ریخته گری مداوم| ریخته گری پیوسته

ریخته گری شمش ها به طریقه تکباری از نظر مشخصات متالوژیکی ، تکنولوژیکی و تولیدی دارای نارسایی ها و نقایص عمده ای اســت که تبدیل شــرایط انجماد و افزایش کمیت و کیفیت تولیدی را ایجاب می نماید و در هر یک از شــاخه های متالورژی آهنی و غیر آهنی ، مهمترین مباحث تولیدی بر انتخاب بر آیند مطلوب از سه عامل متالورژی ، تکنولوژی و اقتصــاد قرار دارد . در شــمش ریزی که به تولید محصــول نیمه تمام می انجامد ، بســیاری از عیوب و نارسایی های تولیدی ، هنگامی مشخص می گردند که کار مکانیکی نظیر نورد ، پتکاری ، پرس ، فشار کاری و ... بر روی قطعه انجام گرفته است و کار و هزینه بیشتری صرف شده است و همین مطلب دقت و کنترل در تولید شمش ها را لازم می دارد .

خواص شــکل پذیری مکانیکی آلیاژها ، مستقیماً " به نرمش Ductility و تا و Strength آنها بستگی دارد و این دو مشــخصه نیز شدیداً " تحت تاثیر ساختار شمش ، همگنی و یا ناهمگنی دانه های بلوری ، مک حفره و جدایش قرار دارد . مهمترین مشخصات مورد لزوم در ساختار شمش ها عبارتند از

الف) ریز بودن دانه ها

ب) گرایش دانه ها از ستونی به محوری

پ) همگن و هم اندازه بودن دانه ها

ت) نازک بودن مرز دانه ها

ث) همگنی شیمیایی و فقدان جدایش های مستقیم یا معکوس

ج) کاهش مک انقباضی و نایچه

چ) همگنی در اندازه ، شکل و پخش مک های انقباضی

ح) کاهش مک های انقباضی پراکنده

خ) کاهش و حذف مک های گازی و ریز مک ها

د) حذف و کاهش ترک های درونی و سطحی

ذ) کاهش مقدار آخال و سرباره

از مباحث قبل و آنچه که در فصـول مربوط به انجماد گفته شـده اسـت ، چنین اسـتنتاج می گردد که عیوب و نارسـایی های متالولوژی ، ناشی از فقدان شرایط لازم برای سرد کردن و قدرت سرد کنندگی قالب ها می باشد که نوع آلیاژ و شکل و اندازه شمش نیز در حصول به نتیجه دلخواه اثرات قابل توجهی دارند. از نظر تکنولوژیکی و تولیدی نیز ، کندی و آهسـتگی ، نیاز به مکان و فضـای وسیع ، دور انداز و برگشتی ها ی شمش (در هر دو قسـمت فوقانی و تحتانی) افزایش تعداد کارگر و محدودیت در اندازه شـمش ، عوامل دیگری محسـوب می شوند که روشهای تکباری را محدود و برای صنعت پویای امروز نا کافی میسازند.

تحلیل عملی معایب و نیاز روز افزون به افزایش تولید ، به اصـلاحاتی در روش های تکباری منجر گردید که نیازمندی های علمیو تولیدی را کفایت نمی نمود. روش ریخته گری مداوم و یا شـمش ریزی مداوم بر اسـاس سـرد کردن مستقیم تختال یا شمشال ، با طول های تقریباً محدود و زمان بار ریزی نامحدود ، فرآیند جدیدی اسـت که قسـمت اعظم نیازمندیهای فوق را برآورده ساخته و گسترش تکنولوژیکی و متالوژیکی آن هنوز ادامه دارد .

هر گاه روش یا فرایند جدیدی وارد صنعت گردد ، سال های متمادی ، بدون آنکه طرح اصلی و مکانیسم عمده آن تغییرات فاحشـی پیدا کند ، مشـمول تحقیقات وسـیعی از دیدگاههای مختلف می گردد که به تحصـیل محصولاتب بهتر و برتر می انجامد ، مانند تغییر مواد قالب ، سیستم خنک کنندگی ، مبرد و آبگرد که در شمش ریزی تکباری انجام گرفته اسـت . هنگامی میرسـد که طرحی کاملاً جدید و فکری نو و سیستمی کاملاً متفاوت ابداع و اظهار می شود . در این حال ، چنانچه روش جدید ، بتواند نظر محققان و تولید کنندگان دیگر را جلب کند و یا پیش بینی تحول های جدیدی بر آن مترتب شـود ، مسید تحقیقات و بررسیهای به طرف سیستم جدید گرایش یافته و کلیات آنها در روش جدیدی متمرکز می گردند . بدیهی اسـت گاه ممکن اسـت یک نظریه و یا

طرح جدید ، برای سالیان دراز مسکوت بماند ولی چنانچه آن طرح بر موازین علمی استوار باشد و شرایط لازم عملی را در نیازهای صنعتی پیدا کند از لابلای تاریخ علمی بیرون کشیده می شود .

تغییر روش شمش ریزی از تکباری به مداوم ، شاهدی بر بیان فوق است ، زیرا تا قبل از آشنایی با مزایای ریخته گری مداوم ، شاهدی بر بیان فوق است ع زیرا تا قبل از آشنایی با مزایای ریخته گری مداوم ، همواره تحقیقات در اجزاء روش تکباری از نظر قالب ، انداز ته سر ، روش سرد کنندگی ، سیستم آبگرد ، و نظایر آن بعمل می آید و موفقیت هایی را نیز ره دنبال داشت . پس از تدوین علمی و استخراج نتایج تولیدی شمش ریزی مداوم تقریباً بیشتر تحقیقات و هزینه های مربوط متوجه این روش گردید در حالیکه استفاده از روشهای شناخته شده تکباری هنوز در مقیاس وسیعی ادامه دارد .

شمش ریزی مداوم ، روش جدیدی است که هر جند ایده و طرح های اولیه آن به زمان بسمر "Bessemer" و سال های 1840-1850 مربوط می شود ، ولی عمر کاربردهای صنعتی آن از 50 سال بیشتر نیست . از طرف دیگر ، گشترش تکنولوژی جهانی سبب شده است که تحقیقات و طرح های مستقلی در کشورهای جهان ارائه شود و تنوع فاحشی را در انواع روش های ریخته گری مداوم پدید آورد بطوریکه مجموع طرح های ثبت شده در این مورداز 500 نوع نیز متجاور

مکانیسم سرد کردن

در حقیقت مهم ترین وجه تمایز روش های مداوم ریزی بر روش های تکباری ، سرد کردن سریع و گاه بدون واسطه شمش یا محصول است که عمده مختصات متالوژیکی از این مکانیسم ناشی می گردد . استفاده مستقیم از آب جاری ، آب فشان آب اتمیزه (پودر شده) ، مخلوط آب و روغن مهمترین روش های سرد کنندگی را حاصل نموده اند ، در این حال استفاده از قالب یا هر محفظه نگاهدارنده به منظور انجماد اولیه و ایجاد استحکام در پوسته لازم به نظر می رسد . در حقیقت تنوع قالب و مکانیسم های سرد کردن را نمی توان از هم تفکیک نمود از هم تفکیک نمود چه تاثیرات هر یک بر دیگری کاملاً به اثباط رسیده است . تاثیر قالب و یا هر محفظه نگاهدارنده در انجماد اولیه و تا و پوسته کاملاً شناخته شده است و در برخی از موارد کل انجماد در برخوردهای

مذاب و قالب انجام میگیرد و قسمتهایی جزیی و درونی به سرد کنندگی شدیدی نیاز ندارند . در هر صورت حرارتی ، تاو ، و مقاومت به فرسایش و خورندگی در قالب ها از اهمیت ویژه ای برخور دارند . ولی در شمش های حقیقی عموماً سیستم سرد کنندگی ثانویه ، همراه با سیستم اولیه " قالب " شرایط تکمیلی فرایند انجماد را حاصل می کنند .

با توجه به آنکه شمش ها ۀ عموماً محصول نیمه تمام تعریف شده اند و همواره پس از ریخته گری تحت عملیات مکانیکی نورد ، پتکاری ، فشار کاری ۀ مفتول کشی و ... قرار می گیرند ، در بسیاری از واحدهای تولیدی ، روش کار به گونه ای است که شمش قبل از سرد شدن کامل به قسمت نورد که در ادامه واحد ریخته گری قرار دارد منتقل شده و تمام و یا قسمتی از تغییر شکل بر روی آن انجام می گیرد . کاربرد همیشگی شمش ها در تغییر شکل ها و بخصوص تغییر شکل و نورد های منجر به تهیه ورق ، صفحه و تسمه باعث گردیده است که از نظر طراحی و تولیدی سعی شود که فاصله قسمت شمش ریزی و نورد کوتاه شده و حتی در هم ادغام شوند همین موضوع به طرح های مداوم ریزی در قالب های دورانی متحرک ، تسمه ریزی و ورق ریزی مستقیم منجر گردیده که در همین فصل درباره آنها سخن گفته خواهد شد و در همین حال وجه تمایز کاربرد ریخته گری مداوم و یا مداوم ریزی با شمش ریزی مداوم مشخص خواهد شد .

مکانیسم حرکت

بیرون کشی مداوم شمش یا صفحه از قالب ، طرح ها و روش های گوناگونی را پدید آورده است . در انواع طرح های موجود و ماشین های مورد استفاده می توان به دو روش اساسی اشاره کرد که بر مبنای قالب ثابت و قالب متحرک طراحی شده اند . در قالب ثابت ، بیرون کشی شمشال یا تختال ، متضمن استفاده از سیستم های هیدرولیکی ، غلتکی و چرخ دنده ای است در حالیکه در قالب متحرک ، حرکت نسبی قالب و شمش ، باعث می گردد که شمش یا صفحه در مراحل اولیه همراه با قالب و پس از زمان معین که به چرخه " Cycle " مربوط است توسط مکانیسم های دیگر بیرون کشیده شود .

مکانیسم جدا کردن و انتقال

در مداوم ریزی بر حسب طول شمشال یا تختال و یا تعیین زمان انجماد کامل قطعه ، فضای اضافی برای حرکت محصول لزوم پیدا می کند . هر گاه حرکت مستقیم عمودی یا افقی باعث گسترش فضای طولی یا عمقی گردد ، ممکن است تغییراتی را در جهت حرکت ایجاد نمایند . پس از آنکه طول لازم شمشال تعیین گردید ، بریدن و جدا کردن ، با وسایل مختلف برشی انجام گرفته و سپس محصول به قسمتهای دیگر انتقال می یابد . در تسمه ریزی و ورق ریزی ، برش قطعه با طولی معین لزومی نداشته و عموماً " صفحات را " قرقره " نموده و برش و تعیین اندازه های مناسب در نورد انجام می گیرد .

