

**بررسی تأثیر سرعت ورود مذاب به محفظه‌ی قالب بر چقرمگی شکست آلیاژ منیزیم AZ91\***

حمیدرضا سعادت‌فی (۱) مهدی میرزایی (۲) سید حسین رضوی (۳) سیدمحمدعلی بوتراپی (۴)

**چکیده**

بر روی سطح مذاب آلیاژهای منیزیم به دلیل داشتن نرخ بالای اکسایش، به سرعت یک لایه‌ی اکسیدی تشکیل می‌شود. لایه‌های اکسیدی در نتیجه‌ی تلاطم سطحی وارد مذاب می‌شوند، و به دلیل فصل مشترک ناپیوسته‌اشان، درون قطعه باقی مانده و بر خواص مکانیکی و اعتمادپذیری قطعات ریختگی تأثیر منفی می‌گذارند. در این پژوهش، تأثیر سرعت بحرانی و دو سرعت بالاتر از آن بر چقرمگی شکست بررسی شده است. نتایج نشان دادند که افزایش سرعت از میزان بحرانی آن موجب کاهش چقرمگی شکست قطعات می‌شود، به طوری که افزایش سرعت از  $0.4 \text{ m/s}$  (سرعت بحرانی) به  $3.0 \text{ m/s}$  چقرمگی شکست را تا حدود ۴۰ درصد کاهش داد. افزون بر این، با افزایش سرعت ورود مذاب درون قالب تا  $1.0 \text{ m/s}$  و  $3.0 \text{ m/s}$ ، مدول ویبول از میزان  $13.34$  به ترتیب به مقادیر  $7.28$  و  $4.93$  کاهش یافته و پراکندگی نتایج بیش‌تر شد. تصویرهای SEM نشان دادند که با افزایش سرعت از حد سرعت بحرانی، مقدار و اندازه‌ی لایه‌های اکسیدی به شدت افزایش می‌یابند. افزون بر این، در سرعت‌های بالاتر از سرعت بحرانی لایه‌های دوتایی در سطح مشاهده شدند، و این به دلیل تلاطم سطحی بسیار بالای مذاب در سرعت‌های بالاتر بوده است. بررسی سطح مقطع شکست نشان داد که فرایند شکست در نمونه‌ی ریخته‌گری شده با سرعت بالاتر از سرعت بحرانی از نوع ترد است، در حالی که سازوکار شکست در سرعت بحرانی از نوع نرم بوده است.

**واژه‌های کلیدی** سرعت بحرانی، تلاطم سطحی، لایه‌ی اکسیدی، آلیاژ منیزیم AZ91، چقرمگی شکست.

## The Effect of Velocity of the Melt Entering the Die Cavity on Fracture Toughness of AZ91 Magnesium Alloy

H.R. Saadatifar

M. Mirzaei

S.H. Razavi

S. M. A. Boutorabi

**Abstract**

Magnesium alloys in liquid-phase condition form surface oxide films due to their high rate of oxidation. Oxide films enter the melt as a result of surface turbulence, and remain inside the workpiece after solidification. The incoherent nature of their interface causes decreases in mechanical properties and reliability of castings. The effect of critical velocity and greater velocities of entering the melt into the die cavity on fracture toughness has been studied in this research. Results indicated that an increase in the velocity decreases the fracture toughness, e.g. an increase of the velocity from  $0.4 \text{ m/s}$  (critical gate velocity of magnesium alloys) to  $3.0 \text{ m/s}$  decreases the fracture toughness for about 40%. Furthermore, increasing the velocity of melt entering the mold from  $0.4 \text{ m/s}$  to  $1.0$  and  $3.0 \text{ m/s}$  resulted in a decrease in the Weibull modulus from  $13.34$  to  $7.28$  and  $4.93$ , respectively, and consequently, caused the results to be more scattered. SEM micrographs showed that increasing the velocity beyond the critical value increases significantly the quantity and size of the oxide films. Moreover, for the case of speeds greater than the critical value, double-layer films are observable due to considerable surface turbulence of the melt. Analysis of the fractured surfaces also showed that the failure mode of specimens produced using velocities greater than the critical value is of brittle type, whereas it was found to be ductile for the case of critical velocity.

**Key Words** critical velocity, surface turbulence, oxide film, magnesium alloy AZ91, fracture toughness.

\* نسخه‌ی نخست مقاله در تاریخ ۸۹/۱۰/۱ و نسخه‌ی پایانی آن در تاریخ ۹۱/۴/۳۱ به دفتر نشریه رسیده است.

(۱) نویسنده‌ی مسئول: دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران

(۲) دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران

(۳) استاد دانشکده‌ی مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران

(۴) استاد دانشکده‌ی مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران

## مقدمه

امروزه کاربرد آلیاژهای منیزیم در سازه‌های سبک و قابل اعتماد از اهمیت بسیاری برخوردار شده است. چگالی فلز خالص منیزیم تقریباً دوسوم آلومینیم و یک چهارم آهن است. آلیاژهای منیزیم دارای مزایای ویژه‌ای هستند از جمله چگالی پایین، قابلیت بسیار خوب جذب ارتعاش، قابلیت ماشین‌کاری مناسب، انقباض ریخته‌گری کم، ثبات ابعادی بسیار خوب، استحکام ویژه‌ی بالا، عدم فرسایش در قالب، گرمای ذوب کم، حافظت خوب در برابر امواج الکترومغناطیس. با این وجود، نقاط ضعفی هم از جمله مقاومت ناکافی، ازدیاد طول کم، مقاومت کم در برابر گرما و آسیب پذیری در برابر خوردگی دارند [1,2,3].

