بسم الله الرحمن الرحیم

مبانی متالورژی چدن نشکن

تألیف:

مهران تدین سعیدی ـ حامد ثابت

اعضاء هیأت علمی گروه مهندسی مواد و متالورژی

سرشناسه	: تدین سعیدی ، مهران
عنوان وپدیداور	: مبانی متالوژی چدن نشکن/ تألیف مهران تدین سعیدی ، حامد ثابت
مشخصات نشر	: حق یاوران ، ۱۳۸۵
مشخصات ظاهری	: ۲۵۹ ص .مصور ، جدول ، نمودار.
شابک	: ۹۷۸-۹٦٤-۹٤٥۷٦-۸-۰
یادداشت	: فهرست نویسی بر اساس اطلاعات فیپا.
یادداشت	: کتابنامه : ص. [۲۵۷] - ۲۵۹
موضوع	: چدن نشکن— ذوب و استخراج .
موضوع	: متالوژی .
رده بندی کنگره	: TN ۷۱۹/ ۵ /۴م ٤ ت
رده بندی دیویی	:۲٦۹ /۱٤۱۳
شماره کتابخانه ملی	: ۳٤٥۱٦-۸۳م

نام کتاب : مبانی متالوژی چدن نشکن

مؤلفان : مهران تدین سعیدی - حامد ثابت

تیراژ : ۱۲۰۰ نسخه

نوبت چاپ : اول ـ ۱۳۸٦

حروفچینی وصفحه آرایی : زهرا زرگر

تهیه وتنظیم : مؤسسه آرین ویژه

لیتوگرافی : آران

چاپخانه : عمران

طراحی جلد : رهی غفاریان با همکاری آتلیه نوژن طراحان

قیمت : ۳۳۰۰ تومان

شابک : ۹۷۸-۹٦٤-۹٤٥۷٦-۸-۰

نشر : حق یاوران

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه ۱۱

فصل ۱ـ معرفی و تاریخچه تولید چدن نشکن ۱۳

۱ ـ ۱ ـ مقدمه ۱۳

۲ ـ ۱ ـ انواع چدن‌ها ۱۴

۳ ـ ۱ ـ معرفی چدن نشکن ۱۵

۴ ـ ۱ ـ تاریخچه تولید چدن نشکن ۱۶

۵ ـ ۱ ـ طبقه‌بندی چدن‌های نشکن ۱۷

فصل ۲ـ روش‌های قالب‌گیری و ماهیچه‌گیری برای ریخته‌گری چدن‌نشکن ۱۹

۱ ـ ۲ ـ مقدمه ۱۹

۲ ـ ۲ ـ قالب‌گیری با ماسه تر ۲۰

۳ ـ ۲ ـ قالب‌گیری با ماسه خشک ۲۲

۴ ـ ۲ ـ قالب‌گیری تمام ماهیچه ۲۳

۵ ـ ۲ ـ قالب‌گیری پوسته‌ای ۲۴

۶ ـ ۲ ـ قالب‌گیری به روش CO_2 (سیلیکات سدیم) ۲۵

۷ ـ ۲ ـ قالب‌گیری با چسب سرد ۲۶

۸ ـ ۲ ـ فرآیندهای ماهیچه‌گیری ۲۸

۱ ـ ۸ ـ ۲ ـ فرآیند ماهیچه‌گیری روغنی ۲۸

۲ ـ ۸ ـ ۲ ـ فرآیند ماهیچه‌گیری جعبه گرم (هات باکس) ۲۹

۳ ـ ۸ ـ ۲ ـ فرآیند ماهیچه‌گیری چسب سرد ۲۹

۴ ـ ۸ ـ ۲ ـ فرآیند ماهیچه‌گیری پوسته‌ای ۳۰

۵ ـ ۸ ـ ۲ ـ فرآیند ماهیچه‌گیری CO_2 (سیلیکات سدیم) ۳۱

عنوان	صفحه

فصل ۳ ـ کوره‌های ذوب چدن نشکن ۳۳
۱ ـ ۳ ـ مقدمه ۳۳
۲ ـ ۳ ـ کوره کوپل ۳۳
۳ ـ ۳ ـ کوره القایی ۳۷
۴ ـ ۳ ـ کوره بوته‌ای ۴۰
۵ ـ ۳ ـ کوره دوار ۴۲

فصل ۴ ـ محاسبه شارژ برای ریخته‌گری چدن نشکن ۴۵
۱ ـ ۴ ـ مقدمه ۴۵
۲ ـ ۴ ـ اطلاعات مورد نیاز جهت محاسبه شارژ ۴۵
۳ ـ ۴ ـ محاسبه شارژ چدن نشکن ۴۸

فصل ۵ ـ روش‌های کروی‌نمودن گرافیت درچدن‌نشکن ۶۱
۱ ـ ۵ ـ مقدمه ۶۱
۲ ـ ۵ ـ روش کروی نمودن تَه بوته‌ای (بوته سرباز) ۶۲
۳ ـ ۵ ـ روش کروی نمودن ته بوته‌ای یا ساندویچی ۶۳
۴ ـ ۵ ـ روش کروی نمودن با پاتیل درپوش‌دار ۶۶
۵ ـ ۵ ـ روش کروی نمودن غوطه‌وری (فروبری) ۶۷
۶ ـ ۵ ـ روش کروی نمودن بوته گردان یا کنورتور GF ۶۹
۷ ـ ۵ ـ روش کروی نمودن تزریقی ۷۲
۸ ـ ۵ ـ روش کروی نمودن توپی متخلخل ۷۴
۹ ـ ۵ ـ روش کروی نمودن جریان خیس‌کننده ۷۴
۱۰ ـ ۵ ـ روش کروی نمودن تحت فشار ۷۶
۱۱ ـ ۵ ـ عملیات کروی نمودن در محفظه قالب (In mold) ۷۷
۱۲ ـ ۵ ـ میرایی منیزیم ۷۹

فصل ۶ ـ انجماد چدن نشکن ۸۳
۱ ـ ۶ ـ مقدمه ۸۳
۲ ـ ۶ ـ تعادل آهن و گرافیت ۸۴
۳ ـ ۶ ـ مکانیزم کروی شدن گرافیت‌ها ۸۶

عنوان | صفحه

۴ - ۶ - انجماد چدن‌های نشکن ۸۷
۵ - ۶ - جوانه‌زایی ۸۹

فصل ۷ - روش‌های ریخته‌گری چدن نشکن ۹۳
۱ - ۷ - مقدمه ۹۳
۲ - ۷ - ریخته‌گری در قالب‌های موقت ۹۴
۳ - ۷ - ریخته‌گری در قالب‌های دائمی ۹۵
۴ - ۷ - ریخته‌گری گریز از مرکز ۹۵

فصل ۸ - عیوب قطعات ریختگی چدن نشکن ۹۷
۱ - ۸ - مقدمه ۹۷
۲ - ۸ - عیوب ناشی از گرافیت ۹۸
۳ - ۸ - عیوب ناشی از ریزساختار میکروسکوپی ۱۰۵
۴ - ۸ - عیوب ناشی از کاربید یوتکتیک ۱۰۵
۵ - ۸ - عیوب ناشی از ناخالصی‌ها ۱۰۸
۶ - ۸ - عیوب سطحی ۱۱۳

فصل ۹ - طراحی سیستم راهگاهی و تغذیه‌گذاری برای ریخته‌گری چدن‌نشکن ۱۱۵
۱ - ۹ - مقدمه ۱۱۵
۲ - ۹ - سیستم راهگاهی فشاری ۱۱۷
۳ - ۹ - سیستم راهگاهی غیرفشاری ۱۱۷
۴ - ۹ - زمان پرکردن قالب ۱۱۸
۵ - ۹ - تنگه ۱۱۹
۶ - ۹ - نکات‌مهم درطراحی اجزای‌سیستم راهگاهی برای ریخته‌گری چدن‌های‌نشکن. ۱۲۱
۷ - ۹ - تغذیه‌گذاری چدن‌های نشکن ۱۲۲
۸ - ۹ - تغییرات حجم در روند انجماد چدن‌های نشکن ۱۲۳
۹ - ۹ - عوامل موثر بر میزان انبساط مذاب ۱۲۳
۱ - ۹ - ۹ - درجه حرارت ریختن مذاب در قالب ۱۲۴
۲ - ۹ - ۹ - سرعت سرد شدن مذاب در قالب ۱۲۶
۳ - ۹ - ۹ - ترکیب شیمیایی مذاب ۱۲۶

عنوان | صفحه

۴ - ۹ - ۹ - خصوصیات و جنس قالب ۱۲۷
۵ - ۹ - ۹ - روش کروی نمودن گرافیت‌ها و روش جوانه‌زایی ۱۲۸
۱۰ - ۹ - روش‌های تغذیه‌گذاری برای ریخته‌گری چدن‌های نشکن ۱۲۸
۱ - ۱۰ - ۹ - روش سنتی ۱۲۹
۲ - ۱۰ - ۹ - روش اعمال انبساط ۱۲۹
۱ - ۲ - ۱۰ - ۹ - روش کنترل فشار ۱۲۹
۲ - ۲ - ۱۰ - ۹ - روش اعمال مستقیم انبساط ۱۳۳
۱ - ۲ - ۲ - ۱۰ - ۹ - روش اعمال مستقیم انبساط از طریق..... ۱۳۳
۲ - ۲ - ۲ - ۱۰ - ۹ - روش اعمال مستقیم انبساط از طریق..... ۱۳۳
۳ - ۲ - ۱۰ - ۹ - ریخته‌گری بدون تغذیه ۱۳۴
۳ - ۱۰ - ۹ - روش هندسی ۱۳۵

فصل ۱۰ - تاثیر عناصر آلیاژی بر خواص ساختاری و مکانیکی چدن‌های نشکن. ۱۳۷
۱ - ۱۰ - مقدمه ۱۳۷
۲ - ۱۰ - کربن ۱۳۸
۳ - ۱۰ - سیلیسیم ۱۳۹
۴ - ۱۰ - منگنز ۱۴۰
۵ - ۱۰ - گوگرد ۱۴۱
۶ - ۱۰ - فسفر ۱۴۲
۷ - ۱۰ - مس ۱۴۲
۸ - ۱۰ - قلع ۱۴۳
۹ - ۱۰ - کروم ۱۴۴
۱۰ - ۱۰ - نیکل ۱۴۵
۱۱ - ۱۰ - مولیبدن ۱۴۵
۱۲ - ۱۰ - سرب ۱۴۶
۱۳ - ۱۰ - تیتانیم ۱۴۷
۱۴ - ۱۰ - وانادیم ۱۴۷
۱۵ - ۱۰ - آنتیموان ۱۴۸
۱۶ - ۱۰ - آرسنیک ۱۴۸
۱۷ - ۱۰ - بیسموت ۱۴۹

عنوان | صفحه

۱۸ - ۱۰ - تلوریم ۱۴۹
۱۹ - ۱۰ - آلومینیم ۱۵۰
۲۰ - ۱۰ - هیدروژن ۱۵۰
۲۱ - ۱۰ - تنگستن ۱۵۱
۲۲ - ۱۰ - بُر ۱۵۱
۲۳ - ۱۰ - ازت ۱۵۱
۲۴ - ۱۰ - سریم ۱۵۲
۲۵ - ۱۰ - کلسیم ۱۵۲

فصل ۱۱ - عملیات حرارتی چدن‌های نشکن ۱۵۳
۱ - ۱۱ - مقدمه ۱۵۳
۲ - ۱۱ - محدوده دمای بحرانی ۱۵۴
۳ - ۱۱ - عملیات حرارتی آنیل ۱۵۴
۴ - ۱۱ - نرماله کردن ۱۵۶
۵ - ۱۱ - آستمپرینگ ۱۵۸
۶ - ۱۱ - سخت کردن و برگشت دادن (کوئنچ و تمپرکردن) ۱۵۹
۷ - ۱۱ - سخت کاری سطحی ۱۶۰
۸ - ۱۱ - تنش‌گیری ۱۶۱

