



انجمن دایکست ایران HIGH PRESSURE DIE CASTING

سال پنجم - شماره ۲۰ - بهار ۱۴۰۲

ریخته‌گری تحت فشار

SHAHROOD,
ALUMINUM
INDUSTRIES

شاهرود دقیق‌طعم
تولید قطعات آلومینیومی و زاماک

به روش دایکست

023-32511930 - 2

09124736098

www.shahrud-daiecast.com

شاهرود شهرک صنعتی
خیابان کوشش ۲

- دارای واحد قالب سازی
- مجهز به دستگاه‌های رباتیک
- دارای متخصصین مجرب در صنعت ریخته‌گری



L.K. GROUP HongKong

شرکت L.K. بزرگترین تولید کننده ماشین های ریختگری تحت فشار



شرکت آریا تاج نماینده انحصاری در ایران

تهران : خیابان ولیعصر روبروی پارک ملت خیابان ناهید پلاک ۵۶ طبقه ۵ واحد ۲۵
تلفن : ۰۲۱-۲۲۶۵۴۴۱۵-۱۷

www.lk.world

انواع آلیاژهای منیزیم به صورت شمش و بیلت

AZ61, AZ63, AZ91, AM60,.....

انواع قطعات آلومینیومی و منیزیمی به روش

Low Pressure Die Casting

جعبه های ضد انفجار

پره های دمنده

آندهای فداشونده حفاظت کاتدیک

آندهای منیزیمی

آندهای روی

آندهای آلومینیومی

آمیزان های آلومینیوم-منیزیم به صورت شمش و بریکت

Al-Mg 50

Al- Mg 30

پودر منیزیم و آلومینیوم-منیزیم در شمش های مختلف

پودر منیزیم خالص

پودر منیزیم - آلومینیوم





شرکت دانش بنیان

مهندسی

رهاورد منیزیم پارسین

اولین و تنها تولید کننده آلیاژهای منیزیم در ایران

(سهامی خاص)

☎ ۰۲۱-۵۵۲۸۴۶۷۴-۶



۰۲۱-۵۵۲۸۴۶۷۷



۰۹۳۰-۱۳۰۰ ۶۹۴



WWW.Rahavard-mg.ir



Rahavardmg.ir

Email:RMGP_CO@yahoo.com





شرکت ذوب آلومینیوم آذر صنعت گلیایگان

برترین واحد خصوصی تولیدکننده شمش های آلومینیوم آلیاژی

دارنده استاندارد های مورد تایید صنعت خودروسازی:

IATF16949

کیفیت شعارمانیست اعتبار ماست

📍 دفتر تهران: تهرانسر، بلوار لاله، کوچه صالحی، ساختمان بیژنی، طبقه ۳

📍 آدرس کارخانه: گلیایگان، شهرک صنعتی فاز یک، انتهای خیابان هدف

📞 تلفکس کارخانه: ۰۹ - ۴۸۸۴۸۵۷۲ - ۰۳۱ دفتر تهران: ۰۵۶۵۷۵۶۴۴ - ۰۲۱

📞 تلفن کارخانه: ۰۴ - ۳۲۷۱۸۵۷۲ - ۰۳۱ تلفن واحد بازرگانی: ۰۶۰۶۳۳۸۴۳۳۴۹۱

www.Alazarsanat.com

azar.s.co@gmail.com



صنایع نگین آلومینیوم گلپایگان Negin Aluminium Golpayegan

همچون نگینی در صنعت آلومینیوم کشور

www.negincompany.com

خدمات ما

سامانه پیامکی فروش

+۹۸ ۱۰۰۰۴۸۰۶۷

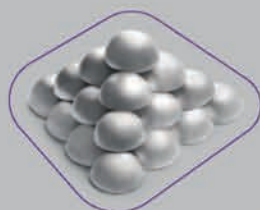
کد دستوری USSD

*۵۰۰*۶۰۰#



آپ نگین همراه

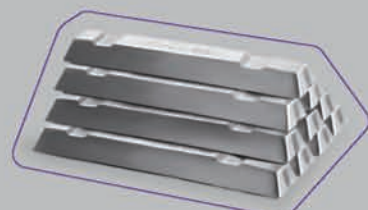
- تولید آلیاژ آلومینیوم به صورت شمش، بیلت و پیک هزار پوندی
- تولید نیمکره آلومینیومی (جهت اکسیژن زدایی در فولاد)
- تامین و توزیع مواد اولیه مرتبط با صنعت آلومینیوم
- تولید گرانول آلومینیومی



▪ نیمکره آلومینیومی



▪ بیلت آلومینیومی



▪ شمش آلومینیومی

کارخانه:
گلپایگان، شهرک صنعتی گلپایگان، خیابان تعاون ۲، پلاک ۲۰۲
تلفن: ۰۳۱-۵۷۰۳۰

دفتر تهران:
بلوار آیت الله کاشانی، بین وفا آذر شمالی و عقیل پلاک ۳۴۸
طبقه ۳، واحد ۱۰
تلفن: ۰۲۱-۴۹۱۵۴۰۰۰ / ۴۴۰۳۶۰۰۷ / ۴۴۰۳۶۰۰۸

info@negincompany.com

neginaluminium

[@neginaluminium](https://www.instagram.com/neginaluminium)



انجمن دایکست ایران

ریخته‌گری تحت فشار

High Pressure Die Casting

سال پنجم، شماره ۲۰، بهار ۱۴۰۲

- ۲..... راه عشق
- ۳..... روی میز ویراستار
- ۴..... کاهش ریسک عیوب در قالب‌های چند حفره‌ای
- ۱۰..... خنک کاری قالب؛ چرا و چقدر؟
- ۱۵..... دایکست روی چرا و چه وقت؟
- ۱۹..... پایان تلخ، یا تلخی بی پایان؟
- ۲۴..... از یک ستون سنگی تا شورولت وگا
- ۳۱..... چرا جریان متمیزه مذاب برای پر شد قالب نیاز است؟
- ۳۳..... نقدی بر مقاله تحولات اجتماعی، بحران تامین نیروی انسانی و آینده صنعت دایکست..

بسم الرحمن الرحیم

ریخته‌گری تحت فشار

High Pressure Die Casting

شماره ثبت مجوز انتشار

از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی

۷۷۸۵۶



انجمن دایکست ایران

انجمن دایکست ایران

صاحب امتیاز

انجمن صنفی کارفرمایی ریخته‌گری تحت فشار

مدیر مسئول:

سیامک فتحی

هیأت تحریریه:

شاهن مارکاریان

مجتبی ستوده فرد

سیامک فتحی

ویراستار:

سیامک فتحی

صفحه‌آرایی و گرافیک:

مهدی لطفی

نشانی: تهران، تهرانپارس، قنات کوثر، بلوار
مطهری، کوچه هفتم مرکزی، پلاک ۱، واحد ۱۰

چاپ پیغام امروز

تلفن: ۷۷۰۴۷۰۸۴ تلفکس: ۷۷۰۴۶۰۹۱



حمید اسحاقی

راه عشق

قصه گرفتارآمدگان در دام تولید منظومه ای بلند است که البته کمابیش به گوش ها آشناست. افتخارم این است که در گوشه ای، هرچند بسیار کوچک، از این منظومه خطوطی را به یادگار گذاشته ام و تنها از آن جهت که شاید تکرار این داستان ها و تجربیات به ایجاد امید و انگیزه در جوانان و یا جلوگیری از خروج برخی دل شکستگان از این راه پر درد و البته پر از عشق منجر شود، بخشی از این داستان را روایت می کنم.

در سن ۲۶ سالگی و با کمترین تجربه و سابقه در زمینه دایکست و البته، با انگیزه ای بسیار، پای به این صنعت گذاشتم و تصمیم به راه اندازی شرکت و توسعه آن گرفتم. این مسیر همواره، از آغاز تا کنون با تلاشی بی وقفه و زحمات فراوان طی شد و حاصل آن در رضایت قلبی از مسیر پیموده شده نمود پیدا کرد.

در کنار این تلاش و کوشش، مجموعه ای از عوامل، از جمله تحصیل در رشته متالورژی در مقاطع کارشناسی و در ادامه، کارشناسی ارشد و تدریس در دانشگاه تربیت مدرس و انتقال تجربیات به جوانان، انگیزه ها را قوی تر و راه را برای من روشن تر نمود و آموختم که برای طی راهی طولانی و دشوار و کسب موفقیت، مسئولیت پذیر و صبور باشم.

همچنین این بخت را داشته ام با حمایت و همت و تلاش خانوادگی کارخانه دایکست را تاسیس نموده و علیرغم محدودیت های مالی و شرایط دشوار کشور، موفق به رشد و توسعه کارخانه شویم.

اکنون رویاهای بزرگتری در سر می پرورانیم و امید به جهشی بزرگتر داریم و آن، صدور محصولاتمان به بازارهای جهانی است، رویایی که البته با بسیاری از تولیدکنندگان و دایکستکاران در آن شریک هستیم و بدون توجه به دشواری ها و حرف و حدیث ها در جهت رسیدن به آن گام بر خواهیم داشت.

حکایت مسیر طی شده از آن جهت در اینجا آورده شد که یادآوری کنم علیرغم شرایط دشواری که در آن گرفتار آمده ایم و سختی هایی که کار تولید دارد، همچنان خردمندی، تلاش و امید می تواند راهگشا و ضامن بقا و دوام ما باشد.

حرکت و تلاش در مسیر تولید و خدمت به جامعه فرصتی است که نصیب هرکسی نمی شود و اگر با رنج و دشواری همراه است، آنرا با افتخار به جان می خریم.

چون راه گنج بر همه کس آشکار نیست

فرصت شمر طریقه رندی که این نشان



مدیر مسئول - سیامک فتحی

دروود بر یاران و همراهان گرمی

در یکی از مقالاتی که در همین شماره مجله ریخته گری تحت فشار چاپ شده، به بررسی مسیر تکامل صنعت آلومینیوم پرداخته و در یکی از سطور آن اشاره جالبی به انجمن ریخته گران آمریکا شده است که دستاویزی شد برای نگارنده تا در این مجال نگاهی به بحث مشارکت داشته باشد.

در روز ۱۲ می ۱۸۹۶، ۳۴۵ نفر در قالب ۲۲۰ عضو مؤسس با حضور در فیلادلفیا انجمن ریخته گران آمریکا American Foundrymen's Society (یا باختصار AFS) را تأسیس نمودند.

جمعیت ایالات متحده در بازه زمانی ۱۸۹۰ تا ۱۹۰۰ از حدود ۶۳ میلیون نفر به حدود ۷۶ میلیون نفر رسید و می توان گفت که در زمان تأسیس AFS، جمعیت این کشور در حدود ۷۰ میلیون نفر بود. جمعیتی که در گستره ای پهناور و با حداقل ارتباطات پراکنده بودند. امروز، انجمن مذکور بیش از ۹۰۰ عضو حقوقی و تعداد بسیار بیشتری عضو حقیقی دارد. البته این فقط تعداد اعضای این انجمن (که امروزه به نام American Foundry Society تغییر نام داده) است و تعداد اعضای انجمن دایکست، انجمن معدن و متالورژی و انجمن های مشابه را هم به این تعداد اضافه کنید.

بعید است که حجم تولید قطعات ریختگی و تعداد ریخته گران امروز ایران از تعداد ریخته گران و حجم تولید ایالات متحده در سال ۱۸۹۶ کمتر باشد و از نظر جمعیت و مصرف هم که شرایط نیازی به توضیح ندارد، ولی اگر تعداد اعضای سندیکاها و انجمن های مرتبط، نظیر جامعه ریخته گران ایران، سندیکای ریخته گری، سندیکای آلومینیوم، انجمن سرب و روی ایران و انجمن دایکست ایران را جمع کنیم، باز هم بعید است که تعداد اعضا به تعداد افراد حاضر در اولین مجمع انجمن ریخته گران آمریکا در سال ۱۸۹۶ برسد.

در عصری که ارتباطات به این سطح از گسترش رسیده و اخبار و اطلاعات در زمانی بسیار کوتاه و با سرعتی بسیار بالا تا دور افتاده ترین مناطق هم نفوذ دارد، سوال این است که چرا مشارکت در چنین

سطح نازلی قرار دارد.

شاید بتوان با بهانه دخالت و تسلط دولت ها در صنعت و اقتصاد و تجارت و رقابت ایشان با بخش خصوصی تا حدودی خود را از عذاب وجدان چنین انفعالی برهانیم، اما نمی توان منکر مشکلات فرهنگی و پیشینه جامعه خود در چنین رفتاری باشیم.

مناسفانه قوای سه گانه با قابل ندانستن قابلیت های بالای انجمن های مردم نهاد یا NGOها در تعالی جامعه و کشور و محروم ساختن خود از چنین ظرفیت های بالایی، بهای تصمیمات خود را بالا خواهند برد. امروزه در تدوین قوانین و مقررات در کشورهای متمدنی از نظر کارشناسانه مجامع تخصصی حداکثر بهره برداری صورت می گیرد. پیچیدگی سیستم ها و سرعت تغییرات به حدی بالا رفته است که نمایندگان مجالس قانون گذاری به هیچ عنوان شایستگی اظهار نظر در چنین مواردی را نداشته و بدون شک نیازمند نظر کارشناسان در حوزه های مختلف هستند. همچنین در بخش رسیدگی به شکایات و دعاوی قانونی هم حضور کارشناسان و مجامع ذیصلاح و معتمد الزامی بوده است.

در بخش اجرا هم که اساسا قرار بر دخالت دولت ها نبوده و قرار بوده که بخش خصوصی کارها را به پیش ببرد و دولت ها تنها نقش تسهیل کننده امور را بر عهده داشته باشند و بسترهای مناسب را برای فعالیت بخش خصوصی فراهم و پایش نمایند.

اما به زعم نگارنده چنین استدلال هایی توجیح مناسبی برای پایین بودن نرخ مشارکت در چنین نهادهایی نبوده و نخواهد بود. هر چند ارکان حاکمیتی تمایل یا توانایی بهره برداری از چنین پتانسیل هایی را نداشته باشند، اما حضور فعال و قدرتمند این انجمن ها را در نهایت نمی توان نادیده گرفت و شرط لازم و اولیه برای تبدیل این توان بالقوه به حاصل بالفعل مشارکت است.

همچنانکه امروز تاوان عدم مشارکت پیشینیان را در توسعه داده ایم، آیندگان ما هم تاوان عدم مشارکت ما را در توسعه زیرساخت های نرم افزاری و سخت افزاری خواهند پرداخت.

بدون شک NGOها از ارکان توسعه هستند و بدون آنها توسعه دور از دسترس خواهد بود.



شاهن مار کاریان

کاهش ریسک عیوب در قالب‌های چند حفره‌ای

مقدمه

بسیاری از عیوب دایکست به خوبی مشخص و فهمیده شده‌اند. همچنین علت این عیوب نیز مشخص شده‌اند. چیزی که عمدتاً خوب مشخص نشده، شرایط خاصی هست که تحت آن عیوب رخ می‌دهند. چه ترکیب احتمالی از عوامل باید رخ دهد تا شما ۲٪، ۵٪ و یا ۱۰٪ از عیوب را در نقطه‌ای خاص از قطعه داشته باشید؟

مهمتر اینکه، چگونه متوجه بروز عیب در درصدی کوچک از تولید شویم که دارای عیوبی خاص هستند، بخصوص وقتی این عیوب زیر سطح قرار دارند؟ حتی اگر با مقایسه ضخامت بیسکویت‌ها و یا پروفیل تزریق، قطعات مشکوک را جداسازی نمائیم، این کار باعث افزایش هزینه تولید خواهد شد. راه حل دیگر، امکان طراحی این عیب در بیرون از سیستم مورد نظر است، اما به شرطی که مجموعه و یا مجموعه‌های پارامترهایی که باعث تولید این عیب می‌شوند، مشخص شده باشند. اگر هر کدام از مجموعه شرایطی که پتانسیل ایجاد عیب را داشته باشند قبل از طراحی قالب مشخص شوند، طراحی می‌تواند طوری صورت گیرد که اجازه تغییرات بیشتری در پارامترهای تولید را با ایجاد تغییرات کمتری در کیفیت قطعه به شما بدهد.

محدودیت‌های بسیاری از پارامترهای فرایند به هنگام ارتقا سیستم راهگاهی در دسترس می‌باشد و با توانایی‌های ماشین مقایسه می‌شود. Magma frontier برای محاسبه این پارامترها و کمتر حساس کردن آنها به صورت خودکار توسط بهینه کردن هندسه راهگاه متناسب با پنجره تغییرات پارامترهای تولید به کار می‌رود.

Magma frontier برنامه شبیه سازی فرایند ریخته‌گری با استفاده از بهینه کردن خودکار جهت تولید طراحی‌های سه بعدی و فرایند تولید در یک چارچوب از قبل تعیین شده است.

برخی از موارد استفاده بهینه‌سازی خودکار در شبیه سازی فرایند

تولید، استفاده از آن در طراحی قالب‌های چند حفره‌ای می‌باشد. این سیستم‌ها به صورت عددی برای تولید بهترین حالت کیفی قطعه بهینه سازی شده‌اند. (بر مبنای شرایط طراحی و تولید)

اگر ارزش انجامش رو داره درست انجامش بده

بهینه سازی فرایندی است که برای موثر یا کاربردی کردن یک سیستم یا طرح به کار می‌رود. این کار ممکن است که به یکی از دو طریق زیر انجام شود:

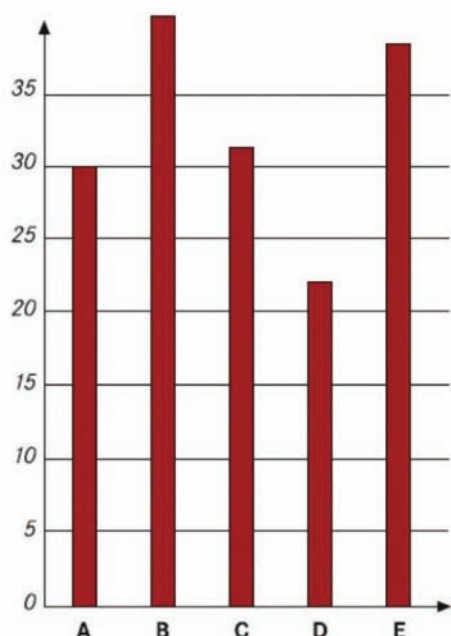
۱- به بهترین نحو و یا بهترین روشی که ما می‌توانیم با در نظر گرفتن منابعی که به آن اختصاص داده‌ایم پیدا کنیم.

۲- بصورت مستقل، یعنی اینکه فرایند به صورت اتوماتیک و یا بدون مداخله است. شبیه سازی به عنوان یک فرایند تکرار شونده شروع، که مراحل ابتدایی یک پروژه نتایج بهتری نسبت به طرح‌های تحقق یافته قبل از آن ارائه می‌کند.

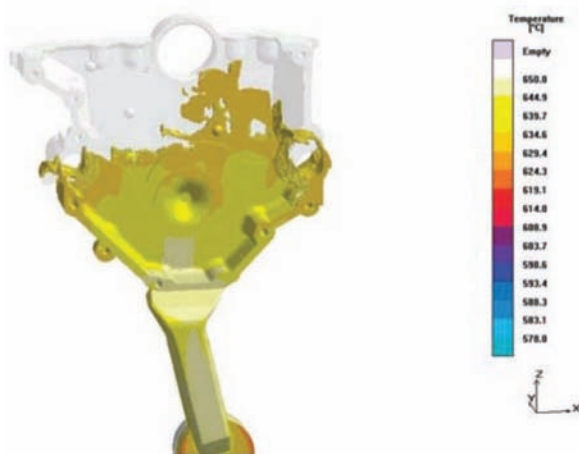
ایجاد مدل‌های سه بعدی جهت استفاده در شبیه سازی اگرچه زمان بیشتری را از ما طلب می‌کند، ولی باعث خروجی مورد انتظار ما می‌شود. این به ندرت با واقعیت همخوانی دارد و به همین دلیل فرایند تکرار آغاز می‌شود.

طرح در سیستم CAD محاسبه و توسعه داده می‌شود و به برنامه شبیه سازی ارسال می‌شود تا با یک سری از پارامترهای فرایند صحت گذاری شود. وقتی شبیه سازی کامل شد، مهندس نتایج را مرور می‌کند، تغییرات بیشتری را در هندسه یا فرایند اعمال می‌کند و شبیه سازی جدیدی را شروع می‌کند.

Magma frontier یک برنامه بهینه ساز شبیه سازی مستقل و خودکار است که بهینه‌ترین طرح را با توجه به پارامترهای از پیش تعریف شده توسط کاربر معرفی می‌نماید. برنامه از سعی و خطا یاد می‌گیرد به دنبال



شکل ۱- درصدهای کاهش هزینه در هر قسمت: A: تعمیرات، B: انرژي عمليات، C: استهلاك قطعات، D: مواد كمكي و E: هزینه آب.