لایه‌های اکسیدی نقش مخربی بر خواص مکانیکی آلیاژهای منیزیم دارند. گزارش شده است که لایه‌های اکسیدی می‌توانند استحکام و مقاومت به خستگی قطعات ریخته‌گری را به میزان قابل توجهی کاهش دهند [4]. در ریخته‌گری آلومینیم، رعایت سرعت بحرانی باعث تولید قطعات ریخته‌گری با کیفیت و با خواص مکانیکی بهتر می‌شود [5].

صدمات ناشی از ورود مذاب متلاطم به محفظه‌ی قالب از دیدگاه‌های مختلف بررسی شده است. از سال ۱۹۵۰ میلادی، تحقیقات بر روی سرعت بحرانی توسط ایوت و استوود شروع شده است [6]. رانیرو، بوتراپی و گمبل در سال ۱۹۹۲ با استفاده از فیلم‌برداری فوران آزاد مذاب، سرعت بحرانی را برای فلز آلومینیم نسبتاً خالص برابر با ۰/۵ m/s اندازه‌گیری کردند [5]. بحرینیان سرعت بحرانی آلیاژ منیزیم ZK51 را به‌روش فوران آزاد برابر با ۰/۵ m/s و در شرایط ورود به قالب برابر با ۰/۳ m/s اندازه‌گیری کرد [۷]. میرک نشان داد که تغییر مرفولوژی جبهه‌ی مذاب از حالت لایه‌ای به قارچی شکل در محدوده سرعت ۰/۳-۰/۵ m/s انجام شده و در سرعت‌های بالاتر از ۱ m/s، مرفولوژی جبهه مذاب به‌شکل فورانی درآمده و در این شرایط، اختلاط

لایه‌های سطحی با لایه‌های زیرین حتمی است [۸]. چقرمگی شکست یکی از خواص مکانیکی است که کم‌تر در تحقیقات به آن پرداخته می‌شود. چقرمگی شکست، قابلیت مواد در جذب انرژی و تغییر شکل موم‌سان قبل از شکست را نشان می‌دهد. در این تحقیق، به جنبه‌های مختلف تأثیر سرعت ورود مذاب به قالب بر روی چقرمگی شکست آلیاژ منیزیم AZ91 پرداخته شده است. این آلیاژ یکی از آلیاژهای مهم ریخته‌گری است که در این تحقیق، نقش سرعت بحرانی بر روی چقرمگی شکست آن مطالعه می‌شود.

## روش تحقیق

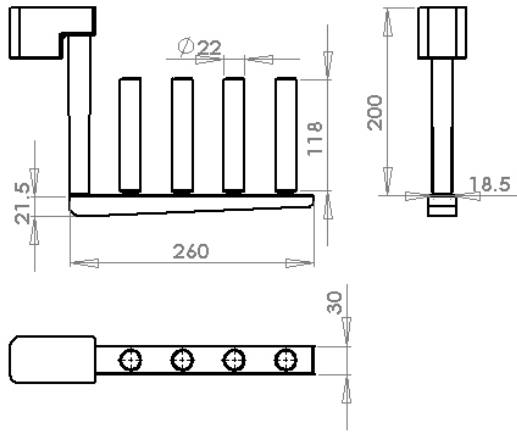
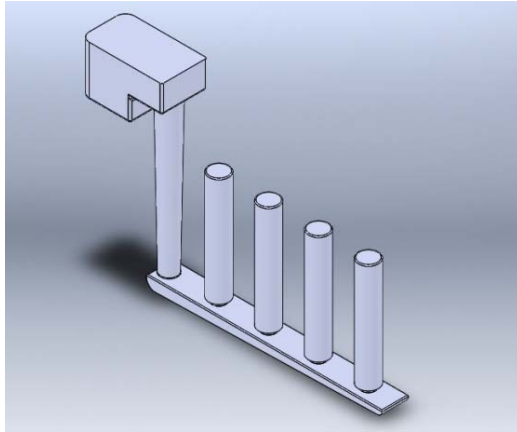
در این تحقیق، آلیاژ منیزیم - آلومینیم (AZ91) با ترکیب شیمیایی نشان داده شده در جدول (۱) مورد مطالعه قرار گرفته است. برای طراحی سیستم راه‌گاهی از نمودار گمبل استفاده شد. ابتدا آهنگ پر شدن قطعه به میزان  $0/6 \text{ Kgs}^{-1}$  تعیین شد. با استفاده از این نمودار، مساحت بالای راه‌گاه بارریز برای قطعه‌ای به جرم  $1/15 \text{ Kgs}^{-1}$ ، برابر با  $500 \text{ mm}^2$  یا دایره‌ای به قطر  $25 \text{ mm}$  به دست آمد. مساحت راه‌باره برای این شرایط برابر با  $650 \text{ mm}^2$  تعیین شد. افزون بر این، با در نظر گرفتن ارتفاع بارریزی به اندازه‌ی  $200 \text{ mm}$ ، مساحت پایین راه‌گاه بارریز تقریباً برابر با  $270 \text{ mm}^2$  یا دایره‌ای به قطر  $18/5 \text{ mm}$  تعیین شد.

