



انجمن دایکست ایران HIGH PRESSURE DIE CASTING

سال هفتم - شماره ۲۴ - بهار ۱۴۰۴

رنج تکراری تحت فشار

PETROFOND Int.

تحت لیسانس MetalFlow



رهایسازهای دایکست



روانکارهای پلانجر



رهایسازهای فورج



سیالات هیدرولیک ضد آتش

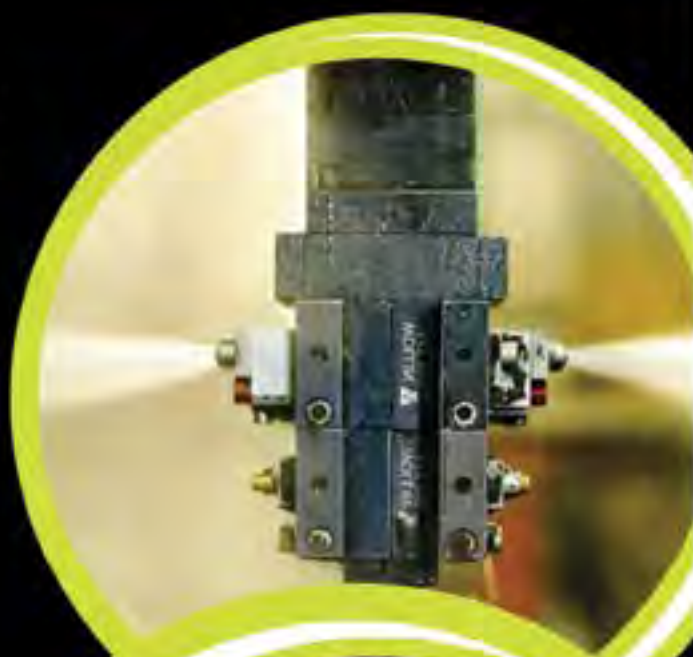


روانکارهای پانچ و فورمینگ



با واحد مهندسی فروش
پتروفوند در تماس باشید

021 8851 0348 0900 155 4068



الماس آلومینیوم گلیپایگان

ALMAS ALUMINIUM GOLPAYEGAN

We have robust systems in place to understand and exceed customer expectations. Alongside timely delivery, we strive to assure our customers of the best quality, in compliance with globally accepted technical standards and certifications, for all deliveries. These coveted certifications provide unmatched quality assurance to our valued customers. Almas Aluminium's products are certified by the following agencies:



اصفهان، گلیپایگان، شهرک صنعتی فاز ۱
خیابان تولید ۵، شرکت الماس آلومینیوم

۰۳۱ ۵۷۴۱ ۸۱ ۸۰

۰۳۱ ۵۷۲۴ ۸۴ ۳۲

۰۹۱۹ ۱۳۸۸ ۷۴۹

۰۹۱۲ ۹۱۰ ۷۸ ۴۲





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



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



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 مش های مختلف

پودر منیزیم خالص

پودر منیزیم - آلومینیوم





پارس پایا

بیش از ۲۵ سال سابقه

PARS PAYA



شرکت پارس پایا

تهیه و پخش کننده انواع مقاطع مس آلیاژی
قابل استفاده برای پیستون دستگاه‌های دایکاست

آلیاژ مس کوبالت نیکل برلیم

آلیاژ مس نیکل سیلیس

تمام متریال‌ها وارداتی و با سرتفیکیت ارائه می‌گردند

از سایز ۸ میلی‌متر تا ۱۵۰ میلی‌متر موجود در انبار

میلگردهای موجود به طول ۱ متر و قابل برش

امکان عودت در صورت عدم تطبیق با آنالیز



www.parspayawi.com



parspaya@hotmail.com



parspayawi



دفتر فروش تهران:

۰۲۱ ۴۴۹۰۴۴۹۲

۰۲۱ ۴۴۹۰۴۴۹۳



۰۹۲۱ ۱۹۳۳۵۷۹

ارسال به تمام
نقاط کشور





MEHRAL
ALUMINIUM INGOT AND BILLET CASTING



MEHRAL
ALUMINIUM INGOT AND BILLET CASTING

شرکت مهر آلومینیوم البرز

تولید کننده بیلت و شمش آلیاژی آلومینیوم

شهرک صنعتی اشتهراد - انتهای بلوار غزالی غربی
ریحان دوم - نبش ارغوان دوم - قطعه 3970 A

تلفن: ۰۲۶ - ۳۷۷۷۹۳۶۰ - ۲

فکس: ۰۲۶ - ۳۷۷۷۹۳۶۳



انجمن دایکست ایران

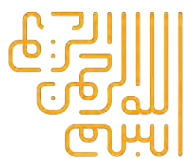
با ما همراه شوید

مزایای عضویت

در انجمن دایکست ایران



۱. شرکت در همایش ها و گردهمایی های انجمن
۲. شرکت در مجمع سالیانه
۳. شرکت در نمایشگاه ها و سالن های اختصاصی انجمن دایکست
۴. دریافت رایگان نشریه تخصصی دایکست
۵. استفاده از تخفیف اعضا در نمایشگاه ها
۶. دریافت رایگان مجله مهندسی دایکست (NADCA)
۷. درج لوگوی شرکت (دسترسی به سایت شرکت) در سایت انجمن
۸. تخفیف ۱۰٪ جهت درج آگهی در مجله مهندسی ریخته گری تحت فشار
۹. تخفیف ۱۰٪ جهت درج آگهی در سایت انجمن دایکست ایران
۱۰. تخفیف ۱۰٪ دوره های آموزشی
۱۱. تخفیف ۱۰٪ در تورهای خارجی



انجمن دایکست ایران



- ۲..... سخن نخست
- ۴..... روی میز ویراستار
- ۶..... محسن خلیلی عراقی چگونه نامی ماندگار پیدا کرد؟
- آیا مدلسازی و شبیه سازی کامپیوتری می تواند عملکرد کیفیت طراحی و ساخت را بهینه کند؟..... ۱۵
- کاربرد آنالیز حرارتی در صنعت ریخته گری آلومینیم..... ۱۷
- مراقبت و نگهداری قالب (قسمت اول)..... ۲۳
- مدیریت گرما در قالب های دایکست..... ۲۸
- پوشش های نانوکامپوزیتی خودروانکار برای قالب های شکل دهی فلزات... ۳۶
- تاثیر کیفیت مذاب بر ماشینکاری قطعات دایکستی از آلیاژ $AlSi9Cu3$ ۴۶
- هنر تبدیل ایده ها به ثروت..... ۵۰

IRANIAN DIE CASTING ASSOCIATION



نشانی: تهران، تهرانپارس، قنات کوثر، بلوار
مطهری، کوچه هفتم مرکزی، پلاک ۱، واحد ۱۰
تلفن: ۷۷۰۴۷۰۸۴ تلفکس: ۷۷۰۴۶۰۹۱

شماره ثبت مجوز انتشار
از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی: ۷۷۸۵۶
صاحب امتیاز: انجمن صنفی کارفرمایی
ریخته گری تحت فشار
مدیر مسئول: سیامک فتحی
هیات تحریریه: شاهن مارکاریان
مجتبی ستوده فرد، سیامک فتحی
ویراستار: سیامک فتحی
صفحه آرایی و گرافیک: مهدی لطفی
چاپ: پیغام امروز

سخن نخست

سید محمد آیتی



شاخه های ریخته گری بوده است. به جرات می توان گفت که بدون وجود قطعات دایکستی از آلیاژهای مختلف و به ویژه آلومینیوم، امروز شاهد چنین پیشرفتی در صنایع خودروسازی نبودیم و شاید نیاز به زمان بسیار بیشتری بود تا خودروهای برقی بتوانند به این چنین فراگیر شوند و یا انتشار آلاینده ها توسط خودروها بسیار بیشتر از آن چیزی بود که امروز شاهد آن هستیم.

هرچند که در ۳۰ سال اخیر شاهد رشد کمی و کیفی در صنعت دایکست ایران بوده ایم و جوانان و مهندسين توانمندی در حوزه های مختلف مرتبط با این صنعت تربیت شده و در حال کار هستند، اما متأسفانه این سرعت رشد کافی نبوده و فاصله ما با سطح اول جهان نه تنها کاهش نیافته، بلکه بیشتر نیز شده است. بخشی از این درجا زدن ناشی از قطع ارتباط تجاری ایران با جهان و عدم اتصال قطعه سازان ما با خودروسازان طراز اول جهان بوده است. مسیری که در جهان در پیش گرفته شده است

دشوار است که شروع این پیام با ابراز تأسف آغاز شود، ولی همچون همه هموطنان و اصناف کشور عزیزمان بر خود لازم و واجب می دانیم مراتب تأسف و تأثر خود را از آنچه که در بندر شهید رجایی و شهر بندرعباس روی داد اعلام نموده و با هموطنانی که از این حادثه دچار آسیب شده اند و عزیزی را از دست داده اند ابراز همدردی نماییم. امیدواریم که دیگر شاهد چنین وقایع و فجایعی در ایران نباشیم و مردم ما در ازای کار و تلاشی که می کنند و زحماتی که می کشند از زندگی سالم و شاد و پر از امید به آینده بهره مند شوند که این حداقلی است از آنچه که شایسته اش هستند. و اما،

صنعت دایکست علیرغم آنکه از نظر حجم تولید قابل مقایسه با صنایع ریخته گری فولاد نبوده است، ولی مسیری که این صنعت در صد سال اخیر در جهان طی کرده نشان داده است که از نظر ایجاد ارزش افزوده و سودآوری به شکل قابل توجهی بالاتر از سایر صنایع و

به درستی بسازند. انجمن دایکست ایران در حد توان خود تلاش دارد تا با ایجاد ارتباط سازنده با دانشگاه ها و جوانان کشور دین خود را در این راه ادا نماید.

امیدواریم که تعاملاتی که بین ایران و کشورهای غربی در جریان است منجر به گشایش در روابط بین المللی شده و با رفع تحریم ها شاهد ورود سرمایه و ماشین آلات و دانش فنی از یک سو و صدور قطعات و محصولات دایکستی پیشرفته از سوی دیگر باشیم.

پیش از تعامل با جهان و حرکت در مسیر رشد و توسعه نیازمندیم تا با یکدیگر تعامل داشته باشیم و دست در دست هم در راه این رویای بزرگ گام برداریم.

و حرکت سریع به سمت خودروهای برقی - که نیاز به قطعات بزرگ و یکپارچه با خواص مکانیکی برتر را اجتناب ناپذیر نموده است - از عوامل تعمیق دره موجود بین ما و جهان است.

لازمه کاستن از این فاصله سرمایه گذاری های جدید و سنگین در این صنعت، تجهیز کارخانه ها به ماشین آلات روزآمد و بهره گیری از مواد اولیه و آلیاژهای نوین است. ولی مهمتر از این الزامات، ایجاد تغییرات بنیادین در تفکر ما و نگرش نوین به کار و تولید است.

همچنین نیاز داریم تا با کنار گذاشتن روش های ناکارآمد در فرایندهای آموزشی و تربیتی، فضایی پراز امید و سرشار از نشاط را برای کودکان و نوجوانان کشورمان بسازیم تا بتوانند در تعامل با یکدیگر آینده خود و سرزمین خود را

منتظر حضور سبز شما در نمایشگاه صنعت دایکست و در غرفه انجمن دایکست ایران هستیم.

روی میز ویراستار

سیامک فتحی



درود بر یاران و همراهان گرامی

همانطور که در شماره پیشین مجله مهندسی ریخته گری تحت فشار و نیز، در سکوهایی مرتبط با انجمن و صنعت دایکست در فضای مجازی به آگاهی رسیده است، همزمان با چاپ و توزیع این شماره از مجله، نمایشگاه صنعت دایکست در محل برگزاری نمایشگاه های بین المللی شهر آفتاب در حال برگزاری است. امیدواریم روند رو به رشد انجمن دایکست ایران در برگزاری این رویداد تداوم یافته و در سال های آینده شاهد حضور گسترده و مشارکت فراگیر همکاران در چنین همایش هایی باشیم.

مذاکراتی که از اوایل سال ۱۴۰۴ بین ایران و طرف های غربی در جریان است امیدواری هایی را برای گشایش فضای کار و تولید و نیز، کاهش و رفع فشار تحریم ها به وجود آورده است. امیدواریم که این مذاکرات به نتایج مطلوبی ختم شود و شرایط و فضا برای سرمایه

گذاری و تجهیز شرکت های تولیدی به ماشین آلات و دانش روز تولید فراهم گشته، درب های بازارهای صادراتی به روی تولیدکنندگان شایسته این کشور باز و نمایشگاه های مرتبط در سال های آتی با حضور چشمگیر شرکت های خارجی برگزار شود.

همانطور که در متن بالا دیده می شود واژه امید و امیدواری به دفعات تکرار شده است که حکایت از بالقوه بودن رویاها دارد و هاله ای از ابهام آرزوهای ما را در خود گرفته است. بزرگترین امیدواری ما آن است که این رویاها و بالقوه ها به واقعیت و فعل تبدیل شوند.

و اما آنچه که از دست بر آمد و فعلیت یافت آن بود که روز پنج شنبه، مورخ یازدهم اردیبهشت ماه سال جاری، با هماهنگی های صورت گرفته از طرف انجمن دایکست ایران، دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی شریف و شرکت محترم تارا ذوب، شرایطی فراهم شد تا دانشجویان دانشکده مکانیک این دانشگاه بازدید از شرکت تارا ذوب داشته باشند.

شرکت بابت پذیرایی گرمی که داشتند و نیز، جناب آقای مهندس شاهن مارکاریان، نایب رئیس انجمن دایکست و از فارغ التحصیلان دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی شریف که هماهنگی های لازم را با دانشگاه صنعتی شریف صورت دادند اعلام نماییم. گزارش این رویداد در شماره آینده همین مجله به چاپ خواهد رسید. با امید به فردایی بهتر

مدت این بازدید ۵ ساعت بود و در این مدت، دانشجویان با فرایندهای ذوب، ریخته گری تحت فشار، قالب و قالب سازی، ماشینکاری، آزمایشگاه های مرتبط، HSE و کنترل کیفیت آشنا شدند.

برخود لازم می دانیم مراتب تشکر و قدردانی خود را از مدیریت شرکت تارا ذوب، جناب آقای مهندس دستوریان، مدیریت تولید، جناب آقای مهندس صادقی و سایر مدیران و پرسنل این



مقاله

به نام پدر

محسن خلیلی عراقی چگونه نامی ماندگار پیدا کرد؟

الهه طهماسبی
نویسنده نشریه تجارت فردا

اما کمتر نشانی از شرکت‌های خانوادگی باقی مانده است. اما شرکت بوتان که ۱۰ روز مانده به کودتای ۲۸ مرداد ۱۳۳۲ به ثبت رسیده، همچنان در زمره برندهای معتبر ایرانی به شمار می‌رود که ۷۱ سالگی را هم رد کرده است. اما داستان جلد این هفته تجارت فردا چیست و چرا منقش به تصویر و نام محسن خلیلی عراقی است؟

روز یکشنبه ۲۵ آذر ۱۴۰۳ همایشی در هتل المپیک تهران برگزار می‌شود که اگر پشتیبانی محسن خلیلی عراقی را نداشت، ممکن بود هرگز برگزار نشود. در این همایش نتیجه یک سال مطالعه و پژوهش جمعی از اقتصاددانان به مدیریت دکتر مسعود نیلی ارائه می‌شود و نام محسن خلیلی عراقی هم به خاطر پشتیبانی از این پژوهش مطرح شده است. مهندس خلیلی بخشی از دارایی‌های خود را وقف مطالعه و پژوهش صنعتی کرده و بنیادی را به ثبت رسانده که این فعالیت‌ها را سامان‌دهی کند.

در بنیاد توسعه صنعتی محسن خلیلی عراقی، افراد سرشناسی همچون علینقی مشایخی، محمدمهدی بهکیش، مسعود نیلی، علی‌اکبر صابری، احمد پورفلاح، حسین سلیمی، محمدرضا جابرانصاری و... عضویت دارند.

این مقاله، پیش از این در مجله وزین تجارت فردا چاپ شده است. از آنجاکه تولید قطعات دایکستی بخشی از فرایند تولید در شرکت بوتان را به خود اختصاص داده و این شرکت در این زمینه از پیشگامان بوده است و البته، نقشی که خاندان خلیلی عراقی در این صنعت داشته اند، این مقاله با کسب اجازه از نشریه تجارت فردا در این شماره از مجله ریخته‌گری تحت فشار مجدداً به چاپ می‌رسد، باشد که یاد بزرگان و پیشگامان صنعت گرامی داشته شود و الگویی برای جوانان جویای نام گردد.

برگزاری همایش «چالش‌های صنعتی شدن ایران» یک بار دیگر نام و یاد محسن خلیلی عراقی را در ذهن همه ما زنده می‌کند.

او جزو معدود کارآفرینان بازمانده از دوران پرتلاطم دهه ۱۳۳۰ است که بنگاه خانوادگی‌اش همچنان پابرجاست. زمانی در ایران هر فرد می‌توانست همه نیازهای خود را از شرکت‌های خانوادگی تامین کند. اتومبیلش را از «ایران ناسیونال» متعلق به خانواده خیامی می‌گرفت، مواد غذایی‌اش را از شرکت‌های خانواده لاجوردی، دارو و مواد شوینده‌اش را از شرکت‌های خانواده خسروشاهی، لوازم خانگی‌اش را از خانواده برخورداری و کفش مورد نیازش را از خانواده ایروانی تهیه می‌کرد. امروز



▲ محمود خلیلی عراقی در ۲۷ اردیبهشت ۱۲۸۴ هجری خورشیدی دیده به جهان گشود. در میانه خواندن و یادگیری بود که عشق به سراغش آمد و پیش از پایان تحصیلات در ۱۳۰۱ با جمیله دختر مرحوم مبین السلطان آقا اولی ازدواج کرد.

۸ کنترات از این تاریخ به خدمت تدریس شما در مدرسه دارالمعلمین خاتمه داده می شود.» حکم امضای اعتمادالدوله قراگوزلو، وزیر معارف، را پای خود داشت. محمود خلیلی در جوابی که باید برای وصول حکم امضا می کرد، نوشت: «جواباً عرض می شود به جهنم» و این آغاز حرکت خلیلی جوان به سوی صنعت و کارآفرینی بود.

پس از آن، همسرش خانه ای را که به صورت سهم الارث پدری به وی رسیده بود در اختیار او قرار داد و محمود خلیلی با گرو گذاشتن این خانه به مبلغ ۲۶۱ تومان دو باب مغازه بزرگ در خیابان چراغ گاز نزدیک پامنار اجاره و کارگاه تعمیرات الکترومکانیک راه اندازی کرد. محمود خلیلی که تا این زمان به رسم پدر و اجداد خود عبا بر تن و عمامه بر سر داشت با اجازه پدر لباس تدریس و آموزش را از تن به در و رخت کار و صنعت بر تن می کند.

پس از مدتی مجلس شورای ملی به او پیشنهاد می دهد تا شمارنده الکتریکی برای مجلس بسازد. اتوبانک نیز که محل توقف ماشین های سنگین بود از خلیلی می خواهد تا روزی یک ساعت برای بازدید و تعمیر ماشین ها به آنجا برود. محمود خلیلی در سال ۱۳۰۸ در خیابان علایی خانه ای بزرگ تر برای خانواده اجاره می کند و با استفاده از چند باتری کامیون به خانه خودش روشنایی برق می برد و چراغ های نفتی را بسیار زودتر از همشهریانش کنار

همایش «چالش های صنعتی شدن ایران» را گروه رسانه ای دنیای اقتصاد با همکاری دانشگاه شریف و بنیاد خلیلی برگزار می کند و مسعود نیلی، امینه محمودزاده و علیرضا ساعدی سخنرانان اصلی همایش هستند. در فصل پایانی همایش نیز قرار است میزگردی برگزار شود که علاوه بر دکتر مسعود نیلی، آقایان احمد دوست حسینی، محسن جلال پور، فرهاد نیلی، محسن افشین و رحمن قهرمان پور نیز حضور دارند. اما محسن خلیلی عراقی کیست و چرا نامی ماندگار پیدا کرده است؟

داستان پدر و پسر

اگرچه بهانه نگارش این گزارش، ادای احترام به محسن خلیلی عراقی است، اما داستان زندگی او بدون نام بردن از پدرش امکان پذیر نیست. پس نخست روایت زندگی و زمانه پدر را می خوانیم و بعد وارد زندگی پسر می شویم. محمود خلیلی عراقی در ۲۷ اردیبهشت ۱۲۸۴ هجری خورشیدی دیده به جهان گشود. با هوش سرشاری که داشت تحصیل را آغاز کرد و همزمان، زبان فرانسه را هم آموخت. در میانه خواندن و یادگیری بود که عشق به سراغش آمد و پیش از پایان تحصیلات در سال ۱۳۰۱ با جمیله دختر مرحوم مبین السلطان آقا اولی ازدواج کرد و یک سال بعد اولین فرزندش به نام «منصوره» به دنیا آمد. گواهینامه پایان تحصیلات متوسطه خود را در شهریور ۱۳۰۴ با عنوان بهترین شاگرد مدرسه علمیه دریافت کرد و پس از آن، به همراه همسر و فرزند برای تدریس ریاضی، فیزیک و شیمی به رشت نقل مکان کرد. پس از یک سال تدریس در رشت، با خانواده اش به تهران بازگشت و «مسعود» دومین فرزند این خانواده متولد شد.

پس از آن دو سال در مدرسه دارالمعلمین و علمیه تدریس کرد و به مسئولیت آزمایشگاه مدرسه دارالمعلمین مرکزی هم منصوب شد. خلیلی برای تجهیز آزمایشگاه بسیار کوشید و حتی با هزینه شخصی وسایلی برای آزمایشگاه ساخت.

در ۱۵ شهریورماه سال ۱۳۰۷ حکمی در حین تدریس دریافت کرد که در آن نوشته بود: «به موجب ماده

می‌گذارد. شهرداری اولین سازمان دولتی است که برای استخدام محمود خلیلی پیش‌قدم می‌شود و او را برای رفع نقایص روشنایی نظمی به کار می‌گیرد. پس از مدتی خلیلی سرپرستی امور روشنایی شمیران را نیز می‌پذیرد که برق‌رسانی قصر رضاشاه را نیز در حیطه اختیارات او قرار می‌دهد.

اگرچه پرسابقه‌ترین و نام‌آورترین فرد در صنعت برق ایران بدون شک حاج حسین امین‌الضرب است که برای اولین بار برق را به ایران آورد و اولین کارخانه برق شهری را در تهران در سال ۱۲۸۴ راه انداخت اما تا ۳۰ سال بعد هم از برق، تنها برای روشنایی معابر و خانه‌های اعیان و اشراف استفاده می‌شد. در میان مردم استفاده از برق رواج چندان نداشت تا اینکه محمود خلیلی به ریاست اداره برق تهران منصوب شد. خلیلی اقدامات فراوانی برای توسعه کارخانه‌های تولید برق و برق‌رسانی به شهر تهران انجام داد.

شب‌ی در سال ۱۳۱۵ موتور کارخانه برق دربند از کار می‌افتد و رضاخان که بسیار شکاک بود آشفته می‌شود و عکس‌العمل تندی به زیردستان خود نشان می‌دهد. یک ساعتی که از خاموشی می‌گذرد، محمود خلیلی موفق می‌شود با استفاده از چند قطعه یدکی موتور را دوباره راه‌اندازی و روشنایی را برقرار کند. سرتیپ هوشمند رئیس بلدیة وقت که از رفتار رضاشاه دلگیر است، در نهایت خشونت و بی‌ادبی خلیلی را مورد مواخذه و نکوهش قرار می‌دهد. خلیلی بدون اینکه حرفی بزند از دفتر خارج می‌شود و دیگر به محل کار برنمی‌گردد. سرتیپ که می‌بیند چاره‌ای جز برگرداندن خلیلی برای در امان ماندن از دست شاه ندارد و هیچ‌کسی را برای جایگزینی خلیلی ندارد، افرادی را برای پادرمیانی نزد خلیلی می‌فرستد و خود نیز با روی خوش به استقبال او می‌رود تا بتواند او را دوباره به کار برگرداند. پس از آن محمود خلیلی با نقل مکان به منطقه شمیران تجربیات کاری جدیدی آغاز می‌کند. از ساختمان‌سازی و حفر چاه آب شروع می‌کند و با تأسیس کارخانه چینی‌سازی که البته در نهایت ناموفق است ادامه می‌دهد و حتی به دامداری و تأسیس یک گاوداری مجهز در اراک رو می‌آورد. با ناکام ماندن گاوداری به دلیل نداشتن سرپرست‌های کارآمد، خلیلی در کنار

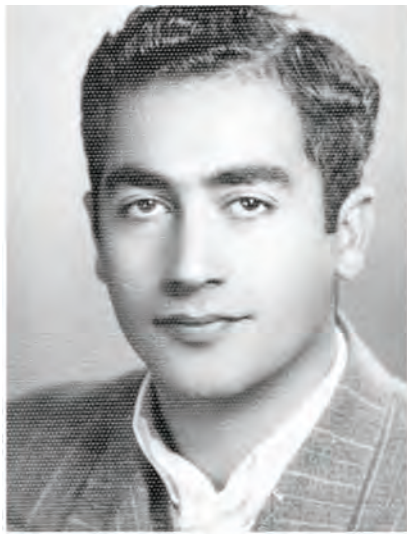
انبار گندم شهر تهران آسیاب بزرگی برای آرد کردن گندم احداث می‌کند که در آن سال‌های سخت برای مردم بسیار مفید و مثمرتر است. او در این دوران به این فکر می‌افتد که اداره برق باید به صورت ساختار شرکتی باشد. به همین دلیل اساسنامه‌ای می‌نویسد تا اداره برق تهران را به «شرکت بازرگانی برق تهران» تغییر دهد. اما کارشکنی و توطئه‌چینی برخی از توده‌های صاحب‌منصب باعث می‌شود تا این اقدام لغو شود و محمود خلیلی هم برای مدت ۴۲ روز زندانی می‌شود. پس از زندان هیچ پست دولتی را نمی‌پذیرد و به فرزندان خود هم توصیه می‌کند هیچ‌گاه وارد دولت نشوند. محمود خلیلی پس از کناره‌گیری از دولت به فکر آب‌رسانی با حفر چاه و نصب پمپ‌های مستغرق می‌افتد. مدتی به آمریکا می‌رود و مطالعات و تحقیقات فراوانی برای حفر چاه آب می‌کند، به طوری که پس از بازگشت موفق می‌شود با کمک همکارانش در شهرهای مختلفی چون شیراز، کرمان، مشهد، چناران، بندرگز و نقاط مختلف تهران چاه‌های آب زیادی حفر کند.

• تولد بوتان

محمود خلیلی در رفت‌وآمد به جنوب ایران متوجه سوختن و هدر رفتن گاز روی چاه‌های نفت می‌شود، اما در سفری که با پسر ارشدش محسن به آمریکا دارد، متوجه می‌شود که آمریکایی‌ها گاز را استحصال و به کپسول‌هایی تزریق می‌کنند و در خانه و محل کار از آن استفاده می‌کنند. پدر ۴۶ ساله و پسر ۲۴ ساله در بازگشت به همراه دکتر اسفندیار یگانگی شرکت بوتان را در تاریخ ۱۸ مرداد ۱۳۳۲ یعنی تنها چند روز به وقایع ۲۸ مرداد ۱۳۳۲ با مسئولیت محدود به ثبت می‌رسانند.

