

مقاله

مقاله

نشریه بین‌المللی علمی، فنی و تخصصی چدن و فولاد

چکیده

این مقاله نمای کلی از یک رویکرد جدید ممکن برای رفع مشکلات شکست قالب در طی ریخته‌گری شمش (اینکات) را ارائه می‌کند. به دلیل بارهای حرارتی بالا وارده بر قالب در طی فرآیند ریخته‌گری، ترک‌ها می‌توانند بعد از چند چرخه تولید بروز کنند. یک روش مدلسازی برای درک تشکیل ترک توسط شبیه‌سازی ریخته‌گری ارائه شده است. شبیه‌سازی تنش‌های داخلی در طی تولید قالب را در نظر می‌گیرد و نشان می‌دهد که چگونه این تنش‌ها بعداً در طی تعدادی از چرخه‌های تولید ریخته‌گری شمش گسترش پیدا می‌کنند. تنش‌های شبیه‌سازی شده به‌طور مفصل مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند و به خوبی با محل مشاهده شده ترک‌ها مقایسه می‌شوند. یک چشم‌انداز نشان می‌دهد که تحقیقات برای شناسایی اقدامات فنی برای کاهش شکست قالب چگونه به پیش خواهند رفت.

توسعه فرآیند ریخته‌گری

شمش

با استفاده از روش شبیه‌سازی

محمدحسین نشاطی

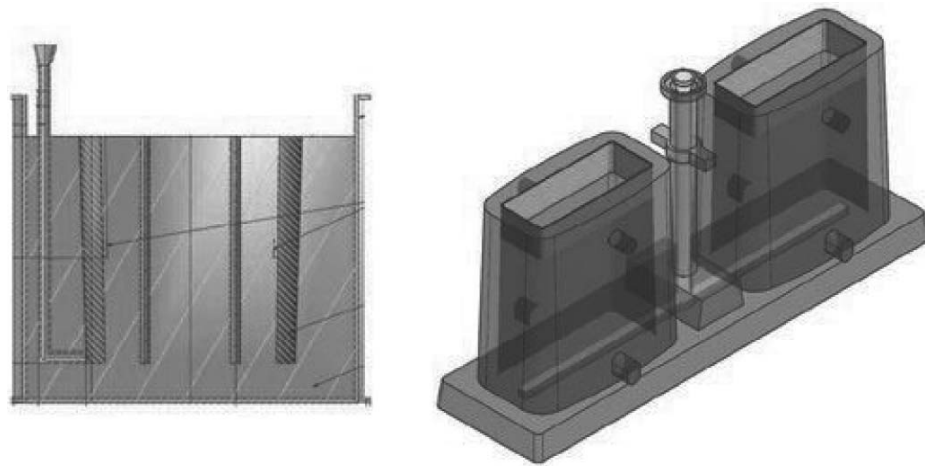
شرکت فولاد آلیاژی ایران



مقدمه

بسیاری از تولیدکنندگان پیشرفته ریخته گری شمش، در سال های اخیر از شبیه سازی ریخته گری برای تولید شمش استفاده کرده اند. تمرکز اصلی این روش های مدلسازی به طور معمول تمرکز بر کیفیت ریخته گری شمش از جمله تخلخل و آخال ها، و همچنین میکروساختار و تنش های باقیمانده می باشد. همزمان جنبه مهم دیگر در تولید ریخته گری شمش خود قالب مورد استفاده برای تولید شمش است. ریخته گران شمش خیلی علاقمند به اطلاع از رفتار قالب در طی تولید شمش می باشند. قالب تحت بارگذاری حرارتی بالا در طی فرآیند ریخته گری قرار

می گیرد، تنش هائی در آن ایجاد شده و به فرسایش قابل توجه آن منجر می شود، که می تواند به نوبه خود به شکل هندسی خاص در شمش، شکست زود هنگام قالب بیانجامد. کار ارائه شده در اینجا تلاش های اولیه برای بررسی کیفیت ریخته گری شمش از نظر قالب با استفاده از شبیه سازی ریخته گری را در بر می گیرد. جنبه های فنی مختلف در فرآیند تولید شمش توالی تولید شمش را می توان از لحاظ فنی به دو مرحله اصلی تقسیم کرد. در مرحله اول، ساخت قالب چدنی، توسط فرآیند ریخته گری در ماسه و در مرحله دوم، استفاده از این قالب برای ریخته گری شمش در فرآیند ریخته گری ثقلی در قالب فلزی (شکل ۱).