فصل ۱۲ - چدن نشکن آستمپر ۱۶۳
۱ - ۱۲ - مقدمه ۱۶۳
۲ - ۱۲ - فرآیند آستمپرینگ ۱۶۴
۳ - ۱۲ - تحول بینیتی ۱۶۵
۴ - ۱۲ - خواص مکانیکی ۱۶۶
۱ - ۴ - ۱۲ - خواص کششی ۱۶۷
۲ - ۴ - ۱۲ - چقرمگی شکست ۱۶۸
۳ - ۴ - ۱۲ - خستگی ۱۶۹
۴ - ۴ - ۱۲ - مقاومت به سایش ۱۶۹
۵ - ۱۲ - قابلیت ماشین‌کاری ۱۷۱
۶ - ۱۲ - کنترل تولید ۱۷۲

عنوان | صفحه

۷ - ۱۲ - ترکیب شیمیایی ۱۷۳
۸ - ۱۲ - اثر عناصر آلیاژی ۱۷۴
۱ - ۸ - ۱۲ - کربن ۱۷۴
۲ - ۸ - ۱۲ - سیلیسیم ۱۷۴
۳ - ۸ - ۱۲ - منگنز ۱۷۵
۴ - ۸ - ۱۲ - مس ۱۷۵
۵ - ۸ - ۱۲ - نیکل ۱۷۵
۶ - ۸ - ۱۲ - مولیبدن ۱۷۶

فصل ۱۳ - خواص مکانیکی و فیزیکی چدن‌های نشکن ۱۷۷
۱ - ۱۳ - مقدمه ۱۷۷
۲ - ۱۳ - عوامل موثر بر خواص مکانیکی ۱۷۸
۱ - ۲ - ۱۳ - ریز ساختار ۱۷۸
۲ - ۲ - ۱۳ - ترکیب شیمیایی ۱۷۹
۳ - ۱۳ - رده‌های چدن نشکن ۱۸۱
۴ - ۱۳ - سختی ۱۸۱
۵ - ۱۳ - حساسیت مقطع و عناصر آلیاژی ۱۸۳
۶ - ۱۳ - خواص کششی ۱۸۶
۷ - ۱۳ - استحکام فشاری ۱۹۰
۸ - ۱۳ - خواص برشی و پیچشی ۱۹۱
۹ - ۱۳ - خواص کشسانی و میرایی ۱۹۲
۱۰ - ۱۳ - تنش‌های مرکب ۱۹۳
۱۱ - ۱۳ - خواص خستگی یا دوام ۱۹۳
۱۲ - ۱۳ - خواص چقرمگی شکست ۱۹۶
۱ - ۱۲ - ۱۳ - اندازه‌گیری چقرمگی شکست با آزمون‌های ضربه ۱۹۶
۲ - ۱۲ - ۱۳ - اندازه‌گیری چقرمگی شکست با آزمون مکانیک شکست ۱۹۹
۱۳ - ۱۳ - خواص در دمای بالا ۲۰۰
۱ - ۱۳ - ۱۳ - انتخاب مواد ۲۰۰
۲ - ۱۳ - ۱۳ - اثر دما ۲۰۱
۱۴ - ۱۳ - رشد و اکسیدشدن یا پوسته‌شدن ۲۰۲

عنوان	صفحه

۱۵ ـ ۱۳ ـ خواص کوتاه مدت در دمای بالا ۲۰۴
۱۶ ـ ۱۳ ـ خواص خزشی و تنش ـ گسیختگی ۲۰۵
۱۷ ـ ۱۳ ـ خستگی حرارتی ۲۰۵
۱۸ ـ ۱۳ ـ خواص در دمای کم ۲۰۸
۱۹ ـ ۱۳ ـ انبساط گرمایی (حرارتی) ۲۰۹
۲۰ ـ ۱۳ ـ هدایت گرمایی (حرارتی) ۲۰۹
۲۱ ـ ۱۳ ـ هدایت الکتریکی ۲۱۰
۲۲ ـ ۱۳ ـ خواص مغناطیسی ۲۱۱

فصل ۱۴ ـ ماشین‌کاری چدن‌های نشکن ۲۱۳
۱ ـ ۱۴ ـ مقدمه ۲۱۳
۲ ـ ۱۴ ـ قابلیت ماشین‌کاری ۲۱۳
۳ ـ ۱۴ ـ روش‌های متداول ماشین‌کاری ۲۱۷
۱ ـ ۳ ـ ۱۴ ـ صیقل‌کاری غلطکی ۲۱۸
۲ ـ ۳ ـ ۱۴ ـ شاب‌زنی ۲۱۸
۳ ـ ۳ ـ ۱۴ ـ ماشین‌کاری سایشی ۲۱۹
۴ ـ ۳ ـ ۱۴ ـ ضرب‌زنی ۲۲۰
۴ ـ ۱۴ ـ ملاحظات قابلیت تولید ۲۲۰

فصل ۱۵ ـ روش‌های اتصال چدن نشکن ۲۲۱
۱ ـ ۱۵ ـ مقدمه ۲۲۱
۲ ـ ۱۵ ـ جوشکاری ۲۲۳
۱ ـ ۲ ـ ۱۵ ـ جوشکاری قوسی ۲۲۳
۲ ـ ۲ ـ ۱۵ ـ جوشکاری گازی ۲۲۴
۳ ـ ۱۵ ـ تکنولوژی جوشکاری ۲۲۶
۴ ـ ۱۵ ـ لحیم‌کاری سخت ۲۳۰
۵ ـ ۱۵ ـ اتصال با چسب ۲۳۲

فصل ۱۶ ـ استانداردهای چدن نشکن ۲۳۳
۱ ـ ۱۶ ـ مقدمه ۲۳۳

عنوان **صفحه**

۲ ـ ۱۶ ـ جداول استاندارد چدن نشکن ۲۳۵

فصل ۱۷ ـ کاربردهای صنعتی چدن نشکن ۲۴۳
۱ ـ ۱۷ ـ مقدمه ۲۴۳
۲ ـ ۱۷ ـ چدن نشکن در صنعت لوله‌سازی ۲۴۳
۳ ـ ۱۷ ـ چدن نشکن در صنعت خودروسازی ۲۴۴
۱ ـ ۳ ـ ۱۷ ـ قطعات اکسل ۲۴۵
۲ ـ ۳ ـ ۱۷ ـ توپی چرخ ۲۴۶
۳ ـ ۳ ـ ۱۷ ـ میل‌لنگ‌ها ۲۴۶
۴ ـ ۳ ـ ۱۷ ـ منیفولد دود ۲۴۷
۵ ـ ۳ ـ ۱۷ ـ انگشتی سوپاپ ۲۴۸
۶ ـ ۳ ـ ۱۷ ـ بازوی انتقال‌دهنده نیرو ۲۴۹
۷ ـ ۳ ـ ۱۷ ـ دنده‌های پینیون ۲۵۰
۸ ـ ۳ ـ ۱۷ ـ اتصالات ترمز ۲۵۰
۴ ـ ۱۷ ـ چدن نشکن در ساخت چرخ دنده‌ها ۲۵۱
۱ ـ ۴ ـ ۱۷ ـ استحکام خستگی دورانی تاج دنده‌ها ۲۵۲
۲ ـ ۴ ـ ۱۷ ـ مقاومت در برابر سایش تاج دنده‌ها ۲۵۳
۳ ـ ۴ ـ ۱۷ ـ انواع چدن‌های نشکن برای ساخت چرخ‌دنده‌ها ۲۵۳
۵ ـ ۱۷ ـ چدن نشکن در غلطک سازی ۲۵۴
۱ ـ ۵ ـ ۱۷ ـ غلطک‌های چدن نشکن پرلیتی ۲۵۵
۲ ـ ۵ ـ ۱۷ ـ غلطک‌های چدن نشکن بینیتی ۲۵۶

منابع و مراجع ۲۵۷
منابع فارسی استفاده شده ۲۵۷
منابع انگلیسی استفاده شده ۲۵۹

مقدمه

چدن‌ها دسته بزرگی از آلیاژهای آهنی می‌باشند که بیشترین آمار تولید قطعات ریختگی را در سطح جهان به خود اختصاص داده‌اند، نقطه ذوب پایین (تر از فولاد) - سیالیت کافی - عدم تشکیل سرباره چسبنده و هزینه تولید کمتر این آلیاژها باعث گردید که در دهه ۱۹۳۰ میلادی مهندسین طراح در بسیاری از کاربردهای صنعتی قطعات ریختگی چدن را جایگزین قطعات فولادی نمایند. این موضوع بعد از تولید چدن نشکن (در اواخر دهه ۱۹۴۰ میلادی) با جدیت بیشتری از طرف مهندسین پی‌گیری شد به نحوی که امروزه در بسیاری از موارد گزارش گردیده است که قطعات چدن نشکن با موفقیت جایگزین قطعاتی از جنس فولادهای آهنگری شده گردیده‌اند. دلیل این امر را باید در خواص منحصر به فرد این چدن جستجو نمود، وجود گرافیت‌های کروی و قابلیت پذیرش انواع عملیات‌های حرارتی باعث گردیده است که خواص مکانیکی قابل قبول در این دسته از چدن‌ها در طیف وسیعی از کاربردهای صنعتی قابل دستیابی باشد.

تولید چدن نشکن در ایران قدمتی ۳۵ ساله دارد و امروزه اکثر صنعت گران و مهندسین با خواص منحصر به فرد این آلیاژ به خوبی آشنا هستند، کتاب حاضر نیز برای رفع نیازهای علمی - و کاربردی متخصصین و دانشجویان تهیه شده و در آن سعی گردیده

است تا اطلاعات لازم در خصوص مبانی متالورژی و تولید چدن نشکن در اختیار علاقه‌مندان قرار دهد. در انتها از همکاری بی‌شائبه آقای مهندس مجید پورصادق زنوزی به خاطر همکاری در تهیه کتاب قدردانی نموده و از جناب آقای دکتر ناصر ورهرام استاد دانشکده مهندسی و علم مواد دانشگاه صنعتی شریف به پاس ارائه راهنمایی‌های ارزنده سپاسگزاری نموده و از کلیه مسؤولین واحد و دست‌اندرکاران اداره انتشارات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج به خاطر همکاری‌های لازم جهت تایپ و چاپ کتاب تشکر می‌گردد.

مهران تدین سعیدی ـ حامد ثابت

تابستان ۱۳۸۳

فصل ۱

معرفی و تاریخچه تولید چدن نشکن

۱ـ۱ـ مقدمه

واژه چدن به گروه وسیعی از فلزات با خواص مختلف اطلاق می‌شود که عمدتاً آلیاژهای آهن ـ کربن و سیلیسیم می‌باشند، فولاد و چدن هر دو آلیاژهای آهن ـ کربن می‌باشند ولی فولادها همیشه کمتر از ۲ درصد کربن دارا می‌باشند و اغلب درصد کربن آنها از یک درصد تجاوز نمی‌کند در حالی‌که چدن‌ها همواره بیش از ۲ درصد کربن دارند، از طرفی چدن‌ها دارای مقادیری سیلیسیم نیز می‌باشند که میزان آن از یک تا سه (۱ تا ۳) درصد متغیر است.

البته باید توجه داشت که عناصر دیگری نظیر منگنز ـ فسفر و گوگرد هم معمولاً در چدن‌ها وجود دارند. علاوه بر این در چدن‌های آلیاژی درصد سیلیسیم بیش از مقداری که در تعریف ذکر شده می‌تواند وجود داشته باشد. بالابودن میزان کربن و سیلیسیم موجود در چدن‌ها باعث می‌شود این دسته از فلزات از جمله آلیاژهایی باشند که قابلیت

ریخته‌گری عالی دارند، چدن‌ها به سهولت ذوب شده و در حالت مذاب سیالیت زیادی دارند علاوه بر این انجماد چدن‌ها با انقباض و کشیدگی جزئی همراه است و از این نظر دشواری کمتری دارند اما بالا بودن میزان کربن موجود در آنها مانع از آن است که بتوان در حالت جامد بر روی آنها عملیات شکل‌دادن نظیر آنچه در مورد فولادها صورت می‌گیرد را انجام داد.