• تولد محسن

پسر ارشد محمود خلیلی عراقی در سال ۱۳۰۸ به دنیا آمد. نامش را محسن گذاشتند و به میمنت تولدش جشن گرفتند. محسن در محله دربند تهران دوران کودکی و نوجوانی را گذراند. در دبستان ۱۵ بهمن در خیابان آتشکده درس خواند و بعدها در دبیرستان شاپور در تجریش نام‌نویسی کرد و قسمت‌ش این بود که سر کلاس‌های دبیرستان‌های ایرانشهر و کالج



▲ چند سال بعد محسن خلیلی پیشنهاد ساخت وسایل گازسوز را به پدرش داد. محسن خلیلی باور داشت که ساخت وسایل گازسوز باید هرچه زودتر در کشور آغاز شود. نخستین محصول این شرکت آبگرمکن ایستاده ۴۰ گالنی با کنترل ترموستاتیک بود.

خیابان دربند، کوچه خلیلی رساندم. این مسیر شاید سه ساعت طول کشید. من با خود بسیار فکر کردم. از خودم پرسیدم محسن آیا کسانی که منزل مصدق را غارت می کردند آمریکایی بودند؟ پاسخ منفی بود. تمام آنان هموطنان نابخرد خودمان بودند که با عنایت شعبان جعفری این اعمال نابخردانه را انجام می دادند، چون نفت ما را بر اثر فشار قدرت های جهانی کسی نمی خرید.»

● آغاز به کار

پیاده روی خیابان کاخ تا دربند، محسن خلیلی جوان را متحول کرد. پدرش آن روزها ایده بهره برداری از گازهای سوزان چاه های نفت را در سر می پروراند. وقتی درسش تمام شد پدرش صدایش کرد و از ایده اش پرده برداشت. از پسرش خواست برای اجرایی کردن این ایده کمکش کند. محسن هم دست پدر را فشرد و قول داد همراهش باشد. او با صنعت نفت بیگانه نبود و در پالایشگاه آبادان کارآموزی کرده بود و در حد یک جوان مهندس، صنعت نفت را می شناخت و شعله های عظیم آتش سوزان چاه های نفت را از نزدیک دیده بود. می دانست که ثروت ملی در قالب



▲ محمود خلیلی که هدر رفتن گاز ایران و سوختن آن در روی چاه های نفت و همچنین استفاده از گاز در اروپا و آمریکا را دیده بود به همراه پسر ارشدش محسن که به تازگی از دانشکده فنی دانشگاه تهران فارغ التحصیل شده بود راهی آمریکا و انگلستان شد و یک سال به مطالعه در زمینه صنعت گاز پرداختند و آموزش های لازم را فراگرفتند.

البرز هم بنشیند. محسن پسری باهوش و پرتلاش بود و درس هایش را خوب خواند تا اینکه در سال ۱۳۲۸ به دانشکده فنی دانشگاه تهران راه پیدا کرد. محسن در شور و هیجان دست کمی از پدر نداشت و همان قدر نترس و شجاع بود. همین ویژگی ها او را در زمره جوانان مدافع ملی شدن صنعت نفت قرار داد. شاگردی مهندس بازرگان نیز مزید بر علت شد و در قلب محسن جوان، اندیشه های ملی گرایانه جوانه زد. روایت او از آن روزها شنیدنی است: «چون در فعالیت های اجتماعی مشارکت سنگین داشتم، برخی از امتحاناتم را به شهریور موکول می کردم. در کوی دانشجویان امیرآباد با دوستانم درس می خواندم که صدای توپ را شنیدم و دود سیاهی در آسمان دیدم. خود را پیاده از امیرآباد به خانه مرحوم مصدق رساندم. جمعیت زیادی را دیدم که خانه را محاصره کرده بودند و برخی هم اموال منزل مرحوم مصدق را به تاراج می بردند. این صحنه اشک در چشمانم جاری کرد. شهر تعطیل بود و وسیله نقلیه ای نبود. گریه کنان خودم را از خیابان کاخ به

گازهای همراه نفت و گاز طبیعی می‌سوزد و محیط را آلوده می‌کند. او هرچند ایده پدر را سخت‌الوصول می‌دانست، اما پاسخش مثبت بود. به این ترتیب محمود خلیلی و پسرش در سال‌های ابتدایی دهه ۳۰ تلاش‌های زیادی کردند تا طرحی برای مهار گازهای سوزان چاه‌های نفت پیدا کنند. پس از مدتی، پدر موفق شد موافقت دولت را برای فعالیت در زمینه گاز مایع جلب کند. این مجوز اولیه انگیزه آنها را برای تحقیق بیشتر مضاعف کرد.

به این ترتیب پدر و پسر برای کسب تجربه و آموزش، راهی اروپا و آمریکا شدند. محسن خلیلی آن روزها را این‌گونه روایت کرده است: «به اتفاق پدرم در سال ۱۹۵۴ روانه اروپا و آمریکا شدیم. به اروپا رفتیم و مطالعاتی انجام دادیم و پس از آن هم به آمریکا سفر کردیم که در آنجا هم مطالعاتی داشتیم. برادرم مهندس سعید خلیلی در آمریکا مشغول تحصیل بود و ایشان در حد توان محدود خودش راهنمای ما بود که در نتیجه، مرحوم پدرم و بنده صنعت گاز مایع را بسیار جدی در آمریکا با مطالعات دانشگاهی روز بررسی کردیم. با سفارش‌های مقدماتی به سازندگان آمریکایی و اطلاعات لازم به کشور بازگشتیم. کار را در قالب شرکت بوتان شروع کردیم. بوتان نام همان گازی است که قرار بود ما از آن استفاده کنیم و فرمول آن کربن اشباع شده $C_{10}H_{22}$ بود.» پس از بازگشت به ایران، شرکت بوتان به ثبت رسید و در سال ۱۳۳۳ اولین نسل از محصولات گازسوز و سیلندرهای گاز در این شرکت تولید شد. سیلندر گاز و اجاق گازسوز ابتدا در کارگاهی در سهراب آذری تهران آغاز شد.

در ۷/۴/۱۳۳۲ خلیلی نامه‌ای به شرکت ملی نفت ایران نوشت و تقاضای دریافت اطلاعات از طریق تحویل گاز به شرکت بوتان و بهای هر تن گاز کرد. اولین محموله گاز مایع به صورت آزمایشی در ۶/۷/۱۳۳۲ دریافت و در ۱۱/۷/۱۳۳۲ بنا به درخواست محمود خلیلی، تحویل محسن خلیلی شد. این اولین باری بود که گازهایی که سرچاه‌های نفت سوزانده می‌شد برای مصارف خانگی و صنعتی به تهران حمل شد.

در همان سال‌ها محلی برای شرکت در خیابان سعدی اجاره و نمایشگاهی در کنار آن دایر و کار

فروش آغاز شد. اگرچه دیدن وسایل ناشناخته‌ای چون اجاق گاز، فر و سیلندر گاز عابران کنجکاو را به داخل فروشگاه جلب می‌کرد، اما همان ترسی که ابتدای استفاده از برق در بین مردم رواج داشت آنها را دست خالی از فروشگاه به بیرون می‌کشاند. مدیران شرکت در ۲۳/۱۰/۱۳۳۳ نامه‌ای به آبتین، رئیس اداره کل گمرک نوشته و خواستار کاهش تعرفه گمرکی لوازم گازسوز شدند. در سال دوم تاسیس شرکت بوتان، مردم به‌ویژه خانم‌ها با دیدن فرها و اجاق‌های گازسوز در خانه‌های دوستان و خویشان و آگاه شدن از مزیت‌های گاز برای خرید به بوتان مراجعه می‌کردند. خلیلی در ۲۶/۵/۱۳۳۸ طی نامه‌ای به شرکت ملی نفت ایران چهار خواسته از این شرکت را یادآور شده که انجام تبلیغات برای مصرف سوخت و آشنایی شهروندان یکی از آنها بود و پس از آن کارناوال‌های تبلیغاتی بوتان هم در کشور به راه افتادند که گاز و نحوه مصرف و آسایش و رفاه آن را تبلیغ می‌کردند.

پیشگامی شرکت بوتان در اشاعه مصرف گاز در کشور و گام گذاشتن در مسیر ناشناخته‌ها موجب توزیع و مصرف بیش از دو میلیون تن گاز مایع در کشور، ایجاد بیش از ۶۰ شرکت توزیع‌کننده گاز مایع و تاسیس ده‌ها شرکت و کارگاه صنعتی سازنده وسایل گازسوز شد، تا جایی که مصرف گاز مایع برای مصارف خانگی و صنعتی و تجاری فراگیر شد که منحصراً در بخش خانگی و در روزگار اوج مصرف گاز مایع که جانشین مصرف نفت سفید و درختان و جنگل‌ها می‌شد، شرکت‌های توزیع‌کننده گاز مایع متجاوز از ۹ میلیون و ۵۰۰ هزار خانوار را در اشتراک خدمات گازرسانی خود داشتند. ایجاد سالانه حدود ۵۰۰ میلیون دلار صرفه‌جویی ارزی برای کشور، ایجاد فراتر از یک هزار میلیون ریال ارزش افزوده سالانه صنعتی، ایجاد بیش از ۳۰ هزار فرصت شغلی، پیشگیری از تهیه زغال چوب و لطمه به محیط‌زیست در راستای توسعه پایدار، و رهانیدن خانم‌های ایرانی از آشپزخانه‌های دودزده سنتی و مهم‌تر از آن آزاد شدن وقت آنان برای پرداختن به سایر امور از جمله مزایای خلاقیت خانواده خلیلی عراقی بود.

او در بهار ۱۳۵۳ توسط فرزندان برای ادامه معالجات به آمریکا برده شد. این در حالی بود که خلیلی کمتر از بیماری و دردهایش در بین خانواده سخن می‌گفت تا جایی که فرزندان پس از شش سال متوجه شدند که پدر بر اثر بیماری بینایی یکی از چشم‌هایش را از دست داده است. خلیلی ۴۰ روز در بیمارستانی در میشیگان بستری بود و پس از اینکه شصت و هشتمین سالروز تولدش را در بیمارستان جشن گرفت به تهران بازگشت و اول تیرماه به بیمارستان آراد منتقل شد. با اینکه پایش را از زیر زانو قطع کردند، اما پیشرفت بیماری و آسیب‌هایی که به کلیه‌ها و ریه‌اش وارد شده بود باعث شد تا چراغ پرثمر عمرش در ۱۲ تیرماه ۱۳۵۲ خاموش شود.

• میانداری محسن

خانواده خلیلی بخت آن را داشتند که وحدت خانوادگی را پس از محمود خلیلی - که در سال ۱۳۵۳ از دنیا رفت - حفظ کنند و با مدیریت محسن خلیلی انسجام فعالیت گروه بوتان به‌ویژه در سال‌های پرتلاطم و بحران‌زای دهه ۱۳۶۷-۱۳۵۷ حفظ شده و در برنامه‌های شرکت برای تداوم حوزه فعالیتش اختلالی رخ ندهد. با این حال اوضاع بر وفق مراد پیش نرفت و مصوبه شورای انقلاب مبنی بر مصادره اموال سرمایه‌داران باعث شد بوتان مصادره شود. ماجرا از این قرار بود که در ابتدای انقلاب به دلیل خروج تعدادی از سهامداران بوتان از کشور به منظور تحصیل و موارد دیگر، شکایتی علیه بوتان در دادسرا طرح شد.

• مصادره بوتان

محسن خلیلی عراقی هفت دهه پرتلاطم را به چشم دیده و ۷۰ سال پر حادثه را پشت سر گذاشته است. اوج مرارت‌های او زمانی بود که شرکت «بوتان»، یادگار خانوادگی‌اش را پس از ۲۵۴ بار حضور در دادگاه انقلاب، پس گرفت و حکم مصادره‌اش را باطل کرد. انقلاب ۱۳۵۷ انقلابی در همه ابعاد و زمینه‌ها بود. از ایدئولوژی و مذهب گرفته تا فرهنگ و سیاست و اقتصاد. همه چیز از اساس تغییر کرد. این تغییر بنیادین می‌بایست از صدر تا ذیل حکومتی را که

پایه‌گذاری شرکت بوتان در استفاده از گاز مایع و اشاعه فرهنگ مصرف آن در کشور زمینه تاسیس شرکت ملی گاز ایران در سال ۱۳۴۸ را فراهم کرد که به دنبال آن طی سه دهه گذشته استفاده از گاز طبیعی در کشور فراگیر شد، به‌طوری‌که به‌طور متخصمان اقتصاد انرژی چنانچه گاز طبیعی وارد سبد انرژی مصرفی کشور نمی‌شد، ما اکنون نفتی برای صادرات نداشتیم.

• ایده‌های فرزند

چند سال بعد از موفقیت عظیم بوتان، محسن خلیلی پیشنهاد ساخت وسایل گازسوز را به پدرش داد. محسن خلیلی باور داشت که ساخت وسایل گازسوز باید هرچه زودتر در کشور آغاز شود. نخستین محصول این شرکت آبگرمکن ایستاده ۴۰ گالنی با کنترل ترموستاتیک بود. این آبگرمکن‌ها در واحدی که به عنوان اولین تاسیسات سیلندر پرکنی و ذخیره‌سازی شرکت بوتان در تپه سفید در ۱۰ کیلومتری جاده ساوه احداث شده بود قرار داشت و از آنجا که بیشتر کارهای مربوط به ساخت با دستگاه‌های ساده و دستی انجام می‌گرفت ماهانه ۲۰ دستگاه بیشتر توان تولید نبود. در این کارگاه کوچک به مرور ساخت اجاق‌های رومیزی و پلوپزهای یک تا چهارشعله شروع شد و چندی بعد با همکاری مهندس محسن غفاری و استفاده از تکنیک‌های تازه لعاب‌کاری، تولیدات افزایش یافت. در ششم مهرماه سال ۱۳۴۳، شرکت صنعتی بوتان به صورت شرکت مستقل از شرکت بوتان تاسیس شد و محمود خلیلی به همراه فرزندان با آوردن دستگاه‌های صنعتی بزرگ و مدرن خط تولید وسایل گازسوز متفاوتی را راه‌اندازی کردند و کارگران زیادی به خدمت گرفتند.

• نابینایی کارآفرین

محمود خلیلی که سال‌ها بی‌وقفه تلاش و کوششی خستگی‌ناپذیر داشت در اثر بیماری قند که چند سال قبل نیز عوارضش در او دیده و باعث شده بود تحت رژیم غذایی سخت همسر قرار بگیرد ضعیف و ضعیف‌تر شد.



▲ «قانون حفاظت و توسعه منابع» که از دل شورای انقلاب بیرون آمد، جنجالی‌ترین مولود اقتصادی انقلاب ۵۷ بود. قانونی که بسیاری از منابع مادر را دولتی کرد و بر اموال تولیدکنندگان و تجار بزرگ کشور که هدایتگران اصلی اقتصاد کشور در آن زمان بودند، مهر مصادره زد.

منتسب به خاندان پهلوی بود در برمی‌گرفت. با شعارهای آرمان‌خواهانه، عدالت‌محور و سرمایه‌ستیزی که نیروهای انقلاب مطرح کرده بودند، مردم تصویری نسبی از آنچه قرار بود تشکیل شود، در ذهن داشتند اما این تصویر روشن نبود. با وجود این بسیاری از انقلابیون و مردم بر یک نکته اساسی اجماع داشتند: همه چیز باید از نو ساخته شود، پس اولین قدم، از بین بردن تمام میراث رژیم منحوس پهلوی است. انقلابیون که طعم شیرین پیروزی را چشیده بودند، اکنون با تمام مظاهر طاغوت و استبداد در نبرد بودند، یکی از مهم‌ترین مظاهر طاغوت، سرمایه‌داری بودند که به‌زعم انقلابیون به دربار وابسته بودند و سرمایه‌هایشان را از طریق همین وابستگی کسب کرده بودند. تکلیف باید یکسره می‌شد و حق به حق‌دار می‌رسید. برخی از این سرمایه‌داران، کشور را ترک کرده بودند، برخی متواری بودند و در انظار ظاهر نمی‌شدند و بعضی دیگر به وسیله نیروهای انقلابی دستگیر شده بودند و آنها که مانده بودند، در رعب و هراس ایام می‌گذراندند. کارخانه‌ها خوابیده بودند و کارگرها اغلب یا در شورش بودند یا اعتصاب. در بعضی کارخانه‌ها جایگاه «دار» درست کرده بودند و مجسمه‌مدیری را به صورت سمبلیک از آن آویزان کرده بودند؛ کارگران کارخانه‌ها که تمام طاغوت را در قالب مدیر کارخانه متجلی می‌دیدند، در اعمال خشونت با مدیران کارخانه‌ها، از یکدیگر پیشی می‌گرفتند. مدیر کارخانه‌ای را سوار فرغون کرده و دور کارخانه چرخانده بودند. کارگران شرکت ایرفو



▲ محسن خلیلی‌عراقی هفت‌دهه پرتلاطم را به چشم دیده و ۷۰ سال پرحادثه را پشت سر گذاشته است. اوج مرارت‌های او زمانی بود که شرکت «بوتان»، یادگار خانوادگی‌اش را پس از ۲۵۴ بار حضور در دادگاه انقلاب، پس گرفت و حکم مصادره‌اش را باطل کرد.

دست‌وپای مدیران کارخانه را بستند و بردند بر سر کوره مذاب و به زور چک افزایش حقوق را از آنها گرفتند. برخی به تحریک چپ‌ها که انقلاب را متعلق به زحمتکشان می‌دانستند، کارگران را به تعطیلی کارخانه‌ها تشویق می‌کردند؛ برخی دیگر برای افزایش حقوق تا مرز گروگانگیری مدیران نیز پیش رفتند. اگر مدیری حقوق کارگانش را افزایش می‌داد، خبرش به سرعت به دیگران می‌رسید و آشوب‌های زنجیره‌ای راه می‌افتاد. پیمانکاران هم به مدیران کارخانه‌ها فشار می‌آوردند و طلبشان را می‌خواستند. کارخانه‌ها در حال تخلیه و واحدهای تولیدی در شرف تعطیلی بود. در این شرایط باید چاره‌ای اندیشیده می‌شد. آنچه در حال رخ دادن بود، یک نزاع بی‌رحمانه طبقاتی میان کارگران و سرمایه‌داران و دهقانان و ملاکین بود، که خود این نزاع‌های طبقاتی، به درگیری‌های گروهی نیز منجر می‌شد و پای توده‌هایی را وسط می‌کشید که به قول دریا‌دار احمد مدنی: «سال‌ها تحت ستم شاهان بوده‌اند و نتوانسته‌اند حتی زبان به شکایت باز کنند، و حالا فکر می‌کنند می‌توانند دست به هر کاری دلشان می‌خواهد بزنند» (آیندگان، ۶ مرداد ۱۳۵۸). خلاصه اینکه دولت موقت، با تلاش‌هایی روبه‌رو بود که برای نیل به انقلابی رادیکال‌تر صورت می‌گرفت. با این تفکر، هرچیزی که به نحوی با خاندان پهلوی ارتباط پیدا می‌کرد، باید محو می‌شد تا جایگزینی شایسته و برآمده از انقلاب برایش ساخته و پرداخته شود و در این میان، عرصه اقتصاد به عنوان تجلی‌گاه نظام سرمایه‌داری، آوردگاه اصلی این دگردیسی بود. در چنین شرایطی «قانون حفاظت و



▲ پایه‌گذاری شرکت بوتان در استفاده از گاز مایع و اشاعه فرهنگ مصرف آن در کشور زمینه تاسیس شرکت ملی گاز ایران را در سال ۱۳۴۸ فراهم کرد که به دنبال آن طی سه دهه گذشته استفاده از گاز طبیعی در کشور فراگیر شد.

روایت محسن خلیلی از آن روزها درس‌آموز است: «انقلاب اسلامی که به پیروزی رسید، انقلابیون به طور کلی، تحت تعلیم‌هایی قرار گرفتند که این آموزش‌ها از ادبیات چپ الهام می‌گرفت. علاوه براین، دیدگاه‌هایی که حزب توده از شهریور ۱۳۲۰ تا وقوع انقلاب ترویج داده بود، جو نامساعدی را علیه کارآفرینی و سرمایه‌داری حاکم کرده بود و یک عامل دیگر، فقر عمومی مردم بود که در پایین بودن درآمد سرانه نمود می‌یافت. مردم خود را با طبقه سرمایه‌دار مقایسه می‌کردند و این مقایسه به تدریج به شکل‌گیری کینه توده مردم نسبت به کارآفرینان دامن زد. پیش از انقلاب تجمل‌گرایی در ایران رسوخ یافت و عامل مقایسه در ذهن‌ها بیش از همیشه رنگ گرفت. کشور ما دست‌کم در قرن اخیر، پیوسته تحت هجوم تبلیغات چپ بوده و نفرتی علیه سرمایه‌داری در مملکت ایجاد کرده است. پیش از روی کارآمدن حکومت پهلوی در دوره قاجار نیز احترام و اهمیتی برای سرمایه‌داری قائل نبودند. به این ترتیب که باج و خراج‌های ناروایی از فعالان اقتصادی اخذ می‌کردند. در زمان رضاشاه نیز اقتصاد و تجارت خارجی در دست دولت بود. قوانین و نحوه وصول مالیات عادلانه نبود و درنهایت سرمایه‌داران اموال خود را پنهان می‌کردند. انقلاب ما انقلابی اسلامی بود و مکتب اقتصادی پس از انقلاب نیز براساس آموزه‌های «اقتصادنا» تدوین شد و اساساً سرمایه‌داری آن‌گونه که باید و شاید از سوی اقتصاددانان آن دوران تجویز نمی‌شد. پس از انقلاب این تصور وجود داشت که سرمایه‌داران

توسعه صنایع» که از دل شورای انقلاب بیرون آمد، جنجالی‌ترین مولود اقتصادی انقلاب ۵۷ بود. قانونی که بسیاری از صنایع مادر را دولتی کرد و بر اموال تولیدکنندگان و تجار بزرگ کشور که هدایتگران اصلی اقتصاد کشور در آن زمان بودند، مهر مصادره زد. محسن خلیلی عراقی در میانه‌های تابستان سال ۱۳۵۸ با حکم مصادره قسمتی از سهام شرکت بوتان مواجه شد. دادگاه ۲۰ درصد از سهام بوتان را مصادره کرد، اما محسن خلیلی عراقی این حکم را نپذیرفت و به آن اعتراض کرد. او برای اینکه بتواند سهام مصادره شده را پس بگیرد بارها به دادگاه مراجعه کرد. صاحبان شرکت بوتان و در راس آنها محسن خلیلی در طول سال‌های متمادی برای ادای توضیحات در مورد مسائل ساختگی چون وابستگی به دربار پهلوی، عدم پرداخت وجوهات شرعی، فرار از پرداخت مالیات به دلیل زیان ده بودن و... صدها مرتبه به دادگاه احضار شدند تا سرانجام پس از قریب به ۲۰ سال حکم به برائت شرکت بوتان در موارد اتهام مذکور صادر شد. این پرونده از سال ۱۳۵۸ تا ۱۸ تیر ۱۳۸۲ از سوی ستاد اجرایی فرمان امام و دادگاه انقلاب ادامه پیدا کرد اما در نهایت به سود خانواده خلیلی عراقی مختومه شد.

● روزهای تلخ مصادره

روزهای تلخی بر محسن خلیلی و خانواده‌اش گذشت اما آنها پس از ۲۵۴ بار حضور در دادگاه، سرانجام بوتان را پس گرفتند. محسن خلیلی از آن روزها می‌گوید: «لطمات بسیار زیادی را متحمل شدیم. برای آنکه بتوانیم سرپا بمانیم، خانه‌های شخصی خود را فروختیم و صرف پرداخت حقوق کارگران کردیم. تصور می‌کنم که شاید حدود ۱۳ ملک مسکونی، توسط شرکای مجموعه تولیدی ما، برای سرپا نگه داشتن شرکت فروخته شد. ما شرکت را سرپا نگه داشتیم، چرا که می‌دانستیم این وضعیت گذراست. و در این مدت به تلاش‌های حقوقی برای ابطال حکم دادگاه انقلاب ادامه دادیم. فکر می‌کنم ۲۵۴ بار در دادگاه شرکت کردیم تا توانستیم شرکت را بازپس بگیریم.»



▲ محمود خلیلی که سال‌ها بی‌وقفه تلاش و کوششی خستگی‌ناپذیر داشت در اثر بیماری قند که چند سال قبل نیز عوارضش در او دیده و باعث شده بود تحت رژیم غذایی سخت همسر قرار بگیرد ضعیف و ضعیف‌تر شد.

زمانه، مرتبط به خاندان پهلوی هستند و به تحکیم این رژیم کمک کرده‌اند. هر آینه ارتباطی و پیوندی میان سرمایه‌دار و رژیم پهلوی می‌یافتند، این رشته ارتباطی به مصادره منتهی می‌شد. چگونگی اجرای قانون حفاظت و فرمول‌هایی که برای بدهی واحدها وضع شد، تصمیماتی عامه‌پسند بود که برای آرامش خاطر مردم صورت می‌گرفت.»

خلیلی عراقی در گفت‌وگو با ماهنامه مهرنامه گفته: «واکاوی ادبیات قدیم نیز نشان می‌دهد که ثروتمندان در ادبیات نیز محبوب نبوده‌اند. علت این است که ایران، کشوری خشک و کم‌درآمد بوده است که فقر عمومی، باعث می‌شد سرمایه‌داران چندان مورد لطف قرار نگیرند. چنان که ملاحظه می‌کنید، عبارات و الفاظ تنیدی علیه سرمایه‌داران عنوان می‌شود از جمله سرمایه‌داران زالوصفت. تصور این بود که هر سرمایه‌داری باید خون مردم را مکیده باشد که چنین اندوخته‌ای دارد. این تفکر ناشی از آن است که نسبت به مشروعیت سرمایه‌داری و سرمایه‌گذاری فعالیتی صورت نگرفته است؛ بنابراین مصادره‌ها در اوایل انقلاب به عنوان اقدامی انقلابی، برای ارضای عمومی رخ داد.»

● پدر تشکل‌گرایی

چگونه محسن خلیلی نامی ماندگار در صنعت ایران شد؟

محسن خلیلی، متولد ۱۳۰۸ تهران، درس‌خوانده مدارس شاهپور، ایرانشهر و البرز و فارغ‌التحصیل رشته الکترومکانیک دانشکده فنی دانشگاه تهران، را نه فقط به عنوان بنیانگذار گروه صنعتی بوتان، که به عنوان پدر تشکل‌گرایی در بخش خصوصی می‌دانند و حتی عنوان پدر صنعت ایران را هم به او می‌دهند. کسی که تأثیرش در شکل‌گیری صنعت بخش خصوصی از دهه ۱۳۳۰ تا به امروز غیرقابل چشم‌پوشی است.

محمود خلیلی (پدر) و محسن خلیلی شرکت بوتان را در ۱۹ مرداد ۱۳۳۲ برای استفاده از گاز مایع حاصل از پالایش نفت خام تأسیس کردند. آنها بعد از یک سال کار مطالعاتی و تحقیقاتی در ایران و اروپا و آمریکا، کار توزیع گاز مایع را آغاز کردند و به دنبال تولید وسایل گازسوز رفتند که اثر زیادی در بهبود رفاه زندگی جامعه ایرانی داشت.

