که فرآیند تبخیر پس از ذوب تمامی عناصر چنان که در شکل (۱) نشان داده شده است، شامل چهار مرحله می‌شود [۱۴]:

(۱) نفوذ عنصر فرار در لایه سطحی مذاب با ضریب انتقال جرم β_m (cm/s)،

(۲) واکنش تبخیر در فصل مشترک مذاب با محیط خلا با ضریب انتقال جرم K_m (cm/s)،

(۳) انتقال اتم‌های گازی در محفظه خلا با ضریب انتقال جرم β_g (cm/s)،

(۴) متراکم شدن اتم‌های گاز بر سطوح محفظه خلا با ضریب تراکم K_c (cm/s).



شکل ۱- نمایی طرح‌واره از فرآیند انتقال جرم در حین فرآیند ذوب القایی [۱۴].

مطالعات نشان می‌دهد که مراحل ۳ و ۴ تبخیر، اثری بر فرآیند انتقال جرم ندارد. این موضوع به دلیل درجه بالای خلأ مورد نیاز در محفظه و نیز سطح زیاد کندانس شدن در درون محفظه می‌باشد. در این شرایط نرخ از دست رفتن جرم طی فرآیند تبخیر از رابطه (۱) بدست می‌آید:

$$N_m = \frac{\beta_m \cdot K_m}{\beta_m + K_m} \quad (1)$$

همچنین نشان داده شد که مهمترین پارامتر قابل کنترل و موثر بر فرآیند تبخیر، درجه خلا و فشار محفظه است. بر اساس قوانین ترمودینامیکی، به طور کلی هر چه فشار محفظه بالای مذاب، بالاتر باشد، میزان تبخیر عناصر کمتر خواهد شد. بر اساس این

^۲ Impeding Pressure

^۱ Guo

^۲ Critical Pressure

۳- نتایج و بحث

بر اساس شرایط ذکر شده در بخش (۲)، آزمایش‌های تبخیر عنصر منگنز در حین ذوب آلیاژها طراحی و اجرا شد. در این آزمایش‌ها، میزان تبخیر در فشارهای آرگون مختلف اندازه‌گیری گردید تا بتوان فشارهای بحرانی و ممانعت کننده‌ی تبخیر این عنصر را در مذاب هر دو آلیاژ تعیین کرد.

۳-۱- تعیین فشار بحرانی و فشار ممانعت کننده برای ذوب

آلیاژ 70Mn-25Ni-5Cr

شکل (۲)، تغییرات نرخ تبخیر (N_m) با فشار محافظه (P) در دماهای ۱۴۵۰، ۱۵۵۰ و ۱۶۵۰ درجه سانتیگراد را نشان می‌دهد. فشار بحرانی و ممانعت کننده اول، مربوط به دماهای ۱۴۵۰ و ۱۵۵۰ درجه سانتیگراد و فشار بحرانی و ممانعت کننده دوم، مربوط به دمای ۱۶۵۰ درجه سانتیگراد است. چنان که از این شکل پیداست، با افزایش فشار گاز آرگون محافظه، میزان تبخیر کاهش می‌یابد. علت این امر، اثری است که فشار بالای سطح مذاب بر فرآیند تبخیر دارد. همچنین در این شکل مشخص است که در فشارهای کمتر از ۱ bar میزان تبخیر به یک‌باره افزایش می‌یابد. این امر در تطابق با تعریف فشار بحرانی است. بنابراین می‌توان فشار ۱ bar را فشار بحرانی برای تبخیر عنصر منگنز در ذوب آلیاژ 70Mn-25Ni-5Cr در دمای ۱۴۵۰ درجه سانتیگراد دانست. به عبارت دیگر فشار مذکور، فشاری است که در ذوب آلیاژ 70Mn-25Ni-5Cr به عنوان حداقل فشار محافظه باید در نظر گرفته شود.

