

تولید چدن‌های داکتیل با مقاطع ضخیم

دکتر خطیب‌الاسلام صدرمنزاد

حافظ احمدی

چکیده

در این مقاله تولید چدن‌های داکتیل ضخیم (با سرعت سرد کردن پایین) بررسی شده است. مهمترین عوامل تخریب خواص مکانیکی در این چدنها خواهی انتقامی، گیرافتادن سریاره، و جدایش عنصر آلیاژی می‌باشد. جدایش عنصر آلیاژی باعث تولید گرافیتهاي بد شکل (degenerated graphite) در مرکز حرارتی قطعه می‌شود، که خود به دو گروه اصلی گرافیتهاي چانکي و گرافیتهاي غير گروي بزرگ تقسیم می‌شوند. گرافیتهاي غير گروي نیز خود به سه گروه گرافیت رشد یافته (grown) گرافیت حل شده (dissolved) و گرافیت پر مانند تقسیم می‌گردد. در ادامه مکانیزم تشکیل تک تک اینها ذکر شده و تصورهای مربوط به آنها مورد بررسی قرار گرفته‌اند. روش‌های نیز برای جلوگیری از بوجود آمدن آنها بخصوص گرافیتهاي چانکي بيان گردیده است، که عبارتند از: استفاده از مبرد، همزدن، افزایش قدرت جوانه‌زنی و نیز استفاده از پرخی عنصر اصلاح‌کننده مانند Sb ۷ و به همراه خاکیهای نادر [۱ و ۲].

مقدمه

یکی از سوزه‌های مهم در ریخته‌گری، تولید چدن‌های داکتیل ضخیم است. در چدن‌های داکتیل هر چه ضخامت قطعه افزایش باید، بدست آوردن ریز ساختار مطلوب مشکل تر می‌شود [۳]. زمینه این چدنها به طور عمده فریتی بوده و شکل گرهای گرافیت در آنها با افزایش ضخامت، سرعت سرد شدن کاهش یافته و نتیجتاً تعداد گرهای گرافیت و میزان گروپت آنها کاهش می‌باید [۴ و ۵]. از طرف دیگر به دلیل جدایش ماکروسکوپی کربن در مرکز حرارتی قطعه، کربن معادل بالا می‌رود. به همین دلیل ممکن است در آنجا به خاطر دانسیته کم کربن، مستله شناوری پیش آید که بسیار نامطلوب می‌باشد [۶ و ۷]. با وجود این معايب، به دلیل رشد گرهای گرافیت در داخل زمینه فریتی، در فصل مشترک نابجايهای زیادي بوجود می‌آيد. این نابجايهای که به خاطر تنش اعمالی از طرف کره تشکیل می‌شوند، در افزایش استحکام چدن‌های داکتیل مؤثرند [۸]. وجود گرهای گرافیت استحکام خستگی را نیز نسبت به چدن‌های لایه‌ای افزایش می‌دهد [۹ و ۱۰].

لازم به ذکر است که منظور از مقطع ضخیم (Heavy Section) فقط قطعات با قطر و ابعاد بزرگ نیست. بلکه قطعاتی که سرعت سرد کردن آنها کم باشد، هم، هرچند از نظر ابعادی کوچک هم باشند، جزو قطعات ضخیم به حساب می‌آیند. تشکیل حفره‌های انقباضی، گیر افتادن سرباره و جداش عنصر آلیاژی در اینگونه قطعات باعث تخریب خواص مکانیکی می‌شود [۱۶]. در قطعات ضخیم سرعت انجاماد در سطح و قسمت مرکزی قطعه متفاوت بوده و نتیجتاً خواص مکانیکی در امتداد متغیر می‌شود. به دلیل طولانی بودن زمان انجاماد، در مرکز حرارتی قطعه جداش صورت گرفته و گرافیت بدشکل بوجود می‌آید. همه اینها تأثیر سوءبر خواص قطعه دارند [۱۷]. برای جلوگیری از این نوع تأثیر لازم است، ترکیب شیمیایی، فرآیند جوانهزنی و کروی کردن را به شدت کنترل نموده و زمان انجاماد را کوتاه کرد [۱۸] در این مقاله انواع و مکانیزم رشد گرافیت‌های بد شکل و روش‌هایی برای جلوگیری از بوجود آمدن آنها ارائه شده است.