محسن خلیلی در کنار همه خدماتش به صنعت ایران، چندین و چند تشکل از جمله انجمن مدیران صنایع، کنفدراسیون صنعت ایران، انجمن صنایع لوازم خانگی و ... را راه‌اندازی کرد که میراثی ماندگار از اوست و موجب تقویت و همگرایی فعالان بخش خصوصی برای مطالبه‌گری شد. او در دورانی که همه نهادها دولتی بودند، به دنبال استیفای حقوق بخش خصوصی با راه‌اندازی تشکل‌های متعدد و مختلف رفت و انرژی و وقت و هزینه زیادی برای سرپا ماندن بخش خصوصی کشور صرف کرد.

● منبع

مجله تجارت فردا، شماره ۵۷۲

مقاله

آیا مدلسازی و شبیه سازی کامپیوتری می تواند عملکرد کیفیت طراحی و ساخت را بهینه کند؟

(به ویژه هنگامی که با نظارت بر فرآیند ریخته گری هماهنگ شود)

شاهن مارکاریان



احتمالی در قطعه و مونتاژ استفاده می کنند. برخی حتی محیط کاملاً مونتاژ شده را برای تشخیص تداخل شبیه سازی می کنند. هنگامی که اکثر دایکست کارها از اصطلاح شبیه سازی استفاده می کنند، معمولاً شبیه سازی های الگوی «جریان/پر کردن» را تجسم می کنند. در واقع، این یک گام بسیار مهم است. شبیه سازی های جریان معمولاً می توانند «لپ های فلزی (روی هم رفتگی مواد)» و تخلخل گاز محبوس شده را به دلیل تلاطم در الگوی پر کردن شناسایی کنند. با این حال همه عیوب ناشی از مسیر پر شدن یا پارامترهای شات نیستند. تخلخل انقباضی تقریباً در هر ریخته گری تا حدی رخ می دهد. به خصوص اگر سطح مقطعی ضخیم در فاصله ای دور از ورودی قالب وجود داشته باشد. حتماً مشخصات تخلخل را به جدول عنوان ترسیم دو بعدی ریخته گری اضافه کنید. شبیه سازی کانال های خنک کننده علاوه بر پارامترهای فرآیند ریخته گری قالب ضروری است.

هنگامی که ما شروع به دریافت نسخه های اولیه طرح های ریخته گری طراحی / مدل سازی سه بعدی کردیم، خطاهای زیادی برای به اشتراک گذاشتن وجود داشت. هدف این بود که فایل سه بعدی بتواند برای کمک به ایجاد نمایش کامل حفره قالب استفاده شود. با این حال، واقعیت آن بود که طراح ابزار باید ۸ ساعت یا بیشتر را برای «تمیز کردن» خطوطی که به سادگی متصل نمی شدند یا در غیر این صورت، "در فضا گم شده بودند" وقت اختصاص می داد. خوشبختانه بیشتر نرم افزارهای جدیدتر دارای ابزارهایی هستند که این نوع خطاها را کاهش می دهند. به لطف پیشرفت ها در نرم افزارهای CAD و CAM، حفره های قالب دایکست اکنون می توانند سریعتر از همیشه در CNC های ۵ محوره تولید شوند. ساخت ۵ روزه قالب دیگر رویا نیست.

• چه کسی از شبیه سازی استفاده می کند؟

طراحان محصول از برنامه های شبیه سازی تنش برای بررسی تنش ها و نقاط شکست

چاپ سه بعدی مسیر آب یکپارچه در اینسرت های قالب اغلب می تواند راه حل هایی برای تخلخل های انقباضی نواحی مورد نظر ارائه دهد.

• با کنترل فرآیند ادامه دهید

نیروی کار ماهر و آموزش دیده برای سیستم های با تکنولوژی پیشرفته امروزی ضروری است. بهترین قالب دایکست طراحی و ساخته شده، فقط به اندازه تجهیزات و فرآیند مورد استفاده مفید خواهد بود.

اگر فرآیند با پارامترهای شبیه سازی شده انجام شود، باید انتظار نتایجی که از خروجی شبیه سازی گرفته ایم را داشته باشیم. اگر از یک دستگاه ضعیف استفاده می کنید و فرآیند خود را بدون برنامه و پس خور انجام می دهید، باید انتظار کیفیتی متناقض را داشته باشید یا به بیان دیگر، انتظار تولید با کیفیت ضعیف و یا غیرقابل پیش بینی را داشته باشید.

• به چه میزان کافی هست؟

شاید این بستگی به آن دارد که چقدر برای اعتبار خود ارزش قایل هستیم. در یک مورد، برگشتی ما برای تخلخل برای یک پمپ آب خودرو با حجم بالا به 277PPM رسید.

فقط با نظارت تمام وقت ۲۴ ساعته توانستیم علت اصلی را شناسایی کنیم. این خطا یک ضعف ذاتی در طراحی مدار تقویت کننده بود که "فقط" یک بار در ۲۴ ساعت از کار می افتاد. پس از شناسایی مشکل، توانستیم یک اقدام اصلاحی موثر را اجرا کنیم.

نظارت بر پارامترهای ورودی فرآیند شامل سرعت فاز یک و دو (و سرعت ورودی و زمان پر شدن)، شروع موقعیت شوت، زمان رسیدن به فشار فاز ۳ و فشار فاز ۳ (در زمان) است.

هنگامی که کنترل دما - همانطور که در بالا توضیح داده شد - یک پارامتر حیاتی باشد، کنترل و نظارت بر دمای کوره، دمای قالب، دما و جریان آب گرم و سرد و روغن به بخش مهمی از نظم و انضباط کنترل فرآیند شما تبدیل می شود.

کی و کجا این پایان پیدا می کند؟

گاهی کنترل فرآیند پس از برداشتن قطعه از قالب ادامه می یابد. در برخی موارد، کنترل چگونگی سرد شدن قطعه، بر تکرارپذیری ابعادی قطعه تأثیر می گذارد.

در یک مورد، خنک کردن یک قطعه با آب (کوئنچ) اعوجاج ایجاد کرد. آویزان کردن قطعه بر روی یک نوار نقاله هوایی برای خنک شدن با هوا قبل از پیرایش، یک قطعه با ابعاد تکرارپذیر ایجاد کرد.

مانند بسیاری از ابزارهای نرم افزاری، شبیه سازی تنها راه حل نیست، بلکه یکی از مجموعه گام ها به سمت تولید قطعه ای با کیفیت بالاتر است که وقتی با کاربرد عملی خوب و درست هماهنگ شود، بهترین کارایی را خواهد داشت.

• مرجع

Dr. Die Cast, DCEM July 2023

مقاله

کاربرد آنالیز حرارتی در صنعت ریخته‌گری آلومینیم

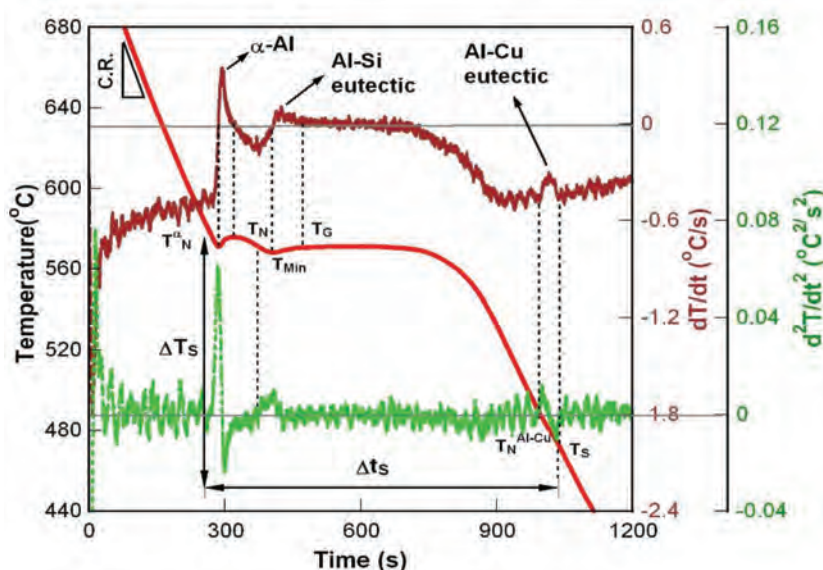
سعید فراهانی^۱

● ۱- آنالیز حرارتی

آنالیز حرارتی (Thermal Analysis) مجموعه‌ای از تکنیک‌های آزمایشگاهی است که برای اندازه‌گیری تغییرات خواص فیزیکی یک ماده در پاسخ به تغییر دما به کار می‌رود. در واقع، این روش‌ها رفتار مواد در هنگام گرمایش یا سرمایش را مورد ارزیابی قرار می‌دهند. تکنیک‌های متفاوتی برای انجام آنالیز حرارتی وجود دارد. در روش آنالیز گرماسنجی روبشی تفاضلی (DSC)، تفاوت شار حرارتی بین نمونه و یک ماده مرجع اندازه‌گیری می‌شود. به نمودار نتایج DSC معمولاً ترموگرام گفته می‌شود که نشان دهنده تغییرات جریان گرمایی بر حسب دما است که بر اساس تحول‌های فازی تغییر می‌کند. در روش آنالیز حرارتی افتراقی (DTA)، تفاوت دما بین نمونه و یک ماده مرجع اندازه‌گیری می‌شود. زمانی یک واکنش یا تحول فازی صورت گیرد، بسته به این که این تحول گرماگیر (مانند ذوب شدن) یا گرماده (مانند انجماد) است، نمونه نسبت به مرجع، سرد یا گرم می‌شود و به علت همین تفاوت دمایی، یک پیک در ترموگرام (تفاوت دمایی بر حسب دما) ظاهر می‌شود. روش آنالیز توزین حرارتی (TGA)، تغییرات

جرم نمونه در برابر دما را اندازه‌گیری می‌کند. در روش دیلاتومتری (DL)، تغییرات ابعادی نمونه در برابر تغییرات دما اندازه‌گیری می‌شود. نتایج حاصل از این آزمایش به صورت نمودار تغییرات طول نمونه بر حسب تغییرات دما رسم می‌شود. در روش آنالیز حرارتی منحنی سرد شدن (CCTA)، دمای یک نمونه در حین سرد شدن به طور پیوسته اندازه‌گیری می‌شود. این روش‌ها اطلاعاتی در خصوص گرمای نهان ذوب، انجماد، تغییرات فازی، دمای انتقال شیشه‌ای، میزان رطوبت، مقدار مواد فرار و واکنش‌های شیمیایی مانند تجزیه حرارتی مواد را فراهم می‌کنند که کاربردهای متفاوتی در صنایع متالورژی، پلیمر، سرامیک و دارویی دارند. در زمینه مهندسی متالورژی و بخصوص واحدهای ریخته‌گری، آنالیز حرارتی منحنی سرد شدن کاربرد ویژه‌ای در زمینه کنترل کیفیت مذاب و تضمین کیفیت ریخته‌گری دارد. مزیت آن نسبت به روشهای دیگر آنالیز حرارتی که ذکر گردید، آنست که نیاز به نمونه مرجع ندارد، سرعت بالایی دارد و هم در محیط آزمایشگاهی و هم در شرایط کارگاهی قابل اجرا است [۱-۶]. در این روش با قرار دادن یک یا چند

۱- استایار، مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین زهرا farahany@bzte.ac.ir



شکل ۱- منحنی سرد شدن، مشتق اول و دوم منحنی سرد شدن آلیاژ ADC12 و روش تعیین نقاط شروع و پایان تحول [۶].

و تحولات فازی در کامپوزیت‌های آلومینیم [۱۴،۱۵] و نیز آلیاژهای منیزیم [۱۶-۱۹] و روی [۲۰،۲۱] مورد استفاده قرار گرفته است.

• ۲- کاربرد در آلیاژهای آلومینیم-سیلیسم

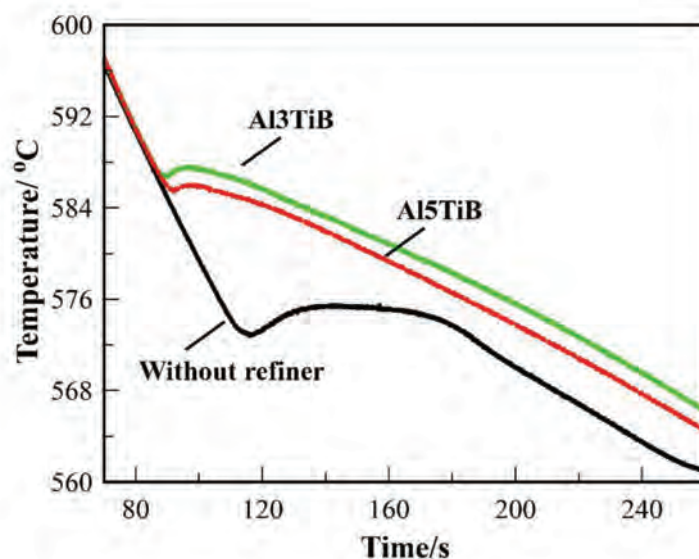
آلیاژهای ریختگی آلومینیم-سیلیسم (گروه ۳۰۰) بطور وسیعی در صنایع مختلف مانند صنایع هوایی و صنایع خودروسازی کاربرد دارند. این آلیاژها بدلیل حضور عناصری مانند منیزیم و مس در ترکیب خود قابلیت عملیات پیرسازی را دارند و خواص مکانیکی آنها از طریق تشکیل رسوبات ریز Mg_2Si و Al_2Cu افزایش می‌یابد. این آلیاژها به روشهای مختلف، ریخته‌گری می‌شوند که روشهای ریخته‌گری در ماسه، ریخته‌گری ریژه و ریخته‌گری تحت فشار بیشتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. ریزدانه‌کنندگی و بهسازی سیلیسیم یوتکتیک دو عملیاتی است که بطور گسترده بر روی مذاب آلومینیم-سیلیسم بمنظور بهبود خواص قطعه تولیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

• ۲-۱- پیش‌بینی ریزدانه‌گی

ریزدانه‌کنندگی با استفاده از سریع سرد کردن و یا افزودن عناصر جوانه‌زا بصورت آمیزان TiB ، $TiAl$ و TiC به مذاب، روشی مرسوم برای افزایش استحکام

ترموکوپل در قالبی که مذاب در داخل آن ریخته می‌شود و اتصال ترموکوپل‌ها به دیتالوگر، تغییرات دما-زمان ثبت می‌شود که منجر به رسم منحنی‌ای می‌شود که به آن اصطلاحاً منحنی سرد شدن می‌گویند. این منحنی به تنهایی بیانگر تغییرات دمایی در حین گرمایش (یا سرمایش) است. مهمترین بخش این آنالیز، تفسیر منحنی‌های بدست آمده است. برای این منظور نیاز به رسم منحنی‌های مشتق اول و یا مشتق دوم منحنی سرد شدن است تا با بررسی همزمان منحنی سرد شدن و مشتقات آن بتوان دماها و زمانهای مشخصه را با دقت بالایی تعیین نمود (شکل ۱). بر اساس آنالیز انجام شده می‌توان نرخ سرد شدن مذاب، نرخ انجماد، نقاط شروع انجماد و پایان انجماد، نقاط شروع و پایان هر تحول فازی، نقطه کوه‌رنسی، منحنی کسر جامد و ... را بدست آورد. (شکل ۱)

آنالیز حرارتی منحنی سرد شدن ابتدا برای بررسی کیفی مذاب چدن‌های خاکستری، کربن معادل و شکل‌گرافیت مورد استفاده قرار گرفت [۷]. سپس از این روش بطور گسترده برای پیش‌بینی اثر ریزدانه‌کنندگی و بهسازی مذاب آلیاژهای آلومینیم-سیلیسم استفاده شد [۲، ۵، ۸، ۱۳]. همچنین آنالیز حرارتی منحنی سرد شدن برای بررسی رفتار انجمادی

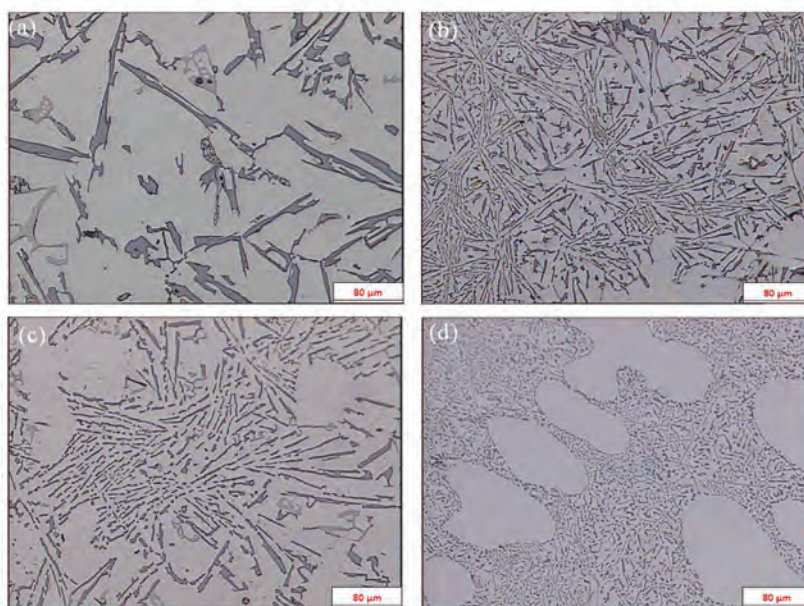


شکل ۲- تغییرات منحنی سرد شدن در هنگام تشکیل دندریت آلومینیم در آلیاژ بدون جوانه زا و حاوی جوانه زا [۲۲].

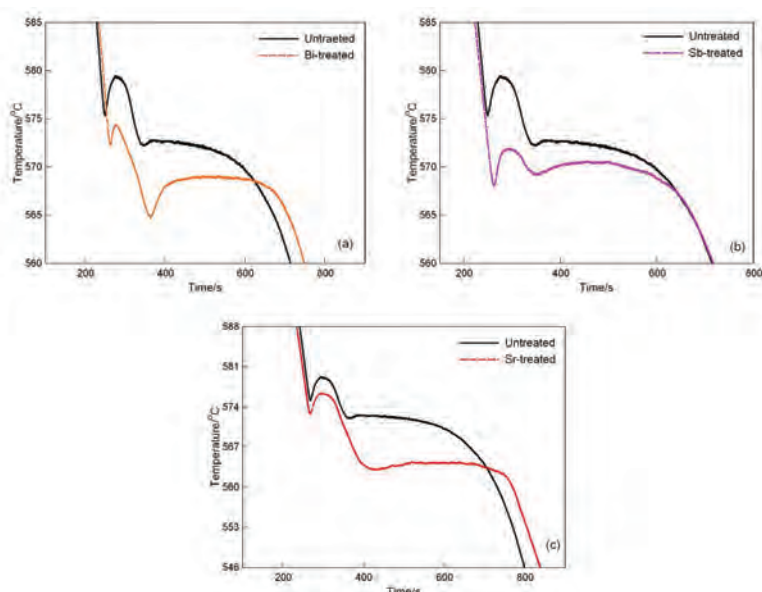
• ۲-۲- پیش بینی بهسازی سیلیسم

سیلیسم بصورت درشت و خشن در آلیاژهای هیپوئوتکتیک و یا نزدیک به یوتکتیک حضور دارد. این مورفولوژی سیلیسیم موجب ایجاد تمرکز تنش در لبه‌های تیز شده و در حین کارکرد تخت تنش اعمالی، بعنوان محل مستعدی برای ایجاد ترک عمل می‌کند. با ایجاد ترک و اعمال پیوسته تنش، ترک اشاعه یافته و نهایتاً قطعه با انعطاف پذیری کمی شکسته می‌شود. لذا بمنظور بهبود انعطاف پذیری و مقاومت خستگی، عناصر بهساز مانند سدیم، استرنسیم، کلسیم و ... به مذاب اضافه می‌شوند تا از رشد سیلیسیم جلوگیری کرده و جهت رشد آنرا تغییر دهند [۲۳]. در نتیجه سیلیسیم ورقه‌ای و خشن به فیبری ریز تبدیل می‌شود (شکل ۳). ناحیه واکنش یوتکتیک منحنی سرد شدن که مرتبط با شروع تشکیل سیلیسیم است، برای پیش‌بینی اثربخشی عملیات بهسازی در نظر گرفته می‌شود. بیان شده است که بهسازی سیلیسیم با کاهش دمای رشد یوتکتیک همراه است و این کاهش نشان دهنده میزان بهسازی سیلیسیم است. پیشنهاد شده است که برای تولید ساختار کاملاً بهسازی شده (سیلیسیم فیبری)، حداقل کاهش دمای رشد یوتکتیک در حدود ۶-۸ درجه سانتی‌گراد لازم است. این کاهش دما می‌تواند به نقش عناصر بهساز در

است. هرچند که باید در نظر گرفت که با توجه به شکل و ضخامت قطعات ریخته‌گری، به ندرت امکان سریع سرد کردن وجود دارد. این مواد افزوده شده بعنوان جوانه غیرهمگن عمل کرده و موجب افزایش مکان‌های جوانه‌زنی و شدت جوانه‌زنی می‌شوند. در نتیجه ساختار نهایی ریزتر خواهد شد. یکی از مشخصه‌های مهم این ذرات نزدیک بودن پارامتر شبکه آنها به آلومینیم است. بنابراین جوانه‌زنی آلومینیم بر روی سطح آنها آسان‌تر صورت خواهد گرفت. حضور ذرات جوانه‌زا موجب تغییر در رفتار انجمادی می‌شود که در منحنی سرد شدن آلیاژ در هنگام تشکیل دندریت‌های اولیه آلومینیم مشخص است. بخشی از منحنی سرد شدن که مربوط به شروع واکنش آلومینیوم اولیه است برای پیش‌بینی اندازه دانه با استفاده از آنالیز حرارتی استفاده می‌شود. بخوبی نشان داده شده است ارتباط مستقیمی بین تفاوت بین دمای مینیمم (T_{min}) و دمای رشد دندریت (T_e) و میزان ریزدانی وجود دارد. هرچقدر این تفاوت کمتر باشد، دانه بندی نیز ریزتر خواهد بود. شکل ۲ تغییرات دما-زمان، برای آلیاژهای بدون و با حضور جوانه‌زا، در هنگام تشکیل آلومینیم اولیه را نشان می‌دهد که بخوبی کاهش تفاوت بین دمای مینیمم و دمای رشد دندریت را در حضور آمیزانهای Al₃TiB و Al₅TiB نشان می‌دهد.



شکل ۳- مورفولوژی سیلیسیم یوتکتیک در آلیاژ نزدیک به یوتکتیک ADC12 در حالت (الف) بهسازی نشده، و بهسازی شده با (ب) بیسموت، (ج) آنتیموان و (د) استرنسیم [۱۱].



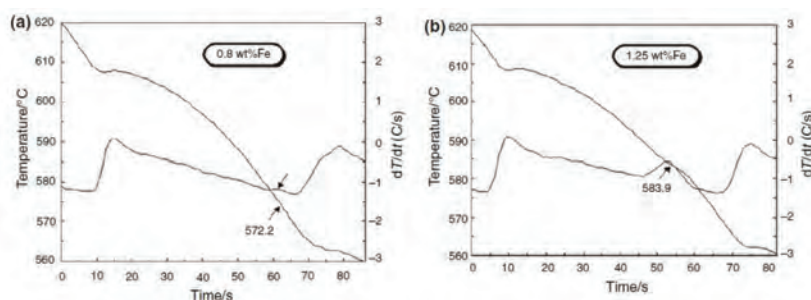
شکل ۴- نمودار مقایسه ای از تغییرات منحنی سرد شدن آلیاژ ADC12 در آلیاژ بهسازی شده با (الف) بیسموت، (ب) آنتیموان و (ج) استرنسیم و بهسازی نشده [۱۱].

از موعد می‌شود. هرچند که وجود آن تا حدودی در ریخته گری دایکست لازم است. نشان داده شده است که با استفاده از آنالیز حرارتی می‌توان حضور آهن را در مذاب پیش بینی کرد. شکل-۵ منحنی سرد شدن آلیاژ A319 و مشتق اول آنرا نشان می‌دهد. در آلیاژی که در آن حدود ۰/۸ درصد وزنی آهن دارد یک پیک متمایز بعد از تشکیل فاز آلومینیم و قبل

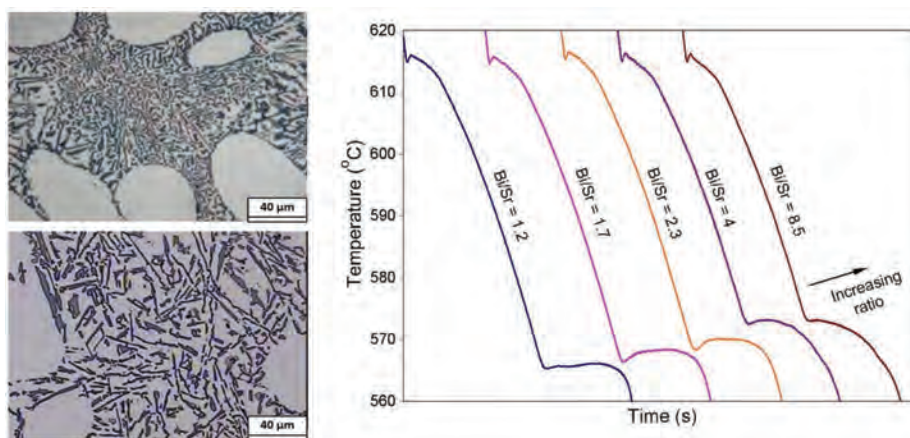
ممانعت از رشد سیلیسیم مرتبط باشد و بنابراین سیلیسیم به نیروی محرکه بیشتری برای رشد نیاز دارد (شکل-۴).

• ۳-۲- شناسایی ناخالصی آهن

بدلیل تشکیل فازهای بین فلزی ترد بین آهن، آلومینیم و عناصر آلیاژی، آهن موجب شکست پیش



شکل ۵- منحنی سرد شدن آلیاژ A۳۱۹ حاوی (الف) ۰/۸ و (ب) ۱/۲۵ درصد وزنی آهن [۲۴].



شکل ۶- (الف) منحنی سرد شدن آلیاژ A۳۵۶ حاوی نسبت‌های متفاوت بیسموت به استرنسیم. (ب) ریزساختار بهسازی شده در آلیاژها با نسبت بیسموت به استرنسیم ۱/۲ و (ج) ریزساختار بهسازی نشده در آلیاژها با نسبت بیسموت به استرنسیم ۸/۵ [۲۸].

سیلیسیم بر روی مذاب صورت می‌گیرد، حساس‌تر خواهد بود. نشان داده شده است که حضور B در مذاب موجب کاهش و یا حذف نقش بهسازی Sr می‌شود [۲۵]. با استفاده از آنالیز منحنی سرد شدن می‌توان تاثیر متقابل عناصر را بر روی بازدهی عملیات ریزدانی و بهسازی سیلیسیم پیش‌بینی نمود. شکل ۶-الف نشان دهنده منحنی سرد شدن آلیاژ A356 با درصد‌های متفاوت استرنسیم و بیسموت است. مشاهده می‌شود که نسبت مشخصی بین بیسموت و استرنسیم برای کاهش بیشتر دمای رشد سیلیسیم یوتکتیک و ساختار بهسازی شده وجود دارد. با افزایش میزان بیسموت و یا در واقع نسبت بیسموت به استرنسیم، دمای رشد سیلیسیم یوتکتیک افزایش می‌یابد که موجب از دست رفتن تاثیر استرنسیم در مذاب می‌شود. این نتایج تطابق خوبی با ریزساختار این آلیاژها دارد.