تاریخچه تحولات در مداوم ریزی

مداوم ریزی رشته ای جدید در صنایع ریخته گری و ذوب محسوب می شود و آغاز تاریخ آن را عموماً " به زمان " هانری بسمر " Bessemer " و سال 1846 مربوط می سازند ، در حایکه در این مورد اختلاف نظرهای جزیی نیز وجود دارد و برخی G.Sellers در سال 1840 و عده ای John Laing در سال 1843 را پایه گذار صنایع مداوم ریزی محسوب داشته اند . مسلم آنکه بسمر در سال 1846 ، عقاید و اصول طرح را حداقل به مدت 30 سال بدون توجه بر کنار ماند ، امروزه می توان مادر صنعت صفحه ریزی و تسمه ریزی و حتی شمش ریزی مداوم دانست که بدون نیاز به قالب معین و معمول ، مستقیماً ورق یا تسمه را تولید می کند .

طرح بسمر بر اساس بار ریزی در بین دو غلطک آبگرد و بیرون کشی ورق یا تسمه قرار داشت . نکته مهم در طرح بسمر ، ترکیب و تلفیق مناسب و توامی ریخته گری و نورد می باشد و بدینگونه بسمر در مقیاس کوچک تولیدی به تهیه ورق دست یافت که از نظر اقتصادی و تجهیزات تولیدی زمان نمی توانست مورد توجه قرار گیرد بسمر معتقد بود که روش نورد شیشه در حال خمیری می تواند بسهولت برای فلزات زود ذوب نظیر سرب و قلع به کار برد و آزمایشات خود را را بر این اساس شروع نمود و حدود 10 سال بعد موفق به تهیه ورق اهنی به طول یک متر گردید .

روش بسمر در سال 1872 بوسیله W.Wiknson و Ge.Taylor و در سال 1874 بوسیله Goodale J. با طرح ماشین تسمه ای و باررریزی در فاصله بین دو نوار فولادی تغییر گردید و در سال 1885 توسط Lyman به باررریزی بین تسمه و غلطک (فولادی) تبدیل یافت ، در سال 1879 توسط Tasker روش جدیدی را که به جای تولید ورق و تسمه به تولید شمشال و تختال می انجامید پایه گذاری نمود که از آن به عنوان اولین نمونه های شمش ریزی حقیقی یاد می شود . در این روش مذاب در یک قالب باز با سیستم آ بگرد ریخته شده و با رریزی و بیرون کشی قطعه مداوماً انجام می گیرد. روش تاسکر توسط دیگران و از جمله Trots در قرن نوزدهم و توسط jonghouns و Rossiو kondic و walone در سالهای 1930 و 1950 تعقیب و اصلاحیه های یا تغییراتی بر آن مترتب گشت که امروزه تحت عنوان شمش ریزی مداوم و نیمه مداوم یکی از مهمترین روش های تولید شمش را در بر می گیرد .

در سال H.W.lash 1898 روش جدید شمش ریزی مستقیم از کوره را ابداع نمود که توسط Eldred و بسیاری دیگر از پژوهشگران تعقیب گردید . این روش تحت عنوان شمش ریزی بسته یا افقی Closed Mould c.c. مورد استعمال متعدد یافته است . تاریخچه مختصر فوق نمایانگر آن است که فقط تا سال 1900 تکنیک و روش های متفاوتی در مداوم ریزی پدید آمده است . و تکامل و گسترش تکنیک و روش آن هنوز ادامه دارد ، نمایی از روش های متفاوت تلخیص شده است که در هر صورت مجموعه روش های موجود را می توان به صورت زیر دسته بندی نمود

اول) مداوم ریزی در قالب های متحرک و دوار تسمه ریزی روشهای بسمر لیمال و ...

دوم) مداوم در قالب های ثابت باز با سیستم آبگرد و عموماً خنک کنندگی ثانویه که شمش ریزی در قالب و یا به اختصار شمش ریزی مداوم نامیده می شود .

روش های تاسکر و تروتس و ...

سوم)مداوم ریزی در قالب های ثابت بسته که قالب در قسمت تحتان کوده ذوب قرار گرفته است . روشهای Atha . Eldred

چهارم) روش مستقیم با بیرون کشیدن ورق میله از پاتل مذاب روش Lash و..

با ید توجه داشــت که گروه بندی فوق پایان یافته نیســت و به گونه ای در آخر همین فصل اشاره خواهد شد . روشـــهـای جـدیـد دیگری نیز در تولید بکار می رود که هنوز وســـعت کافی نیافتهاند علاوه بر آن هر یک از گروههای چهار گانه فوق خود نیز به دســته های کوچکتر تقســیم شــده ند که به طور اختصــار و در حد یک شناسایی مقدماتی معرفی می شود.

مداوم ریزی در قالب های متحرک (تسمه ریزی)

این روش را که باید به عنوان مادر صـنایع مداوم ریزی محسـوب کرد با طرح بسمر آغاز گردید و اینک تحول فراوان یافته اســت و دســته های متعدد و مجزایی بوجود آمده که از نظر مکانیسم سرد کنندگی و قالب و زمینه های کاربردی تفاوت هایی را یافته اند . تقسیم بندی زیر بر اساس نوع قالب متحرک و ریختن مذاب در فاصله

دو غلتک Rolls

دو تسمه Endless Belt

دو نوار مفصلی Moving split mould

تسمه و غلتک (چرخ) Belt and grooved roll

انجام یافته است از طرف دیگر با توجه به آنکه محصول کار این ماشین ها عموماً به صورت نهایی ورق ، تسمه و گاه مفتول عرضــه می گردد ، از نظر دستگاهها نیز می توان این گروه را به دو دسته بزرگ ماشین های ریخته گری نواری – تســمه ریزی و ماشــین های نورد بدون شمش دسته بندی کرد در هر دو صورت شناسایی انواع روش ها به ایجاد و ابداع طرح های جدید و یا کاربرد طرح های موفق خواهد انجامید که در این کتاب دســته بندی نوع اول تعقیب خواهد شد .

دسته اول : نورد بدون شمش یا تسمه ریزی بین دو غلتک

بسمر در سال 1846 طرحی را مبنی بر بار ریزی مداوم بین دو غلتک ارائه نمود که از نظر شرایط تکنولوژیکی و کمبود سیستم های کنترلی مورد توجه واقع نشد . و بسمر نتوانست بر مشکلاتی که در جریان تولید بوجود می آورد فائق آید یا آنهارا توجیه کند .

نکات حائز اهمیت در طرح بسمر عبارتند از:

الف) روش بارریزی فوقانی درفاصله بین دو غلتک

ب) دو غلتک فولادی که میان آنها آب جریان دارد و افزیش سرعت سرد کردن باعث تشکیل سریع پوسته جامد اولیه می گردد

پ) بیرون کشی تسمه که توسط حرکت غلتک های اولیه و غلتک ها و چرخ های ثانویه انجام می گیرد.

غلتک های ثانویه در گسترش های بعدی می تواند عمل نورد و کاهش ضخامت تسمه را نیز انجام دهد . غلتک های اولیه که عملاً نقش قالب را بر عهده دارند از فولاد انتخاب می شوند و بدیهی است که محاسبات متالوژیکی و مهندسی طرح این غلتک ها نسبت به غلتک های نورد تمایزات و اختلافات ویژه ای را دارار هستند که اهم وجوه تماز آنها عبارت است از :

1)انتخاب مواد مناسب آلیاژی از نظر مقاومت در مقابل ماده مذاب و کاهش احتمال خردگی و فرسودگی ترکیبی .

2)مقاومت کافی در مقابل نوسانات حرارتی و خستگی حرارتی بدلیل آنکه پوسته غلتک همواره از یک طرف با مذاب و درجه حرارت نسبتاً بالا و از طرف دیگر با آب جاری در تماس است .

3)تحمل نیروی کمتر ، به دلیل آنکه تغییر شکل فلز مذاب یا خمیری همواره نیروی کمتری لازم دارد و در نورد معمولی ، تغییر شکل جامد ، فشار بیشتری را بر غلتک اعمال می کند .

در سال 1890 E.norton و J.Hodgson کوشش های وسیعی را آغاز کردند که با تغییراتی در سیستم بارریزی و طرح جدیدی از غلتک ها و محاسبه شکاف بین آنها همراه بود . و این کوشش ها نیز به دلایل

نارسایی های فراوان با موفقیت روبرو نگردید نیاز به ورق و تسمه و احتیاج روز افزون به محصولات تمام شده یا نیمه تمام آهنی وغیر آهنی در طول و پس از جنگ جهانی اول باعث گردید که این طرح مجدداً مورد مطالعه جدی قرار گیرد . G .Hazelett در سالهای 36 و 1935 طرح عملی خویش را مبنی بر تولید فلزات غیر آهنی اجرا نمود و بعـد ها همین طرح را با تغییراتی بمنظور تهیه ورق و تســـمه فولادهای کربنی نیز بکار برد در این تهیه حلقه عمودی از فولاد کرم دارو به قطر تقریبی 6 متر همراه با دو غلتک فولادی افقی عمل شـــکل دادن و بیرون کشـی تســمه را انجام می دهند یکی از غلتک ها نگاه دارنده و دیگری گردنده اســت و به ســهولت قابل خارج شدن و جاگذاری حلقه و تسمه می باشد . سرعت دوران برابر 150میلیمتر بر دقیقه (×) انتخاب گردید ه بود و " هازلت " با این ماشـین تسمه هایی از مس ، برنج و فولاد سیلیسی به ضخامت 0/4 میلیمتر و عرض 75 میلیمتر تولید نمود که بنا به گزارش او سطح تمام شده بسیار خوب جدایش در آنها مشهود نبود .