شکل ۱- چیدمان تولید برای ریخته گری قالب شمش در یک قالب ماسه ای (چپ- نمای مقطع) و چیدمان تولید یک فرآیند ریخته گری شمش با دو قالب (راست).

به نتایج خوب برای شمش های فولاد، شناخت رفتار قالب، شامل شکل هندسی شمش، و نیز تاثیر هدایت حرارتی قالب بر رفتار سرد کردن و از این رو بر ساختار شمش فولاد بسیار مهم است. تغییرات ناآگاهانه شکل هندسی قالب یا فرآیند ریخته گری فولاد می تواند به زیان های اقتصادی بسیار بزرگ منجر شود. بنابراین هرگونه تغییر قبل از کاربرد واقعی در کارگاه باید به دقت مورد بررسی قرار گیرد (شبیه سازی و - در صورت امکان - آزمایش).

به دو دلیل از بروز ترک ها در قالب باید اجتناب شود:

- کیفیت شمش فولاد، از ترک ها آسیب می بیند. خراش های جزئی در سطح شمش، ناشی از ترک در قالب، می تواند به آسیب جدی در شمش منجر شود. گرچه، تعمیر گسترده تنها راه حل خواهد بود؛ خطر بالای شکست کل شمش وجود دارد.
- برای داشتن عمر طولانی قالب. ایجاد ترک اولیه در قالب، به شکست بعدی قالب پس از چند چرخه اندک تولید منجر خواهد شد. تعمیر ترک ها در طی مراحل اولیه، برای جلوگیری از هر گونه اشاعه بیشتر ضرورت دارد. ترک ها [قالب] معمولاً با یک

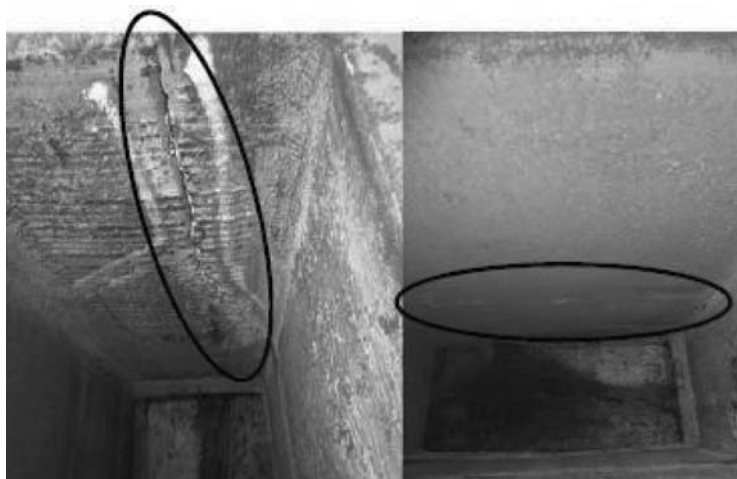
چدن با گرافیت لایه ای، که در آن گرافیت به شکل لایه های نازک نامنظم ایجاد می شود، به چند دلیل برای قالب شمش مورد استفاده قرار می گیرد. اول، این فرآیند قابلیت ریخته گری خوبی حتی در محیط های صنعتی خشن دارد. نیازی به تلاش زیاد برای کار با این فرآیند نیست. مزایای بیشتر ساختار لایه ای برای کاربرد مورد نظر به ویژه مقاومت فشاری بالا، میرایی ارتعاش و مقاومت در برابر خوردگی می باشد.