دسته‌بندی گرافیت‌های بدشکل در چندین‌های داکتیل

گرافیتهاي بد شکل عمدتاً در مرکز حرارتی قطعات ضخیم بوجود می‌آیند و عامل اصلی بوجود آمدن آنها زمان طولانی انجاماد است [۲۰]

دو نوع اصلی گرافیت بد شکل گروی غیر کروی بزرگ و گرافیت چانکی (Chunky) است.

شکل ۱: مورفولوژی گرافیت در چند داکتیل ضخیم.

الف - پسک، نوعی گرافیت کروی. ب - گرافیت بدشکل

- گرافیت چانکی. ۳ - گرافیت غیر کروی بزرگ [مرجع

[۲۰]

مکانیزم تشکیل گرافیت‌های بد شکل

سه نوع گرافیت غیر کروی بزرگ کاهاش سرعت استحاله یوتکنیک و وجود دارد (شکل ۲) : گرافیت رشد یافته در تماس با فاز مذاب جوانه زنی و رشد می‌کند (شکل الف ۲)، چند دانه آستنیت همین خاطر برخی جریانهای حرارتی و جابجایی می‌تواند باعث افزایش یا کاهاش نیز در اطراف جوانه زنی کرده و یک لایه (شکل ب ۲) و گرافیت پرمانند (dissolved) بوجود می‌آورند. کُند بودن سرعت خروج دمای قسمتهای کوچکی از مجموعه (شکل ج ۲). شکل د ۲ یک فرم ترکیبی از گرمای نهان انجماد در مقاطع ضخیم باعث گردد [۲۰].

برخی محققان تشکیل گرافیت چانکی را به تحلیل رفت عامل کروی کننده و یا جوانسوز نسبت داده‌اند [۲۱] Compomanes and Karsay و نشان داده‌اند که وقتی از محیط به طرف مرکز حرارتی قطعه حرکت کنیم، تعداد کره‌ها افزایش می‌یابد تا اینکه به گرافیتهای چانکی برخورد نماییم [۲۲].

طبق این تئوری یک حد بحرانی برای کره‌ها وجود دارد که بالای آن مکانیزم رشد معمولی عوض می‌شود، و یک مکانیزم جدید منجر به تشکیل گرافیت چانکی می‌شود.

بررسیها نشان می‌دهد که گرافیت اثر خرد شدن کره‌های گرافیت بوجود می‌آید. به دلیل سرعت انجام پایین، کره‌های گرافیت بزرگ در بین تکه‌های خود مقداری فلز جامد دارند. در اثر جریانهای حرارتی و تنشهای رشد، کره‌ها به قسمتهای مختلفی شکسته شده و در بین دندربیت‌ها توزیع می‌گردند. بعد از آن کرین از مذاب نفوذ کرده و روی گرافیت چانکی رسوب می‌کند و شکل آنها عوض می‌شود [۲۲ و ۵].

تریب گرافیت پر مانند بوجود می‌آید. (شکل ۳) [۲۰].

تشکیل گرافیت چانکی سریع می‌باشد و بنابر این نیروی حرکة زیادی لازم دارد. این نیروی حرکة از فوق اشباع کرین و تحت انجام ترکیبی حاصل می‌شود. کرین معادل بالا و دمای ریختن پایین از عوامل دیگر تشکیل گرافیت چانکی است. تئوریهای ارائه شده در مورد مکانیزم‌های تشکیل این نوع گرافیت نمی‌توانند همه رفتارهای آن را توجیه نمایند. بهترین تئوری توسط Karsay و Compomanes [۲۱] ارائه شده است [۲۲].

