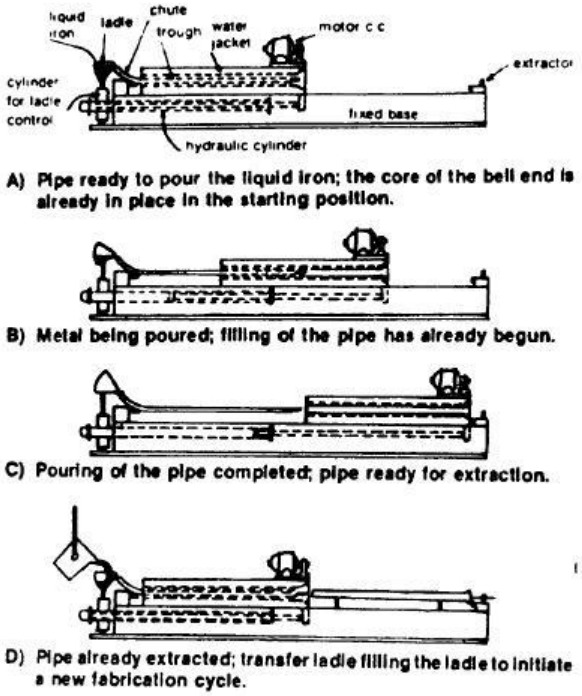
ریخته‌گری گریز از مرکز

طرح استفاده از نیروی گریز از مرکز در ابتدا در سال 1809 میلادی، توسط فردی انگلیسی به نام Anthony Eckhard ارائه شد و اولین استفاده صنعتی از آن در سال 1848 میلادی در بالتیمور به منظور تولید لوله چدنی صورت گرفت. هم‌گام با پیشرفت علم و صنعت از سال 1890 میلادی، پیشرفتهایی در روش ریخته‌گری گریز از مرکز آغاز گردید که در سالهای 1912 تا 1918 میلادی، منجر به ساخت ماشین De- lavaud توسط De- lavaud برزیلی گردید. (شکل 1-2)



شکل 1-2 لوله‌ریزی به روش De- lavaud

در ریخته‌گری گریز از مرکز، برای پر کردن قالب، علاوه بر نیروی ثقل از نیروی گریز از مرکز نیز استفاده می‌گردد. در این روش سطح بیرونی قطعه توسط سطح داخلی قالب شکل گرفته ولی سطح داخلی قطعه به چند صورت امکان شکل‌گیری دارد که خود سبب یک تقسیم‌بندی در روش‌ها گردیده و به طور کلی در سه دسته زیر طبقه‌بندی شده‌اند.

1- ریخته‌گری گریز از مرکز حقیقی

2- ریخته‌گری نیمه گریز از مرکز

3- ریخته‌گری تحت نیروی گریز از مرکز یا قطعات گریز از مرکز شده

در ریخته‌گری گریز از مرکز حقیقی محور ریخته‌گری بر محور دوران قطعه، منطبق بوده و سطح داخلی بدون حضور ماهیچه و به واسطه نیروی گریز از مرکز شکل می‌گیرد. در این روش محور دوران در یکی از سه حالت افقی، عمودی و مایل می‌باشد که ابعاد و شکل قطعه تعیین کننده حالت صحیح آن خواهد بود. اگر طول قطعه استوانه‌ای شکل L و قطر آن D فرض می‌شود، نسبت $\frac{L}{D} > 4$ روش افقی ، $\frac{L}{D} = 4-1$ روش مایل و $\frac{L}{D} < 4$ روش عمودی به کار گرفته می‌شود.

قالبهای مورد استفاده در روش ریخته‌گری گریز از مرکز افقی

قالبهای ریخته‌گری گریز از مرکز افقی بسته به شرایط کاری، سرعت تولید و جنس آلیاژ ریختگی، به دو دسته مصرف شدنی و دائمی تقسیم‌بندی شده است که قالب‌های ممرد استفاده در ریخته‌گری گریز از مرکز لوله‌های چدنی مورد نظر، فولادی دائمی است.