جالب توجه است که طرح " هازلت " توسط یک آمریکایی به نام J.M.Merle

که در این زمینه مشغول تحقیقات بود به کمپانی های فروخته شد و هنگامی که هازلت از ادعای خود نسبت به حقوق طرح ، طرفی نبســـت مطالعه بر روی آنرا که در مقایس صـــنعتی با مشـــکلاتی نیز روبروبود کنار نهاد و درمورد روش های دیگر به مطالعه و تحقیق پرداخت . در شوروی نیز از سال 1936 این طرح مورد توجه قرار گرفت و واحد تولیدی novo kramalor بمنظور تولید انواع تسمه و ورق های فولادی در سال 1937 رسماً گشایش یافت در همین سال نیز Uliturtski امکان تولید ورق های چدنی را اعلام نمود . جدیدترین و متحول ترین تغییران در طرح بســمر در ســال 1957 بو ســیله کمپانی Hunter – Eng – Regular بعمل آمد و بوسـیله این طرح ورق های آلومینیوم به ضـخامت 6 میلیمتر و به عرض تا یک متر و با سـرعت تولیدی حدود 0/5 تا 1/5 متر در دقیقه تولید گردید ، این طرح به دلیل روش بارگیری از زیر و معکوس و از نظر مدل انجماد و کنترل نیروهای وارد بر پوسته اولیه نسبت به ماشین های قبلی متایز است . شکل 6-8 الف . این طرح بعد ها نیز تغییراتی یـافت و در ایران نیز با روش بار ریزی افقی و تحت زاویه 15 درجه در صـــنایع تولید ورق و زر ورق Foil آلومینیوم مورد اسـتفاده قرار گرفته اسـت . 6-8 ب . در این ماشـین محصول بریده نمی شود و در حول قرقره مناسب پیچیده می شود .

دسته دوم : تسمه ریزی بین دو نوار (تسمه)

این طرح را که می توان به نام Goodale نامید در سال 1874 اعلام گردید ، بار مذاب در یک مسیر افقی در فاصله بین دو تسمه نقاله فولادی ریخه می شود و تسمه حاصل در همان مسیر احتمال نورد گرم را دارد . طرح فوق نیز نتوانست موفقیت مناسبی کسب نماید و تا سال 1937 کاربرد عملی نیافت ، در این سال دو نفر روسی به نام Y.Grudin و E.Frolov ماشین خود را بر اساس طرح فوق و با تغییرات عمده ای ارائه نمودند که از 4 نواز تسمه که با آب فشان سرد می شوند تشکیل می گردید .

بالاخره در سال های 1945 ، Hazelett در آمریکا در دنباله مطالعات متعدد خود بر روی تهیه ورق های آلومینیوم و Goldoblin در شوروی توانستند از این روش و با تکامل آن ، ورق شمش آلومینیوم به ضخامت 6 تا 225 میلیمتر و سپس ورق های نازک تر از مس و حتی فولاد را تهیه نمایند . تسمه های فولادی ، بوسیله تعداد غلتک شکل مناسب را یافته و تسمه ریختگی حاصل نیز متعاقباً بوسیله غلتکهای فشاری نورد شده و با اندازه و ضخامت دقیق و کنترل شده تولید می گردند ، در این ماشینها ، عموماض از چند غلتک نگاهدارنده استفاده بعمل می آید و محصول پس از نورد فشاری اولیه در قرقره پیچیده و برای مراحل بعدی آملده می شود .

دسته سوم : میله ریزی مداوم

این روش هر چند که بوسیله A.Mattes و H.W.Lash در سالهای 1885 پایه گذاری گردید ولی تا سالهای 1920کاربرد صنعتی پیدا نکرد . Mellen در سالهای 1913 تا 1925 موفق گردید که میله ریزی مداومی از برنج و با قطر های حدود 20 تا 35 میلیمتر را ابداع نماید و در نتیجه به نام وی مشهور گشت ، طرح اولیه متعلق به Lash و ، طرح Mellen نشان داده شده است . قالب های دو تکه از چدن و با ابعاد132× 125×75 میلیمتر بر روی نوار زنجیر نصب می گردند . دونیمه قالب به گونه ای طراحی می شوند که در حد اتصال مقطع کامل شمش یا میله مورد نظر را نمایان سازند مذاب در داخل محفظه قالب ریخته می شوند و قالب و فلز مذاب تؤاماً حرکت کرده و در قسمت انتهایی و پس از انجناد میله قالبها باز شده و میله خارج می گردد .

مشـکلات اسـاسـی این روش در جفت نشـدن کامل قالبها و دوام کم آنها در اثر تغییرات حرارتی گزارش شده است ، از نظر متالوژیکی نیز این روش بر شمش ریزی تک باری امتیاز ویژه ای ندارد زیرا انجماد دقیقاً در قالب انجـام گرفته و هیچگونه نیرو یا انرژی اضـــافی بر گســـترش انجماد تأثیر نکرده اســـت هر چند طرح از نظر متالوژیکی خصوصیات بارزی را در بر نداشت ، ولی به دلیل اقتصادی و تولیدی ، محققین بسیاری این روش را تعقیب کردند . در سـال 1930 نیز یک فرانسـوی بنام Chantrain موضـوع استفاده از هوای جامد را بعنوان قالب در این روش مطرح کرد که تا کنون در حد یک عقیده باقی مانده است . Akopoff در سال 1933 ماشین میله ریزی خود را بر اســاس جفت شــدن اتوماتیک دو نیمه قالب طراحی نمود که این اصــل بعد ها توســط Hunter-Douglas مورد استفاده قرار گرفت .

در هر حال ، طرح اقتصـادی و عملی در این سـیسـت م در حدود سـال های 1950بو سـیله Hunter ، ابداع گردید و در مدت کوتاهی به طرح Hunter- douglas اشـتهار یافت شکل 10–8 ، د ر این ماشین قالب ها از چدن های حرارتی انتخاب گشته و هر قسمت قالب دارای سیستم آبگرد درونی بوده و علاوه بر آنها ، حقت شـدن قالب ها بطور اتوماتیک انجام می گردد . با توجه به ظرفیت ذوب ، میتوان چنیدن ردیف قالب را در یک ماشــین نصــب نموده و در یک زمان به تولید زیادی دســت یافت . این روش در آبومینیوم ریزی و برنج ریزی بیشترین موارد استعمال را یافته است .

دسته چهارم : مداوم ریزی (تسمه و میله) بین غلتک و تسمه

سالیان متمادی ، تولید کنندگان " مفتول لحیم " از ریختن مذاب در شکاف قالب های گردان استفاده می کردند ، Lymanو Ellacott اولین کسـانی بودندکه روش مداوم ریز میله را با اسـتفاده از حرکت تؤام غلتک و تسمه توصـیه نمودند، ولی تا سـال های 1937 – 1940 این روش هیچگونه کاربرد صـنعتی و عملی پیدا نکرد . در روش های ابتدایی یک چرخ شـیار دار با استفاده از نیروی دورانی بعنوان قالب بکار میرفت که عملاً با توجه به تولید میله های به قطر 12 تا 100 میلیمتر و بطول 1/5 متر ، می توانست مشمول شرایط مداوم ریزی باشد .

در سـال های 1945- 1949 Properzi ایتالیایی ، Pechiney فرانسـوی و مرکز آزمایشـهای آلومینیوم در انگلسـتان ، ماشـین های مداوم ریزی برای سـاختن میلگرد و میله های سرب و روی ابداع نمودند که بسرعت برای آلومینیوم ، مس و حتی فولاد نیز بکار رفت .

قالب متشکل از یک چرخ شیار دار و یک تسمه دوار فولادی است که بر روی 2 یا سه غلتک متکی شده است . از اتصال و جفت شدن تسمه و شیار ، شکل مقطع میله یا مفتول ساخته می شود چرخ شیار دار دارای مکانیسم آبگرد درونی اسـت و تسـمه نیز با آب خنک می شود . با تغییر مقطع شیار می توان تسمه و نوارهایی به عرض 30 سانتیمتر و ضخامت 5 تا 40 میلیمتر نیز تولید نمود.

- واحد بارریزی
- تسمه دوار فولادی
- تیغه برای جدا کردن محصول از قاب (شیار)
- قاب مسی چرخ ،
- تسمه دوار
- میله ریخته شده

7 – نوار میله آماره برای برش یا قرقره پیچی

جدا از مسـایل عمومی طراحی و ساخت ماشین و امکانات تولیدی که وجوه متمایز دسته های چهارگانه ماشین های تسـمه ریزی و نورد شـمش را در بر می گیرد ، کیفیت متالوژیکی و ساختاری انواع قطعات تولید شده در این روش ها متفاوت است .

در ماشـین های دسـته اول و به عبارت دیگر ماشـین های غلتکی نورد بدون شـمش ،به همانگونه که از متن اسـتنباط می شـود ، مشکلات فراوانی وجود داشته که اینک بسیاری از آنها مکشوف و حل گردیده اند. انتخاب مواد مناسـب برای غلتک ها به دلیل تماس مسـتقیم با مذاب و نوسـانات حرارتی ، فرسـودگی سـریع آنها و

نیـازمنـدی بـه بعمیر و تعویض و ســـرعت تولیدی نســـبتاًکم (حدود 40 تا 200 کیلوگرم بر دقیقه) از اهم مشکلات تکنولوژیکی محسوب میشوند .

کیفیت سـاختاری ، انواع تسـمه و ورق درروش بسـمر ، عموماً مطلوب تر و بهتر از روش های کلاسـیک تهیه شمش و تولید ورق می باشد ، علاوه بر آن مشکلات ناشی از انقباضات مک های گازی و جدایش های ترکیبی به حداقل ممکن میرسـد . سـرعت انجماد ، همراه با اعمال فشـار بر تسـمه و یا ورق جامد و نازک بودن نسبی محصـول باعث می گردد که سـاختار ریز و تقریباً هنگن در تمام ضخامت تسمه بوجود آید و هر چه ضخامت کمتر باشـد ، همگنی سـاختاری بیشتر می گردد ،سرعت انجماد همچنین باعث افزایش ضخامت پوسته تبریدی گردیده و رشـــد دانه ها را محدود می ســـازد از طرف دیگر نتایج تجربی ، عیوبی را در این قطعات ثبت نموده اسـت که شـامل ترک های سطحی ، ذخامت غیر یکنواخت نازکی ،آخال های سطحی و زخمه " scab " می باشـند که مهمترین آنها ترک های سـطحی است که از توزیع ناهموار درجه حرارت و توزیع ناهمگن مذاب در سـطح غلتک ناشـی می شـوند . در سـیستم های افقی ، اعمال فشار از دو طرف غلتک برابر نیست و در نتیجه ساختار دانه ها در قسمت های فوقانی و تحتانی تفاوت هایی را داشته اند که در صورت کاهش ضخامت تسمه به کمتر از 10 میلیمتر ناهمگنی فوق به حداقل کاهش یافته و یا اصولاً حذف می شود .