جدول ۱ ترکیب شیمیایی آلیاژ AZ91 ریخته‌گری شده

عنصر آلیاژی	Al	Zn	Mn	Si	Cu	Mg
درصد وزنی	۸/۱	۰/۹۷	۰/۲۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۹۰/۶۱

سطح مقطع راه‌بار مستطیل شکل به‌گونه‌ای طراحی شد که نسبت عرض به ضخامت آن ۲ به ۱ باشد [۹]. بر این مبنا، مساحت به دست آمده برای راه‌بار برابر با  $650 \text{ mm}^2$ ، و عرض و ضخامت آن به ترتیب برابر با ۳۰ و  $21/5$  میلی‌متر تعیین شد. افزون بر این،

شدند (شکل ۲).



شکل ۱ طرح سیستم راه‌گاهی پرشونده از زیر برای ساخت نمونه‌های آزمون مکانیکی

از یک فلاکس با نام تجاری مگرکس (Magrex) برای حفاظت منیزیم در برابر اکسایش استفاده شد. فلاکس از دمای حدود  $400^{\circ}\text{C}$  به شارژ کوره افزوده شد تا از ابتدا بتواند اکسیژن را از محفظه‌ی کوره حذف کند. بارریزی در دمای  $740^{\circ}\text{C}$  و پس از عملیات شلاکه‌گیری انجام شد. برای این منظور، از یک بوتله‌ی فولادی  $500$  گرمی پیش گرم شده استفاده شد.

برای بررسی تأثیر سرعت ورود مذاب آلیاژ منیزیم به درون قالب بر چقرمگی شکست، از آزمون کشش برای اندازه‌گیری استحکام نمونه‌های استاندارد بدون شیار و شیاردار استفاده شد. نمونه‌های استاندارد مطابق

سطح مقطع راه‌باره برای جاری شدن یک‌نواخت مذاب درون آن، به شکل کاهشی طراحی شد.

با توجه به این‌که در این تحقیق، ریخته‌گری می‌باید با سرعت بحرانی و دو سرعت دیگر انجام می‌شد، سرعت  $0.4\text{ m/s}$  به عنوان سرعت بحرانی، و سرعت‌های بالاتر به میزان‌های  $1.0\text{ m/s}$  و  $3.0\text{ m/s}$  انتخاب شدند. با توجه به معادلات مکانیک سیالات، قطر راه‌باره برای رسیدن به این سرعت‌ها محاسبه شد. برای رسیدن به سرعت بحرانی  $0.4\text{ m/s}$  و دو سرعت دیگر،  $1.0\text{ m/s}$  و  $3.0\text{ m/s}$ ، قطر هر یک از راه‌باره‌ها در هر حالت به ترتیب برابر با  $1.6/5$ ،  $10/4$  و  $6$  میلی‌متر تعیین شد. با در نظر گرفتن مجموعه اطلاعات ذکر شده، سیستم راه‌گاهی شکل (۱) طراحی شد.

مدل چوبی مورد نظر برای ساخت قطعه، بر اساس نتایج محاسبات فوق‌الذکر طراحی شد. بر این مبنا، مدل چوبی به گونه‌ای طراحی شد تا سطح جدایش در قالب‌گیری به صورت افقی و در ریخته‌گری به صورت عمودی باشد تا به این وسیله، پر شدن قالب از زیر و به صورت ته‌پر تضمین شود.

کوره‌ی ذوب مورد استفاده در این تحقیق از نوع مقاومتی بود، و محفظه‌ی آن به شکل استوانه‌ای به عمق  $0.5$  متر و قطر دهانه‌ی  $0.3$  متر بود. افزون بر این، مذاب در یک بوتله‌ی گرافیتی به ظرفیت  $20$  کیلوگرم منیزیم تهیه شد. در مرحله‌ی قالب‌گیری، ترکیبی از ماسه‌ی سیلیسی با  $4$  درصد چسب سیلیکات سدیم و  $0.5$  درصد پودر گوگرد خشک در یک دستگاه مخلوط‌کن به ظرفیت  $200$  کیلوگرم به مدت  $5$  دقیقه مخلوط شدند. پس از پایان مراحل آماده‌سازی، دو لنگه از قالب‌ها بر روی هم قرار گرفتند. پس از آن، قالب‌ها از زیر و رو بر روی صفحه‌های فلزی قرار داده شدند و با استفاده از گیره به آن‌ها قفل شدند. سپس، به صورت عمودی بر روی یک سطح نرم ماسه‌ای قرار داده شدند، و به این ترتیب برای انجام ریخته‌گری آماده

با استاندارد ASTM E602 و ASTM B646،

ماشین کاری شدند.