در نهایت مهمترین خاصیت قالب، ایفای نقش در مرحله بعدی برای کیفیت ریخته گری شمش فولاد، انتقال حرارت از قالب چدنی است. هدایت حرارتی چدن عمدتاً به دو عامل بستگی دارد: اول، مقدار و شکل گرافیت ایجاد شده، زیرا گرافیت تاثیر تعیین کننده ای بر انتقال حرارت دارد؛ اشکال فشرده گرافیت (کروی، کرمی)، باعث کاهش هدایت حرارتی می شوند، در صورتی که گرافیت لایه ای بالاترین هدایت حرارتی را دارد. دوم، ترکیب آلیاژی چدن، که در آن سیلیسیم بیشترین تاثیر را دارد؛ هرچه درصد سیلیسیم بالاتر، هدایت حرارتی کمتر. به منظور دستیابی

پایین به بالا کمترین آشفته‌گی را داشته باشد. این روش تا حد زیادی، از آخال‌های اکسیدی ای، که بیشتر به دلیل روی هم افتادگی سطوح آزاد فلز مذاب در طی بارریزی از بالا تشکیل می‌شوند جلوگیری می‌کند. روش‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی برای تولید شمش در کانون توجه این مقاله قرار ندارند

درزگیر (بتونه) خاص پر می‌شوند. اما، تعمیر / تعویض قالب، یک عامل عمده هزینه را نشان می‌دهد.

به عنوان نمونه، برای تولید ریخته‌گری شمش، هر دو قالب، که از هر دو سر باز هستند، بر روی یک صفحه پایه (از جنس چدن) قرار می‌گیرند (شکل ۱). صفحه پایه (پایین) به یک سیستم پرکننده مجهز شده است که مذاب در هنگام پر کردن قالب از



شکل ۲- الگوی نمونه وار ترک در قالب پس از تعداد محدودی چرخه تولید شمش.

های داخلی متناظر می‌باشند. تنش‌های حادث اثر بسیار نامطلوبی بر استحکام خستگی دارند.

مطالعات آماری نشان داده‌اند که ترکیب آلیاژ قالب، صرفنظر از شکل هندسی، به نظر نمی‌رسد یک عامل تعیین‌کننده برای تشکیل ترک‌ها باشد، تا زمانی که ترکیب ساختار لایه ای تولید می‌کند. اثر عناصر آلیاژی در ترکیب با دیگر اشکال گرافیت (کروی، کرمی) بخشی از تحقیقات آتی خواهد بود.

تنش‌های باقیمانده ادامه می‌یابند، حتی بعد از اینکه علت اصلی بروز آن (نیروهای بیرونی، عدم تعادل حرارتی) از بین رفته باشد (برداشتن قالب، خنک کردن تا دمای اتاق). در حالی که وجود تنش‌های باقیمانده می‌تواند دلایل مختلفی داشته باشد، در این مقاله اصولاً دو مورد مطرح می‌شود:

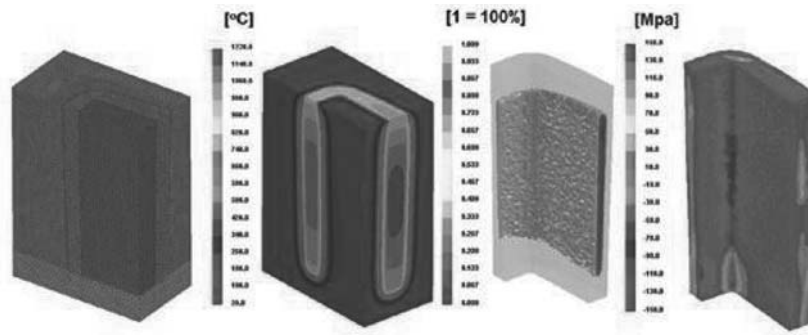
- تنش باقیمانده حرارتی (نوع اول): هنگام خنک کردن قالب (بعد از ریخته‌گری خود قالب، و همچنین پس از ریخته‌گری شمش در قالب)، تنش‌های باقیمانده حرارتی بوجود می‌آیند به دلیل اینکه لبه‌های بیرونی و مغز درونی با سرعت‌های مختلفی سرد می‌شوند، یک شیب (گرادیان) دمای طبیعی ایجاد می‌کنند. سرد شدن سریعتر و انقباض محل‌های نزدیک به لبه ممکن است تنش‌های کششی، و همچنین در موضعی فراتر از تنش تسلیم ایجاد کند. بعد از اینکه تعادل دما بین سطح و مغز برقرار شد، تنش‌های فشاری باقیمانده در منطقه مرزی ایجاد می‌شوند.