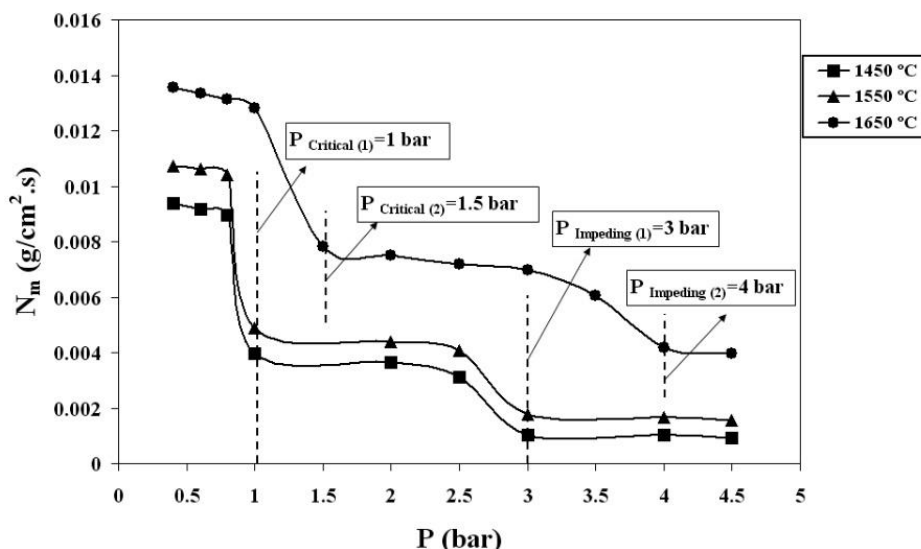
از طرفی از نمودار مربوط به دمای ۱۴۵۰ درجه سانتیگراد مشاهده می‌شود که با افزایش فشار محافظه به بیش از ۳ bar، کاهش چندانی در میزان تبخیر عنصر منگنز بوجود نمی‌آید که

این در تطابق با تعریف فشار ممانعت کننده است [۱۴، ۱۵]. به عبارت دیگر فشار ممانعت کننده برای تبخیر منگنز در ذوب آلیاژ 70Mn-25Ni-5Cr، فشار ۳ bar است و افزایش بیشتر فشار محافظه تاثیری بر کاهش تبخیر ندارد.

با افزایش دمای مذاب، ضریب انتقال جرم مرحله‌ی اول فرایند تبخیر (β_m)، به مقدار اندکی افزایش می‌یابد که قابل چشم پوشی است. اما K_m که ضریب انتقال جرم مرحله‌ی دوم فرایند تبخیر است با افزایش دمای فصل مشترک تبخیر (T_{ms}) و افزایش میزان عنصر فرار (X) و یا کاهش فشار محافظه (P)، افزایش قابل ملاحظه‌ای دارد. چرا که فشار بخار تعادلی عنصر فرار (P_e) به صورت مهمی با افزایش دمای فصل مشترک تبخیر و یا مقدار عنصر فرار افزایش می‌یابد. بنابراین مقدار K_m به صورت قابل توجهی افزایش می‌یابد. بالا رفتن مقدار K_m سبب افت مقدار K_m/β_m شده و در نهایت سبب کاهش مقدار نرخ تبخیر (N_m) شده است [۱۶].

چنانچه در بخش (۱) شرح داده شد، فشارهای بحرانی و ممانعت کننده نقش مهمی در کنترل فرایند تبخیر در حین ذوب دارند. با در نظر گرفتن فشار بحرانی، از ذوب آلیاژ حاوی عنصر با فشار بخار بالا در فشارهای کمتر اجتناب می‌شود و از تبخیر شدید جلوگیری می‌شود. از طرفی فشار ممانعت کننده نیز مرزی است که نشان می‌دهد با ایجاد چه فشاری بالاتر از حد مذاب می‌توان میزان تبخیر را به حداقل ممکن کاهش داد.

همین روند برای ذوب در دمای ۱۵۵۰ درجه سانتیگراد نیز تکرار شد. تغییرات میزان تبخیر با فشار محافظه در این دما نشان می‌دهد که الگوی منحنی مشابه قبل بوده و فشارهای بحرانی و فشار ممانعت کننده همچنان مقادیر ۱ و ۳ bar است. این در حالی است که افزایش بیشتر فوق‌گداز به میزان ۱۶۵۰ درجه



شکل ۲- مقایسه فشار بحرانی و ممانعت کننده برای آلیاژ 70Mn-25Ni-5Cr در دماهای ۱۴۵۰، ۱۵۵۰ و ۱۶۵۰ درجه سانتیگراد

(۲) ملاحظه می‌شود با افزایش فشار محفظه، در فشارهای بیشتر از فشار ممانعت کننده، همچون فشارهای کمتر از فشار بحرانی، فشار محفظه تأثیر چندانی بر روی میزان تبخیر عنصر فرار ندارد. بنابراین به نظر می‌رسد که در فشارهای بیشتر از فشار ممانعت کننده نیز میزان (N_m) بر اساس رابطه‌ی (۳) محاسبه شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت هنگامی که فشار داخل محفظه‌ی خلأ در محدوده‌ی بین فشار بحرانی و فشار ممانعت کننده است، رابطه‌ی بین فشار محفظه (P) و نرخ تبخیر (N_m) بر اساس رابطه‌ی (۲) تعریف می‌شود و هنگامی که فشار محفظه کمتر از فشار بحرانی و یا بیشتر از فشار ممانعت کننده است این رابطه بر اساس رابطه‌ی (۳) است.