در چدن‌ها بخش قابل توجهی از کربن موجود در خلال انجماد آزادشده و به صورت یک جزء یا فاز اصلی مجزا در ریز ساختار ظاهر می‌گردد شکل و فرم این کربن مشخص‌کننده نوع چدن و مبنای اصلی طبقه‌بندی آن خواهدبود. در چدن سفید بخش عمده کربن موجود به صورت ترکیب با آهن (Fe_3C) ظاهر می‌گردد. در چدن چکش‌خوار (مالیبل) بخش عمده کربن به صورت گرافیت می‌باشد که این گرافیت‌ها در نقاط مختلف تجمع کرده و اشکال نامنظمی شبیه کلوخه را تشکیل می‌دهند. در چدن خاکستری این کربن به شکل ورقه‌های گرافیت و در چدن نشکن به شکل کروی ظاهر می‌گردد.

۲ـ۱ـ انواع چدن‌ها

انواع گوناگون چدن را می‌توان براساس نوع و شکل کربن دسته‌بندی نمود، بر این اساس می‌توان چدن‌ها را به ۴ دسته اصلی تقسیم‌بندی نمود که عبارتند از:

چدن سفید ـ چدن چکش‌خوار ـ چدن خاکستری ـ چدن نشکن و چدن با گرافیت فشرده، همچنین به هر نوع از این چدن‌ها می‌توان عناصر آلیاژی اضافه نمود یا آنها را مورد عملیات حرارتی قرار داد بدون آنکه نوع چدن تغییر نماید. جدول ۱ ـ ۱ محدوده ترکیب شیمیایی انواع چدن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱ـ۱ـ محدوده ترکیب شیمیایی انواع چدن‌ها

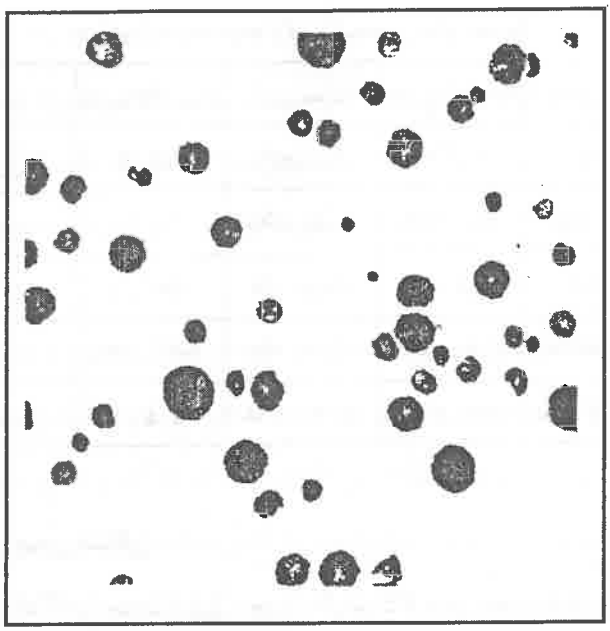
عنصر	چدن خاکستری	چدن سفید	چدن چکش‌خوار	چدن نشکن
کربن	۴ - ۲/۵	۳/۶ - ۱/۸	۲/۶ - ۲	۴ - ۳
سیلیسیم	۳ - ۱	۱/۹ - ۰/۵	۱/۶ - ۱/۱	۲/۸ - ۱/۸
منگنز	۱ - ۰/۲۵	۰/۸ - ۰/۲۵	۱ - ۰/۲	۱ - ۰/۱
گوگرد	۰/۲۵ - ۰/۰۲	۰/۲ - ۰/۰۶	۰/۱۸ - ۰/۰۴	حداکثر ۰/۰۳
فسفر	۱ - ۰/۰۵	۰/۱۸ - ۰/۰۶	حداکثر ۰/۱۸	حداکثر ۰/۱

۳ـ۱ـ معرفی چدن نشکن

چدن نشکن که گاهی چدن کروی ـ چدن با گرافیت کروی ـ چدن نشکن ـ چدن داکتیل و یا چدن SG خوانده می‌شود در دهه ۱۹۴۰ میلادی کشف گردید. در این چدن، گرافیت به شکل کروی می‌باشد که این امر ناشی از اضافه نمودن مقادیر بسیار کم ولی محاسبه شده‌ای از عناصر نظیر سریم یا منیزیم به مذاب چدن قبل از ریخته‌گری می‌باشد.

بالابودن میزان کربن و سیلیسیم در چدن نشکن باعث می‌گردد که فرآیند ریخته‌گری و قابلیت ماشینکاری بسیار خوب چدن حفظ گردد.

چدن نشکن مدول الاستیسیته بالایی دارد. استحکام تسلیم آن در محدوده خوبی می‌باشد و همانطوری که از نام آن مشخص است از قابلیت انعطاف‌پذیری خوبی نیز برخوردار است لذا می‌توان قطعات مختلفی در محدوده وسیعی از نظر اندازه و طرح (قطعات بسیار ظریف و جداره نازک تا قطعاتی با ضخامت‌های زیاد) از آن تهیه نمود.



شکل ۱ ـ ۱ ـ چدن نشکن با گرافیت کروی ـ قبل از اچ با بزرگنمایی ۱۰۰×

۴ ـ ۱ ـ تاریخچه تولید چدن نشکن

اگرچه تولید چدن‌های چکش‌خوار از صدها سال پیش در کشورهای صنعتی جهان شروع شده و هنوز نیز ادامه دارد معهذا به علت مشکلات مربوط به تولید قطعات چدنی و لزوم انجام عملیات حرارتی به روی قطعات از آغاز پیدایش چدن‌های چکش‌خوار ایده کروی نمودن کربن بدون نیاز به عملیات حرارتی چدن وجود داشته است، این آرزو در سال ۱۹۴۵ میلادی به حقیقت پیوست زیرا موراف از مؤسسه تحقیقاتی چدن بریتانیا توانست با اضافه نمودن مقداری مختصری فلز سریم به مذاب چدن (بدون نیاز به عملیات حرارتی) چدن با گرافیت کروی یا چدن نشکن را تهیه نماید؛ معهذا به علت مشکلات مربوط به تولید و گران بودن فلز سریم این روش در سطح وسیعی مورد

استفاده قرار نگرفت.

در پایان جنگ جهانی دوم که کشورهای صنعتی جهان با کمبود کروم روبرو بودند شرکت بین‌المللی نیکل تصمیم گرفت تا در چدن‌های خاکستری و چدن پر نیکل خود از منیزیم به جای کروم استفاده نماید، چون اضافه نمودن منیزیم به تنهایی به مذاب چدن، همراه با سوختن شدید آن و بیرون ریختن مذاب از پاتیل همراه بوده لذا منیزیم را به صورت آلیاژ منیزیم ـ مس و منیزیم ـ نیکل به مذاب اضافه نمودند چدنی که به این ترتیب تهیه گردید در کمال تعجب دارای استحکام بالایی بود و هنگامی که تکه‌ای از آن را در زیر میکروسکوپ قرار دادند مشاهده شد که کربن به صورت گرافیت‌های کروی درآمده است.

استفاده منیزیم برخلاف سریم در تهیه چدن نشکن مشکلات اقتصادی در برنداشت و به این ترتیب تهیه این نوع چدن (با استفاده از منیزیم) در سال ۱۹۴۶ اعلام گردید. تهیه قطعات ریختگی چدن نشکن در ایران اولین بار در سال ۱۳۴۷ هجری شمسی (۱۹۶۸ میلادی) توسط برادران شهرستانی (در کارخانه فعلی نورد و تولید قطعات فولادی) و سپس در فاصله کوتاهی توسط مرحوم عباس صادقیان و براساس کوشش‌های خستگی‌ناپذیر آقای حبیب شبگیر آغاز گردید. در سال ۱۳۴۹ (۱۹۷۰) کارخانه لوله ماشین‌سازی ایران تولید لوله‌های چدن نشکن و سپس اتصالات چدنی را آغاز نمود و از این تاریخ به بعد واحدهای ریخته‌گری کوچک و بزرگ مبادرت به تولید چدن‌های نشکن نمودند که این روند تا به امروز ادامه دارد.

۵ـ۱ـ طبقه‌بندی چدن‌های نشکن

انواع متداول چدن نشکن عمدتاً از لحاظ ریز ساختار زمینه‌ای که گرافیت کروی را

دربر گرفته تفاوت دارند. این تفاوت‌ها نتیجه اختلاف در ترکیب شیمیایی و سرعت سردشدن قطعه ریختگی پس از باررریزی و یا نتیجه عملیات حرارتی می‌باشد. به‌طور کلی براساس استاندارد ASTM ـ A۵۳۶ چدن نشکن به ۵ دسته تقسیم می‌گردد که در جدول ۲ ـ ۱ ارائه شده است.

جدول ۲ ـ ۱ ـ انواع چدن‌های نشکن براساس استاندارد *ASTM ـ A۵۳۶*

استحکام کششی (پوندبراینچ‌مربع)	تنش تسلیم (پوند بر اینچ‌مربع)	درصد ازدیاد طول‌نسبی	سختی برینل *HB*	نوع عملیات حرارتی	ریز ساختار
۶۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	۱۸	۱۷۰ ـ ۱۳۷	آنیل شده	تماماً فریتی
۶۵۰۰۰	۴۵۰۰۰	۱۲	۱۲۹ ـ ۱۴۹	—	فریتی
۸۰۰۰۰	۵۵۰۰۰	۶	۲۲۵ ـ ۱۷۹	—	فریتی و پرلیتی
۱۰۰۰۰۰	۷۰۰۰۰	۳	۳۰۲ ـ ۲۲۹	نرماله شده	تماماً پرلیتی
۱۲۰۰۰۰	۹۰۰۰۰	۲	۳۵۰ ـ ۲۵۰	کوئینچ و تمپرشده	مارتنزیت تمپرشده

فصل ۲

روش‌های قالب‌گیری و ماهیچه‌گیری برای ریخته‌گری چدن نشکن

۱ـ۲ـ مقدمه

همانطور که می‌دانیم قالب را می‌توان یکی از ارکان اصلی فرایند ریخته‌گری دانست و به همین سبب حتی می‌توان روش‌های ریخته‌گری را بر حسب نوع قالب مورد استفاده تقسیم‌بندی نمود. به‌طور کلی وظیفه قالب ایجاد محفظه‌ای است که فلز مذاب به داخل آن وارد شود و پس از انجماد، قطعه‌ای با اندازه و شکل دلخواه حاصل شود.

مخلوط‌های ماسه قالب‌گیری برای ریخته‌گری چدن نشکن باید استحکام فشاری بالایی در حالت‌تر همراه با مقاومت برشی مناسب داشته باشند. این مخلوط باید دارای قابلیت نفوذ کافی برای خارج شدن گاز بوده و خاک رس کافی برای پذیرش انبساط و رطوبت کافی برای فعال نمودن خاک رس به منظور چسبندگی لازم را داشته باشد. ماسه قالب‌گیری باید دارای شکل و توزیع مناسب باشد تا قطعاتی با سطوح نهایی مطلوب و قابل قبول حاصل شود.