شکل ۲: درجه حرارت در طی پر شدن قالب تک کویت

مقدار کاهش هزینه‌های زیادی در موارد تعمیرات، انرژی و قطعات مستهلک، سیلندر تزریق و پیستون وجود دارد. وقتی قالبی در حفره‌ای برای قطعه‌ای خاص طراحی می‌شود و راهگاه متفاوتی هر قطعه را تغذیه می‌کند، مسیر جریان و کیفیت هر قطعه متفاوت خواهد بود. در تبدیل قالب از یک حفره‌ای به چند حفره‌ای نیاز به همان مسیر جریان داریم، اگر میبایستی تغییرات در کیفیت قطعه کمینه باشد. خطرات متداولی که کیفیت قطعات را در قالب‌های چند حفره‌ای تهدید میکند به شرح زیر است:

بهترین ترکیب بین فرآیند و هندسه باتوجه به نیازهای کاربر جستجو کند. حالا برای یک مهندس میسر است که یک شبیه سازی را با یک طرح اولیه سیستم راهگاهی چهار حفره‌ای و پارامترهای فرایند تعریف کند و از کامپیوتر بپرسد: "کامپیوتر لطفاً به من سیستم راهگاهی را بده که کمتر از ۳٪ انحراف در زمان پر شدن هر کدام از حفره‌ها داشته باشم، کمترین حجم کل سیستم راهگاهی را داشته باشم، کمترین مقدار هوا را در راهگاه حبس کند و تولید درجه حرارت زیر دمای ذوب مواد را در راهگاه نکند، در هر حال، این باید در چارچوب پنجره فرایند عمل کند و اگر این پنجره فرآیند خیلی کوچک باشد، من می‌خواهم چگونگی آن را بدانم". نتیجه این درخواست یک مدل سه بعدی سیستم راهگاهی و دسته‌ای از پارامترهای تولید خواهد بود که بهینه شده اند. مثالهای زیر به خوبی بهینه‌سازی مستقل را در صنعت دایکست نشان می‌دهد:

هندسه

* بهینه سازی سیستم راهگاهی

- محل و شکل ورودی
- کاهش حبس هوا
- بیشینه کردن نسبت وزن قطعه به کل وزن ریختگی
- کمینه کردن عیبی مشخص
- تبدیل یک کویت به چند کویت

بهینه‌سازی کانال‌های خنک کاری

- کمینه کردن زمان انجماد
- بیشینه کردن عمر قالب

بهینه سازی طراحی قطعه به جهت رفع عیوب فرآیند

- محاسبه پنجره عملکرد برای تولید هر قطعه
- بیشینه کردن پنجره عملکردی

مورد مطالعاتی

مثال زیر موردی مطالعاتی از تبدیل قالبی تک کویت به چند کویت می‌باشد. رویکردی جدید از طراحی راهگاه و توسعه فرآیند که جایگزین رویکرد کلاسیک شبیه سازی با دیدگاه بهینه سازی مستقل جهت کاهش ضایعات، آزمایش شده است. فرآیند شبیه سازی ریخته‌گری به عنوان هسته و مرکز محیط آزمایش مجازی به کار گرفته شد. وقتی تیراژ تولید قالب چند حفره‌ای را تایید کرد، امکان کاهش هزینه قابل توجهی امکان پذیر می‌شود. پتانسیل بزرگی برای کاهش هزینه در هنگام بهینه سازی جهت پیدا کردن بهترین جواب وجود دارد. کاهش هزینه‌ای از ۲۰ الی ۴۰ درصد بسته به مورد آن می‌توان دید (شکل ۱).

مسیرهای پر شدن متفاوت

« آخرین نقاط پر شدن متفاوت احتمال حبس هوا در بعضی از حفره‌ها را افزایش می‌دهد.

سرعت‌های ورودی متفاوت مذاب

« حفره‌هایی که دیرتر پر می‌شوند نشانه‌هایی از سایش ناشی از سرعت بالای مذاب را نشان می‌دهند.

فشار در دسترس کاهش یافته

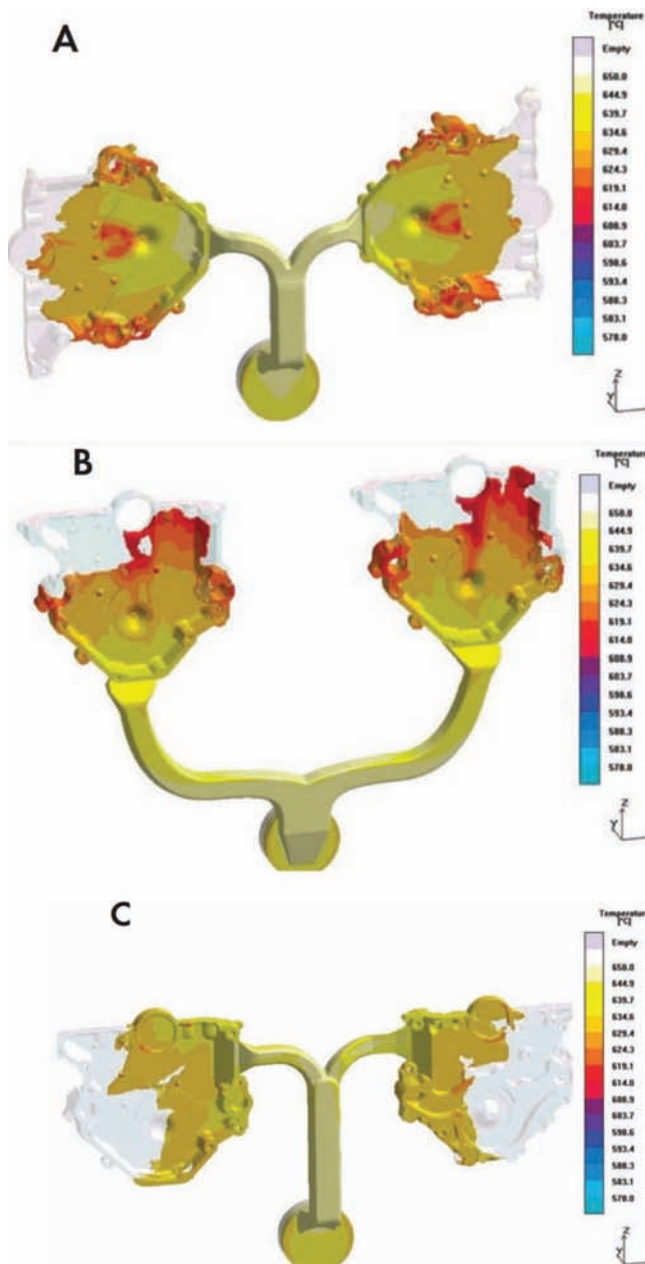
هوای حبس شده در سیستم راهگامی

مکان انتقال از فاز یک به فاز ۲ می‌تواند بحرانی باشد

هدف از این مطالعه دسترسی به کیفیت بالای مشابه قالب تک کویته در قالب دوکویته بود (شکل ۲).

اگرچه طراحی جدایش‌های کوچک را در جبهه جریان به هنگام پر شدن حفره نشان می‌دهد، وقتی با درجه حرارت بالای مذاب و تخلیه هوای مناسب توأم شود کیفیت قطعه به خطر نمی‌افتد. برای قالب ۲ کویته همین مسیر پر شدن برای هر کویته باید اتفاق بیافتد. تبدیل قالب از یک کویته به دو کویته نیازمند طراحی جدیدی از سیستم‌های راهگامی می‌باشد. مطالعات ابتدایی جهت مرور دوران قطعه در قالب انجام شد. مسیرهای پر شدن مذاب یاد شده نتیجه مستقیم خط سیر مذاب در کویته، ناشی از طراحی هندسه سیستم راهگامی می‌باشد. خط سیر ایجاد شده توسط هر یک از راهگاه‌ها مسیر پر شدن مخصوص به همان کویته را باعث می‌شود. این موضوع مورد پسند نیست، چون کیفیت قطعه به مسیر پر شدن مذاب در آن کویته بستگی داشته و تغییر جریان پر شدن مذاب ممکن است باعث تغییر کیفیت قطعه شود (هرکدام از حفره‌ها).

پر شدن جداگانه کویته‌های همان مسیر، پر شدن قالب تک کویته را نشان نمی‌دهد. جهت رسیدن به این منظور، بهینه‌سازی مستقل نرم‌افزار از طراحی سیستم راهگامی برای قالب دو حفره‌ای استفاده می‌کند که همان مسیر پر شدن در قالب تک حفره‌ای را تولید می‌کند. مشخص کردن فرایند پر شدن در قالب تک حفره‌ای، تغییر سرعت و جهت مذاب در قسمت باد بزی (fan) و ورودی (در شکل ۴ با خطوط قرمز مشخص شده است) در ارزیابی سه طرح (شکل ۳) مرور شده است. پارامترهای توصیف شده بعنوان معیار کیفیت برای بهینه‌سازی مستقل هندسه راهگاه برای قالب ۲ حفره‌ای استفاده می‌شود. موضوع بهینه‌سازی، کمینه کردن انحراف سرعت و جهت مذاب در قسمت بادبزی ورودی نسبت به شبیه‌سازی قالب تک حفره‌ای در مقایسه با همان مناطق در قالب دو حفره‌ای می‌باشد. جهت انتخاب شده در قالب دو حفره‌ای بر مبنای جهت عمودی قالب تک حفره‌ای استوار است.

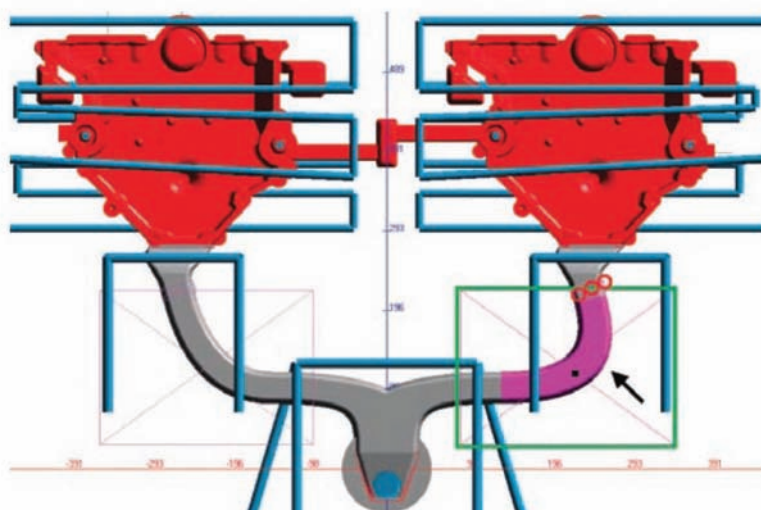


▲ شکل ۳- جانمایی و دوران های متداول در قالبهای ۲ حفره ای هر کدام مسیرهای جریان متفاوتی بین حفره‌های چپ و راست را نشان می‌دهند.

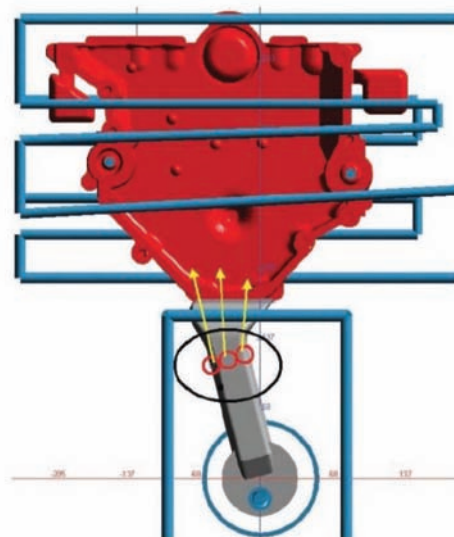
زمانهای نابرابر پر شدن برای حفره‌ها

« بعضی از حفره‌ها زودتر و با سرعت کمتر مذاب شروع به پر شدن می‌کنند. زمان‌های طولانی پر شدن باعث از دست رفتن حرارت مذاب و وقوع انجماد زودرس می‌شود.

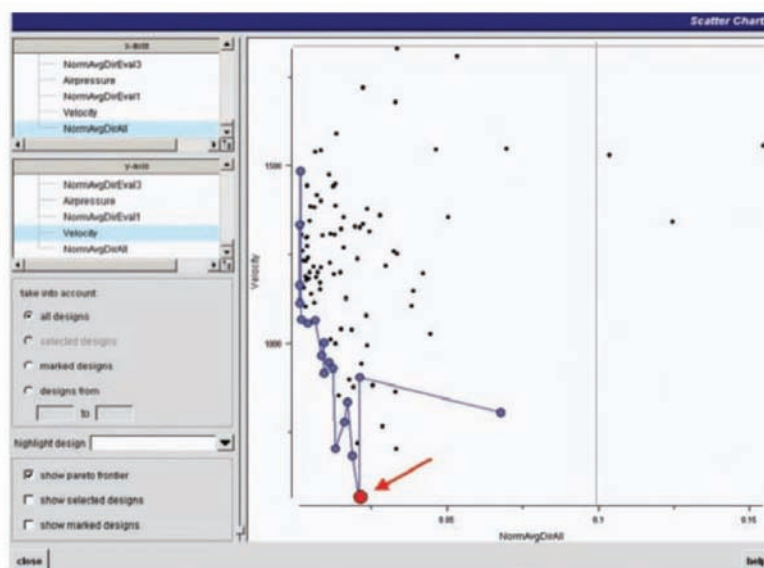
« بعضی از حفره‌ها دیرتر و با سرعت مذاب بالاتر پر می‌شوند. هوای بیشتری بدین ترتیب در این حفره‌ها می‌توانند حبس شوند - معمولاً حفره‌هایی که دورتر از بیسکوییتی هستند.



▲ شکل ۵- ناحیه مورد ارزیابی توسط مقطع راهگاه پارامتری شده



▲ شکل ۴- ناحیه مورد ارزیابی از نظر جهت و سرعت مذاب به هنگام پر شدن کویته



▲ شکل ۶- نمودار پراکندگی همراه با پارتو بهترین طراحی ها مشخص شده

هنگامی که مذاب جهت خود را در راهگاه تغییر می‌دهد، جدایش در جبهه جریان رخ می‌دهد. اغتشاش در راهگاه مطلوب نیست و ناحیه مشخص شده با خطوط قرمز بعنوان ناحیه ارزیابی جهت کاهش جدایش در جبهه جریان، برای هردو کویته در طی مراحل بهینه سازی صورت می‌گیرد. سرعت و جهت مذاب در ناحیه قرمز راهگاه جهت حصول مسیر مطلوب در کویته جدید بررسی می‌شود. برای تغییر مسیر پر شدن کویته، هندسه راهگاه باید به آزادی تغییر کند.

ناحیه راهگاهی، بین بیسکویت و ناحیه بادبزی از یک پایگاه داده‌ای موجود از راهگاه‌های پارامتریک انتخاب و منتقل شد و در نتیجه شکل آن

قسمت بادبزی و ورودی اولیه در بالای این راهگاه پارامتریک قرار داده شده است. قسمت ذکر شده مستقیماً از قالب تک حفره‌ای گرفته و در قالب ۲ حفره‌ای به کار رفته است. این بصورت خودکار منتج به خطوط مسیر متفاوت راهگاهی برای هر دو کویته می‌شود. هردو راهگاه بین بیسکویت و ورودی به صورت هندسی باهم مرتبط نیستند. این موضوع به صورت یک تجربه استاندارد طراحی نیست، چون معمولاً راهگاه‌ها چرخانده یا کپی می‌شوند (به صورت آینه). با این حال، تجربه استاندارد نتیجه دلخواه را نمی‌دهد و روش‌های طراحی راهگاه دیگری برای یک طراحی موفق نیاز است.

جهت کمینه کردن زمان محاسبات، ابعاد مدل باید تا حد امکان جهت یک شبیه سازی قابل اتکا و مطمئن کاهش یابد. در این حالت، تقسیم کردن پروژه به دو مدل جداگانه محاسبات را کاهش می دهد. به علاوه، تنها ناحیه نزدیک به ورودی، در شبیه سازی مورد بررسی قرار گرفت. این موضوع جهت بدست آوردن مشخصه های مهم در محاسبه مسیر پر شدن قالب کفایت می کند. نتایج بهینه سازی خودکار می تواند با ابزارهای ارزیابی مختلفی مورد مطالعه قرار گیرد. گروهی از شبیه سازی هایی که نتایج بهتری را داشته اند توسط Pareto نسبت به دیگر شبیه سازی ها تشخیص داده می شوند. یک ارزیابی گرافیکی موقعیت نسبی طراحی های مختلف با توجه به اهداف مختلف بهینه سازی را نشان می دهد (شکل ۶). نمودار Pareto می تواند برای پیدا کردن بهترین راه حل از میان دیگر طراحی های خوب را که تحت شرایط مختلف انجام شده اند استفاده شود. ۱۶۶ طراحی برای راهگاه راست و ۹۷ طراحی برای راهگاه چپ شبیه سازی و به صورت اتوماتیک طی ۳۹ ساعت و ۳۶ ساعت به صورت مجزا ارزیابی شد. تنها طراحی هایی که به هدف نزدیک بودند مورد بررسی قرار گرفت. این مورد برای راهگاه سمت راست ۱۹ عدد و برای راهگاه سمت چپ ۱۴ طراحی بود فقط یک طراحی از راهگاه راست و دو طراحی از راهگاه سمت چپ تمامی مشخصات طراحی هدف (مسیر جریان مشابه به قالب تک کوپته) را دارا بودند.

مدل کامل قالب درپوش از ترکیب بهینه راهگاه چپ و راست به دست آمد. شبیه سازی نهایی مدل کامل شده، به صورت دستی جهت صحت گذاری نتایج بهینه شده انجام شد. اختلافات فشار ایجاد شده در یک راهگاه وقتی هر دو راهگاه به یک منبع فشار وصل می شوند باعث تغییر جریان در راهگاه دیگر می شود.

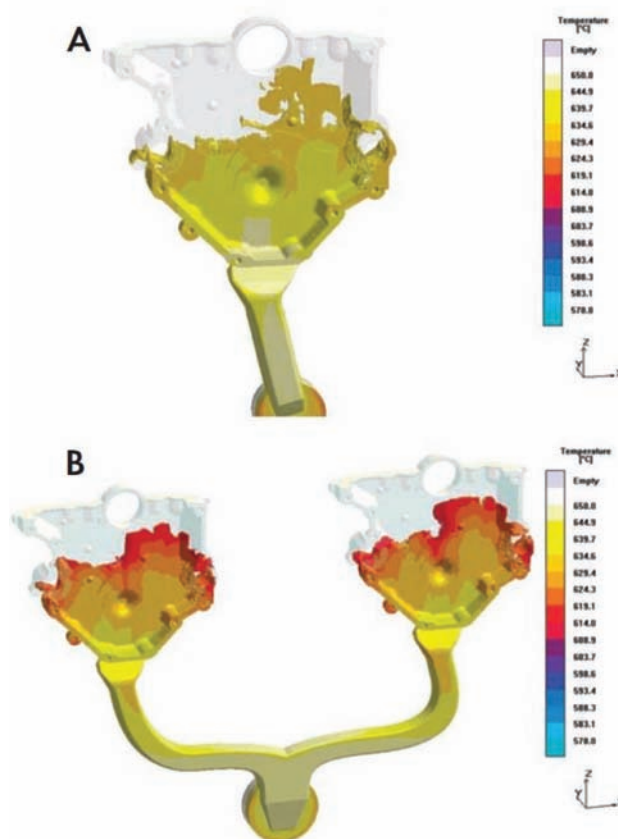
این مورد نایستی در مدل بهینه شده دیده می شد و یا حداقل می بایستی اثرات آن ناچیز میشد.

شبیه سازی کل مدل امکان مقایسه مسیر پر شدن بین قالب تک حفره ای و ۲ حفره ای را داد (شکل ۷). طراحی نامتقارن راهگاه ها کاملاً در آن مشهود بود که به طور کلی از محاسبات بهینه سازی نتیجه می شد. مسیر پر شدن در هر دو قالب مشخص و تقریباً یکسان است هر چند در قالب دو کوپته هدر رفت حرارتی بیشتری را شاهد هستیم که مورد انتظار هم بود.

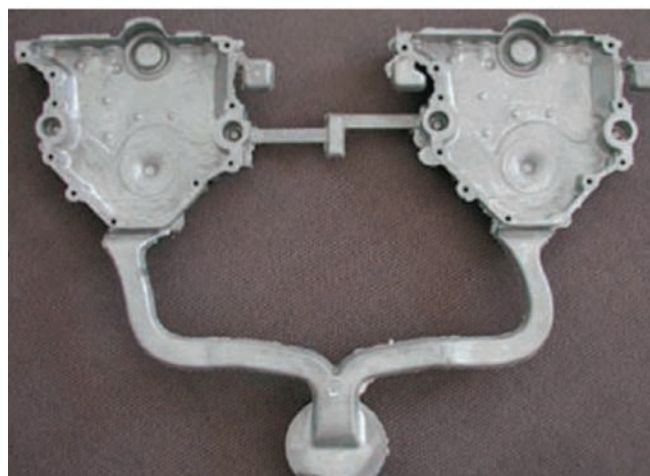
طراحی راهگاه در قالب جدید اجرا شد (شکل ۸). تولید اولیه آن همان نتیجه عالی قالب تک حفره ای را نشان می داد.

تجربه عملی

مورد مطالعاتی فوق که تبدیل قالب تک حفره ای درپوش به دو حفره ای بود با موفقیت در شرکت Ford در کلن آلمان انجام شد. طراحی قالب مناسب و کاهش چشمگیر هزینه در یک مرحله به کمک بهینه سازی



▲ شکل ۷- (A) مسیر پر شدن در قالب تک کوپته؛ (B) مسیر پر شدن در قالب دو کوپته



▲ شکل ۸- عکس تولید انجام شده توسط قالب طراحی شده با Magma Frontier

به صورت گسترده با بهینه سازی برنامه امکان تغییر داشت. بهینه سازی خودکار نیاز به تعداد قابل توجهی از شبیه سازی های مستقل دارد تا به الگوریتم بهینه سازی اجازه دهد یک سری جدید از طراحی های راهگاه را با استفاده از روش های آماری تولید کند؛ روش های آماری مانند: Taguchi، sobol و ...

Magma frontier با مشخص کردن و فهمیدن رابطه بین هندسه و پارامترهای فرایند، کمک شایانی به شما جهت رسیدن به راه حلی بهینه جهت کاهش ضایعات و هزینه‌های ناشی از آن می‌کند. حتی صرفه جویی بزرگتری ناشی از افزایش تولید توسط یک قالب صورت می‌گیرد. ریسک افزایش تولید با قالب‌های چند حفره‌ای به صورت قابل ملاحظه‌ای با روش‌های سنتی بالاست. هنگامی که تولید مطمئنی از لحاظ تیراژ وجود دارد تکرار تجربه ذکر شده توسط Magma frontier جهت بهینه کردن هندسه راهگاه و فرایند می‌تواند استفاده شود.