بر اساس روابط ترمودینامیکی، فشار بخار تعادلی هر عنصری $P_{e(i)}$ تابعی از دما است و رابطه‌ی مستقیمی با دما دارد به صورتی که با افزایش دما، فشار بخار تعادلی افزایش می‌یابد [۲۰، ۱۹]. از طرفی رابطه‌ی مشخص و ثابتی برای فشار بخار تعادلی و فشارهای بحرانی و ممانعت کننده‌ی عناصر فرار وجود ندارد. رابطه‌ی بین فشار بخار تعادلی و فشارهای بحرانی و ممانعت کننده برای هر عنصر یک رابطه‌ی تجربی است که بر اساس انجام آزمایشات متعددی می‌توان به این رابطه دست یافت.

بر اساس تحقیقات انجام گرفته رابطه‌ی بین فشار بخار تعادلی و فشارهای بحرانی و ممانعت کننده برای آلومینیم به دست آمده است که این رابطه خطی است. به صورتی که با افزایش دما و در نتیجه افزایش فشار بخار تعادلی آلومینیم فشارهای بحرانی و ممانعت کننده افزایش می‌یابند [۱۵، ۱۴].

اما در مورد منگنز، بر اساس آزمایشات صورت گرفته، مشاهده شد که افزایش دما تا رسیدن به یک مقدار معینی از دما تأثیری بر روی تغییر فشارهای بحرانی و ممانعت کننده ندارد. با توجه به حساس بودن نقاط فشار بحرانی و فشار ممانعت کننده برای اطمینان از نتایج به دست آمده از فرایند تبخیر منگنز، آزمایشات سه مرتبه در شرایط یکسان تکرار شد که حاصل آن نتایج مشابه بود. از آنجایی که رابطه‌ی مشخص و ثابت ترمودینامیکی برای فشار بخار تعادلی و فشارهای بحرانی و ممانعت کننده وجود ندارد، بنابراین به نظر می‌رسد بر خلاف وجود رابطه‌ی خطی بین فشار بخار تعادلی و فشارهای بحرانی و ممانعت کننده برای آلومینیم، این رابطه برای منگنز یک رابطه‌ی خطی نیست و به صورت یک رابطه‌ی منحنی گونه است. به صورتی که افزایش دما تا رسیدن به مقدار مشخصی، اثری بر روی افزایش فشارهای بحرانی و ممانعت کننده ندارد و در واقع یک نقطه‌ای وجود دارد

سانتی‌گراد، باعث تغییر میزان فشار بحرانی و فشار ممانعت کننده می‌شود. این امر در توافق با نتایج بدست آمده در مورد تبخیر آلومینیم است که با افزایش دما، فشار بحرانی و ممانعت کننده افزایش می‌یابد [۱۵]. علت این پدیده، سهل شدن فرایند تبخیر در دمای بالا است که باعث می‌شود برای کنترل تبخیر فشارهای بالاتری مورد نیاز باشد.

مقدار N_m را علاوه بر رابطه‌ی (۱) می‌توان از رابطه‌ی (۲) محاسبه کرد:

$$N_m = K_1 \cdot \varepsilon \cdot (P_{e(i)} - P_{g(i)}) \cdot \sqrt{\frac{M}{T_n}} \quad (2)$$

در رابطه فوق، K_1 ثابت لانگموری^۱، ε ضریب چگالش (برای فلزات برابر ۱ است)، $P_{e(i)}$ فشار جزئی تعادلی سازنده i و $P_{g(i)}$ فشار بخار جزئی سازنده i در فضای گازی است.

همان‌طو که از رابطه (۲) ملاحظه می‌شود، N_m (نرخ تبخیر عنصر فرار) وابسته به فشار بخار جزئی سازنده i در محفظه‌ی خلأ ($P_{g(i)}$) می‌باشد. $P_{g(i)}$ وابسته به فشار محفظه‌ی خلأ است. بنابراین کاهش یا افزایش فشار محفظه‌ی خلأ با تأثیر بر روی $P_{g(i)}$ بر روی نرخ تبخیر عنصر فرار (N_m) اثر گذار است. همان‌طور که از شکل (۲) ملاحظه می‌شود، هنگامی که فشار محفظه‌ی خلأ کمتر از فشار بحرانی باشد، افزایش فشار محفظه تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی نرخ تبخیر عنصر فرار (N_m) ندارد. این بدان علت است که در فشارهای کمتر از فشار بحرانی، $P_{g(i)}$ را می‌توان از رابطه (۲) حذف نمود و بنابراین فشار محفظه تأثیری در نرخ تبخیر عنصر فرار ندارد. هنگامی که فشار محفظه‌ی خلأ کمتر از فشار بحرانی است، رابطه‌ی (۲) را می‌توان به صورت رابطه (۳) بازنویسی نمود [۱۸، ۱۷]:

$$N_m = K_1 \cdot \varepsilon \cdot (P_{e(i)}) \cdot \sqrt{\frac{M}{T_n}} \quad (3)$$

بنابراین با حذف تأثیر فشار محفظه بر روی میزان تبخیر عنصر فرار در فشارهای کمتر از فشار بحرانی، با افزایش فشار محفظه تا رسیدن به فشار بحرانی تغییرات قابل توجهی در میزان نرخ تبخیر عنصر فرار وجود ندارد. اما هنگامی که فشار محفظه‌ی خلأ به فشار بحرانی می‌رسد، $P_{g(i)}$ بر روی N_m اثر گذار می‌شود و میزان (N_m) در این فشار بر اساس رابطه‌ی (۳) محاسبه می‌شود. به همین دلیل با رسیدن فشار محفظه به فشار بحرانی نرخ تبخیر (N_m) به طور شدیدی کاهش می‌یابد و در ادامه با افزایش فشار محفظه نرخ تبخیر کاهش می‌یابد. اما همان‌طور که از شکل

^۱ Langmuri

ذوب این آلیاژ در فشارهای کمتر از این مقدار موجب تبخیر شدید می‌شود.

از طرفی مشاهده می‌شود با افزایش فشار به ۲bar سطح تبخیر به مقدار کمتری کاهش می‌یابد و پس از آن افزایش بیشتر فشار محافظه تاثیر چندانی بر کاهش تبخیر ندارد. این پدیده نیز در تطابق با تعریف فشار ممانعت کننده است. بنابراین می‌توان اذعان کرد برای آلیاژ 40Mn-55Ni-5Cr در دمای ۱۴۵۰ درجه سانتیگراد، فشار ۲bar فشار ممانعت کننده محسوب می‌شود و افزایش بیشتر فشار در این دما تاثیری بر کاهش تبخیر ندارد. لازم به ذکر است در آلیاژ 70Mn-25Ni-5Cr فشار ممانعت کننده برای دمای ۱۴۵۰ درجه سانتیگراد میزان ۳bar بود.

نمودار مربوط به دمای ۱۵۵۰ درجه سانتیگراد در شکل (۳) نشان می‌دهد که منحنی تغییرات نرخ تبخیر با فشار محافظه مشابه دمای ۱۴۵۰ درجه سانتیگراد است. کاهش فشار محافظه به کمتر از فشار ۱bar موجب افزایش شدید نرخ تبخیر خواهد شد. بنابراین فشار مذکور برای آلیاژ 40Mn-55Ni-5Cr در دمای ۱۵۵۰ درجه سانتیگراد نیز فشار بحرانی محسوب می‌شود. این در حالی است که در دمای ۱۵۵۰ درجه سانتیگراد فشار ممانعت کننده آلیاژ به ۳bar افزایش می‌یابد. چنانکه از شکل پیداست، افزایش فشار محافظه به بیش از ۳bar تاثیری بر کاهش تبخیر نداشته است.