فشـــار اعمـال شـــده نیز بـاعث بروز برخی عیوب نظیر ترک ، زخمه و موئینگی (Fin) قطعه می گردد که با محاسـبه و کنترل فشـار در باریزی می توان آنها را کاهش داد . تو زیع هرچه وسـیع تر و یکنواخت تر مذاب ، بوسـایل مختلف نظیر ناودانک به طول مسـاوی با عرض تسمه و بهره گیری از روش های پا لایه و روبه گیری در پیـالـه بار زیز می تواند کلیه عیوب را تا حد بی ضـــرر تقلیل دهد. در هر حال ســـاختار میکروســـکپی و ماکروسـکپی تسـمه های فولادی نشـان می دهد که اندازه دانه ها در منطقه تبریدی و جداری با منطقه مرکزی برابر نیستند .

Hazellet اظهار می دارد که به منظور حذف ناهماهنگی و نامگنی های ساختاری و ترکیبی بهترین روش آن اسـت که فلز مذاب بر روی یک سـطح بسـیار سرد ریخته شود (به حلقه فولاد در طرح هازلت توجه شود) و زمان و سـرعت به گونه ای انتخاب شـود که بیشـترین ضـخامت قطعه بر این سطح جامد شود و غلتک هافقط

قسـمت مغزی را تحت فشـار قرار دهند و منجمد سازند لازم به تذکر است که طرح Hazllet در رقابت های تولیدی نتوانست موفقیت زیادی کسب نماید .

مشـخصـات فوق برای تمام دسته های دیگر گروه ماشین های تسمه ریزی مداوم ، از نظر انتخاب مواد ، کنترل انجماد و کنترل سـاختاری به همان نسـبت وجود دارد . بسـیاری از مشـکلات متالورژیکی و تولیدی در ماشین های جدید مرتفع شـده اسـت . اجزاء کمکی ، ناودانکهای مناسـب ، کنترل اتوماتیک جریان بار ریزی و سـایر کنترل هـای دقیق توانسـته اسـت که بهره گیری از این ماشـین ها را در تولید ورق های فلزات غیر آهنی و بخصوص آلو منییم و میله های برنجی و برای تهیه انواع ورق های فولادیو فولادهای آلیاژی گسترش دهند .

قالب ساکن (باز) " شمش ریزی "

گردش فرایند شمش ریزی و استفاده از قالب های کوچک روباز در جهت تولید انواع شمشه . شمشال و تختال را هرچند با تشـابهات فراوان و اصول یکسان ، می توان در زمینه کاربرد آنان برای فلزات غیر آهنی و آلیاژهای آهنی دسته بندی نمود .باید توجه داشت که عموم روش هایی که به مداوم ریزی منجر شده اند اغلب درمراحل اول بر روی فلزات غیر آهنی و بخصـوص فلزات زود ذوب آزمایش گردیده و سـپس برای فلزات دبر ذوب و فولادها تعمیم یافتهاند به عبارت دیگر مداوم ریزی درمورد فلزات غیر آهنی ، همواره سـریع تر از مداوم ریزی فولاد گسترش و تحول یافته است زیرا :

1) کنتر ل ریخته گری فلزات غیر آهنی و بخصوص فلزات زود ذوب همواره آسان تر است .

2) معمولاً میزان تولید فلزات غیر آهنی کمتر و عملاً شرایط کار فراهم تر است .

3) در هر حال هر گونه گسـترش و تحول بر روی مداوم ریزی و شـمش ریزی بر اساس حل مشکلات ثابتی قرار دارد که در مورد فلزات غیر آهنی با سـهولت بیشـتر و سـرعت بالاتر ی بعمل می آید . بسـیاری از این مشخصات به رابطه فلز و قالب و خواص فلز مایع بستگی دارد که اهم آنها عبارتند از :

الف) مکانیســم عمومی ماشــین بر مبنای حرکت شــمش یا قطعه در حال انجماد به عبارت دیگر تعقیب مدل انجماد در هر لحظه شــرایط متفاوتی را ایجاب می کند که در مجموع انجماد قطعات در مداوم ریزی از فرایند انجماد ، روش های ثابت و تک باری بسیار پیچیده تر است .

ب) تاو فلز در نزدیک نقطه ذوب و یا استحکام پوسته جامد اولیه .

پ) مکانیسم انتقال حرارت و عواملی که بیرون کشی شمش از قالب را محدود می سازد ، نظیر سیالیت مذاب ، طراحی قالب ، طراحی منطقه سرد کننده ثانویه و مکانیسم تشکیل تنش های داخلی .

با توجه به مطالب ارائه شــده و با تشــریحی که در این فصــل و فصــول بعد به عمل خواهد آمد ، شمش ریزی مداوم و نیمه مداوم روشی است که شمشال و تختال جامد از داخل یک قالب که معمولاً به سیستم آبگرد مجهز اســت و طول آن از طول شــمش ریخته شــده بســیار کوتاه تر اســت بیرون کشیده می شود ، شمش ریزی نیمه مداوم به روشی اطلاق می گردد که مقدار بار ریزی و اندازه طولی هر شمش محدود بوده و پس از هر بار ریزی ، متوقف و آماده سازی دستگاه برای عملیات بعدی الزامی است .

در هر دو روش شــمش ریزی مــداوم و نیمه مداوم و برای تولید شــمش های فوالادی و یا آلیاژ غیر آهنی مشــخصــات و اجزاء ثابتی وجود دارند که تغییر در مکانیســم هر جزء تا کنون به ابداع طرح های متفاوتی منجر شده است . این اجزاء عبارتند از :

الف) ســیستم بار ریزی و کنترل سطح مذاب که از پاتیل (A) پیاله بار ریز (B) و محفظه ایمنی سر ریز (D) تشکیل یافته است .

ب) قالب (C) که عموماً از مس و جدن و یا گرافیت ساخته شده است و به سیستم آبگرد بیرونی و یا درونی مجهز است .

پ) تجهیزات و سیستم خنک کنندگی ثانویه (e) به منظور انجماد کامل شمشال یا تختال با استفاده از جریان آب شهر ، آب فشان و ...

ت) مکانیسم و تجهیزات بیرون کشی شمشال از قالب که توسط غلتک (F) میله (j) و میله کف بند (h) تشکیل یافته و با نیروهای هیدرولیکی ، مکانیکی و الکتریکی حرکت خواهند کرد .

ث) تجهیزات جدا کردن ، بریدن و انتقال شـمش متشکل از قسمت های K,O,G که در روش نیمه مداوم این قسمت تقریباً حذف می گردد .

اجزاء متشـکله فوق می توانند از نظر طراحی کاملاً قائم بر روی هم نصـب شود و یا به شرحی که گفته خواهد شد تحت زاویه قائمه ازحالت قائم به افقی تبدیل شود که هر یک موارد استفاده مناسب خود را خواهد داشت .

دسته اول : طرح های شمش ریزی برای فولادها

در این روش که بر اساس یک بنای کاملاً قائم طرح شده است ، تأ سیسات ساختمانی در دو یا سه طبقه ساخته می شود که معمولاً یک یا دو طبقه آن در زیر زمین بنا می شوند .تا تسهیلات لازم برای انتقال پاتیل و بار ریزی فراهم شود .

در بررسـی تاریخی ، اولین طرح بر مبنای اسـتفاده از قالب های آبگرد در شمش ریزی مداوم فولادها متعلق به TASK BAR می باشـد که در سـال 1879 به ثبت رسـیده است و نمی توان از آن به عنوان یک طرح تجربه شـده یاد نمود . طرح تاسـکر برای لوله ریزی تهیه شـده بود و مطابق شـکل 15-8 یک میله یا سـنبه Mandrel بعنوان ماهیچه و قسـمت درونی قالب بکار می رفت . R.doalen در سـال 1887 ماشین شمش ریزی متشکل از قالب آبگرد ، پیاله بار ریز متحرک و غلتک بیرون کش طرح نمود و برای اولین بار منطقه خنک کننده ثانویه را بطور مسـتقیم در نظر گرفت . در سال 1895 . Trots ماشین خود را بر اساس استفاده از قالب تکه و نازک ارائه نمود که از نظر صـافی سـطوح و اسـتحکام بی نظیر می نمود . کاهش اصـطکاک سطحی بین قالب و شـمش جامد یکی از مشـکلات عمونی شـمش ریزی محسوب می گردد و در همین زمینه ، طرح های متعددی نظیر استفاده از قالبهای دوار دوتکه ، بهره گیری از حرکت ارتعاشی قالب و یا قالب های دوار به منظور کاهش ضرایب اصطکاکی ابداع و عرضه گردید .

تحقیقات Z.Janghans و طرح های مختلف او نقطه عطف و مرحله برجسته ای در صنایع شمش ریزی محسوب می شود . او که به تحقیقات و پژوهش های خود در زمینه مداوم ریزی فلزات غیر آهنی اشتغال داشت در سال های 1930 و 39 و 1945 تا 1951 ، تجربیات خویش را برای فولاد نیز آزمود و بالاخره موفق به تهیه حدود 1900 تن فولاد کم کربن فولاد زنگ نزن و فولاد نارام گردید . شمشال هایی به قطر 100 تا 265 میلیمتر و تختال هایی با مقطع 245×80 میلیمتر از محصولات ماشین های Janghans محسوب می شدند . با تو جه به آنکه عمده تحقیقات او معطوف به فلزات غیر آهنی است لذا در قسمت بعد با تفصیل بیشتری درباره ماشین های Janghans صحبت خواهد شد.

طرح های مختلف و ماشین های متعددی که در کشورهای مختلف جهان ارائه گردیده است ، بسیار وسیع می باشد ،بطوریکه فقط اشاره ای مختصر به آنها بیش از حد لازم در این کتاب می نماید . ماشین های نوع Janghans-Rossi را می توان نمونه ای پیشرفته و کامل محسوب داشت که امروزه نیز موارد استعمال فراوان دارد. این طرح از تلفیق دو ماشین janghans و Rossi توسط این دو محقق ابداع گردبد در حالیکه طرح Rossi هنوز موارد استفاده محدودی دارد . در سال 1954 ماشین های Babcock-Wilox مورد بهره برداری قرار گرفتند وجه تنایز این سیستم بر حرکت رفت و برگشتی شمشال در درون قالب قرار دارد و بدین ترتیب ضریب اصطکاک در بیرون کشی شمشال به مقدار زیادی کاهش می یابد . ماشین های با قالب های چند گانه وهم چنین ماشین مداوم ریزی و شمش ریزی "TsN11cher Metex " انواع جدید فولاد ریزی هستند که هر یک در کارخانه های مختلف مورد استفاده قرار گرفته اند .

