

اثر سرعت ورود مذاب به قالب بر عیب حباب زدگی در دو آلیاژ ریختگی Al-5Mg و 413

حسین مخلصیان^۱، مهدی دیوانداری^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مواد دانشگاه علم و صنعت ایران، (hmarm2002@hotmail.com)

۲- دانشیار دانشکده مهندسی مواد و متالورژی دانشگاه علم و صنعت ایران، (divandari@iust.ac.ir)

Effect of ingate velocity on bubble damage in Al-5Mg and 413 Casting Alloys

H.Mokhlesian¹, M.Divandari^{2*}

1- M.Sc, Materials Engineering, Iran University of Science and Technology, (hmarm2002@hotmail.com)

2- Associate Professor, Department of Materials Engineering, Iran University of Science and Technology, (divandari@iust.ac.ir)

چکیده

تشکیل و گیر افتادن حباب‌های ناشی از تلاطم در ریخته‌گری و همچنین باقی ماندن لاشه فیلم اکسیدی موجود در سطح داخلی این حباب‌های هوا، به هر شکل و وضعیت، جزو عیب حباب زدگی شناخته شده است. در این تحقیق اثرات تغییرات سرعت ورودی مذاب به قالب، و تلاطم ناشی از آن بر میزان عیب حباب زدگی، در دو آلیاژ ریخته‌گری Al-5Mg و 413 مورد بررسی قرار می‌گیرد. افزایش سرعت ورودی، از طریق افزایش ارتفاع راهگاه و کاهش سطح مقطع راهباره اعمال شد. بعد از عملیات ریخته‌گری و انجام رادیوگرافی، نمونه‌های آزمایش خمش سه نقطه‌ای از صفحات ریخته شده تهیه و مورد بررسی قرار گرفت. سپس سطح شکست نمونه‌های تست خمش، توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی تحت شکست نگاری قرار گرفت. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که با افزایش سرعت مذاب ورودی به قالب در هر دو آلیاژ، اندازه و تعداد عیوب حباب زدگی افزایش نسبی یافته است. اندازه و کسر سطحی حباب‌های تلاطمی محبوس شده در آلیاژ Al-5Mg نسبت به آلیاژ 413 حدود ۸ برابر بیشتر ارزیابی شده است. این نتیجه، فرضیه تاثیر ضخامت فیلم اکسیدی را بر مقدار و حجم عیب حباب زدگی در آلیاژهای مختلف را تایید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: حباب زدگی، رادیوگرافی، آلیاژهای ریخته‌گری آلومینیم، فیلم اکسیدی، سرعت بحرانی

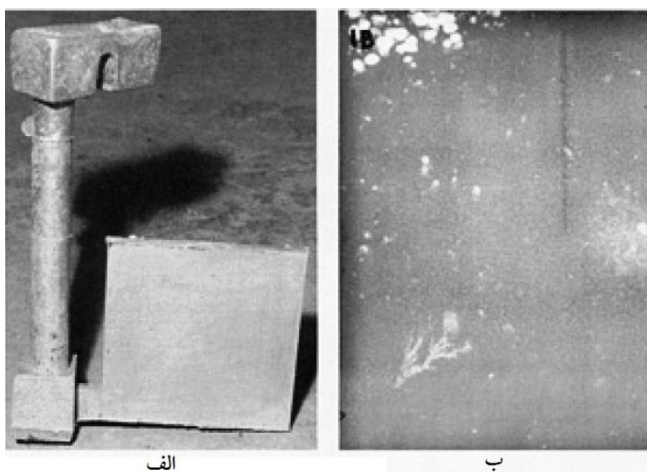
Abstract

Bubble damage is a casting defect related to the air entrainment as a result of unsuitable running system design and surface turbulence. In this work, effects of gate velocity on the formation of bubble damage in Al-5Mg and 413 casting alloys are investigated. Gate velocity was changed by increasing the sprue height and decreasing the ingate area. After casting radiography of plates and three points bend test, on samples taken from plates, was performed. Fractography of samples by SEM and quantitative analysis by EDS were also applied. Results show that size and quantity of entrapped air bubbles are increased as a result of increase in gate velocity. Area fraction and size of bubbles entrained in Al-5Mg alloy seems to be eight folds higher in comparison with 413 Al alloy. This observation confirms the hypothesis of the effect of oxide films thickness on the intensity of bubble damage in various Al alloy.

Keywords: Bubble damage, Radiography, three points bending, SEM, oxide films thickness

مقدمه

قطعه ریخته‌گری معرفی شده‌اند. حوضچه باریز مخروطی، راهگاه باریز موازی و یا با شیب معکوس، وجود انحراف در دیواره شیبدار راهگاه باریز، تعبیه حوضچه پای راهگاه، یکنواختی سطح مقطع راهبار در ورود مذاب به راهبار و قالب و سرعت بالای مذاب هنگام ورود مذاب به محفظه قالب، باعث افزایش آشفته‌گی مذاب و ورود حباب به داخل قالب و قطعه خواهد شد که خروج آن‌ها از قطعه زمان می‌برد [۱۹-۲۳].



الف

ب

شکل ۱ (الف) نمایی از قطعه ریخته‌گری از آلیاژ ۳۵۶ و سیستم راهگاهی متصل به آن. ب تصویر رادیوگرافی از قطعه ریخته شده حاوی حباب‌های هوا که در اثر نوع طراحی سیستم راهگاهی و تلاطم شدید مذاب در محفظه قالب به وجود آمده است [۱۸]

بایستی توجه داشت که عیب حباب زدگی در اثر حضور لایه اکسید جامد سطحی است و بدون آن این عیب احتمال بروز کمی دارد. اندازه‌گیری‌های انجام شده در مورد ضخامت فیلم‌های اکسید سطحی نشان داده است که ضخامت این فیلم تابع ترکیب شیمیایی آلیاژ بوده و در مورد آلیاژهای مختلف آلومینیم ضخامت اکسید دو آلیاژ حاوی سیلیسیم و منیزیم حدود ده برابر تفاوت دارد [۱۹]. با توجه به نقش متغیرهای مختلف در تشکیل عیب حباب زدگی در این تحقیق اثر دو متغیر شامل: نوع آلیاژ و سرعت حرکت مذاب در هنگام ورود به قالب، به عنوان متغیرهای موثر بر عیب حباب زدگی، مورد بررسی قرار گرفت.