جنس فولادهای قالب گریز از مرکز

فولادهی قالب لوله‌ریزی از نوع فولادهای گرم کار بوده که جهت تهیه لوله‌های چدنی و همچنین قالبهای تزریق پلاستیک در صنعت مورد توجه می‌باشند. در حین کار سطح داخلی آنها تحت درجه حرارتهای بالا و بارهای مکانیکی نسبتا پایین قرار دارد.

فولادهای قالب در حین کار تحت تاثیر عواملی قرار می گیرند که بر طول عمر آنها تاثیر دارد این عوامل عبارتند از :

1- سیکل تغییرات دما با دامنه 230 تا 700 درجه سانتیگراد در سطوح داخلی قالب (زمان یک دوره تغییرات دما تقریباً 120 ثانیه است .)

2- نیروی گریز از مرکز بالا در اثر چرخش قالب با سرعت حدود 950 RPM حاصل می شود .

3- تنشهای بالا در نواحی نزدیک سطح داخلی (حدود 200 Mpa فشاری و 780 Mpa کششی)

4- خوردگی حاصل از گازها و هوا که از انجام واکنش ها حاصل می شود .

5- ترکهای خراشی در هنگام بیرون کشیدن لوله ها از قالب در جهت محور قالب

	C	Si	Mn	P	S	Cr	MO
21CrMo10	0/18	0/3	0/4	0/01	0/005	2/5	0/4
34CrMo4	0/3	0/25	0/6	0/01	0/005	1/1	0/25

جدول 1-2 ترکیب شیمیایی فولاد قالب

بسته به شرایط کاری (مداوم ریزی ، باریزی ، سیستم آبگرد ، پوشش قالب و ...) عمر مفید هر قالب از چند صد تا چند هزار باریزی متغیر است . در اثر شوک های حرارتی و خستگی حرارتی نهایی ، بعد از چند بار باریزی شبکه هایی از ترک در داخل قالب ایجاد می شود . که به منظور افزایش کیفیت سطح داخلی قالب و سهولت در بیرون کشیدن لوله ، قالب تحت عملیات پرداخت کاری (سنگ زنی و آچ کاری) قرار می گیرد .

مشخصات ریخته‌گری از مرکز افقی

اگر چه پارامترها و متغیرهای بسیاری بر این فرایند تاثیر گذارند، لیکن می‌توان به طور عمده موارد ذیل را برشمرد:

سرعت دورانی قالب، نوع و ضخامت پوشش، درجه حرارت ریخته‌گری، دره حرارت پیش‌گرم قالب، انتقال حرارت و الگوی انجماد به طور اجمال برخی از این موارد که اهمیت بیشتری از دیدگاه موضوع این تحقیق دارند، بررسی می‌شوند.

سرعت دورانی قالب

سرعت دورانی قالب (N بر حسب دور بر دقیقه) از روابط نیروی گریز از مرکز و نیروی جاذبه اعمالی بر جسم در حال دوران، قابل محاسبه است.

با توجه به این که در حرکت دورانی $F_c = Mr\omega^2$

F_c: نیروی گریز از مرکز $W = Mg$

W نیروی وزن

و چنانچه نسبت گریز از مرکز به نیروی وزن را با G نمایش دهیم، خواهیم داشت:

$$G = \frac{F_c}{W} = \frac{Mr\omega^2}{Mg} = \frac{r\omega^2}{g}$$

$$N = \omega.\frac{60}{2\pi}$$

$$N = 42.3(G/D)^{0.5}$$

که در رابطه فوق G ضریب و D قطر دورانی بر حسب متر بوده و این ارتباط در شکل 3-2 نشان داده شده است.