این مثال نشان می‌دهد چگونه این متدولوژی نوآوری جهت گسترش کاهش ریسک در فرایند استفاده می‌شود. نرم افزار طراحی قالب با ویژگی بهینه سازی خودکار به عنوان ابزاری قدرتمند جهت نیازهای روزمره شما در دسترس می‌باشد.

مراجع

Die Casting Engineering January 2008

خودکار حاصل شد. زمان صرف شده برای کل فرایند بهینه‌سازی ۲ هفته بود. بسته به پروژه، زمان صرف شده برابر یا کمتر از متوسط بود، چون از فرایندهای دستی و تکرار شونده که قبل از این برای بهینه سازی طراحی انجام می‌شد خبری نبود. فاز شروع نسبت به قالب تک کویته کوتاه تر بود. بدین وسیله هزینه‌های اصلاح مجدد قالب نیازی نبود. کیفیت بالای قطعه در قالب تک حفره‌ای عیناً در قالب دو حفره‌ای هم پیاده شد. انتقال موفق مسیر جریان از قالب تک حفره‌ای به دو حفره‌ای با موفقیت انجام شد و ریسک تولید با استفاده از شبیه‌سازی فرایند تولید از بین رفت.

نتیجه گیری

در اقتصاد جهانی کنونی که رقابت شدید بر سر کاهش هزینه‌ها امری جدی و دائمی می‌باشد، ابزارهای شبیه‌سازی جدید راهکاری برای رسیدن به این هدف در صنایع ریخته‌گری می‌باشد. مشکلات مهم عمدتاً در همه صنایع حل می‌شوند ولی رقابت بر سر مسائل کوچک است که موتور محرک نوآوری در صنایع ریخته‌گری جهان می‌باشد. رقابت بر سر کاهش درصدی از ضایعات، افزایش تولید توسط قالب‌های چند حفره‌ای برای قطعاتی با تیراژ بالا ضمن حفظ کیفیت آنها موضوع روز این صنعت می‌باشد.



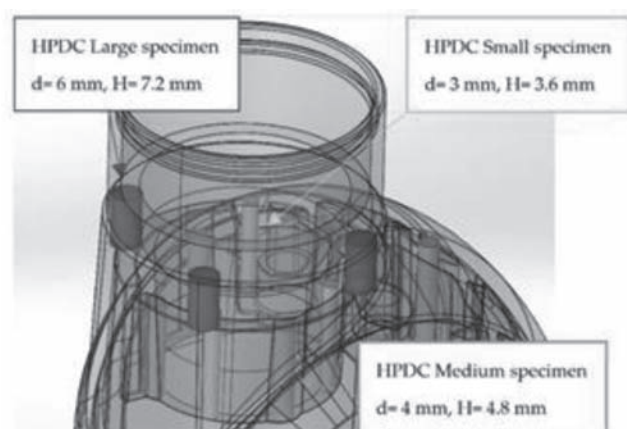
خنک کاری قالب؛ چرا و چقدر؟

مجیدی ستوده فرد

مقدمه

طراحی صحیح سیستم خنک کاری قالب دایکست یکی از مقوله های مهم در طراحی قالب به شمار می رود، چراکه این امر باعث جلوگیری از بعضی عیوب مهم قطعات دایکست، از جمله عیب لحیم شدگی و دسته عیوب انقباضی و تغییر مشخصات مکانیکی در قطعه و افزایش طول عمر قالب می شود. از دیگر دستاوردهای طراحی درست قالب، بهینه نمودن زمان یک سیکل تزریق است که ارتباط تنگاتنگی با اقتصاد و سودآوری واحد صنعتی دارد. تاثیر طرح سیستم خنک کاری قالب بر روی میحث عیوب بحث بسیار مفصلی دارد که خوشبختانه در دوره های آموزشی انجمن دایکست ایران به آن بصورت مفصل پرداخته می شود و موضوع این مقاله نمی باشد. خواص مکانیکی قطعات دایکست یکی دیگر از مواردیست که ارتباط مستقیم با طراحی سیستم خنک کننده قالب دارد.

درمقاله پژوهشی که در سال ۲۰۲۱ توسط Matic Žbontar و همکارانش در دانشگاه اسلواکی منتشر شد، اثر سرعت سرد شدن بر ریز ساختار و خواص مکانیکی قطعه دایکاست از آلیاژ $AlSi9Cu3$ مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق، نشان داده شد که ضخامت قطعه و درجه حرارت اولیه قالب بر روی سرعت سرد شدن و به تبع آن، خواص مکانیکی قطعه تاثیر دارد. اندازه گیری ها نشان دادند که سرعت سرد شدن در سه ناحیه قطعه مورد بررسی با ضخامت های ۳، ۴ و ۶ میلیمتر و همچنین میزان پیش گرم های مختلف اولیه قالب، منجر به دست یابی به ریزساختارهای متفاوتی شده اند. شکل ۱، قطعه دایکستی و نواحی مورد بررسی آن را نشان می دهد و مقادیر عددی بدست آمده در جدول ۱ نمایش داده شده اند [۱].



▲ شکل ۱- سرعت سرد شدن و آثار آن بر خواص مکانیکی در نواحی از قطعه دایکست با ضخامت های مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

درجه حرارت اولیه قالب	سرعت سرد شدن در ناحیه ۶ میلیمتر قالب	سرعت سرد شدن در ناحیه ۴ میلیمتر قالب	سرعت سرد شدن در ناحیه ۳ میلیمتر قالب
160 °C	64.7 K/s	100 K/s	127.9 K/s
180 °C	62.1 K/s	98.3 K/s	123.6 K/s
200 °C	59.9 K/s	95.2 K/s	119.7 K/s
220 °C	52.3 K/s	86.3 K/s	113.4 K/s

▲ جدول ۱- نتایج عددی حاصل از بررسی تاثیر سرعت سرد شدن بر قطعه نشان داده شده در شکل ۱

همانطور که در جدول ۱ دیده می شود، سرعت سرد شدن در ناحیه با ضخامت ۳ میلیمتر تقریباً دو برابر سرعت سرد شدن در ناحیه با ضخامت ۶ میلیمتری در قطعه است. همین اختلاف سرعت باعث تغییر ریزساختار و مشخصات مکانیکی شده است. نتایج حاکی از آن است که با افزایش سرعت سرد شدن فاصله بین شاخه دوم دندریت ها secondary dendrite arm spacing (یا باختصار، SDAS) نیز کاهش

یافته است. در شکل ۲، منحنی تنش کرنش حاصل از اندازه گیری های صورت گرفته در سه ناحیه از قطعه مذکور نشان داده شده است. همانگونه که از بررسی شکل ۲ و همچنین، شکل ۳a بر می آید، اثر سرعت های مختلف سرد شدن در این تحقیق بیشتر متوجه میزان تنش تسلیم آلیاژ بوده و تغییر قابل ملاحظه در میزان استحکام گسیختگی (شکل ۳b) دیده نمی شود.

محاسبات تعیین طول و محل کانال خنک کننده

در واقع، قالب علاوه بر اینکه شکل قطعه را می سازد، همانند یک مبدل حرارتی عمل می کند. بعبارت دیگر، گرمای ورودی از طریق مذاب تزریق شده به قالب، عمدتاً از طریق کانال های خنک کننده قالب، اسپری قالب و هوا خارج می گردد.

در روش ریخته گری دایکست، گرمای خارج شده از قالب به سه صورت، از طریق اسپری قالب، از طریق کانالهای خنک کننده و از طریق هوا انجام می شود:

$$Q_{\text{metal}} = Q_{\text{spray}} + Q_{\text{air}} + Q_{\text{cooling}}$$

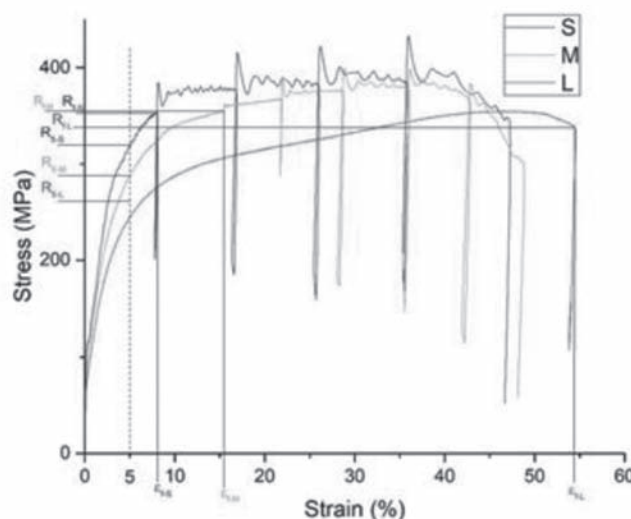
برای رسیدن به تعادل حرارتی قالب در فرایند تولید، باید گرمای ورودی به قالب برابر با گرمای خروجی از قالب باشد. در غیر اینصورت اگر گرمای ورودی بیشتر از گرمای خروجی گردد، درجه حرارت قالب رو به فزونی می رود و اگر گرمای ورودی به قالب کمتر از گرمای خروجی از قالب باشد قالب شروع به سرد شدن می کند. هر دو این حالت ها مشکلاتی را برای تولید قطعه سالم ایجاد می کنند. از همین رو طول کانال خنک کننده مورد نیاز قالب و عمق قرارگیری کانال خنک کننده توسط طراح قالب محاسبه می گردد.

اصولاً سه روش برای انتقال حرارت مطرح می باشد: ۱- هدایتی (conduction) ۲- همرفتی (convection) ۳- تشعشعی (radiation) (شکل ۴).

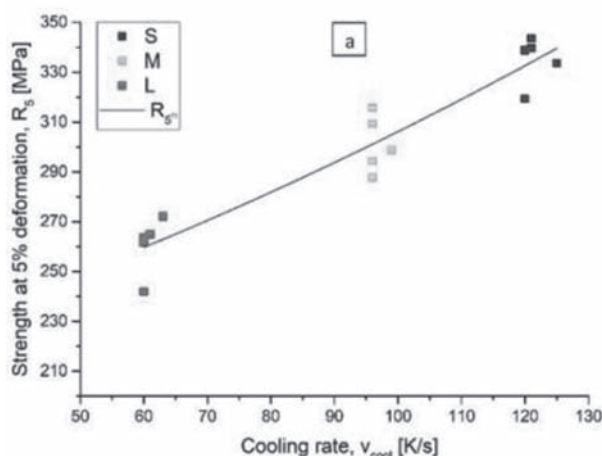
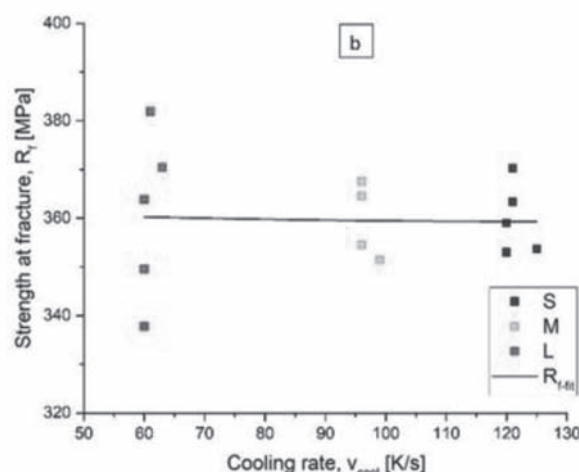
در انتقال حرارت به روش هدایتی، حرارت از یک مولکول به مولکول کناری منتقل شده و خود مولکول حرکتی ندارد. در قالب، حرارت سطح قالب بصورت هدایتی از طریق مولکول های فولاد قالب منتقل می گردد. شکل ۵ نشان می دهد حرارت چگونه از سطح قالب به درون قالب با این روش منتقل می شود.

در این نوع از انتقال حرارت، مقدار حرارت منتقل شده از قانون فوریه تبعیت می کند (شکل ۶).

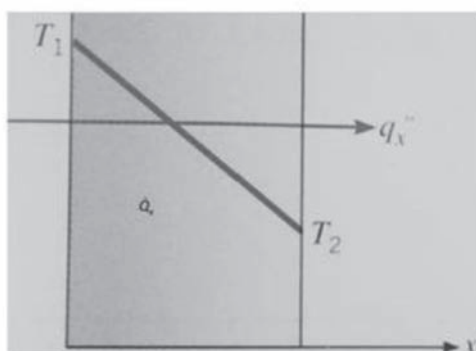
در روش انتقال حرارت به روش همرفتی، گرما به همراه انتقال جرم جابجا می شود، مانند حرکت هوای گرم بالای بخاری و چرخش آن در اتاق. در قالب دایکست و طی فرایند تولید، انتقال حرارت از طریق حرکت آب گرم شده درون کانال به بیرون از قالب منتقل می گردد و معمولاً عمده حرارت وارد شد به قالب از این طریق خارج می گردد (شکل ۷).



شکل ۲- منحنی تنش کرنش در سه ناحیه به ضخامت ۳، ۴ و ۶ میلیمتر.



شکل ۳- نمودار تغییر استحکام تحت تاثیر سرعت سرد شدن. S ناحیه با ضخامت ۳ میلیمتر، M ناحیه با ضخامت ۴ میلیمتر، L ناحیه با ضخامت ۶ میلیمتر. a استحکام در اغیر فرم ۶٪ و b استحکام در گسیختگی.



$$Q_x = \frac{KA(T_1 - T_2)}{D}$$

رابطه 1

D

Q_x = گرمای انتقالی هدایتی

K = ضریب انتقال حرارت هدایتی فولاد قالب

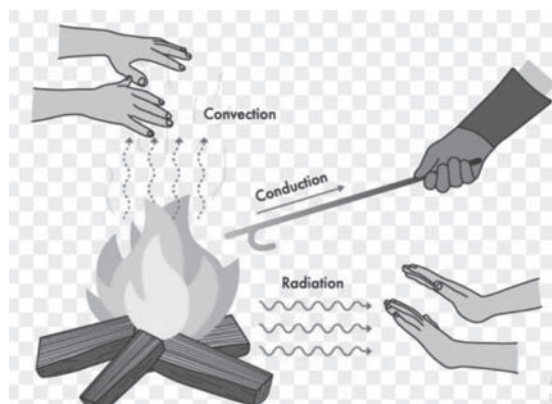
A = سطح تماس

D = فاصله از سطح

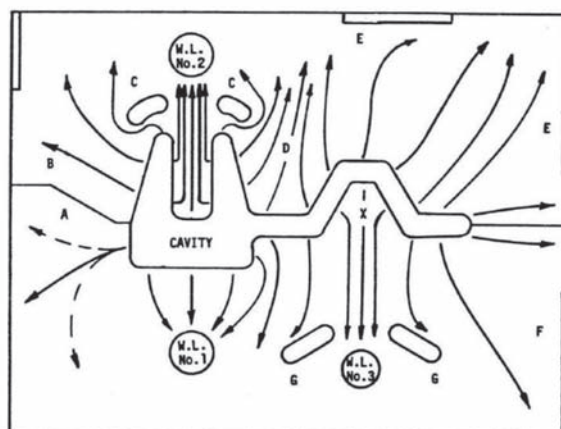
T_1 = درجه حرارت سطح

T_2 = درجه حرارت در فاصله از سطح

شکل ۶- انتقال حرارت به روش هدایتی



شکل ۴- روش های مختلف انتقال حرارت



شکل ۵- انتقال حرارت به روش هدایتی در قالب

$$Q_{tot} = Q_L + Q_S$$

Q_s گرمای انتقالی از درجه حرارت ورود مذاب تا درجه حرارت انجماد و حرارت انتقالی به قالب از درجه حرارت انجماد تا درجه حرارت قطعه بهنگام خارج شدن از قالب می باشد.

$$Q_s = m * C_p * (T_i - T_e)$$

رابطه 4

Q_s = گرمای انتقالی ناشی از تغییر درجه حرارت

m = جرم مذاب وارد شده به قالب

C_p = گرمای ویژه آلیاژ مذاب

T_i = درجه حرارت تزریق مذاب

T_e = درجه حرارت قطعه بهنگام خروج از قالب

Q_L گرمای نهان ذوب آلیاژ هنگام تبدیل مذاب به جامد است.

$$Q_L = m * L_f$$

رابطه 5

Q_L = گرمای نهان ذوب

m = جرم مذاب وارد شده به قالب

L_f = گرمای ویژه نهان ذوب آلیاژ

در شکل ۸ رابطه انتقال حرارت به روش همرفتی آورده شده است. در رابطه انتقال حرارت به روش همرفتی، ضریب انتقال حرارت با دانستن عدد رینولدز و عدد پرندل از رابطه ۳ بدست می آید.

$$h = \frac{0.023 * Re^{0.8} * Pr^{0.3}}{D}$$

رابطه 3

D

Reynolds Number:

$$Re = \frac{v * D * \rho}{\mu}$$

Prandtl Number:

$$Pr = \frac{C_p * \mu}{k}$$

V = سرعت سیال

D = قطر کانال خنک کننده

ρ = چگالی سیال

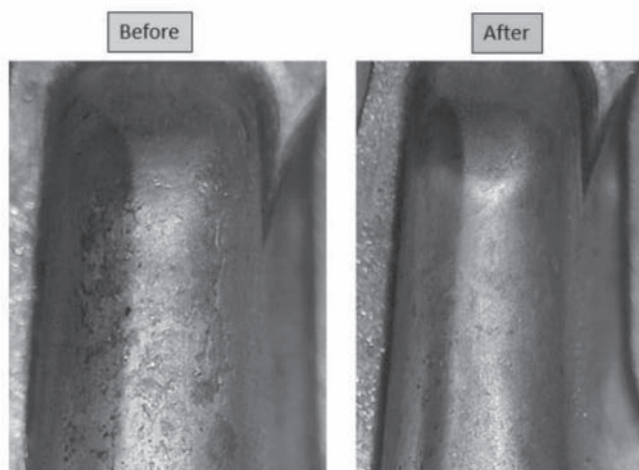
μ = ویسکوزیته دینامیکی سیال

C_p = گرمای ویژه سیال

K = ضریب انتقال حرارت هدایتی

در روش انتقال حرارت تشعشعی، گرما از طریق تشعشع به محیط منتقل می شود. در ریخته گری به روش دایکست میزان انتقال حرارت به روش تشعشعی کمتر از ۲٪ می باشد که معمولاً در محاسبات از آن صرف نظر می گردد.

در ریخته گری دایکست گرمای وارد شده به قالب از طریق گرمای مذاب ورودی به قالب می باشد که شامل دوبخش است:

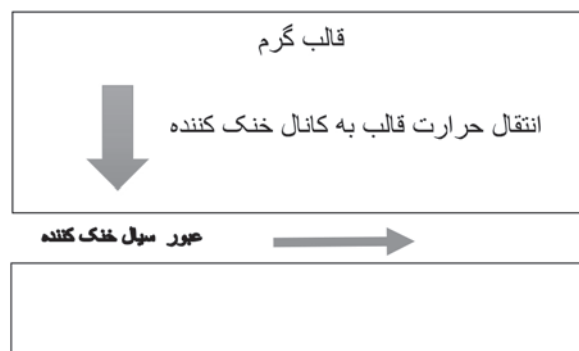


▲ شکل ۹- سطح قطعه دایکستی قبل و بعد از اصلاح سیستم خنک کاری

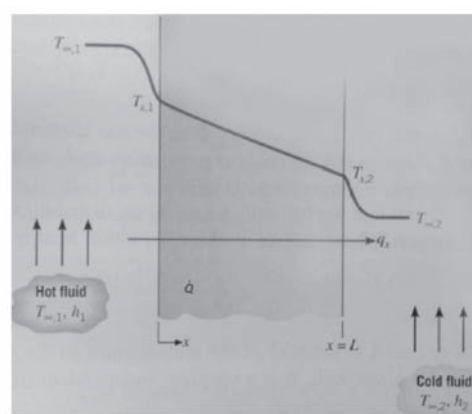


▲ شکل ۱۰- کانال خنک کاری که به روش پرینت سه بعدی ساخته شده است

- سطح قطعه در تماس با قالب در نیمه متحرک قالب
- زمان یک سیکل تزریق
- درجه حرارت تزریق مذاب T_i
- درجه حرارت قطعه به هنگام خروج از قالب T_e
- درجه حرارت سطح قالب T_1
- درجه حرارت سیال خنک کننده T_f
- جنس سیال خنک کننده
- قطر کانال خنک کننده D
- سرعت حرکت سیال خنک کننده V
- ضریب انتقال حرارت فولاد قالب K
- چگالی سیال خنک کننده
- ویسکوزیته دینامیکی سیال μ
- گرمای ویژه سیال C_{pf}
- درجه حرارت سالیدوس آلیاژ T_{sol}
- درجه حرارت لیکویدوس آلیاژ T_{liq}
- درجه حرارت در محل تماس با کانال T_s, T_2



▲ شکل ۷- انتقال حرارت به روش همرفتی



رابطه ۲ $Q = hA(T_s - T_f)$

Q = گرمای انتقالی همرفتی

h = ضریب انتقال حرارت همرفتی

A = سطح تماس

T_s = درجه حرارت سطح تماس

T_f = درجه حرارت سیال

▲ شکل ۸- انتقال حرارت به روش همرفتی

با دانستن مباحث فوق و اطلاعات اولیه زیر در قالب طول مورد نیاز کانال خنک کننده محاسبه می گردد.

اطلاعات اولیه مورد نیاز:

- مجموع وزن قطعه تزریق شده به همراه سیستم راهگاهی
- آلیاژ قطعه تزریق شده
- جنس قالب
- حجم قطعه در نیمه ثابت قالب
- سطح قطعه در تماس با قالب در نیمه ثابت قالب
- حجم قطعه در نیمه متحرک قالب

- گرمای نهان آلیاژ L_{fm}

- گرمای ویژه آلیاژ C_{pm}

با جمع آوری اطلاعات فوق مربوط به قالب در دست طراحی، ابتدا عدد رینولد و عدد پراندل مربوطه محاسبه شده و با کمک آن ضریب انتقال حرارت h از رابطه ۳ حساب می گردد.