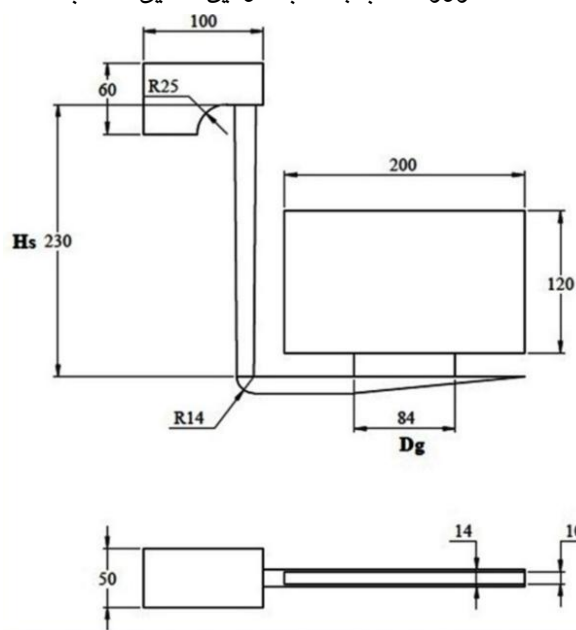
در سال‌های اخیر محققین مختلفی تایید کرده‌اند که منشاء حجم قابل توجهی از عیوب درونی قطعه، ورود فیلم‌های اکسید سطحی جامد به داخل مذاب در اثر تلاطم سطحی است. [۸-۱] در اثر طراحی غلط سیستم راهگاهی، و افزایش سرعت ورودی مذاب به قالب، لایه اکسیدی دچار تلاطم سطحی شده و به صورت دولایه وارد مذاب می‌شوند و به همراه مقدار بسیار کمی هوا محبوس شده، پس از انجماد در داخل قطعه مدفون شده، و به صورت ترک عاملی جهت افت خواص مکانیکی می‌شوند [۹-۱۶]. بر اساس گزارش‌های موجود افزایش سرعت حرکت مذاب از محدوده سرعت بحرانی، یعنی حدود 0.5 m/s ، باعث ایجاد تلاطم شده و عاملی برای ورود فیلم اکسیدی فوق‌الذکر می‌شود. این مطالعات مشخص می‌کند که اعداد بدون بعد فاراد و وبر، می‌توانند رفتار تلاطم سطحی مذاب را بهتر از عدد رینولدز پیش بینی نمایند. در حقیقت تئوری سرعت بحرانی، طی سالهای اخیر، نه تنها با آزمایشات تجربی بلکه به کمک مبانی حرکت سیال بهتر و بیشتر تشریح شده است [۱۷، ۱۸].

شکل ۱- نمونه‌ای از یک قطعه ریخته‌گری تولید شده در شرایط تلاطمی را نشان می‌دهد. این قطعه با سیستم راهگاهی کنار-کف ریز تولید شده و تصاویر رادیوگرافی آن نشان دهنده حجم زیادی از عیب حباب زدگی است. نیمه سمت چپ قطعه نسبت به نیمه راست آن حاوی مقدار بیشتری از عیب ذکر شده است. همچنین نیروی شناوری باعث شده است که حباب‌ها بیشتر در قسمت بالای قطعه تجمع کنند. گاهی در اثر تلاطم شدید، حجم هوای گیر افتاده در بین لایه‌های اکسیدی خیلی زیاد بوده طوری که این فیلم اکسیدی تشکیل یک حباب هوا را می‌دهد. این تصویر که در یکی از منابع معتبر و مهم ریخته‌گری چاپ شده است اهمیت فوق‌العاده عیب حباب زدگی را نشان می‌دهد. [۱۸].

هر عاملی که باعث رفتار غیر تعادلی و تلاطم سطحی شدید مذاب شود عاملی برای ورود حباب‌های هوا به داخل قطعات ریخته‌گری است. در منابع و تحقیقاتی که در این زمینه انجام شده است متغیرهای مختلفی مانند طراحی‌های غلط اجزا سیستم راهگاهی به عنوان عامل ایجاد تلاطم و ورود حباب‌های هوا به

مواد و روش تحقیق

شکل ۲- نقشه ابعاد سیستم راهگامی و قطعه ریخته شده را نشان می‌دهد. مطابق جدول ۱ ارتفاع راهگاه ۲۳۰ و ۵۰۰ میلی‌متر و سطح مقطع راهباره ۱۰۰، ۲۱۰ و ۸۴۰ میلی‌متر مربع در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه ضخامت راهباره برابر ضخامت صفحه، ۱۰ میلی‌متر انتخاب شده است بنابراین عرض راهباره ۲۱۰، ۱۰ و ۸۴ میلی‌متر انتخاب شد. بر اساس جدول ۱-شش حالت، مطابق شش سرعت مختلف ورود مذاب به قالب، در این تحقیق انتخاب شد.



شکل ۲- نقشه سیستم راهگامی طراحی شده

قالب گیری	A_g (mm ²)	H_s (mm)	V_g (m/s)
۱	۸۴۰	۲۳۰	۰.۵
۲		۵۰۰	۰.۷۵
۳	۲۱۰	۲۳۰	۲
۴		۵۰۰	۳
۵	۱۰۰	۲۳۰	۴.۳
۶		۵۰۰	۶.۳

جدول ۱- مقاطع راهباره و ارتفاع راهگاه و سرعت محاسبه شده ورود مذاب به قالب

آماده سازی نوب در کوره گازی با بوته گرافیتی انجام و دمای ریخته‌گری برای هر دو آلیاژ ۷۵۰ سانتیگراد انتخاب شد. بعد از ریخته‌گری، تمیزکاری انجام و با برش سیستم راهگامی نشانه گذاری روی نمونه‌ها صورت گرفت.

در مرحله بعد، رادیوگرافی توسط دستگاه Philips 320kV انجام و درصد سطحی حباب‌ها توسط نرم افزار کلمکس^۱، سنجیده شد. سپس از هر کدام از صفحات، ۶ تسمه هم اندازه به عرض ۱۶ میلی‌متر بریده شد و آزمایش خمش سه نقطه ای، مطابق استاندارد ASTM E256، به وسیله دستگاه SCHENCK/TREBEL انجام گرفت. بیشینه نیروی اعمالی دستگاه برابر ۲۰۰ کیلو نیوتن و نرخ کرنش ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه انتخاب شد. از سطح مقطع شکست نمونه‌ها، تعدادی انتخاب شد تا با ثبت تصاویر به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل WEGA// TESCAN تحلیلی از مورفولوژی عیوب احتمالی و ریز ساختار بدست آید. تعدادی از نمونه‌ها به وسیله آشکارساز طیف انرژی^۲، تحت آنالیز نقطه‌ای قرار گرفت.