انتظار اولیه از سرعت دوران این است که با به کارگیری آن ذوب به سطح داخلی قالب چسبیده و اصطلاحا توسط قالب جذب شده توزیع یکنواخت آن بر روی قالب در هر دو جهت طولی و محیطی گردد. در سرعت‌های کمتر از حد پائینی، آشفتگی جریان و پاشش ذوب به بیرون رخ داده و در سرعت‌های خیلی بالا، ترک گرم و ارتعاش بیش از حد ماشین ظاهر می‌شود.

برای بیان سرعت دورانی قالب بیشتر از فاکتور G (به عنوان نیروی گریز از مرکز) و سرعت زاویه‌ای استفاده می‌شود. شکل 3-2 رابطه قالب، نیرو و سرعت دوران در ریخته‌گری گریز از مرکز را نشان می‌دهد.

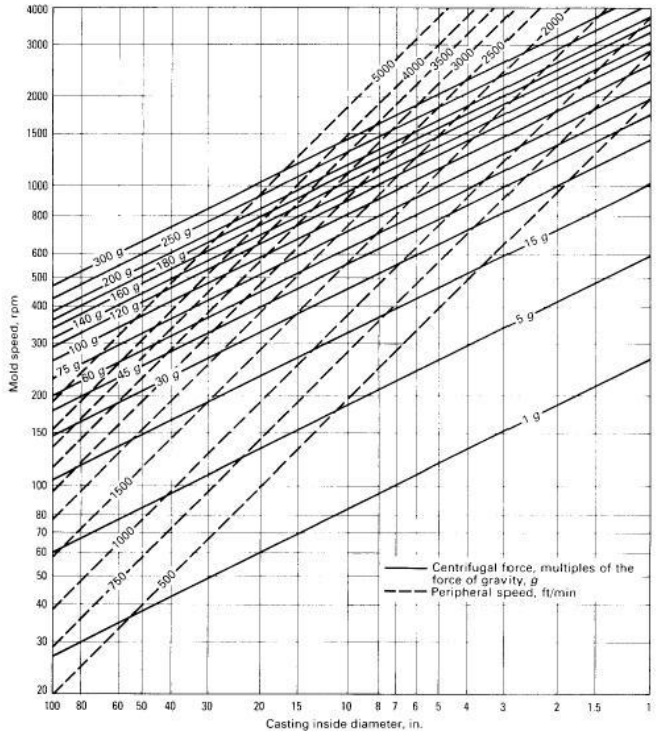


Fig. 5 Nomograph for determining mold speed based on the inside diameter of the casting and the required centrifugal force. See text for example of use.

پوشش قالب

در سطوح قالب‌های فلزی به منظور ایجاد واسطه مناسب بین قالب و فلز مذاب در جهت تامین اهداف زیر پوشش‌های به کار گرفته می‌شود:

1- جلوگیری از چسبیدن مذاب به قالب

2- جلوگیری از خوردگی قالب توسط مذاب

3- تسهیل در امر خارج ساختن قطعه از قالب

4- کاهش شوک حرارتی اعمالی به قالب و افزایش عمر آن

5- جلوگیری از انجماد لحظه‌ای و زود هنگام مذاب و کاهش سرعت سرد شدن قطعه (کنترل انتقال حرارت در لحظه‌های اولیه)

6- کنترل سرعت و جهت انجماد

در ریخته‌گری گریز از مرکز افقی، به منظورهای متفاوتی اقدام به پوشش داد سطح داخلی قالب سرعت می‌گردد که بستگی به جنس آلیاژ، درجه حرارت ذوب و خواص متالورژیکی مورد نظر، قبل از هر بار لوله‌ریزی از طریق اسپری یا در حین عمل ذوب‌ریزی از طریق سیستم پودرپاش، عمل پوشش دهی انجام می‌شود.

به عنوان مثال در ریخته گری فولاد از پوششهای عایق، در مورد چدنهای خاکستری و نشکن از مواد گرافیت‌زا مانند پودر فروسیلیسم و در ریخته‌گری آلومینیم از پوششهای صرفا جدا کننده، استفاده می شود.