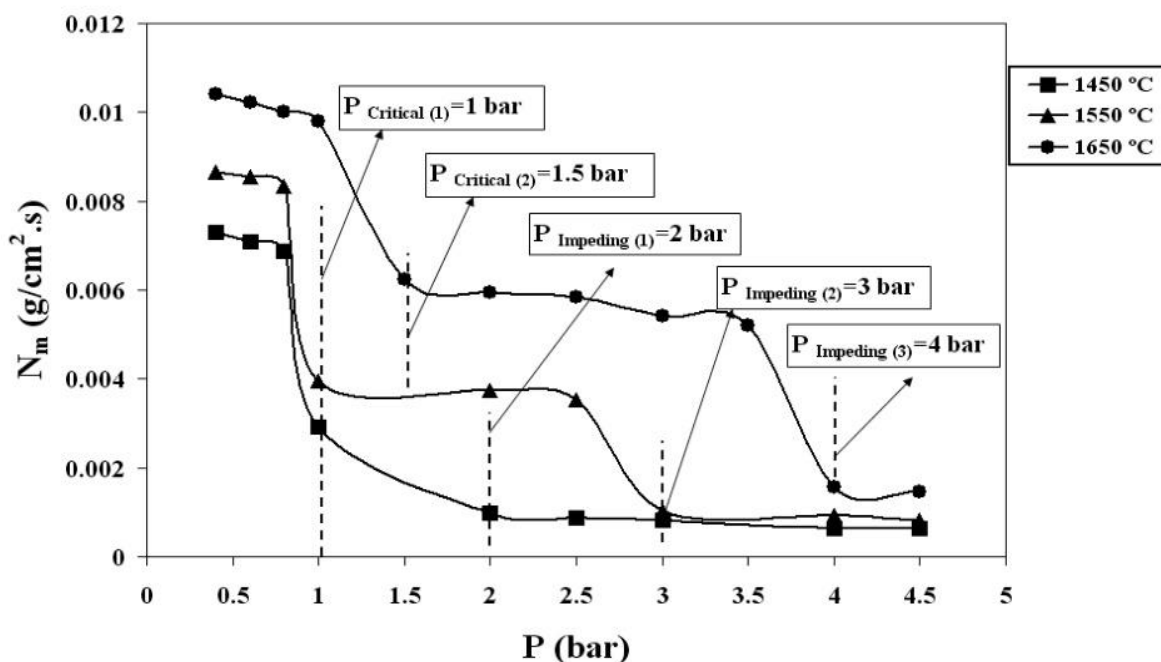
نمودار مربوط به دمای ۱۶۵۰ درجه سانتیگراد در شکل (۳) نشان می‌دهد که برای آلیاژ 40Mn-55Ni-5Cr فشار بحرانی و ممانعت کننده به ترتیب ۱/۵ و ۴ خواهد بود. به عبارت دیگر ذوب

که با رسیدن دما به آن نقطه افزایش دما سبب افزایش فشارهای بحرانی و ممانعت کننده می‌شود.

از شکل (۲) قابل مشاهده است که میزان تبخیر با افزایش دما به ویژه تا دمای ۱۶۵۰ درجه سانتیگراد به طرز محسوسی افزایش یافته است. این امر از بالاتر رفتن منحنی مربوط به دماهای ۱۵۵۰ و ۱۶۵۰ درجه سانتیگراد قابل تشخیص است. علت این پدیده، تاثیر شدید دما بر تسریع فرآیند تبخیر است که مشابه این روند در مطالعات روی تبخیر آلومینیم دیده شده بود [۱۴، ۱۵].

۲-۳- تعیین فشار بحرانی و فشار ممانعت کننده برای ذوب آلیاژ 40Mn-55Ni-5Cr

مشابه با آزمایشات انجام شده بر روی آلیاژ ریختگی 70Mn-25Ni-5Cr، طراحی آزمایش برای تعیین فشار بحرانی و فشار ممانعت کننده برای آلیاژ 40Mn-55Ni-5Cr انجام شد. شکل (۳) منحنی تغییرات نرخ تبخیر با فشار محافظه در دماهای ۱۴۵۰، ۱۵۵۰ و ۱۶۵۰ درجه سانتیگراد را نشان می‌دهد. چنان که از این شکل پیداست در صورتی که بعد از اعمال خلا، دماهای گاز آرگون در حد فشارهای کم مثل ۴۰۰ تا ۸۰۰ mbar باشد، سطح تبخیر در دمای ۱۴۵۰ درجه سانتیگراد بسیار بالا است. این در حالی است که با افزایش فشار به ۱bar نرخ تبخیر به طور آنی کاهش می‌یابد. این امر در تطابق با تعریف فشار بحرانی است. بنابراین فشار ۱bar برای آلیاژ 40Mn-55Ni-5Cr در دمای ۱۴۵۰ درجه سانتیگراد فشار بحرانی محسوب می‌شود. به این معنی که



شکل ۳- منحنی تغییرات نرخ تبخیر با فشار محافظه برای آلیاژ 40Mn-55Ni-5Cr در دماهای ۱۴۵۰، ۱۵۵۰ و ۱۶۵۰ درجه سانتیگراد

مشخص شده است که اختلاف میزان عنصر تبخیر شونده اثر مستقیم بر نرخ تبخیر دارد. این امر در تحقیقات انجام شده بر روی تبخیر آلومینم در ترکیبات آلومیناید تیتانیم تایید شده است [۱۱،۹]. این تاثیر بدین ترتیب است که هر چه میزان عنصر تبخیر شونده بیشتر باشد، نرخ تبخیر بیشتر و فشار لازم برای کنترل تبخیر افزون تر خواهد بود. همین روند برای دماهای ۱۵۵۰ و ۱۶۵۰ درجه سانتیگراد نیز بین دو آلیاژ 40Mn-55Ni-5Cr و 70Mn-25Ni-5Cr برقرار است. در این دماها نیز بالاتر بودن نرخ تبخیر منگنز به دلیل بالاتر بودن درصد وزنی آن در ترکیب آلیاژ 70Mn-25Ni-5Cr مشهود است.