نتایج و بحث

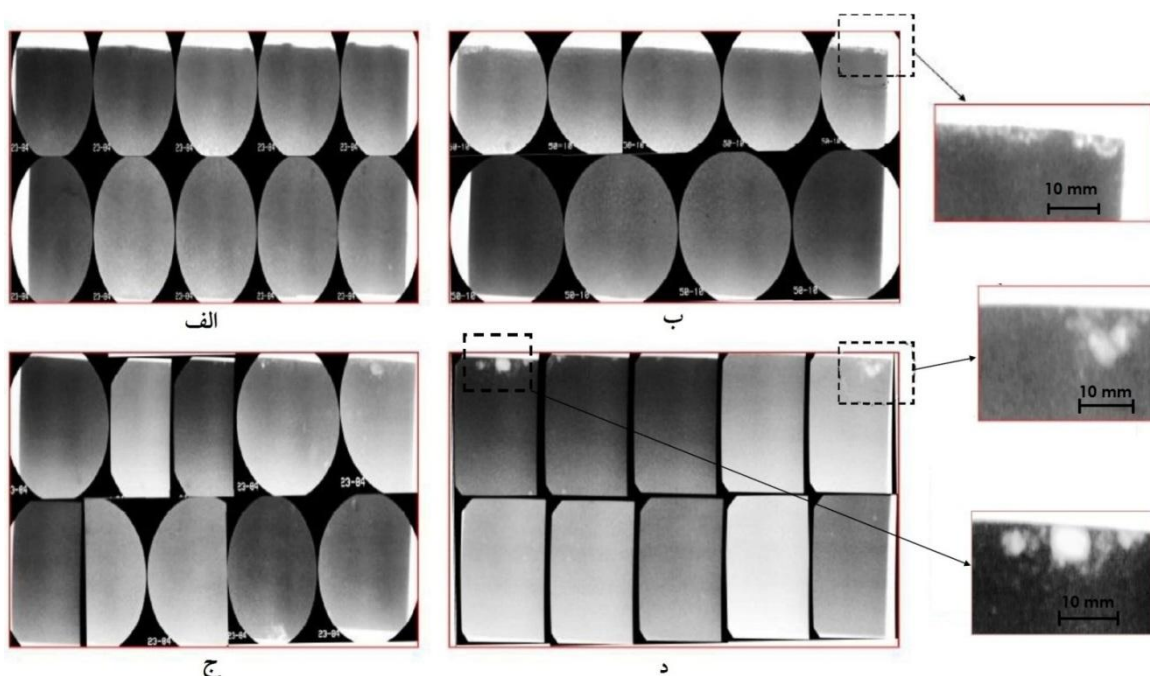
۱- نتایج رادیوگرافی

شکل ۳- نتایج رادیوگرافی از نمونه صفحات ریخته‌گری شده در دو سرعت ۰.۵ و ۶.۳ متر بر ثانیه را نشان می‌دهد. مطابق تصویر تعداد زیادی از حباب‌ها در ناحیه نزدیک سطح بالایی قطعات متوقف شده و برخی از آنها، احتمالاً به کمک نیروی شناوری قوی خود، توانسته‌اند از سطح خارج شوند. در این حالت هوای داخل حباب خالی شده و لاشه‌ای از پوسته اکسیدی در سطح باقی می‌ماند.

بایستی توجه داشت که هوای محبوس شده در یک حباب ایجاد شده در اثر تلاطم، عاملی برای شناوری این حباب و حرکت آن به سمت بالایی قطعه می‌شود. گونه رایج، حباب‌هایی هستند که زیر لایه اکسیدی سطح بالایی قطعه محبوس شده و امکان فرار از سطح قطعه را پیدا نمی‌کنند [۱۹]. تنها عامل بازدارنده فرار این حباب‌ها از مذاب، پوسته‌های اکسیدی تشکیل شده روی سطح قطعه است که به عنوان یک مانع عبور می‌تواند نقش داشته باشد. گزارش شده است که حباب‌های بزرگ در مقایسه با حباب‌های

جدول-۲) آنالیز آلیاژهای ریختگی بر حسب درصد وزنی

Al	Zn	Mg	Mn	Cu	Fe	Si	نام آلیاژ/ عناصر آلیاژی
۹۳/۹۲	۰/۱۱	۵/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۲۷	۰/۵۳	Al-5Mg
۸۷/۳۸	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۱۹	۰/۷۶	۱۱/۰۸	413



شکل ۳) تصاویر رادیوگرافی الف و ب به ترتیب ۰.۵ و ۶.۳ متر بر ثانیه در آلیاژ 413، ج و د به ترتیب ۰.۵ و ۶.۳ متر بر ثانیه در آلیاژ Al-5Mg

ورود به قالب با سرعت به دیواره بالایی برخورد کرده و به مرور ایجاد جریان گردابی می‌کند. نمای ب نشان می‌دهد که این جریان گردابی عاملی برای تولید حباب در دو سمت قطعه می‌شود و در نهایت مطابق تصاویر رادیوگرافی نیروی شناوری قبل از اتمام فرایند انجماد، حباب‌ها را به سمت بالای قطعه حرکت می‌دهد.

شکل- ۵ نشان می‌دهد که با افزایش سرعت ورودی مذاب به محفظه قالب، درصد حجمی حباب‌ها در دو آلیاژ، به طور نسبی، افزایش یافته است. این موضوع نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع راهگاه، مذاب حین سقوط از راهگاه، بیشتر از دیواره جدا شده و در مسیر خود باعث مکش هوا به داخل سیستم راهگاهی شده است. همچنین کاهش سطح مقطع راهبار، سرعت ورود مذاب به محفظه قالب را افزایش داده و با تلاطم سطحی شدید در درون قالب به عنوان عاملی برای ورود فیلم‌های اکسیدی دولایه و

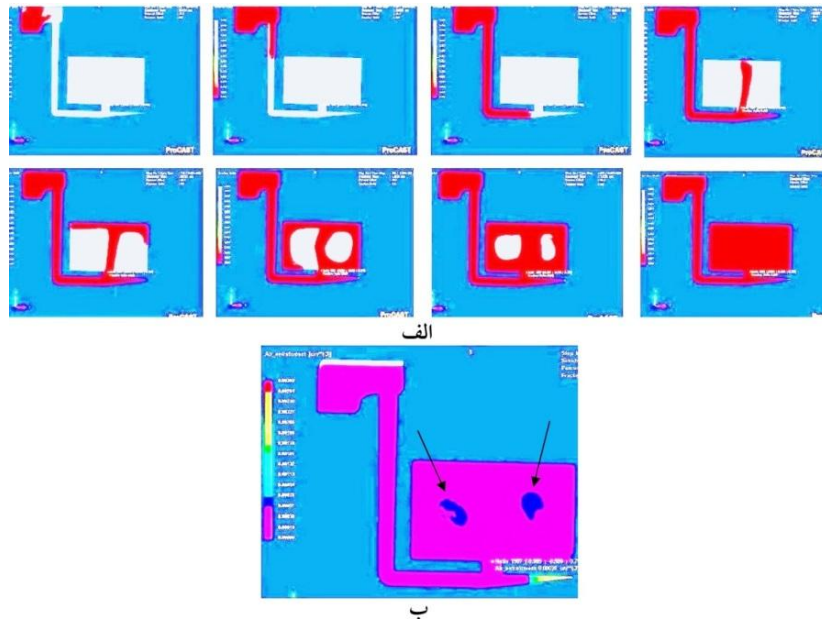
کوچک دارای نیروی شناوری بیشتری بوده و باعث می‌شود حباب نیروی لازم برای شکست لایه اکسیدی خود و پوسته اکسیدی بالای قطعه را داشته و از سطح خارج شوند [۱،۱۹،۲۰].