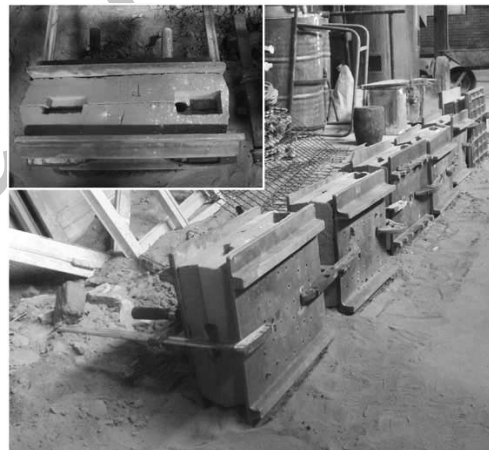
نتایجی که بر اساس استاندارد ASTM B646 به دست می آید، معیار بسیار خوبی برای چقرمگی شکست ماده هستند. با استفاده از نتایج آزمون کشش، استحکام کششی نمونه های شیاردار و استحکام تسلیم نمونه های بدون شیار تعیین می شود. پس از آن، نسبت استحکام کششی نمونه ای استاندارد شیاردار (NTS) به استحکام تسلیم نمونه ای استاندارد بدون شیار (TYS) تعیین می شود. این نسبت به اختصار با NYR یا (NTS/TYS) نشان داده می شود. این نسبت به عنوان معیاری معتبر برای چقرمگی شکست ( $K_{IC}$  یا  $K_Q$ ) در نظر گرفته می شود.

### نتایج و تحلیل

نتایج نشان می دهند که مقادیر استحکام تسلیم نمونه های بدون شیار در سرعت ورود مذاب به قالب برابر با  $0.4 \text{ m/s}$ ، در محدوده  $96.2 \text{ MPa}$  تا  $144.2 \text{ MPa}$   $116.5$  تغییر می کنند، در حالی که این دامنه ی تغییرات در سرعت  $3.0 \text{ m/s}$  بین  $83.2 \text{ MPa}$  و  $144.2 \text{ MPa}$  قرار دارد. افزون بر این، مقادیر استحکام کششی نمونه های شیاردار ریخته گری به ازای سرعت  $0.4 \text{ m/s}$ ، در محدوده  $91.8 \text{ MPa}$  تا  $94.1 \text{ MPa}$  قرار دارد، ولی دامنه ی تغییرات آن در سرعت  $3.0 \text{ m/s}$  بین  $59.9$  و  $91.1 \text{ MPa}$  قرار گرفته است.

نتایج مربوط به چقرمگی شکست نمونه ها که از تقسیم استحکام کششی نمونه های شیاردار به استحکام تسلیم نمونه های بدون شیار (NTS/TYS) به دست آمده اند، برای سرعت ریخته گری  $0.4 \text{ m/s}$  بین  $0.81$  تا  $0.97$  متغیر است (با میانگین  $0.88$ ). این در حالی است که برای سرعت های ریخته گری  $1.0 \text{ m/s}$  و  $3.0 \text{ m/s}$ ، به ترتیب در دامنه ی  $0.73$  تا  $0.95$  و  $0.58$  تا  $0.94$  تغییر می کنند (با میانگین های به ترتیب  $0.84$  و  $0.73$ ).

نتایج نشان می دهند که با افزایش سرعت ورود مذاب به قالب، اختلاف استحکام تسلیم نمونه های بدون شیار بیش از  $2/5$  برابر افزایش یافته است. این اختلاف در نمونه های شیاردار به بیش از  $12$  برابر رسیده است. شکل (۳) و (۴) نمودارهای استحکام تسلیم نمونه های بدون شیار و استحکام کششی نمونه های شیاردار را در سرعت های مختلف ریخته گری نشان می دهند. اختلاف بین استحکام تسلیم نمونه های بدون شیار در سرعت های بالاتر از سرعت بحرانی به دلیل افزایش لایه های اکسیدی حاصل از جریان مذاب و تلاطم سطحی بیش تر آن هنگام ورود به قالب، ایجاد شده است. این باعث می شود تا لایه های اکسیدی به مقادیر بیش تر و به صورت پراکنده



شکل ۲ قالب های آماده شده برای ریختن مذاب

تأثیر سرعت ورود مذاب بر پراکنده ی مقادیر چقرمگی شکست نمونه های ریخته گری با استفاده از مدل توزیع جمعی ویبول بررسی شد. در تحلیل ویبول، کسر تجمعی نمونه ها بر اساس رابطه ی زیر محاسبه شد:

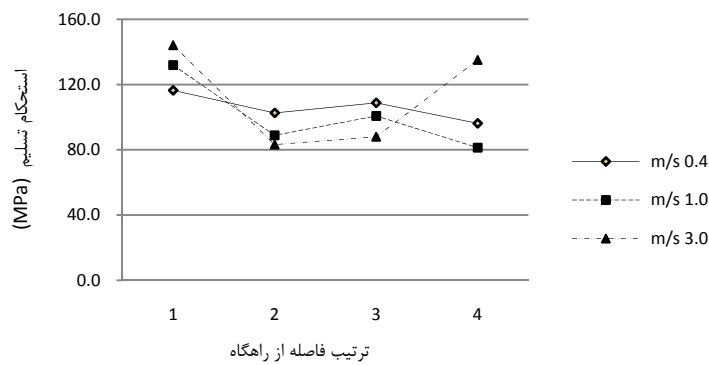
$$F_w = \frac{n - \frac{0}{3}}{N - \frac{0}{4}} \quad (1)$$

و شیب هر خط به عنوان مدول ویبول برای هر نمونه با رسم نمودار تغییرات  $\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F_w}\right)\right)$  بر حسب

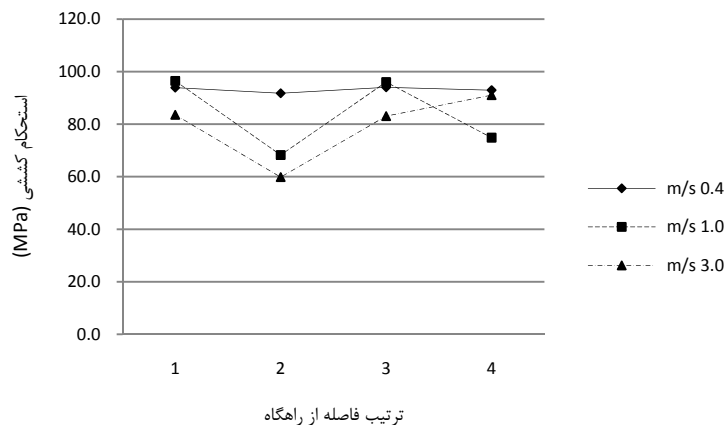
برابر است. وجود هرگونه ناپیوستگی درون قطعه باعث می شود تا تنش در ناحیه ی نزدیک به آن بیش از تنش متوسط در فاصله های دور از آن شود. بنابراین، تمرکز تنش در ناپیوستگی یا منبع تنش رخ می دهد. با حضور شیار در یک جسم، تنش موضعی بیشینه ای در نوک آن ایجاد می شود. با این حال، تأثیر مهم و اصلی شیار ایجاد تمرکز تنش نیست، بلکه ایجاد تنش سه محوری در مجاورت خود است. افزون بر این، وجود شیار در یک جسم با ایجاد کارسختی موضعی زیاد و ترک خوردگی و نیز، با ایجاد نرخ کرنش موضعی زیاد، تمایل به شکست ترد را در ماده افزایش می دهد.

تصادفی در قطعه توزیع شوند. بنابراین، در نمونه هایی که تجمع لایه های اکسیدی در بخش شکست آن بیش تر است، استحکام بیش تر کاهش می یابد و برعکس، در قطعاتی که لایه های کم تری در مقطع شکست توزیع شده اند، استحکام بیش تری به دست می آید. به این ترتیب، اختلاف استحکام در نمونه هایی که با سرعت بیش تری از سرعت بحرانی وارد قالب می شوند، توجه می شود.

اختلاف استحکام کششی در نمونه های شیاردار بسیار بیش تر دیده می شود، به گونه ای که در هر دو سرعت  $1/0$  m/s و  $3/0$  m/s، میزان اختلاف حدود ۱۲



شکل ۳ نمودار مقایسه ای استحکام تسلیم نمونه های بدون شیار به ازای سرعت های مختلف ورود مذاب به قالب



شکل ۴ نمودار مقایسه ای استحکام کششی نمونه های شیاردار به ازای سرعت های مختلف ورود مذاب به قالب

دشته باشد، مقدار به دست آمده بسیار نزدیک به مقادیر ذکر شده در مراجع است [12]. همان گونه که در شکل (۵) مشاهده می شود، میزان پراکندگی چقرمگی شکست در سرعت  $0.4 \text{ m/s}$  بسیار کم تر از سرعت های بالاتر از سرعت بحرانی است، به گونه ای که اختلاف بزرگ ترین و کوچک ترین مقدار چقرمگی شکست در نمونه های مختلف به ازای سرعت بحرانی برابر با  $0.16$  می باشد، و برای دو سرعت دیگر به ترتیب با رشد  $37$  و  $125$  درصد، به مقادیر  $0.22$  و  $0.36$  افزایش یافته است. همان طور که قبل از این ذکر شد، کاهش چقرمگی شکست و افزایش پراکندگی آن در سرعت های بالاتر از سرعت بحرانی به دلیل وجود تلاطم سطحی بیش تر در مذاب وارد شده به قالب در سرعت های بالاتر از سرعت بحرانی است. افزایش تلاطم مذاب در هنگام ورود به قالب به معنی اکسایش بیش تر مذاب و ورود بیشتر اکسیدها و لایه های دوگانه درون قالب است. افزایش بیش تر این ناخالصی ها درون قطعه به معنی وجود ریز ترک های بیش تر در قطعه است که باعث کاهش چقرمگی شکست می شوند.