برای محاسبه گرمای ورودی به قالب ابتدا وزن آلیاژ قطعه تزریق شده در هر طرف قالب با استفاده از مدل سه بعدی قطعه به دست آورده می شود و سپس با توجه به زمان سیکل هر تزریق، مقدار حرارت وارد به قالب از مجموع مقادیر بدست آمده از رابطه ۴ و ۵ در واحد زمان محاسبه می گردد. این حرارت وارد شده با صرف نظر کردن از خروج گرما از طریق تشعشع و اسپری قالب، مطابق با رابطه ۲ باید از طریق همرفتی کانال های خنک کننده خارج گردد. از آنجا که سطح کانال خنک کننده، A ، بصورت استوانه می باشد، بنابراین مقدار این سطح برابر است با:

$$A = \pi D L$$

D = قطر کانال خنک کننده

L = طول کانال خنک کننده

با جایگزینی در رابطه ۲، رابطه ۶ به دست آمده و با استفاده از این رابطه، طول کانال مورد نیاز برای هر سمت قالب محاسبه می شود.

$$L = Q / (h \pi D (T_s - T_f))$$

برای تعیین فاصله کانال از سطح قالب، با توجه به اینکه انتقال حرارت از سطح به عمق بصورت هدایتی می باشد، از رابطه ۱ استفاده کرده و مقدار فاصله، D را به دست می آوریم.

طراح قالب با انجام این محاسبات به طول مورد نیاز کانال خنک کننده

و فاصله قرار گیری آن از سطح قالب با تقریب نسبتا خوب دست پیدا می کند. شکل ۹ ظاهر بهبود یافته قطعه تزریقی، قبل از انجام محاسبات خنک کاری و بعد از اصلاح محاسباتی شرایط خنک کاری و اعمال آن را در قالب نشان می دهد [۴].

با پیشرفت های روزافزون علوم نرم افزار و سخت افزار کامپیوتری، امروزه نرم افزارهای شبیه سازی کمک شایانی به کنترل صحت طراحی قالب و همچنین صحت طراحی سیستم خنک کاری می کنند. همچنین ظهور پدیده پرینت سه بعدی باعث شده تا محدودیت های ساختی ایجاد کانال های خنک کاری تا حد زیادی برطرف شود. شکل ۱۰، یک نمونه کانال خنک کاری ایجاد شده در قالب از طریق پرینت سه بعدی را نشان می دهد که ساخت آن با روش های سنتی امکان پذیر نمی باشد [۳].

ارائه هر گونه نظر و پیشنهاد اصلاحی از طریق واتساپ و یا انعکاس به دفتر انجمن باعث خرسندی نویسنده است.

شماره تلفن همراه برای ارائه نقطه نظرات ۰۹۱۲۱۰۶۶۷۳۱

مراجع

- 1- The Influence of Cooling Rate on Microstructure and Mechanical Properties of AlSi9Cu3 Matic Žbontar *, Mitja Petrič and Primož Mrvar
- 2- Cooling channel free surface optimisation for additively manufactured casting tools Tongyan Zeng
- 3- Die-Casting Mold Insert with Conformal Cooling FRECH
- 4- High Pressure Die Casting Cooling calculation with application of Thermodynamics Mahesh Sunil Jadhav1, Thompson Roland2, Aneesh P3, Pravin Kumar



دایکست روی چرا و چه وقت؟

ترجمه: سیامک فتحی

آن در این فرایند وجود دارد. بروز چنین تحولاتی اغلب با کاهش هزینه ها برای مشتری نهایی همراه بوده است. اما غالبا با انتخاب روی برای تولید قطعات، شانس و مزایای بیشتری برای صرفه جویی در هزینه ها ایجاد می شود. در اینجا به برخی از جزئیات فرایند دایکست روی که در کاهش هزینه ها موثر هستند پرداخته می شود.

ماشین های محفظه گرم

دو گروه اصلی از ماشین های دایکست وجود دارد؛ ماشین های با محفظه سرد (cold chamber) و ماشین های با محفظه گرم (hot chamber). برای آلیاژهای با نقطه ذوب بالاتر و تمایل به حمله و خوردگی و تخریب آهن، ماشین های با محفظه سرد لازم است. تمام آلیاژهای آلومینیوم، آلیاژهای مس و برخی آلیاژهای منیزیم باید با ماشین های با محفظه سرد ریخته گری شوند. واژه "سرد" برگرفته از سیستم تحویل مذاب به قالب است که در آن سیلندر (sleeve) ماشین افقی است. فلز مذاب با ملاقه یا سیستم دوزینگ به درون سیلندر ریخته می شود و فلز با پلانجر (plunger) به درون قالب تزریق می شود.

آلیاژهای روی، در مقایسه با سایر آلیاژهای دایکستی، نقطه ذوب پایینی دارند و تمایل آنها به حمله به اجزای آهنی و فولادی کمترین است. بنابراین، می توانیم از ماشین های با محفظه گرم برای تولید قطعات دایکستی از آلیاژهای روی استفاده کنیم. در این فرایند پمپ (یا گردن غازی) درون مذاب قرار دارد. این یک مزیت است، چراکه فرایند ملاقه زدنی وجود ندارد، زمان سیکل ریخته گری (cycle time) کوتاه تر است و هوای کمتری در فرایند وجود دارد که این به معنی تخلخل کمتر است، البته مشروط بر آنکه شرایط فرایند به درستی تعریف و کنترل شود.

زمان سیکل (Cycle Time)

ظرفیت گرمایی کل یک ماده خاصیتی فیزیکی است که مشخص می کند چه مقدار انرژی برای ذوب کردن و رساندن آلیاژ مذکور از دمای اتاق به فوق ذوب مناسب برای ریخته گری لازم است یا برعکس، مقدار انرژی که باید از

فرایند دایکست، راه حلی بسیار اقتصادی برای تولید قطعاتی است که الزاماتی مرکب از تیراژ بالا، هندسه پیچیده و خواص فیزیکی و مکانیکی بالا را تکلیف می کنند و البته اینها تنها گوشه ای از قابلیت های روی است. در زندگی روزمره به وفور با قطعات دایکستی روی مواجه می شویم. این قطعات در خودرو، لوازم خانگی، سخت افزار، اسباب بازی و لوازم ورزشی ما وجود دارند. همچنین بسیاری از آنها در پشت صحنه تجهیزات کاربردی حضور دارند که شاید هرگز به چشم نیایند.

هر آلیاژی کاربری یافته که در آن کاربری مزیت هایی دارد و البته آلیاژها محدودیت های خاص خود را نیز دارند. آلیاژهای دایکستی آلومینیوم پرمصرف ترین ها هستند و ترکیب شگفت انگیزی از استحکام و سبکی را در خود دارند. آلیاژهای دایکستی منیزیم سبکترین در خانواده آلیاژهای دایکست هستند و نسبت استحکام به وزنی دارند که آنها را برای بسیاری از کاربردها جذاب نموده است. آلیاژهای دایکستی مس هم ترکیبی عالی از مقاومت به خوردگی و خواص مکانیکی را در خود دارند.

اما این مقاله درباره روی است!

همچون سایر آلیاژهای دایکستی، آلیاژهای روی مزایای بسیاری دارند و البته معایبی نیز. مانند سایر آلیاژها، روی در بسیاری از کاربردها انتخاب ارجح است. سوال این است که چه وقت و چرا باید از روی استفاده کنیم، در حالیکه آلیاژهای بالقوه دیگری هم در خانواده آلیاژهای دایکستی وجود دارند؟ اینها سوالات کلیدی هستند، پس ... بیایید از روی بگوییم!

چرا دایکست روی؟

در گام نخست، مهم است بدانیم که چه چیز دایکست روی را متفاوت می سازد. در کل، فرایند دایکست انتخابی اقتصادی برای تولید قطعات ریخته گری پیچیده و پرتیراژ است. هرگاه که تولید قطعه ای از سایر روش های تولید به دایکست تغییر فرایند داده، آلیاژهای دایکست به خوبی از پس این تغییر برآمده اند. این مهم شاید از آن جهت باشد که خواص مکانیکی بهتری را ارائه می دهند یا توانایی تولید قطعاتی پیچیده در شکل نهایی و کاربردی



▲ شکل ۱- کارت ویزیت از آلیاژ روی

"خط جدایش"، "اجزای متحرک قالب" یا تلرانس های "MDC"، شیب قالب کمتر مورد نیاز و موارد دیگر.

هزینه های تمام کاری

تمام آلیاژهای دایکستی را می توان به منظور ایجاد ظاهر زیبا و محافظت بیشتر در برابر خوردگی، تمام کاری (finishing) کرد. بسته به آلیاژ انتخاب شده، هزینه ایجاد لایه شیمیایی (فسفاته یا کروماته) یا پوشش ارگانیک (رنگ/پوشش پودری/پوشش E) خیلی تفاوتی ندارد. اما زمانی که پوشش فلزی، نظیر الکتروپلیتینگ Cu/Ni/Cr اجرا می شود، ابتدا باید فرایندهای اضافی زیر اجرا شوند:

- اچ قلیایی (alkaline etch) - که رسوبی بین فلزی به نام زنگ سیاه (smut) ایجاد می کند.

- عملیات حذف زنگ سیاه - که سطح آلومینیوم را پس از اچ قلیایی، پاکسازی می کند.

- زینکاته کردن (zincate) - که لایه ای نازک از روی ایجاد می کند تا جلوی غیرفعال شدن (passivation) سطح آلومینیوم را بگیرد.

- اندودکاری نیکل (بدون جریان برق) - که با زیرلایه آلومینیوم واکنش داده و لایه ای با چسبندگی بالاتر به لایه سطح مس زیرین ایجاد می کند.

فرایندهای اضافی، زمان و هزینه آبرکاری را بالا می برند. سطح قطعه دایکستی از جنس روی به آسانی و بدون نیاز به مراحل اضافی به لایه مس سطحی می چسبد و نیازی به آبرکاری فلزی (plating) ندارد. بنابراین قطعات دایکستی روی برای آبرکاری شدن به هزینه بسیار کمتری نیاز دارند.

چالش های پیش روی دایکست روی

همچون تمامی فرایندها، دایکست روی هم با چالش هایی همراه است. سه مانع اصلی که اغلب می تواند انتخاب قطعات دایکستی را برای برخی کاربردها به تردید مواجه سازد عبارتند از: الزامات وزنی، دمای کاری بالا و قیمت آلیاژ. تلاش برای غلبه بر این موانع سابقه ای طولانی دارد. اما صنعت روی به شکلی هوشمندانه راه هایی برای جبران این چالش ها یافته است.

آلیاژ مذکور استخراج شود تا قطعه ریخته شده از دمای ریخته گری به دمای اتاق برسد. همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است، ظرفیت گرمایی کل برای زاماک ۳ کمتر از یک چهارم ظرفیت گرمایی کل آلیاژ Al380 و تقریباً یک پنجم آلیاژ AZ91D می باشد. این نشان می دهد که زمان صرف شده برای استخراج گرما از قطعه ریخته شده از آلیاژ روی به مراتب کمتر از قطعات ریختگی از جنس آلیاژهای آلومینیوم یا منیزیم است و در نتیجه زمان سیکل کوتاه تر است.

عمر اجزای قالب

همانطور که پیشتر گفته شد، در مقایسه با آلومینیوم و منیزیم، روی کمترین حمله را به اجزای آهنی و فولادی تجهیزات تولید دارد. به همین دلیل است که می توانیم از فرایند محفظه گرم برای آلیاژهای روی استفاده کنیم. همچنین قالب و اجزای آن در دایکست آلیاژهای روی به مراتب بالاتر از عمر آنها در دایکست آلیاژهای آلومینیوم یا منیزیم است. تعداد ضرب هایی که یک قالب می تواند تولید کند تابعی از اندازه و پیچیدگی قطعه است، اما به طور متوسط، عمر قالب در دایکست روی حدود ۱۰ برابر بیشتر از آلیاژهای آلومینیوم و ۵ برابر بیشتر از آلیاژهای منیزیم است. چنین پدیده ای می تواند در تیراژهای بالا ارزش افزوده زیادی ایجاد کند.

هزینه انرژی

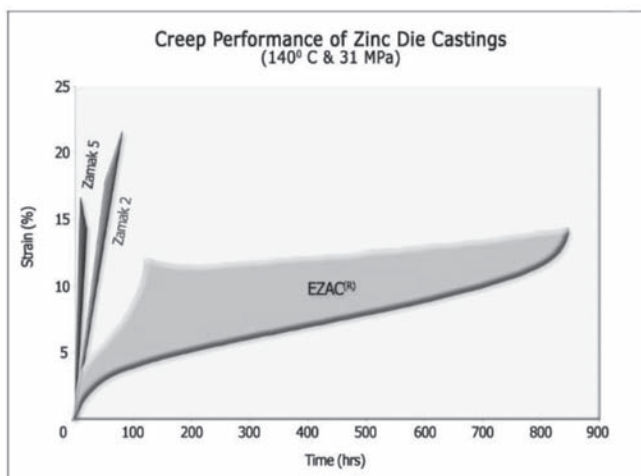
همچنین پیشتر گفته شد که اختلاف دمای ذوب بین آلیاژهای دایکستی هم اهمیت دارد. آلیاژهای دایکستی روی بطور معمول در دمای حدود 430°C ریخته می شوند، در حالیکه آلیاژهای آلومینیوم و منیزیم در دمای حدود 650°C ریخته گری می شوند. ترکیب نقطه ذوب پایین روی و ظرفیت گرمایی پایین آن، منجر به پایین آمدن هزینه انرژی لازم برای دایکست می شود.

سیالیت

سیالیت آلیاژهای روی استثنایی است. این ویژگی خود را در توانایی پر کردن قطعاتی با اشکال بسیار پیچیده و دیواره های بسیار نازک نشان می دهد. یافتن قطعات دایکستی روی با دیواره هایی به ضخامت $0.5/0$ میلیمتر عادی است، اما ثابت شده که قطعات دایکستی با دیواره هایی به ضخامت $0.19/0$ میلیمتر هم قابل تولید هستند، از جمله کارت ویزیت که در شکل ۱ نشان داده شده است.

تلرانس های هندسی

بر اساس راهنمای "استانداردهای مشخصات محصول برای دایکست"، دایکست روی همان تلرانس ها و یا تلرانس های هندسی محدودتری را نسبت به سایر آلیاژهای دایکستی دارد، از جمله تلرانس های محدودتر



▲ شکل ۲- رفتار خزشی آلیاژ EZAC

آغاز شده است. برای نمونه، در دمای 140°C و تحت تنش ثابت 31MPa، نمونه های آزمایشی خواصی به مراتب برتر از سایر آلیاژهای استاندارد روی بروز دادند.

قیمت آلیاژ

به شکل تاریخی، آلیاژهای روی نوعاً از آلیاژهای آلومینیوم و در مواردی نادر از آلیاژهای منیزیم هم گران تر بوده اند. پس چرا باید قطعات دایکستی روی را ترجیح داد؟ دلیل آن روشن و آن است که قیمت آلیاژ تنها بخشی از قیمت تمام شده قطعه است.

گاهی فرایند دایکست روی از آغاز مورد پیش داوری و غفلت قرار می گیرد، چراکه مصرف کننده نهایی تنها به قیمت نگاه می کند. اما اگر به تمام صرفه جویی هایی که در فرایند دایکست روی اتفاق می افتد توجه شود، صرفه مالی اغلب به سمت روی سنگینی می کند.

چه زمانی سراغ دایکست روی برویم؟

پاسخ، ما را به آن سمت می برد که بینیم چه زمانی باید طراحی قطعات دایکستی را بر اساس روی انجام دهیم. با التفات به تمامی مزایا و موانع موجود برای دایکست روی، به سناریوهایی می رسمیم که قطعاً باید از دایکست روی استفاده شود و سناریوهایی هم خواهند بود که قطعاً نباید از دایکست روی استفاده شود. اجازه دهید وارد جزئیات شویم:

ملاحظات مربوط به وزن

چالش وزن یا اندازه قطعه هدف ممکن است کار را به جایی برساند که قیمت روی خارج از آستانه تحمل بشود. چگالی و قیمت بالاتر روی عامل چنین پدیده ای هستند. وزن هدف برای قطعه فرضی براساس اختلاف قیمت

روشن است که چگالی آلیاژهای روی بیشتر از چگالی آلیاژهای آلومینیوم و منیزیم است و این مشخصه فیزیکی قابل تغییر نیست. آلیاژ Al380 تقریباً ۵۹٪ سبکتر از زاماک ۳ است و این اختلاف در مورد آلیاژ AZ91D بیشتر هم هست. اختلاف چگالی تابع ساختار مولکولی و اتم های عناصر است که موضوع بحث این مقاله نیست. اگرچه روی سبک تر از آلیاژهایی نظیر پایه مس و آهن است، اما از برخی رقابیش، از جمله آلومینیوم، منیزیم و پلاستیک سنگین تر است.

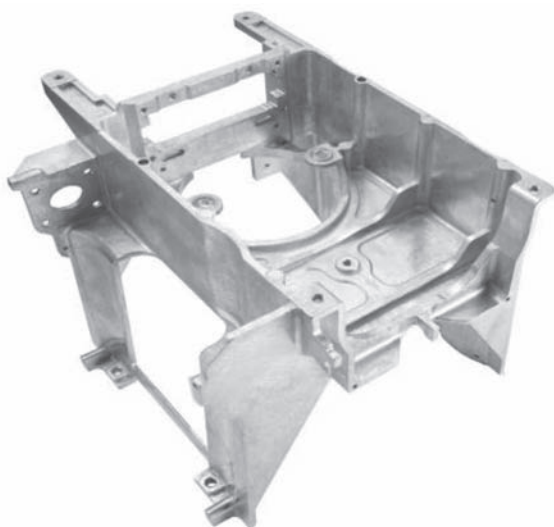
خوشبختانه راه حل هایی برای جبران این اضافه وزن وجود دارد. یک راه حل استفاده از آلیاژهای سبک تر روی، نظیر ZA-27 است. این آلیاژ ضمن استحکام بالایی که دارد، حدود ۲۵٪ از زاماک ۳ سبک تر است. اما دمای ذوب بالاتر آن و نرخ حمله آن به فولاد، ریخته گری آن توسط ماشین دایکست محفظه سرد را اجتناب ناپذیر می سازد. راه حل دوم برای مشکل وزن روی سیالیت آن است. همانطور که بحث شد، آلیاژهای روی عموماً سیال تر از سایر آلیاژهای دایکست هستند و بنابراین می توانند قالب قطعاتی با ضخامت دیواره نازک تر و پیچیدگی بیشتر را پر کنند. توانایی دایکست دیواره های نازک در کنار استحکام بالاتر روی می تواند جبران کننده چگالی بالای آن باشد.

پوسته ای دایکستی از جنس آلیاژ آلومینیوم را در نظر بگیرید که ضخامت دیواره آن 0.145 اینچ است. همین قطعه می تواند با استفاده از آلیاژ EZAC با ضخامت دیواره 0.06 اینچ طراحی شود. در این حالت وزن قطعه تولید شده از روی معادل وزن قطعه تولید شده با آلیاژ Al380 است، بدون آنکه چیزی از خواص آن از دست برود (تنش تسلیم EZAC تقریباً $2/5$ برابر Al380 است).

دما

همچنانکه پیشتر اشاره شد، روی نقطه ذوب نسبتاً پایینی دارد که به کاهش هزینه های انرژی و انتشار کربن کمک می کند، اما بر قابلیت قطعات دایکستی برای کار تحت تنش در دماهای بالا تأثیر منفی دارد. قاعده کلی رایج در صنعت روی آن است که در دمای کاری زیر 93°C ، قطعات دایکستی روی باید انتخاب ارجح باشد. در دماها و تنش های بالاتر باید آزمایشات لازم صورت پذیرد. انجمن صنعتی روی (IZA) کارهای زیادی بر روی عملکرد خزش آلیاژهای روی در دماها و تحت تنش های مختلف انجام داده که حاصل آن رابطه ای بوده که به پیش بینی رفتار خزشی قطعات دایکستی روی کمک می کند.

هر چند خواص خزشی قطعات دایکستی روی تقریباً هیچ وقت به پای آلومینیوم و منیزیم نخواهد رسید، اما تلاش در جهت کاستن از این فاصله



▲ شکل ۳- مورد کاوی برای قطعه از جنس روی بدون پیچ و پرچ.

نگهدارنده مرکزی برای نصب تمامی تجهیزات اپتیکی، الکتریکی و مکانیکی برای تکنولوژی میز تصویر برداری است. این قطعه به زاماک ۵ تغییر آلیاژ داد و فرایندهای ثانویه برای بستن با پیچ و پرچ در آن حذف شدند.

نتیجه

این مقاله تلاش دارد تا توضیح دهد که چرا و چه زمان باید سراغ دایکست روی برویم و چه زمان نرویم. قطعات دایکستی روی می توانند در اغلب کاربردها جزو انتخاب ها باشند. اگر وزن باعث نگرانی است، قطعات دایکستی روی می توانند با دیواره های نازک تر طراحی شوند تا چگالی بالای روی را جبران کنند. اگر کار در دمای بالا باعث نگرانی است، راه حلی که شاید بتواند تا حدودی این خلا را پر کند استفاده از آلیاژ EZAC است. روش های محاسباتی برای کمک به چنین انتخابی در دسترس هستند. اغلب آلیاژهای روی به دلیل قیمت بالای آنها در مقایسه با سایر آلیاژهای دایکستی کنار گذاشته می شوند. در این مقاله، همچنین تلاش شد تا توضیح داده شود که قیمت آلیاژ تنها یکی از چندین عامل تعیین کننده قیمت تمام شده قطعه است. در مجموع، در دامنه خاصی از اندازه قطعات و در رقابت با فرایندهایی که قطعات با استحکام بالا تولید می کنند، دایکست روی قابلیت رقابت بالایی دارد. ترکیب خواص فیزیکی روی و مزیت های فرایند دایکست روی، آنرا تبدیل به انتخابی معقول در رقابت با سایر مواد و فرایندها می سازد.