این تحقیق نشان می‌دهد که حباب‌های با قطر بیشتر از ۵ میلیمتر در زیر پوسته اکسیدی موجود در سطح بالای قطعه متوقف شده‌اند. تجمع حباب‌ها در گوشه‌های سمت چپ و راست بالای قطعه، به جای تجمع در مناطق مرکزی بالای قطعه، حاکی از این است که علاوه بر نیروی شناوری، عامل مسیر جریان جبهه مذاب نیز اهمیت بالایی در موقعیت یابی حباب‌ها دارد.

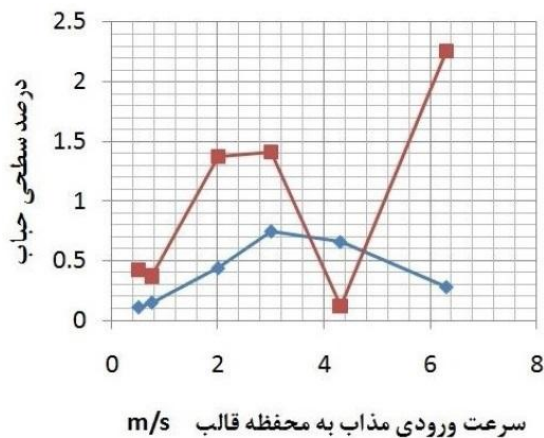
شکل- ۴ نتیجه شبیه سازی حرکت مذاب در قالب را نشان می‌دهد. این شبیه سازی توسط نرم افزار Procast 2014 انجام گرفت. سرعت ورود مذاب به قالب با توجه به ابعاد سیستم راهگاهی ۴/۳ متر بر ثانیه محاسبه شده است. مطابق شکل- ۴ جبهه مذاب بعد از

آلیاژ Al-5Mg به دلیل حضور منیزیم و شدت اکسیداسیون- به مراتب نسبت به آلیاژهای آلومینیم حاوی سیلیسیم بیشتر است و با افزایش ضخامت فیلم اکسیدی، هوای محبوس شده بیشتر می شود [۷، ۱۶].

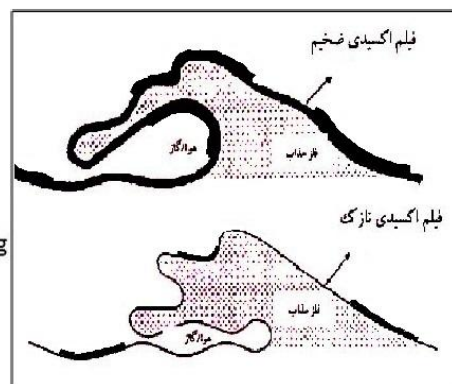
حباب‌های هوا به محفظه قالب عمل کرده است. شکل-۵ همچنین نمودار مقایسه‌ای بین درصد سطحی (حجمی) بین دو آلیاژ را مشخص میکند. نمودار نشان می‌دهد که درصد حجمی حباب‌های محبوس شده در صفحات Al-5Mg به مراتب نسبت به آلیاژ 413 بیشتر است. تحقیقات نشان می‌دهد که ضخامت فیلم اکسیدی در



شکل ۴) شبیه سازی آلیاژ Al-5Mg با سرعت تزئیریک 4.3 m/s (الف) پر کردن قالب (مناطق حبس هوا

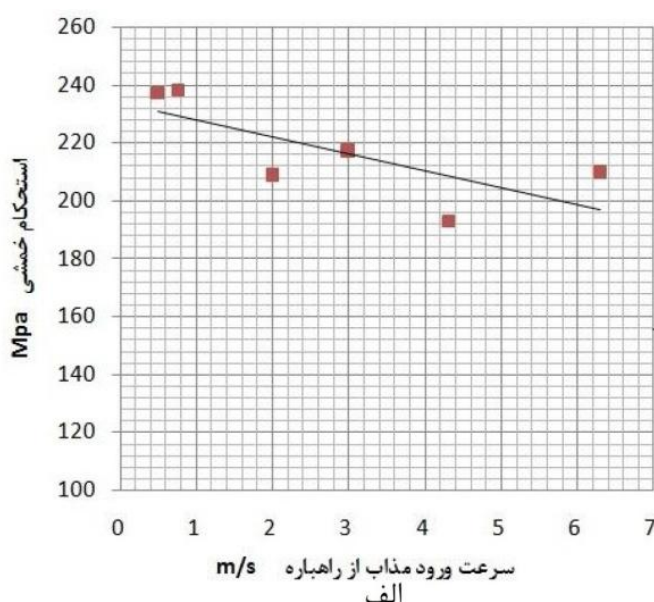
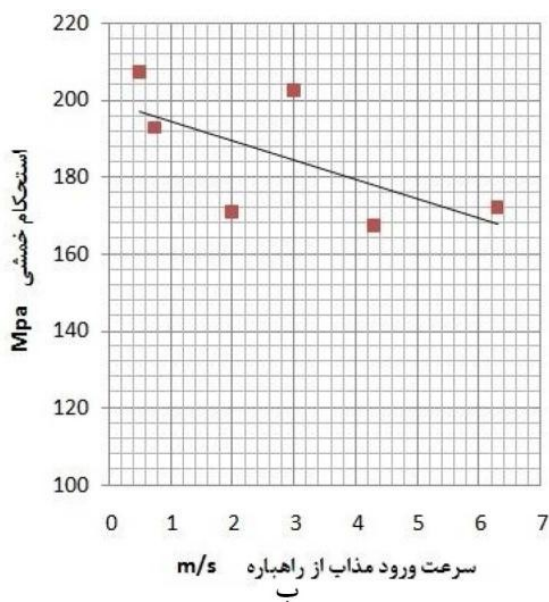


الف



ب

شکل ۵) الف) نمودار درصد سطحی (حجمی) حباب در دو آلیاژ 413 و Al-5Mg (ب) اثر ضخامت فیلم اکسیدی بر روی میزان هوای محبوس در بین آن.