بررسی تصویرهای SEM نشان می دهد که افزایش حضور لایه های اکسیدی با افزایش سرعت ورود مذاب درون قالب متناسب است. در شکل (۶)، تصویرهای مقطع شکست نمونه ی ریخته گری شده با سرعت  $0.4 \text{ m/s}$  نشان داده شده اند. در این تصویرها، دندریت ها و محل های جدایش آن ها به همراه لایه های اکسیدی ضعیف و حفره های انقباضی قابل مشاهده اند. همان گونه که مشاهده می شود، اگرچه در سرعت بحرانی شکست در بخش کوچکی از مناطق و در امتداد لایه های اکسیدی رخ داده است، ولی بیش تر از محل جدایش دندریت ها اتفاق افتاده است.

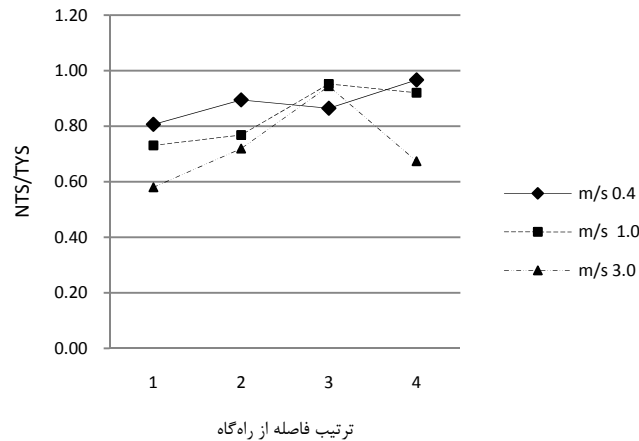
در نمونه هایی که در آن ها مذاب با سرعتی بالاتر از سرعت بحرانی پر شده است، اگر لایه های اکسیدی در محل شکست توزیع شده باشند، شیار با ایجاد تمرکز تنش در رأس لایه ی اکسیدی و لایه ی دوتایی باعث می شود تا ترک حاصل از آن به سرعت گسترش یابد. در این شرایط، نمونه با تنش کم تری تسلیم شده و شکست رخ می دهد. بنابراین، اختلاف استحکام تسلیم بیش تری در نمونه های شیاردار به وجود می آید. همان طور که در شکل های (۳) و (۴) مشاهده می شود، پراکندگی در استحکام تسلیم نمونه های ریخته شده در سرعت بحرانی به دلیل سالم تر بودن آن ها و حضور بسیار کم تر لایه های اکسیدی در آن ها، چه در حالت بدون شیار و چه شیاردار، بسیار کم تر دیده می شود. برعکس، پراکندگی استحکام تسلیم در سرعت های بالاتر بسیار بیش تر مشاهده می شود. در شکل (۵)، نمودارهای تغییرات NTS/TYS به صورت مقایسه ای آورده شده است. افزون بر این، مقادیر میانگین NTS/TYS به ازای سرعت های مختلف ریخته گری در جدول (۲) آمده اند.