کارخانه ذوب آهن اصفهان ، دارای قسمت شمش ریزی مداوم فولاد است که بر اساس طرح کارخانه (NTMZ) Novo Iron Steel Works بنا نهاده شده است . شکل 20–8 و همچنین نمودار دستگاه شمش ریزی کارخانجات نورد اهواز با قسمتهای وابسته به آن در شکل 20–8 مکرر نشان داده شده است .

ریخته‌گری پیوسته چیست؟

ریخته‌گری پیوسته (CC) فولاد یعنی شکل دهی پیوسته و مستقیم فولاد مذاب به مقاطع فولادی نیمه نهایی مانند بلوم، بیلـت و اســـلـب که در نتیجه تولید کندله (ingot) و پس از آن نورد آن در واحدهای نورد اولیه حذف می‌گردد.

پیشرفت‌هایی در ریخته‌گری پیوسته

مزیت‌های بکارگیری ریخته‌گری پیوسته در فولادسازی‌ها را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

راندمان بالا: راندمان ریخته‌گری کنده به فولاد نیمه‌نهائی بین 82 تا 84 درصد است ولی راندمان در ریخته‌گری پیوسته که فولاد مذاب به محصول نیمه‌نهائی تبدیل می‌شود بین 95 تا 97 درصد است.

فرآیند ریخته‌گری پیوسته در مقایسه با ریخته‌گری کنده 20 درصد از مصرف انرژی می‌کاهد.

با حذف فرآیند نورد در واحدهای نورد اولیه که در ریخته‌گری کنده ضـروری است، فرآیند ریخته‌گری پیوست از صرف زمان و هزینه اضافی می‌کاهد.

کاهش نیروی کار در فرآیند ریخته‌گری پیوسـته بهره‌وری را افزایش داده، شرایط محیط کار را بهبود بخشیده و از هزینه تولید می‌کاهد.

اگرچه مزیت ریخته‌گری پیوسـته در دهه 60 قرن پیش مشخص گردید، پذیرش آن در سطح جهانی به دو دهه طول کشـید. در ابتدا حدود 80 درصـد ماشـین‌های ریخته‌گری ماشـین‌های عمودی بودند. اما تا دهه 80 قرن گذشـته ماشـین‌های عمودی تغییر یافته و تقریباً 98 درصد آن به ماشین‌های ریخته‌گری پیوسته تبدیل شدند که در حال حاضر به شکل قوسی یا خمیده درآمده‌اند.

در دهه 1960 حدود 5 درصـد تولید فولاد خام در جهان به صورت پیوسته ریخته‌گری می‌شد. اما هم‌اکنون به حدود 95 درصد رسیده است. از سال 1993 تا سال 2009 رشد ریخته‌گری پیوسته در جهان در جدول شماره یک نشان داده شده است.

ریخته‌گری پیوسته در هند

تا اوایل دهه 80 سال گذشته فولادسازان هندی به طور کامل علاقه زیادی به آشنایی و بکارگیری تکنولوژی ریخته‌گری پیوسته و فرآیندهای مدرن مرتبط با آن نداشتند. این یک حقیقت است که فرآیند ریخته‌گری پیوسته نیازمند سرمایه‌گذاری بالاتری نسبت به ریخته‌گری کنده است اما مزیت‌های ریخته‌گری پیوسته این فرآیند را در نزد فولادسازان کشورهای مختلف جهان محبوب کرده است. حتی در سال 1981 کشورهایی مانند برزیل، مکزیک، ونزوئلا، مصر و اندونزی به ترتیب 36/4، 31/9، 62/2، 66/2 و 70/2 درصد ریخته‌گری پیوسته را در صنایع فولادسازی خود به کار گرفتند. در مقایسه با کشورهای فوق هند تا سال 1981 از فناوری CC استفاده نمی‌کرد. در اوایل دهه 1990 هند اولین ریخته‌گری شمش و ریخته‌گری اسلب خود را نصب کرد. اما وضعیت در دو دهه اخیر کاملاً تغییر کرده و همه تولیدکنندگان در حجم قابل ملاحظه‌ای تکنولوژی ریخته‌گری پیوسته (CC) را به کار گرفتند. هند نیز سال 2010–2011 توانست در فرآیند فولاد خام خود از ریخته‌گری پیوسته استفاده کند.

مشخصات کیفی محصولات ریخته‌گری پیوسته

محصول ریخته‌گری پیوسته نه تنها باید از نظر ابعاد دقیق باشد بلکه باید از جنبه کیفی نیز تنوع داشته باشد. از جنبه‌های کیفی آن می‌توان به تمیز بودن، نداشتن ترک سطحی و نداشتن ناخالصی‌ها مختصراً به شرح زیر اشاره کرد:

تمیزی: در ریخته‌گری پیوسته انجماد سریع فلوتاسیون محتویات غیرفلزی در رشته‌ها را نسبتاً به تاخیر می‌اندازد. این محتویات می‌تواند منتهی به تشکیل مناطق ضعیفی یا سستی گردد که در فرآیند بیشتر مشکلاتی را ایجاد می‌کند.

ترک: انواع ترک یا شکاف‌ها را می‌توان در محصولات ریخته‌گری پیوسته در سطح و عمق مشاهده کرد. معمولاً این ترک‌ها به دلیل اینکه در معرض هوا قرار گرفته و در طی نورد جوش می‌خورند در مواقعی باعث عیب و ایراد در محصول می‌شوند. معمولاً برای از بین بردن ترک‌ها از برش شعله‌ای یا سنگ‌زنی استفاده می‌شود اما این

اقدامات می‌تواند از میزان تولید یا بهره‌وری بکاهد. تجمع ناخالصـــی‌ها یا عناصـــر محلول مانند کربن، منگنز، گوگرد و فسفر باعث به وجود آمدن خواص ناهماهنگی در محصول می‌شوند.

گاز محلول

وجود گازهای محلول مانند نیتروژن، هیدروژن و اکسـیژن منتهی به تشـکیل سـوراخ‌های سـوزنی‌شکل در طی فرآیند انجماد می‌گردد. حضـور این گازهای محلول خصـوصاً نیتروژن باعث معایبی در خواص مکانیکی فولاد ریخته‌گری پیوسته می‌شود.

طبق نظریه متخصصین فولاد، فولاد ریخته‌گری پیوسته می‌تواند در ترکیب معایب زیر را داشته باشد:

محصـولات ریخته‌گری پیوسـته با محتوی کربن در مرحله Peritectic مسـتعد ترک‌خوردگی بوده و در نتیجه شاید طبق استانداردهای کیفی خاص نباشد.

اگر نسبت منگنز و سولفور به نسبت کمتر از 20 باشد ترک به وجود می‌آید.

میزان فسفر بالا قابلیت شکل‌پذیری بدون ایجاد ترک یا شکستگی (ductility) و استحکام فولاد را کاهش داده و درصد آن در اسلب فولادی باید کمتر از 0/025 درصد باشد.

ریخته‌گری پیوسـته تغییرات چشـمگیری در طرز فکر فولادسـازان هندی به وجود آورده و فناوری ریخته‌گری پیوسـته در کشـور پذیرفته شده و نتیجه بهبود کیفی محصولات نهائی و توان رقابتی فولادسازان کشور را ارتقاء بخشیده است.

ریخته‌گری اسلب نازک

در اواخر دهه 80 قرن پیش دور جدیدی از هیجان دنیای جهانی فولاد را فرا گرفت و آن دست یافتن به فناوری جدید معروف به ریخته‌گری اســـلب نازک بود. ماشـــین‌های ریخته‌گری دهه 60 و 70 قرن پیش اســـلب به

ضـخامت 200–250 میلی‌متر تولید می‌کردند اما ماشـین‌های ریخته‌گری جدید اسـلبی به ضـخامت 50 تا 90 میلی‌متر تولید می‌کنند.

اولین کارخانه ریخته‌گری اســلب نازک در جهان کارخانه فولادســازی --- در امریکا بود که در ژوئیه 1989 راه‌اندازی شد. فناوری به‌کار گرفته شده در آنجا تولید فشرده فولاد (CSP) نام داشت. این فرآیند توسط شولمن زیماگ آگ آلان ابداع شـده که بین یک ماشـین ریخته‌گری اسلب نازک با یک واحد نورد چندخطه برای تولید شـــمـه نورد گرم با حداقل هزینه بدون هرگونه افت زیاد انرژی بین فرآیندهای ریخته‌گری و نورد، یک ارتباط مستقیم ایجاد می‌کند.

دومین کارخانه نورد ورق اسـلب نازک در جهان تحت عنوان (TS/FR) که اولین نسل این فرآیند بود در ایتالیا در سـال 1992 با تکنولوژی نورد تسمه هم‌خط (In-Line Strip) راه‌اندازی گردید. تکنولوژی تسمه هم خط توسط مانسمان و ماگ آلان طراحی شده است.

نسل دوم ماشین‌های ریخته‌گری اسلب نازک

دومین نسـل ماشـین‌های ریخته‌گری اسـلب نازک در حد زیادی پیشـرفته شـده است و دارای چندین مشخصه جدید اسـت. این مشـخصـات شـامل ترمزهای الکتروگلنتیک، قالب نوسانی هیدرولیکی و سیستم کاهش‌دهنده ضـخامت ماهیچه اسـلب مذاب (LCR) می‌باشند. تمامی این مشخصه‌ها موجب کاهش هزینه و بهبود عمده در کیفیت محصول شده است.