رسیدن به هدفهای متفاوت و خواص متالورژیکی مطلوب، به کارگیر پوشانها را در ضخامتهای مختلف (در مورد پودر، در مقادیر مختلف) سبب می‌شود. در ریخته‌گری لوله‌های چدنی محدوده این ضخامت از خود هم میلیمتر تا یک میلیمتر متغیر است.

درجه حرارت ریخته‌گری مذاب

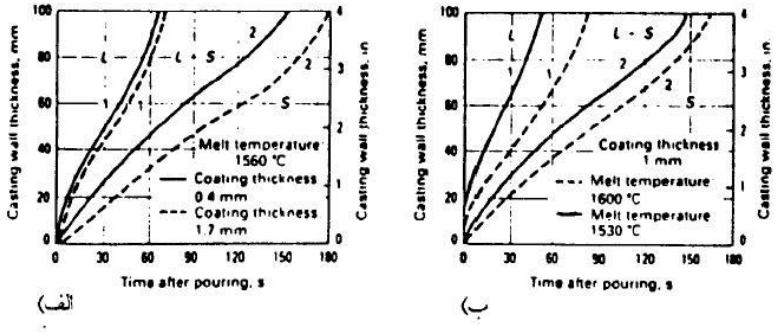
میزان فوق‌گداز مورد نیاز جهت تولید یک قطعه سالم بستگی به نوع فلز یا آلیاژ ریختگی، اندازه و خواص فیزیکی قالب دارد. رابطه تجربی زیر برای ریخته‌گری فلزات آهنی جهت تعیین مقدار فوق‌گداز، پیشنهاد می‌شود:

$$L = 2.4\Delta T + 110$$

که L طول سیالیت در آزمایش اسپیرال (mm) و ΔT میزان فوق گداز می‌باشد. در عمل ترجیح داده می‌شود که درجه حرارت ریخته‌گری تا حد ممکن پایین‌ترانتخاب شود ولی

همواره باید تشکیل نواقص ناشی از دمای بارریزی پایین را مد نظر داشت به طوری که این نقایص ایجاد نشوند. دمای بارریزی بالا، نیازمند سرعت‌های دورانی زیاد می باشد به طوری که مانع از لغزش مذاب گردد، دماهای بارریزی پایین سبب لایه‌لایه‌ای شدن و تشکیل تخلخل‌های گازی می‌گردد. همچنین درجه حرارت ریخته‌گری بر سعت انجماد و مقدار جدایشاهی انجام شده تاثیر دارد.

شکل 4-2 الف اثر ضخامت پوشش و 4-2 ب درجه حرارت ریخته‌گری را بر فرایندانجماد ریخته‌گری گریز از مرکز افقی نشان می‌دهد. اعداد 1و 2 منحنی‌های لیکوئیدوس و سالیدوس می‌باشند.



شکل 4-2 اثر ضخامت پوشش و درجه حرارت ریخته‌گری گریز از مرکز افقی

مکانیزم انجماد در فرایند ریخته گری گریز از مرکز افقی

در ریخته گری گریز از مرکز افقی، حرارت تنها از طریق دیواره قالب که در تماس مستقیم با سیستم آبگرد است، از قطعه در حال انجماد انتقال می‌یابد. انجماد از سطح

خارجی لوله که در تماس با قالب است، شروع شده و به سمت سطح داخلی ادامه می‌یابد. مهمترین عواملی که بر فرایند انجماد اثر می‌گذارند عبارتند از :