روش‌های قالب‌گیری مورد استفاده برای تولید قطعات ریختگی چدن نشکن مشابه با روش‌های مورد استفاده برای تولید قطعات چدن خاکستری می‌باشد که این روش‌ها عبارتند از:

- قالب‌گیری با ماسه تر
- قالب‌گیری با ماسه خشک
- قالب‌گیری تمام ماهیچه
- قالب‌گیری پوسته‌ای
- قالب‌گیری به روش CO_2 (سیلیکات سدیم)
- قالب‌گیری با چسب سرد

در ذیل به بررسی هر یک از روش‌های فوق می‌پردازیم:

۲ـ۲ـ قالب‌گیری با ماسه تر

این روش متداول‌ترین روش قالب‌گیری برای ریخته‌گری قطعات چدن نشکن می‌باشد. در این روش می‌توان عمل قالب‌گیری را با دست و یا ماشین خودکار یا نیمه‌خودکار انجام داد. در این روش مخلوط قالب‌گیری مجموعه‌ای از ماسه به‌علاوه چسب (بنتونیت) و آب می‌باشد که میزان چسب معمولاً بین ۴ تا ۷ درصد انتخاب می‌شود. در بعضی مواقع نیز مواد افزودنی مانند گرد (پودر) زغال و... به منظور دستیابی به خواص موردنظر مانند افزایش استحکام‌تر، افزایش استحکام گرم، بهبود کیفیت سطحی، افزایش نقطه زینتر و... به ماسه قالب‌گیری اضافه می‌شود.

از طرف دیگر ممکن است ماسه دارای چسب طبیعی باشد بنابراین با توجه به آنکه ماسه‌های سیلیسی با چسب طبیعی که برای ریخته‌گری قطعات چدنی به روش

قالب‌گیری دستی استفاده می‌شوند، باید دارای شرایط مندرج در جدول ۱ ـ ۲ باشند، لذا پنج آزمایش ذیل برای ماسه‌های مذکور در نظر گرفته می‌شود.

۱ ـ آزمایش تعیین درصد رطوبت ۲ ـ آزمایش تعیین درصد خاک رس

۳ ـ آزمایش تعیین عدد ریزی ۴ ـ آزمایش استحکام فشاری تر

۵ ـ آزمایش قابلیت عبور گاز

جدول ۱ ـ ۲ ـ شرایط لازم برای ماسه‌های سیلیسی با چسب طبیعی جهت مصرف در ریخته‌گری چدن

خواص ماسه	قطعات کوچک	قطعات متوسط	قطعات بزرگ
درصد رطوبت	۶/۵ ـ ۸/۵	۵/۵ ـ ۷	۴ ـ ۶/۵
درصد خاک رس	۱۰ ـ ۱۲	۱۱ ـ ۱۴	۸ ـ ۱۳
عدد ریزی	۱۸۰ ـ ۲۰۰	۷۰ ـ ۸۶	۵۰ ـ ۶۰
استحکام فشاری‌تر PSI	۱۰ ـ ۱۴	۱۰ ـ ۲۰	۱۲ ـ ۲۰
قابلیت عبور گاز AFS	۱۰ ـ ۱۵	۴۰ ـ ۶۰	۸۰ ـ ۱۲۰

مزایای اصلی روش قالب‌گیری با ماسه‌تر عبارتند از:

۱ ـ مقرون به صرفه بودن قطعات تولیدی و ماسه مورد مصرف از لحاظ قیمت.

۲ ـ انعطاف و تغییرپذیری زیاد در هنگام فرآیند تولید.

۳ ـ قابلیت بازیابی ماسه.

۴ ـ شکل‌پذیری مناسب ماسه قالب.

محدودیت‌های عمده این روش عبارتند از:

۱ ـ بعضی از قطعات ریختگی و فلزات خاص اگر در قالب‌های دارای رطوبت ریخته

شوند، عیوب متعددی را ظاهر می‌کنند، به عبارتی این روش محدودیت کاربرد دارد.

۲ ـ به حجم وسیع جهت نگهداری ماسه و استفاده از آن نیاز است.

۳ ـ در خطوط قالب‌گیری اتوماتیک و ماشینی مصرف ماسه زیاد می‌باشد.

۳ ـ ۲ ـ قالب‌گیری با ماسه خشک

برخی مواقع قالب ماسه‌ای که فقط سطوح محفظه آن خشک شده است برای ریخته‌گری چدن به کار می‌رود. قالبی که در گرمخانه تا عمق ۱۲/۷ میلی‌متر یا بیشتر خشک گردیده است، قالب ماسه‌ای خشک نامیده می‌شود.

مزایای این روش قالب‌گیری عبارتند از:

۱ ـ قالب‌های ماسه‌ای خشک نسبت به قالب‌های ماسه‌ای‌تر از استحکام بالاتری برخوردار می‌باشند.

۲ ـ دقت ابعادی قطعات تولیدشده با قالب‌های ماسه‌ای خشک (در تمام قسمت‌ها) نسبت به قطعات تولیدشده با قالب‌های ماسه‌ای‌تر بالاتر است.

۳ ـ سطوح نهایی قطعات تولیدشده مطلوب‌تر می‌باشند.

محدودیت‌های این روش قالب‌گیری عبارتند از:

۱ ـ احتمال ایجاد عیب رگه بر روی سطح قطعات زیاد می‌باشد.

۲ ـ به علت پختن و خشک‌کردن قالب، امکان واپیچش یا اعوجاج محفظه قالب وجود دارد.

۳ ـ از آنجا که زمان تهیه قالب ماسه‌ای خشک طولانی‌تر از زمان تهیه قالب ماسه‌ای‌تر است برای تولید تعداد معینی قطعه، تعداد بیشتری درجه قالب‌گیری لازم می‌باشد.

۴ ـ راندمان این روش قالب‌گیری پایین می‌باشد.

۴ ـ ۲ ـ قالب‌گیری تمام ماهیچه

قالبی که همه قسمت‌های آن از چندین ماهیچه ساخته شده است، قالب تمام ماهیچه نامیده می‌شود. قالب‌های تمام ماهیچه برای تولید قطعاتی به‌کار می‌روند که انواع قالب‌های دیگر به‌دلیل شکل و اندازه قطعه برای تولید آن مناسب نیستند. هنگامی که درجه‌های قالب‌گیری بزرگ هستند و یا هنگامی‌که هزینه لازم برای خشک کردن قالب‌های بزرگ بسیار زیاد است، قالب از چندین ماهیچه ماسه‌ای که به منظور آماده ساختن قالب نهایی به یکدیگر متصل می‌شوند، تهیه می‌گردد.

قالب تمام ماهیچه معمولاً از مخلوط ماسه ماهیچه تهیه می‌شود که در این مخلوط از کاتالیست‌های فورفوریل الکل (به‌عنوان پایه)، فنل و... به میزان حدود ۲ تا ۴ درصد وزن رزین استفاده می‌شود. رزین مصرفی در این مخلوط رزین فنلی از نوع Resoi و یا رزین فوران می‌باشد. این مخلوط در محدوده دمایی ۱۷۵ تا ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت زمان معین پخته می‌شود که البته درجه حرارت و مدت زمان پخت بستگی به ترکیب ماسه و حجم قالب دارد.

مزایای قالب‌های تمام ماهیچه عبارتند از:

۱ ـ دقت ابعادی بسیار خوب قطعات ریختگی

۲ ـ مناسب بودن برای کارگاه‌های کوچک و متوسط

محدودیت‌های قالب‌های تمام ماهیچه عبارتند از:

۱ ـ بالا بودن هزینه تولید قالب

۲ ـ طولانی بودن فرآیند تهیه قالب

۵ ـ ۲ ـ قالب‌گیری پوسته‌ای

روش قالب‌گیری پوسته‌ای به‌طور وسیعی برای ریخته‌گری قطعات چدن به‌کار می‌رود. در این شرایط مخلوط ماسه قالب‌گیری توسط چسب‌های حرارتی شکل و استحکام لازم را به دست می‌آورد. در این فرآیند بر روی مدل فلزی که تا دمای ۲۳۵ درجه سانتی‌گراد گرم شده است ماسه چراغی ریخته می‌شود. در اثر این عمل رزین موجود در ماسه چراغی ذوب‌شده و پوسته‌ای نازک از ماسه بر روی مدل تشکیل می‌شود.

هنگامی که صفحه مدل به حالت اولیه برمی‌گردد ماسه اضافی فرو می‌ریزد و پوسته‌ای سخت بر روی سطح مدل ایجاد می‌شود. با برداشتن مدل و قراردادن تای دیگر قالب که به همین روش تهیه‌شده است مجموعه قالب تشکیل می‌شود.

مزایای قالب‌های پوسته‌ای عبارتند از:

۱ ـ فرایند مزبور قطعاتی با سطوح نهایی بهتر و دقت ابعادی بالاتر حاصل می‌کند.

۲ ـ به‌کارگیری این روش برای برخی قطعات صرفه‌جویی در وزن ذوب مصرفی را امکان‌پذیر می‌سازد.

۳ ـ کاهش عملیات ماشین‌کاری

محدودیت‌های قالب‌های پوسته‌ای عبارتند از:

۱ ـ طولانی‌بودن زمان تولید

۲ ـ آزادشدن گازهای سمی در اثر حرارت

۳ ـ عدم بازیافت مجدد ماسه

۶ـ ۲ـ قالب‌گیری به روش CO_2 (سیلیکات سدیم)

در این فرآیند مخلوط قالب‌گیری مجموعه‌ای از ماسه به اضافه چسب (سیلیکات سدیم) می‌باشد که توسط گاز کربنیک خودگیری و استحکام ماسه تأمین می‌گردد. در این روش میزان مصرف چسب سیلیکات سدیم ۳ تا ۵ درصد وزن ماسه می‌باشد. در این فرآیند با استفاده از مخلوطی شامل ماسه و سیلیکات سدیم، ابتدا یک قالب با استحکام پایین تهیه می‌گردد و سپس با دمیدن گاز کربنیک به داخل مخلوط قالب‌گیری واکنش خودگیری انجام می‌شود و مخلوط ماسه و چسب سیلیکات سدیم به یک قالب خشک با استحکام بسیار بالا مبدل می‌گردد و استحکام فشاری در حدود ۱۳۷ نیوتن بر سانتی‌متر مربع را ایجاد می‌کند. در نتیجه در بسیاری مواقع به علت استحکام بالای قالب‌های تهیه‌شده در این روش آنها را بدون استفاده از هیچ‌گونه کمک‌های جانبی مانند حفاظ‌های فلزی، درجه‌های کمکی و پین‌های مخصوص استفاده می‌نمایند. با استفاده از این روش قالب‌های آماده در ظرف چند دقیقه تهیه می‌گردد و به خشک‌نمودن نیازی نیست.

مزایای قالب‌های CO_2 (سیلیکات سدیم) عبارتند از:

۱ ـ کاربرد آن تمیز و بدون خطر است

۲ ـ حداقل دود و گاز را در مقایسه با چسب‌های سرد دیگر ایجاد می‌نماید

۳ـ با انواع ماسه‌های خالص و ناخالص قابل استفاده می‌باشد

محدودیت‌های قالب‌های CO_2 (سیلیکات سدیم) عبارتند از:

۱ ـ ماسه سخت شده به علت هزینه بالای بازیابی، عملاً قابل بازیابی نمی‌باشد.

۲ ـ بعد از ریختن ذوب، خارج کردن ماهیچه مشکل می‌باشد.

۳ ـ تلرانس ابعادی و صافی سطح خیلی دقیق نمی‌باشد و در حد روش‌های معمول است.

۴ ـ در محیط‌های مرطوب واکنش خودگیری با سرعت خیلی کمی انجام می‌گردد.

۷ ـ ۲ ـ قالب‌گیری با چسب سرد

در این روش که اصطلاحاً روش فوران نیز اطلاق می‌شود مخلوط قالب‌گیری مجموعه‌ای از ماسه، چسب (رزین، فوران) و کاتالیست می‌باشد. مقدار رزین مصرفی ۰/۹ تا ۲ درصد وزن ماسه و میزان کاتالیست (اسید فسفریک ـ پاراتولوئن ـ اسید سولفوریک) برابر ۲۰ تا ۵۰ درصد وزن رزین می‌باشد.