از تشکیل یوتکتیک آلومینیم-سیلیسیم دیده می‌شود که مربوط به فاز Al5FeSi است. با افزایش میزان آهن به ۱/۲۵ درصد وزنی، شدت پیک نیز افزایش می‌یابد.

● ۴-۲-پیش‌بینی تقابل عناصر در مواد بازیافتی

در کاربردهای صنعتی، استفاده از آلومینیوم ثانویه برای کاهش هزینه و صرفه‌جویی در انرژی امری اجتناب‌ناپذیر است. هرچند که بدلیل وجود عناصر مختلف در مواد قراضه و برگشتی که از منابع مختلف مختلف تامین شده‌اند، چالش‌هایی وجود دارد. رقیق‌سازی و حذف عناصر نامطلوب رویکردهای امیدوارکننده‌ای برای حل این مشکلات هستند اما بسیاری از مزایای استفاده از آلیاژهای ثانویه را از بین می‌برند. بنابراین، پیش‌بینی برهم‌کنش عناصر در آلیاژهای ثانویه ممکن است یک راه‌حل عملی‌تر باشد. این امر زمانی که عملیات ریزدانی و بهسازی

شکل ۶-ب ریزساختارآلیاژ را با نسبت بیسموت به استرنسیم ۱/۲ نشان میدهد. ساختار بهسازی شده (فیبری) مشخص است. حال آنکه شکل ۶-ج ساختار آلیاژ را با نسبت ۸/۵ نشان میدهد. می توان مشاهده کرد ساختار به حالت بهسازی نشده تبدیل شده است. در واقع در شرایطی که استرنسیم در مذاب به اندازه کافی وجود دارد تا بهسازی صورت گیرد، بدلیل حضور بیسموت، این اثر از دست رفته و خنثی می شود. بنابراین برای جبران این نقیصه می بایست مقدار بیشتری از استرنسیم به مذاب اضافه کرد تا ساختار سیلیسیم مجدداً بهسازی گردد. نتایج مشابهی در خصوص تاثیر منفی بیسموت [۲۶] و آنتیموان [۲۷] بر بهسازی استرنسیم در آلیاژ دایکست ADC12 گزارش شده است

• مراجع

- [1] D.M. Stefanescu, Thermal Analysis—Theory and Applications in Metalcasting, International Journal of Metalcasting 9 (2015) 7–22. <https://doi.org/10.1007/BF03355598>.
- [2] D. Emadi, L.V. Whiting, S. Nafisi, R. Ghomashchi, Applications of Thermal Analysis in Quality Control of Solidification Processes, Journal Of Thermal Analysis 81 (2005) 235–241. <https://doi.org/10.1007/s10973-005-0772-9>.
- [3] M.B. Djurdjevic, I. Vicario, G. Huber, Review of thermal analysis applications in aluminium casting plants, Revista de Metalurgia 50 (2014). <https://doi.org/10.3989/revmetalm.004>.
- [4] M. Malekan, D. Dayani, A. Mir, Thermal analysis study on the simultaneous grain refinement and modification of 380.3 aluminum alloy, J Therm Anal Calorim 115 (2014) 393–399. <https://doi.org/10.1007/s10973-013-3189-x>.
- [5] M. Malekan, S.G. Shabestari, Computer-aided cooling curve thermal analysis used to predict the quality of aluminum alloys, J Therm Anal Calorim 103 (2011) 453–458. <https://doi.org/10.1007/s10973-010-1023-2>.
- [6] S. Farahany, A. Ourdjini, M.H. Idris, S.G. Shabestari, Computer-aided cooling curve thermal analysis of near eutectic Al–Si–Cu–Fe alloy, J Therm Anal Calorim 114 (2013) 705–717. <https://doi.org/10.1007/s10973-013-3005-7>.
- [7] D.M. Stefanescu, R. Suarez, S. Bin Kim, 90 years of thermal analysis as a control tool in the melting of cast iron, China Foundry 17 (2020). <https://doi.org/10.1007/s41230-020-0039-x>.
- [8] M. Malekan, S.G. Shabestari, Effect of Grain Refinement on the Dendrite Coherency Point during Solidification of the A319 Aluminum Alloy, Metallurgical and Materials Transactions A 40 (2009) 3196. <https://doi.org/10.1007/s11661-009-9978-y>.
- [9] D. EMADI, L. V. WHITING, M. DJURDJEVIC, W. T. KIERKUS, J. SOKOLOWSKI, Comparison of newtonian and fourier thermal analysis techniques for calculation of latent heat and solid fraction of aluminum alloys, Metallurgical and Materials Engineering 0 (2018). <https://doi.org/10.30544/379>.
- [10] S. Farahany, H. Ghandvar, On the effect of praseodymium on solidification characteristics, microstructure, and mechanical properties of commercial ADC12 alloy, J Therm Anal Calorim 148 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10973-023-12073-9>.
- [11] S. Farahany, A. Ourdjini, M.H. Idris, The usage of computer-aided cooling curve thermal analysis to optimise eutectic refiner and modifier in

- Al–Si alloys, J Therm Anal Calorim 109 (2012). <https://doi.org/10.1007/s10973-011-1708-1>.
- [12] M.B. Djurdjevic, Z. Odanovic, N. Talijan, Characterization of the solidification path of AlSi5Cu(1–4 wt.%) alloys using cooling curve analysis, JOM 63 (2011). <https://doi.org/10.1007/s11837-011-0191-2>.
 - [13] M. Djurdjevic, H. Jiang, J.H. Sokolowski, On-line prediction of aluminum – silicon eutectic modification level using thermal analysis, Mater Charact 46 (2001) 31–38. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1044-5803\(00\)00090-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1044-5803(00)00090-5).
 - [14] S. Farahany, H. Ghandvar, N.A. Nordin, Solidification Characteristics of Ex situ Particulate–Reinforced Aluminum Matrix Composites, International Journal of Metalcasting 18 (2024). <https://doi.org/10.1007/s40962-023-01005-w>.
 - [15] S. Farahany, N.A. Nordin, H. Ghandvar, Cooling curve thermal analysis of Al–Mg2Si–Cu–xSr composite, J Therm Anal Calorim (2019). <https://doi.org/10.1007/s10973-019-09100-z>.
 - [16] S. Farahany, H.R. Bakhsheshi–Rad, M.H. Idris, M.R. Abdul Kadir, A.F. Lotfabadi, A. Ourdjini, In-situ thermal analysis and macroscopical characterization of Mg–xCa and Mg–0.5Ca–xZn alloy systems, Thermochim Acta 527 (2012) 180–189. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2011.10.027>.
 - [17] A.F. Lotfabadi, M.H. Idris, A. Ourdjini, M.R.A. Kadir, S. Farahany, H.R. Bakhsheshi–Rad, Thermal characteristics and corrosion behaviour of Mg–xZn alloys for biomedical applications, Bulletin of Materials Science 36 (2013). <https://doi.org/10.1007/s12034-013-0566-9>.
 - [18] H.R.B. Rad, M.H. Idris, M.R.A. Kadir, S. Farahany, Microstructure analysis and corrosion behavior of biodegradable Mg–Ca implant alloys, Mater Des 33 (2012) 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.06.057>.
 - [19] H. Jafari, M. Khalilnezhad, S. Farahany, Computer-aided cooling curve thermal analysis and microstructural evolution of Mg–5Zn–xY cast alloys, J Therm Anal Calorim 130 (2017) 1429–1437. <https://doi.org/10.1007/s10973-017-6144-4>.
 - [20] H.R. Bakhsheshi–Rad, E. Hamzah, H.T. Low, M.H. Cho, M. Kasiri–Asgarani, S. Farahany, A. Mostafa, M. Medraj, Thermal characteristics, mechanical properties, in vitro degradation and cytotoxicity of novel biodegradable Zn–Al–Mg and Zn–Al–Mg–xBi alloys, Acta Metallurgica Sinica (English Letters) 30 (2017) 201–211. <https://doi.org/10.1007/s40195-017-0534-2>.
 - [21] S. Farahany, L.H. Tat, E. Hamzah, H.R. Bakhsheshi–Rad, M.H. Cho, Microstructure development, phase reaction characteristics and properties of quaternary Zn–0.5Al–0.5Mg–xBi hot dipped coating alloy under slow and fast cooling rates, Surf Coat Technol 315 (2017) 112–122. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.01.074>.
 - [22] S. Farahany, M.H. Idris, A. Ourdjini, F. Faris, H. Ghandvar, Evaluation of the effect of grain refiners on the solidification characteristics of an Sr–modified ADC12 die–casting alloy by cooling curve thermal analysis, J Therm Anal Calorim 119 (2015) 1593–1601. <https://doi.org/10.1007/s10973-014-4367-1>.
 - [23] S. Hegde, K.N. Prabhu, Modification of eutectic silicon in Al–Si alloys, J Mater Sci 43 (2008) 3009–3027. <https://doi.org/10.1007/s10853-008-2505-5>.
 - [24] M. Mahfoud, A.K.P. Rao, D. Emadi, The role of thermal analysis in detecting impurity levels during aluminum recycling, in: J Therm Anal Calorim, 2010. <https://doi.org/10.1007/s10973-010-0742-8>.
 - [25] L. Lu, A.K. Dahle, Effects of Sr and B interactions in hypoeutectic Al–Si foundry alloys, Materials Science and Engineering: A 435–436 (2006) 807–812. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.msea.2006.07.081>.
 - [26] S. Farahany, A. Ourdjini, T.A. Abu Bakar, M.H. Idris, A new approach to assess the effects of Sr and Bi interaction in ADC12 Al–Si die casting alloy, Thermochim Acta 575 (2014) 179–187. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2013.11.001>.
 - [27] S. Farahany, M.H. Idris, A. Ourdjini, Evaluations of antimony and strontium interaction in an Al–Si–Cu–Zn die cast alloy, Thermochim Acta 584 (2014) 72–78. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2014.04.001>.
 - [28] S. Farahany, A. Ourdjini, M.H. Idris, L.T. Thai, Poisoning effect of bismuth on modification behaviour of strontium in LM25 alloy, Bulletin of Materials Science 34 (2011) 1223–1231. <https://doi.org/10.1007/s12034-011-0239-5>.

مقاله

مراقبت و نگهداری قالب (قسمت اول)

مجتبی ستوده فرد



● مقدمه

از آنجاکه هزینه و زمان ساخت قالب دایکست در مقایسه با ارزش سایر انواع قالب ها، سنگین تر و طولانی تر است و قالب ها در یک کارگاه دایکست یکی از ارکان دارایی های آن کارگاه محسوب می شوند، لازم دیدم راجع به مراقبت و نگهداری قالب ارائه مطلبی کاربردی داشته باشم. پس از جستجو با این عنوان، به مطلبی بهتر از آنچه که توسط اتحادیه دایکست کاران امریکای شمالی، NADCA منتشر شده برخورد نکردم. لذا برآن شدم این مطلب را در چند بخش و با کمی دخل و تصرف، ترجمه و از طریق انتشار آن در این نشریه در اختیار دست اندرکاران این صنعت و دایکست کاران قرار دهم. البته شاید این ترجمه برای اساتید و دوستان بزرگوار و محترم تکراری و بعضاً پیش پا افتاده باشد، ولی به جرات می توانم بگویم بکارگیری آن در واحدهای تولیدی می تواند کمک بزرگی به مراقبت و نگهداری از این سرمایه های ملی و جلوگیری از هدر رفت و دوباره کاری برای جبران داشته باشد. این مطلب تحت عنوان "THE CARE AND MAINTENANCE OF DIE CASTING DIES" با مشارکت و همکاری شانزده کارخانه و شرکت در

اتحادیه دایکست کاران امریکای شمالی تهیه شده است و در سه بخش و یک خلاصه مطالب، منتشر شده است. سه بخش آن عبارتند از:

۱- بخش قالب های دایکست نو (New Die Cast Dies)

۲- بخش تولید با قالب های دایکست (Production Die Cast Dies)

۳- بخش مستهلک شدن قالب (Worn Out Dies)

بعضی موارد مطرح شده در این مطلب ممکن است برای برخی از دایکست کاران نیاز به توضیح اضافه داشته باشد و کمی مبهم به نظر برسد، خصوصاً مواردی که نیاز به محاسبه دارند. پیشنهاد بنده برای این افراد در درجه اول شرکت در کلاس های انجمن دایکست ایران برای روشن شدن مطالب است. همچنین اگر ابهام جزئی وجود داشته باشد تماس با بنده از طریق دفتر انجمن دایکست و یا مستقیماً با تلفن همراه که در انتهای تمام مطالب انتشار یافته در این نشریه به جهت دریافت نظرات می گذارم ممکن می باشد و بنده در حد توان سعی در پاسخگویی خواهم داشت.

• ۱- قالب جدید

انجام بازرسی چشمی هر قالب جدیدی که به کارگاه یا کارخانه وارد می شود ضروریست و این کار بهتر است توسط سرپرست واحد دایکست و سازنده قالب به طور کامل صورت پذیرد. با انجام این بررسی، بسیاری از اوقات می توان از بروز مشکلات پیش بینی نشده جلوگیری نمود. انجام این بررسی بهتر است قبل از اینکه قالب برای اولین بار بر روی دستگاه دایکست مونتاژ شود صورت گیرد. این بازدید می تواند در محل انبار قالب انجام شود. بدین ترتیب، در صورت تشخیص هرگونه مشکل، در هزینه حمل به واحد تزریق صرفه جویی می شود و قالب برای انجام اصلاحات به واحد قالبساز عودت می شود. بررسی این موارد در کارگاه قالبساز هم قابل انجام می باشد.

بهترین حالت برای بازرسی چشمی یک قالب جدید زمانی است که قالب بصورت مونتاژ شده بوده و دو نیمه قالب برای دسترسی آسان به آن باز باشد. استفاده از چک لیست هنگام بازرسی قالب از سه جهت بسیار مهم است:

- یادآوری، همه موارد لازم برای بررسی قالب تا چیزی فراموش نشود؛
- ایجاد یک سابقه بررسی قالب و قرار دادن و نگهداری آن در پرونده قالب؛
- در صورت نیاز به اصلاحات و وجود مغایرت، تهیه یک لیست موارد اشکالات برای انجام اصلاحات توسط سازنده قالب.

چک لیست یک قالب جدید می تواند شامل بررسی موارد زیر باشد:

• چک لیست برای قالب جدید

نام مشتری (صاحب قالب):	شماره قالب:
شماره قطعه:	تاریخ:
نام سازنده قالب:	نام بازرس:

• چک لیست بررسی های کلی

- ☐ پین های ثابت در محل خودشان به درستی استقرار دارند
- ☐ نقشه های پین های ثابت همراه قالب می باشند
- ☐ پین های ثابت دارای سطح پولیش خورده مناسب هستند
- ☐ پین های ثابت عملیات حرارتی سطحی مناسب شده اند (نیتراته)
- ☐ کیفیت سطح حفرات قابل قبول است
- ☐ سطح جدایش آبنده کامل می باشد (برای سطوح آبنده صاف، این سطوح سنگ خورده و بدون اعوجاج می باشند)
- ☐ گواهی تایید فولاد دارد
- ☐ گواهی انجام عملیات حرارتی دارد
- ☐ آرم، سریال تولید، شماره حفره و شماره شناسایی بر روی قالب حک شده است
- ☐ طول پران ها درست است
- ☐ پران در محل درستی تعبیه شده است
- ☐ کانال های آب باز بوده و در هر نیمه قالب تعبیه شده است
- ☐ در پوش کانال های آب بسته اند
- ☐ ورودی و خروجی های کانال آب به روشنی بر روی قالب مشخص شده اند و نقشه آن وجود دارد
- ☐ سیستم بستن روبند قالب با شلنگ ها یا لوله های آب ورودی و خروجی تداخل ندارد
- ☐ فیلتر و اهرای گوشه ها درست و مناسب است

- ☐ اندازه پاکت ها مناسب دستگاه می باشد
- ☐ حفره ماده (Cavity) در سمت ثابت قالب می باشد
- ☐ اینسرت حفرات در پاکت از سطح پاکت به میزان ۰/۰۵ الی ۰/۰۷ بالاتر می باشد
- ☐ در حمل آسیبی به قالب نرسیده است
- ☐ اثر اسپارک بر روی قالب پولیش شده است
- ☐ لبه و گوشه های تیز در قالب وجود ندارد
- ☐ حفرات، تنش گیری نهایی شده اند و لایه اکسیدی محافظ دارند
- ☐ تست خمیرگیری برای بررسی ضخامت ها و یا شیب منفی انجام شده است
- ☐ ترموکوپل ها با اتصال به جریان برق و مقایسه با دمای اتاق به درستی کار می کنند
- ☐ لیمیت سویچ با اتصال به برق درست کار می کند
- ☐ لوله های آب، روغن و هیدرولیک با انجام تست فشار نشستی ندارد
- ☐ با حرکت کشو و صفحات پران مکانیزم های محدود کننده درست و در مکان مناسب عمل می کنند

● چک لیست بررسی سیستم راهگاهی قالب

- ☐ اندازه سوراخ سیلندر و بوش اتصال سیلندر مناسب می باشد
- ☐ طرح سیستم راهگاهی مناسب است
- ☐ راهگاه پولیش خورده و دارای شیب مناسب است
- ☐ اندازه سطح مقطع گیت محاسبه شده است
- ☐ موقعیت و اندازه اورفلوها حساب شده است
- ☐ پین پران روی راهگاه و اورفلو به میزان مناسب تعبیه شده است
- ☐ اتصال اورفلو ها به حفره وجود دارد
- ☐ ونت ها با اتصال مناسب و حساب شده در قالب وجود دارد
- ☐ پران ها به قسمت ضخیم تزریق نیرو وارد می کنند

● چک لیست بررسی سیستم پران

- ☐ حرکت روان صفحات پران
- ☐ پران ها به گونه ایی باشند که با لوله های آب پشتی تماس نداشته و مانند حفاظی در هنگام جابجایی قالب برای این لوله ها عمل کنند
- ☐ شلنگ ها و لوله های آب در محل خودشان محکم شده اند تا در هنگام لرزش ناشی از تزریق تخریب یا جابجا نشوند
- ☐ همه پین پران ها در جای خود قرار دارند
- ☐ تمام پین های پران، پین برگشت و پین راهنما روغنکاری شده اند
- ☐ پین راهنمای صفحه پران وجود دارد
- ☐ نچرخ برای پران هایی که روی سطوح ناصاف پران می کنند وجود دارد
- ☐ اندازه طول پین پران روی آن درج شده است
- ☐ صفحه پران در محل درست خود می ایستد و کورس مناسب دارد
- ☐ پین برگشت صفحه پران ۰/۰۵ میلیمتر بالاتر از سطح جدایش می باشد
- ☐ اگر محرک صفحه پران مستقیماً با اتصال جک هیدرولیک دستگاه می باشد اتصال آن صحیح است
- ☐ تورفتگی پران ها در قالب در قسمت اورفلو و راهگاه در محدوده ۱/۵ الی ۳ میلیمتر می باشد
- ☐ برای مشخص شدن صفحات متحرک پران قسمت دیواره آن رنگ مشخص کننده نارنجی دارد

• چک لیست بررسی پاکت های قالب

- ☐ سوراخ های پیچ چشمی کافی جهت حمل قالب در مرکز تعادل قالب در هر نیمه آن وجود دارد
- ☐ سوراخ های پیچ چشمی در چهار طرف قالب وجود دارد تا امکان حرکت آسان قالب را فراهم کند
- ☐ شیار یا لبه روبند مناسب در هر طرف قالب برای بستن قالب به دستگاه وجود دارد
- ☐ بوش و میل راهنمای مناسب در قالب دیده شده است
- ☐ شیار خروج هوا در محل بوش راهنما پشت پاکت زده شده است
- ☐ پل کمکی مناسب در قالب در نظر گرفته شده است
- ☐ مشخصات قالب که از قبل پیش بینی شده روی سطح بیروی پاکت زده شده است، مانند نام مشتری، شماره قالب، شماره کانال آب، سازنده قالب، شماره قطعه، وزن قالب
- ☐ دو نیمه قالب به درستی روی هم قرار گرفته و حرکت می کنند
- ☐ شیار های خروج هوا در محل بوش راهنما و پشت پاکت تمیز بوده و گرفتگی ندارند
- ☐ پلیسه گیری و حذف لبه های تیر به خوبی انجام شده است
- ☐ برای جلوگیری از مونتاژ نادرست دو نیمه قالب یکی از میل راهنماها بصورت نامتقارن ساخته شده است
- ☐ میل راهنما گریسکاری شده است
- ☐ ترموکوپل در محل خود نصب شده است
- ☐ شکستگی یا خرابی هنگام حمل قالب وجود دارد
- ☐ همه پیچ های اتصال نصب بوده و سفت شده اند
- ☐ منیفولدهای روغن یا آب برای قالب استفاده شده است
- ☐ طول پین کج ها صحیح است
- ☐ مقر قرار گیری کثو و گوه روی پاکت ها اندازه مناسب دارد
- ☐ قالب دارای پایه می باشد تا بدون له شدن خطوط آب و ترموکوپل های نصب شده در پایین قالب روی زمین بایستد

• چک لیست بررسی کشویی ها

- ☐ کشویی ها روان حرکت می کنند
- ☐ کشویی ها در محل صحیح ایست می کنند
- ☐ میکروسویچ ها برای کشویی های هیدرولیک در مکان صحیح تنظیم شده اند
- ☐ قفل گوه با کشو آبد می باشد
- ☐ قسمتی از کشویی ها که بالای خط جدایش در سمت ثابت هستند داری شیب مناسب برای جلوگیری از گیر کردن می باشند
- ☐ کشویی ها را می توان بدون نگرانی و در حالیکه قالب روی دستگاه است جدا کرد
- ☐ سوراخ پیچ جهت جابجایی کشویی های سنگین با جرثقیل توسط پیچ های چشمی در نظر گرفته شده است
- ☐ کشویی ها دارای مانع کافی برای توقف از سمت جلو هستند
- ☐ همه پیچ ها در جای خود قرار دارند و به ترتیب صحیح سفت شده اند
- ☐ ریل کشویی ها گریسکاری شده اند
- ☐ سر پین کج و سوراخ ورود پین کج به کشویی ها ار دار شده است
- ☐ کشویی ها دارای کورس حرکت کافی برای جدا شدن از قطعه را دارند
- ☐ کانال آب روی کشویی های بزرگ دیده شده است

□ مکانیزم نگهداشتن کشو در محل صحیح هنگام باز بودن قالب، به ویژه برای کشویی های بالای قالب در نظر گرفته شده است

□ گوه مناسب و محاسبه شده در قالب تعبیه شده است

□ آبدی قفل کشو در زمانی که قالب داغ است انجام شده است

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

● مرجع:

1- THE CARE AND MAINTENANCE OF DIE CASTING DIES , NADCA

مقاله

مدیریت گرما در قالب های دایکست

ترجمه: سیامک فتحی



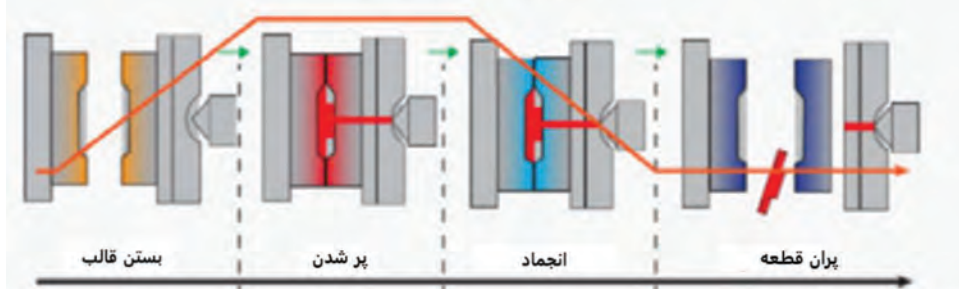
● مقدمه

دایکست فرایندی است که در آن فلز مذاب تحت فشار بالا به درون قالبی با شکل مورد نظر تزریق می شود تا شکل یا محصول مطلوب حاصل شود. در فرایند دایکست عمدتاً آلیاژهایی از فلزات غیرآهنی، نظیر آلومینیوم، روی، مس و منیزیم ریخته گری می شوند. با توجه به مصرف فلز مذاب، روشن است که حجم بالایی از گرما در فرایند دایکست جابجا می شود.

● چکیده

مدیریت گرما در قالب دایکست نقشی اساسی در طول عمر و کیفیت کارکرد آن دارد. جلوگیری از بروز عیوبی نظیر تخلخل انقباضی و تابیدگی قطعه مستلزم کنترل دقیق دما در فرایند دایکست است. در این مقاله به اهمیت مدیریت گرما در قالب، اثرات آن بر عیوب قطعات ریختگی، رابطه بین مدیریت گرما و تخلخل، راهکارهای موجود برای مدیریت گرما در قالب، پایش پیشرفته و رویکردهای نوین به مدیریت گرما در دایکست پرداخته شده است.

منحنی دمای قالب



شکل ۱- فرایند دایکست



شکل ۲- تصویر گرمایی از قالبی که تعادل گرمایی ندارد.

اگر خنک کاری به اندازه کافی نباشد، دمای قالب به سرعت افزایش پیدا می کند. در حالت عکس، خنک کاری بیش از حد منجر به سرد شدن سریع قالب می گردد.

قالبی که تعادل گرمایی در آن وجود نداشته باشد نه تنها نقاط گرم و سرد در آن دیده خواهد شد، بلکه تفاوت دما بین نواحی و ضخامت های مختلف آن نیز بروز خواهد کرد.

• آثار عدم تعادل گرمایی قالب

عدم تعادل گرمایی در قالب می تواند منجر به بروز عیوب مختلفی در قطعه ریخته گری گردد. اگر دمای قالب بیش از حد بالا یا پایین باشد می تواند منجر به نیامد، سردجوشی، تخلخل انقباضی و تابیدگی در قطعه ریخته گری گردد. دمای بالا می تواند باعث انبساط بیش از حد شده و دقت ابعادی قطعه را از بین ببرد، درحالی که دمای پایین می تواند انجماد زودهنگام و در نتیجه، نیامد و سردجوشی را سبب شود.

تخلخل انقباضی: تخلخل انقباضی یکی از رایج ترین عیوب ناشی از سوء مدیریت گرمایی در دایکست است. در خلال انجماد، عدم تعادل گرمایی منجر به ظهور نواحی داغ و نواحی سرد در قالب می شود. با پیشرفت انجماد در نواحی سرد، به منظور جبران انقباض ایجاد شده، مواد از نواحی گرم به سمت ناحیه منجمد شده کشیده می شود. زمانی که نواحی داغ وارد فاز انجماد می شوند، دیگر مواد کافی برای جبران انقباض ناشی از انجماد و پر کردن حفره های ایجاد شده در دسترس نخواهد بود و حاصل این پدیده بروز تخلخل انقباضی است.

مدیریت گرما در دایکست عاملی بحرانی است که به شدت بر کیفیت قطعات ریخته گری و عمر قالب تاثیر می گذارد.

• مدیریت گرمایی قالب چیست؟

مدیریت گرمایی قالب عبارتست از کنترل و تنظیم دمای قالب دایکست در خلال فرایند ریخته گری. این مدیریت شامل نگهداری دما در دامنه ای بهینه می شود تا از پر شدن قالب، انجماد و پران شدن قطعه به شکلی مناسب اطمینان حاصل شود.