جدول ۲ مقادیر میانگین نسبت NTS/TYS به ازای سرعت های

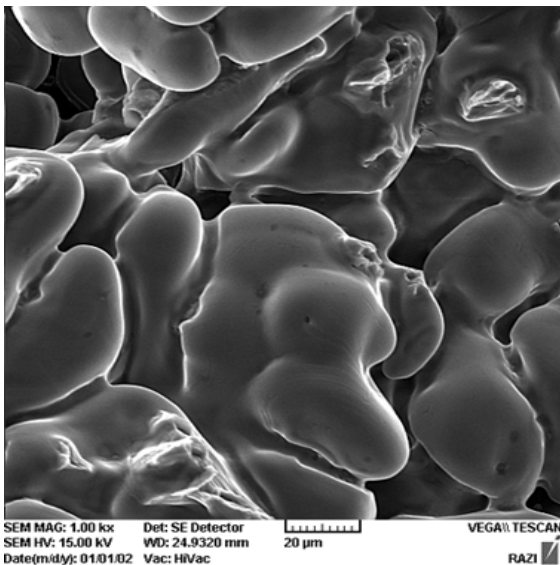
مختلف ریخته گری

میانگین NTS/NYS	سرعت ورود مذاب به قالب m/s
۰/۸۸	۰/۴
۰/۸۴	۱/۰
۰/۷۳	۳/۰

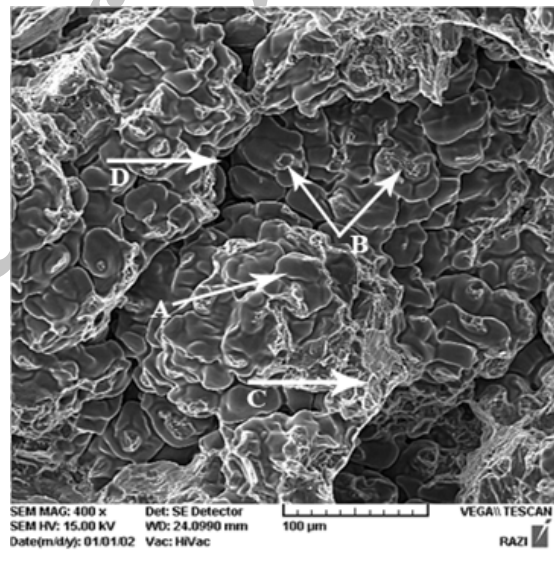
همان طور که دیده می شود، مقدار میانگین چقرمگی شکست نمونه های ریخته گری شده با سرعت  $0.4 \text{ m/s}$  بزرگ تر از دو سرعت دیگر است. افزون بر این، با افزایش سرعت ورود مذاب به قالب چقرمگی شکست کاهش یافته است. در صورتی که سرعت ورود مذاب به قالب در محدوده ی سرعت بحرانی قرار



شکل ۵ نمودار مقایسه‌ای مقادیر NTS/TYS به دست آمده در سرعت‌های مختلف ورود مذاب درون قالب



(ب)



(الف)

شکل ۶ تصویرهای مقطع شکست نمونه‌ی ریخته‌گری شده با سرعت  $0.4 \text{ m/s}$ ؛ (الف) بزرگ‌نمایی ۴۰۰ برابر، (ب) بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ برابر. (A) دندریت‌ها، (B) محل‌های جدایش دندریت‌ها، (C) لایه‌های اکسیدی ضعیف، (D) حفره‌های انقباضی

در سرعت‌های بالا قابل مشاهده‌اند، ولی پراکنندگی بسیار زیاد لایه‌های اکسیدی مانع از مشاهده‌ی واضح آن‌ها شده است.

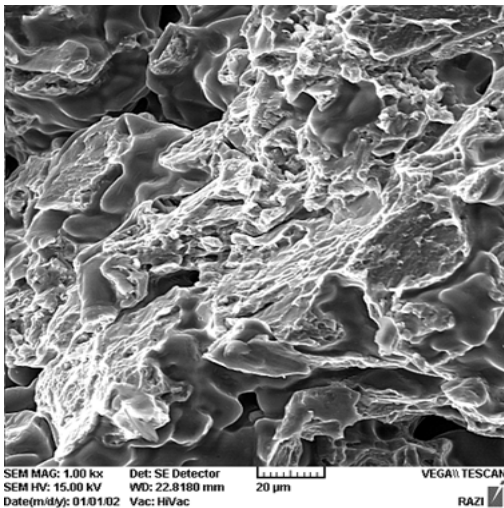
با این‌که میزان لایه‌های اکسیدی در سرعت  $3/0 \text{ m/s}$  در مقایسه با سرعت  $0.4 \text{ m/s}$  بسیار پیش‌تر

در تصویرهای شکل (۷)، مقطع شکست نمونه‌ی ریخته‌گری شده با سرعت  $3/0 \text{ m/s}$  نشان داده شده است. در این تصویرها، حضور بسیار زیاد و پر تجمع لایه‌های اکسیدی باعث شده است تا شکست بیش‌تر در امتداد لایه‌های اکسیدی باشد. اگرچه که دندریت‌ها

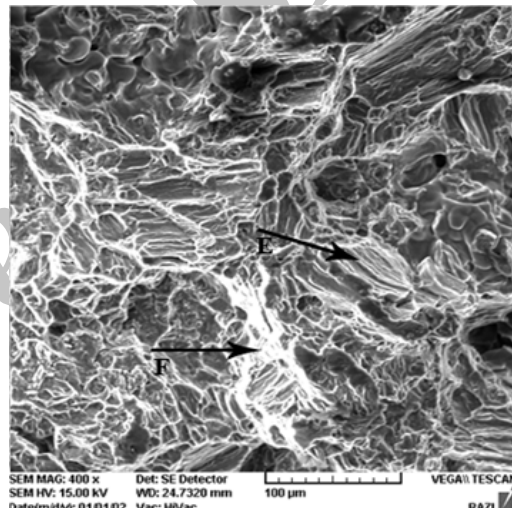
آورده شده‌اند. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، مدول ویبول در سرعت  $0.4 \text{ m/s}$  به  $13/34$  رسیده است، در حالی که در سرعت‌های بالاتر از سرعت بحرانی و برای سرعت‌های  $1/0 \text{ m/s}$  و  $3/0 \text{ m/s}$ ، مدول ویبول به ترتیب تا مقادیر  $7/28$  و  $4/93$  کاهش یافته است. به عبارت دیگر، در سرعت‌های بالاتر از سرعت بحرانی توزیع مدول ویبول برای چقرمگی شکست به حدود نصف و حتی کم‌تر از آن کاهش یافته است. نتایج نشان می‌دهند که در سرعت‌های بالاتر از سرعت بحرانی، به دلیل وجود تلاطم سطحی، چقرمگی شکست کم‌تر و توزیع آن گسترده‌تر است.