نتیجه گیری

- ۱- در هر دو آلیاژ 40Mn-55Ni-5Cr و 70Mn-25Ni-5Cr با افزایش دما، نرخ تبخیر به طرز محسوسه افزایش می یابد.
- ۲- در تمام دماهای مورد بررسی، نرخ تبخیر آلیاژ 40Mn-55Ni-5Cr به دلیل میزان منگنز کمتر در ترکیب کمتر از آلیاژ 70Mn-25Ni-5Cr است. هر چند روند منحنی به خصوص در دماهای ۱۵۵۰ و ۱۶۵۰ درجه سانتیگراد برای هر دو آلیاژ یکسان است.
- ۳- فشار بحرانی برای هر دو آلیاژ 70Mn-25Ni-5Cr و 40Mn-55Ni-5Cr در دماهای ۱۴۵۰ و ۱۵۵۰ درجه سانتیگراد، ۱ bar و در دمای ۱۶۵۰ درجه سانتیگراد، ۱/۵ bar است.
- ۴- فشار ممانعت کننده برای آلیاژ 70Mn-25Ni-5Cr در دماهای ۱۴۵۰ و ۱۵۵۰ درجه سانتیگراد ۳ bar و در دمای ۱۶۵۰ درجه سانتیگراد، ۴ bar است.

آلیاژ 40Mn-55Ni-5Cr در دمای ۱۶۵۰ درجه سانتیگراد در فشارهای کمتر از ۱/۵ bar موجب افزایش شدید تبخیر شده و افزایش فشار محفظه به فشارهای بالاتر از ۴ bar تاثیری بر کاهش تبخیر ندارد.

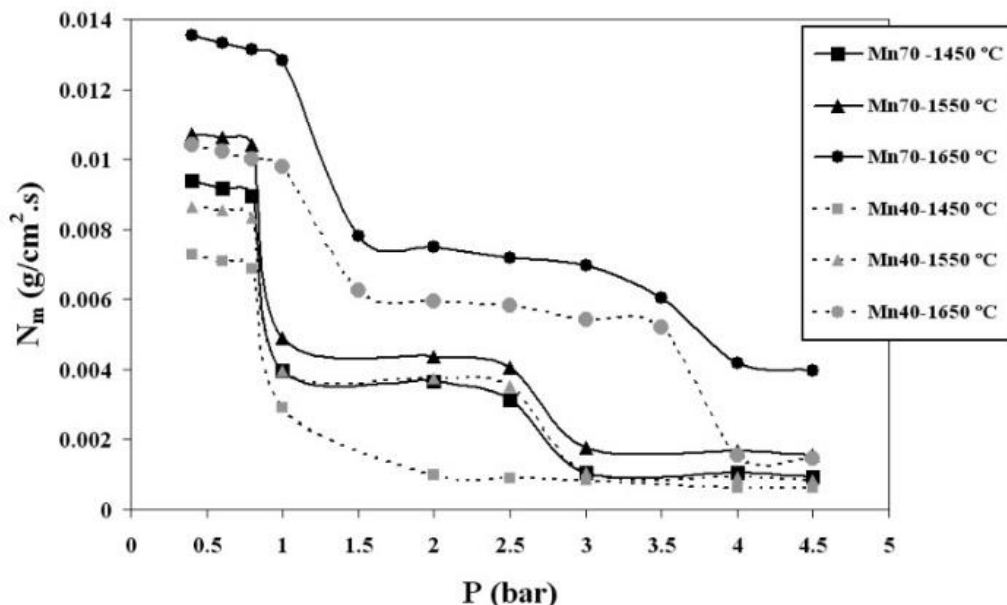
از شکل (۳) می توان نتایج زیر را استنتاج کرد:

- ۱- افزایش دمای فوق گداز، به دلیل افزایش سینتیک نفوذ اتمها به سطح و تبخیر آنها، اثر کاملاً محسوسه بر افزایش تبخیر دارد.
- ۲- آلیاژ 40Mn-55Ni-5Cr در دماهای مورد بررسی دارای دو فشار بحرانی شامل فشار بحرانی ۱ bar برای دماهای ۱۴۵۰ و ۱۵۵۰ درجه سانتیگراد و سه فشار ممانعت کننده مختلف شامل ۲، ۳ و ۴ bar به ترتیب برای دماهای ۱۴۵۰، ۱۵۵۰ و ۱۶۵۰ درجه سانتیگراد است.