مدیریت گرمایی اثربخش تاثیر اساسی در تولید قطعات دایکستی با کیفیت بالا و با حداقل عیوب را دارد. در فرایند دایکست، قالب گرما را از فلز مذاب جذب و به سیال رسانه گرما (نظیر آب)، اسپری و محیط اطراف منتقل می کند. در هر سیکل تولید، کل گرمای ورودی به قالب باید برابر با گرمای استخراج شده از قالب باشد. با توجه به پیوستگی و تکرار تولید، هر انحرافی در این تعادل منجر به افزایش یا کاهش دما در گذر زمان می شود.

نواحی مختلف حفره قالب (بسته به هندسه قطعه) دیواره هایی با ضخامت ها و مساحت های مختلف دارد که منجر به نرخ های مختلف انتقال حرارت می گردد. در نتیجه، نواحی مختلف قالب دماهای مختلف دارند و از این رو بروز نقاط داغ و سرد در یک حفره قالب دور از انتظار نیست.

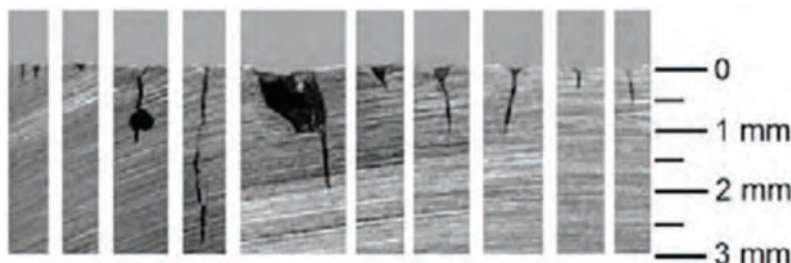
تصویر گرمایی قالب در شکل 2 نشان می دهد که دمای برخی نواحی در حدود 590°F (310°C) است که به رنگ سفید دیده می شوند، در حالی که دمای نواحی دیگر حدود 150°F (65°C) است که به رنگ آبی نمایش داده شده است.



شکل ۳- مقطع قطعه برای نمایش دادن عیب تخلخل انقباضی.



شکل ۴- قطعه دایکست شده با عیب لحیم شدگی (سمت چپ) و پین ماهیچه با لحیم شدگی (سمت راست).



شکل ۵- ترک های قالب با عمق های مختلف.

پدید بیاید که حاصل این شوک حرارتی بروز ترک ها و زدگی های حرارتی در قالب خواهد بود.

• حل مشکل عدم تعادل گرمایی قالب

برای جلوگیری از عیوب باید تعادل گرمایی در قالب ایجاد شود.

تعادل گرمایی قالب شامل نگهداری حداقل اختلاف دما در تمامی نواحی قالب و جلوگیری از جهش های دما با هر تزریق می شود.

از مقایسه شکل 6 با شکل 2 می توان دید که بعد از ایجاد تعادل گرمایی، نوسانات دما در تصویر حرارتی از 237°F (132°C) به 122°F (68°C) کاهش یافته است.

لحیم شدگی: مذاب آلومینیوم داغ تمایل به انجام واکنش با فولاد قالب دارد. خنک کاری ناکافی منجر به افزایش پیوسته دما در هر سیکل شده و منجر به لحیم شدن آلومینیوم به سطح قالب می گردد. هنگام پران کردن قطعه ریختگی، لایه هایی از قطعه ریختگی یا قالب ممکن است کنده شوند.

ترک ها و زدگی حرارتی قالب: دمای قالب عاملی حساس در کنترل فرایند است و اثرات شدیدی بر طول عمر قالب دارد. خنک کاری بیش از حد دمای قالب را بیش از حد پایین می آورد. هنگامی که فلز داغ وارد قالب سرد می شود، شوک حرارتی می تواند



شکل ۶- تصویر گرمایی قالب پس از ایجاد تعادل گرمایی.



شکل ۷- انجماد شبیه سازی شده شامل موقعیت ناحیه داغ یا تخلخل (سمت چپ) و بعد از بهینه سازی خنک کاری که حفره تغییر مکان داده است (سمت راست).

اما می تواند برای هر ناحیه ای از قالب دایکست که خنک کاری مرسوم در آن ممکن نباشد نیز بکار گرفته شود. در طراحی خنک کاری با جت، دیواره های نازک تر برای کشویی ها یا پین های ماهیچه بکار می روند. اگر کانال های خنک کننده به خوبی ایجاد نشده باشند، پین های ماهیچه یا کشویی ها شکسته شده و حوادث عمده ای را ایجاد خواهند کرد. همچنین، استفاده نادرست از خنک کاری جت می تواند به خنک شدن بیش از حد قالب و بروز زدگی حرارتی منجر گردد.

خنک کاری مدار بسته: تغییرات فصلی بر دمای برج خنک کننده تاثیر می گذارد. در تابستان دمای آب خروجی از برج خنک کننده گرم تر و در زمستان سردتر است. این نوسانات دمایی بر انتقال حرارت قالب تاثیر می گذارد و منجر به انتقال حرارت کمتر در تابستان و بیشتر در زمستان می گردد که به نوبه خود بر کیفیت قطعه ریختگی تاثیر خواهد گذاشت. البته خنک کاری از درون قالب مقدار زیادی آب مصرف می کند.

برای دستیابی به تعادل گرمایی در قالب، راه حل های زیر در دسترس هستند:

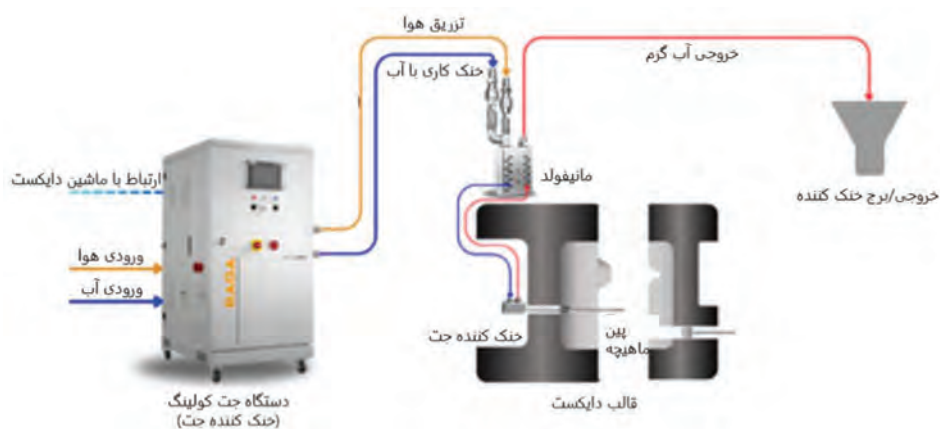
● مرحله طراحی قالب

شبیه سازی: طراحی قالب و خنک کاری قالب را شبیه سازی کنید. شبیه سازی قبل از ساخت قالب به دستیابی به تعادل گرمایی کمک می کند. اما شرایط عملی ممکن است با سناریوهای مفروض در شبیه سازی متفاوت باشد.

● مرحله تولید

خنک کاری با جت: اگر خنک کاری نواحی داغ با روش های مرسوم دشوار باشد از خنک کاری با جت می توان استفاده کرد. این تکنیک شامل پاشش آب با فشار و دبی بالا می باشد که انرژی بیشتری را از قالب حذف خواهد کرد.

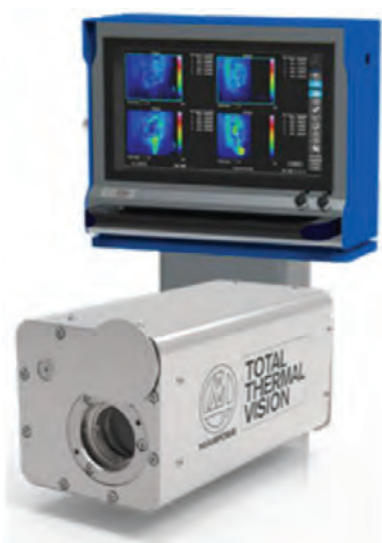
خنک کاری با جت در ابتدا برای مقاطع نازک نظیر پین های ماهیچه و پانچ های کوچک بکار می رفت،



شکل ۸- ماشین خنک کننده جت و نحوه اتصال آن به قالب و ماشین دایکست.



شکل ۹- ماشین خنک کننده جت مدار بسته و نحوه اتصال آن به قالب و ماشین دایکست.

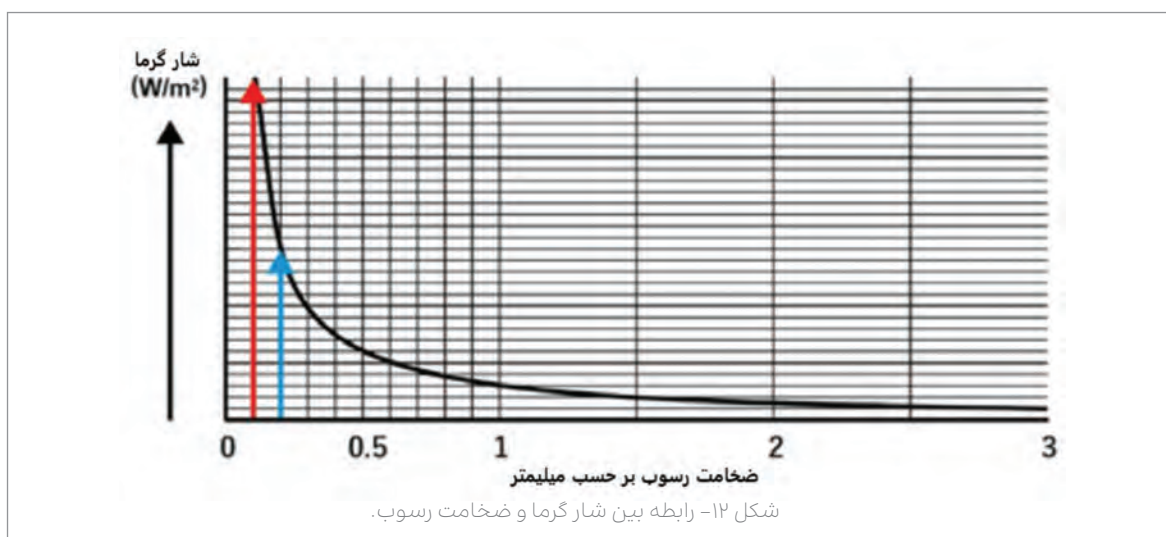


شکل ۱۰- دوربین مادون قرمز و تصویر گرمایی.

بهره گیری از یک واحد کنترل کیفیت و دمای آب برای حفظ تعادل گرمایی در مواجهه با عوامل متغیر بیرونی که دما را دچار نوسان می کنند امری اجتناب ناپذیر است. چنین روشی منجر به صرفه جویی سالانه چشمگیری در هزینه ها می شود.

در شکل ۹، خنک کاری مدار بسته ای را نمایش می دهد که در آن از واحد کنترل RAGA Aqua برای تنظیم دما و کیفیت استفاده شده است.

واحد کنترل دما: در تنظیم دما، روغن یا آب داغ با گردش درون قالب دما را تثبیت می کند. این راهکار منجر به کاهش شوک های حرارتی و ترک در قالب نیز می شود، در حالیکه زمان انجماد را افزایش می دهد.



خواهد یافت، چراکه رسوب باعث کاهش نرخ انتقال حرارت از قالب به آب خواهد شد.

● چالش های پیش روی سیستم های موجود گرم و خنک کردن قالب

ترک و نشستی در کانال های خنک کننده: ترک ها در پین های ماهیچه یا مادگی ها، یا نشستی در کانال های خنک کننده چالش های بزرگی را پیش روی خنک کردن و گرم کردن قالب قرار می دهند. اگر در اثر نشستی از ترک های پین ماهیچه یا مادگی ها، آب یا روغن وارد قالب شده و با مذاب ترکیب شود، می تواند منجر به حوادث خطرناکی گردد. در ریخته گری تحت فشار پایین (low pressure)، ریخته گران در رابطه با خطرات استفاده از آب و ترکیب آن با

● سیستم پایش/اندازه گیری

دوربین مادون قرمز: با بهره گیری از دوربین مادون قرمز می توان تصاویر گرمایی از قالب گرفت و دمای سطح قالب را پایش نمود. این به تشخیص نواحی داغ و سرد کمک می کند. اما، تنها تغییرات دما را پایش می کند و توضیحی برای چرایی بروز این تغییرات ارائه نمی دهد.

پایش آب خنک کننده قالب در خروجی قالب: سیستم پایش خنک کاری هر یک از کانال های خنک کننده را به صورت منفرد ردیابی می کند. هرگونه نشستی یا گرفتگی مسیرها تشخیص داده شده و دمای سیال خروجی از قالب پایش می گردد. اگر رسوباتی در مسیر ایجاد شده باشد، دمای آب خروجی کاهش

مسدود شدن و رسوب در کانال های خنک کننده: مسدود شدن کانال های خنک کننده منجر به ضعف در خنک کاری قالب می شود. چنین انسدادی ممکن است ناشی از وجود خم ها و گودی ها، حضور رسوب یا پوسته های اکسیدی در مسیر باشد. رسوب نه تنها دبی جریان آب خنک کننده را کم می کند، بلکه به عنوان عایق بین آب و فولاد قالب عمل نموده و از توان خنک کنندگی و استخراج گرما از حفره قالب به شدت کم می کند.

در شکل 12، منحنی ها نشان می دهند که تنها رسوبی به ضخامت 0.2 میلیمتر می تواند تا 50 درصد از توان خنک کنندگی و شار حرارت بین قالب و سیال خنک کننده را کم کند.

• راه حل های پیشرفته برای خنک کردن قالب

خنک کردن با خلا: در سیستم های خنک کاری مرسوم از آب تحت فشار استفاده می شود که می تواند نشت کند و یا اگر ترکی در قالب وجود داشته باشد به درون حفره قالب راه پیدا کند. در مقایسه، در سیستم متکی بر خلا، آب به جای آنکه تحت فشار به درون کانال هل داده شود، با خلا از درون قالب کشیده می شود. در این روش با استفاده از پمپ خلا فشار منفی ایجاد می گردد. در نتیجه جای نگرانی بابت نشتی و خروج آب از ترک های قالب وجود ندارد و می توان حتی زمانی که قالب ترک داشته باشد نیز به تولید ادامه داد.



شکل ۱۳- ماشین خنک کننده تحت خلا.

آلومینیوم مذاب موجود در کوره نگهدارنده آموزش می بیند، چراکه می تواند حوادث شدیدی را به همراه داشته باشد.

نشت در کانال های خنک کننده می تواند از توان خنک کنندگی کم کرده و نرخ ضایعات را افزایش دهد. پیدا کردن نشتی یا ترک در کانال های خنک کننده کار چندان آسانی نیست و در نتیجه یافتن ریشه بروز عیوب را دشوار می سازد. اگر لوازم یدکی در دسترس نباشد، شاید باز هم نرخ تلفات بیش از پیش افزایش پیدا کند.



شکل ۱۴- تجهیزات جمع آوری و انتقال داده های CoolSense.

● نتیجه

مدیریت گرمایی در قالب دایکست اهمیت بسیار زیادی دارد و می تواند کیفیت محصول و فرایند ریخته گری را تحت تاثیر قرار دهد. مدیریت مناسب گرما در قالب به جلوگیری از بروز عیوب قطعات دایکستی، از جمله تخلخل کمک کرده و تولید قطعات با کیفیت بالا را تضمین می نماید. با توسعه تکنولوژی های جدید، آینده مدیریت گرمایی قالب در دایکست قطعا راه حل های دقیق تر و بهره وری را تجربه خواهد کرد.

● مرجع

Rahat A Bhatia, "Thermal Management in Die Casting Dies." ALUCAST JOURNAL / ISSUE 149 / AUGUST 2024.

تکنولوژی CoolSense Technology: این تکنولوژی پیشرفته با بهره گیری از نرخ استخراج گرما از قالب فرایند خنک کاری قالب را پایش می کند. اگر نرخ جریان ثابت بماند، در حالیکه نرخ استخراج گرما تغییر کند، نشان از آن خواهد بود که در تعادل گرمایی قالب مشکلی پیش آمده است. همچنین، این تکنولوژی برای دستیابی به نرخ بهینه استخراج گرما از قالب می تواند دبی جریان را تغییر دهد. این سیستم قادر است در لحظه پایش را انجام داده، داده های هر سیکل تولید را جمع آوری کرده و به سرور منتقل نماید که بدین ترتیب امکان تحلیل بهتر داده ها و کنترل آماری دقیق تر فرایند وجود خواهد داشت.

مقاله

پوشش‌های نانوکامپوزیتی خودروانکار
برای قالب‌های شکل‌دهی فلزات

ترجمه: محمد صادقی
شرکت تاراژوب (وابسته به گروه عظام)



در این مطالعه، ماتریس پوشش نانوکامپوزیتی CrAlN با مقادیر مختلفی از Ag آغشته شد. پوشش‌های CrAlAgN با استفاده از روش پاشش مگنترونی تقویت شده با پلاسما (PEMS) اعمال شدند. ترکیب عنصری، ساختار و خواص مکانیکی پوشش‌ها با روش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

پایداری حرارتی و مقاومت به خستگی حرارتی پوشش‌ها با استفاده از آزمایش سیکلی حرارتی ارزیابی شد که طی آن پوشش‌ها از دمای محیط تا ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد چرخه شده و تا ۱۲۰۰ سیکل مورد آزمایش قرار گرفتند. خواص تریبولوژیکی (برهم کنش سطوح) و رفتار خودروانکاری پوشش‌ها نیز با استفاده از یک تریبومتر (اصطکاک سنج) در دمای ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد بررسی شد. نتایج نشان داد که پوشش‌هایی با مقدار بهینه Ag دارای پایداری حرارتی عالی، مقاومت به خستگی حرارتی بالا و خاصیت روانکاری در دمای بالا هستند. در نهایت، نتایج اولیه آزمون‌های صنعتی بر روی یک پانچ آهنگری پوشش داده شده گزارش شده است.

● مقدمه

در فرآیندهای شکل‌دهی فلزات از قالب‌ها و ابزارهای با ارزش بالا برای تولید هزاران قطعه در هر دوره استفاده می‌کنند. خرابی قالب یک مشکل همیشگی است که

● چکیده

صنایع شکل‌دهی فلزات و ریخته‌گری تحت فشار نیاز به پوشش‌های محافظ بر روی قالب‌ها دارند تا عمر و عملکرد قالب را در دماهای بالا افزایش دهند. روانکارهای متداول به طور گسترده‌ای برای رها سازی قطعه از قالب و همچنین کمک به خنک‌سازی سطح قالب استفاده می‌شوند. با این حال، روانکاری در دماهای بالا دشوار است. اکسیداسیون و پوسته‌پوسته شدن در قطعات کاری رخ می‌دهد که منجر به سطح نهایی ضعیف و احتمال تاب برداشتن مواد در حین خنک‌سازی می‌شود.

هدف این تحقیق، توسعه یک سیستم پوشش نانوکامپوزیتی خودروانکار برای قالب‌های شکل‌دهی فلزات و بررسی رفتار خودروانکاری و مقاومت به خستگی حرارتی این پوشش‌ها در دماهای بالا است. سیستم پوشش طراحی شده شامل یک ماتریس سرامیکی متراکم است که با فازهای روانکار جامد، مانند فلزات نجیب، آغشته شده است. ساختار کامپوزیتی این پوشش دارای ویژگی‌های چندمنظوره‌ای از جمله مقاومت به سایش، مقاومت به اکسیداسیون، مقاومت به خستگی حرارتی و خاصیت خودروانکاری در دماهای بالا است.

این نوع پوشش‌های نانوکامپوزیتی دارای ویژگی‌های چندمنظوره‌ای هستند که شامل خودروانکاری، اصطکاک لغزشی پایین، مقاومت در برابر سایش و مقاومت در برابر خستگی حرارتی و ترک‌خوردگی در دماهای بالا می‌شوند. این سیستم پوششی با استفاده از تکنیک پاشش شده مگنترونی تقویت شده با پلاسما (PEMS) توسعه یافته است، که در سال ۲۰۰۹ جایزه R&D 100 را دریافت کرد.

تکنیک PEMS نسخه‌ای پیشرفته از روش معمول پاشش مگنترونی (MS) است. در روش MS شکل (۱)، پلاسما تخلیه‌ای در مقابل مگنترون‌ها ایجاد می‌شود. اما در روش PEMS (شکل b)، یک پلاسما جهانی مستقل در کل محفظه خلأ با کمک فیلامان داغ ایجاد می‌شود. مکانیسم تولید حجم زیادی از یون‌های گازی توسط فیلامان داغ از طریق گسیل ترمیونیک الکترون‌ها و یونش برخوردی قابل توضیح است. همانطور که در شکل (b) نشان داده شده، این تکنیک الکترون‌ها را از فیلامان‌های داغ تنگستن (W) جدا می‌کند. هنگامی که الکترون‌ها انرژی کافی برای غلبه بر تابع کار فیلامان‌های داغ را به دست می‌آورند، با اتم‌های گاز خنثی (مانند Ar) برخورد کرده و تعداد زیادی یون گازی از طریق یونش برخوردی تولید می‌کنند. این فرآیند، پلاسما جهانی در کل محفظه را ایجاد می‌کند که مستقل از پلاسما تخلیه مگنترونی است.

با اعمال ولتاژ بایاس روی زیرلایه‌ها، یون‌های موجود در پلاسما جهانی به سمت فیلم در حال رشد شتاب می‌گیرند و بمباران یونی تقویت‌شده‌ای را ایجاد می‌کنند. در روش PEMS، شار یونی به قطعاتی که باید پوشش داده شوند، می‌تواند بیش از ۲۵ برابر روش پاشش مگنترونی معمولی (MS) افزایش یابد. در نتیجه، چگالی، چسبندگی و خواص پوشش‌ها به طور قابل توجهی بهبود پیدا می‌کند.

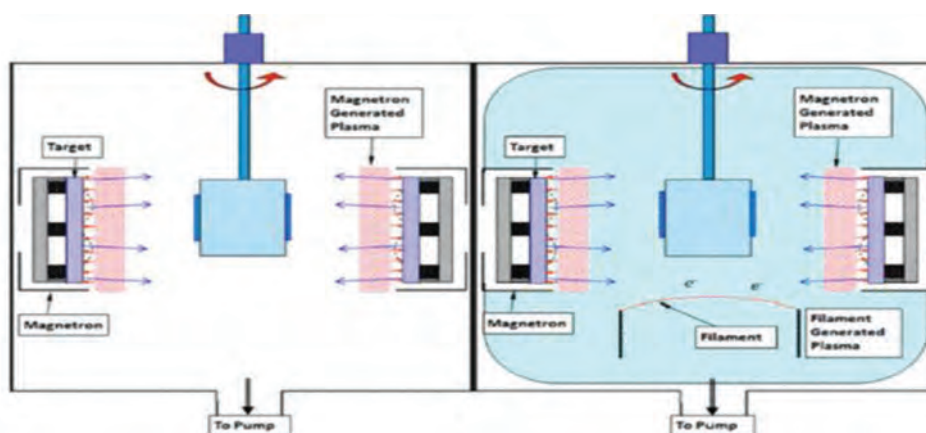
نکته مهم‌تر این است که فرآیند PEMS شار یونی بالا را با انرژی جنبشی پایین در محدوده ۰ تا ۱۰ الکترون‌ولت تولید می‌کند. این انرژی پایین یون و شار یونی بالا نه تنها باعث افزایش چگالی پوشش و ریزتر شدن دانه‌ها می‌شود، بلکه خطر جابجایی یا وارد شدن اتم‌ها به شبکه بلوری و ایجاد تنش‌های پسماند بالا در پوشش را نیز کاهش می‌دهد.

منجر به از دست رفتن سهم قابل توجهی از زمان و هزینه می‌شود. مکانیسم‌های اصلی که باعث خرابی زودرس قالب می‌شوند (و البته دلایل خرابی‌ها به آنها محدود نمی‌شود) عبارتند از فرسایش ناشی از چسبندگی و سایش، ترک‌خوردگی حرارتی و خستگی حرارتی. عملکرد و قابلیت اطمینان قالب‌ها به شدت تحت تأثیر این مکانیسم‌های خرابی قرار دارد.

در حال حاضر، بسیاری از ابزارها و قالب‌ها در صنعت شکل‌دهی فلزات با ترکیبی از نیتراسیون پلاسمایی و رسوب دهی پوشش‌های محافظ فیزیکی از طریق روش رسوب فیزیکی بخار (PVD) جهت افزایش مقاومت در برابر سایش و کاهش زمان خرابی دستگاه برای تعمیرات، پردازش می‌شوند. رایج‌ترین پوشش‌های PVD برای قالب‌ها شامل نیتريد‌های دوتایی یا سه‌تایی فلزات واسطه، مانند CrN، TiN، CrAlN، TiAlN هستند. با این حال، خرابی فاجعه‌بار و خرابی ناشی از سایش (که منجر به خروج قطعات از تolerانس مشخص می‌شود) همچنان یک مشکل عمده در خود فلز قالب محسوب می‌شود.

علاوه بر این، روانکارها بطور گسترده برای رها سازی قالب و همچنین کمک به خنک‌کاری سطح حفره قالب استفاده می‌شوند. اما روانکاری در دماهای بالا دشوار است. اکسیداسیون و تشکیل پوسته بر روی قطعات باعث کاهش کیفیت سطح، دقت کمتر در تolerانس‌ها و احتمال تاب برداشتن قطعه در حین خنک‌کاری می‌شود. استفاده از روانکار همچنین باعث افزایش زمان چرخه تولید و در نتیجه افزایش هزینه‌ها می‌شود. علاوه بر این، روانکارهای پاششی منجر به ایجاد تخلخل در قطعه می‌شوند، بنابراین کاهش استفاده از روانکار در قالب، مزایای بزرگی برای صنعت شکل‌دهی فلزات به همراه دارد.

در این مطالعه، ما توسعه و ارزیابی یک سیستم پوشش نانوکامپوزیتی خودروانکار را ارائه می‌دهیم که برای افزایش عمر و عملکرد قالب‌های دایکست در دماهای بالا طراحی شده است. این سیستم پوششی شامل یک ماتریس سرامیکی است که با فازهای روانکار جامد مانند فلزات نجیب و/یا کربن آمورف آغشته شده است. در دماهای بالا، روانکارهای جامد به سمت سطح پوشش نفوذ کرده و با کاهش اصطکاک و سایش، روانکاری را فراهم می‌کنند.



شکل ۱ - نمای شماتیک از (a) کندوپاش مگنترونی معمولی و (b) رسوب دهی به روش PEMS

از پیکربندی فرآیند رسوب دهی را نشان می‌دهد. محفظه دارای دو مگنترون مستطیلی است که به صورت عمودی روی دیواره محفظه نصب شده‌اند و در فاصله ۲۵۰ میلی‌متری از یکدیگر قرار دارند. ابعاد تارگت های کندوپاش $102 \times 298 \times 6$ میلی‌متر است. برای رسوب دهی، از هدف CrAl (با نسبت ۴۰:۶۰) و یک تارگت نقره (Ag) استفاده شد.