طبق این تئوری گرافیتهای چانکی در اثر خرد شدن کره‌های گرافیت بوجود می‌آید. به دلیل سرعت انجام پایین، کره‌های گرافیت بزرگ در بین تکه‌های خود مقداری فلز جامد دارند. در اثر جریانهای حرارتی و تنشهای رشد، کره‌ها به قسمتهای مختلفی شکسته شده و در بین دندربیت‌ها توزیع می‌گردند. بعد از آن کرین از مذاب نفوذ کرده و روی گرافیت چانکی رسوب می‌کند و شکل آنها عوض می‌شود [۲۲ و ۳].

کانالهای کوچک حل می‌شود و بدین ترتیب گرافیت غیر کروی حل شده بوجود می‌آید (شکل ۳) [۲۰].

وقتی جریانهای حرارتی ناشی از جابجایی، سلول آستینیت - گرافیت را در مرحله واکنش یوتکنیک تحت تأثیر قرار می‌دهد، کرین متناویاً به کمک کانالهای کوچک و لایه نازک روی گرافیت رسوب کرده و مجدداً حل می‌شود. بدین آمدن گرافیت چانکی می‌شود [۲۲].

از طرف دیگر نسبت توزیع تعادلی اکثر عناصر آلیاژی در سیستم X - Fe پیشتر از یک می‌باشد. بنابر این در طول انجام این عناصر از جامد یوتکنیکی رانده شده و در جبهه انجام توزیع می‌شوند. گاهی اوقات غلظت این عناصر به حدی می‌رسد که دمای ذوب شدن آن ناحیه به زیر دمای تعادلی نزول می‌کند. این شرایط باعث ذوب شدن موضعی شده و کانالهای باریک مذاب در مرزهای آستینیت و برخی فصل مشترکهای گرافیت - آستینیت بوجود می‌آیند. به این ترتیب کره‌های گرافیت مستقیماً با مذاب در تماس قرار می‌گیرند (شکل ۳). سرعت نفوذ کرین در فاز مذاب حدود ۲۰ برابر آن در فاز جامد است. در این حالت اگر فلز مذاب اطراف سلول اندکی تحت انجام داشته باشد، کرین به راحتی از طریق این کانالهای باریک عبور کرده و روی کره گرافیت می‌نشیند و در داخل کانالها رشد ادامه می‌یابد. حاصل این مکانیزم گرافیت غیر کروی رشد یافته (شکل ۴) است. اگر فلز مذاب اطراف کره‌های گرافیت کمی فوق گداز داشته باشد، قسمتهایی از کره در تماس با کانالهای کوچک حل می‌شود و بدین ترتیب گرافیت غیر کروی حل شده بوجود می‌آید (شکل ۴) [۲۰].

وقتی جریانهای حرارتی ناشی از جابجایی، سلول آستینیت - گرافیت را در مرحله واکنش یوتکنیک تحت تأثیر قرار می‌دهد، کرین متناویاً به کمک کانالهای کوچک و لایه نازک روی گرافیت رسوب کرده و مجدداً حل می‌شود. بدین آمدن گرافیت چانکی می‌شود [۲۲].

شکل ۴: تصاویر SEM دوات می‌توانست که در خلاه حکاکسی شده‌اند [مرجع ۲۲].

آنتی موآن (Sb)

وجود $50\text{--}100 \text{ ppm}$ آنتی موآن در قطعات ضخیمی که از چدنها خام با خلوص بالا تولید می‌شوند، برای جلوگیری از تشکیل گرافیت چانکی کافی است.

نقش Sb در چدنها داکتیل خیلی پیچیده است. بدون وجود Sb گرافیت‌های بد شکل در ساختار بوجود می‌آید (شکل ۶) با افزودن $0.1\text{--}0.2\%$ درصد Sb شکل گرافیت‌ها به صورت کروی در می‌آید، ولی مقادیر بالای Sb باعث تغییر پیشتر کرده‌ها می‌شود.

حضور همزمان Sb و خاکیهای نادر، کره‌های گرافیت را بیشتر اصلاح می‌کند [۲].