به‌طور کلی چهار نوع از رزین‌های آلی سرد از خانواده چسب‌های فوران در صنایع ریخته‌گری مورد مصرف بیشتری دارند که عبارتند از:

ـ اوره فرمالدئید ـ فورفوریل الکل UF / FA

ـ فنل فرمالدئید ـ فورفوریل الکل PF / FA

ـ فرمالدئید ـ فورفوریل الکل FA / FA

ـ فنل فرمالدئید PF

در این فرآیند سیستم خودگیری با استفاده از کاتالیست مایع که به چسب مایع اضافه می‌گردد انجام می‌شود. مخلوط ماسه با گذشت زمان و تأثیر واکنش بین کاتالیست و

چسب به‌صورت یک توده سخت و محکم درمی‌آید. این روش بیشتر برای تولید قالب‌های بزرگ و متوسط بدون درجه مناسب می‌باشد.

مزایای قالب‌های چسب سرد عبارتند از:

۱ ـ آماده سازی مخلوط با استفاده از مخلوط کن‌های مداوم به سهولت انجام می‌شود.

۲ ـ سیلان مخلوط ماسه بسیار خوب بوده و تنها با استفاده با میز لرزان، قالب‌گیری صورت می‌گیرد.

۳ ـ دارای استحکام کافی بوده و بنابراین نیاز به تقویت قالب‌ها نمی‌باشد.

۴ ـ دقت ابعادی در حد بالایی می‌باشد.

۵ ـ نیازی به عملیات پخت ندارد.

۶ ـ پایین بودن هزینه عملیات تمیزکاری، سنگ‌زنی و ماشین‌کاری به‌علت دقت ابعادی بالا.

۷ ـ به‌دلیل قابلیت خردشوندگی مطلوب قالب، پس از تماس با مذاب، عملیات تخلیه به‌راحتی صورت می‌گیرد.

محدودیت‌های قالب‌های چسب سرد عبارتند از:

۱ ـ کوتاه بودن زمان خودگیری و عدم توانایی در نگهداری ماسه برای مدت طولانی.

۲ ـ در صورت نیاز به تولید انبوه، احتیاج به تعداد بسیاری مدل و جعبه ماهیچه می‌باشد.

۳ ـ به‌دلیل تصاعد دود و بوی نامطبوع، کارکردن با آن مشکل‌ساز بوده و از نظر بهداشتی

باید دقت لازم صورت گیرد.

۸ ـ ۲ ـ فرآیندهای ماهیچه‌گیری

ماهیچه قطعه‌ای ساخته‌شده از ماسه است که برای شکل‌دادن به سطوح داخلی قطعات ریختگی یا ایجاد بخشی از سطح خارجی قطعه که نمی‌توان با استفاده از مدل آن را ایجاد نمود، در قالب قرار داده می‌شود. انتخاب روش تولید ماهیچه اساساً به اندازه ماهیچه، دقت ابعادی لازم و هزینه آن بستگی دارد. به‌طور کلی روش‌های ماهیچه‌گیری که برای تولید قطعات ریختگی چدن نشکن مورد استفاده قرار می‌گیرند، مشابه با قطعات چدن خاکستری می‌باشد، این روش‌ها عبارتند از:

- فرآیند ماهیچه‌گیری روغنی
- فرآیند ماهیچه‌گیری جعبه گرم (هات باکس)
- فرآیند ماهیچه‌گیری چسب سرد
- فرآیند ماهیچه‌گیری پوسته‌ای
- فرآیند ماهیچه‌گیری CO_2 (سیلیکات سدیم)

۱ ـ ۸ ـ ۲ ـ فرآیند ماهیچه‌گیری روغنی

در این فرآیند مخلوط ماهیچه‌گیری مجموعه‌ای از ماسه، روغن برزک و آب می‌باشد. در این فرآیند روغن برزک به‌عنوان چسب سرد و میزان مصرف آن ۱ درصد می‌باشد. ماهیچه‌های تهیه‌شده به این روش سپس تحت عملیات پخت در دمای ۱۷۵ سانتی‌گراد به مدت زمان کافی قرار گرفته و سپس مورد استفاده قرار می‌گیرند.

مزیت اصلی روش ماهیچه‌گیری روغنی پایین‌بودن قیمت تهیه‌ماهیچه‌می‌باشد.

محدودیت‌های روش ماهیچه‌گیری روغنی عبارتند از:

۱ ـ ماهیچه‌های ماسه‌ای با چسب روغنی نسبت به ماهیچه‌های پوسته‌ای یا ماهیچه‌هایی که به‌روش CO_2 (سیلیکات سدیم) تهیه شده‌اند دارای دقت ابعادی پایین‌تری هستند.

۲ ـ ماهیچه‌های ماسه‌ای با چسب روغنی باید پخته شوند که این امر مدت زمان تهیه ماهیچه‌ها را افزایش می‌دهد.

۲ ـ ۸ ـ ۲ ـ فرآیند ماهیچه‌گیری جعبه‌گرم (هات باکس)

در این روش مخلوط ماهیچه‌گیری مجموعه‌ای از ماسه، رزین (فوران) و کاتالیست (هاردنر) می‌باشد، که رزین‌های مورد استفاده عبارتند از: فنل فرمالدئید، اوره فرمالدئید، فوران و... که مقدار مصرف رزین ۳ تا ۵ درصد وزن ماسه می‌باشد و مقدار کاتالیست ۲۰ درصد مقدار رزین می‌باشد.

مجموعه فوق را درون جعبه ماهیچه فلزی گرم شده می‌دمند، هنگامی که مخلوط ماهیچه‌گیری با جعبه ماهیچه گرم تماس پیدا می‌نماید، هاردنر یا کاتالیست فعال‌شده و باعث خودگیری ماهیچه می‌شود سپس ماهیچه را خارج نموده و مورد استفاده قرار می‌دهند. مزیت اصلی ماهیچه‌گیری با جعبه گرم عبارت است از پایین بودن زمان تولید آن و محدودیت اصلی ماهیچه‌گیری با جعبه گرم عبارت است از محدودیت در اندازه ماهیچه‌های تولیدی زیرا با استفاده از این روش نمی‌توان ماهیچه‌هایی با ضخامت بیش از ۶۳ میلی‌متر تولید نمود.

۳ ـ ۸ ـ ۲ ـ فرآیند ماهیچه‌گیری چسب سرد

در این روش مخلوط ماهیچه‌گیری مجموعه‌ای از ماسه، رزین و کاتالیست می‌باشد.

رزین‌های مورد استفاده در این روش متنوع می‌باشند که مهمترین آنها عبارتند از: اوره فرمالدئید، فنل فرمالدئید که به میزان ۱/۵ تا ۲/۵ درصد وزن ماسه مورد استفاده قرار می‌گیرند. از طرفی کاتالیست‌های مورد استفاده در این روش نقش هاردنر را داشته و معمولاً اسید فسفریک، اسید سولفونیک،تری اتیل آمین و دی متیل آمین می‌باشند که میزان مصرف کاتالیست ۲۵ ـ ۱۵ درصد وزن رزین می‌باشد.

مخلوط حاصل درون جعبه ماهیچه ریخته شده و پس از ماهیچه‌گیری، ماهیچه تهیه شده از جعبه ماهیچه خارج می‌شود. عملیات خودگیری ماهیچه در مدت زمان ۵ تا ۱۵ دقیقه انجام می‌شود و سپس ماهیچه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مزایای روش ماهیچه‌گیری چسب سرد عبارتند از:

۱ ـ به دلیل مقاومت خوبی که رزین‌ها در برابر رطوبت دارند این ماهیچه‌ها را می‌توان به مدت طولانی و بدون تغییر ابعادی انبار و نگهداری نمود.

۲ ـ در این روش قطعات با کیفیت سطحی مطلوب تولید می‌شوند.

محدودیت‌های روش ماهیچه‌گیری با چسب سرد عبارتند از:

۱ ـ خطر آلودگی محیط زیست به علت استفاده از مواد شیمیایی.

۲ ـ امکان تولید ماهیچه‌های بزرگ با این روش وجود ندارد.

۴ ـ ۸ ـ ۲ ـ فرآیند ماهیچه‌گیری پوسته‌ای

در این روش مخلوط ماسه ماهیچه که در واقع از جنس ماسه چراغی می‌باشد بر روی جعبه ماهیچه‌های فلزی که قبلاً تا حدود ۲۳۵ درجه سانتی‌گراد گرم شده‌اند ریخته

می‌شوند، پس از گذشت چند ثانیه، بخشی از ماسه چراغی که در مجاورت دیواره جعبه ماهیچه قرار دارد گرم شده و پوسته‌ای از ماسه سخت‌شده شکل می‌گیرد. ماسه گرما ندیده را که در میان ماهیچه قرار دارد از جعبه ماهیچه بیرون ریخته و ماهیچه سخت شده را مورد استفاده قرار می‌دهند.

مزایای روش ماهیچه‌گیری پوسته‌ای عبارتند از:

۱ ـ این روش دارای قابلیت انطباق با کلیه فرآیندهای ریختگی می‌باشد.

۲ ـ ماهیچه‌ها را می‌توان در محدوده گسترده‌ای از نظر اندازه و شکل تهیه و مورد استفاده قرار داد.

۳ ـ ماهیچه‌ها در مدت زمان کوتاهی ساخته می‌شوند.

۴ ـ هزینه‌های تهیه ماهیچه‌های پوسته‌ای خصوصاً اگر اندازه آنها بزرگ باشد کم است.

محدودیت‌های روش ماهیچه‌گیری پوسته‌ای عبارتند از:

۱ ـ قیمت چسب‌های مورد استفاده در ساخت ماسه چراغی که معمولاً فنل‌فرمالدئید می‌باشد گران است.

۲ ـ هزینه تجهیزات بالا می‌باشد.

۵ ـ ۸ ـ ۲ ـ فرآیند ماهیچه‌گیری CO_2 (سیلیکات سدیم)

در این روش مخلوط ماهیچه‌گیری مجموعه‌ای از ماسه و چسب می‌باشد. در این روش ماسه مصرفی باید عاری از خاک رس و دیگر ناخالصی‌های طبیعی باشد. در این روش چسب سیلیکات سدیم مایع با مدول (SiO_2 / Na_2O) ۲ تا ۲/۵ برای قطعات

چدنی مناسب بوده و غلظت مایع در حدود ۵۰ تا ۵۲ بومه می‌باشد. از لحاظ تئوری میزان گاز CO_2 مورد نیاز در ازاء هر ۱ درصد چسب مصرفی ۰/۲ درصد می‌باشد ولی عملاً این نسبت به صورت یک به یک در نظر گرفته می‌شود. مقدار چسب مصرفی در این روش بین ۲ تا ۴/۵ درصد وزن ماسه می‌باشد.

پس از مخلوط سازی و ماهیچه‌گیری، ماهیچه توسط دمیدن گازکربنیک سخت شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مزایای اصلی این روش عبارتند از:

۱ ـ سرعت تهیه این نوع ماهیچه‌ها بالا می‌باشد.

۲ ـ امکان تولید ماهیچه با حداقل تجهیزات میسر می‌باشد.

محدودیت‌های عمدهٔ این روش عبارتند از:

۱ ـ این نوع ماهیچه‌ها عمدتاً گرانتر از ماهیچه‌های روغنی می‌باشند (به‌خصوص در اندازه‌های بزرگتر).

۲ ـ عیب عمده این ماهیچه‌ها دشواری خارج‌سازی آنها بعد از ریخته‌گری می‌باشد (که این مشکل عمدتاً با اضافه‌نمودن ۱ تا ۲ درصد پودر خاک ارّه قابل حل می‌باشد).