۳-۳- مقایسه فشارهای بحرانی و ممانعت کننده در آلیاژهای

70Mn-25Ni-5Cr و 40Mn-55Ni-5Cr

شکل (۴) به طور کلی منحنی های تبخیر برای دو آلیاژ 40Mn-55Ni-5Cr و 70Mn-25Ni-5Cr را در هر سه دما در کنار هم نشان می دهد که با استفاده از آن می توان اثر دما و ترکیب را به طور هم زمان بر فشار بحرانی و ممانعت کننده بررسی کرد. علت اصلی تفاوت بین دو آلیاژ، با توجه به ثبات تمام شرایط از جمله دمای مذاب، اختلاف ترکیب شیمیایی است. عنصر منگنز که عنصر اصلی تبخیر شونده در مذاب آلیاژهای پایه منگنز است، در آلیاژ 70Mn-25Ni-5Cr به میزان ۶۸ تا ۷۰ درصد وجود دارد، در حالی که این عنصر در آلیاژ 40Mn-55Ni-5Cr به میزان ۳۹ تا ۴۲ درصد از ترکیب را شامل می شود.



شکل ۴- منحنی های تبخیر آلیاژهای 70Mn-25Ni-5Cr و 40Mn-55Ni-5Cr در دماهای ۱۴۵۰، ۱۵۵۰ و ۱۶۵۰ درجه سانتیگراد

- [9] Puidokas S.M. Mangano F., General electric Co. Method of repairing superalloys. U.S. Patent Application 2019, 16/028,016.
- [10] Fisher D. J., Transient Liquid Phase Bonding, Materials Research Forum LLC, (2019, February).
- [11] Eminoglu C.M., Cui Y., Dorriety D.J., Tollison B.L. Cook P.A., General electric Co., Method of welding superalloys. U.S. Patent Application 2018, 15/622,605.
- [12] Buliński P., Smolka J., Siwiec G., Blacha L., Golak S., Przyłucki R., Melka B., Numerical examination of the evaporation process within a vacuum induction furnace with a comparison to experimental results, Applied Thermal Engineering, 2019, 150, 348-358.
- [13] Blacha L., Siwiec G., Oleksiak B., Loss of aluminium during the process of Ti-Al-V alloy smelting in a vacuum induction melting (VIM) furnace, Metalurgija, 2013, 52(3) 301-304.
- [14] Guo J., Jia J., Liu Y., Liu G., Su Y., Ding H., Evaporation behavior of aluminum during the cold crucible induction skull melting of titanium aluminum alloys, Metallurgical and Materials Transactions B, 2000, 31(4) 837-844.
- [15] J. Gue et.al, The critical pressure and impending pressure of Al evaporating during Induction Skull Melting Processing of TiAl, Metallurgical and Materials Transactions A, 2002, 33, 3249-3253.
- [16] Brodowsky H., Schaller H. J. (Eds.), Thermochemistry of alloys: Recent developments of Experimental Methods (Vol. 286), Springer Science & Business Media, 2012.
- [17] Langmuir I., The vapor pressure of metallic tungsten, Physical Review, 1913, 2(5) 329.
- [18] Horike S., Ayano M., Tsuno M., Fukushima T., Koshiba Y., Misaki M., Ishida K., Thermodynamics of ionic liquid evaporation under vacuum, Physical Chemistry Chemical Physics, 2018, 20(33) 21262-21268.
- [19] Arblaster J.W., Thermodynamic Properties of Tungsten, Journal of Phase Equilibria and Diffusion, 2018, 39(6) 891-907.
- [20] Ding L., Ladwig P.F., Yan X., Chang Y.A., Thermodynamic stability and diffusivity of near-equiatomic Ni-Mn alloys, Applied Physics Letters, 2002, 80(7) 1186-1188.
- ۵- فشار ممانعت کننده برای آلیاژ 40Mn-55Ni-5Cr در دمای ۱۴۵۰ درجه سانتیگراد ۲bar، در دمای ۱۵۵۰ درجه سانتیگراد، ۳bar و در دمای ۱۶۵۰ درجه سانتیگراد برابر ۴bar است.
- ### مراجع
- [۱] صادقی م.، منصوری ح.، هادی م.، بررسی فرایند همگن‌سازی آلیاژ جدید Mn-25Ni-5Cr، فرآیندهای نوین در مهندسی مواد (مهندسی مواد مجل‌سی)، ۱۳۹۴، ۳(۹) ۱۶۳-۱۷۸.
- [2] Dunand D.C., Müllner P., Size effects on magnetic actuation in Ni-Mn-Ga shape-memory alloys, Advanced Materials, 2011, 23(2) 216-232.
- [3] Krenke T., Duman E., Acet M., Wassermann E.F., Moya X., Mañosa L., Ouladdiaf B., Magnetic superelasticity and inverse magnetocaloric effect in Ni-Mn, In. Physical Review B, 2007, 75(10) 104-414.
- [4] Hu F. X., Shen B. G., Sun J. R., Wu G. H., Large magnetic entropy change in a Heusler alloy Ni 52.6 Mn 23.1 Ga 24.3 single crystal, Physical Review B, 2001, 64(13) 132-412.
- [5] Krenke T., Duman E., Acet M., Wassermann E.F., Moya X., Manosa L., Planes A., Inverse magnetocaloric effect in ferromagnetic Ni-Mn-Sn alloys, Nature Materials, 2005, 4(6) 450-454.
- [6] Vas' kovskiy V.O., Moskalev M.E., Lepalovskij V.N., Svalov A. V., Larrañaga A., Balymov K.G., Kulesh N.A. Crystal structure and exchange bias of Ni-Mn-based films, Journal of Alloys and Compounds, 2019, 777, 264-270.
- [7] Glavatskyy I., Glavatska N., Dobrinsky A., Hoffmann J. U., Söderberg, O., Hannula, S. P., Crystal structure and high-temperature magnetoplasticity in the new Ni-Mn-Ga-Cu magnetic shape memory alloys, Scripta Materialia, 2007, 56(7) 565-568.
- [8] Hassan U.N., Shah I.A., Jelani M., Naeem M., Riaz S., Naseem S., Effect of Ni-Mn ratio on structural, martensitic and magnetic properties of Ni-Mn-Co-Ti ferromagnetic shape memory alloys. Materials Research Express, 2018, 5(8) 86-102.