انواع تکنولوژی‌های ریخته‌گری اسلب نازک (تکنولوژی CSP)

در فناوری تولید فشـرده اسـلب (CSP) اس ام اس آگ آلان (پیشـرو در زمینه تکنولوژی اسـلب نازک) ماشین ریخته‌گری می‌تواند اسـلبی به ضـخامت 50 میلی‌متر تولید کند که در یک تونل (کوره متعادل‌کننده) گذشـته و به‌طور مستقیم وارد قفسه نهائی یک واحد نورد تسمه گرم سنتی می‌شود. SMS با طراحی یک قالب قیفی شکل به یک دسـتاورد دست یافت که ورود نازل نیمه غوطه‌ور (SEN) را آسان‌تر می‌کند و در نتیجه موارد زیر بهبود می‌یابد:

قـابلیت اطمینان زیاد از ریخته‌گری در ســـرعت‌های بالا (حداکثر 6 متر در دقیقه) شـــار حرارتی یکنواخت در عرض و عمق قالب که یک کیفیت مطلوب در سـطح در طول تسـمه ایجاد نموده و تسـمه با ضخامت کمتر از یک میلی‌متر به تسـمه 1200 میلی‌متری ارجاع می‌شـود. قالب قیفی شـکل ماشین ریخته‌گری CSP دارای یک نازل ورودی غوطه‌ور مطلوب است که می‌تواند موارد زیر را تضمین کند:

سطح یکنواخت قالب

تشکیل یکنواخت سرباره

شار حرارتی یکنواخت

اسلب خوب و سطح تسمه بدون هیچگونه ترک خوردگی طولی

99 درصد قابلیت اطمینان بالای ریخته‌گری

یک بار حرارتی یکنواخت و بهبود عمر مفید پلیت‌های مسی

کنترل و جلوگیری از هرگونه توقف در ســـال‌های بعد با ابداعاتی در قســـمت قالب و رهنمای رشـــته یا خط (Strand Guide) فناوری CSP بیشتر تکامل یافت.

برای تولید ورق‌های تسمه‌ای بسیار نازک و انعطاف‌پذیری در ضخامت اسلب نازک (با توجه به ضخامت نهائی در یک واحد CSP و نیز انجماد گلوله‌ای رشـته) یک فرآیند کاهش ضـخامت اسلب مذاب (LCR) از زیر قالب شروع شده و یک فرآیند کاهش نرم در فاز انجماد نهائی که قبلاً در کارخانه‌های مختلف CSP به‌کار گرفته شده است، اتفاق می‌افتد.

موســســه تحقیقاتی ورلد اســتیل داینامیک (WSD) تخمین زده بود که بر مبنای هزینه‌های ســال 1999، هزینه تولید یک واحد فولادسازی با ظرفیت 4 میلیون تن در سال حدود 875 دلار در هر تن است در حالی که هزینه ساخت یک کارخانه CSP با ظرفیت 2/5 میلیون تن در سال 200 دلار در هر تن برآورد شده بود.

فرایند تولید تسمه هم‌خط (ISP)

تکنولوژی تولید تسمه هم‌خط مانسمان دماگ آلان ابداع و ساخته شده است. این تکنولوژی می‌تواند اسلب ضخیم 60 میلی‌متری را ریخته‌گری کند که در دو مرحله به شرح زیر این ضخامت کاهش پیدا می‌کند:

ابتدا، ضخامت اسلب توسط غلطک‌های در زیر قالب به 40 میلی‌متر کاهش پیدا می‌کند.

ضخامت اسلب که کاملاً منجمد شده است توسط سه قفسه شکل‌دهی به 15 میلی‌متر کاهش داده می‌شود که در نهایت ضخامت کلاف نورد گرم به 0/7 میلی‌متر تنزل پیدا می‌کند.

تحول بیشتر در فرآیند ISP استفاده از قالب‌های مستطیلی است که کیفیت سطحی را بهبود بخشیده است. سایر دستاوردها در این فرآیند، تکنولوژی پوسته‌زدائی با فشار بسیار قوی است.

مشخصه‌های اصلی فرآیند ISP که بهبود یافته است به شرح زیر است:

قالب زرونانس چندکاره

ریخته‌گری و نورد پیوسته با یک هسته یا ماهیچه مذاب

کوره مرکب القائی و مخزن حرارتی گازی

ایستگاه کلاف‌سازی و کلاف بازکنی برای تسمه‌های پیشرفته

نورد دومرحله‌ای

نورد یکسره (بی‌انتها) برای تسمه‌های فوق‌العاده نازک

تکنولوژی نورد اسلب نازک انعطاف‌پذیر دانیلی (FTSR)

ماشین ریخته‌گری اسلب نازک انعطاف‌پذیر دانیلی می‌تواند اسلب‌های به ضخامت 30 تا 140 میلی‌متر توسط قالب قوسی عدسی شکل با سرعت 0/5 متر یا 6 متر در هر دقیقه تولید کند. این تکنولوژی را دانیلی ایتالیا ابداع کرده است که اسلب‌ها از یک کوره حرارتی عبور داده شده و سپس به یک واحد شش قفسه‌ای انتقال پیدا می‌کند. هدف این فناوری به شرح زیر است:

تولید تسمه‌های فوق‌العاده نازک و عریض و نازک، توسعه الگوی ابعادی انواع محصولات بدون کاهش راندمان

پایدار کردن شرایط نورد برای بهبود کیفیت و راندمان

حذف مشکلات مربوط به بهبود کیفیت و بهره‌وری و کاهش میزان شاخص Cobble نورد

فناوری TSP

در این فناوری نورد TSP یک ماشین ریخته‌گری اسلب واسطه دارد که ضخامت تولیدات آن بین 75 تا 150 میلی‌متر است و دو قفسه دوطرفه تسمه نورد گرم و کوره‌های گرمایشی کلاف در هر دو طرف نورد دارد که به یک ماشین ریخته‌گری متصل است. کیفیت سطحی آن خوبست چون سرعت ریخته‌گری آن آهسته‌تر است. این فرآیند انواع گریدهای کربنی را تولید می‌کند. در فرآیند TSP نیاز به سرمایه‌گذاری پایینی است چون نورد HS دارای دو قفسه است که کارخانه را فشرده‌تر و کوچک‌تر کرده و در نتیجه از میزان سرمایه‌گذاری زیربنائی آن می‌کاهد.

تکنولوژی TSP دو نوع ظرفیت دارد. TSP I برای ظرفیت یک میلیون تن در سال و TSP II تا دو میلیون تن یا بیشتر برای تولید تسمه کیفی تا ضخامت یک میلی‌متر.

فرآیند Conroll

این فرآیند توسط فوست آلپیس اتریش ابداع شده است که اسلب به ضخامت‌های 70 تا 100 میلی‌متر تولید می‌کند. اسلب‌ها از کوره‌های کف گهواری (Walking Beam) عبور داده می‌شود. فرآیند Conroll مدعی است که 30 درصد از مصرف انرژی می‌کاهد و در مقایسه با نورد HS 25 درصد از هزینه‌های ورودی‌های متالیکی و 25 درصد از میزان سرمایه‌گذاری را کاهش می‌دهد.

فرآیند تولید تسمه کیفی (QSP)

این فرآیند را سـومیتومی ژاپن طراحی کرده اسـت که در این کار صنایع سنگین میتسوبیشی نیز همکاری داشته است. کارخانه QSP دارای دو کوره قوس الکتریک DC با الکترودهای دوقلو، دو ایستگاه متالورژی پاتیلی و دو ماشین ریخته‌گری دوخطه است. این فرآیند تسمه را تا ضخامت یک میلی‌متر نورد می‌کند و ضخامت اسلب آن بین 70 تا 90 میلی‌متر است.

تکنولوژی ریخته‌گری X اس ام اس زیماگ

تکنولوژی X-Cast از طریق ریخته‌گری اسلب هوشمند (ISC) کنترل می‌شود. این فرآیند در سال 2007 توسط اس ام اس زیماگ طراحی شـده اسـت که پاسـخگوی نیازهای روز است. در شرایط کنونی تقاضا به شرح زیر برای فولادهای مخصوصی افزایش یافته است:

فولاد خط لوله برای لوله‌های با جداره ضخیم جهت کاربردهای دریایی

انواع گریدهای خطوط لوله

ورق‌های ضخیم برای کاربردهای مختلف

فولادهای آلیاژی با ترکیبی از نیوبیونم، تیتانیوم، واندیوم و یا کرومیوم، مولیبدینوم

غلطک‌های تفنگی آی‌استار ـ زیمنس فرست آلپین

این غلطک‌های ریخته‌گری جدید نوع خشـک توسـط زیمنس فرست آلپین طراحی شده است که نیازی به آب خنک کننده ندارد. این نوع غلطک‌ها محصـولات کیفی تولید کرده و از نظر حفظ محیط زیسـت مطلوب است. این فرآیند به مرحله بهره‌برداری صنعتی ریخته‌گری اسلب در افریقای جنوبی و کره جنوبی رسیده است.

تولید شمش فولاد (بیلت) به روش ریخته گری مداوم (Continuous Casting) ، بطور گسترده ای در جهان اسـتفاده میشـود. یکی از علل پیدایش روش ریخته گری پیوسـته ، تولید محصولات فولادی در مقیاس بالا و با سرعت و کیفیت بالا می باشد. در این روش ، باید از ماشین آلات ریخته گری مداوم (CCM) استفاده کنیم. این

روش نسبت به روش تولید فولاد به روش کوره بلند بسیار به صرفه تر می باشد. ولی مستلزم به استفاده از ضایعات و قراضه آهن و استفاده از آهن اسفنجی می باشیم.

بطور تقریبی، 96 درصد صنایع فولادسازی در جهان، از این روش استفاده میکنند. فولاد خام و آهن تولیدی که از روش ریخته گری مداوم تولید میشود، عاری از هرگونه ناخالصی و ناهمگنی در ساختار از لحاظ دانه بندی و آنالیز شیمیایی می باشد. که این مزایا، در صنعت فولاد بسیار مهم میباشد که باعث میشود که فولاد تولید شده به این روش، از کیفیت بالا و قیمت ارزان تری برخوردار باشد. روش ریخته گری مداوم (پیوسته) برای تولید اسلب و بیلت نیز بکار می رود. سپس بعد از تولید بیلت ساخته شده، میتواند به اشکال دیگری همچون نبشی فولاد تبدیل میشود.

ترک مرکزی، ریخته گری مداوم، اسلب

ریخته گری مداوم به عنوان یکی از مهمترین فرایندهای تولید ابداع شده در دنیا می باشد ، که نتایجی از قبیل بهبود در کیفیت ، راندمان ، بهره وری و صرفه اقتصادی را در محصولات فولادی به همراه داشته است. امروزه ، بالغ بر 95/5 درصد از تولید فولاد خام جهانی را به خود اختصاص می دهد. تولید با کیفیت مطلوب به همراه بهره وری بالا یک نیاز ضروری برای ماشین ریخته گری مداوم می باشد که تعیین فاکتورهای مهم احتمالی برای عیوب و اجرای مطمئن اقدامات پیشگیرانه ممکن به منظور ارائه یک فرایند ریخته گری عاری از عیب را ناگزیر می سازد.