شکل ۲ الگوی نمونه وار ترک مورد انتخاب شده ای را نشان می‌دهد که پس از تعداد چرخه تولید محدودی بروز کرد. حساسیت تولید یک شمش خاص به میزان زیادی به شکل هندسی خاص شمش و قالب بستگی دارد. ترک در قسمت داخلی قالب قابل مشاهده است. در حالی که ترک در سمت طویل شکل هندسی شمش (تصویر سمت راست) افقی است، جهت آن در سمت کوتاهتر شکل هندسی قالب عمودی است (تصویر سمت چپ).

تعداد چرخه‌های تولید قبل از بروز ترک‌های اولیه تابع نوسانات بزرگ هستند و عمدتاً به شکل هندسی قالب بستگی دارند. اما، روندهای قابل توجهی را می‌توان مشاهده کرد. در این مقاله ترک‌های اولیه مورد نظر بر روی شکل هندسی قالب، معمولاً در گستره ۳۰-۲۵ چرخه تولید ظاهر می‌شوند. در بعضی از قالب‌ها، ترک‌های عمیق (حتی در کل ضخامت دیواره) در ۵-۱ چرخه اول تولید رخ می‌دهند، که به عیوب ریخته‌گری چدن از مرحله قبلی نسبت داده می‌شوند. بر اساس تجارب گذشته در مورد قالب‌های شمش مشابه، مشاهده شد هرچه نسبت طول اضلاع قالب کمتر، وقوع ترک کمتر و عمر آن بیشتر. علت این رفتار احتمالاً یک توزیع تنش یکنواخت‌تر است. این می‌تواند موضوع دیگری برای تحقیقات آینده باشد.

رویکرد مدلسازی فرآیند

ترک‌ها در قالب نتیجه ای از بارهای حرارتی وارده بر قالب و تنش

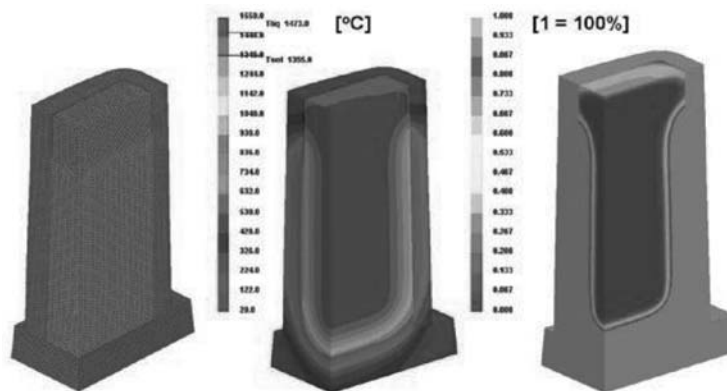


شکل ۳- مش المان محدود و نتایج شبیه سازی انتخابی تولید قالب شمش.