شکل - ۶) نمودار رابطه بین میانگین استحکام نمونه‌ها و سرعت ورودی مذاب به محفظه قالب الف) 413 (ب) Al-5Mg

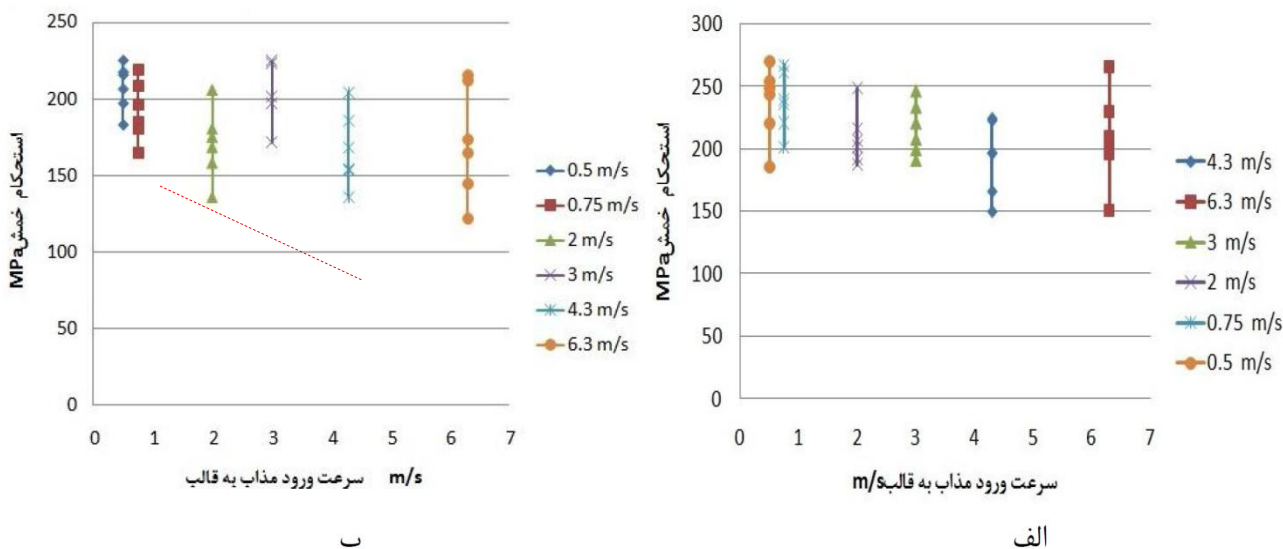
۲- نتایج آزمایش خمش سه نقطه‌ای

بررسی میانگین استحکام خمشی، بیان دیگری از تاثیر سرعت ورودی مذاب به قالب در پیدایش فیلم‌های اکسیدی دولایه به داخل قطعه و نتیجتاً تاثیر آن بر خواص مکانیکی و اعتمادپذیری قطعات است. شکل-۶ روند نسبتاً کاهشی استحکام خمشی با افزایش سرعت ورودی مذاب به قالب را نشان می‌دهد.

یکی از موضوعات مهم و مورد بحث در مورد قطعات ریخته‌گری، ثبات در نتایج آزمون‌های خواص مکانیکی و قابلیت اعتماد به فرایندهای ریخته‌گری است. وجود عیوب ریخته‌گری، به خصوص فیلم‌های اکسیدی دولایه (بیشتر از حفرات هیدروژنی)، موجب پراکندگی و تفرق نتایج مربوط به آزمایشات مکانیکی می‌گردد [۲۴-۲۷]. شکل-۷ میزان تفرق در نتایج و پراکندگی را نشان داده است. با افزایش سرعت ورودی مذاب به محفظه قالب، تفرق در نتایج و به عبارتی دامنه تغییر خواص مکانیکی در نمونه‌ها بیشتر شده است. این خود تا حدود زیادی ماهیت تلاطم را نشان می‌دهد. چراکه با افزایش سرعت ورودی مذاب در هنگام دخول از راهبار به درون قالب، تلاطم مذاب افزایش یافته و

فیلم‌های اکسیدی دولایه و حباب‌های تلاطمی، رفتاری پرنوسان را از نظر خواص مکانیکی بارز می‌کند [۲۸].

در سیستم‌های متلاطم، دو عامل برآیند و متوسط خواص مکانیکی و همچنین قابلیت اعتماد به اعداد مربوط به خواص را کاهش می‌دهد. اول اینکه نیروی درونی؛ مذاب با افزایش سرعت ورودی، افزایش یافته و باعث ایجاد تلاطم سطح و توده مذاب می‌شود. تلاطم توده مذاب عاملی می‌شود تا فیلم‌های اکسیدی دولایه‌ای که بعضاً حاوی بسته‌های هوایی است به صورت ناموزون و نامشخصی در درون قطعه وارد شود. در این وضعیت محتمل است عیوب ذکر شده در هر منطقه‌ای موقعیت یابی کند و پس از انجماد نیز هر جایی از قطعه مدفون شود. بنابراین دومین عامل پس از تولید عیوب بیشتر، جانمایی پرنوسان و غیرقابل پیش بینی آنها در مناطق مختلف یک قطعه ریخته‌گری است. بدین ترتیب اگر رفتار و مکان یابی این عیوب که خواص مکانیکی قطعه را کاهش می‌دهد، قابل پیش بینی و برآوردهای مهندسی نباشد، قابلیت اعتماد به قطعه کاهش یافته و برنامه ریزی تولید را مختل می‌کند [۲۹،۳۰].



شکل ۷- محدوده نتایج استحکام خمشی بر حسب سرعت ورودی مذاب به محفظه قالب. الف) آلیاژ 413 ب) Al-5Mg

۳- تصاویر شکست نگاری

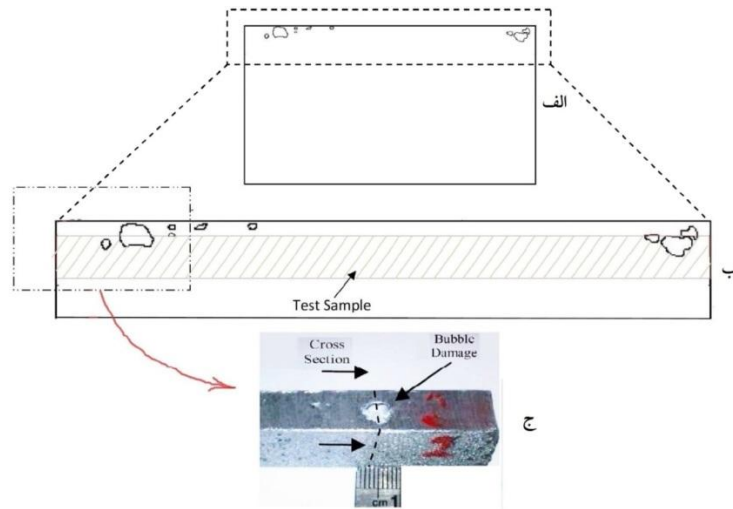
شکل ۸- الف تصویر شماتیک قسمت بالایی تصویر رادیوگرافی، از صفحه ریخته شده با سرعت ۶.۳ متر بر ثانیه از آلیاژ Al-5Mg، و نمای ب تصویر نمونه آزمایش شده را نشان میدهد که حاوی یک حباب تلاطمی است. مطابق تصویر برای مطالعه این حباب، از منطقه مشخص شده برشی اعمال شده و سپس مقطع شکست حاوی حباب توسط میکروسکپ الکترونی روبشی مورد مطالعه قرار گرفت. تصاویر مطالعه در شکل ۹ نشان داده شده است.