فصل ۳

کوره‌های ذوب چدن نشکن

۱ـ ۳ـ مقدمه

روش ذوب چدن نشکن تفاوتی با نحوهٔ ذوب چدن خاکستری ندارد، لذا از انواع کوره هایی با سوخت گازی، گازوئیلی و الکتریکی، می‌توان برای تهیه مذاب آن استفاده نمود. به‌طور کلی برای تولید چدن نشکن، کوره‌های ذوب مختلفی را می‌توان به‌کار گرفت، به‌شرط آنکه کنترل کامل درجه حرارت و ترکیب شیمیایی مذاب در آن کوره‌ها امکان‌پذیر باشد. به‌طور کلی انواع کوره‌های ذوب چدن‌های نشکن عبارتند از:

۱ ـ کوره کوپل　　۲ ـ کوره القایی

۳ ـ کوره بوته‌ای (زمینی)　　۴ ـ کوره دوار (گردان)

۲ـ ۳ـ کوره کوپل

کوره کوپل وسیله مناسبی برای تهیه مذاب چدن تلقی می‌شود. ساختمان اصلی یک

کوره کوپل از استوانه‌ای فولادی تشکیل شده که داخل آن توسط ماده دیرگداز مناسبی پوشیده شده است. محفظه ورود هوا که به نام تویرهای هوا نامیده می‌شود در قسمتی نزدیک به ته کوره و در قسمت خارجی استوانه کوره تعبیه شده است. دریچه باردهی در قسمت فوقانی کوره و بالای تویرهای هوا قرار دارد. منطقه زیر تویرهای هوا در حقیقت بوته نگهدارندهٔ مذاب بوده که در انتهای تحتانی آن سوراخ بارگیری تعبیه شده است که از طریق آن مذاب موجود در بوته را می‌توان به پاتیل‌ها انتقال داد. در قسمت فوقانی بوته و در زیر تویرهای هوا دریچه سرباره‌گیری قرار دارد که از طریق آن سرباره سطح مذاب را می‌توان به‌طور مداوم و یا منقطع از داخل کوره خارج کرد.

مواد شارژ کوره کوپل عبارتند از:

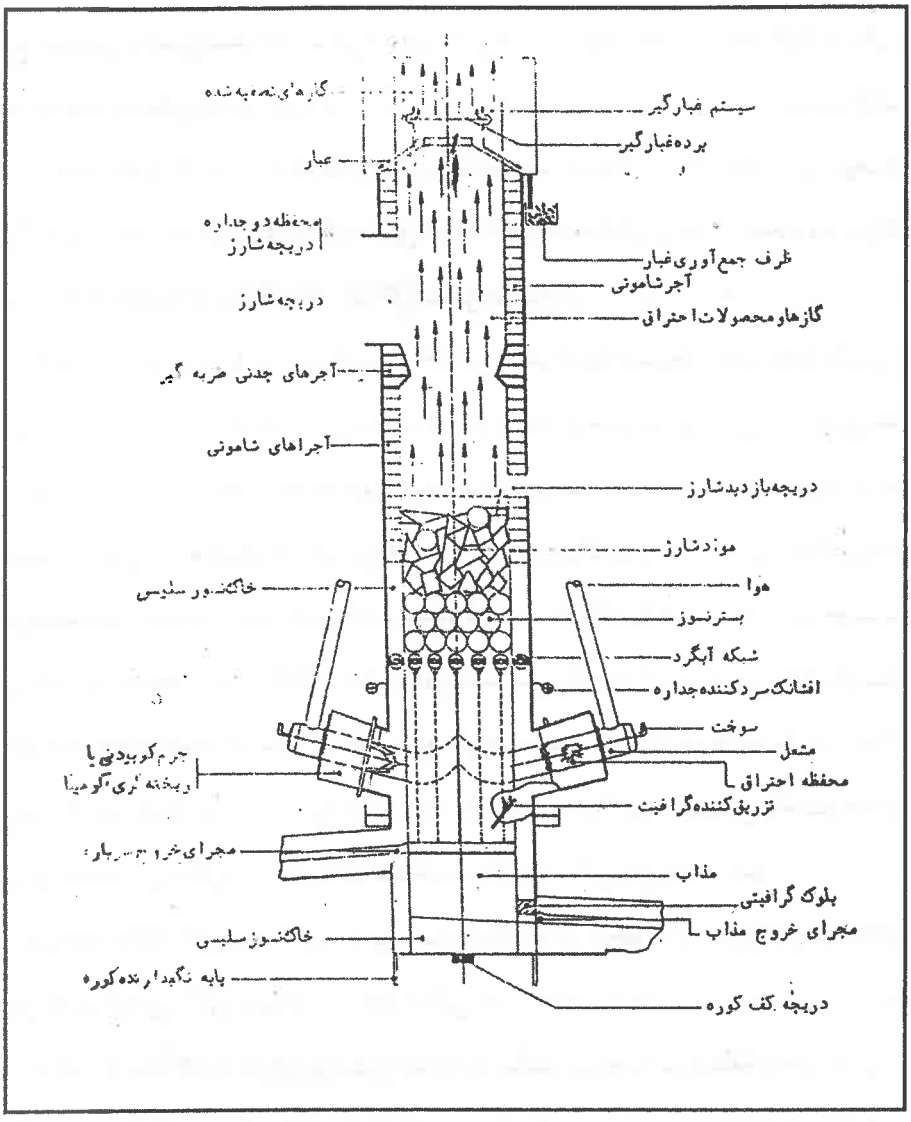
شمش چدن، قراضه فولادی، برگشتی‌ها و قراضه‌های چدنی، آهک، کک و فروآلیاژها به‌طور کلی حرارت لازم برای ذوب مواد شارژ از طریق سوختن کک تأمین می‌گردد و روی آن لایه‌های متناوب چدن (قراضه فولادی یا برگشتی‌های چدنی) و آهک قرار داده می‌شود. مقدار کک مصرف شده برای هر ذوب شارژ توسط لایه ککی که به همراه شارژ به داخل کوره ریخته می‌شود جبران می‌شود. استفاده از آهک یا سیاله‌های دیگر برای گرفتن ناخالصی‌های تشکیل شده در اثر خاکستر کک، زنگ فلز شارژ شده بخصوص قراضه‌ها و ماسه‌های چسبیده شده روی مواد برگشتی می‌باشد. در جریان ذوب در کوره کوپل عناصر متشکله مذاب می‌توانند کاهش یا افزایش یابند. کربن مذاب در اثر حضور کک افزایش یافته و می‌تواند به سهولت به مرز ۴/۳ درصد نزدیک و در این حد متعادل گردد. سیلیسیم محتوی مذاب حدوداً ۱۰ درصد، منگنز حدوداً ۲۰ درصد، کروم حدوداً ۱۰ درصد، نیکل، مس و مولیبدن و سایر عناصر حداکثر تا ۱۰ درصد کاهش می‌یابند.

کوره‌های کوپل به‌طور کلی از نظر نوع مواد نسوز به دو نوع اسیدی و بازی و از نظر دمای هوای ورودی به دو نوع دمش سرد و گرم و از لحاظ مخزن جمع‌کننده مذاب به دو نوع معمولی یا جمع‌کننده تقسیم می‌شوند، که نوع نسوز بازی به‌علت امکان گوگردزدایی مذاب چدن نشکن بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد. امروزه به‌علت هزینه بالای تهیه کک از کوره‌های کوپل گازسوز استفاده می‌شود. چدن تولیدشده در این کوره‌ها دارای درصد گوگرد پایینی بوده و از سوی دیگر به‌دلیل فقدان کک، درصد کربن آن نیز کم بوده و میزان آلوده‌سازی محیط توسط آنها در حداقل ممکن می‌باشد.

واحدهای تولیدی با ظرفیت کمتر از ۱۰ تن در ساعت عموماً از کوره‌های کوپل گازسوز با دمش سرد استفاده می‌نمایند که به‌واسطه تنوع ذوب خروجی، این کوره‌ها دارای پوشش اسیدی هستند، به جهت ساده‌بودن طراحی کارخانه، سرمایه صرف‌شده جهت این نوع کوره بسیار انداک می‌باشد، با این وجود کاربرد اقتصادی این کوره‌ها به‌واسطه مواد شارژ (حداکثر ۲۰ درصد قراضه فولادی) درجه حرارت چدن، آلوده‌سازی محیط‌زیست (CO و غبار) و در دسترس بودن آنها محدود می‌باشد. از بُعد تولید، کوره‌های کوپل گازسوز با دمش گرم دارای مزایایی از قبیل مواد شارژ (تا ۱۰۰ درصد قراضه فولاد)، درجه حرارت چدن، یکنواختی ترکیب شیمیایی و استفاده از انرژی حاصل از بازگرداندن گازهای تلف‌شده به‌وسیله رکوپراتورها هستند.

ساختمان کلی کوره‌های کوپل بدین صورت است که تجهیزات شارژ از یک نقاله مایل که در قیاس با کورهای کوپل سابق اندکی تغییر یافته، تشکیل می‌شود.

شافت یا بدنه کوره دارای پوششی مقاوم به سایش بوده که در منطقه برخورد مواد شارژ، به‌وسیله آب خنک می‌گردد. در قسمت پایین‌تر به منظور محافظت از پوشش نسوز در برابر خوردگی شدید حرارتی، وسایل پاشیدن آب تعبیه شده‌است.



شکل ۱ ـ ۳ ـ شماتیک یک کوره کوپل گازسوز

اندازه شبکه‌های فلزی که با آب خنک می‌شوند در حالت ساکن به نوعی محاسبه گردیده که علی‌رغم برخورد مواد از ارتفاع زیاد، فشار بحرانی به‌وجود نمی‌آید. رکوپراتور استوانه‌ای دارای سطح تبادل حرارتی معادل ۱۰۰ متر مربع بوده و هوای سرد را تا ۵۰۰ الی ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد پیش گرم می‌نماید. بخش اصلی کوره دارای ابعادی است که اوّلاً شعله مشعل فضای کافی را جهت ایجاد دمای لازم دارا بوده و ثانیاً قطرات چدن مذاب به‌صورتی جمع می‌شوند که دمای موردنظر چدن با مطلوب‌ترین مقدار انتقال حرارت حاصل می‌گردد.

شعاع قوس قسمت فوق تأثیر بسزایی در انتقال حرارت داشته به‌طوری که نوع لایه نسوز بایستی با دمای سطحی حدود ۱۸۰۰ درجه سانتی‌گراد و تفاوت انبساط آن در شرایط کارکرد داغ و معمولی متناسب انتخاب شود. این امر تضمین کننده طول عمر پوشش داخلی مخزن است.

به‌منظور افزایش دوام آجرهای قوس‌دار در پوشش کف مخزن کوره، ورقه فولاد توسط آب خنگ می‌گردد. قسمت کف مخزن به‌وسیله آجر نسوز و مواد نسوز کوبیده شده (مشابه آنچه در کوره‌های کوپل کک سوز در خلال هفته‌ها ذوب مداوم مورد استفاده قرار می‌گیرد) و پوشش داده‌می‌شود.

۳ ـ ۳ ـ کوره القایی

در این نوع کوره‌ها گرمای لازم برای ذوب فلز توسط یک میدان الکترومغناطیسی با فرکانس زیاد و یا کم ایجاد می‌گردد. این نوع کوره به دو صورت بوته‌ای یا بدون بوته وجود دارد.

در این کوره‌ها قسمت داخلی به‌وسیله ماده دیرگدازی احاطه شده و در حقیقت

منطقه ذوب کوره را تشکیل می‌دهد و اصطلاحاً به‌عنوان بوته ذوب مطرح می‌گردد. اطراف کوره توسط لوله‌های مسی به‌طور مارپیچ احاطه گردیده است و وظیفه کویل مسی آن است که جریان القایی (با فرکانس مشخص) را بر روی فلز یا مذاب محتوی بوته اعمال نماید. در اثر عبور جریان القایی از کویل مسی و القاء آن در سطح فلز درون بوته جریان الکتریکی بالایی در سطح فلز به‌وجود می‌آید که این جریان تولید حرارت زیادی می‌نماید که به این ترتیب منجر به ذوب فلز می‌گردد.

همواره در جریان کار کوره آب در داخل کویل مسی جریان دارد تا از ذوب آن، که در اثر حرارت حاصل از جریان القایی ایجاد می‌شود جلوگیری گردد. به‌طور کلی مواد شارژ کوره‌های القایی عبارتند از:

شمش چدن، قراضه فولادی، برگشتی‌ها و انواع قراضه‌های چدنی و فروآلیاژها و مواد کربن‌دار.