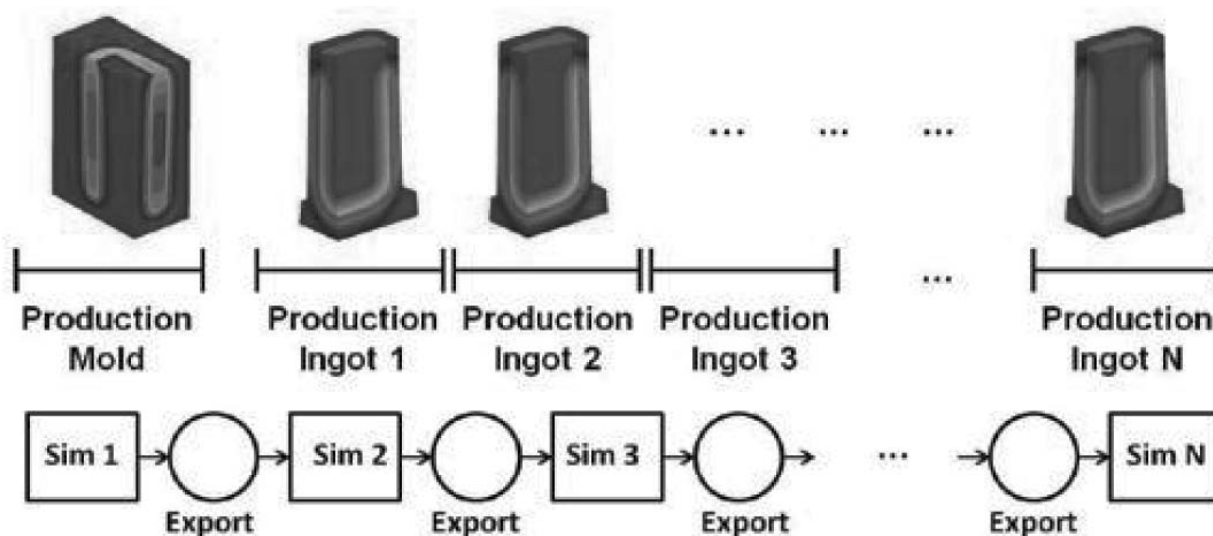
نظر گرفته شدند. منطقه مربوط به قالب (RB T۲۰) با 1234°C (دمای ریخته گری) شروع شد در حالی که ماسه اطراف آن (ماسه سیلیسی) در ابتدا دمای 25°C را داشت. تنش های داخلی پس از انجماد و خنک کردن تا دمای اتاق در سمت راست شکل ۳ نشان داده شده اند.

شکل ۴ مش FE تولید شمش (سمت چپ) و برخی از نتایج حاصل از مدلسازی؛ دمای (مرکز) و کسر جامد (سمت راست) را نشان می دهد. شکل هندسی قالب در این چیدمان مربوط به قطعه «ریخته گری» از مورد شبیه سازی قبلی است. برای شمش، از خواص نمونه وار استاندارد فولاد (دمای ریخته گری 1550°C) استفاده شد. با تجزیه و تحلیل حیطه دما و رفتار انجماد، تاثیر مواد عایق بندی در منطقه بالای قالب، که به تغذیه طولانی تر کمک می کنند قابل مشاهده است. در حالی که آلیاژ ریختگی، در پایین و در بخش میانی سریعتر خنک می شود، قسمت بالا برای مدت زمان طولانی تری گرمتر باقی می ماند.

• تنش باقیمانده (نوع دوم): تغییرات فاز یا تشکیل رسوبات ممکن است به تنش های ساختاری موضعی منجر شوند (ریزساختار ناهمگن). این موارد اصولاً در مرز فازها رخ می دهند. همچنین نابجایی ها (نوع سوم) نیز باید در نظر گرفته شوند. در حالی که مدلسازی اغلب با توجه به خواص شمش انجام می شود، رویکرد فعلی بر آنچه در قالب اتفاق می افتد تمرکز می کند. این رویکرد مدلسازی تولید خود قالب و سپس بارهای حرارتی و تنشی وارده بر قالب، در طی تولید شمش را در بر می گیرد. در این مقاله به هر دو جنبه تولید شمش، و همچنین چگونگی قابلیت اتصال آنها با یکدیگر در یک زنجیره شبیه سازی پرداخته می شود. شکل ۳ مش FE (المان محدود) تولید قالب (سمت چپ) و نتایج انتخاب شده از مدلسازی تولید قالب (از چپ به راست: دما، کسر جامد، تنش های داخلی) را نشان می دهد. به دلیل چیدمان متقارن شکل هندسی قالب امکان شبیه سازی تنها یک چهارم از فرآیند نیز وجود دارد. علاوه بر این، در شبیه سازی از پر کردن محفظه قالب صرف نظر شد و فقط حیطه های حرارتی و تنش در



شکل ۴- مش المان محدود و نتایج شبیه سازی انتخابی تولید شمش.