شکل ۹ تصاویر SEM مقطع شکست نمونه شکل ۸ را نشان میدهد. تصویر ب بزرگنمایی از تصویر الف است. در تصویر اثر رد حباب تلاطمی دیده میشود که با دقت بر روی سطح داخلی آن میتوان فیلمهای اکسیدی سطحی را مشاهده نمود. این فیلمهای اکسیدی دولایه توسط پیکان نشان داده شده است. تعدادی حفرات انقباضی کوچک نیز در تصویر الف دیده میشود که به لحاظ اندازه و مورفولوژی از حبابهای بزرگ، قابل تمیز هستند. در عیب حباب زدگی ذکر شده که ناشی از دخول حباب هوا و فیلم اکسید سطحی موجود روی آن است، سطح داخلی حباب بر خلاف حفرات انقباضی، حالت منظم تری داشته و از اکسید سطحی چین خورده پوشیده شده است.

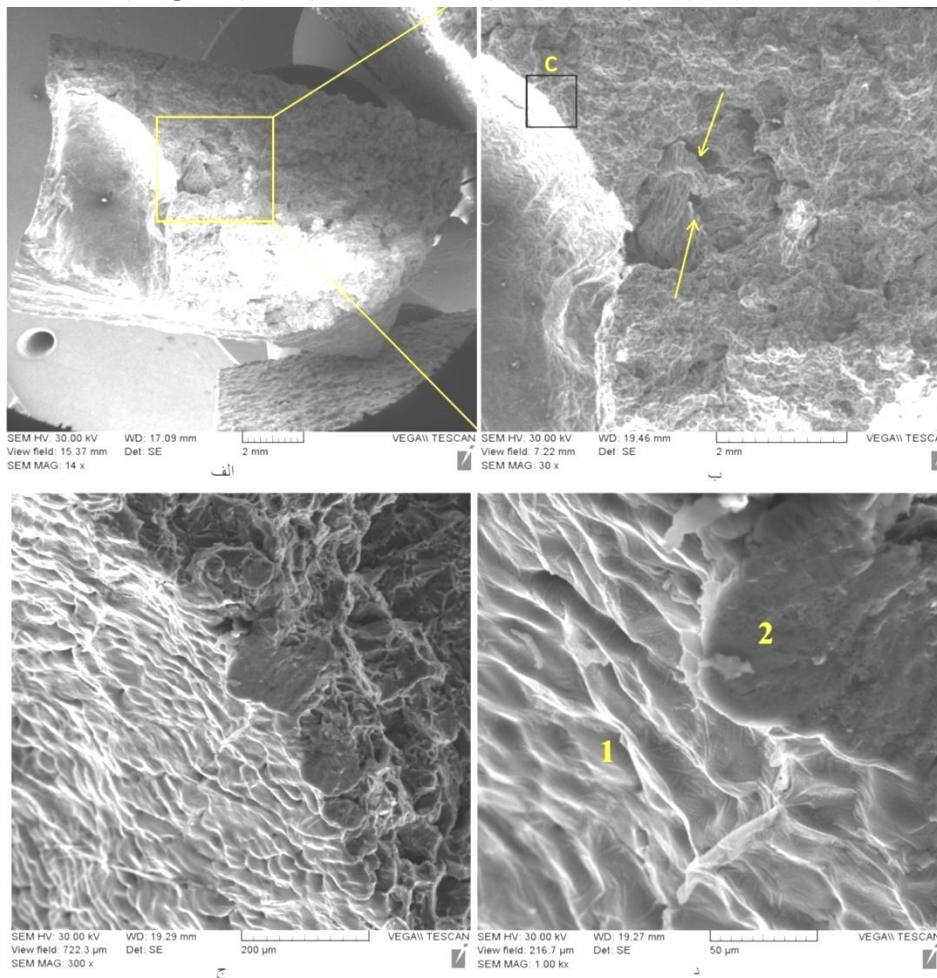
تفاوت مورفولوژی سطوح داخل حباب نسبت به سطوح اطراف آن در تصویر ۹- ج و د دیده میشود. وقتی آلیاژ آلومینیم دارای مقدار کمی منیزیم باشد اکسید سطحی به صورت مخلوطی از $Al_2O_3 \cdot MgO$ ظاهر می شود که به اسپینل معروف است. وقتی درصد منیزیم به بالاتر از ۲ درصد برسد، در آن صورت انتظار می رود اکسید به صورت منیزیای خالص باشد [۳۱]. بنابر این با توجه به ترکیب آلیاژ که حدود ۵٪ منیزیم دارد، اکسید غالب در تصاویر ج و د منیزیا است.

شکل ۱۰ نتایج آنالیز نقطه‌ای از دو نقطه تصویر ۹ را نشان میدهد. نکته مهم در این آنالیز، حضور پیک مربوط به اکسیژن در سطح داخلی حباب تلاطمی در نقطه ۱ است. عدم آنالیز کمی اکسیژن به صورت یک درصد تقریبی، به دلیل شدت کم پیک مربوط به آن است. چرا که نقطه مورد آنالیز در داخل حباب قرار دارد و علاوه بر تمام محدودیتها در شناسایی اکسیژن، باید کمتر شدن شانس رسیدن الکترونهاي اکسیژن به شناساگر EDS را به دلیل پایین تر بودن غیر متعارف نقطه مورد نظر از سطح نمونه نیز مدنظر داشت [۳۲].

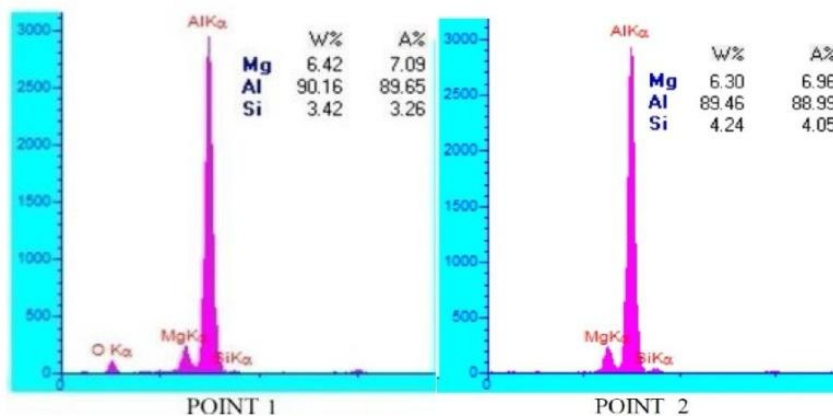
شکل ۱۱ تصاویر SEM مقطع شکست نمونه آلیاژ ۴۱۳ را که با سرعت ورودی ۶.۳ متر بر ثانیه ریخته‌گری شده است را نشان می‌دهد.