مرجع

Ryan Winter, "The When's and Why's of Zinc Die Casting", Die Casting Engineer, March 2023

آلیاژها، تجربه شرکت دایکست کار (که برخی از ایشان در تولید قطعات بزرگ و سنگین تخصص دارند) و تیراژ سالانه مورد نیاز تغییر می کند. در برخی موارد، حتی قطعات بزرگ دایکستی هم از روی تولید می شوند، چراکه پیچیدگی طراحی قطعات، بهره گیری از سیالیت بالای روی برای پرکردن جزئیات ظریف قالب را ناگزیر می سازد. در دیگر موارد، برای دایکست قطعات بزرگتر که باید الکتروپلیتینگ شوند هم به روی رجوع می کنند، چراکه روی را می توان با هزینه کمتری آبکاری فلزی کرد. به علاوه قطعاتی هم هستند که وزن بالاتر عملکرد آنها را بهبود می بخشد و روی انتخابی عالی برای چنین کاربردهایی است.

حتی روی را می توان برای قطعات حساس به وزن هم بکار برد. سیالیت بالاتر روی این امکان را فراهم می کند تا قطعات را با دیواره هایی بسیار نازک تر طراحی نمود و به نوعی چگالی بالایی آن را جبران کرد. بازطراحی قطعاتی که به عنوان پوسته بکار می روند در صنایع خودروسازی، پزشکی و الکترونیک مثال های خوبی برای قابلیت سبک سازی توسط روی هستند.

ملاحظات مربوط به دما

به شکل سنتی، قطعات دایکستی روی برای کار تحت تنش و در دمای بالا استفاده نمی شوند. در چنین کاربردهایی بطور معمول از آلیاژهای آلومینیوم استفاده می شود. با توسعه آلیاژ EZAC، می توان برای برخی کاربردها در دمای بالا روی را هم در بین انتخاب ها قرار داد. با مطالعه تحقیقات IZA و محاسبات نتایج خزش، طراحان و مهندسان می توانند تخمین بزنند که خزش روی برای کاربرد مورد نظر کافی است یا خیر.

ملاحظات مربوط به استحکام

در دمای اتاق، معمولاً آلیاژهای دایکستی روی بالاترین استحکام را در میان آلیاژهای دایکستی دارند. EZAC آلیاژی با سیالیت بسیار بالاست و ترکیب منحصر بفردی از استحکام بالا، سختی و مقاومت به خزش را ارائه می دهد. به واسطه خواص مکانیکی توسعه یافته آلیاژ EZAC، این آلیاژ در رقابت با فرایندها و موادی با استحکام بالاتر، از جمله تزریق فلز خمیری (MIM) سر بلند بوده است. MIM فرایند جالب دیگری است که قطعه را نزدیک به شکل نهایی مورد نیاز تولید می کند و برای تولید قطعاتی بکار می رود که استحکام بالا جزو الزامات آنهاست. اما، فرایند پر هزینه ای است. دایکست با آلیاژ EZAC جایگزینی کم هزینه برای این فرایند می تواند باشد.

ملاحظات مربوط به قطعه/ترکیب عملکردهای چندگانه

صنعت روی سرشار از موردکاوی هایی است که در آنها قطعه ای از جنس روی طراحی می شود تا بتوان فرایندهای ثانویه را حذف و یا قطعات مختلف را در یک قطعه جمع نمود. با روی این کارها شدنی است، چراکه ترکیبی از سیالیت بالا و خواص مکانیکی را در آن می توان یافت. شکل ۳ نمونه ای از قطعه مورد مصرف در صنایع پزشکی را نشان می دهد. این قطعه،

پایان تلخ، یا تلخی بی پایان؟

« راه های حذف آخالهای فلزی و جدایش های میکروسکپی و ماکروسکپی از فولادها »
نویسنده: مجتبی چنارانی؛ شرکت عملیات حرارتی مبتکران



مقدمه

با توجه به وابستگی بسیار شدید طول عمر مفید قالب‌ها از جمله قالب‌های دایکست به «کیفیت فولاد»، در دو مقاله قبلی تحت عنوان «سکوت موربانه‌ها» به بررسی نقش و تاثیر «آخال‌های غیرفلزی» و «جدایش میکرو و ماکرو» پرداخته شد. گفته شد که این عیوب مانند موربانه‌هایی که علی‌رغم ریز بودنشان می‌توانند بنایی مستحکم را از درون از هم بپاشند، به شدت کیفیت فولاد را پایین آورده و منجر به کاهش عمر کاری قالب‌های دایکست شوند. همچنین در آن مقاله به ارائه‌ی یک مورد از تاثیرات منفی این عیوب بر قالبی از مشتریان «عملیات حرارتی مبتکران» که فولادشان استانداردهای کیفی کافی را نداشت و به سرعت دچار عارضه‌ی تشکیل شبکه‌ای از ریزترک‌های سطحی حرارتی تحت عنوان «Heat checking» شده بود، پرداخته شد.

در آن دو مقاله به ارائه‌ی توضیحات و توصیفات راجع به «جدایش میکروسکوپی و ماکروسکوپی» و «باندینگ» و نیز «آخال‌های غیرفلزی» و تاثیر آن‌ها بر وقوع «Heat checking» به عنوان عامل اصلی تخریب قالب‌های دایکست، پرداخته شد. در این مقاله، راه‌حل‌های کلیدی و عملیاتی برای رفع این عیوب ارائه شده است، در حقیقت در همین مرحله اگر قالبساز متوجه شود که عملیات کیفی مورد نیاز بر روی فولادش انجام نشده و آن را پس بدهد و تلخی بحث با فروشنده فولاد را به جان بخرد، بهتر از آن است که پس از ساعت‌ها ماشینکاری و صرف هزینه برای عملیات حرارتی و بستن قالب روی دستگاه، متوجه شود که چه اتفاقی افتاده و تا مدت‌ها با قالبی بی‌کیفیت، دست و پنجه نرم کند و به قول اصغر فرهادی، خود را دچار تلخی بی‌پایان کند.

این عیوب در مرحله‌ی انجماد، یعنی زمانی که فولاد از حالت مذاب به جامد تبدیل می‌شود، ایجاد می‌شوند. یکی از اصلی‌ترین راه‌های حذف و یا کاهش ابعاد، کسر حجمی و تجمع آخال‌های غیرفلزی و انواع جدایش، استفاده از عملیات ¹ ESR است که یکی از فرایندهای متالورژی ثانویه² می‌باشد [۱]. البته بعضی مراجع آن را جزو فرایندهای متالورژی ثانویه نمی‌دانند و صرفاً آن را تکنیکی در فولادسازی مدرن می‌دانند که باعث بهبود کیفیت فولاد می‌شود [۲].

این عملیات به منظور بهبود کیفیت فولاد با هدف کاهش و یا حذف ناخالصی‌هایی که حین فولادسازی و یا ریخته‌گری در مذاب باقی می‌مانند و نیز حذف و یا کاهش جدایش‌های میکروسکوپی و ماکروسکوپی تشکیل شده حین انجماد، انجام می‌شود [۳]. اگر چه با انجام عملیات ESR قیمت تمام شده‌ی فولاد افزایش می‌یابد، اما انجام آن می‌تواند سبب افزایش عمر مفید قالب و کاهش قیمت تمام شده‌ی تولید گردد. انجام عملیات ESR برای حذف بندهای جدایش کافی نیست و باید عملیات همگن‌سازی قبل از کار گرم نیز بر روی فولاد انجام شود که در ادامه به آن اشاره خواهد شد.

ESR چیست؟

ESR سرواژه‌های عبارت زیر است: Electro Slag Remelting که به معنای ذوب مجدد سرباره الکتریکی است. در این فرآیند شمش به عنوان الکترود مصرف شدنی، به وسیله غوطه‌ور شدن در یک سرباره نمک مذاب ویژه، ذوب شده و پس از عبور قطرات مذاب از این سرباره و حذف ناخالصی‌ها، در یک قالب آبگرد، دوباره منجمد می‌شود.

1 Electro-Slag Remelting
2 Secondary Metallurgy

مزایای انجام فرآیند ESR

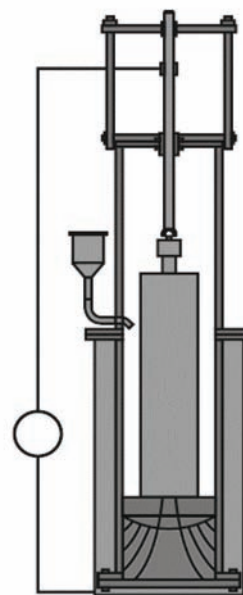
- حداقل مقدار ناخالصی ممکن
- جدایش میکرو و ماکرو کمتر
- یکنواختی مناسب و درجه خلوص بالاتر
- تولید مقاطع بزرگتر که کاربردها به صورت یکنواخت در آنها توزیع شده‌اند
- پایداری ابعادی یکنواخت
- محدوده وسیع کاربرد با توجه به میزان بالاتر چقرمگی [۴].

حذف آخال‌های غیرفلزی

تربیلو و همکارانش [۵]، با بررسی فولاد H13، دو فولاد ESR شده و ESR نشده، به بررسی تاثیر ناخالصی‌های غیرفلزی بر خستگی پر چرخه ۳ پرداختند. نتایج این پژوهش بیانگر آن بود که استحکام خستگی فولاد ESR-H13 حدوداً ۱۵٪ بیشتر از فولاد ESR نشده است که علت آن هم آنست که در فولاد ESR نشده ابعاد آخال‌های غیرفلزی به شدت بزرگتر از فولاد ESR شده است و همین موضوع به عنوان نقطه ضعفی برای عملکرد فولاد محسوب می‌شود.

لازم به ذکر است که منشا بسیاری از ترک‌هایی که در قالب‌های ساخته شده از فولاد H13، منجر به شکست شده‌اند، خستگی حرارتی گزارش شده است. مشاهدات ریزساختاری بیانگر آن است که منشا بیشتر ترک‌ها، آخال‌هایی با ترکیبات اکسیدی و سولفیدی هستند و حتی در فولاد ESR-H13 که مقدار گوگرد به شدت کاهش یافته است، باز هم منشا ترک، آخال‌ها بوده‌اند ولی آخال‌ها در نمونه‌ی H13-ESR عمدتاً کروی و با ابعاد نصف ابعاد آخال‌ها در نمونه H13 بدون ESR هستند. لذا با انجام این عملیات، مشکلات ناشی از حضور آخال‌ها که پیش از این نیز به آن‌ها اشاره شد، کاهش یافته و تاثیر منفی آن‌ها بر عمر مفید قالب‌ها نیز کم می‌شود. لازم به ذکر است در فولاد ESR-H13 با حذف یا کاهش عیوب داخلی، باز هم پس از تعداد سیکل‌های بسیار زیاد عیوب سطحی مشاهده می‌شود. لذا با توجه به پارامتر انتشار ترک و حد خستگی، ترک‌ها در نمونه H13-ESR سخت‌تر منتشر می‌شوند. به همین دلیل یکی از راه‌های جلوگیری از ایجاد انواع ترک‌ها از جمله ترک‌های حرارتی، انجام ESR است [۶].

در نظر داشته باشید که فصل مشترک آخال و زمینه، محل مناسبی برای جوانه زنی ترک و تشکیل حفرات و در نتیجه افت خواص خستگی فولاد است و فولاد ESR شده هم از این قاعده مستثنا نیست. فاکتورهای متعددی هستند که می‌توانند سبب تشکیل آخال‌های غیرفلزی درون فولاد ESR شده شوند که عبارتند از: اتمسفر کوره، مقدار آخال‌ها در فولاد قبل از انجام ESR، مقدار سرباره و ترکیب آن، توان ورودی، نرخ



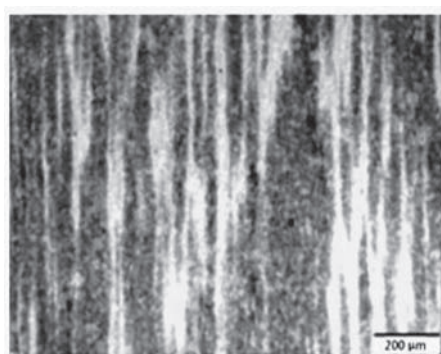
▲ شکل ۱- تصویر شماتیک فرآیند ESR [۴].

در این فرآیند به دلیل وجود مقاومت الکتریکی سرباره و در اثر عبور جریان الکتریکی از داخل آن و وجود اختلاف پتانسیل، بین نوک الکترود و نمک، جرقه زده و حرارت ایجاد می‌شود. با افزایش دمای سرباره به بالای دمای ذوب فولاد، نوک الکترود شروع به ذوب شدن نموده و مذاب پس از عبور از سرباره در داخل قالب آبگرد، منجمد می‌شود، تصویر شماتیک این فرآیند در شکل ۱ آمده است. [۴].

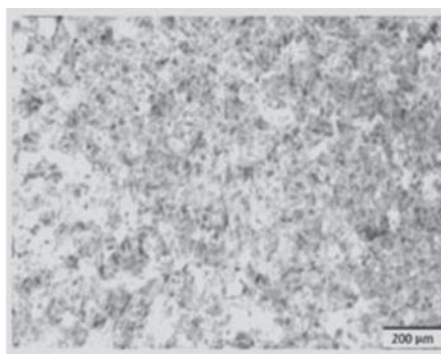
در واکنشی که بین سرباره و فولاد ذوب شده اتفاق می‌افتد، میزان گوگرد و ناخالصی‌های غیرفلزی به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. ذوب جهت دار شمش از پایین به بالا باعث ایجاد یکنواختی بالا در شمش شده و جدایش‌های ماکروسکوپی را از بین می‌برد. انجام این فرآیند خواص مکانیکی یکنواختی را هم در جهت طولی و هم در جهت عمود بر آن پس از کار گرم ایجاد می‌کند. [۴].

عیوب ایجاد شده در اثر عدم انجام ESR

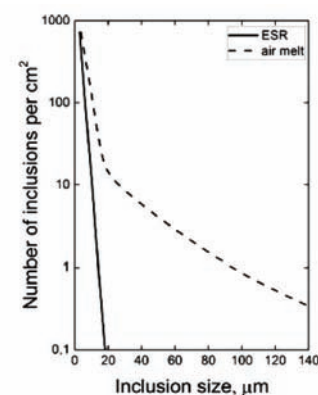
- ریزساختار درشت دانه
- توزیع نامناسب کاربیدها
- جدایش بسیار زیاد
- یکنواختی کمتر
- خطوط کاربید مشخص، به ویژه در مرکز مقاطع بزرگ
- تک کاربیدهای زیاد
- درجه خلوص پایینتر
- پایداری ابعادی متفاوت در جهات طولی و عرضی
- چقرمگی کمتر [۴].



الف



ب



▲ شکل ۳- الف- جدایش میکروساختاری و تشکیل بندهای جدایش قبل ESR ب- حذف جدایش میکروساختاری بعد از ESR [۷].

▲ شکل ۲- ابعاد آخالها و تعداد آنها برای آخالهای بزرگتر از ۲/۵ میکرومتر در فولاد ESR شده و ESR نشده در فولادی حاوی ۳ درصد کروم-مولیبدن-وانادیم [۷].

گرادیان دمایی سبب کاهش فاصله‌ی بین دندریتی و در نتیجه کاهش توزیع ناهمگن عناصر آلیاژی می‌شود. در این فرایند گرادیان‌های دمایی بیشتر از فرایند ریخته‌گری معمول است. بنابراین در این عملیات بازوهای ثانویه‌ی دندریتی باریک‌تر از ریخته‌گری معمول خواهد بود [۷].

با وجود آنکه در فرایند ESR سرعت و جهت انجماد کنترل می‌شود و انواع جدایش میکروسکوپی و ماکروسکوپی کاهش می‌یابد، اما این فرایند برای رسیدن به خواص بهینه کافی نیست و در اغلب مراجع انجام ESR برای حذف این بندهای جدایش را کافی ندانسته و پیشنهاد می‌کنند قبل و بعد از کارگرم مکانیکی، مثل فورجینگ، فرایند همگن‌سازی هم بر روی فولاد انجام شود. تا با انجام آن ریزساختار فولاد همگن شده و این ناهمسانگردی به حداقل برسد [۸].

بر اساس تصاویر منتشر شده از سوی NADCA #207-2003 در مورد فولاد H13، ریزساختار حاوی بندهای جدایش جزو ریزساختارهای قابل قبول نیست و وجود جدایش می‌تواند سبب افت خواص مکانیکی فولاد شود. در نظر داشته باشید که به طور کل قبل از عملیات فورجینگ و هر کار مکانیکی دیگری که بر روی فولاد انجام می‌شود، نیاز به یک مرحله همگن‌سازی دما بالا وجود دارد و در صورت انجام نشدن آن احتمال مشاهده‌ی بندهای جدایش وجود خواهد داشت [۹ و ۱۰]. عملیات همگن‌سازی با هدف انحلال عناصر آلیاژی در ناحیه‌ی آستنیت صورت می‌گیرد. این عملیات سبب توزیع عناصر آلیاژی به صورت همگن می‌شود، چراکه امکان نفوذ را فراهم می‌سازد. مقدار همگنی ایجاد شده پس از عملیات همگن‌سازی به دمای همگن‌سازی، زمان همگن‌سازی، فاصله‌ی بین بازوهای دندریتی، ضریب نفوذ عناصر آلیاژی و مقدار جدایش رخ داده در انجماد بستگی دارد [۱۱].

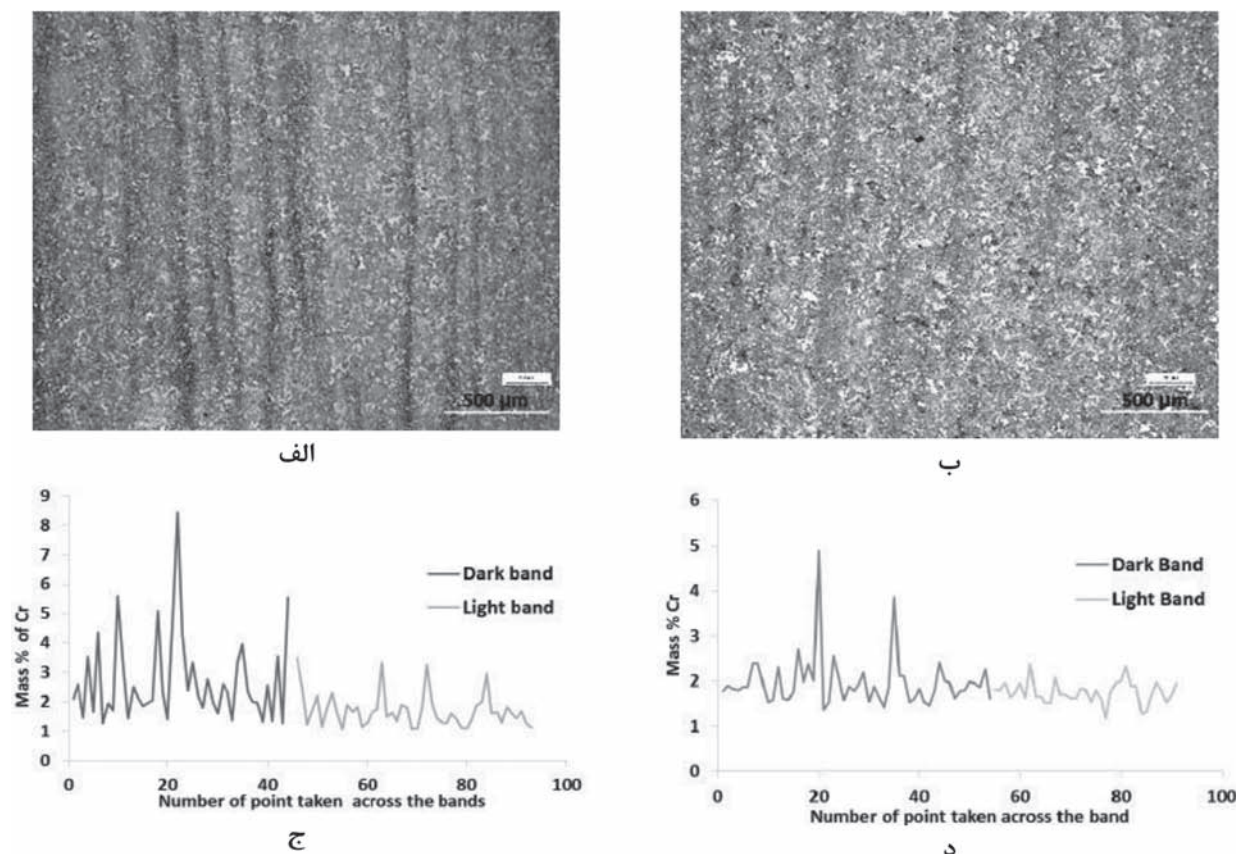
در پژوهش انجام شده توسط فرید اشرف خان [۱۱]، به بررسی اثر زمان عملیات همگن‌سازی قبل از کار گرم، بر بندهای بررسی شده است.

ذوب. بیشتر آخال‌های غیرفلزی در نتیجه‌ی واکنش بین اکسیژن با عناصر آلیاژی مانند منگنز، سیلیسیم و آلومینیم تشکیل می‌شوند. اکسید زدایی سرباره در طول فرایند، تاثیر مهمی بر تشکیل آخال‌های غیرفلزی بر شمش ESR شده دارد ولی در مجموع انجام این فرایند سبب حذف آخال‌های درشت می‌شود. این موضوع در شکل ۲ به خوبی نشان داده شده است. اگر ترکیب سرباره مناسب باشد، دما به اندازه‌ی کافی بالا و زمان به اندازه کافی زیاد باشد، آخال‌های غیرفلزی درون سرباره حل خواهند شد [۷]. البته باید توجه داشت صرف انجام ESR برای اثبات کیفیت آن کافی نیست و شرایط اجرای ESR، مانند اتمسفر، نرخ سرد شدن، ابعاد اولیه و نهایی، کیفیت اولیه فولاد، کیفیت سرباره و ... همگی بر نتیجه فرایند موثرند که با بررسی دقیق ریزساختار می‌توان اثر آن را ارزیابی نمود.