از آنجا که در این کوره‌ها مواد شارژ به سرعت ذوب می‌گردد لذا اکسیداسیون و سوختن عناصر متشکله آلیاژ در حداقل مقدار ممکن قرار دارد. ولی به‌طور کلی میزان کاهش عناصر کربن، سیلیسیم، منگنز، کروم و مولیبدن را حداکثر ۵ درصد در نظر می‌گیرند.

کوره‌های القایی به‌طور کلی به دو دسته تقسیم می‌شوند: کوره‌های القایی بدون هسته و کوره‌های القایی با هسته. کوره‌های القایی بدون هسته نیز براساس نوع و فرکانس مصرفی به فرکانس شبکه، فرکانس متوسط، فرکانس بالا و فرکانس متغیر دسته‌بندی می‌شوند. به‌طور کلی امروزه از کوره‌های القایی بدون هسته به‌عنوان واحدهای تهیه ذوب و از کوره القایی با هسته به‌عنوان واحدهای نگهدارنده ذوب استفاده می‌شود.

از آنجا که کوره القایی جایگزین کوره کوپل شده است تولید پیوسته موفقیت‌آمیز

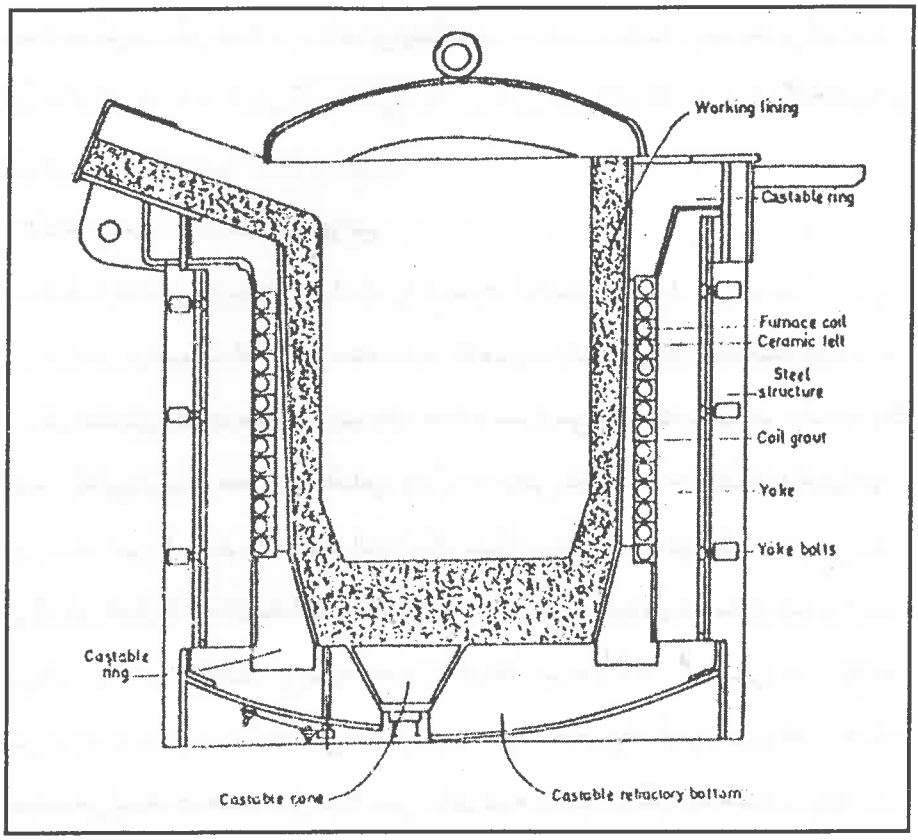
چدن نشکن بستگی به فاکتورهای ترکیب شیمیایی، دمای ذوب‌ریزی، مقدار گاز محلول در مذاب و عملیات کروی کردن دارد. به‌طور کلی کوره‌های القایی از دیدگاه اقتصادی دارای مزایای زیر می‌باشند:

۱ ـ کاهش هزینه‌های مستقیم اپراتور

۲ ـ قابلیت کاهش هزینه‌های مواد شارژ (مصرف قراضه فولادی)

۳ ـ افزایش مرغوبیت قطعات ریخته شده و کاهش میزان خرابی در قطعات ریخته‌شده

کوره القایی بدون هسته دارای یک جداره نسوز می‌باشد که پشت این جداره یک کویل القایی قرار گرفته است. اساس کار کوره مبتنی بر عبور جریان از داخل کویل می‌باشد. عبور این جریان باعث ایجاد یک میدان مغناطیسی در اطراف کویل کوره می‌گردد. خطوط میدان مغناطیسی از شارژ فلزی عبور نموده و در شارژ فلزی ایجاد جریان‌های ادی (Eddy) می‌نماید. جریان‌های ادی موجب گرم شدن شارژ فلزی شده و پس از اینکه حمام مذاب تشکیل شد، نیروی محرکه حاصل از جریان ادی باعث حرکت مذاب می‌گردد. دماهای قابل دسترسی برای تهیه مذاب بستگی به حد دماهای قابل تحمل خاک نسوز کوره دارد. باید متذکر شد که تمام نیروی الکتریکی در شارژ فلزی به‌وجود می‌آید و هیچ‌گونه نیروی الکتریکی در جداره نسوز تولید نمی‌شود، زیرا این جداره غیرهادی می‌باشد. کویل کوره القایی با سیستم آبگرد خنگ می‌گردد و به این ترتیب حرارت به‌وجود آمده در کویل و حرارت منتقل شده از مذاب (از طریق جداره نسوز به خارج) کاهش می‌یابد. اتصال آب به کویل با کمک شیلنگ‌های قابل انعطاف انجام می‌گیرد. برای کنترل ولتاژ کوره از یک ترانسفورماتور متغیر استفاده می‌شود و در تابلو کنترل برق کوره، یک کلید برای کنترل ولتاژ کوره قرار گرفته است. شکل ۲ ـ ۳ شماتیک یک کوره القایی بدون هسته را نشان می‌دهد.



شکل ۲ ـ ۳ ـ شماتیک یک کوره القایی بدون هسته

۴ ـ ۳ ـ کوره بوته‌ای

کوره بوته‌ای ساده‌ترین و قدیمی‌ترین نوع کوره‌ایست که به منظور ذوب فلزات، بخصوص چدن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدنه کوره معمولاً از یک استوانه فولادی تشکیل شده که درون آن توسط آجر نسوز پوشانیده شده است. قسمت درب کوره به‌صورت متحرک بوده که به‌صورت یک و یا چند تکه از مواد دیرگداز ساخته می‌شود. معمولاً دو نوع بوته در این کوره‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند:

الف) بوته‌های گرافیتی با چسب رسی

ب) بوته کاربید سیلیسیمی با چسب رسی

هر یک از انواع بوته‌های یادشده مصارف خاص خود را داشته و در اکثر موارد اگرچه بوته‌های نوع کاربید سیلیسیمی کاربرد بیشتری در مقایسه با بوته‌های گرافیتی دارا هستند، ولی قیمت اولیه آنها بالاتر می‌باشد. سوخت مناسب برای اکثر کوره‌های بوته‌ای، گاز ـ گازوئیل یا مازوت می‌باشد. مواد شارژ کوره‌های بوته‌ای عبارتند از:

شمش چدن، برگشتی و قراضه‌های چدن، فروآلیاژها و موادکربن‌دار.

برای شارژ نمودن ابتدا قطعات برگشتی نظیر راهگاه‌ها و تغذیه‌ها را در ته بوته قرار داده و سپس شمش‌ها را روی آن می‌گذارند. فضای بین قطعات شارژ بایستی تمیز و عاری از هر گونه ماسه و اضافات چسبیده شده و سایر مواد زائد باشند. در مواردی که در داخل بوته، مذاب وجود دارد، اضافه نمودن مواد جامد به مذاب بایستی با دقت انجام شود.

از آنجا که در این نوع کوره‌ها محصولات احتراق با مواد شارژ تماسی ندارند لذا اکسیداسیون و سوختن عناصر متشکله در آنها نسبتاً کم می‌باشد. به نحوی که میزان کاهش عنصر کربن ۱۰ درصد، سیلیسیم ۵ درصد، منگنز ۱۵ درصد و کروم تا ۱۰ درصد در نظر گرفته می‌شوند.

کوره‌های بوته‌ای به‌طور کلی به سه دسته تقسیم می‌شوند که عبارت است از:

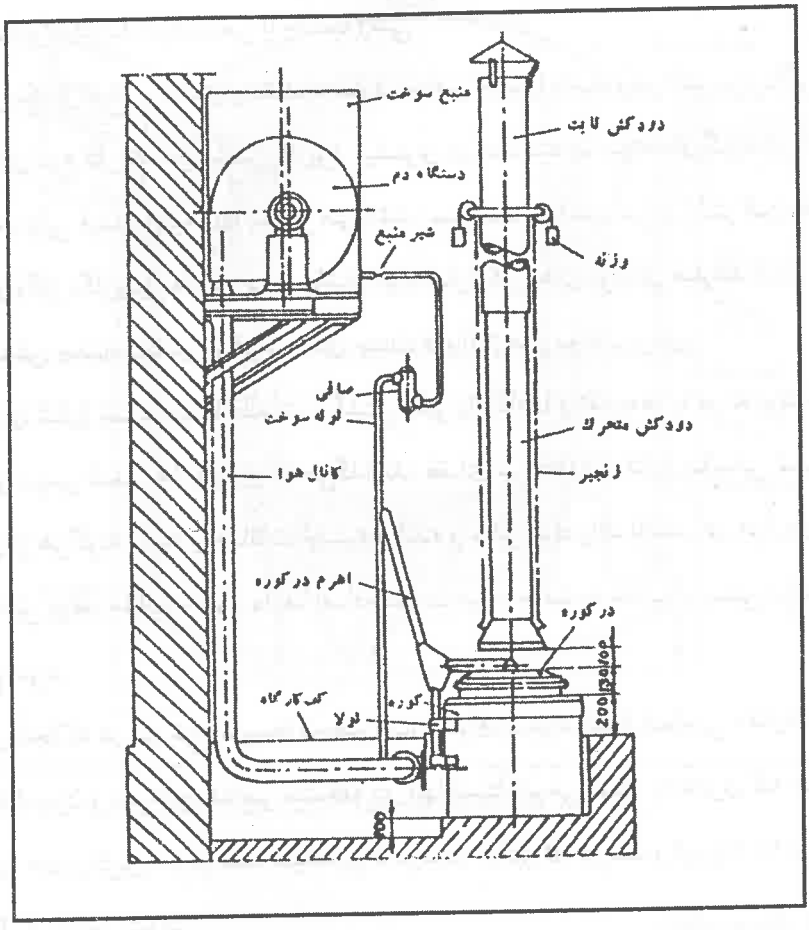
۱ ـ کوره‌های بوته‌ای ثابت

۲ ـ کوره‌های بوته‌ای متحرک با بوته ثابت

۳ ـ کوره‌های بوته‌ای متحرک با بوته متحرک

که نوع سوم آن برای ریخته‌گری چدن مورد استفاده قرار می‌گیرند. شکل ۳ ـ ۳

شماتیک یک کوره بوته‌ای با بوته متحرک و سوخت مایع (گازوئیل) را نشان می‌دهد.