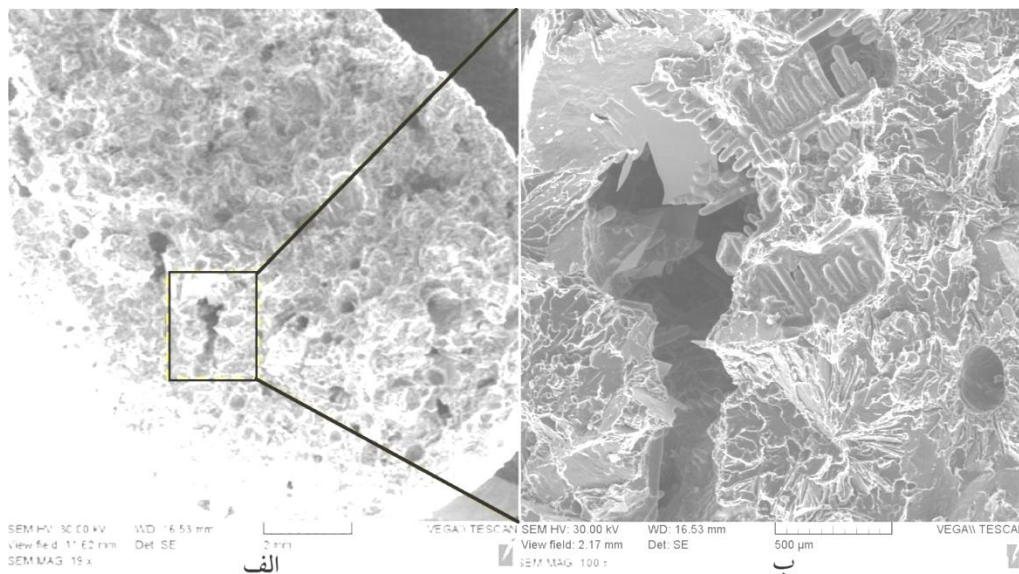
شکل - ۸) الف- نمای شماتیک تصویر رادیوگرافی از صفحه ریخته شده از آلیاژ Al-5Mg با سرعت ۶.۳ متر بر ثانیه حاوی عیب حباب زدگی. ب- بزرگنمایی الف و نشان دهنده نمونه آزمایش خمش حاوی حباب. ج نمونه مورد آزمایش و مقطع عرضی برش جهت مطالعه توسط SEM



شکل - ۹) تصاویر SEM سطح مقطع شکست نمونه شکل ۸. تصویر ب بزرگنمایی الف ، نمایی از رد حباب. حضور فیلم‌های اکسیدی دولایه بایپکان مشخص است . تصویر ج بزرگنمایی از ب، تفاوت مورفولوژی سطوح حباب از سطوح شکست حایز اهمیت است .



شکل - ۱۰) نتایج EDS از نمونه شکل ۹. حضور پیک اکسیژن در نقطه ۱ نشانی از وجود لایه اکسیدی در سطح داخلی حباب



شکل - ۱۱) سطح مقطع شکست آلیاژ 413 با سرعت ورودی مذاب 6.3 m/s. تصویر الف سطح مقطع کامل شکست، حاوی حفرات گازی، انقباضی و عیوب حباب زدگی به همراه رد حباب دنباله دار در مرکز، حفرات گازی دایره‌ای تر و کوچکتر بوده و بیشتر در قسمت‌های بالا و چپ نمای الف دیده می‌شوند. در حالیکه حباب‌ها دارای اشکال نامنظم و احيانا حاوی رد حباب هستند و بیشتر در قسمت‌های پایین و راست نمای الف مشهودند. تصویر ب بزرگنمایی از تصویر الف. نمایی نزدیکتر از عیب حباب زدگی (حباب هوا) گویای فعال شدن مکانیزم‌های انقباضی و پدیدار شدن بازوهای دندریتی است. صفحات صاف و تیغه‌ای سیلیسیم مشهود است.

حباب تلاطمی، حاکی از فعال شدن مکانیزم‌های انقباضی است و بار دیگر این مطلب تایید می‌شود که فیلم‌های اکسیدی چه به صورت دو لایه به هم چسبیده - شبیه ترک - و چه به صورت عیب حباب زدگی، مکان‌های ترجیحی برای جوانه زنی حفرات انقباضی و گازی هستند. مقایسه اشکال ۹ و ۱۱ نشان میدهد ابعاد عیب حباب زدگی در آلیاژ Al-5Mg به مراتب بزرگتر از

در قسمت مرکزی تصویر ۱۱- الف، دو عیب حباب زدگی مشاهده می‌شود که نقطه اشتراک هر دو در این نما، به همراه داشتن رد و یا دنباله است. بزرگنمایی بیشتر نشان میدهد که تشکیل صفحات خشن و اصلاح نشده سیلیسیم در حضور آهن و منگنز به عنوان یک مانع بر سر راه حرکت حباب در مذاب بوده است. ضمناً حضور دندریت‌های فاز آلومینیم اولیه در مجاورت

عیب مزبور در آلیاژ ۴۱۳ است. دلیل این موضوع احتمالا تفاوت در ضخامت فیلم اکسیدی است که بر اساس برآوردهای موجود تا حدود ۱۰ برابر تخمین زده شده است [۷].

نتیجه گیری

۱. نتایج نشان می‌دهد با افزایش سرعت ورودی مذاب به محفظه قالب، میانگین استحکام خمشی نمونه‌های آلیاژ Al-5Mg و 413 کاهش یافته است.
۲. با افزایش سرعت ورودی مذاب به محفظه قالب، تفرق در نتایج و به عبارتی دامنه خواص مکانیکی در نمونه‌ها بیشتر شده است. این خود تا حدود زیادی ماهیت تلاطم را نشان میدهد. چراکه با افزایش سرعت ورودی مذاب از راهباره، تلاطم مذاب افزایش یافته و فیلم‌های اکسیدی دولایه و حباب‌های تلاطمی، رفتاری پرنوسان را نشان میدهد.
۳. در سیستم‌های متلاطم، دو عامل برآیند و متوسط خواص مکانیکی و همچنین قابلیت اعتماد به اعداد مربوط به خواص را کاهش میدهد. اول تولید عیوب مرتبط با فیلم اکسیدی بیشتر و دوم جانمایی پرنوسان و غیرقابل پیش بینی آنها در مناطق مختلف یک قطعه ریخته‌گری است.
۴. با توجه به ابعاد صفحه ریختگی و نتایج رادیوگرافی، اکثر حباب‌های هوا به سمت بالای قطعه حرکت کرده، یا متلاشی و هوای آنها از سطح قطعه خارج شده و لاشه اکسیدی از خود باقی می‌گذارند و یا در زیر لایه سطحی متوقف می‌شوند.