زیرلایه‌ها نمونه‌های فولاد ابزار گرم کار Dievar با ابعاد $10 \times 10 \times 10$ میلی‌متر و سطح کاملاً پولیش شده آینه‌ای بودند. ترکیب شیمیایی فولاد Dievar شامل: ۷٫۴۹ درصد اتمی کربن، ۴٫۶۲ درصد اتمی کروم، ۱٫۸۹ درصد اتمی مولیبدن، ۰٫۷۷ درصد اتمی سیلیکون، ۰٫۷۷ درصد اتمی سیلیسیم، ۰٫۵۷ درصد اتمی وانادیوم و ۰٫۳۷ درصد اتمی منگنز و مابقی آهن است.

این نمونه‌ها با خمیر پولیش الماسی ۶ میکرومتری تا سطح آینه‌ای پولیش شدند. پیش از قرار دادن در محفظه، تمام زیرلایه‌ها در استون و الکل تمیز شدند. همانطور که در شکل ۱b نشان داده شده است، نمونه‌ها بر روی نگهدارنده چرخشی سیاره‌ای نصب شدند. نزدیک‌ترین فاصله بین تارگت های کندوپاش و زیرلایه‌ها ۶۰ میلی‌متر بود. در طول فرآیند، نگهدارنده زیرلایه‌ها با استفاده از موتور چرخشی مرکزی با سرعت ۶ دور در دقیقه حرکت داده شد.

محفظه با استفاده از یک پمپ نفوذ (diffusion pump) تا فشار پایه کمتر از 3.0×10^{-4} پاسکال تخلیه شد. پیش از رسوب دهی، پلاسمای تولید شده توسط فیلامان داغ در ولتاژ ۱۲۰V DC- برای تمیزکاری اولیه زیرلایه‌ها استفاده

تحقیقات کاربردی انجام شده در مؤسسه SWRI نشان داده است که استفاده از این پلاسمای یونیزاسیون بالا مزایای قابل توجهی برای دستیابی به پوشش‌های مستحکم، با تنش پسماند کم و ضخامت بالا (معمولاً ۲۰ تا ۵۰ میکرومتر) دارد، که این ویژگی‌ها برای افزایش دوام پوشش‌ها در محیط‌های کاری سخت بسیار حیاتی هستند.

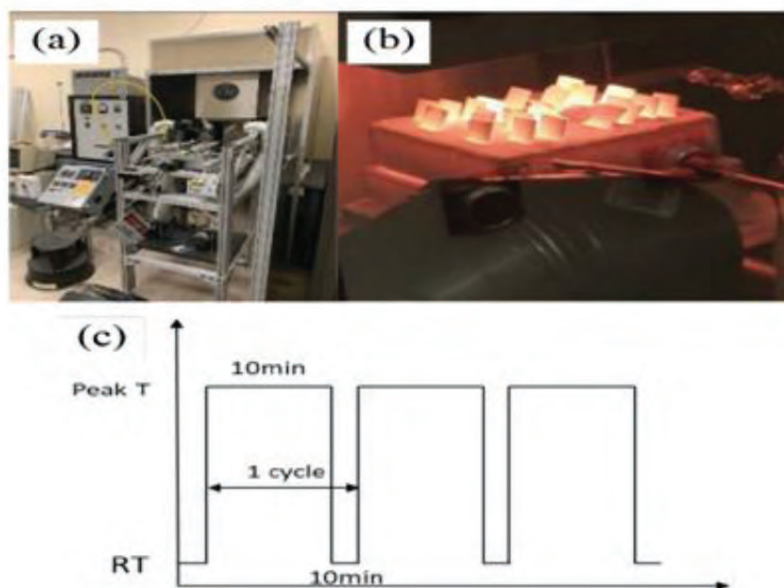
در این مطالعه، پوشش‌های نانوکامپوزیتی خودروانکار با استفاده از پوشش سرامیکی CrAlN به عنوان ماتریس، با سطوح مختلفی از (Ag) نقره) آغشته شدند. پایداری حرارتی و مقاومت در برابر خستگی/ترک خوردگی حرارتی این پوشش‌ها با استفاده از دستگاه تست چرخه حرارتی مورد ارزیابی قرار گرفت. در این آزمایش، پوشش‌ها از دمای محیط (RT) تا ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد سیکل بندی شده و تا ۱۲۰۰ چرخه مورد آزمایش قرار گرفتند.

خصوصیات تریبولوژیکی و رفتار خودروانکاری این پوشش‌ها در دماهای بالا با استفاده از تریبومتر دمای بالا ارزیابی شد. در نهایت، یک پانچ فورجینگ با پوشش بهینه شده پوشش داده شد و در آزمایش‌های صنعتی داخل کارخانه‌ای فرآیند فورجینگ مورد بررسی قرار گرفت.

• جزییات آزمایش

• رسوب دهی پوشش‌ها

رسوب دهی پوشش‌ها در یک سیستم کندوپاش مگنترونی دو کاتدی انجام شد. شکل ۱b نمای شماتیکی



شکل ۲ - آزمون چرخه حرارتی و مشخصات آن
(a) و (b) تصاویر دستگاه تست چرخه حرارتی و نمونه‌های کوپن در حین آزمایش را نشان می‌دهد. (c) پروفایل آزمون خستگی/چرخه حرارتی را نمایش می‌دهد که شامل ۱۰ دقیقه قرارگیری در دمای ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد و ۱۰ دقیقه خنک‌کاری اجباری با هوای محیط تا دمای اتاق است.

الماس ۱۵۰ کیلوگرم بود. پس از آزمون، مورفولوژی ناحیه فرورفتگی با میکروسکوپ نوری (OM) بررسی شد تا ترک‌ها و میزان جداسازی پوشش اطراف محل تست مشخص شود. نتایج آزمون بر اساس استاندارد کیفیت چسبندگی (VDI3198 (۱۹۹۱) مقایسه شد. پایداری حرارتی و مقاومت در برابر خستگی حرارتی پوشش‌ها با استفاده از یک دستگاه تست چرخه حرارتی دما بالا ارزیابی شد. شکل ۲ تصاویر دستگاه تست و نمایی از پروفایل یک چرخه آزمون را نشان می‌دهد.

در طول آزمون چرخه حرارتی، نمونه‌های پوشش داده‌شده روی یک صفحه متحرک قرار داده شدند که به وسیله یک مکانیزم حرکتی موتوری به داخل و خارج از کوره بازپخت حرکت داده می‌شود.

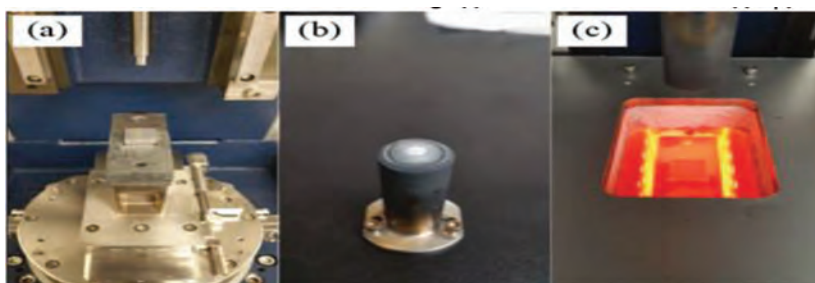
• در هر چرخه آزمایش:

۱. نمونه‌ها به داخل کوره منتقل شده و تا دمای آزمون گرم می‌شوند.
۲. پس از یک دوره قرارگیری در دمای بالا، صفحه پایین کوره پایین آمده و صفحه متحرک به بیرون از منطقه کوره منتقل می‌شود.

شد. پوشش‌های CrAlAgN از طریق کندوپاش هم‌زمان واکنشی تارگت‌های CrAl و Ag در محیط مخلوطی از گازهای Ar (آرگون) و N_2 (نیتروژن) رسوب داده شدند. توان تارگت CrAl ثابت و برابر ۴ کیلووات نگاه داشته شد، توان تارگت Ag بین ۵ تا ۵۰ وات تغییر کرد تا مقدار نقره در پوشش کنترل شود. نرخ جریان گازهای Ar و N_2 به ترتیب برابر ۱۹۰ sccm و ۶۰ sccm تنظیم شد. فشار کاری در حدود ۲ mTorr حفظ شد. ولتاژ بایاس -۶۰ V DC روی زیرلایه‌ها در تمام مراحل اعمال شد.

• شناسایی و ارزیابی پوشش‌ها

ریزساختار مقطعی پوشش‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) تحت ولتاژ شتاب‌دهنده ۱۰ کیلوولت مورد بررسی قرار گرفت. ترکیب شیمیایی پوشش‌ها نیز با استفاده از طیف‌سنجی پراکندگی انرژی پرتو ایکس (EDS) تحلیل شد. برای ارزیابی چسبندگی پوشش‌ها با استفاده از تست چسبندگی فرورفتگی راکول C (HRC) استفاده شد. برای این آزمون از یک سختی‌سنج استاندارد راکول C و یک الماس مخروطی (با زاویه رأس ۱۲۰ درجه و شعاع نوک ۰.۲ میلی‌متر) استفاده شد. نیروی اعمال‌شده روی



شکل ۳ - چیدمان آزمون سایش در دمای بالا: (a) نگهدارنده مخصوص نمونه آزمون، (b) پین متقابل گلوله ZrO_2 و (c) محفظه حرارتی.

• نتایج و بحث

ریز ساختار پوشش‌های نانوکامپوزیتی

ترکیب عنصری پوشش‌های $CrAlAgN$ با استفاده از طیف‌سنجی پراکندگی انرژی پرتو ایکس (EDS) اندازه‌گیری شد. با افزایش توان تارگت نقره (Ag) از ۵ وات به ۵۰ وات، مقدار Ag در پوشش‌ها از ۰ درصد به ۲۲ درصد اتمی افزایش یافت. همچنین، مقدار نیتروژن (N) از ۳۲.۶ درصد اتمی به ۴۵ درصد اتمی افزایش پیدا کرد. در مقابل، مقدار کروم (Cr) و آلومینیوم (Al) به ترتیب از ۱۹.۷ درصد اتمی به ۱۰ درصد اتمی و از ۴۷.۷ درصد اتمی به ۲۳.۵ درصد اتمی کاهش یافت. شکل ۴ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مقطع عرضی پوشش‌های $CrAlAgN$ را با مقادیر مختلف نقره نشان می‌دهد.

ضخامت پوشش‌ها در بازه ۱۱ تا ۱۳.۶ میکرومتر قرار داشت. تمامی پوشش‌ها ساختار دانه‌ای ستونی (columnar grain structure) را نشان دادند. پوشش‌های حاوی ۰ تا ۱۵ درصد اتمی Ag دارای ساختار ستونی متراکم بودند که معمولاً در پوشش‌های سخت PVD صنعتی مشاهده می‌شود. اما پوشش‌های با ۱۸ و ۲۲ درصد اتمی Ag دارای کاهش چگالی بودند. در این نمونه‌ها، حفرات و ذراتی بین دانه‌های ستونی مشاهده شد که ناشی از جدا شدن فازهای Ag است، زیرا Ag در شبکه $CrAlN$ حل‌نشده است.

شکل ۵ تصاویر میکروسکوپ نوری (OM) از مورفولوژی فرورفتگی‌ها پس از آزمون سختی‌سنجی Rockwell-C (HRC) را نشان می‌دهد. پوشش‌هایی با مقدار Ag کمتر از ۱۰ درصد اتمی چسبندگی بسیار خوبی نشان دادند. این پوشش‌ها بدون جداشدگی

نمونه‌ها با استفاده از دو دمنده هوای سرد تحت خنک‌کاری اجباری قرار می‌گیرند.

۴. پس از خنک‌کاری، نمونه‌ها دوباره به داخل کوره بازگردانده شده و چرخه بعدی تکرار می‌شود.

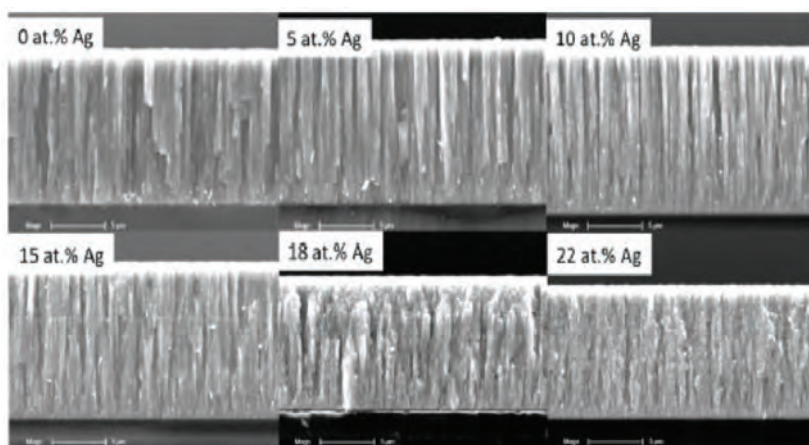
در این مطالعه، نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد درون کوره قرار داده شدند و سپس به مدت ۱۰ دقیقه برای خنک‌کاری اجباری به خارج از کوره منتقل شدند. این فرآیند در طول کل تست برای ۱۲۰۰ چرخه تکرار شد (شکل ۲).

رفتار سایشی پوشش‌ها در دماهای بالا با استفاده از میکروتربیومتر دمای بالا Bruker UMT3 در هوای محیط و دمای ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. شکل ۳ چیدمان دستگاه تست سایش در دمای بالا را نشان می‌دهد.

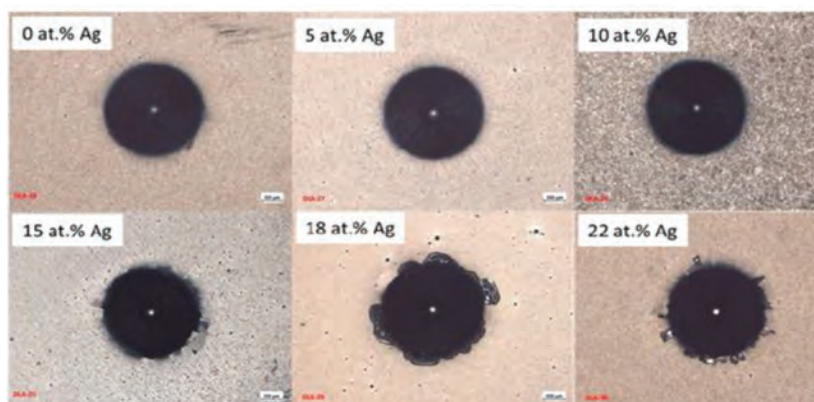
نمونه آزمون در یک نگهدارنده مخصوص نصب و در محفظه حرارتی تا دمای ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد گرم شد. نرخ افزایش دما ۱۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه تنظیم شد. ماده متقابل برای لغزش یک گلوله ZrO_2 (زیرکونیا) با قطر ۶ میلی‌متر بود.

آزمایش سایش رفت و برگشتی با حرکت گلوله ZrO_2 روی سطح پوشش تحت بار عمودی ۱ نیوتن انجام شد. کورس حرکت ۶ میلی‌متر، سرعت آزمون ۶۰ میلی‌متر بر ثانیه، مدت آزمون ۳۰ دقیقه (معادل با مسافت لغزش کل ۱۰۸ متر) بود.

در طول آزمون، ضریب اصطکاک (COF) بین گلوله ZrO_2 و سطح پوشش ثبت شد. پس از اتمام تست، مورفولوژی مسیر سایش با استفاده از میکروسکوپ نوری Zeiss Axio Observer بررسی شد.



شکل ۴ - تصاویر SEM مقطع عرضی پوشش‌های CrAlAgN با مقادیر مختلف Ag



شکل ۵ - تصاویر میکروسکوپ نوری از مورفولوژی فرورفتگی‌ها پس از آزمون سختی‌سنجی Rockwell-C برای پوشش‌های CrAlAgN با مقادیر مختلف Ag.

شکل ۶ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از سطح فوقانی پوشش‌های CrAlAgN را پس از عملیات آنیل حرارتی نشان می‌دهد. پدیده انتشار نقره (Ag) به سطح در همه پوشش‌های CrAlAgN به جز پوشش CrAlN با ۰ درصد Ag مشاهده شد. چگالی و اندازه ذرات Ag روی سطح، با افزایش مقدار Ag در پوشش افزایش یافت. در پوشش حاوی ۲۲ درصد اتمی Ag، یک لایه نقره‌ای پیوسته روی سطح تشکیل شد. این ذرات Ag به عنوان روانکار جامد عمل می‌کنند و باعث کاهش اصطکاک و سایش سطح در دماهای بالا می‌شوند.

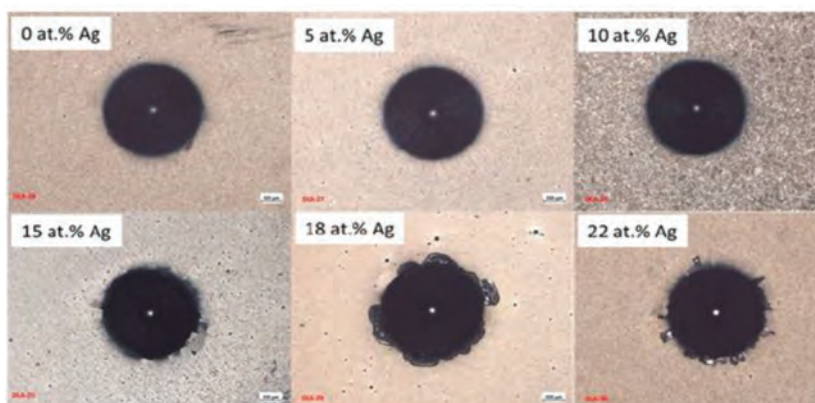
• مقاومت به خستگی حرارتی پوشش‌های نانوکامپوزیتی

مقاومت پوشش‌های CrAlAgN در برابر خستگی/ ترک‌خوردگی حرارتی بر روی فولاد Dievar با استفاده از آزمون چرخه حرارتی بررسی شد.

(delamination) بودند و تنها ترک‌های جانبی ریز (lateral cracks) در اطراف محیط فرورفتگی مشاهده شد. استحکام چسبندگی این پوشش‌ها بر اساس استاندارد VDI3198، در سطح HF1 ارزیابی شد. اما با افزایش بیشتر مقدار Ag در پوشش‌ها، چسبندگی کاهش یافت. در پوشش‌های حاوی ۱۵ تا ۲۲ درصد اتمی Ag، مقدار زیادی لب‌پریدگی (chipping) و جداشدگی پوشش در اطراف محیط فرورفتگی مشاهده شد. این امر نشان‌دهنده چسبندگی ضعیف‌تر در سطح HF5-HF6 بین پوشش و زیرلایه بود.

• رفتار خودروانکاری پوشش‌های نانوکامپوزیتی

برای بررسی رفتار خودروانکاری پوشش‌های CrAlAgN در دماهای بالا، نمونه‌ها در هوای محیط و دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲۰ دقیقه آنیل حرارتی شدند.



شکل ۶ - تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از سطح پوشش‌های CrAlAgN با مقادیر مختلف Ag پس از آنیل حرارتی در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲۰ دقیقه

افزایش بیش از حد Ag (بیشتر از ۲۰ درصد) تأثیر منفی بر مقاومت در برابر خستگی حرارتی دارد.

• رفتار سایشی پوشش‌های نانو کامپوزیتی در دمای بالا

رفتار سایشی پوشش‌های CrAlAgN با استفاده از تریبومتر دما بالا، در ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد در هوای محیط بررسی شد. یک نمونه فولاد Dievar بدون پوشش نیز برای مقایسه تحت همان شرایط آزمایش قرار گرفت. شکل ۱۰ نمودار ضریب اصطکاک (COF) و تصاویر سه بعدی نمونه‌های پوشش‌های CrAlAgN با مقادیر مختلف Ag را نشان می‌دهد که در برابر یک گلوله ZrO₂ در دمای ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد آزمایش شده‌اند. پوشش CrAlN با ۰ درصد اتمی COF، در ۱۵ دقیقه اول کم (۰.۱ تا ۰.۲) بود، اما به تدریج تا ۱.۲ افزایش یافت. سطح پوشش پس از آزمون دارای شیار عمیق و عریض، نشان‌دهنده نرخ سایش بالا بود. آزمون به دلیل افزایش شدید COF متوقف شد. تصویر سه بعدی روی سطح تخریب شدید ناشی از اکسیداسیون را تأیید می‌کند.

در نمودارهای COF، مدت زمان کل آزمایش ۳۰ دقیقه بود. در ۱۵ دقیقه اول مقدار COF در محدوده ۰.۱ تا ۰.۲ بود. باقی‌مانده که نشان‌دهنده اصطکاک کم در مراحل اولیه سایش است. پس از ۱۵ دقیقه مقدار COF به تدریج افزایش یافت و به ۱.۲ رسید که نشان‌دهنده کاهش خاصیت محافظتی پوشش در برابر سایش است. مسیر سایش روی سطح پوشش، عریض و

هر چرخه شامل ۱۰ دقیقه قرارگیری در دمای ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد و ۱۰ دقیقه خنک‌کاری تا دمای محیط بود. این آزمون شرایط واقعی فرآیند شکل‌دهی فلزات را در هوای محیط شبیه‌سازی می‌کند. تعداد کل چرخه‌های آزمون: ۱۲۰۰ چرخه.

در شکل ۷، مشخص است که نمونه Dievar بدون پوشش پس از ۱۲۰۰ چرخه حرارتی در ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد به شدت اکسید شده و دچار آسیب سطحی شده است. در مقابل پوشش‌های CrAlAgN با مقادیر Ag بین ۵ تا ۱۵ درصد، ترک‌خوردگی یا لایه‌برداری قابل مشاهده‌ای نشان ندادند.

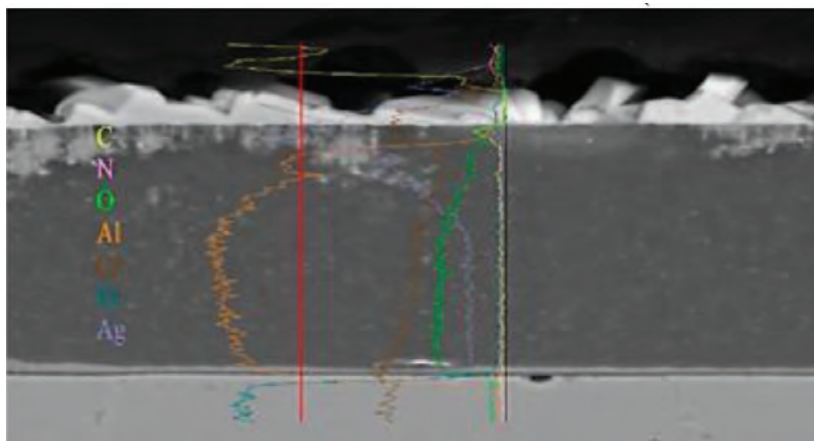
آما با افزایش مقدار Ag به ۲۲ درصد، پوشش همچنان یکپارچگی مناسبی داشته، اما مقداری لب‌پریدگی در گوشه نمونه مشاهده شد.

شکل ۸ تصویری از مقطع عرضی پوشش CrAlAgN با ۱۰ درصد Ag پس از آزمون خستگی را نشان می‌دهد. ساختار متراکم و چسبندگی عالی پوشش به زیرلایه پس از آزمون چرخه حرارتی حفظ شده است. هیچ ترک میکروسکوپی مشاهده نشد. در اسکن EDS، نقره (Ag) به میزان قابل توجهی به سطح پوشش مهاجرت کرده و یک لایه ضخیم Ag در سطح تشکیل داده است. مقدار قابل توجهی ذرات نقره درون لایه اصلی پوشش باقی مانده‌اند. هیچ لایه اکسیدی روی سطح پوشش تشکیل نشده است. که نشان‌دهنده مقاومت عالی در برابر اکسیداسیون در دمای بالاست.

نتایج آزمون حرارتی نشان داد که پوشش‌های CrAlAgN با مقدار Ag بین ۵ تا ۱۵ درصد، پایداری حرارتی و مقاومت در برابر ترک‌خوردگی حرارتی بسیار خوبی دارند.



شکل ۷ - تصویر نمونه های پوشش CrAlAgN پس از آزمون چرخه حرارتی به مدت ۱۲۰۰ چرخه.



شکل ۸ - تصویر مقطع عرضی SEM و اسکن خطی با پوشش CrAlAgN با ۱۰ درصد Ag پس از آزمون خستگی حرارتی

نفوذ کرده و در سطح پوشش پخش می‌شوند. این خاصیت روانکاری در دماهای بالا بطور قابل توجهی اصطکاک و سایش را کاهش می‌دهد. با این حال، مقدار Ag در پوشش‌های نانوکامپوزیتی خودروانکار باید به دقت کنترل شود تا از کاهش چگالی و چسبندگی پوشش‌ها جلوگیری گردد.

● آزمایش میدانی در کارخانه (In-Plant Trial)

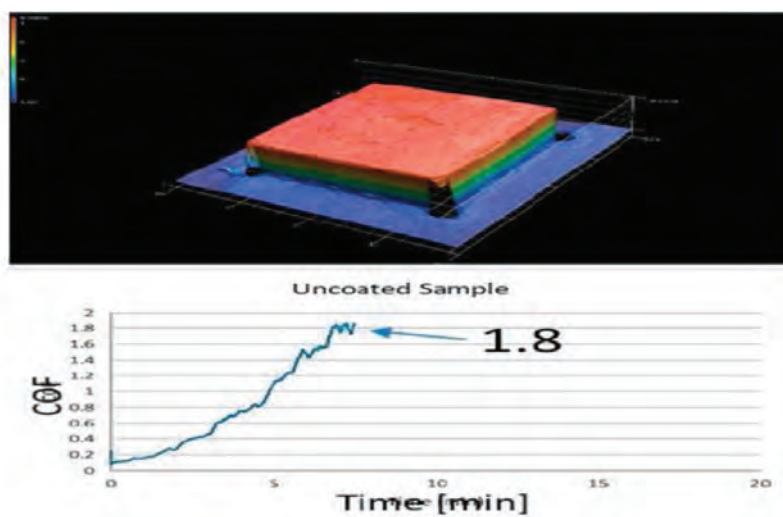
پوشش نانوکامپوزیتی بهینه‌شده با خاصیت خودروانکاری توسط شرکت Ellwood Texas Forge در یک آزمایش میدانی درون کارخانه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. شکل‌های ۱۱a و ۱۱b، تصاویر پانچ فورجینگ هیدرولیکی را قبل و بعد از اعمال پوشش خودروانکار نشان می‌دهند. در فرآیند فورجینگ هیدرولیکی، پانچ تحت نیروی یک سیستم هیدرولیکی با فشار بالا، با تناژ ۸۰۰۰ تا ۱۱۰۰۰ تن، به داخل شمش رانده می‌شود تا قطعات فلزی شکل بگیرند. دمای کوره فورجینگ در این آزمایش ۱۲۸۷ درجه سانتیگراد بود. ● جدول ۱، پارامترهای کلیدی فرآیند فورجینگ را خلاصه می‌کند.

عمیق مشاهده شد که حاکی از نرخ سایش بالای این پوشش است.

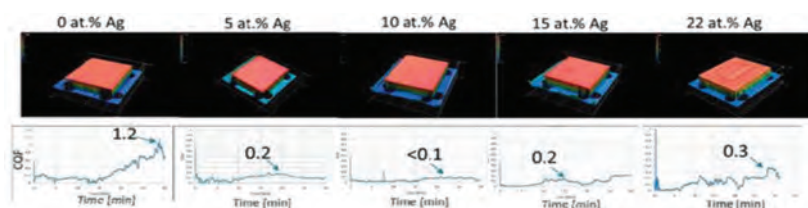
برخلاف پوشش CrAlN بدون Ag، مقدار COF و عرض مسیر سایش در پوشش‌های CrAlAgN کاهش یافت. پوشش‌های حاوی ۵ و ۱۰ درصد اتمی Ag رفتار اصطکاکی پایداری نشان دادند و مقدار COF در محدوده ۰٫۱ تا ۰٫۲، باقی ماند.