است، ولی اندازه و بزرگی آن‌ها نیز به مراتب بزرگ‌تر به چشم می‌آید، به‌گونه‌ای که حضور لایه‌های دوتایی در سرعت بالاتر از حد بحرانی بسیار محسوس و قابل ملاحظه است. تصویرهای با بزرگ‌نمایی بالاتر نشان می‌دهند که شکست در سرعت بحرانی از نوع نرم است، ولی لبه‌های تیزتر شکست در سرعت ریخته‌گری بالاتر نشانه‌ای از وقوع شکست ترد است.

پراکندگی نتایج مربوط به چقرمگی شکست با روش تحلیل توزیع جمعیتی ویبول مدل شده است. در جدول (۳)، ضریب‌های عددی معادلات خطوط نمودار ویبول در سرعت‌های مختلف ورود مذاب به قالب



(ب)



(الف)

شکل ۷. تصویرهای مقطع شکست نمونه‌ی ریخته‌گری شده با سرعت  $3/0 \text{ m/s}$ ؛ الف) بزرگ‌نمایی  $400\times$  برابر، ب) بزرگ‌نمایی  $1000\times$  برابر. (E) لایه‌های اکسیدی، (F) لایه‌ی دوتایی

جدول ۳ ضریب‌های عددی خطوط نمودار ویبول در سرعت‌های مختلف ورود مذاب به قالب

سرعت ورود مذاب به قالب (m/s)	m	R <sup>2</sup>
0.4	13/34	0.99
1.0	7/28	0.88
3.0	4/93	0.98



## نتیجه گیری

ورود این لایه عامل اصلی کاهش چقرمگی

شکست قطعه است.

۳. با تحلیل تأثیر تلاطم سطحی بر پراکندگی خواص

مکانیکی به وسیله‌ی روش ویبول، مدول ویبول

نمونه‌های ریخته‌گری شده با سرعت  $0/4 \text{ m/s}$

حدوداً برابر با  $13/34$  به دست آمد، و با افزایش

سرعت مذاب به  $1/0 \text{ m/s}$  و  $3/0 \text{ m/s}$ ، مقدار آن

به ترتیب به  $7/28$  و  $4/93$  کاهش یافت. بنابراین،

قطعات ریخته‌گری شده در شرایط آرام و بدون

تلاطم (ورود مذاب با سرعت‌هایی کم‌تر از

سرعت بحرانی) از درجه‌ی اطمینان بالاتری

برخوردارند.

۱- با افزایش سرعت ورود مذاب به قالب، چقرمگی

شکست نمونه‌های ریخته‌گری شده به شدت

کاهش یافت.

۲- بررسی تصویرهای میکروسکوپی نشان دادند که با

افزایش سرعت ورود مذاب به قالب، میزان و

اندازه‌ی لایه‌های اکسیدی افزایش چشم‌گیری

می‌یابند. این رفتار نشان داد که تلاطم سطحی

ناشی از افزایش سرعت مذاب از میزان بحرانی آن

موجب تغییر مرفولوژی سطحی مذاب می‌شود.

نتیجه آن‌که لایه‌ی سطحی تاخوردگی به درون مذاب

وارد شده و پراکندگی آن در قطعه را به دنبال دارد.

## مراجع

1. L. A. Dobrzanski, T. Tanski, J. Domagala, L. Cizek, "Mechanical properties of magnesium casting alloys", *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, Vol. 24, pp. 99-102, (2007).
2. L. A. Dobrzanski, T. Tanski, L. Cizek, Z. Brytan, "Structure and properties of magnesium cast alloys", *Jornal of Material Processing Technology 192-193*, pp. 567-574, (2007)
3. Horst E. Friedrich, Barry L. Mordike, "Magnesium technology: metallurgy, design, application", Springer, pp.1-4, (2006).
4. Q. G. Wang, P. N. Crepeau, J. R. Davidson, "The Effect of Oxide Films and Properties on Fatigue of Cast Aluminum Alloys", pp.205-215, (2005).
5. J. Runyoro, S. M. A. Boutorabi J. Campbell, "Critical Gate Velocities for Film-Forming Casting Alloys: A Basis for Process Specifications", *AFS Trans*, pp. 225-234, (1992).
6. L. W. Eastwood, H. E. Elliot, "Magnesium casting", *AFS Trans.*, Vol 58, pp. 103-107, (1950).
7. بحرینیان، ف.، بوترابی، س.، "بررسی تئوری سرعت بحرانی در آلیاژ منیزیوم (ZK51)"، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه علم و صنعت ایران، (۱۳۷۵).
8. میرک، ع.، دیواندری، م.، بوترابی، س.، "اثر سرعت جریان ورود مذاب به محفظه قالب بر خواص مکانیکی قطعات ریخته‌گری آلیاژ منیزیم (AZ91)"، پایان نامه دکتری تخصصی دانشگاه علم و صنعت ایران، (۱۳۸۶).
9. محمد علی بوترابی، غلامرضا کزازی، بهرام مصلح، شهروز نفیسی، "نگرشی نوین بر طراحی سیستم‌های راهگامی"، دانشگاه علم و صنعت ایران، نگارش دوم، (۱۳۸۰).

- 
10. M. M. Avedesian, H. Baker, "Magnesium and magnesium alloys", ASM specialty Handbook, ASM International, Ohio, (1999).

Archive of SID