شکل ۵: تصویر SEM گرافیت کروی که در خلاه حکاکی

بدون حکاکی RE $\times 100$

ذمہ‌است [مرجع ۲۲]

همچنین افزودن عنصری مانند آنتی موآن، قلع، بیسموت، آرسنیک و بتیریوم به همراه خاکیهای نادر می‌تواند از تشکیل گرافیت چانکی جلوگیری نماید. [۲۲]

نقش اصلاحی عناصر آلیاژی در مقاطع

ضخیم برخی از عناصر آلیاژی می‌توانند از تشکیل گرافیت‌های بد شکل در مقاطع ضخیم چدن داکتیل جلوگیری نمایند. مقدار این عناصر معمولاً خیلی کم است ولی وجود آنها بسیار مؤثر می‌باشد.

با ادامه انجاماد، عناصر آلیاژی در مرکز حرارتی قطعه جداش می‌کنند. در اثر این جداش تحت انجاماد ترکیبی بوجود می‌آید و طی آن جوانه زنی شدیدی روی می‌دهد که در نتیجه گرافیت چانکی بوجود می‌آید.

جداش ماکروسکوپی هیدروژن نیز در تشکیل گرافیت چانکی عامل مهمی می‌باشد. با استفاده از مبرد (افزايش سرعت انجاماد و کاهش تحت انجاماد ترکیبی) هم‌زدن (یکنواخت کردن ترکیب و دما) و افزایش قدرت جوانه‌زایی مذاب می‌توان از تشکیل گرافیت چانکی جلوگیری کرد.

بررسیها نشان داده‌اند نمونه‌هایی که در ترکیب خود ۸۶ ندارند، در مرز مشترک گرافیت با زمینه، غلظت بالای اکسیژن دارند. اکسیژن در طول انتجاماد به مرز مشترک گرافیت - مذاب جذب می‌شود. همین عامل در مراحل بعدی رشد باعث تخریب کره‌ها می‌گردد. وقتی مقداری ۸۶ به مذاب اضافه می‌شود، اکسیژن فصل مشترک را بر طرف می‌کند. مقدار اضافی ۸۶ بعد از بر طرف کردن اکسیژن روی کره‌ها اثر مخرب دارد. این مقدار اضافی باید توسط عناصر خاکی نادر بر طرف گردد [۲].

پتیریوم

پتیریوم نیز در صورتی که به صورت کنترل شده استفاده شود، می‌تواند از تشکیل گرافیت چانکی در مقاطع ضخیم جلوگیری نماید. در یک بررسی نمونه‌هایی با ترکیب جدول ۱ تهیه گردیده است [۲۵] بدون وجود پتیریوم، در مرکز حرارتی نمونه گرافیتهای بد شکل (چانکی و سوزنی) مشاهده شده است (شکل ۷) وجود ۰/۰۷ - ۰/۰۷ درصد پتیریوم توانسته است گرافیت‌ها را کاملاً کروی کند (شکل ۸) اگر مقدار پتیریوم بالا باشد، (۰/۰۷ درصد) گرافیت چانکی در ساختار بوجود می‌آید. (شکل ۹) [۲۵].

شماره نمونه	% باقیمانده	شکل گرافیت
۰۰۱	۰	گرافیت کروی و لایه‌ای
۷۰۱	۰/۰۷	گرافیت کروی
۷۰۲	۰/۰۱۲	گرافیت کروی
۷۰۳	۰/۰۲۷	گرافیت کروی
۷۰۴	۰/۵۱	گرافیت کروی و کرمی شکل
۷۰۵	۰/۰۹۸	گرافیت کروی و کرمی شکل
۷۰۶	۰/۱۲۷	گرافیت کروی و کرمی شکل
۷۰۷	۰/۲۷۰	گرافیت کروی و چانکی

شکل ۸: مورفولوژی گرافیت در نمونه‌ای که ۰/۰۱۲ درصد پتیریوم دارد بدون حکاکی $\times 100$