این نتایج نشان می‌دهد که پوشش‌های CrAlAgN با ۵ تا ۱۰ درصد اتمی Ag، خاصیت روانکاری عالی و مقاومت سایشی بالایی در دمای بالا دارند. با افزایش مقدار Ag به بیش از ۱۵ درصد اتمی، هرچند مقدار متوسط COF کمتر از ۰٫۳، باقی ماند، اما ناپایداری در نمودارهای COF مشاهده شد که نشان‌دهنده کاهش مقاومت سایشی این پوشش‌ها است. تصاویر سه بعدی نوری نشان دادند که پوشش‌های با Ag بالا (مثلاً ۲۲ درصد اتمی) سطحی زبرتر و میزان سایش بیشتری دارند.

نتیجه‌گیری کلی از بررسی پوشش‌های CrAlAgN: نتایج شناسایی و ارزیابی پوشش‌ها تأیید کرد که ذرات نقره (Ag) به عنوان روانکار جامد در ماتریس سرامیکی CrAlN



شکل ۹: نمودار ضریب اصطکاک (COF) و تصاویر سه بعدی نوری نمونه های بدون پوشش CrAlAgN با مقادیر مختلف Ag نشان می دهد که در برابر یک گلوله ZrO₂ در دمای ۸۰۰ درجه سانتی گراد آزمایش شده اند.



شکل ۱۰- بررسی ضریب اصطکاک (COF) و تصاویر سه بعدی نوری پوشش های CrAlAgN با مقادیر مختلف Ag در دمای ۸۰۰ درجه سانتی گراد

• پانچ دارای پوشش:

- طول اولیه: ۱۰,۹۷۴ اینچ
- عرض نوک پانچ: ۳,۸۲۴ اینچ
- پس از ۱۲۰ قطعه (نیمه عمر آزمایش):
- طول کاهش یافت به ۱۰,۸۴۴ اینچ
- عرض نوک پانچ افزایش یافت به ۳,۹۱۰ اینچ

• نتایج عملکردی

- پانچ دارای پوشش ۱۵۰٪ کاهش سایش در طول و ۲۵۰٪ کاهش انبساط در عرض نوک پانچ نسبت به پانچ بدون پوشش داشت.
- بررسی های چشمی نشان داد که پانچ دارای پوشش در نیمه عمر آزمایش هیچ گونه ترک خوردگی ناشی از خستگی یا آسیب سطحی ندارد.
- پانچ پوشش دار همچنان در حال استفاده است و تعداد نهایی قطعات قابل فورج با آن و اندازه گیری ابعادی نهایی در پایان آزمایش گزارش خواهد شد.

جدول ۱- پارامترهای کلیدی فرایند فورجینگ.

پارامتر	مقدار
دمای پیشگرم قالب بر حسب درجه سانتیگراد	۴۲۶ - ۴۸۲
دمای کوره فورجینگ بر اساس درجه سانتیگراد	۱۲۸۷
سرعت بر حسب اینچ بر دقیقه	۹۰
تناژ (تن)	۸,۰۰۰ - ۱۱,۰۰۰
زمان دفرمه شدن بر حسب ثانیه	۶
زمان فورج شدن هر قطعه بر حسب ثانیه	۵ - ۷

• نتایج اسکن ابعادی و عملکرد پانچ فورجینگ

مقایسه پانچ بدون پوشش و پانچ دارای پوشش نانوکامپوزیتی خودروانکار در آزمایش میدانی:

• پانچ بدون پوشش:

- طول اولیه: ۱۰,۹۹۹ اینچ
- عرض نوک پانچ: ۳,۸۲۴ اینچ
- پس از ۱۲۰ قطعه (نیمه عمر آزمایش):
- طول کاهش یافت به ۱۰,۶۷۷ اینچ
- عرض نوک پانچ افزایش یافت به ۴,۰۵۲ اینچ



شکل ۱۱- تصاویر پانچ آزمایشی در محیط صنعتی: (a) قبل از اعمال پوشش نانوکامپوزیتی خودروانکار و (b) پس از اعمال پوشش نانوکامپوزیتی خودروانکار.

● خلاصه

در این مقاله، یک سیستم پوشش نانوکامپوزیتی خودروانکار که برای محافظت از اجزای قالب‌های شکل‌دهی فلز طراحی شده، توسعه یافته است. این پوشش با استفاده از روش پوشش‌دهی اسپاترینگ مگنترون بهبودیافته با پلاسما (PEMS) اعمال شده است. سیستم پوششی شامل یک ماتریس سرامیکی CrAlN است که با فازهای روان‌کننده جامد (مانند Ag در این مطالعه) ترکیب شده است.

قابلیت روانکاری این پوشش‌ها در دماهای بالا (بیش از 600°C درجه سانتی‌گراد) از طریق نفوذ خودبه‌خودی نقره (Ag) به سطح پوشش حاصل می‌شود. این نقره در سطح پوشش به عنوان یک روان‌کننده جامد عمل کرده و باعث کاهش اصطکاک و سایش در دماهای بالا می‌شود. با این حال، میزان Ag در پوشش CrAlAgN باید به دقت کنترل شود تا از کاهش چگالی و چسبندگی پوشش جلوگیری شود.

پوشش‌های CrAlAgN که دارای مقدار نقره بین ۵ تا ۱۰ اتمی درصد ($\text{at.}\%$) بودند، مقاومت بالایی در برابر خستگی حرارتی نشان دادند. این پوشش‌ها پس از انجام ۱۲۰۰ سیکل آزمایش حرارتی چرخه‌ای بین 800°C درجه سانتی‌گراد و دمای محیط (RT) در هوای آزاد، خواص حرارتی مطلوبی را حفظ کردند. همچنین، این پوشش‌ها ضریب اصطکاک لغزشی (COF) پایینی برابر با

۰٫۰۸ در دمای 800°C درجه سانتی‌گراد در هوای محیط نشان دادند.

آزمایش‌های اولیه درون‌کارخانه‌ای توسط یکی از همکاران صنعتی بر روی یک پانچ فورجینگ پوشش‌دار در مقایسه با یک پانچ کنترل (بدون پوشش) انجام شد. اگرچه این آزمایش هنوز در حال انجام است، اما پانچ پوشش‌دار مقاومت سایشی بهتری نشان داده و تغییرات ابعادی کمتری نسبت به پانچ کنترل داشته است.

بر اساس این تحقیق، سیستم پوشش نانوکامپوزیتی خودروانکار پتانسیل بالایی برای کاربردهایی که نیاز به کاهش اصطکاک در دماهای بالا دارند، دارد. این سیستم پوششی می‌تواند به کاهش نیاز به روان‌کننده‌های پاششی در دماهای بالا در فرآیندهای مختلفی مانند شکل‌دهی فلزات، تسلیحات گرم و قالب‌های تزریق کمک کند.

● منابع

Jianliang Lin, Sean C. Piper, "Self-Lubricating Nano-composite Coatings for Metal Forming Dies", Die Casting Engineer, July 2024.

مقاله

تاثیر کیفیت مذاب بر ماشینکاری قطعات
دایکستی از آلیاژ $AlSi9Cu3$

ترجمه: سیامک فتحی



چکیده

در ریخته گری تحت فشار (HPDC)، قطعات ریختگی بطور معمول تحت عملیات پساریخته گری، نظیر سندبلاست، grinding و ماشینکاری قرار می گیرند. آنچه اهمیت دارد این است که عمر ابزار ماشینکاری تا حد ممکن طولانی تر باشد و این به شدت تحت تاثیر عیوبی قرار دارد که ممکن است در قطعه ریختگی حضور داشته باشند. در این کار، ارتباط بین کیفیت مذاب و قابلیت ماشینکاری آلیاژ $AlSi9Cu3$ مورد ارزیابی قرار گرفت. پیش از شروع ریخته گری، نمونه های ازمون تحت فشار پایین (reduced pressure test) جمع آوری شد تا تمیزی مذاب و میزان حضور فیلم های اکسید دولایه مورد ارزیابی قرار بگیرد. معیار اندازه گیری عمر ابزار را شکستن PCD (الماس پلی کریستالی) تعیین می کند. مشخص شد که هر گاه اندیس فیلم های اکسید دولایه بالا بود (که معنی آن سطح پایین تمیزی مذاب است) شکست زود هنگام ابزار به وقوع می پیوندد. اما، هنگامی که مذاب به شکل موثری تمیز باشد، یک ابزار ماشینکاری می تواند تا بیش از ۵۰۰ قطعه را با کمترین فرسایش ماشینکاری کند.

مقدمه

کلید واژه ها: کیفیت مذاب، فیلم دولایه (bifilm)، قابلیت ماشینکاری، ابزار برش، ریخته گری تحت فشار (HLDC)، الماس پلی کریستالی (PCD)

قابلیت ماشینکاری قطعات ریختگی بر اساس سهولت ماشینکاری شدن سنجیده می شود و به نوعی می توان آنرا به عمر ابزار نیز تعبیر نمود. بنابراین، مهمترین پارامتر، خواص فیزیکی است و در این میان سختی عاملی کلیدی است. با افزایش سختی، قابلیت ماشینکاری افزایش پیدا می کند، اما عمر ابزار کاهش می یابد. برای مثال، قابلیت ماشینکاری آلومینیوم خالص ضعیف است، چراکه نرم است و به ابزار می چسبد. آلیاژهای ریختگی سری ۳xx حاوی سیلیسیم به عنوان عنصر آلیاژی هستند. سیلیسیم مزایای بسیاری را برای آلیاژهای آلومینیوم به همراه می آورد که افزایش قابلیت ریخته گری، افزایش سیالیت و افزایش خواص مکانیکی از آن جمله هستند. از آنجاکه سیلیسیم به شکل کریستالی در آلیاژ متبلور می شود (و در آلومینیوم حل نمی شود)، قابلیت ماشینکاری را نیز

PCD ماشینکاری شدند و سایش ابزار به صورت چشمی و تحت استریواسکوپ مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی آلیاژ AlSi9Cu3 مورد استفاده در این مطالعه.

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Al
8,91	0,83	2,37	0,21	0,34	0,008	0,63	bal.

• نتایج و سگالش

در این مطالعه، قابلیت ماشینکاری آلیاژ دایکستی AlSi9Cu3 از منظر تمیزی و کیفیت مذاب مورد ارزیابی قرار گرفت و معیار آن مقدار اکسیدهای محتوی بود و آزمون کاهش فشار برای اندازه گیری کمی این شاخص بکار رفت. اکسیدهای موجود در زمینه می توانند به عنوان فازهایی سخت عمل کرده و قابلیت ماشینکاری قطعه را تحت تاثیر قرار دهند.

تصاویر شمش های در شکل ۱ دیده می شوند. همانطور که می توان دید، اختلاف معنی داری بین کیفیت سطح شمش ها وجود دارد. بعد از ذوب (شکل ۱- A)، آزمون کاهش فشار انجام و نمونه ها گرفته و مقدار اکسیدها اندازه گیری شدند. سری هایی از قطعات تولید و سپس عمر ابزار و ویژگی های مرتبط با عمر ابزار و قابلیت ماشینکاری مورد ارزیابی قرار گرفتند. پس از آن، مذاب توسط گاززدایی تمیز شد که شمش های حاصل از آن در شکل B-۱ دیده می شود. همان روش کار دوباره تکرار شد.

نمونه های آزمون کاهش فشار از مذاب ها گرفته شدند و برخی از مقاطع برش خورده را می توان در شکل ۱b دید. همانطور که دیده می شود، شمش A حفرات زیادی دارد و اندیس فیلم اکسید دولایه آن ۲۱۰ میکرومتر است. در دیگر سو، شمش B حفره قابل رویتی ندارد و اندیس فیلم دولایه آن ۸ میکرومتر است. دیسپینار اندیس فیلم اکسید دولایه را از ۰ تا ۱۵۰ میکرومتر درجه بندی کرد و نشان داد که با رسیدن این اندیس به صفر مذاب عاری از اکسیدها خواهد بود و بنابراین، کیفیت مذاب در بالاترین حد خود قرار خواهد داشت. در این مورد، نمونه A معرف یک شمش با کیفیت بد می باشد.

بهبود می بخشد. ساییده شدن باعث می شود که نیاز به تعویض ابزار داشته باشیم. روشن است که برای افزایش بهره وری مالی، مهم است که عمر بیشتری داشته باشند. همچنین، با فرسوده شدن ابزار، ابعاد نهایی و تolerانس های لازم ممکن است دچار انحراف از ابعاد و تolerانس های تعیین شده شوند. مقالات متعددی در باره فرسایش ابزار نوشته شده اند. در زمان اندازه گیری عمر ابزار بر حسب تعداد قطعات ماشینکاری شده، عامل مهم دیگری هم وجود دارد که باید مورد توجه قرار بگیرد. تمیزی مذاب نقشی اساسی در برآورد قابلیت ماشینکاری قطعات ریختگی دارد. آقایان کمپبل (Campbell) و دیسپینار (Dispinar) کاری مبسوط در زمینه کیفیت قطعات ریختگی انجام دادند. آنها نشان دادند که حضور اکسیدها اصلی ترین عامل افزایش نرخ مردودی قطعات ریختگی است. دیسپینار اندیسی را معرفی کرد که به صورت عدد می تواند کیفیت مذاب را نشان دهد. این اندیس به نام اندیس فیلم دولایه (bifilm index) شناخته می شود. واحد میکرومتر به عنوان شاخص اندازه گیری و نمایش کل اکسیدهای محتوی در مذاب بکار می رود. نرم افزار آنالیز تصویر برای بررسی سطح مقطع نمونه های RPT (یا آزمون کاهش فشار) و اندازه گیری اندازه حفره ها بکار می رود.

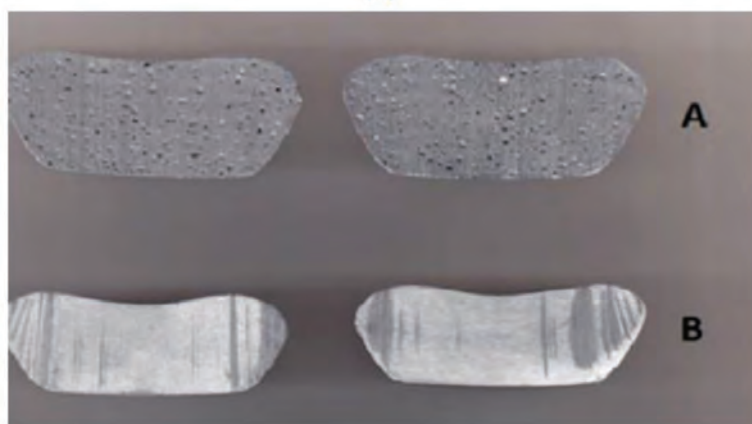
از آنجاکه اکسیدها فازهای سختی هستند و توسط آزمون کاهش فشار قابلاندازه گیری می باشند، در این کار رابطه بین کیفیت مذاب، نرخ ضایعات و قابلیت ماشینکاری قطعات دایکستی از آلیاژ Al-Si مورد مطالعه قرار گرفت. نرخ سایش و عمر ابزار اندازه گیری شد. نتایج با تمیزی مذاب و محتوای فیلم های دولایه مقایسه شدند.

• روش آزمایش

قطعه ای دایکستی از آلیاژ AlSi9Cu3 تولید شد که آنالیز آن در جدول ۱ آمده است. اختلاف بین محصولات در استفاده از شمش های تامین کنندگان مختلف بود. قطعات در دمای ۷۱۵°C و توسط ماشین دایکست ۴۵۰ تن از برند Zitai تولید شدند. نمونه های RPT به منظور اندازه گیری اندیس فیلم دولایه و ارزیابی تمیزی مذاب جمع آوری شدند. قطعات توسط ابزار



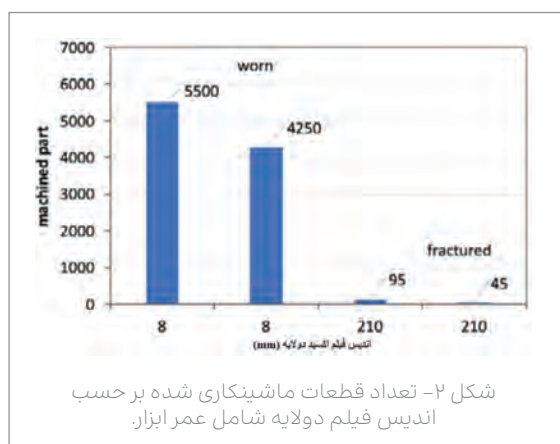
(a)



(b)

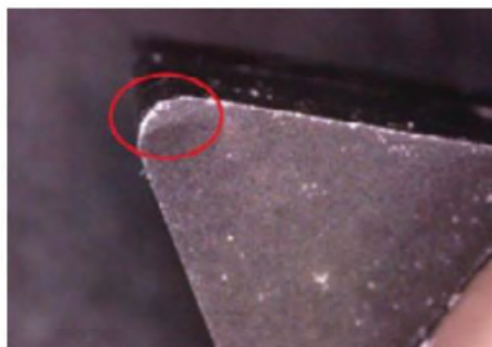
شکل ۱- (a) سطوح مختلف شمش از تامین کنندگان مختلف و (b) سطح مقطع نمونه های RPT.

نیز اهمیت دارد. وقتی که ابزار برش در خلال تولید تخریب می شود باید تعویض گردد. در چنین مواردی خط تولید متوقف شده و هزینه ها افزایش می یابد.



شکل ۲- تعداد قطعات ماشینکاری شده بر حسب اندیس فیلم دولایه شامل عمر ابزار.

نمودار نمایشگر عمر ابزار بر حسب کیفیت مذاب در شکل ۲ دیده می شود. همانطور که می توان دید، با افزایش اندیش فیلم اکسید دولایه، عمر ابزار به سرعت کاهش می یابد. عمر ابزار همواره بر حسب سرعت ماشینکاری، زاویه شیب و زاویه برش اندازه گیری شده است. اما، برای نخستین بار، رابطه بین سطح تمیزی مذاب و عمر ابزار مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجاکه اکسیدها در اثر تلاطم سطح شکل می گیرند و ساختاری تاخورد و پوشه مانند دارند، اکسید آلومینیوم یکی از سخت ترین مواد است و قابلیت ماشینکاری را مستقیماً تحت تاثیر قرار می دهد. آزمون کاهش فشار می تواند به صورت عددی شاخصی را بابت ارزیابی کیفیت مذاب ارائه دهد. کنترل سطح تمیزی مذاب نه تنها از جهت کاستن از نرخ ضایعات قطعات ریختگی مهم است، بلکه از بابت تاثیر بزرگی که بر قابلیت ماشینکاری دارد



(a)



(b)

شکل ۴- (a) دومین ابزار PCD بعد از ماشینکاری ۴۲۵۰ قطعه، (b) سومین ابزار PCD بعد از ماشینکاری ۳۵ قطعه: سطح حمله ابزار در اثر فرسایش و کار زیاد از بین نرفته است، بلکه به صورت مکانیکی تخریب شده است.

مذاب آلیاژهای Al-Si تمیزتر (و عاری از اکسیدها) باشند، کارایی ابزار برش بیشتر می شود. عمر ابزار PCD مستقیماً متناسب با کیفیت آلومینیوم مذاب است. اگر سطح تمیزی مذاب پایین باشد، زمان تولید و نرخ ضایعات افزایش و عمر ابزار به کمترین حد ممکن کاهش می یابد.

• مرجع

I. H. Kalkan, G. Zaragoza, O. Varder, G. Hizli, D. Dispinar, "Influence of Melt Quality on Machinability of HPDC AlSi-9Cu3", Alucast, April 2024.



شکل ۳- قطعات مردود به دلیل حضور فیلم اکسید دولایه که منجر به تخریب و تعویض ابزار نیز شده اند.

همانطور که در شکل ۳ می توان دید، بعد از ماشینکاری سطح حفره ها به وضوح دیده می شوند که مستقیماً ناشی از کیفیت نازل مذاب هستند. شکل ۴ هم نشان می دهد که ابزار زمانی تخریب می شوند که با این اکسیدها تماس پیدا می کنند. نتیجه

قابلیت ماشینکاری آلیاژهای ریختگی با سختی مواد سنجیده می شود، در حالیکه تغییر در ریزساختار می تواند نقشی اساسی در این ویژگی ماده بازی کند. حضور فازهای ثانوی، اندازه و توزیع ترکیبات بین فلزی نیروی برش را تحت تاثیر قرار می دهد. در این کار، برای نخستین بار، حضور اکسیدها توسط آزمون کاهش فشار اندازه گیری شد و ارتباط قابلیت ماشینکاری با سطح تمیزی مذاب مشخص شد. دریافتیم که فازهای اکسیدی قابلیت ماشینکاری آلیاژهای Al-Si را کاهش می دهند. از این رو، هرچه

گزارش

هنر تبدیل ایده‌ها به ثروت

گزارش تهیه شده توسط گروه
نویسندگی انجمن علمی محور دانشکده
مکانیک دانشگاه صنعتی شریف



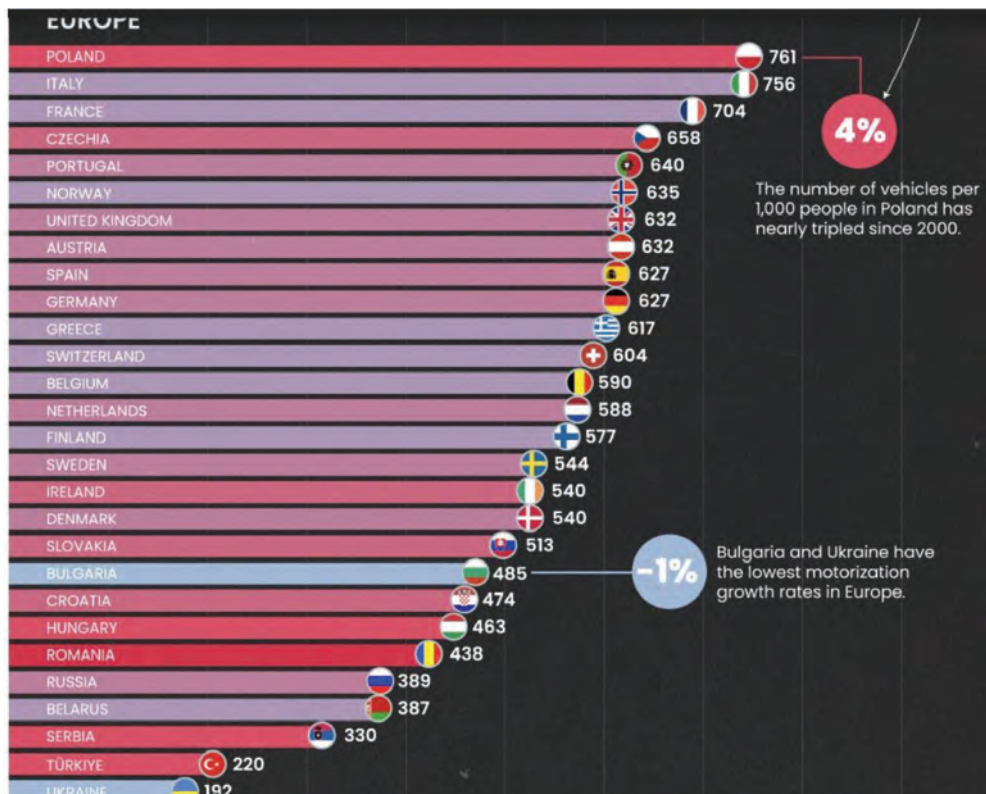
قطعات تولیدشده به روش دایکست، در سبد صنایع خودرو قرار می‌گیرد. قطعات دایکستی در قالب شاسی، درب‌ها و محفظه باتری و پوسته‌های مختلف، در انواع خودروهای بنزینی، دیزلی و برقی کاربرد دارند. با این وجود که در ایالات متحده، از هر ۱۰۰۰ نفر، ۸۰۰ نفر دارای خودرو بوده و آن ۲۰۰ نفر باقی هم عموماً واجد شرایط سنی نیستند، ارقام در کشورهای آسیایی، متفاوت ظاهر شده است. طبق آمار سال ۲۰۱۲ از هر ۱۰۰۰ نفر در چین ۵۰ نفر و در هند، تنها ۱۰ نفر خودرو داشتند. این آمار حاکی از آن است که در بخش عمده‌ای از جهان، تقاضای خودرو بسیار زیاد خواهد بود و گوی و میدان، در اختیار دایکست‌کاران است. با افزایش تولید خودرو، آن چه که بیش از پیش باعث ایجاد نگرانی می‌شود، تبعات زیست محیطی این روند است که به موجب آن،

سمینار ریخته‌گری تحت فشار (High Pressure Die Casting)، روز چهارشنبه، چهاردهم آذر ماه، به سخنرانی آقای مهندس شاهن مارکاریان و با هدف آشنایی دانشجویان و فعالان صنعتی با ریخته‌گری تحت فشار برگزار شد. این نشست با معرفی ابعاد علمی و اقتصادی صنعت دایکست و فرصت‌ها و محدودیت‌هایش آغاز شد، با بررسی قالب‌ها و ماشین‌آلات دایکست و ورود به جزئیات فرایندهای آن ادامه یافت و در نهایت با پرسش و پاسخ‌های دانشجویان و صنعتگران دغدغه‌مند و پاسخگویی آقای مهندس مارکاریان به پایان رسید.

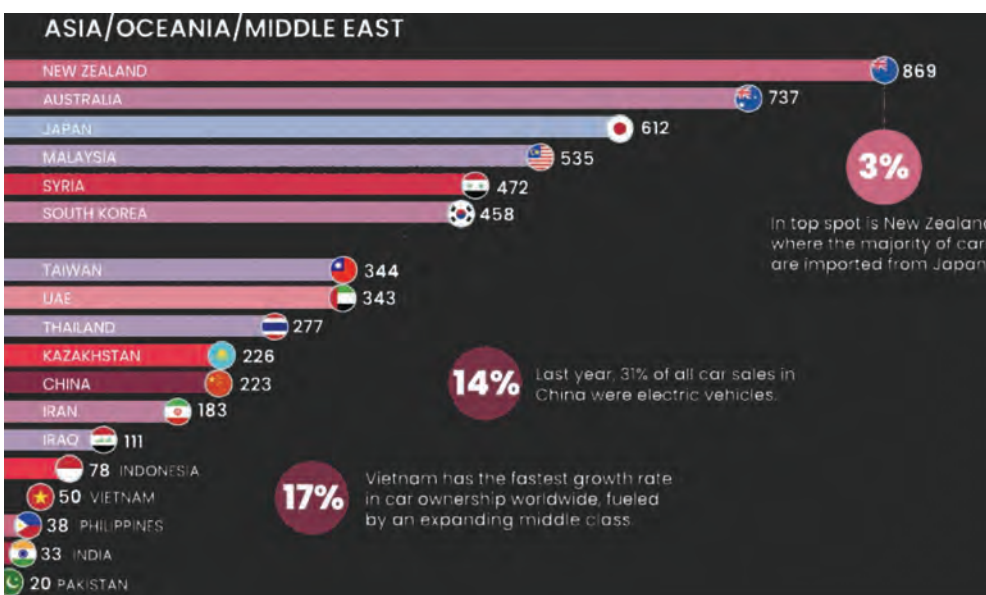
ریخته‌گری، فرایندی است که برای تولید قطعات فلزی به کار می‌رود و از پرکاربردترین روش‌های آن، می‌توان به ریخته‌گری تحت فشار (High Pressure Die Casting)، ریخته‌گری در ماسه (Sand Casting) و ریخته‌گری ثقلی در قالب‌های دائمی یا ریژه (Permanent Mold Casting) اشاره کرد که از این میان، بیشترین سهم از قطعات تولیدی فلزات غیر آهنی، به ریخته‌گری تحت فشار تعلق دارد.