یکی از مهمترین عیوب داخلی مشاهده شده در اسلب های فولادی Corten می باشد که در نزدیکی خط وسط اسلب ریخته شده ظاهر می شود که ناشی از افت حجمی یا انقباض مذاب در مرکز در هنگام تغییر حالت از مذاب به جامد و تغییر شکل خط نورد می باشد. این ترک ها می توانند در نتیجه تنش های حرارتی ایجاد شوند و از آنجایی که نرمی(داکتیلیته) فولاد در دمای بیش از 1300 درجه سانتی گراد تنها در حدود 0/2 تا 0/3 می باشد، هنگامی که یک ناحیه از اسلب در ارتباط با نواحی مجاور در معرض یک تغییر دمای ناگهانی از 100 تا 150 درجه سانتیگراد قرار می گیرد این عیب به وجود می آید.

ترک ها و جدایش های آشکار در طول خط مرکزی اسلب های ریختگی اساساً ناشی از اعمال نوسانات در ابعاد اســـلـب به دلیل نامیزانی و/یا خمیدگی غلطک های تکیه گاه (support) در نقطه ای از خط نورد که انجماد نهایی در آنجا صـورت می پذیرد ، می باشـند. در نتیجه این ترک ها، خط مرکزی باز شـده و از این رو در طی فرایند سرد کردن اکسید می شود و در نهایت در فرایند نورد ثانویه نیز بسته نخواهد شد.

فولاد Corten جزء دسـته ای از فولادهای سـاختمانی با نام دسـته ضد فرسایشی می باشد که پایداری آنها در مقابل شـرایط جوی با افزودن مقدار کمی از عناصـر از قبیل مس ، فسـفر ، نیکل و کروم بهبود یافته است. این فولاد با یک سـرعت کمتری نسبت به فولادهای ساده کربنی زنگ می زند و تحت شرایط آب و هوایی مناسب می تواند یک لایه اکسـیدی آهن هیداراته پایدار ایجاد کند که این لایه حملات بیشتر بر روی سطح را به تأخیر انداخته و از این رو برای شـرایط آب و هوایی دشـوار نیز مناسب می باشد. این فولاد دارای کاربرد وسیعی در واگن های راه آهن و کانتینر ها برای حمل مواد زائد می باشند. این طبقه از فولادها در فرایند ریخته گری مداوم به صورت اسلب تولید می گردند که به شدت در معرض ترک های مرکزی قرار دارند.

فاکتورهای مؤثر برای به وجود آمدن ترک مرکزی در اسلب های فولادی Corten عبارتند از

۱) جدایش

۲) شرایط سرد کردن

۳) شرایط ماشین

٤) سرعت ریخته گری

جدایش

جدایش به معنی غیر یکنواختی ترکیب شیمیایی می باشد که ناشی از پس زدن جسم حل شده در محلول توسط مذاب در طی فرایند انجماد می باشـد به طوری که جامد در مقایسـه با مذاب دارای انحلال پذیری کمتری می باشـد. همچنین افزایش حجمی عناصـر رایج از قبیل کربن ، منگنز ، فسفر و گوگرد در فولاد می تواند منجر به

اصـلاح عیب جدایش در فولاد ها شود. حال آنکه جدایش در حد میکرو ناشی از تفاوت در ترکیب مذاب بین دندریتی و دندریت های بی اثر(inert) می باشـــد و جدایش ماکرو نیز با غیر یکنواختی ترکیب شـــیمیایی در مقیاس بزرگ در قسمت ریخته شده ارتباط مستقیم دارد.

فولادهای Corten دارای مقداری از کربن در حدود 0/10 درصد به همراه 0/085 درصد فسفر می باشند و از این رو در طی فرایند انجماد در این فولادها ابتدا مســتقیماً فاز δ تشــکیل می شــود و در نهایت از طریق یک استحاله پریتکتیک تبدیل به فاز γ شده و این امر منتج به ایجاد یک افت حجمی یا انقباض در مذاب می گردد که به وسیله جریان ذوب باقیمانده به طور مثال ایجاد جدایش ماکرو ناشی از ضریب نفوذ بالای فسفر در فاز δ ، تقویـت می شـــود. همچنین این اتفاق می تواند در نتیجه جابجایی فیزیکی مکان های جدایش ماکرو به دلیل حرکت سیال و کریستال های آزاد باشد. حرکت سیال به دلایل متعددی از قبیل تفاوت در چگالی ناشی از شیب حرارتی و غلظتی در مذاب که منجر به انتقال حرارت به صـورت آزاد می شود ، تبادل حرارتی اجباری به دلیل همزدن از طریق حرکت دورانی گاز و پاشـش جریان مذاب، کشـش سـطحی سیال رانده شده به نزدیکی سطح قالب و همچنین مکش مذاب از بخش بین دندریتی به علت انقباض فلز در طی فرایند انجماد که در اکثر موارد به وسیله تورم سطح فلز ناشی از عقب زنی غلطک ها یا تنش های جزئی در پوسته منجمد شده در نتیجه شیب حرارتی تشدید می شود، صورت می پذیرد.

به منظور کاهش جدایش و در نتیجه کاهش ایجاد ترک های داخلی ، یک منطقه متجانس پیشـنهاد می شود. در مذاب، تعداد زیادی کریسـتال های کوچک شـناور وجود دارد. هنگامی که فرایند فوق گداز کم می شـود ، این کریستال ها شروح به رشد می کنند و در نهایت تشکیل یک منطقه متجانس یا هم محور را می دهند. بنابراین ، دمای فوق گداز باید تا حد امکان پایین باشـد تا جدایش ماکرو کمتری در ناحیه مرکزی اتفاق بیافتد. این امر به طور وضـــوح تأثیر دمای فوق گداز را بر روی جدایش در راســـتای خط مرکزی و همچنین ایجاد ترک در این ناحیه را نشان می دهد .

با خمیدگی غلطک ، جدایش مرکزی تشدید می شود. زیرا ، غلطک خم شده ناشی از تنش حرارتی وارده بر آن به صـورت غیر معمولی دوران می کند و از این رو به واسطه غلطک خمیده ، هنگامی که سمت محدب غلطک با سـطح اسـلب تماس پیدا می کند اسـلب با یک کاهش چشمگیر در ضخامت مواجه می گردد و سبب جاری

شـدن فولاد مذاب باقی مانده شده که ممکن است سبب افزایش غلظت عناصر موجود در آلیاژ شود. همچنین ، جدایش در امتداد خط مرکزی در حالتی که اسـلب دائماً در معرض نقصـان ناشـی از تماس با سـمت محدب غلطک قرار دارد ، ممکن است به دلیل جاری شدن فولاد مذاب غنی شده به خارج ، این نقصان به طور موضعی اصـلاح گردد ، از طرف دیگر در حالتی که اسلب به طور مکرر در معرض نقصان کمتر ناشی از تماس با سمت مقعر غلطک قرار داشته باشد ، به دلیل ریزش فولاد مذاب غنی به داخل و در نتیجه فشرده شدن فولاد مذاب در قسمت غلطک، جدایش می تواند با وخامت بیشتری همراه باشد و از این رو منتج به پراکندگی جدایش مرکزی در جهت ریخته گری می گردد.

شرایط سرد کردن

بازگرم کردن سـطحی ، پدیده ای اسـت که بر اساس اختلاف دمای بین سطح ریخته گری در زیر منطقه اسپری آب و دمای ثابت نسبی محصول ریخته شده در حدود 2 متر پایین تر از قالب ، تعریف می شود. اندازه و تعداد ترک ها با اعمال بازگرم سطحی کمتر با کاهش مواجه گردیدند. اگر پاشش آب خنک کننده به طور یکنواخت و در یک فاصـله طولی کوتاهتر اعمال شـود ، موجب بازگرم قابل توجه و افزایش چشمگیر در ایجاد ترک ها می شود. این اتفاق ناشی از افت ناگهانی در میزان خروج گرما از سطح در نتیجه حرکت اسلب از منطقه اسپری آب به سـمت منطقه خنک کننده تابشـی ، می باشـد. دما در خط مرکزی ناگهان کاهش می یابد و به یکباره تمامی گرمای نهان خود را از دسـت می دهد. خط مرکزی منقبض شده و در معرض تنش قرار می گیرد و همزمان در منطقه داکتیلیته کم منتج به ترک مرکزی می شود.

تشکیل ترک خط مرکزی می تواند به وسیله افزایش شدت خنک کنندگی اسپری برای سطح خط نورد در نقطه پایان انجماد، متوقف گردد. افزایش خنک کنندگی اسپری یک تأثیر سودمند را به همراه دارد، زیرا منتج به ایجاد یک پوسـته خنک می شـود که می تواند به طور مؤثر تری در برابر فشار فرواستاتیک مقاومت کند. خنک کردن اسـپری با شـدت بالا می تواند دندیرت های ظریفی را در اسـلب ایجاد کند و از این رو باعث کاهش جدایش ماکرو و تشکیل ترک های داخلی گردد.

شرایط ماشین

این یکی از مهمترین عواملی است که بر روی تشکیل ترک در امتداد خط مرکزی مؤثر می باشد. فاصله نامناسب غلطک می تواند منتهی به برآمدگی پوسته جامد شود که ایجاد جدایش در امتداد خط مرکزی را تشدید می کند. اگر پوسته به بیرون متورم شود یک فضای خالی در منطقه مرکزی مذاب ایجاد می شود ، از این رو مکش مذاب بین دندریتی ناخالص را از منطقه خمیری اطراف یه منطقه مرکزی افزایش می دهد. تنظیم مجدد فاصله غلطک ها در ماشین ریخته گری مداوم منجر به کاهش ایجاد ترک های مرکزی در اسلب های تولیدی می شود. کرنش ایجاد شده که منتهی به تشکیل ترک می شود ناشی از برآمدگی وسیع سطحی به علت فضای کم بوده و معمولاً به دلیل اعمال نیروی حاصل از تورم بر روی مناطقی با نرمی کمتر در نزدیکی خط جامد در ناحیه مرکزی می باشد.