حذف جدایش

در شکل ۳ حذف بندهای جدایش توسط ESR در فولاد ابزار گرم کار نشان داده شده است. در این شکل، هر دو ریزساختار مارتنزیت تمپر شده هستند. تفاوت در ریزساختار به وضوح مشخص است. حذف انواع جدایش سبب ایجاد همسانگردی در خواص مکانیکی، حتی پس از عملیات حرارتی می‌شود و در صورت بی‌توجهی به این عیب ریزساختاری، تغییر خواص مکانیکی در جهات مختلف، عمر مفید قالب‌ها را به شدت کاهش داده و در این شرایط ایجاد ترک‌های زودرس را تبدیل به پدیده‌ای گریزناپذیر خواهد کرد [۷].

به همین دلیل یکی از مزایای انجام این عملیات کاهش مقدار جدایش میکروسکوپی است که این موضوع به دلیل تاثیر این فرایند بر کاهش زمان انجماد و فاصله‌ی بازوهای بین دندریتی، رخ می‌دهد. در این عملیات انجماد بیشتر از نوع ستونی و کمتر از نوع هم محور است که این موضوع باعث کاهش جدایش میکروسکوپی می‌شود. افزایش مقدار



▲ شکل ۴- الف- بندهای جدایش شدید و باریک پس از ۴ ساعت عملیات همگن سازی قبل کار گرم ب-بندهای جدایش با شدت کمتر و عریض تر پس از ۲۰ ساعت عملیات همگن سازی قبل کار گرم ج-لاین اسکن عنصری از نقاط تیره و روشن تصویر الف د- لاین اسکن عنصری از نقاط تیره و روشن تصویر ب [۱۱].

مقدار کروم (درصد وزنی)	ناحیه ی آنالیز شده	مشخصات نمونه
۲/۲۳	ناحیه پر رنگ	نمونه همگن شده به مدت ۴ ساعت
۱/۴۸	ناحیه کم رنگ	
۱/۹۷	ناحیه پر رنگ	نمونه همگن شده به مدت ۲۰ ساعت
۱/۶۷	ناحیه کم رنگ	

▲ جدول ۱- آنالیز شیمیایی نواحی تیره و روشن در شکل [۱۱]

طولانی تر همگن سازی را تجربه کرده است، دارای بندهای عریض تر و با شدت کمتر است و فاصله ی بین بندها بیشتر شده است. هر چه مقدار جدایش میکروسکوپی در فولاد بیشتر باشد، احتمال تشکیل باندها بیشتر می شود. در شکل ۴- ج و ۴- د لاین اسکن عنصری گرفته شده از این نواحی آمده است که بیانگر توزیع همگن تر عناصر بین نواحی فقیر و غنی از آن ها در نمونه ی با زمان همگن سازی بیشتر است [۱۱].

در جدول ۱ نیز اختلاف مقدار کروم در نواحی تیره و روشن نشان داده شده است. همانطور که مشخص است مقدار اختلاف کروم در نواحی تیره و روشن که بیانگر نقاط غنی از عناصر و نقاط فقیر از آن هاست در نمونه ی با زمان عملیات همگن سازی طولانی تر کمتر شده است [۱۱]. تغییرات

بندهای جدایش پس از انجام کار گرم مکانیکی هم در فولاد ایجاد و در جهت کار گرم مکانیکی در یک امتداد ردیف می شوند. هر چه قدر که زمان همگن سازی قبل از فرایند کار گرم بیشتر باشد شدت این بندها کمتر خواهد بود و هر چه قدر زمان همگن سازی کمتر باشد شدت بندها بیشتر بوده و با وضوح بیشتری قابل تشخیص هستند. در شکل ۴ تصاویر متالوگرافی دو نمونه از این بندها نشان داده شده است؛ بر روی نمونه ی شکل ۴- الف ۴ ساعت و بر نمونه ی ۴- ب ۲۰ ساعت عملیات همگن سازی انجام شده است. همانطور که مشخص است، در نمونه ای که زمان کمتری همگن سازی شده است، بندهای شدیدتر با عرض کمتری ساخته شده و دارای مقدار کاربید اولیه بیشتری هم هست. اما نمونه ای که زمان

در انتها لازم می‌دانم از زحمات خانم مهندس پریا سلگی که متن اولیه مقاله را تهیه نموده بودند، تشکر نمایم.

مراجع

- [۱] Bell, S., et al. Final Report on Refining Technologies of Steel. Technical Report. No ۲۱-۲۰۰۴, (CF), ۲۰۰۶.
- [۲] Ghosh, Ahindra. Secondary steelmaking: principles and applications. CRC Press, ۲۰۰۰.
- [۳] Botjan Arh, Bojan Podgornik, Jaka Burja, "ELECTROSLAG REMELTING: A PROCESS OVERVIEW", Materials and technology, ۹۷۹-۹۷۱, ۲۰۱۶.
- [۴] فولادهای صنعتی، مجتبی چنارانی، انتشارات شبیم دانش، ۱۳۹۶.
- [۵] Tridello, A., et al. "Different inclusion contents in H13 steel: Effects on VHCF response of Gaussian specimens." Key Engineering Materials. Vol ۶۶۵. Trans Tech Publications Ltd, ۲۰۱۶.
- [۶] Zerbst, Uwe, et al. "Defects as a root cause of fatigue failure of metallic components. II: Non-metallic inclusions." Engineering Failure Analysis ۹۸ (۲۰۱۹): ۲۳۹-۲۲۸.
- [۷] Arh, Bostjan, Bojan Podgornik, and Jaka Burja. "Electroslag remelting: a process overview." Materials and technology ۵۰ (۲۰۱۶): ۹۷۹-۹۷۱.
- [۸] Tang, W., et al. "Effect of Microstructural Homogeneity on Mechanical and Thermal Fatigue Behavior of a Hot-Work Tool Steel." Proceedings of the ۶th International Tooling Conference (۲۰۰۲): ۷۵۵-۷۶۵.
- [۹] Ma, Dang-shen, et al. "Influence of thermal homogenization treatment on structure and impact toughness of ESR steel." Journal of Iron and Steel Research International ۱۶/۵ (۲۰۰۹): ۵۶-۶۰.
- [۱۰] Ghosh, A. "Segregation in cast products." Sadhana ۲۶/۱ (۲۰۰۱): ۵-۲۴.
- [۱۱] Khan, Fareed Ashraf. "The effect of soaking on segregation and primary-carbide dissolution in ingot-cast bearing steel." Metals ۸/۱۰ (۲۰۱۸): ۸۰۰.

مکرر مقدار عناصر آلیاژی، در الگویی قابل پیش‌بینی و مشخص، مانند بندهایی که در شکل ۴ نشان داده شده است، می‌تواند تبعاتی داشته باشد که کیفیت عملیات حرارتی فولاد را هم تحت تاثیر قرار می‌دهد، زیرا یکی از مشخصات عملیات حرارتی باکیفیت، توزیع همگن فازها در کنار یکدیگر است که در صورت وجود این بندها، این اتفاق میسر نیست. در این شرایط حتی عملیات حرارتی تحت خلا نیز نمی‌تواند برای نجات قالب کاری کند چراکه عملیات سختکاری طبق استانداردها انجام می‌شود و در استانداردها سیکل عملیات حرارتی مناسب، برای فولاد فاقد این عیوب تدوین شده است.

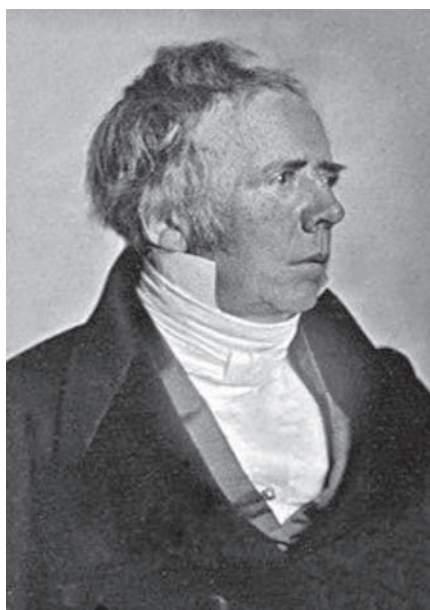
جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

وقوع پدیده Heat Checking در قالب‌های گرمکار که شبکه‌ای از ریزترک‌های سطحی ناشی از خستگی حرارتی است، دلایل متعددی دارد که طراحی، کیفیت فولاد، کیفیت عملیات حرارتی و نحوه‌ی استفاده‌ی اپراتور از قالب از جمله‌ی آن‌هاست. جوانه‌زنی و رشد ترک که مکانیزم اصلی خستگی حرارتی در فولادها محسوب می‌شود، در نقاط تمرکز تنش روی می‌دهد. آخال‌های غیرفلزی و به‌ویژه آخال‌های درشت و تیز یکی از مرسوم‌ترین نقاط تمرکز تنش در فولاد هستند، استاندارد ASTM-E45 روشی قابل اطمینان برای تعیین میزان تمیزی فولاد است. آخال‌های غیرفلزی Heavy (ضخیم) و Oversized (با ضخامت بیش از اندازه زیاد) تاثیر بیشتری بر جوانه‌زنی ترک نسبت به آخال‌های Thin (ریز) و Undersized (بیش از اندازه ریز) دارند و می‌توانند سبب تسهیل جوانه‌زنی ریزترک‌های ناشی از خستگی حرارتی شوند. اجرای فرایند ESR (ذوب مجدد الکتریکی با سرباره کنترل شده)، با حذف و یا کاهش مقدار و ابعاد ناخالصی‌های غیرفلزی باعث کاهش نقاط تمرکز تنش و در نتیجه افزایش مقاومت در برابر خستگی حرارتی و در پی آن افزایش عمر مفید قالب می‌شود. انجام فرایند ESR علاوه بر حذف ناخالصی‌ها، با حذف جدایش میکروسکوپی و با کاهش احتمال جوانه‌زنی و رشد ترک در امتداد بندهای جدایش و نیز با ایجاد خواص مکانیکی همگن در دو مقیاس میکروسکوپی و ماکروسکوپی در فولاد، عمر مفید قالب را افزایش می‌دهد. علاوه بر ESR بایستی از همگن‌سازی فولاد قبل و بعد از کار گرم به منظور کاهش این نوع از جدایش استفاده نمود. هرچه زمان همگن‌سازی بیشتر باشد، به شرطی که منجر به درشت شدن دانه‌ها نشود، میزان جدایش کاهش یافته و علاوه بر همسانگرد شدن خواص در نقاط و جهات مختلف قالب، عمر و راندمان قالب هم افزایش می‌یابد.

تشکر

از یک ستون سنگی تا شورولت وگا

مسیری که صنعت ریخته گری آلومینیوم پیمود
ترجمه: سیامک فتحی



▲ شکل ۱- هانس کریستین اورستد، تولد ۱۴ اوت ۱۷۷۷،
وفات ۹ مارس ۱۸۵۱.

هستند. ۸ درصد از پوسته زمین را آلومینیوم تشکیل می دهد و بوکسیت تجاری که برای تولید این فلز بکار می رود حاوی ۴۰ تا ۶۰ درصد آلومینیوم است. بوکسیت به شکل منابع نامحدودی در دسترس است و هنگامی که در مقیاس تجاری استخراج می شود، سیلیکات های آلومینیوم بر جای می ماند که ۲۰ تا ۳۰ درصد آلومینیوم دارند و قابل استخراج نیستند. آلومینیوم با آنکه دیر شناخته شد، اما در عمر دو قرنی خود از کنکاشی شیمیایی به دومین فلز پرمصرف در جهان تبدیل شد.

ریخته گری آلومینیوم، علیرغم تاریخچه کوتاهش، رشد سریعی داشته و از یک کنکاش شیمیایی به بخشی جدایی ناپذیر از صنایع خودروسازی و هوانوردی امروز تبدیل شده است.

آلومینیوم، در مقایسه با سایر فلزات ریختگی، تاریخچه ای هر چند کوتاه، اما متنوع و جالب توجه را داشته است. از کشف آلومینیوم خالص در سال ۱۸۲۵ میلادی تا کنون کمتر از ۲۰۰ سال می گذرد. هر چند این عمر در سایه سرعت سرسام آور تغییرات تکنولوژی خیلی هم کوتاه نیست، اما آلومینیوم هنوز هم در صنعت ریخته گری تازه واردی بیش نیست.

قدیمی ترین قطعات ریختگی شناخته شده ابزار مسی، از جمله چکش و چاقوهایی هستند که برای نخستین بار در بازه زمانی ۱۰ تا ۱۱ هزار سال پیش ساخته شدند. شواهدی وجود دارند که نشان می دهند مس در حدود ۳۷۰۰ سال پیش از میلاد مسیح ذوب و به صورت اشکال و قطعاتی مشخص در قالب ریخته گری می شد. کهن ترین قطعه ریختگی موجود قورباغه ای مسین است که تصور می رود در ۳۲۰۰ سال پیش از میلاد در بین النهرین ریخته شده است. مس و قلع نخستین بار در حدود ۳۰۰۰ سال پیش ترکیب شدند و برنز حاصل شد.

نمونه هایی از چدن در بازه زمانی ۵۰۰ ساله، از ۱۱۰۰ تا ۶۰۰ قبل از میلاد مسیح در مصر پیدا شده اند. چدن در قرن دوازدهم به قدری در چین رواج داشت که از آن در سقف معابد استفاده می شد.

قدمت طولانی تر مس و چدن در مقایسه با آلومینیوم غیرطبیعی به نظر می رسد وقتی که بدانیم آلومینیوم بیشترین عنصر فلزی و سومین عنصر موجود بر روی زمین است و تنها اکسیژن و سیلیسیم از آن بیشتر



▲ شکل ۳- کلاهک آلومینیومی در بالاتری نقطه از نماد یادبود واشنگتن.



▲ شکل ۲- دوربینی که با قطعات آلومینیومی ریخته شده در کارگاه فریش موث ساخته شد.

فرایندهای اورستد و وولر مقداری جزیی آلومینیوم تولید می کرد که ناخالص، با تکرارپذیری غیرقابل اتکا و گران بود. تلاش های متعددی صورت گرفت تا به روش الکترولیتی آلومینیوم جدا شود که البته موفقیت چندانی به بار نیامد. تنها چند سال از عمر باتری های الکتریکی می گذشت و آلومینیوم تولید شده با استفاده از آنها در مقادیر محدود و گران بود. قیمت آلومینیوم، آنچنانکه در مقالات به ثبت رسیده، به شکل غیرقابل قبولی بالا بود، به نحوی که آلومینیوم در آن زمان در گروه فلزات گران بها قرار گرفت، نه از آن جهت که نایاب بود، بلکه دلیل دشواری استخراج آن. تا قبل از ۱۸۷۰، تولید آلومینیوم به روش الکتریکی بسیار دشوار بود، چراکه هنوز دینام برق اختراع نشده بود. قبل از آن، تمام برق مورد نیاز از باتری ها تامین می شد و تولید مقادیر کافی انرژی برای تحقق احیای آلومینیوم دشوار بود.

نخستین قطعه ریختگی آلومینیومی تایید شده توسط کلنل ویلیام فریش موث (William Frishmuth) در کارگاه ریخته گری او در فیلادلفیا به سال ۱۸۷۶ تولید شد. قطعات ریخته شده، قطعاتی کوچک بودند که برای ساخت دوربین نقشه برداری بکار می رفتند (شکل ۲). در آن زمان، "تمام صنعت ریخته گری آلومینیوم" در ریخته گری فریش موث خلاصه می شد. این قطعات نخستین از آلومینیوم تولید شده به روش شیمیایی با قیمت یک دلار در هر اونس (تقریباً ۳/۳۵ دلار در هر کیلوگرم) تولید شدند.

گزارشی از دشواری های صنعتی تولید آلومینیوم در سال ۱۸۷۹ در Scientific American توسط شخص آگاه و دست اندرکاری به نام کلمنس وینچلر (Clemens Winchler) ارایه شد و نوشت: "دلایل مختلفی وجود دارد که چرا این فلز چندان جذاب به نظر نمی رسد. نخستین آن ها قیمت است. روش کار با آن در هر جایی شناخته شده نیست و به علاوه، هیچ کس نمی داند چگونه آنرا ریخته گری کند."



▲ شکل ۴- در ۶ دسامبر ۱۸۸۴، نماد یادبود واشنگتن با تعبیه کلاهک آلومینیومی آن تکمیل شد.

نخستین ریخته های آلومینیومی

تاریخ دان ها، هانس اورستد، (Hans Orsted) دانمارکی را مخترع به این می دانند که در سال ۱۸۲۵ با استفاده از آمالگام پتاسیم، آلومینیوم را از کلرید آلومینیوم جدا نمود (شکل ۱). بعد از آن، فردریش وولر (Friedrich Wohler) آلمانی پتاسیم فلزی را برای جداسازی بکار برد و هنری دوویل (Henri DeVile) فرانسوی با سدیم فلزی این کار را انجام داد.

شهرت او به دلیل کشف خاصیت الکترومغناطیس و نیز، کشف آلومینیوم بوده است.



▲ شکل ۵- چارلز مارتین هال. تولد ۶ دسامبر ۱۸۶۳، وفات ۲۷ دسامبر ۱۹۱۴.

(شکل ۵)، دانشجوی کالج اوبرلین، در اوبرلین اوهایو، فرایند تولید آلومینیوم خالص را با عبور جریان الکتریکی توسط آند کربنی از اکسید آلومینیوم (آلومینا) حل شده در کریولیت مذاب در کوره ای که با نسوز کربنی نسوزکاری شده بود، ابداع کرد. کریولیت، فلوراید دوگانه آلومینیوم و سدیم (Na_3AlF_6) است. تقریباً بطور همزمان، پاول هرولت (Paul Heroult) هم همان فرایند را در فرانسه توسعه داد. در نتیجه، به دلیل مسائل قانونی پیش آمده زمان زیادی طول کشید تا این دو مرد بتوانند فرایند اخذ حق ثبت اختراع را طی کنند. از آنجاکه دادگاه در این کشور تمایل داشت تا این افتخار نصیب یک آمریکایی شود، در نهایت هال موفق به اخذ حق ثبت شد که نامش را ماندگار کرد.

نماد یادبود واشنگتن

شاهکار فیشرموث، ریخته گری مشهورترین قطعه آلومینیومی است که تا کنون ریخته شده است؛ کلاhek نماد یادبود واشنگتن (شکل ۳) در پایتخت ایالات متحده. نماد یادبود واشنگتن در سال ۱۷۸۳ و بعد از پایان جنگ های استقلال کلنگ زده شد، اما تا سال ۱۸۸۴ تکمیل نشد. طراحی نهایی عبارت بود از ستونی سنگی (obelisk) به ارتفاع ۵۵۵ فوت (حدود ۱۷۰ متر) از مرمر سفید. در طراحی نهایی چنین دیده شده بود که کلاhekی از جنس آلومینیوم-برنز (90%Cu-10%Al) آبکاری شده با طلا یا پلاتین در راس نماد یادبود نصب شود (شکل ۴). این کلاhek به میله ای از جنس مس - که از طول ستون می گذرد - و میله مسی به زمین متصل می شد (و از این جهت، کلاhek همچون ساعقه گیر عمل می کرد). آلومینیوم-برنز در دسترس بود و با استفاده از کوره مقاومتری تولید می شد.

فیشرموث طراحان را متقاعد کرد که کلاhek می تواند از آلومینیوم ساخته و تنها با یک پولیش کاری تکمیل شود و نیازی به آبکاری هم ندارد. قطعه ریختگی، دیواره هایی به ضخامت ۰/۵ اینچ (حدود ۱۳ میلیمتر) و وزن ۶ پانصد (حدود ۲/۷ کیلوگرم) داشت. هر می بود به ارتفاع ۹ اینچ (حدود ۲۳ سانتیمتر) و طول هر وجه قاعده آن نیز ۶ اینچ (حدود ۱۵ سانتیمتر) بود. ترکیب شیمیایی حاوی ۱/۷ درصد آهن، ۰/۵۵ درصد سیلیسیم و مابقی آلومینیوم بود که قالبی از جنس چدن برای ریخته گری آن بکار رفت. قیمت آلومینیوم، ۱ دلار در هر اونس بود. نشانی از تخلخل هیدروژنی یا آخال های اکسیدی هم در آن دیده نشد.

فرایند هال

در ۱۸۸۶، چارلز مارتین هال (Charles Martin Hall) ۲۲ ساله



▲ شکل ۶- نخستین گردهمایی انجمن ریخته گران آمریکا با حضور ۳۴۵ مهمان برگزار شد. اولین حق عضویت ۱۲ دلار بود.



▲ شکل ۶- برادران رایت و نخستین هواپیما با موتوری مجهز به بلوک و کپه یاتاقان آلومینیومی.

برای ریخته گری آلومینیوم به وجود آورد. هر چند تصور بر آن است که موتورهای آلومینیومی حاصل کمبود بنزین بود، اما در موتور برخی خودروهای اولیه هم قطعات آلومینیومی بکار می رفت.

اگر کلاهک نماد یادبود واشنگتن مشهورترین قطعه ریختگی آلومینیومی باشد، بلوک سیلندر و کپه یاتاقان (Crankcase) نخستین هواپیمای برادران رایت (Wright) که در ۱۹۰۳ در کیتی هاوک (Kitty Hawk) به پرواز درآمد هم در جایگاه دوم مشهورترین ها قرار دارند (شکل ۶). این قطعات از آلیاژی با ۸ درصد مس و ۹۲ درصد آلومینیوم (که بعدها به عنوان آلیاژ شماره ۱۲ شناخته شد) در قالب ماسه ای ریخته شدند و ۱۵۲ پوند (حدود ۶۸ کیلوگرم) وزن داشتند. بوش های سیلندر از چدن خاکستری بودند، همچنانکه پیستون ها، درپوش سوپاپ (valve heads) و چرخ طیار (flywheel) نیز از چدن خاکستری ساخته شدند. دیواره های کپه یاتاقان ضخامتی بین ۰/۱۳ تا ۰/۱۶ اینچ (۳/۳ تا ۴ میلیمتر) داشتند. اغلب قسمت های قاب بدنه هواپیما از چوب بود و تا ۱۹۲۱ هم هواپیمایی تمام آلومینیومی ساخته نشد.