● دایکست، هم‌قدم صنایع خودروسازی

صنعت خودرو، محرک صنعت دایکست به حساب می‌آید، به نحوی که حدود ۸۰ تا ۸۵٪ از



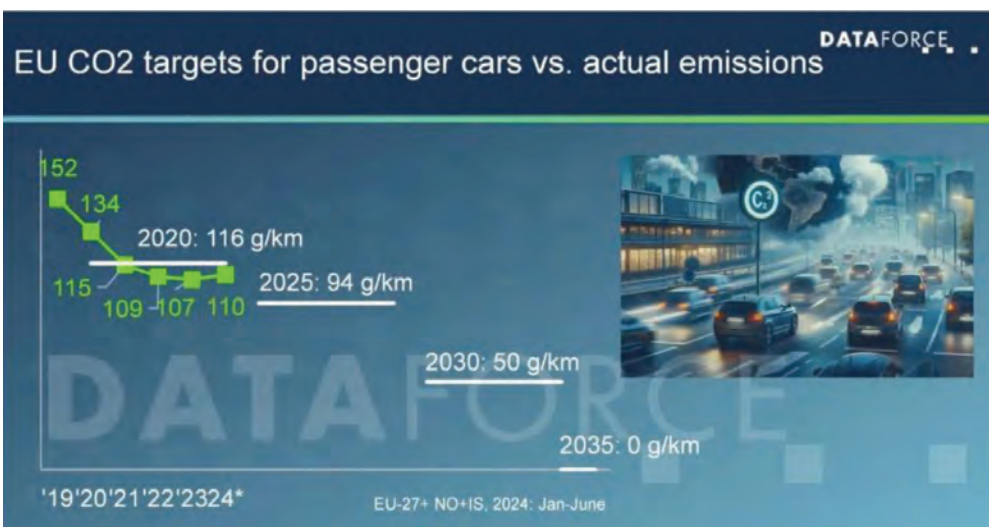
شکل ۱- نرخ مالکیت خودرو در هر هزار نفر در کشورهای اروپایی.



شکل ۲- نرخ مالکیت خودرو در هر هزار نفر در کشورهای آسیا، اقیانوسیه و خاورمیانه.

دی اکسید کربن به ازای هر کیلومتر پیمایش و در سال ۲۰۲۵، ۹۴ گرم بر هر کیلومتر تعیین شده است و این رقم تا سال ۲۰۳۵، باید به صفر برسد. چالش اصلی صنعت این است که چگونه این اهداف محقق خواهند شد؟

قانون‌گذاران صنایع خودروسازی، چالش‌هایی را پیش روی خودروسازان قرار داده و ایجاد رقابت می‌کنند. طبق استانداردها، میزان انتشار دی اکسید کربن توسط یک خودرو در سال ۲۰۲۰، ۱۱۶ گرم



شکل ۳- مقایسه هدف گذاری صورت گرفته برای حد مجاز انتشار CO2 در اتحادیه اروپا و آنچه در عمل اتفاق افتاده است.



شکل ۴- میزان CO2 منتشر شده توسط خودروسازان مختلف.

دایکستی گره‌های دیگری را نیز از صنعت می‌گشاید.

با توجه به این که امروزه خودروها برخلاف گذشته، دیفرانسیل جلو طراحی می‌شوند، مکان مرکز ثقل جرم خودرو به جلو تغییر کرده که موجب صعوبت در کنترل خودرو شده است. با استفاده از قطعات دایکستی در موتور و بدنه خودرو و کاهش وزن آن، مرکز ثقل جرم سر جای اولیه خود بازگشته و کنترل خودرو به طور خودکار بهبود می‌یابد.

خودروهای برقی، نسبت به خودروهای بنزینی و دیزلی، از لحاظ تولید آلاینده، در وضعیت آرمانی به سر می‌برند. با این حال، آن‌ها هم

لازمه تحقق کاهش آلاینده‌گی، کاهش مصرف سوخت و انرژی است که یکی از راه‌های دستیابی به آن، ایجاد تغییراتی در جنس و ساختار قطعات خودرو است. این موضوع خودروسازان را ناگزیر کرد که به جای قطعات فولادی، از آلیاژهای غیر آهنی، نظیر آلیاژهای آلومینیم استفاده کنند تا با کاهش وزن قطعات و به تبع آن، کاهش وزن خودرو از مصرف سوخت بکاهند.

ظهور آلومینیوم، مقدمه به کارگیری روش دایکست است و هر چه نیاز به این فلز بیشتر باشد، بازار دایکست کاران گرم‌تر خواهد بود. علاوه بر مشکل آلاینده‌گی، استفاده از قطعات



نیز خود عامل تهدید جدی برای محیط زیست به شمار میرود.

• فرایند دایکست

قالب دایکست معمولاً از جنس فولاد گرمکار است تا در برابر دما و فشار بالا مقاوم باشد. با تعبیه این قالب ها در ماشین دایکست، فلز

نیاز به سبک کردن خود با قطعات دایکستی دارند. این خودروها، نسبت به سایر خودروها سنگین تر هستند و موجب پخش شدن ذرات آلاینده از لاستیک های خود در هوا شده و نوعی از آلاینده را به وجود می آورند که سازندگان شان بدون سخن گفتن از آن، در صدد کمرنگ کردن رد پایش برخاسته اند. اگر چه باطری ها اسقاطی

مذاب معمولاً طی سه فاز، به درون آن تزریق شود. ماشین‌های دایکست در یک دسته بندی کلی به دو تیپ با محفظه گرم (Hot Chamber) و با محفظه سرد (Cold Chamber) تقسیم می شوند (که البته در نوع محفظه گرم فاز سوم وجود ندارد). در ماشین‌های با محفظه سرد، فلز مذاب که در کوره ذوب شده است، توسط فرد یا ربات به سیلندر تزریق اضافه می شود، ولی در ماشین‌های با محفظه گرم، اجزای تزریق در فلز مذاب غوطه ور شده و مذاب از مجرای گردن گازی، به داخل قالب جریان می یابد. سه فاز گفته شده عبارتند از: فاز اول: پس از قرار گیری مقدار معینی از مذاب در سیلندر تزریق، ابتدا پیستون با سرعتی کم، حدود ۰/۱ تا ۰/۵ متر بر ثانیه، مذاب را به جلو می راند (که باعث خروج هوای داخل سیلندرو حتی قسمتی از هوای داخل قالب به خارج از قالب می شود).

فاز دوم: هنگامی که مذاب تقریباً شکل سیلندر را به خود گرفت، پیستون با سرعتی حدود ۳ تا ۶ متر بر ثانیه حرکت کرده و مذاب را به درون قالب شوت می شود.

فاز سوم: در حین انجماد قطعه، با اعمال فشار تشدید (Intensive Pressure) در فاز خمیری، کاهش حجم ناشی از انقباض مواد داخل قالب تا حدودی جبران می شود.

• مشکلات و راهکارها در فرایند دایکست

آلیاژها و فلزاتی که در صنعت دایکست مورد استفاده قرار می گیرند، به طور عمده به آلیاژهای آلومینیم، روی و منیزیم خلاصه شده و قطعاتی را به وجود می آورند که در ابعاد چند میلیمتر تا چند متر و ضخامت های ۲ تا ۲ میلی متر و کمتر هم می رسد. با توجه به اینکه قطعات دایکستی عمدتاً ضخامت های کمی دارند، مشکل استحکام در قطعات دایکستی که به ویژه جایگزین قطعات فولادی هستند، مطرح است و عامل دیگری با عنوان تخلخل (porosity) نیز به آن دامن می زند.

تخلخل در قطعات دایکستی، به دو صورت گازی و انقباضی ظاهر شده و روی خواص مکانیکی و نشی قطعات، تأثیرات مخربی بر جا می گذارد.

استراتژی دایکست کاران برای مقابله با تخلخل گازی، حذف یا کاهش گازهای حبس شده در قالب است. آن‌ها همچنین در مقابله با تخلخل انقباضی، سعی دارند که درصد انقباض ناشی از انجماد مذاب را کاهش دهند.

جریان آشفتۀ مذاب (Turbulent Flow) با عدد رینولدز بالا، از عوامل تشدید تخلخل گازی در قطعات دایکستی است که برای کاهش اثر آن در بعضی موارد، فلز مذاب اتمیزه شده، و به قالب تزریق می شود.

اما برای کاهش گازهای حبس شده در قالب، چه می توان کرد؟ هوا در سیلندر و قالب قبل از تزریق وجود دارد. به همین سبب در فاز اول، پیستون با سرعت کم حرکت می کند تا هوای درون سیلندر به خارج منتقل شده و جلوی مذاب قرار گیرد. در ادامه فرایند، هوا باید از سیستم خارج شود تا هوا در مذاب حبس نشود. پیش بینی این عملیات، با نرم افزارهای طراحی قالب‌های دایکست میسر می شود.

ریخته‌گری تحت فشار در خلاء (Vacuum Die Casting) با مکش هوای محبوس در سیستم، قطعه را تا حد زیادی عاری از تخلخل گازی می کند. از فاز اول تا زمانی که مذاب پس از اتمام فاز سوم به حسگر خروجی برخورد کند احتمال خلا ادامه پیدا می کند. دقت حسگرهای مستقر در بخش خروجی قالب در واحد میلی ثانیه است تا مذاب پس از خروج هوا از قالب، وارد پمپ و تجهیزات اعمال خلاء نشود. متأسفانه این نوع ریخته‌گری تحت فشار به صورت امروزی، هنوز در کشور ما موجود نیست.

• قالب‌های دایکستی

قالب‌های دایکست، محل شکل‌گیری قطعه هستند و طراحی آن‌ها از اهمیت و ظرافت بالایی برخوردار است. طراحان این قالب‌ها، با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از عوامل دخیل در فرایندها و انتظاراتی که از قطعه می رود، قالب را طراحی و به صنعت عرضه می کنند.

به عنوان مثال، تغییرات مسیر در بخش ورودی قالب باید به نرمی و آرامی اعمال می شود تا مذاب دچار تلاطم نشده و به تبع آن، تخلخل کاهش یابد. تحت تأثیر این انحناها، طراحی قالب در اندازه‌های بزرگتری انجام می گیرد. در

● نرم افزارهای شبیه سازی

یکی از بهترین نرم افزارهای شبیه سازی قالب های دایکستی، نرم افزار Flow 3D است. این نرم افزار، امکان بررسی یک قالب را از ابعاد مختلف، به دایکست کار می دهد.

دایکست کار می تواند به کمک این نرم افزار، نحوه ورود مذاب به درون قالب دایکست و همچنین، اندازه و پراکندگی حباب های هوا را در طول پر شدن قالب، مشاهده کند.

بررسی سرعت مذاب و دمای قالب با اعمال برش روی قسمت های انتخاب شده، در هر زمان و موقعیت با استفاده از این نرم افزار ممکن است. تنظیمات پر شدن قسمت های مختلف قالب با راهکارهای متفاوت نیز موجود است که موجب آسیب شناسی فرایند، بدون اتلاف وقت می شود.

نرم افزار Castle تنها نرم افزاری است که دو فاز مایع و گاز را هم زمان شبیه سازی می کند. با این قابلیت، امکان مقایسه سرعت هوا و مذاب در اختیار دایکست کار قرار می گیرد تا بتواند از حبس شدن هوا و افزایش تخلخل قطعه، جلوگیری کند.

● قطعات دایکستی

شناخت ویژگی های مکانیکی قطعات، می تواند راهنمای صنعت خودرو در تعیین جنس قطعه و بهره گیری از روش دایکست باشد. شاخصه در صد ازدیاد طول (Elongation Index) یکی از این ویژگی هاست که بالا بودن آن، نشان دهنده انعطاف پذیری و جذب انرژی بالای قطعه است. در قطعات سنتی، این شاخصه ۱% بود، اما در قطعات دایکستی که در سازه خودروهای امروزی تولید می شود، این شاخص به ۱۲ تا ۱۶ درصد رسیده است. بالا بودن این شاخصه در قطعات خودرو بسیار حائز اهمیت است، چرا که در تصادفات، انرژی حاصل از ضربه قبل از منتقل شدن به سرنشینان خودرو باید توسط بدنه و سایر قطعات جذب شود.

قطعه سازه ای Shock Tower که روی گلگیر نصب شده و کمک فنر از آن عبور می کند با روش دایکست و از جنس آلومینیم ساخته می شود تا توزیع متقارن وزن آن، آسان تر محقق شود.

بخش خروجی قالب، هم زمان با افت فشار و کاهش حرارت مذاب، تغییرات مسیر عکس بخش ورودی صورت می گیرد. پر شدن یک قالب دایکستی در مدت زمان بسیار کوتاهی اتفاق می افتد. در بعضی موارد، قالب ها در چند صدم ثانیه پر می شوند که در این فرصت، باید تمام حرکات مذاب کنترل شود. این امر با پشت سر گذاشتن سه مرحله در تولید و طراحی قالب های دایکستی محقق می شود.

مرحله اول: طراحی قالب به وسیله نرم افزارهای مهندسی و مستندسازی از مراحل آن، یا Computer-Aided Design، که به اختصار CAD نامیده می شود.

مرحله دوم: آنالیز فرایند پر شدن قالب به وسیله نرم افزارهای مهندسی، یا Computer-Aided Engineering، که به اختصار CAE نامیده می شود.

مرحله سوم: تولید به کمک کامپیوتر و کنترل ابزار و ماشین آلات در فرایند ساخت قالب، یا Computer-Aided Manufacturing، که به اختصار CAM نامیده می شود.

متأسفانه در کشور ایران، اغلب به علت عدم وجود نرم افزارهای اصلی آنالیز و بررسی، مرحله CAE به درستی طی نمی گردد. البته که این مرحله، در ساخت همه قالب ها ضروری نیست. اصول مشخصی برای طراحی قالب های دایکستی موجود است و محاسبات مربوطه آموزش داده می شود.

شبیه سازی نرم افزاری و خروجی گرفتن از آن، عملیاتی بسیار وقت گیر و گران قیمت است، به گونه ای که به طور متوسط، یک رایانه ۴۸ هسته ای، خروجی شبیه سازی را ۴۸ ساعت پس از دریافت دستور تحویل می دهد. با توجه به این، طراحی قالب های ساده معمولاً با محاسبات اصولی و تجربیات حاصل از آزمون و خطا انجام می شود، اما شبیه سازی برای قالب های بزرگ و قطعات ارزشمند و پیچیده، ضروری است. در این قالب ها، فرصت اعمال اصلاحات وجود ندارد و ایجاد هر تغییری، پرهزینه خواهد بود.



شکل ۷- ماشین دایکست ۱۶۰۰۰ تن برای تولید قطعات خودروی تسلا.

فشاری مناسب، از بسته شدن آن جلوگیری می‌کند. همچنین برخی از ماشین‌های دایکست، تحت سیستم حلقه بسته (Closed Loop) عمل می‌کنند. در این سیستم، ماشین پس از هر تزریق، وضعیت خروجی را بررسی کرده و به طور مداوم، آن را اصلاح می‌کند که با وجود این امکان، خطای دستگاه کاهش می‌یابد.

به دلیل فشار بالایی که برای تزریق فلز مذاب به داخل قالب استفاده می‌شود، برای نگه داشتن دو نیمه قالب در کنار هم، به نیرو قفل زیادی نیاز است. این نیرو طی ۱۰ سال اخیر از ۲۵۰۰ تن به اعداد خیره کننده ای رسیده و امروزه ماشین‌هایی با نیروی قفل تا ۹۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰ تن در حال سرویس دهی و تولید قطعات هستند. بیشترین نیروی قفل در ماشین‌های دایکست موجود در جهان تا کنون، ۱۶۰۰۰ تن است. هر چه نیروی قفل ماشین بیشتر باشد، قالب‌های بزرگتری در ماشین جا گرفته و امکان ساخت قطعات شاسی و بدنه فراهم می‌شود. شرکت تسلا با بهره گیری از ماشین‌های گیگاکست با نیروی قفل بالا، شاسی ماشین‌های خود را از سه تکه دایکستی می‌سازد. هر ماشین دایکست، منحصر به یک قالب خاص نیست و قالب‌هایی با نیروی قفل مورد نیاز و ابعاد مشابه، می‌توانند توسط یک ماشین دایکست پر شوند.

این قطعه با شاخصه EI بین ۱۲ تا ۱۶ درصد تولید می‌شود.

قربلیک فرمان در خودروهای داخلی، تا سال‌های گذشته از جنس فولاد ساخته می‌شد و کیسه هوا (Air Bag) روی آن قرار می‌گرفت. فولاد، شاخصه EI پایینی دارد و انرژی حاصل از ضربه را به ستون فقرات انسان منتقل می‌کند. از این رو، تصمیم بر ساخت آن به روش دایکست و از جنس آلایژ منیزیم گرفته شد. منیزیم با شاخصه EI بالا، انرژی حاصل از ضربه را صرف تغییر شکل خود کرده و از انتقال آن به ستون فقرات انسان جلوگیری می‌کند. درب اتومبیل پورش ۹۱۱ توربو نیز که تا چندی قبل از جنس فولاد، ۱۵ تکه و با وزن ۱۷/۵ کیلوگرم تولید می‌شد، امروزه تنها از ۵ قطعه و با وزن ۱۰/۳ کیلوگرم تولید می‌شود.

ماشین‌های دایکست

ماشین‌های دایکست وظیفه تزریق مذاب به درون قالب را برعهده دارند. این ماشین‌ها، به دو گروه محفظه گرم (Hot chamber) و محفظه سرد (Cold chamber)، تقسیم می‌شوند که اساس انتخاب هر قالب برای تزریق گرم یا سرد، نقطه ذوب فلز به کار رفته است.

با توجه به تکرار شونده‌گی تولید در فرایند دایکست و سرعت بالای تولید قطعات، این ماشین‌ها مجهز به سنسورهای هستند که هنگام جا ماندن قطعه در قالب، با اعمال

• تولید قطعه یا ثروت؟

چین، بزرگترین تولیدکننده قطعات ریخته‌گری جهان است و روند تولید آن از گذشته تا کنون، رشد چشم‌گیری داشته است. بعد از چین، اروپا و ایالات متحده عنوان‌دار تولید این قطعات، به ویژه قطعات دایکستی هستند. اما در صنعت دایکست، ثروت از قطعات بزرگ به دست می‌آید. اروپا و ایالات متحده با وجود قرارگیری در جایگاه دوم و سوم، تسلیم چین نشده و در ثروت‌سازی از این صنعت، پیشگام هستند (هرچند هم اکنون چین هم به این روند پیوسته است). یک واحد دایکستی در چین در سال ۲۰۱۱ به طور متوسط ۴۱۶ تن آلومینیم مصرف می‌کرد، درحالی‌که این رقم در آلمان، به ۲۲۰۰ تن می‌رسید. تولید قطعات بزرگ در تیراژ بالا با بهره‌گیری از روش دایکست، تبدیل به سکوی پرتاب خودروسازی غرب شده است، به گونه‌ای که به ازای هر دستگاه دایکست، یک میلیون و ۲۰۰ هزار دلار فروش صورت می‌گیرد. شرکت تسلا با کمک ماشین‌های گیگاکست، سالانه ۱٫۷ میلیون دستگاه خودرو تولید کرده و با هر ماشین، ۳۰۰ ربات را از خط تولید حذف می‌کند. این در حالی است که ۳۷ شرکت خودروساز ایرانی در مجموع، قادر به تولید تنها ۱٫۱ میلیون دستگاه خودرو در سال هستند. این آمار، بیانگر تفاوتی آشکار در روند خودروسازی جوامع است. فقط حدود ۱ درصد از قطعات خودروهای ایرانی از جنس آلومینیم هستند، اما در مقابل، ۹ درصد از قطعات خودروهای آمریکایی را آلومینیم تشکیل می‌دهد؛ و خودروهای آلمانی با ۱۵ درصد در بهره‌گیری از آلومینیم رکورد شکنی کرده‌اند. اعداد و ارقام موجود، نشان می‌دهند که در حال حاضر صنعت دایکست در کشور ما، اشباع نشده و در محدوده اقیانوس آبی قرار دارد. همچنین جای رشد و پیشرفت علمی و اقتصادی در آن فراوان است. حتی در ایالات متحده نیز بزرگ‌ترین چالش دایکست‌کاران به

گفته خودشان، جذب و نگهداری نیروی کار است.

به یک دایکست‌کار خبره و مسلط، حقوق بالایی در سطح جهان تعلق می‌گیرد. به عنوان مثال، متوسط حقوق دریافتی یک ناظر تولید، ۱۵۰ الی ۱۶۰ هزار دلار در سال است. مشاغل موجود در دایره صنعت دایکست شامل کنترل کیفی، نظارت، طراحی ابزار (قالب، ماشین‌آلات و...)، مدیریت تولید، اپراتور، مدیریت پروژه، توسعه محصول، کارشناسی فنی، مدیریت آموزش و مهندسی صنعتی است. در بخش مهندسی صنعتی دایکست، مهندسين مکانیک، برق، صنایع، متالورژی و شیمی به کار گرفته می‌شوند.

• خطاب به شریف

فرصت‌های تولید ثروت از دایکست، در صنعتی شریف وجود دارد و باید توسط مسئولین و دانشجویان، جدی گرفته شود. حال که صنعت دایکست در کشور ما، در مقیاس کوچکی نسبت به جهان دنبال می‌شود و در حال حاضر، ظرفیت‌های صنعتی به گستردگی موجود نیست، شریف می‌تواند با تهیه نرم‌افزارهای اصلی دایکست و انجام پروژه‌های طراحی و آنالیز، به دایکست‌کاران خدمات ارائه کرده و از این طریق، تولید ثروت کند.

انجمن دایکست ایران در تلاش است تا ارتباط خود را با دانشگاه صنعتی شریف، به خصوص دانشکده مهندسی مکانیک، حفظ کند و پذیرای دانشجویان در دوره‌های کوآپ، کارآموزی، پروژه‌های لیسانس، فوق لیسانس و دکتری باشد.

دانشجویان صنعتی شریف، می‌توانند با مراجعه به سایت انجمن دایکست ایران به نشانی www.idca2011.com از فراخوان‌های ثبت نام در دوره‌های آموزشی و یا تاریخ و محل برگزاری نمایشگاه‌ها مطلع شده و با انجمن دایکست ایران در تماس باشند.

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

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



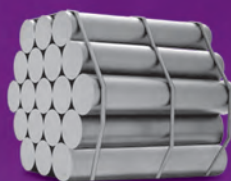
صنایع نگین آلومینیوم گلپایگان Negin Aluminium Golpayegan

همچون نگینی در صنعت آلومینیوم کشور

دارای گرید A
خودروسازان
معتبر داخلی



■ نیمکره آلومینیومی



■ بیلت آلومینیومی



■ شمش آلومینیومی

■ تولید آلیاژ آلومینیوم به صورت
شمش، بیلت و پیگ هزار پوندی

■ تولید نیمکره آلومینیومی
(جهت اکسیژن زدایی در فولاد)

■ تامین و توزیع مواد اولیه
مرتبط با صنعت آلومینیوم

دفتر تهران:

بلوار آیت الله کاشانی، بین وفا آذر شمالی
و عقیل پلاک ۳۴۸، طبقه ۳، واحد ۱۰

تلفن:

۰۲۱-۴۹۱۵۴۰۰۰

کارخانه:

گلپایگان، شهرک صنعتی گلپایگان،
خیابان تعاون ۲، پلاک ۲۰۲

تلفن:

۰۳۱-۵۷۰۳۰

www.negincompany.com

@neginaluminium

خدمات ما

سامانه پیامکی فروش

+۹۸ ۱۰۰۰۴۸۰۶۷

آپ نگین همراه





شرکت دانش بنیان ارغوان کیمیاگران
نصف جهان

تخصص

دانش

مهارت



شرکت دانش بنیان ارغوان کیمیاگران نصف جهان
تولید کننده رها سازها و روانکارهای صنایع ریخته گری
مستقر در پارک علم و فناوری شهرک علم و تحقیقات اصفهان

☎ ۰۹۱۳۷۳۷۴۶۳۷

☎ ۰۳۱۳۳۹۳۲۴۴۴

🌐 arghavanlub.com

✉ info@arghavanlub.com



عضو شهرک علمی و تحقیقاتی اصفهان



شرکت ذوب آلومینیوم آذر صنعت گلیایگان

برترین واحد خصوصی تولیدکننده شمش های آلومینیوم آلیاژی

دارنده استاندارد های مورد تایید صنعت خودروسازی:
IATF 16949

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: ۹ - ۴۸۸ ۴۸ ۵۷۲ - ۳۱ ☎ دفتر تهران: ۰۵ ۴۴ ۵۷ ۵۶ - ۲۱

☎ تلفن کارخانه: ۴ - ۳۲ ۷۱۸ ۵۷۲ - ۳۱ ☎ تلفن واحد بازرگانی: ۰۶ ۹۱۳۴۳۳۸۴

www.Alazarsanat.com

azar.s.co@gmail.com 📧



Derakhshan Ghetesaze Sepahan Co.

- High Pressure Aluminum Die Casting
- Production of Aluminum Alloys
- Machining

گروه صنعتی درخشان قطعه ساز سپاهان

- ریخته گری تحت فشار (دایکست) آلومینیوم
- تولید انواع آلیاژهای آلومینیومی
- ماشینکاری



دریافت تندیس برند برتر تولیدکنندگان قطعات دایکست از
سندیکای آلومینیوم ایران



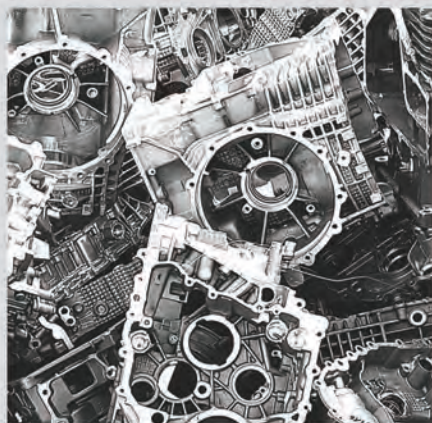
اصفهان، نجف آباد، شهرک صنعتی منتظریه

www.DGS-CO.COM

NAB CO.

UNIQUE ALLOY INDUSTRIAL

تولیدکننده آلیاژهای آلومینیوم



**QUALITY
WORKS**
THAT NEVER FAILS



PROVIDES
**TOP
QUALITY
PRODUCTS**
AND SERVICES



WE STAND HERE FOR OUR

**BEST
WORK**

۰۲۱-۵۶۲۳۲۹۸۰ ۰۲۱-۵۶۲۳۲۹۸۴ ۰۲۱-۵۶۲۳۶۹۳۴

آدرس: شهرک صنعتی شمس آباد بلوار نخلستان - خیابان

www.naballoy.com

گلشید ۱۱ - پلاک ۸