به طور کلی ، در تکیه گاه غلطک های ماشین ریخته گری اسلب یک سوراخ مرکزی برای خنک کردن اسلب به وسیله آب تعبیه شده است و این غلطک ها به طور متداول غلطک های گرم نامیده می شوند. این امر موجب می شود که سطح غلطک گرم شده در طی فرایند ریخته گری ، بیش از پیش در معرض خمیدگی قرار گیرد. همچنین ، تمایل غلطک به خمیدگی متناسب با توان سوم طول آن می باشد.

زمانی که اسلب گرم وارد فاصله بین دو غلطک می شود، در نتیجه فشار فرواستاتیک به کار برده شده ، یک تغییر شکل خمشی برای غلطک اتفاق می افتد. این خمیدگی در حدود 1 میلیمتر می باشد و تقریباً ثابت باقی می ماند. به هر حال یک وقفه کوتاه (در حدود 1 دقیقه) در فرایند ریخته گری به وجود می آید و اسلب متوقف می شود (که ممکن است به علت برآمدگی ناشی از تنظیم نا مناسب دستگاه باشد) و غلطک نیز به دلایل حرارتی، به اندازه قابل توجهی نسبت به اسلب تاب بر می دارد. همراه با عقب زنی مجدد ، غلطک برای یک مدت زمان مشخص به طور غیر معمول می چرخد تا این که یک تعادل دمایی حاکم شود ، که بعد از آن غلطک به وضعیت خمیدگی ثابت باز می گردد. در توقف، غلطک های گرم مقدار بیشتری خمیده می شوند و مدت زمان طولانی تری برای بازگشت به حالت اولیه طول می کشد.به طور کلی ممکن است بازگشت به حالت اولیه در غلطک های گرم هرگز رخ ندهد. تنظیم ماشین نیز بر روی سایش غلطک ها به ویژه برای غلطک هایی با قطر کوچک به علت ترکیب تنش و خوردگی، بسیار تأثیر گذار می باشد.

با توجه به تأثیر تنش ناشـی از برآمدگی بین غلطک ها و نامیزانی غلطک ها ، جانمایی مناسب غلطک بر حسب لزوم انجام می شـود. همچنین از آنجایی که گام های تنگ در غلطک احتمال خمیدگی آن را کاهش می دهند و منجر به افزایش نامیزانی آن می شـوند ،اعمال یک گام ((pitch مناسب در غلطک ضروری می باشد. زمانی که برآمدگی در هر گامی از غلطک رخ می دهد و به ناچار غلطک ها از تنظیم خارج می گردند (در حقیقت بدیهی است که در برخی از غلطک ها می تواند صفر باشد) ، باید توجه بیشتری به ایجاد برآمدگی نمود.

سرعت ریخته گری

هرچه سرعت ریخته گری بالاتر باشد زمان کمتر برای خروج حرارت وجود دارد . بنابراین ، طول مذاب داخلی بیشـتر شـده و منطقه خمیری افزایش می یابد و ضخامت پوسته به محض خروج از قالب که منتج به برآمدگی اسـلب و جدایش ماکرو در مرکز اسـلب می شـود، کاهش می یابد. ریخته گری با سـرعت کمتر منجر به ایجاد پوسـته قوی تر می شـود که می تواند در مقابل فشـار فرواسـتاتیک مقاومت کرده و احتمال جدایش را کاهش دهد. بهینه سـازی سـرعت ریخته گری ضـروری می باشد به طوری که این سرعت نباید کمتر از یک محدوده معین بوده زیرا در غیر این صورت می تواند به طور جدی موجب کاهش تولید گردد.

تجربه کارخانه فولادهای آلیاژی

واحد صنعتی تولید فولاد آلیاژی در Durgapurهند، مجهز به یک ماشین ریخته گری منحنی شکل منحصر به فرد اسلب و شمشه برای تولید اسلب در خطوط نورد تک خطه و دو خطه برای شمشه هایی برای انواع مختلف فولادهای آلیاژی می باشـد. در طی دوره ای بین سال های 97-1996 میلادی ، این واحد صنعتی با مشکلاتی در رابطه با ایجاد ترک هایی در امتداد خط مرکزی در اسـلب های ریخته شده انواع فولادهای Corton مواجه گردیـد. این مشـــکل منتج به انجام مطالعات گســـترده ای بر روی فرایند های مختلف ریخته گری و همچنین پارامترهای موثر بر ماشین گردید و به منظور تشخیص پارامترهای مؤثر برای ایجاد ترک در این نوع از فولادها، در حدود 105 ذوب شامل اسلب هایی با ترک های مرکزی و بدون ترک های مرکزی ریخته شدند.

اینگونه مشـاهده شد که با اعمال یک دمای فوق گداز متجاوز از 40 درجه سانتی گراد ، به کار گیری ترکیبی از خنک کردن قالب به طور شـدید (HMC) با جریان آبی با سرعت بیش از 5900 لیتر بر دقیقه یا خنک کنندگی قالب به طور معمولی (NMC) با جریان آبی با سـرعت 5900–5250 لیتر بر دقیقه به وسـیله یک خنک کننده اسـپری ملایم (SSC) با مصرف آب مخصوص در حدود 0/66 لیتر بر کیلوگرم و همچنین فشار هیدرولیک در حدود 70 تا 75 بار در عقب زنی و فاصـله بیشتر بین غلطک ها در بخش های (3 segments) تا 7 ، موارد ایجاد ترک مرکزی افزایش یافت. همچنین زمانی که میانگین سرعت ریخته گری 0/80 متر بر دقیقه بود، در هر دو مورد یعنی اسلب های سالم و یا دارای ترک مرکزی، هیچ گونه تأثیری بر روی ایجاد ترک نداشت.

یکی از مهمترین عوامل مؤثر بر روی ایجاد ترکهایی در امتداد خط مرکزی ، فاصله زیاد بین دو غلطک در بخش هـای 3 تـا 7 بود. در یـک دسـتگاه ریخته گری ، 5 غلطک در هر بخش وجود دارد که هر یک از آنها دارای غلطکی با قطر 310 میلیمتر با استوانه ای با طول 1350 میلیمتر، می باشند. غلطک ها در این قسمت ها دارای یک سـوراخ در مرکز به همراه یک سیستم تعبیه شده برای خنک کاری غلطک ها در داخل آن طراحی شده اند. فاصله غلطک برای بخش های 3 و4 برابر با 174/5 میلیمتر ، برای بخش های 5 و 6 ،دقیقاً 174 میلیمتر و در نهایت برای بخش 7 برابر با 174/5 میلیمتر می باشـد. در تمام غلطک ها ، تلورانس غلطک تحتانی به همراه بالشـک (template) حداقل 0/9 میلیمتر و حداکثر 1/1 میلیمتر می باشد. همچنین حداکثر خمیدگی مجاز 2 میلیمتر برای غلطک منفرد و 3 میلیمتر برای غلطک های مرکب می باشـد. بعد از ریخته گری و بررسـی ذوب های با ترک مرکزی ، برامدگی آشـکار و فاصـله بالاتر غلطک ها در بخش ها به روشـنی مشـاهده شد. این امر واضـح بود که خمیده شدن غلطک ناشی از توقف ها در طی فرایند ریخته گری (نقص دریچه های کشویی ، برآمدگی و ...) بوده که موجب بالا رفتن دمای غلطک گردید، همچنین اعمال نا مناسـب آب به منظور خنک کردن داخل غلطک ها منتج به تراوش آن در امتداد مفاصـل چرخنده شـد و در نهایت امکان کارکردن را برای یـک دوره زمانی خاص بعد از ریخته گری نیافت. علاوه بر آنچه که ذکر شـد ، عدم خارج کردن غلطک های فرسـوده از روند تولید ، وارسـی غیر منظم فاصـله غلطک و تمیزکاری نامناسب ماشین موجبات افزایش فاصله غلطک را تشدید می کنند. نظارت منظم فاصله غلطک ، جلوگیری از تروش آب در امتداد مفاصل چرخنده توأم با خنک کردن مستمر غلطک ها تا زمان توقف بخار، بعد از فرایند ریخته گری برای اطمینان از پایداری غلطک

و بازرسی های دوره ای ماشین برای خارج کردن غلطک های فرسوده و جایگزینی آنها می تواند کمک شایانی به تولید اسلب هایی عاری از ترک های مرکزی کند.

همچنین افزایش شدت اسپری خنک کننده از مصرف آب مخصوص 0/66 لیتر بر کیلوگرم به 0/80 لیتر بر کیلوگرم کمک بسیاری به کاهش مؤثر ایجاد ترک در امتداد خط مرکزی در اسلب ها می کند. ترکیب روش خنک کنندگی ملایم قالب (SMS) جریان آبی با شدت 5250 لیتر بر دقیقه که افزایش استحکام پوسته را تسهیل می کند و خنک کنندگی اسپری شدید (HSC) با میزان 0/88 لیتر بر کیلوگرم ، میزان بروز ترک در اسلب های فولادی Corton را به حداقل می رسانند. علاوه بر نکات بالا ، نگه داشتن دمای فوق گداز در کمتر از 40 درجه سانتیگراد تمایل به تشکیل ترک را در اسلب های ریخته شده کاهش می دهند.

به کارگیری فشار هیدرولیک بالاتر در عقب زنی (70 تا 75 بار) با استفاده از خنک کنندگی اسپری ملایم (SSC) نشان داد که دارای یک تأثیر مضاعف بر روی تشکیل ترک مرکزی در اسلب ها می باشد. همچنین این امر نشان داد که نوسانات فشار هیدرولیک 15 تا 25 بار بر روی اسلب آزمایشی می باشد. کاهش فشار هیدرولیک در عقب زنی به 60 تا 65 بار و اطمینان از خنک کنندگی اسپری شدید (HSC) موجب کاهش موارد ایجاد ترک مرکزی گردید. در کارخانه فولاد آلیاژی ، با کنترل عوامل فرایند و ماشین ریخته گری، ایجاد ترک ها در امتداد خط مرکزی اسلب ها می تواند برطرف گردد.

نتیجه گیری

پارامترهای ریخته گری و ماشین، یک نقش محوری را در ایجاد ترک های مرکزی در فرایند ریخته گری مداوم اسلب های Corton بازی می کنند. امکان رفع این عیوب از طریق نظارت بر فاصله غلطک و برآمدگی آن ، به کارگیری سیستم خنک کنندگی ملایم قالب به همراه خنک کننده اسپری شدید، نگهداری دمای فوق گداز در کمتر از 40 درجه سانتیگراد و همچنین انتخاب مناسب سرعت ریخته گری و فشار هیدرولیک وارده در عقب زنی در فرایند ریخته گری میسر می باشد.