با تولد صنعت خودرو و هوانوردی، تکنولوژی ریخته گری آلومینیوم به سرعت راه توسعه را در پیش گرفت. در اوایل دهه ۱۹۰۰ نخستین ثبت اختراع برای ریخته گری تحت فشار پایین (low pressure) در قالب دائمی صورت گرفت و در ۱۹۰۵ ماشین دایکست توسط داهلر (H. H. Doehler)، یکی از بنیانگذاران داهلر-یاریس (Doehler-Jarvis) ثبت اختراع شد. در ۱۹۰۷، ماشین دایکست با محفظه گرم (Hot Chamber) معرفی شد.

یکی از مهمترین پیشرفت های صورت گرفته در تاریخ صنعت ریخته گری آلومینیوم کشفی بود که در سال ۱۹۰۷ توسط آلفرد ویلم (Alfred Wilm) صورت گرفت و او دریافت که آلیاژهای مهم آلومینیوم به عملیات حرارتی پاسخ می دهند. ویلم در حال انجام عملیات تکمیلی

شهرت او به دلیل ابداع روش الکترولیز آلومینیوم بوده است، روشی که البته امروزه به نام هال-هرولت شناخته می شود.

همزمان که هال در حال دفاع از حق ثبت خود در برابر هرولت بود، درگیر چالش تلخ تری با برادران کاولز (Cowles) نیز بود که در کار ساخت کوره بودند (شرکت ذوب الکتریکی و آلومینیوم کاولز) و آلومینیوم برنز را با استفاده از یک کوره الکتریکی تولید می کردند. برادران کاولز مدعی بودند که بدون کوره آن ها، هال نمی توانست این موفقیت را کسب کند، چراکه طرح کوره او قابلیت این کار را نداشت.

اما ادعای هال این بود که برادران کاول بدون دانستن فرمول ترکیب مناسب آلومینا در کربولیت نمی توانستند در کوره خود آلومینیوم تولید کنند. پس از سال ها اقامه دعوا بین هال و حامیان او (شرکت احیای پیتسبورگ) از یک سو و برادران کاول از سوی دیگر، هال در دادگاه پیروز شد و شرکت او تولید تجاری آلومینیوم را آغاز نمود. قاضی ویلیام هاوارد تافت (William Howard Taft) که بر حقانیت هال رای داد، همان کسی بود که بعدها رییس جمهور ایالات متحده شد.

با توسعه فرایند هال، صنعت آلومینیوم شکوفا شد و قیمت آن از ۱۵ دلار در هر پوند (حدود ۳۳/۳ دلار در هر کیلوگرم) در سال ۱۸۸۴ به ۵۰ سنت در هر پوند (حدود ۱/۱ دلار در هر کیلوگرم) در سال ۱۸۹۰ سقوط کرد. با تغییر قرن، استفاده از قطعات ریختگی آلومینیوم به سرعت رشد کرد. ده سال بعد از آنکه هال فرایندش را توسعه داد، در ۱۲ می ۱۸۹۶، با حضور ۳۴۵ عضو در مجمعی در فیلادلفیا، انجمن ریخته گران آمریکا بنا نهاده شد (شکل ۶).

نخستین خودروها و کیتی هاوک

توسعه صنعت خودرو در اواخر قرن نوزدهم و آغاز قرن بیستم فرصتی

ریختگی شد و تا ۱۹۳۶ نیروی دریایی الزام داشت که بسیاری از قطعات ریختگی خریداری شده باید قبل از پذیرش X-ray شوند. تا ۱۹۴۰ تمام قطعات ریختگی هواپیماهای نظامی باید قبل از پذیرش X-ray می شدند.

در ۱۹۲۸، آلکوا نخستین چرخ آلومینیومی خود را توسعه داد. این چرخ پره داشت و کپی برداری بود از چرخ های چوبی. چرخ مذکور، چرخ تریلر بود که از آلیاژ ۳۵۵ و در ماسه ریخته می شد. چنین کاربردی، سال ها پس از آن بود که قطعات ریختگی آلومینیومی به عنوان قطعات موتور بکار می رفتند. قبل از ۱۹۳۰، بیشتر قطعات ریختگی آلومینیومی عبارت از قطعاتی بودند که در موتورهای درون سوز مصرف می شدند - پیستون ها، کپه یاتاقان، کارتر روغن، پوسته گیربکس و سرسیلندر. اغلب این قطعات از آلیاژهای آلومینیوم-مس بودند و مقدار مس در آنها تا ۱۴ درصد هم می رسید.

آلیاژهای آلومینیوم-مس خواص مکانیکی خوبی داشتند، اما مقاومت به خوردگی آن ها خوب نبود. آلیاژهای آلومینیوم-سیلیسیم قابلیت ریخته گری بهتری داشتند و از این رو، سهم آنها از بازار به شکلی فزاینده افزایش یافت. علیرغم جایگاهی که آلومینیوم در موتور خودرو پیدا کرده بود، همچنان از نظر تناژ تولید در پشت سر چدن قرار داشت، چرا که از نظر اقتصادی، چدن از آلومینیوم مقرون به صرفه تر بود. این عقب ماندگی ادامه داشت تا آنکه وزن عاملی تعیین کننده در خودروهای شخصی شد و آلومینیوم نقش اصلی را در این مسیر بر عهده گرفت.

جنگ جهانی دوم

اندکی پیش از شعله ور شدن جنگ جهانی دوم، دوران افسانه ای تغییرات در صنعت ریخته گری آلومینیوم آغاز شده بود. قبل از جنگ، صنعت آلومینیوم تقریباً به شکلی انحصاری در اختیار آلکوا بود. اما، در خلال جنگ، با توجه به تقاضای موجود برای آلومینیوم در تمام شکل های آن، دولت ایالات متحده واحدهای احیای جدیدی را ایجاد کرد. تا انتهای جنگ، دولت مالک ۷۰ درصد از ظرفیت احیای آلومینیوم در کشور شده بود.

در ۱۹۴۱، کایزر (Kaiser) و رینولدز (Reynolds) وارد این صنعت شدند. همزمان، دولت فدرال لایحه ضد انحصار را بر علیه آلکوا ارایه کرد که تصویب آن ۱۰ سال به طول انجامید. پس از مجادلات فراوان، آلکوا حق انحصار را از دست داد. در نتیجه، رقابت بیشتری در عرضه شمش ریختگی صورت گرفت، اما آلکوا تمایل کمتری به اختصاص منابع خود در تحقیقات بخش ریخته گری داشت. در اواخر جنگ جهانی دوم، با سقوط تقاضا برای قطعات ریختگی از طرف سازندگان هواپیماهای نظامی، نگرانی هایی در مورد وضعیت این صنعت به وجود آمد. بازار تشنه خودروهای جدید، ماشین آلات و همه نوع کالاهای صنعتی و اقلام لازم برای زندگی شهری بود و این تقاضاها

بر روی آلیاژهای آلومینیوم با ۴ درصد مس و ۰/۵ درصد منیزیم بود. او نمونه ها را تا ۹۴۰°F (۵۰۴°C) گرم می کرد و سپس در آب کوئنچ می نمود. بطور اتفاقی و قبل از اینکه خواص مکانیکی قطعات را اندازه گیری کند، او برخی نمونه های کوئنچ شده را در آخر هفته و در دمای اتاق به حال خود رها کرد. زمانیکه روز دوشنبه (پس از تعطیلات آخر هفته) نمونه ها را بررسی می کرد، دریافت که با زمان دادن برای پیرسختی (ageing) در دمای اتاق خواص مکانیکی بهبود می یابند. آزمایشاتی که در ادامه صورت گرفت سرآغازی بود برای عملیات حرارتی محلولی (solution) و پیرسازی مصنوعی (artificial ageing) به منظور بهبود خواص آلیاژهای آلومینیوم.

هم زمان با کشف عملیات حرارتی آلومینیوم توسط ویلم، شرکت احیای پیتسبورگ هال تبدیل شد به شرکت آلومینیوم آمریکا یا باختصار، آلکوا (Alcoa). بسیاری از نخستین پیشرفت ها در این صنعت توسط شرکت آلکوا صورت گرفت. از آنجاکه حق انحصاری تولید آلومینیوم در اختیار این شرکت بود، به منابع مالی لازم برای تحقیق و توسعه گسترده دسترسی داشت. جنگ جهانی اول منجر به ایجاد حجم بالای تقاضا برای تولید قطعات ریختگی با خواص مکانیکی بالا و قابل اطمینان برای موتور هواپیماها شد و آلکوا آلیاژ شماره ۱۲۲ با ۱۰ درصد مس، ۱/۲۵ درصد آهن و ۰/۲۵ درصد منیزیم را توسعه داد.

ریخته گری آلومینیوم توسعه می یابد

در دهه ۱۹۲۰، ریخته گری در قالب ریژه پیشرفت های بزرگی داشت. در فاصله زمانی بین جنگ جهانی اول و دوم، پیستون هایی که از جنس آلیاژ آلومینیوم-سیلیسیم ریخته می شدند از ریخته گری در قالب های ماسه ای به ریخته گری در قالب ریژه تغییر وضعیت دادند (که هنوز هم فرایند استاندارد برای تولید پیستون موتورهای درونسوز است).

سال ۱۹۲۱ شاهد توسعه دیگری بود؛ اصلاح ساختار Si در آلیاژهای Al-Si. شخصی به نام پاچز (Pacz) فرایند افزودن سدیم فلزی به مذاب آلومینیوم را، اندکی پیش از شروع ریخته گری ابداع کرد که به شکل قابل توجهی چکش خواری (Ductility) را بهبود می بخشید. آلیاژهای آلومینیوم-سیلیسیم، به دلیل قابلیت ریخته گری خوبی که داشتند در بین ریخته گران رواج یافته بودند، اما هر جا که چکش خواری مورد نظر بود این آلیاژهای آلومینیوم-مس بودند که ارجحیت داشتند. اگرچه اصلاح ساختار سیلیسیم سلامت قطعه را تحت تاثیر قرار می داد (و مک های گازی را زیاد می کرد)، اما بهبود خواص مکانیکی در حدی بود که مزیت های آن بر معایب آن غالب می آمد. امروزه در صنعت، علاوه بر سدیم فلزی، استرانسیم و آنتیموان* هم برای اصلاح ساختار به کار می روند که البته آنتیموان در اروپا و ژاپن بیشتر کاربرد پیدا کرد.

در ۱۹۲۵، رادیوگرافی با اشعه X ابزاری برای کنترل کیفیت قطعات



▲ شکل ۸- نمونه ای از بلوک سیلندر آلومینیومی بدون پوش.



▲ شکل ۷- شورلت وگا، نخستین خودرو مجهز به بلوک سیلندر کاملاً آلومینیومی.

آخرین تغییرات در این حوزه، کارهایی بودند که جان کمپبل (John Campbell) در دانشگاه بیرمنگام انگلیس انجام داده است. او با استفاده از رادیوگرافی همزمان با ریخته گری توسط اشعه X، نگرشی نوین به راهگاه گذاری داشته و به مطالعه بر روی تاثیر سرعت مذاب و ورود فیلم های اکسید نازک بر قطعه ریختگی پرداخته است. این فیلم های اکسید نازک بدام افتاده خواص مکانیکی، به ویژه خواص خستگی را تضعیف می کنند.

رشد قطعات ریختگی آلومینیوم

دهه های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ شاهد بزرگترین رشد در تولید قطعات ریختگی آلومینیومی بودند، ریخته گرها بر سلامت و خواص مکانیکی قطعات ریختگی آلومینیوم تمرکز نموده و سعی در بهبود آنها داشتند. از ۱۹۵۶ تا ۱۹۶۶، تولید قطعات ریختگی آلومینیومی ۱۰۷ درصد افزایش داشت (در حالیکه تولید قطعات ریختگی آهنی تنها ۱۳ درصد افزایش نشان داد). در ۱۹۵۷، آلومینیوم از مس پیشی گرفت و تبدیل به دومین فلز پرمصرف در صنعت ریخته گری شد. در خلال این مدت، رشد بزرگی در ریخته گری دقیق، ریژه و دایکست آلومینیوم اتفاق افتاد.

اگر کلاهیک نماد یادبود واشنگتن و بلوک سیلندر نخستین هواپیمای برادران رایت در کیتی هاوک، دو قطعه ریختگی آلومینیومی نخست از نظر اهمیت بودند، بلوک سیلندر شورلت وگا (Vega) نماد شاخص ترین قطعه ریختگی آلومینیومی است که تا امروز تولید شده است. در ۱۹۶۹، جنرال موتورز شورلت وگا (شکل ۷) را معرفی کرد که از بلوک سیلندری کاملاً آلومینیوم (شکل ۸) و بدون پوش های چدنی بهره می برد. بلوک به روش دایکست و با استفاده از فرایند آکورا (Acurad) تولید شد. آلیاژ ۳۹۰ (که توسط رینولدز توسعه داده شده بود) حاوی ۱۶-۱۸٪ Si، ۴-۴.۵٪ Cu و مابقی آلومینیوم بود. درصد بالای سیلیسیم به واسطه رسوب بلورهای سیلیسیم اولیه باعث افزایش مقاومت به سایش می شود. دو میلیون و

واحد های ریخته گری چدن و فولاد را غرق در کار کرده بود. ریخته گری های آلومینیوم، با پیشرفت های تکنولوژی که در خلال جنگ به دست آورده بودند، اکنون می توانستند با ریخته گری های چدن و فولاد رقابت کنند. در نتیجه، صنعت آلومینیوم، آنطور که انتظار می رفت دچار انقباض نشد.

تحقیقات در مورد سیستم راهگاهی

اندکی پس از جنگ، در ۱۹۴۷، انستیتوی غیر انتفاعی توسعه تکنولوژی و علوم کاربردی بتل (Battelle Memorial Institute)، در کلمبوس از ایالت اوهایو، پروژه تحقیقاتی را تحت سرپرستی بخش فلزات سبک انجمن ریخته گری آمریکا (AFS Light Metals Div) آغاز کرد. در این پروژه، با استفاده از قالب های پلاستیکی شفاف و آب، مطالعاتی بر روی سیستم های راهگاهی مختلف صورت گرفت. هدف آن بود که رابطه بین سطح مقطع راهگاه (sprue)، راهبار (runner) و راهبار ها (ingates) مشخص شود. بعد از آنکه آزمایشات با قالب های پلاستیکی انجام شدند، این آزمایشات با آلومینیوم و در قالب های ماسه ای تکرار شدند. قطعات ریخته شده تحت آزمون اشعه ایکس قرار گرفتند تا بر درستی کارکرد سیستم صحه گذاری شود. کارهای اولیه ابتدا بر روی سیستم های راهگاهی افقی و سپس بر روی سیستم های راهگاهی عمودی انجام شدند.

هنگامی که کار در سال ۱۹۵۵ به اتمام رسید، صنعت صاحب نخستین فرمول های فراگیر طراحی سیستم های راهگاهی برای ریخته گری آلومینیوم در قالب های ماسه ای و ریژه شد. این مطالعه از آن جهت برای شغل ریخته گری ارزشمند بود که طراحی قطعات ریختگی و پیچیدگی آنها پیوسته در تغییر و تکامل بود. اصول توسعه داده شده توسط AFS و انستیتوی Battelle تا زمان انتشار این مقاله (سال ۱۹۹۹) اعتبار داشتند و بکار می رفتند*.

ها با آنچه اتفاق می افتد انطباق ندارد و تحولات و پیشرفت هایی در جهان روی می دهند که می توانند پیش بینی ها را کلاً باطل کنند.

امروزه به دلیل مسایل ایمنی و زیست محیطی از آنتیموان برای اصلاح ساختار سیلیسیم در آلیاژهای آلومینیوم-سیلیسیم، اگر نگوئیم اساساً استفاده نمی شود، می توان گفت که کمتر استفاده می شود و استرانسیم بیشترین مصرف را داشته و تا حدود زیادی جای سدیم را نیز گرفته است.

اصول طراحی سیستم راهگای تا اواخر دهه ۱۹۹۰ میلادی شاید تغییر چندانی نداشت، ولی از اواخر قرن بیستم و اوایل قرن جاری، مطالعات و تحقیقات پروفیسور جان کمپبل و همکاران ایشان منجر به تغییرات اساسی در طراحی سیستم های راهگای شد و سرعت بحرانی جریان مذاب و عدم تلاطم جریان در هنگام پرشدن قالب نقشی اساسی در تولید قطعات سالم پیدا کردند.

ظهور خودروهای برقی در دهه اخیر و پیشرفت هایی که در صنعت دایکست صورت گرفت، از جمله دایکست تحت خلا (vacuum diecasting) و فرایندهایی که منجر به تولید قطعات قابل اعتماد و حساس دایکستی (high integrity Die Castings) می شوند منجر به بهبود چشمگیر در کیفیت قطعات دایکستی شده و این قطعات قابلیت عملیات حرارتی و جوشکاری پیدا کردند. تولید قطعات بزرگ و بسیار بزرگ و تجمیع تعداد زیادی از قطعاتی که به واسطه جوش و پرچ و پیچ و مهره به یکدیگر متصل می شدند در یک قطعه یکپارچه سبب شد که بسیاری از پیش بینی ها عملی نشوند و صنعت دایکست دست بالا را در تولید قطعات خودرو پیدا کند.

بر خلاف آنچه در این مقاله پیش بینی شده بود، مدل های از بین رفته نتوانستند سهم بالایی از بازار قطعات ریختگی را به خود اختصاص دهند.

مرجع

American Foundry Society, Inc. 1999, "From a monument to the Vega, The Journey of the Aluminum Casting

پانصد هزار وگا در طول عمر این مدل از شورولت تولید شد. بلوک وگا از این نظر با تمام بلوک های ریختگی پیش از خود متفاوت بود که در آن بوش سیلندری وجود نداشت. موفقیت بلوک وگا هنوز (سال ۱۹۹۹) هم موضوع مطالعه است و منجر به کارهای آتی بر روی بلوک های سیلندر آلومینیومی شد.

در دهه ۱۹۶۰، چرخ و درام (drum) آلومینیومی یکپارچه در قالب ریژه و با استفاده از لاینر (liner) چدنی و آلیاژ ۳۵۶ آلومینیوم تولید شد. امروزه، استفاده از چرخ های آلومینیومی تقریباً در کل صنعت خودرو تبدیل به استاندارد شده است.

در ادامه

موتور محرک برای تداوم تولید و توسعه قطعات ریختگی آلومینیومی صنعت خودروسازی بوده و هنوز هم هست و احتمالاً در آینده هم این روند ادامه خواهد داشت. در دهه های گذشته، ریخته گری در قالب های ماسه ای و ریژه و دایکست بیشترین سهم از ریخته گری قطعات آلومینیوم را به خود اختصاص دادند. تصور بر این بود که ریخته گری در قالب های با مدل های از بین رفته (lost foam casting) هم سهم رو به رشدی داشته باشد. ارزیابی صورت گرفته توسط دانشگاه ویسکانسین ایالت میلواکی نشان داد که در سال ۱۹۹۷، حدود ۱۴۰ هزار تن آلومینیوم در قالب های با مدل های از بین رفته و فرایندهای مشابه (قالب پر یا full mold و پوسته سرامیکی یا ceramic shell) ریخته شدند. انتظار این مطالعه آن بود که در سال ۲۰۰۰ این مقدار به ۲۵۶ هزار تن برسد و در سال ۲۰۰۸ سهم مدل های از بین رفته در ریخته گری آلومینیوم به ۲۹ درصد برسد و همچنان موتور محرک این کار، صنعت خودروسازی پیش بینی شده بود*.

توجه

این مقاله در سال ۱۹۹۹ نوشته شده و به دلیل دیدگاه تاریخی و ارزشمندی که از نظر مترجم داشت، ترجمه شد. طبیعی است که علم و صنعت دائماً در حال پیشرفت و توسعه است و آنچه در گذشته ارزشمند بوده شاید امروز اعتبار خود را از دست داده باشد و نیز، همیشه پیش بینی



چرا جریان اتمیزه مذاب برای پر شد قالب نیاز است؟

پاسخ به ایراد وارده به مقاله منتشر شده در شماره ۱۹ نشریه ریخته گری تحت فشار

مجتبی ستوده فرد

تا اینجا درست

ولی شما در نظر بگیرید که ما هم داریم تخلخل رو بالا می‌بریم و اجازه خارج شدن هوا از قالب رو به حداقل میرسونیم. در واقع هوا رو داریم حبس میکنیم و درون قطعات ضخیم حتما مک خواهیم دید. علاوه بر اون این کار باعث میشه راهگاه اورفلو بخاطر پرتاب شدید مذاب بسته بشه و قبل از اینکه محفظه قالب پر از مذاب بشه آورفلو پر شده و اجازه خروج هوا کم و کمتر میشه.

بنده به تجربه دیدم و حس کردم در کارهای ضخیم بایستی سرعت فاز یک کم باشه و در ۱ سانتیمتر آخر کورس تزریق ما فاز ۲ رو وارد عمل کنیم و حبس هوا رو به حداقل خواهیم رساند. در قطعات نازک ولی فرقی ندارد و میشه با سرعت تزریق کرد. کما اینکه سرعت بالا برای اون بهتر هم هست. تعریف نازک و ضخیم رو هم به صورت تجربی زیر ۴ میلیمتر نازک و بالای اون ضخیم در نظر میگیرم.

موفق باشید و پیروز

در پاسخ به نقد مطرح شده از طرف آقای موسوی، لازم است در ابتدا به منشأ عیب مک گازی اشاره ای داشته باشیم [البته پیشنهاد بنده گذراندن دوره بسیار مفید عیوب قطعات دایکست که توسط انجمن دایکست ایران ارائه می گردد برای همه می باشد].