IRANIAN FOUNDRYMEN'S
SOCIETY

Founding Research Journal

Research Paper:

Determination of Critical Pressure and Impeding Pressure for Manganese Evaporation During the Induction Melting Process of Manganese-Nickel Alloys

Mohsen Sadeghi^{1*}, Morteza Hadi², Hadi Karimi³, Omid Bayat⁴

1. M.Sc., Materials Engineering Department, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran
2. Assistant Professor, Metallurgy and Materials Engineering Department, Golpayegan University of Technology, Golpayegan, Iran
3. M.Sc., Materials Engineering Department, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran
4. Assistant Professor, Metallurgy and Materials Engineering Department, Hamedan University of Technology, Hamedan, Iran

* Corresponding Author: scippipr@gmail.com.

Paper history:

Received: 02 June 2019
Accepted: 22 July 2019

Abstract:

In recent years, manganese-nickel alloys have been studied by many researchers due to their unique magnetic properties. The purpose of this study was to investigate the effect of pressure of the compartment on the manganese evaporation process and to determine critical and inhibit evaporation pressures and temperature for this element in manganese-nickel alloys (70Mn-25Ni-5Cr and 40Mn-55Ni-5Cr). In this regard, manganese-nickel alloys in a vacuum induced melting furnace, under the atmosphere of argon by positive pressure (0.4, 0.6, 0.8, 1, 2, 2.5, 3, 4, and 4.5) bar melted at temperatures of 1450, 1550 and 1650°C. For the above conditions, the rate of evaporation was calculated and illustrated by plotting evaporation rate graphs with pressure, the critical pressure and impeding pressure for manganese evaporation determined. The results showed that pressures of 1 bar and 3 bar were sequentially critical pressure and impeding pressure for manganese evaporation in manganese-nickel alloys. It was also found that the increase in melting temperature caused an increase in the evaporation rate, but the critical pressure and inhibit pressure remained unchanged for manganese evaporation in the alloys.

Keywords:

Manganese-nickel alloys,
Evaporation,
Critical pressures,
Impeding pressures.

Please cite this article using:

Mohsen Sadeghi, Morteza Hadi, Hadi Karimi, Omid Bayat, Determination of Critical Pressure and Impeding Pressure for Manganese Evaporation During the Induction Melting Process of Manganese-Nickel Alloys, in Persian, Founding Research Journal, 2019, 3(2) 67-74.
DOI: 10.22034/FRJ.2019.188516.1087

Journal homepage: www.foundingjournal.ir