1- قالب- شامل جنس قالب، ضخامت و درجه حرارت اولیه قالب

2- ضخامت و هدایت حرارتی پوشش قالب

3- شرایط ریخته‌گری شامل میزان فوق گداز، سرعت بارریزی و سرعت دورانی

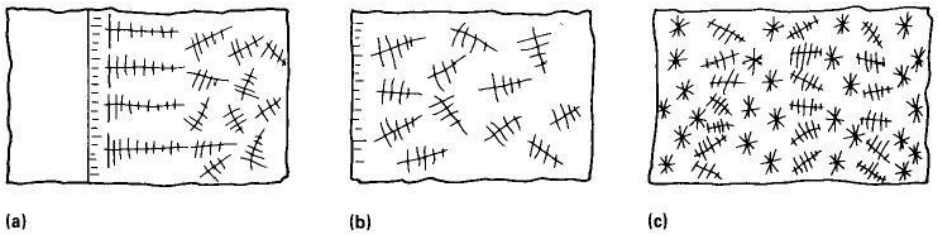
4- وجود هر گونه ارتعاش در ماشین ریخته‌گری

شکل 4-2 اثر ضخامت پوشش قالب و میزان فوق‌گداز بر سرعت انجماد را نشان می‌دهد. ساختار سیاه تاب لوله‌های چدنی ریخته‌گری گریز از مرکز به ترکیب شیمیایی‌شان وابسته بوده و همانطوری که در شکل 5-2 نشان داده شده است، در حالت کلی به سه صورت زیر می‌باشد.

حالت 1) شامل دانه‌های ستونی جهت یافته و در امتداد آنها دانه‌های هم‌محور

حالت 2) ساختار با دانه‌های کاملا هم محور

حالت 3) باندهای با دانه‌های هم محور و اندازه‌ها، متفاوت (در این حالت با شکستن دندریت‌ها توسط ارتعاشات و دور زیاد دستگاه دانه‌های هم محور با ابعاد متنوع شکل می‌گیرند.



شکل 5-2 جوانه‌زنی و رشد الف) ستونی ب) هم محور ، ج) هم محور با اندازه دانه‌های متفاوت

عیوب ریخته‌گری گریز از مرکز

اغلب عیوبی که در تهیه لوله‌ها از طریق ریخته‌گری گریز از مرکز به وجود می‌ایند همانهایی هستند که در ریخته‌گری ثقلی ایجاد می‌شوند و اغلب تاثیر مشترک چند عامل می‌باشند. در اینجا به معرفی مهمترین عیوب ایجاد شده در فرایند لوله‌ریزی لوله‌های چدنی پرداخته و به طور جمال علت یا علل شناخته شده، توضیح داده می‌شود.

عیب ترک

الف- ترک گرم یا پارگی یکی از نقایص این روش است. بعد از ورود مذاب به قالب و زمانی که اولین لایه منجمد می‌شود، مذابی در پشت این پوسته منجمد شده قرار دارد و به واسطه حرکت دورانی بر آن فشار وارد می‌کند. این فشار در پوسته استوانه‌ای شکل در حال انقباض، تنش‌های محیطی ایجاد می‌کند. در همین حال در ضخامت منجمد شده قطعه یک انقباض و در قالب به سبب افزای درجه حرارت آن، یک انبساط حرارتی به وجود می‌آید که سبب شکل‌گیری یک فاصله هوایی گشته و قطعه از حمایت سرتاسری قالب محروم می‌ماند. در این زمان اگر تغییر شکل ناشی از تنش محیطی فراتر از مقاومت گسیختگی فلز در آن درجه حرارت گردد، پوسته دچار ترک طولی می‌گردد. البته در صورت پر شدن این ترک با مذاب نیز عیب به نام عیب سردجوشی در سطح تماس ایجاد می گردد.

روشهای جلوگیری از بروز این نقص عبارتند از:

کاهش درجه حرارت ریخته‌گری، کاهش سرعت ریخته‌گری، افزایش درجه حرارت پیش‌گرم قالب، به کارگیری سرعت دورانی کمتر در شروع ریخته‌گری و افزای ضخامت تقالب با استفاده از لایه پوشش عایق در سطح داخلی قالب.

ب) ترک‌های عرضی

ترکهای عرضی از دیگر نقایص ایجاد شده در لوله می‌باشد که می‌تواند در نتیجه تمرکز شدید تنش‌های حرارتی و یا به خاطر انبساط گرافیت و گیر کردن لوله در قالب ایجاد شود.