عیوب گازی می تواند ناشی از ورود مذاب گاززدایی نشده به قالب باشد، می تواند در اثر بارریزی نادرست درون سیلندر تزریق باشد، می تواند در اثر تنظیم نادرست سرعت فاز یک یا حرکت آرام پیستون باشد که در صورت عدم رعایت سرعت مناسب در این فاز، چه سرعت بالاتر از مقدار محاسبه شده باشد و چه سرعت پایین تر از آن، در هر دو حالت مذاب

بسیار باعث خوشبختی است که فعالان صنعت دایکست مطالب ارائه شده را با دقت خوانده و نقطه نظرات خود را صریحا به بنده منعکس می کنند؛ از جمله آقای موسوی. البته همواره بنده در انتهای مقالات ارائه شده خود از خوانندگان درخواست این موضوع را داشته ام. در شماره ۱۹ این نشریه مطلبی تحت عنوان "چرا جریان اتمیزه مذاب برای پر شدن قالب نیاز است؟" از طرف بنده ارائه گردید و با بازخوردی در شبکه اجتماعی واتساپ از طرف آقای موسوی - که خود را یک فعال صنعت دایکست معرفی نمودند - دریافت کردم و احتمال دادم ممکن است این مورد سوال و یا دیدگاه دیگران نیز باشد، لذا لازم دیدم پس از انعکاس دیدگاه آقای موسوی، بطور کامل توضیحاتی در این زمینه ارایه نموده و منتظر نظرات ارزشمند ایشان و سایر همکاران عزیز در این زمینه بمانم.

ایشان با ارسال عکس از انتهای مقاله فوق الذکر، به بند آخر نتیجه گیری اشاره نموده و به آن ایراد داشتند. بند آخر مقاله این بود: "هرچه سرعت جریان بالاتر رود و بعبارتی، فاکتور J بالاتری استفاده شود، میزان حبس هوا کمتر می شود."

و در ادامه مطالب زیر را مطرح نمودند:

"سلام و وقت بخیر

موسوی هستم از فعالان صنعت دایکست

قربان ما برای بالابردن سرعت جریان نیازمند این هستیم که سرعت پیستون رو افزایش بدیم. این افزایش سرعت پیستون باعث میشه که جریان در صورتی که راه گاه مستعد باشه بصورت اتمیزه وارد قالب بشه.

باید باشند) صحیح و کافی نباشد باز هم مشکل حبس هوا بوجود می آید. این مطلب بدین معنی است که اگر سرعت ورود مواد به قالب را بخواهیم با افزایش سرعت پیستون، بیش از مقدار مد نظر طراح اضافه کنیم مشکل خروج مناسب هوا از قالب را خواهیم داشت.

در مقاله "چرا جریان اتمیزه مذاب برای پر شد قالب نیاز است؟" که در شماره قبل منتشر گردید، مباحث مربوط به محاسبه J فاکتور مطرح گردید و بیان شد برای تغییر جریان سیال از حالت Coarse Particle Jet Flow به حالت اتمیزه، باید شرایط را به نحوی تغییر داد که J فاکتور محاسبه شده از J فاکتور شرایط مرزی رسیدن به حالت اتمیزه بیشتر گردد. اما، همانطور که آقای موسوی هم اشاره نمودند جریان اتمیزه خود باعث حبس هوا می گردد که این مطلب کاملاً صحیح است، اما چیزی که در تحقیق و آزمایشاتی که توسط محقق ژاپنی Eitaro Koya انجام گردید، ایشان نشان دادند در سرعت های بالاتر تزریق و یا عبارتی دیگر، مقادیر خیلی بیشتر از J فاکتور مرزی میزان مک گازی ناشی از اتمیزه شدن مذاب نسبت به حالت J فاکتور نزدیک به شرایط مرزی کاهش پیدا می کند [مراجعه به متن مقاله در شماره قبل]. البته نکته ویا سوء برداشت شاید در اینجا است که باید طراحی سیستم راهگامی قالب برای این سرعت محاسبه و ساخته شده باشد، از جمله مکان و میزان صحیح مجرای خروج هوا که در غیراینصورت افزایش سرعت ورودی به قالب باعث ایجاد مک گازی بیشتر می گردد.

در انتها از آقای موسوی تشکر می کنم که دیدگاه خود را مطرح نمودند و امیدوارم موضوع مقداری روشن تر شده باشد. ارائه هر گونه نظر و پیشنهاد اصلاحی از طریق واتساپ و یا انعکاس به دفتر انجمن باعث خرسندی نویسنده است.

شماره تلفن همراه برای ارائه نقطه نظرات ۰۹۱۲۱۰۶۶۷۳۱

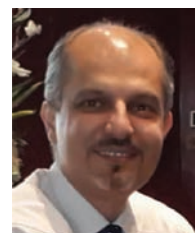
با هوای درون پیستون مخلوط شده و وارد قالب می گردد. می تواند در اثر استفاده نادرست و بیش از حد از اسپری رهاساز باشد و می تواند در اثر طراحی نادرست سیستم راهگامی، از جمله مجاری خروج هوا و مکان مناسب آن باشد.

طراح و سازنده قالب باید به همراه قالب طراحی شده حداقل اطلاعات، از جمله سرعت فاز ۱، سرعت فاز ۲، موقعیت انتقال فاز یک به فاز دو، فشار آکومولاتور دستگاهی که قالب برای آن طراحی شده، درجه حرارت مذاب، درجه حرارت پیش گرم قالب و ... را برای تنظیم اولیه دستگاه ارائه نماید که متأسفانه در صنعت ما زیاد رایج نیست و اپراتورها با انجام سعی و خطا به شرایط ایده آل خود می رسند. البته برخی از سازندگان قالب هم از این مباحث اطلاعات کاملی ندارند و قالب را بصورت تجربی می سازند.

همانطور که اشاره گردید طراحی نادرست سیستم راهگامی هم می تواند عامل عیب مک گازی باشد. طراح قالب، سیستم راهگامی را برای یک محدوده مشخص از تنظیمات دستگاه تزریق طراحی می کند [برای اطلاعات بیشتر به مباحث مربوط به نمودار PQ۲ مراجعه شود]. تنظیم دستگاه خارج این محدوده یا پنجره کاری باعث بروز عیوب مختلف، از جمله مک گازی می گردد و به دلخواه اپراتور نیست که هر سرعتی را برای فاز ۱ یا فاز ۲ ویا قطر پیستون دستگاه اختیار کند. اگر بخواهیم سرعت فاز ۲ را بیشتر کنیم لازم است طراحی سیستم راهگامی، از جمله مجراهای خروج هوا [یا ونت های] متناسب آن را محاسبه و در مکان های مناسب تعبیه نماییم. مکان مناسب آخرین نقاط پر شدن قالب هستند که معمولاً با شبیه سازی و یا تجربه بالای طراح این نقاط شناخته می شوند. اگر مکان نادرست انتخاب شود، همانطور که بدرستی در گفته های آقای موسوی اشاره گردید، مذاب قبل از اینکه حفره قالب را کاملاً پر کند به این خروجی ها می رسد و باعث انسداد زود هنگام آن و در نتیجه حبس هوا می گردد. اگر اندازه این خروجی ها هم [که متناسب با سرعت ورود مواد به قالب

نقدی بر مقاله تحولات اجتماعی، بحران تامین نیروی انسانی و آینده صنعت دایکست

شاهن مارکاریان



حالت هم کل تیراژ از یک قطعه در سال به ۲۰۰ هزار ضرب نمی رسد. در مقابل، قطعات بسیاری با تعداد ضرب ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ و ۵۰۰۰ تولید می شوند که احتیاج به اتوماسیون ندارند. بنابراین صرف رفتن به سمت اتوماسیون در چنین حالتی نه تنها مشکلات را حل نمی کند، بلکه می تواند خود مزید بر علت شود، چرا که برخلاف نگاه آینده نگران در مقاله مذکور، من به عنوان یک تولید کننده به دلیل متغیرهای بسیار زیاد و غیرقابل پیش بینی در اقتصاد کشور از استراتژی بقا پیروی می کنم. با کنار هم گذاشتن قطعات این پازل به وضعیت فعلی می رسم که کسی رغبتی برای سرمایه گذاری جدید برای آینده ای مبهم ندارد. شاید من نوعی که در این کشور از اتوماسیون استفاده نمی کنم، اگر در محیط دیگری قرار بگیرم اولین انتخابم اتوماسیون باشد.

البته مسئله فقط این نیست. از نظر فنی هم زمانی می توانید به سمت اتوماسیون بروید که ابزار و تجهیزات شما همه در حد خوب و عالی باشند. مسئله اتوماسیون فقط این نیست که یک ربات خریده شود. این ربات باید با یک قالبی کار کند که هیچ مشکلی برای تولید نداشته باشد، در تیراژ انبوه پلیسه در آن نماند، قطعه در آن گیر نکند تا شما بتوانید با خیال راحت با آن تولید کنید. خود ربات هم نیاز به تعمیر و نگهداری دارد و این کار نیاز به نیروی متخصص و کار نیروی انسانی دارد. کار تعمیر و نگهداری تجهیزات را نمی توان به اتوماسیون سپرد.

پس راه حل چیست؟

راه حل در آموزش است که در بخشی از مقاله مورد بحث به آن اشاره شد. سیستم آموزش ما واقعا دچار مشکلات اساسی است. چه آموزش در سطح مدارس و چه در سطح دانشگاه ها. ما به هیچ وجه آموزش هایمان بازار محور نیست. بچه ها خودشان باید پس از اتمام تحصیلات بازار را پیدا کنند، در حالیکه در کشوری مثل آلمان و در سیستم معروف به Dual

ضمن تشکر از نگارنده مقاله "تحولات اجتماعی، بحران تامین نیروی انسانی و آینده صنعت دایکست" که در مجله شماره ۱۹ چاپ شده بود و تایید موارد ذکر شده در بخش چالش ها و فرصت های مورد اشاره، سوالی که در بدو امر به نظر می رسد این است که چرا از این فرصت ها در جهت رفع موانع و چالش ها تا کنون بهره برداری نشده است.

همچنین، به زعم بنده موارد مورد اشاره در این مقاله دارای وزن یکسانی نیستند و لازم است بر اساس وزن و اهمیت و قابلیت که در رفع مشکل تامین نیروی انسانی دارند دسته بندی شوند و طبیعتا، راه حل هایی با قابلیت حل مشکل بالاتر در اولویت قرار گیرند.

خروجی وضعیت کشور ما نتیجه تفکر و پتانسیل های موجود است و وضعیت فعلی صنعت ما خروجی وضعیت کشور است که ما را به سمت اقداماتی سوق داده که در حال حاضر آنها را انجام می دهیم.

این مشکلات می توانند در هر جایی از دنیا باشند و راه حلی مثل اتوماسیون هم می تواند در هر جایی از دنیا باشد. به خوبی به یاد دارم که در سال ۲۰۱۴ در کشور آلمان و در نمایشگاه صحبت در همین زمینه بود و طرف آلمانی به من می گفت که شما خوشبخت هستید که نیروی جوان دارید و ما معضل نیروی انسانی داریم.

اما، در مورد اتوماسیون که از راه حل هایی است که بیشتر به ذهن متبادر می شود، لازم است به این مسئله توجه شود که آنچه باعث می شود شما به سمت اتوماسیون سوق پیدا کنید تولید انبوه است و نه عدم دسترسی به نیروی کار. با توجه به سرمایه گذاری اولیه زیادی که صرف اتوماسیون می شود در تیراژهای پایین تولید، اتوماسیون به هیچ وجه توجیه پذیر نیست و قابل مقایسه با بهره گیری از نیروی انسانی نمی باشد. اما وضعیت کشور ما به شکلی است که متأسفانه و بنا به دلایلی روشن، نتوانسته ایم به بازارهای جهانی - که متضمن تولید با تیراژهای بالاست - راه پیدا کنیم. در بازار داخلی هم عملا تولید انبوهی نداریم و در بهترین

شوند که در اثر اولی حرکت به سمت اتوماسیون دشوار می شود و در اثر دومی جذب نیروی انسانی به صنعت به طور عام و صنعت دایکست به شکل خاص دچار مشکل گردد.

در هر حال امیدواریم که کشور راه بقای خود را از مسیر تولید ببیند که در این صورت درصد بالایی از مشکلات حل خواهند شد و زیرساخت های لازم برای حل مشکلات تولید به تبع آن فراهم می شود. تا زمانی که راه موفقیت در کشور از دلالتی و واسطه گری و روش های غیر تولیدی بگذرد و تولید کننده دچار یاس شود، چنین بحث هایی وجود خواهد داشت و البته در حد مقاله باقی خواهد ماند.

Education، از سنین پایین بچه ها با کارخانه ها و صنعت آشنا می شوند و طبیعتاً جذب آنها می شوند.

در بازدیدهایی که شخصا از این سیستم داشتم، گفته شد که از نوجوانان و جوانانی که دوره های آموزشی را در صنعت می گذرانند بیش از ۷۰ درصد جذب همان صنایع می شوند. این راهی است که باید طی شود. نه تنها چنین ارتباطی بین مدارس و صنعت ما وجود ندارد، بلکه بین دانشگاه و صنعت هم هیچگونه ارتباطی وجود ندارد. طبیعی است که کسی که در سن بالای ۲۵ سال وارد صنعت می شود به سختی می تواند جذب چنین محیطی شود و پای ماشین دایکست بایستد. بنابراین دو مسئله وضعیت تولید و آموزش نیروی انسانی باعث می

انجمن صنفی کارفرمایی ریخته گری تحت فشار ایران

شماره ثبت: ۳۲-۳/۲-۴۱۸

کمیته های تخصصی انجمن

۱- کمیته آموزش، استاندارد و ارزیابی

اهم وظایف:

- نیاز سنجی آموزش صنایع مرتبط با دایکست
- تدوین مفاد و برنامه ریزی دوره های آموزشی مورد نیاز صنعت دایکست (حضور یا مجازی)
- بررسی و تطبیق استانداردهای رایج در صنعت دایکست و همکاری در اخذ گواهینامه ها و استانداردهای ملی و بین المللی مورد نیاز برای واحدهای عضو
- برنامه ریزی جهت رتبه بندی و ارتقاء کیفی واحدها
- تحقیق در روشهای نوین و پیشرفتهای صنعت دایکست
- برگزاری دوره های آشنایی با صنعت آلومینیوم در دانشگاههای کشور
- تعریف پایان نامه های کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترای از سوی واحدهای تولیدی مرتبط به دانشگاهها
- ایجاد امکان برای کارآموزی دانشجویان در واحدهای مرتبط

۲- کمیته حقوقی و قوانین

اهم وظایف:

- انجام بررسی های حقوقی و ارائه خدمات مشاوره ای به اعضا
- پیشنهاد و تفسیر قوانین و آیین نامه های مرتبط با فعالیت های اعضا
- پیگیری مطالبات حقوقی اعضا از طریق رایزنی در راهکارهای قانونی با دستگاههای اجرایی ذی ربط
- انجام حکمیت و داوری و رفع اختلاف میان اعضا و همچنین دستگاههای اجرایی

۳- کمیته فنی و عارضه یابی

اهم وظایف:

- رسیدگی به موارد فنی مربوط به مواد- ماشین آلات و تجهیزات و فرآیند ریخته گری تحت فشار ارجاع شده از جانب اعضا
- پیشنهاد جهت انجام عارضه یابی و رفع مشکلات فنی اعضا به کمک گروههای کارشناسی
- انجام بررسی های تخصصی به منظور برطرف نمودن مشکلات فرآیند تولید
- برگزاری جلسات و انجام بازدید از واحد دارای مشکل فنی
- انجام تحلیل های فنی و جمع بندی و ارائه راهکار و گزارش به واحد تولیدی ذی ربط
- ارائه مشاوره فنی از طریق همکاری با اساتید، کارشناسان و صنعتگران خبره در رشته های مرتبط
- انجام نیاز سنجی های میدانی و تعیین نقاط قوت و ضعف واحدهای مرتبط و تدوین نحوه بهبود مستمر در واحد
- انجام مشاوره با وزارت صمت در راستای صدور مجوز سرمایه گذاری های جدید در جهت توسعه و تکمیل زنجیره تولید صنعت دایکست

۴- کمیته بهبود فضای کسب و کار

اهم وظایف:

- مطالعه بازار صنعت دایکست و معرفی فرصت های سرمایه گذاری در این صنعت
- نظرسنجی در مورد مسائل مرتبط با صنعت دایکست و انعکاس آن
- برنامه ریزی و هدایت انتشارات انجمن مستقیماً و یا از طریق برون سپاری به پیمانکاران این رشته
- تدوین برنامه برای برگزاری سمینارها و پیگیری امور مربوط به برپایی نمایشگاهها
- تهیه جزوات، کتاب، بروشور، لوح فشرده و نرم افزارهای لازم مرتبط با فعالیت سایر کمیته های انجمن

تهران- تهرانپارس- قنات کوثر- بلوار مطهری- کوچه هفتم مرکزی- پلاک ۱- طبقه ۳- واحد ۱۰

وبسایت: www.idca2011.com ایمیل: idca2011@gmail.com

تلفن: ۰۲۱-۷۷۰۴۷۰۸۴ تلفکس: ۰۲۱-۷۷۰۴۶۰۹۱



قابل توجه مدیران محترم شرکتهای فعال در صنعت
ریخته گری تحت فشار ایران

هیئت مدیره انجمن دایکست ایران به منظور اجرایی نمودن اهداف تشکیلی خود در جهت ارتقاء توان و توسعه فناوری و حفظ و صیانت از حقوق دست اندرکاران صنعت دایکست، اقدام به تعریف و تشکیل کمیته های تخصصی چهارگانه به شرح زیر در انجمن نموده است.

از آنجا که مشارکت فعالان این رشته، ضمن استفاده از تجربیات و دانش تخصصی آنان می تواند توان علمی و اجرایی این تشکل را افزایش دهد:

بدینوسیله ضمن معرفی کمیته ها و اعلام سر فصل وظایف پیش بینی شده برای آنها، از آن مدیریت محترم درخواست می گردد با مطالعه و بررسی موارد عنوان شده در صورت تمایل به عضویت خود یا هر یک از نیروهای واحد تحت سرپرستی شان در این کمیته ها مراتب را کتبا به دفتر انجمن اعلام فرمایند تا اقدام بایسته معمول گردد.

کمیته های تخصصی انجمن عبارتند از:

۱- کمیته آموزش، استاندارد و ارزیابی

۲- کمیته حقوقی و قوانین

۳- کمیته فنی و عارضه یابی

۴- کمیته بهبود فضای کسب و کار

انجمن ریخته گری تحت فشار ایران



JUGI

مجموعه جوگی با امکانات پیشرفته و آزمایشگاه مجهز، آماده ارائه قطعات دایکست با کیفیت بالا و قیمت مناسب می‌باشد
همچنین این شرکت به پشته‌توانه تجارب فراوان و توانایی فنی بالا قادر به ارائه کلیه خدمات از جمله تامین قالب و اجزای آن در محل کارخانه و یا واردات از خارج کشور است



تهران، کیلومتر ۱۲ جاده آبعلی، شهرک صنعتی خرم‌دشت، بلوار ۳۰ متری، پلاک ۲۳۱



www.jugi.ir



jugi.co@gmail.com



77821516 - 77821753

سیستم های پاشش

روانکارهای گرانول و روغن پلانجر

انواع گریس و مواد کمکی قالب دایکست

جدا کننده های پایه آبی قالب

آنتی سولیدر

مبکر ساخت صفحه های محافظ

دستگاه از جنس کامپوزیت



فروش : ۰۹۳۰۶۸۱۱۰۸۶

شماره های تماس : ۸۸۷۷۲۸۴۹ - ۸۸۷۷۲۸۶۲

ISO/TS 16949

Registered Firm



ریخته‌گری و قالب‌سازی تکنوگراف

در همکاری با ما آسوده خاطر باشید

تولید قطعات صنعتی و خودرو به روش
ریخته‌گری دایکست از آلیاژ آلومینیوم و روی
طراحی و ساخت قالب‌های دایکست



زمینه فعالیت

- صنایع خودرو
- صنایع گاز و لوازم خانگی
- صنایع الکترونیک و مخابرات
- صنایع ساختمان و تاسیسات
- صنایع برق

شرح امکانات

- واحد کنترل کیفیت
- واحد ریخته‌گری و پرداخت کاری
- واحد طراحی و قالب‌سازی
- واحد ماشین‌کاری

آدرس: تهران، جاده آبله، منطقه صنعتی خرم‌دشت، بیست متری غربی، پلاک ۷۲
تلفن: ۰۲۱ ۷۶۲۱۲۰۹۰ و ۰۲۱ ۷۶۲۱۶۵۶۷-۷۰ فکس: ۰۲۱ ۷۶۲۱۲۰۸۹

www.technographco.com

ZPG TECH

طراح و سازنده
کوره های صنعتی

شرکت طراحی و مهندسی

آذر آهنگام البرز



www.zpg-tech.com



۰۲۶-۳۷۷۷۹۳۶۳



۰۲۶-۳۷۷۷۹۳۶۰-۲



Zobiranian.Co

شرکت آلیاژسازان ذوب ایرانیان

تولید کننده شمش آلومینیوم آلیاژی
طبق استانداردهای بین المللی



تلفن کارخانه: ۰۲۳-۳۴۵۷۲۷۶۲
فکس: ۰۲۳-۳۴۵۷۲۷۶۳
Whatsapp, Telegram: 09192944008

آدرس کارخانه: بزرگراه امام رضا، بعد از پلیس راه شریف آباد،
شهرک صنعتی پایتخت، بلوار کاج، نرگس ۱، پلاک ۱۵
www.zobiranalco.com

NAB CO.
UNIQUE ALLOY
INDUSTRIAL

*** WE ARE
COMMITTED
TO QUALITY**

www.naballoy.com

۰۲۱-۵۶۲۳۲۹۸۰ *

تولیدکننده آلیاژهای آلومینیوم

۰۲۱-۵۶۲۳۲۹۸۴ *

۰۲۱-۵۶۲۳۶۹۳۴