شکل ۵- زنجیره شبیه سازی تولید قالب و چرخه های متعدد تولید شمش.

دوره دوم و غیره مورد استفاده قرار می گیرد. به این ترتیب، توزیع و توسعه تنش ها در چند چرخه تولید شمش را می توان به صورت واقعی توصیف کرد.

نتایج مدلسازی و تجزیه و تحلیل تنش در بخش زیر، نتایج تنش به دست آمده از طرح شبیه سازی که قبلا توضیح داده شد تجزیه و تحلیل خواهد شد.

شکل ۶ تنش اصلی ۱ (مولفه تنسور تنش با بالاترین مقدار) را به ترتیب، بعد از ۱، ۵، ۱۰ چرخه تولید شمش نشان می دهد. هر حالت تنش نماینده شرایطی در پایان چرخه است که آن هم برای شروع تولید شمش در مراحل بعدی مورد استفاده قرار میگیرد. به وضوح قابل مشاهده است که سطح داخلی قالب تحت تنش است. این تنش با افزایش تعداد چرخه های تولید زیاد می شود. منطقه تنش حاکم (مشخص شده توسط دایره) نزدیک به محلی است که در آن ترک (شکل ۲) از گوشه داخلی قالب در فرآیند تولید واقعی عبور می کند.

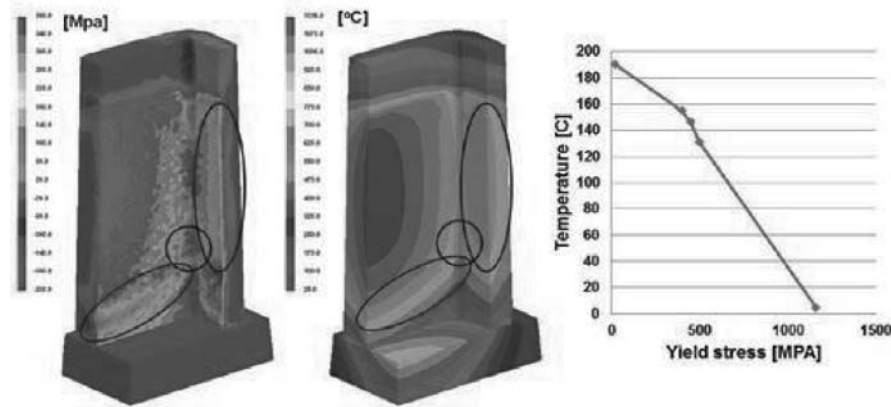
از آنجا که مشکلات ترک نه در اولین ریخته گری شمش بلکه پس از تعداد محدودی از چرخه تولید شمش ظاهر شد پیگیری ایجاد تنش های داخلی به شیوه ای بی اشکال ضرورت داشت. برای این کار، طرح شبیه سازی نشان داده شده در شکل ۵ مورد استفاده قرار گرفت. اولین مرحله شبیه سازی تولید قالب است. یکی از نتایج این شبیه سازی حیطه تنش های داخلی پس از رسیدن دمای قالب به دمای اتاق (نشان داده شده در سمت راست شکل ۳) است. از این حیطه در شبیه سازی تولید اولین شمش به صورت توزیع تنش اولیه برای مواد قالب استفاده می شود. چون مش FE تولید قالب (سمت چپ شکل ۳) و مش تولید شمش (سمت چپ شکل ۴) یکسان نیستند (تعداد مختلف گره ها و مختصات گره)، این انتقال با یک الگوریتم نقشه برداری قابل دسترس در نرم افزار ProCAST انجام می شود. حال حیطه های حرارت و تنش اولین تولید شمش شبیه سازی می شود. به دلیل بار حرارتی از انجماد شمش، حیطه تنش در قالب اصلاح می گردد. حیطه تنش در پایان این چرخه یک بار دیگر به صورت حیطه تنش اولیه برای



شکل ۶- تنش اصل ۱ در قالب بترتیب پس از ۱، ۵، ۱۰ چرخه تولید شمش.