پی‌نوشت‌ها

1. Clemex
2. SEM
3. EDS
4. Intrinsic Force

منابع و مراجع

- 1) J.Campbell , " Complete Casting Handbook , Metal Casting Processes, Metallurgy, Techniques and Design " Published by Elsevier Ltd , First edition 2011
- 2) Mark Jolly "Prof. John Campbell's Ten Rules for Making Reliable Castings" The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society , 2005 , P19-28

- 3) J.Campbell , "An Overview of the Effects of Bifilms on the Structure and Properties of Cast Alloys" Metallurgical Transaction B , VOL 37B, 2006 , pp 857-863
- 4) Modeling Of The Effects of Entrainment Defects On Mechanical Properties In AL-Si-Mg Alloys Castings , Yang Yue , PhD Dissertation , University Of Birmangham , School of metallurgy and materials , 2014
- 5) S. Fox and J.Campbell "Visualation of Oxide Film Defects During Solidification of Aluminium Alloys" Scripta mater. 43 (2000) 881-886
- 6) W.D. Griffiths and N.-W. LAI "Double Oxide Film Defects in Cast Magnesium Alloy" Metallurgical and Materials Tranceactions A VOL 38A, JAN 2007 pp190-196
- 7) M. Divandari and J. Campbell "Morphology of Oxide film of Al-5Mg in Dynamic Condition in Casting" International Journals of Cast Metal Research" 2005 vol. 18 No. 3, pp 187-192
- 8) R.Raiszadeh and W.D. Griffiths "The Effect of Holding Liquid Aluminum Alloys on Oxide Film Content" Metallurgical and Materials Tranceactions B VOL 42B, Feb 2011 P133-143
- 9) D.Dispinar, J.Campbell "Porosity, hydrogen and bifilm content in Al alloy castings" Materials Science and Engineering A 528 (2011) 3860-3865.
- 10) W.D.Griffiths , R. Raiszadeh "Hydrogen, porosity and oxide film defects in liquid Al" J Mater Sci (2009) 44:3402-3407
- 11) D.Dispinar, S.Akhtarb, A.Nordmarka, M. DiSabatino, L.Arnberg "Degassing, hydrogen and porosity phenomena in A356" Materials Science and Engineering A 527 (2010) 3719-3725
- 12) Kittiphan Bangyikhan "Effects of Oxide Film , Fe-rich phase , prosity and their Interaction on Tensile Properties of cast Al-Si-Mg Alloys" University Of Birmangham , 2005
- 13) A.J. Gerrard and W.D. Griffiths "The Formation of Hydrogen Related Porosity by Double Oxide Film Defects in Al Alloys" Shape Casting: 5th International Symposium 2014
- 14) C. Reilly, N.R. Green, and M.R. Jolly "Surface Oxide Film Entrainment Mechanisms in Shape Casting Running Systems" Metallurgical and Materials Tranceactions B VOL 40B, DEC 2009 P 850-858.
- 15) Batool Farhoodi, Ramin Raiszadeh, Mohammad-Hasan Ghanaatian "Role of Double Oxide Film Defects in the Formation of Gas Porosity in Commercial Purity and Sr-containing Al Alloys" Journal of Materials Science & Technology , May 2012
- 16) M. Divandari and J. Campbell "A new Technique for the study of Aluminum Oxide Films" Aluminum Transaction , 2000 , vol2 , pp 233-238
- 17) J.Runyoro , S.M.A Boutorabi , and J.Campbell "Critical Gate Velocity for film Forming casting Alloys" AFS Trans, 1992 pp225-234
- 18) ASM Metals HandBook Volume 15 - Casting .
- 19) M. Divandari and J. Campbell "The Mechanism Of Bubble Damage In Castings" 1t Int Conf . On Gating , filling and feeding of Al Castings , Nashville TN , USA , Oct 11-13 1999 , AFS PP49-63.

- of runner height after filter on their formation" materials Science and Engineering A 548 (2012) 99– 105
- 27) G. Eisaabadi B, P. Davami , S.K. Kim , M. Tiryakioğlu "The effect of melt quality and filtering on the Weibull distributions of tensile properties in Al-7%Si-Mg alloy castings" Materials Science & Engineering A
- 28) J.Mi , R.A.Harding , and J. Campbell "Effects of the Entrained Surface Film on the Reliability of Castings" Metallurgical and Materials Transactions VOL 35A, SEP 2004 P 2893-2902
- 29) X.CAO and J.Campbell , "The Nucleation of Fe-Rich Phases on Oxide Films in Al-11.5Si-0.4Mg Cast Alloys" Metallurgical and Materials Transactions ,Vol 34A, JULY 2003 p1409-1420 .
- 30) Q.G.Wang , C.J.Davidson , J.R.Griffiths and P.N.Crepeau "Oxide Films, Pores and the Fatigue Lives of Cast Aluminum Alloys" , Metallurgical and Materials Transactions B Vol 37B, DEC2006 p887-895 .
- 31) Jorge A.S. Teno Rio And Denise C.R. Espinosa "High Temperature Oxidation Of Al-Mg Alloys" oxidation of metals 2000 , Vol. 53 , pp323-333
- ۳۲) گلستانی فرد فرهاد، بهره ور محمدعلی، اسماعیل صلاحی "روش‌های شناسایی و آنالیز مواد" انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، چاپ اول ۱۳۸۳
- 20) The Mechanism of Bubble Damage in Aluminum Castings , M. Divandari , PhD Dissertation , University Of Birmingham , School of metallurgy and materials , 2000
- ۲۱) جلال حجازی، پرویز دوامی "اطلس عیوب قطعات ریخته‌گری" انتشارات آزاده، چاپ چهارم ۱۳۹۰ .
- ۲۲) جان کمبل "ریخته‌گری پیشرفته" ترجمه : محمدعلی بوتربی، صابر بالی انتشارات دانشگاه علم و صنعت
- ۲۳) دکتر محمدعلی بوتربی و همکاران، نگرشی نوین بر سیستم‌های راهگامی، چاپ سوم انتشارات علم و صنعت، تهران، ۱۳۸۶
- 24) G. Eisaabadi , P.Davami, S.K.Kim , N.Varahram "Effects of hydrogen and oxides on tensile properties of Al-Si-Mg cast alloys" Materials Science and Engineering A 552 (2012) 36–47
- 25) G. Eisaabadi, P. Davami, S.K. Kim, N.Varahram, Y.O.Yoon, G.Y.Yeom "Effect of oxide films, inclusions and Fe on reproducibility of tensile properties in cast Al-Si-Mg alloys: Statistical and image analysis" Materials Science & Engineering A 558 (2012) 134–143
- 26) Ghasem Eisaabadi Bozchaloeia, Naser Varahrama, Parviz Davami, Shae Kwang Kim "Effect of oxide bifilms on the mechanical properties of cast Al-7Si-0.3Mg alloy and the roll