شکل ۹: ال. ۰/۰۷ درصد پتیریوم روی مورفولوژی گرافیت بدون حکاکی $\times 100$

جدول ۱: ال. پتیریوم روی مورفولوژی گرافیت

نتیجه‌گیری

- ۱) مهمترین عوامل مؤثر بر خواص مکانیکی در قطعات چدن داکتیل ضخیم، حفره‌های اقیاضی گیر افتادن سرباره و جدایش عناصر آلیاژی است.
- ۲) در نتیجه جدایش عناصر آلیاژی به علت سرعت کم سرد شدن، گرافیت‌های پر مانند و گرافیت‌های حل شده در این چدنها بوجود می‌آید. این نوع گرافیت‌ها باعث افت خواص مکانیکی می‌شوند. در اثر جدایش برخی عناصر در مرز دانه‌ها ساختارهای ناخواسته مانند پرلیت و حتی کاربید ممکن است بوجود آید.
- ۳) با توجه به مکانیزم‌های رشد، هم‌زدن، استفاده از مبرد، افزایش قدرت جوانه زایی مذاب و استفاده از برخی عناصر اصلاحی مانند Y, Sb و ... به همراه خاکهای نادر می‌توانند از بوجود آمدن گرافیتهای بد شکل جلوگیری کنند ■

سریم

وجود سریم نیز در بهبود شکل گرافیت در مقاطع ضخیم چدن داکتیل مؤثر است. اثر سریم روی ریزساختار چدنها داکتیل در جدول ۲ دیده می‌شود. کرویت خوب در صورت وجود 0.003% درصد تا 0.019% درصد سریم بدست می‌آید (شکل [۲۵] ۱۰)

از مقایسه جداول ۱ و ۲ می‌توان دید که رنج سریم لازم برای ساختار کاملاً کروی ($0.019\% - 0.003\%$ درصد) از مقدار یتیریوم لازم ($0.021\% - 0.027\%$ درصد) کمتر می‌باشد. در مقادیر بالای سریم ($0.041\% - 0.027\%$ درصد) کره‌ها متلاشی می‌شوند (شکلهای ۱۱ و ۱۲). در حدود 0.043% درصد سریم گرافیت چانکی بوجود می‌آید. (شکل ۱۳)

جدول ۲: اثر سریم روی مورفولوژی گرافیت [مرجع ۲۵]

شماره نمونه	% باقیمانده	شکل گرافیت
۰.۱	.	گرافیت کروی و لایه‌ای
۰.۱	0.002%	گرافیت کروی
۰.۲	0.05%	گرافیت کروی
۰.۲	0.08%	گرافیت کروی
۰.۴	0.19%	گرافیت کروی
۰.۵	0.27%	گرافیت کروی و فشرده نشده
۰.۶	0.41%	گرافیت کروی و فشرده نشده
۰.۷	0.42%	گرافیت کروی و چانکی

شکل ۱۰: ساختار گرافیت حاصل از نسخه‌ای که 0.003% درصد سریم دارد. بدون حکاکی $\times 100$

شکل ۱۳: تشکیل گرافیت چانکی همراه با گرافیت غیر فشرده در یک چدن داکتیل حاوی 0.041% درصد سریم. تشکیل شده است بدون حکاکی $\times 100$

شکل ۱۱: تشکیل گرافیت غیر فشرده (متلاشی شده) در چدن داکتیل حاوی 0.027% درصد سریم بدون حکاکی $\times 100$