قرار گرفت. شکل ۷ یک لحظه در زمان تولید، هنگامی که مقادیر متوسط بالا (MPa۲۵۰) بروز می کنند در حالی که مقادیر دما در این مناطق نیز در یک سطح بالاتر (در حدود 900°C) می باشند را نشان می دهد. این مناطق مشخص شده (شکل ۷) به خوبی با مکان های ترک مشاهده شده در شکل ۲ مقایسه می شوند. نتایج ارائه شده مدلسازی ریخته گری با استفاده از راه حل ریخته گری ESI نرم افزار ProCAST- به دست آمد.

به منظور شناخت مکانیزم ترک مهم است که بخاطر داشت که حیطه های تنش باید با حیطه های دما تجزیه و تحلیل شوند زیرا خواص مکانیکی قالب به دما بستگی دارند. مواد قالب ممکن است در برابر تنش های بالائی در دمای پایین مقاومت کنند در حالی که تنش های کم از قبل هنگامی که دما به اندازه کافی بالا است می توانند به شکست مواد منجر شوند. به همین دلیل توزیع تنش و دما در دهمین چرخه تولید با جزئیات بیشتر مورد بررسی



شکل ۷- تنش اصلی ۱، توزیع دما در یک زمان انتخاب شده همراه با تنش تسلیم مواد قالب به صورت تابعی از دما.

ناشی از تغییرات در پارامترهای فنی ریخته گری و شکل هندسی قالب، از جمله نسبت طول اضلاع قالب کاهش داد.

مراجع:

- [1] Sholapurwalla, Adi; Scott, Sam (2006): Integration of Advanced Simulation Techniques with Process Development in the Modern Foundry. AFS Metalcasting Congress 2006, Paper 06-032.
- [2] Samonds, Mark; Zhu, J.Z. (2003): Coupled Thermal-fluids-stress Analysis of Castings. MCWASP 2003
- [3] Guo, Jianzheng; Samonds, Mark (2004): Property Prediction with Coupled Macro-micromodeling and Computational Thermodynamics. MCSP6-2004: Kaohsiung.
- [4] Hasse, Stephan (2008): Giesserei Lexikon. Schiele&Schn: Leoben.
- [5] Spur, Günter; Sferle, Theodor (1987): Handbuch der Fertigungstechnik. Carl Hanser: München.
- [6] Macherauch, Eckhard; Hauk, Viktor (1983): Eigenspannungen: Entstehung, Messung, Bewertung. Deutsche Gesellschaft für Metallkunde: Frankfurt am

نتیجه گیری و چشم انداز

تحقیق ارائه شده جنبه های مختلف تولید شمش از نظر قالب را در بر می گرفت. به منظور درک دلایل تشکیل ترک ناشی از فرسایش حرارتی، از روش مدلسازی استفاده شد. ایجاد تنش در قالب مورد بررسی قرار گرفت. با شروع از اولین تولید قالب توسط فرآیند ریخته گری در ماسه، سپس مدلسازی با توزیع تنش های داخلی در طی چند چرخه دیگر از تولید شمش پیگیری شد. تنش های مشاهده شده به خوبی با مکان های ترک مشاهده شده در تولید در هنگام آنالیز حیطه های حرارت و تنش با لحاظ کردن وابستگی تنش تسلیم مواد قالب به دما مقایسه می شوند.

این نتایج اولیه بعداً برای شناسایی اقدامات فنی برای کاهش شکست قالب توسعه داده خواهند شد. از آنجا که خواص مکانیکی و رفتار تنش قالب ها تا حد زیادی به ساختار بستگی دارند، در تحقیقات آینده مورد بررسی قرار خواهد گرفت، شناخت چگونگی رفتار شکست قالب با استفاده از سایر شکل های گرافیت (از جمله وابستگی به ترکیب آلیاژ) و از این رو امکان کنترل بهتر کیفیت شمش فراهم می شود. مسیر دیگری که بررسی خواهد شد، این است که آیا می توان فرسایش حرارتی را با کنترل بهتر حرارتی