عیب چروک خوردن سطح لوله‌ها

چروک یکی دیگر از معایب ایجاد شده در لوله‌هاست. در سطح خارجی لوله چروکیدگیهایی ایجاد شده که عمدتا در جهت عرضی می‌باشد. این عیب به خصوص در لوله‌های چدنی نشکن، با افزایش کربن معادل خصوصا در نتیجه افزایش سیلیسیم تشدید می‌گردد و بدین صورت توجیه می‌گردد که اگر آزاد شدن گرافیت در پوسته جامد اولیه زیاد باشد، موجب انبساط این پوسته می‌گردد و چون راهی برای انبساط لوله به دلیل چسبندگی به قالب (فلزی) وجود ندارد، نیروی فشار بالایی در طول انباشته شده که نهایتا در مناطق خاصی موجب انحناء و خم شدن پوسته اولیه می‌گردد.

عیب بریدگی لوله

بریدگی یکی دیگر از معایبی است که ناشی از کاهش سیالیت مذاب در اثر فوق گداز پایین یا عدم گرافیت‌زایی کافی(مقدار پودر جوانه‌زای داخل قالب کم و یا اصلا استفاده نشود) صورت می‌گیرد و سبب جدا شدن قسمت‌هایی از لوله از هم می‌گردد.

عیب تردی لوله

تردی لوله یکی دیگر از معایبی است که بیشتر به صورت ترک خوردگی در جریان ریخته‌گری لوله پدید می‌آید. پایین بودن کربن معادل به خصوص سیلیسیم، پایین بودن درجه حرارت ذوب‌ریزی و در نتیجه عدم حل شدن مواد جوانه‌زا، پایین بودن درصد مواد جوانه‌زا یا عدم جوانه‌زایی از دلایل شکل‌گیری این عیب می‌باشد.

عیب ساچمه‌ای شدن سطح لوله

در بعضی از نقاط سطح خارجی لوله، ذرات گلوله‌ای شکل و یا سطح کوچک و بی‌شکلی دیده می‌شود که با یکدیگر و با سطحی که آنها را احاطه کرده است جوش سرد خورده‌اند و در واقع بر روی سطح محبوس شده‌اند. ذوب‌ریزی نادرست از ناودان، عدم به کارگیری لوچه در سر ناودان، علت تشکیل این عیب می‌باشد.

عیب حفره‌های نشتی یا سوراخ شدن لوله‌ها

معمولترین و متداولترین عیب موجود در لوله‌های چدنی نشکن، تولید شده به روش ریخته‌گری گریز مرکز در قالب‌های فلزی، عیب سوراخ شدن لوله‌ها می‌باشد که معمولا در جهت شعاع و در جهت انجماد شکل می‌گیرند. این حفرات از سطح خارج لوله‌ها شروع شده و به سمت سطح داخلی لوله ادامه می‌یابند. ریشه بروز این عیب هنوز به طور کامل مشخص نیست وعلل مختلفی را می‌توان به طور جداگانه در ایجاد این عیب موثر دانست. یکی از محتمل‌ترین علت‌هایی که وجود دارد امکان وقوع واکنش شیمیایی تولید کننده گاز ما بین مذاب و قالب و یا گازهای خارج شده از پوشش قالب می‌باشد. در پژوهش حاضر، سعی شده است تا مکانیزم واقعی تشکیل این عیب تشخیص داده شده و راه‌حل‌هایی برای جلوگیری از ایجاد آن ارائه گردد.

منابع :

1- J.Cumberland , " Centrifugal Casting Techniques", tht british Foundrymen,

2- Metals Hand Book , "Centrifugal Cating" , VOL 15

3- داریوش سلیمی " تولید لوله های چدنی به روش ریختگری گریز از مرکز " نشریه ریختگری ، پائیز 1361 ، شماره 3 ، صفحه 18-27 .

Centrifugal casting

تهیه کنندگان :

ناصر عسکری

مصطفی ملک جعفریان