Cast Iron."	No.106,PP.179-184, "Micro Segregation in Ductile Iron".	1) C.R. Loper. Jr, c.Y. Hurt, T.H. Witter, AFS Transactions, 1989, No.98, PP.943-950,"Plant
(۱) این اوحدی، جهان نور میرزاده، جلال حجازی، پرویز درامن، ششمین سمینار سالانه جامعه ریخته گران ایران با همکاری شرکت فولاد ایران، ۲۸-۲۶ اردیبهشت ۱۳۹۷، دانشگاه علم و صنعت ایران، "تأثیر بیسیمoot بر تعداد گرافیت و میکرو جدایش عناصر آلیاژی در چند نشکن".	11) R.C.Voigt, C.R. Loper,Jr, AFS Transactions, 1989, No. P.595-600. "Matrix Structure Developement".	Experiments Using Graphite Pretreatment of Ductile Iron"
20) Zhu Zhang, H.M.Flower, Mater. Sci. Thechno., July 1989, Vol.5, PP. 657-664 "Classification of degenerate graphite and its Formation Processes in Heavy Section Ductile Iron".	12) Z.Y.Li, B.L.T. Ren, Y Bao, AFS Transactions, 1989 No.94,PP.451-458, "An Investigation Into Mechanism of Dislocation Strengthening of Ductile Iron".	AFS Transactions, 1989, No.110,PP.671-688,"Graphite Pretreatment of Ductile Iron"
21) E.Campomanes and S.I Karsay, AFS Transactions, No.78, 1970, PP.85-92, "Control of Graphite Structure in Heavy Section Ductile Iron Castings".	13) D.Venugopalan, A.Alagarsamy, AFS Transactions,1989, No.57,PP.345-350, "Influence of Matrix Structure on the Fatigue of Ductile Iron".	3) T. Skaland, Grong, AFS Transactions,1989, No.56, pp. 135 - 157, "Nodule Distribution in Ductile Cast Iron".
22) Advanced Casting Technology& Conference Proceeding, ASM International, Edited by J. Easwan, 1987,PP245-256.	14) D.Venugopalan, A. Alagarsamy, AFS Transactions, 1992, No. 44,PP.337-345, "Factors Affecting Fatigue Strength of Commercial Ductile Iron Castings".	4) B.Liu,T.X. Li, Z.J.Rue, AFS Transactions, 1990, No.163, PP.735 - 757, "The role of Antimony in Heavy Section Ductile Iron"
23) H. Itofuji, H. Uchikawa, AFS Transactions, 1990, No.42, PP.429-449, "Formation Mechanism of Chunky Graphite in Heavy Section Ductile Cast Iron."	15) D.Venugopalan, K.L.Pilon, A.Alagarsamy, AFS Transactions, 1988, No. 1144, PP.697-704, "Effect of Microstructure on Fatigue Life of As Cast Ductile Iron".	5) D. Venugopalan, AFS Transactions, 1989, No.43, PP.271 - 276, "Modelling of Ferrite Formation in Ductile Iron."
24) N.L. Church and R.D Schelleng, AFS Transactions, No. 78,1970, PP.5-8, "Detimental Effect of Calcium on Graphite Structure in Heavy Section Ductile iron."	16) K.L.Hayrynen, D.J.Moore, K.C.Rundman, AFS Transactions, 1990, Mo.183<PP.619-632, "Heavy Section Ductile Iron : Production and Microsegregation".	6) Source Book on Ductile Iron, ASM,1977,PP.35-42
25) P.C.Lin, T.X. Li, C.L. Li, C.R. Loper, Jr, AFS Transactions, 1989, No.4, PP.11-16, "Study of the Effect of Yttrium, Cerium and Rare Earths on the Graphite Morphology in Heavy Section Ductile Iron."	17) S.K.Yu, C.R.Loper Jr, AFS Transactions, 1988, No.48, PP.81-822, "The Effects of Molybdenum, Copper, and Nickel on the Pearlitic and Martensitic Hardenability of Ductile Iron"	7) T.N. Blackman, AFS Transactions, 1989, No.10,PP.213-224, "Preliminary Investigation to Determine the Effect of Graphite Flotation upon the Tensile and Impact properties of Castings".
	18) S. Nakamura, N. Sakamoto, K.Inoue, AFS Transactions, 1989, No. 105, PP. 539-544,"As Cast Heavy Section Ferritic Spheroidal Graphite	8) E.N.Pan, W.S. Hsu, C.R.Loper, Jr, AFS Transactions, 1988, No.47,PP.645-660, "Effects of Some Variables on The Matrix and Mechanical properties of Ferritic Ductile Iron".
		9) D.Venugopalan, A. Alagarsamy, AFS Transactions, 1990, No.122,PP.395-400, "Effects Alloy Additions on The Microstructure and Mechanical Proterites of Commercial Ductile Iron"
		10) R.Boeri, Weinberg, AFS Transactions, 1989,