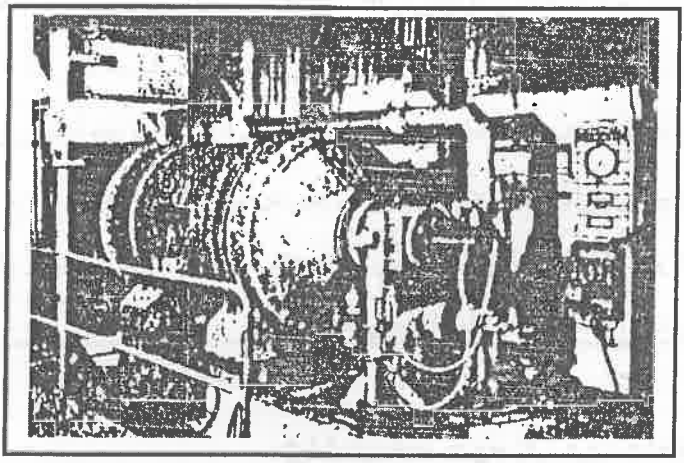
شکل ۳ ـ ۳ ـ شماتیک یک کوره بوته‌ای با بوته متحرک با سوخت مایع

۵ ـ ۳ ـ کوره دوار

کوره‌های دوار به‌طور وسیعی در ریخته‌گری چدن‌ها به‌کار می‌روند. کوره‌های دوار از یک بدنه استوانه‌ای فولادی که پوششی از مواد نسوز در داخل آنها داده شده، تشکیل

شده است. این کوره حول محور اصلی خود به آرامی می‌گردد و شعله کوره در یک طرف و محل خروج گازها که غالباً شامل گرم‌کنندهٔ هوا می‌باشد در طرف دیگر قرار دارند. سوخت کوره می‌تواند گاز طبیعی، مازوت یا گازوئیل باشد. هوای لازم برای سوخت نیز توسط یک دمندهٔ تأمین می‌گردد. عمل گردش کوره نیز بعد از ذوب مواد شارژ جهت یکنواختی بیشتر ترکیب شیمیایی مذاب انجام می‌گیرد. مواد شارژ کوره‌های دوار عبارتند از:

شمش چدن، برگشتی‌ها و قراضه‌های چدنی و فروآلیاژها. میزان اکسیداسیون و سوختن عناصر نیز به شدت تابع عملکرد احتراق مشعل می‌باشد. در صورتی که شعله بیش از حد لازم احیایی باشد نمی‌توان درجه حرارت مذاب را به حد مناسب بالا برد. لذا کنترل دقیق نحوه عملکرد احتراق مشعل از مهمترین عوامل تولید در این‌گونه کوره‌ها می‌باشند. به‌طور کلی میزان کاهش عناصر متشکله چدن در کوره دوار عبارتند از: کربن ۱۰ درصد، سیلیسیم ۲۵ درصد، منگنز ۱۰ درصد و کروم ۱۵ درصد. شکل ۴ ـ ۳ تصویر یک کوره دوار را نشان می‌دهد.



شکل ۴ ـ ۳ ـ تصویر یک کوره دوار

فصل ۴

محاسبه شارژ برای ریخته‌گری چدن نشکن

۱ـ ۴ـ مقدمه

به منظور دستیابی به مذابی با ترکیب شیمیایی معین، شارژ کوره باید به گونه‌ای انتخاب گردد که موضوع کاهش و افزایش عناصر متشکله مذاب در جریان عمل ذوب در نظر گرفته شود. چراکه عناصر آلیاژی مواد شارژ در کوره‌های مختلف بعد از عمل ذوب کاهش یا افزایش خواهند داشت. همواره باید این نکته را قابل توجه قرار دارد که ترکیب شیمیایی مواد شارژشده به داخل کوره بعد از انجام فرآیند ذوب چه ترکیبی را خواهند داشت. با دانستن میزان اصلی درصد این عناصر در ترکیب شیمیایی مذاب خواسته شده، کمبود یا مازاد این عناصر مشخص می‌شوند. در نهایت برای تعیین و افزایش این عناصر از مواد مناسب مختلف استفاده می‌شود.

۲ـ ۴ـ اطلاعات مورد نیاز جهت محاسبه شارژ

برای محاسبه شارژ چدن در یک کوره همواره باید اطلاعات زیر موجود باشد:

۱ ـ نوع چدن مورد نیاز (خاکستری، نشکن و...)

۲ ـ ترکیب شیمیایی مذاب خواسته شده

۳ ـ وزن مذاب مورد نیاز

۴ ـ نوع کوره ذوب، میزان سوخت عناصر آلیاژی و همچنین درصد سرباره در آن کوره

۵ ـ ترکیب شیمیایی مواد شارژ

۶ ـ ترکیب شیمیایی مواد افزودنی و فروآلیاژهای مورد نیاز

با داشتن اطلاعات مذکور می‌توان به کمک محاسبات ساده میزان مواد شارژ را محاسبه نمود.

در جدول‌های ۱ ـ ۴ و ۲ ـ ۴ درصد سوخت عناصر در کوره‌های مختلف و ترکیب شیمیایی و درصد بازیابی مواد افزودنی و فروآلیاژهای مختلف ارائه شده است.

جدول ۱ ـ ۴ ـ درصد سوخت عناصر در انواع کوره‌های ذوب چدن

نوع کوره	درصد سوخت عناصر						
	C	*Si*	*Mn*	*Cr*	*Cu*	*Ni*	*Mo*
کوره بوته‌ای (زمینی)	تا ۱۰	تا ۵	تا ۱۵	تا ۱۰	۰	۰	۰
کوره دوار	تا ۱۰	تا ۳۰	تا ۲۵	تا ۱۵	۰	۰	۰
کوره القایی	تا ۵	تا ۵	تا ۵	تا ۵	۰	۰	۰
کوره کوپل	تا ۵*	تا ۱۵	تا ۲۵	تا ۱۵	۱۰	۱۰	۱۰

*ـ در کوره کوپل کک سوز میزان کربن افزایش و در گاز سوز کاهش می‌یابد.

جدول ۲ ـ ۴ ـ ترکیب شیمیایی و درصد بازیابی مواد افزودنی

درصد بازیابی	مواد افزودنی
۹۰ ـ ۸۵	گرافیت خالص
۹۰ ـ ۸۰	فروسیلیسیم ۷۵%
۹۰ ـ ۸۰	فروسیلیسیم ۹۰%
۵۰ ـ ۴۰	فروسیلیسیم منیزیم ۵%
۵۰ ـ ۴۰	فروسیلیسیم منیزیم ۱۰%
۹۰ ـ ۸۰	فرومنگنز ۷۰%
۹۰ ـ ۸۰	فرومنگنز ۷۵%
۹۰ ـ ۸۰	فروکروم ۷۰%
۹۰ ـ ۸۰	فروکروم ۷۷%
۹۰ ـ ۸۰	فروکروم ۸۰%
۱۰۰ ـ ۹۵	فرو مولیبدن ۶۰%
۱۰۰ ـ ۹۵	فرو مولیبدن ۶۵%
۹۰	فروونادیم ۴۰%
۹۵ ـ ۹۰	فروفسفر ۲۵%
۹۵ ـ ۹۰	فروگوگرد ۲۰%
۹۰	فروتیتانیم ۷۰%
۱۰۰ ـ ۹۵	مس خالص
۱۰۰ ـ ۹۵	قلع خالص
۱۰۰ ـ ۹۵	نیکل خالص

۳ـ۴ـ محاسبه شارژ چدن نشکن

محاسبه شارژ چدن نشکن مشابه محاسبه شارژ چدن خاکستری است، یعنی برای محاسبه شارژ باید موارد ذیل مشخص باشد:

ـالف) ترکیب شیمیایی دقیق مواد شارژ مثل شمش سورل، فروآلیاژ

ـب) ترکیب شیمیایی موردنیاز

ـپ) درصد سوخت عناصر

ـت) درصد بازیابی عناصر آلیاژی و فروآلیاژها

تنها تفاوت در محاسبه شارژ چدن نشکن و خاکستری در این است که در محاسبه شارژ چدن نشکن باید میزان افزایش سیلیسیم از طریق Fe - Si - Mg را در نظر بگیریم چراکه Fe - Si - Mg متداول‌ترین ماده برای تولید چدن نشکن در صنعت می‌باشد.

در تمامی کوره‌ها برای عمل کروی کردن می‌توانیم از تکنیک‌های ذیل استفاده کنیم:

۱ ـروش فروبری،

۲ ـروش ساندویچی، در کوره‌های کوپل ـالقایی و دوار می‌توانیم از تکنیک‌های ذیل در روش ساندویچی استفاده نماییم.

الف) ریختن مذاب کوره بر روی Fe - Si - Mg که در کف پاتیل ریخته شده است

ب) ریختن مذاب از کوره در یک پاتیل و انجام عملیات پاتیل به پاتیل

برای آشنایی با نحوه محاسبه شارژ چند مثال ارائه می‌شود:

مثال ۱: می‌خواهیم ۲۵۰ کیلوگرم چدن نشکن با ترکیب ذیل را در یک کوره کوپل گازسوز تهیه نماییم:

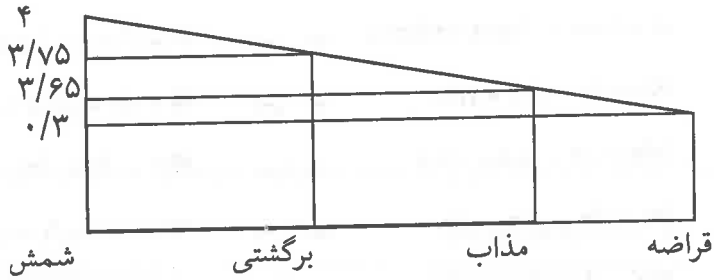
Sn = ۰/۱	S = ۰/۰۲	P = ۰/۰۲	Mn = ۰/۳۵	Si = ۲/۴	C = ۳/۶۵
Mg = ۰/۰۴۲	Cu = ۱/۲	Ni= ۰/۲۵	Cr= ۰/۲۵	V =۰/۲	Mo = ۰/۲۵

اگر از مواد زیر با ترکیب شیمیایی داده شده استفاده نماییم:

۱- شمش چدن : C = ۴	Si = ۱	Mn = ۰/۴	P = ۰/۰۲	S = ۰/۰۲
۲- برگشتی چدن: C = ۳/۷۵	Si = ۲/۲	Mn = ۰/۲	P = ۰/۰۲	S = ۰/۰۲
	Cu = ۰/۵	Ni = ۰/۳	Cr = ۰	V = ۰/۱	Mo = ۰/۱
۳- قراضه فولادی: C = ۰/۳	Si = ۰/۴	Mn = ۰/۴	P = ۰/۰۲	S = ۰/۰۲

اگر وزن شمش ۲۵ درصد وزن مذاب را تشکیل دهد، وزن قراضه فولادی، برگشتی، شمش، گرافیت و فروآلیاژهای مورد نیاز را محاسبه نمایید روش کروی کردن نیز ساندویچی فرض می‌شود.

- حل: ابتدا به کمک رابطه تالس در مثلث‌ها، فرمول زیرا را برای عنصر کربن به‌دست آورده‌ایم:



$$\frac{\text{درصد برگشتی} - \text{درصد کربن مذاب} - \text{درصد کربن شمش}}{\text{درصد کربن قراضه} - \text{درصد کربن شمش}} \quad ۱۰۰$$

با جایگزینی اعداد خواهیم داشت:

$$\frac{\text{درصد برگشتی} = ۳/۶۵ - ۴}{۴ - ۰/۳} \quad ۱۰۰$$

پس از حل معادله فوق داریم: درصد برگشتی = ۹/۴۶

و با توجه به صورت مسئله داریم:

درصد قراضه فولادی = ۱۰۰ - (۲۵ + ۹/۴۶) = ۶۵/۵۴

حال با توجه به درصد سوخت عناصر و نیز ترکیب شیمیایی مواد شارژ شده، خواهیم داشت:

ترکیب شیمیایی شمش چدن بعد از فرآیند ذوب:

C = ۴ × ۰/۰۵ = ۰/۲ ← پس C = ۴ - ۰/۲ = ۳/۸

Si = ۱ × ۰/۱۵ = ۰/۱۵ ← پس Si = ۱ - ۰/۱۵ = ۰/۸۵

Mn = ۰/۴ × ۰/۲۵ = ۰/۱ ← پس Mn = ۰/۴ - ۰/۱ = ۰/۳

ترکیب شیمیایی برگشتی چدن بعد از فرآیند ذوب:

C = ۳/۷۵ × ۰/۰۵ = ۰/۱۸۷۵ ← پس C = ۳/۷۵ - ۰/۱۸۷۵ = ۳/۵۶۲۵

Si = ۲/۲ × ۰/۱۵ = ۰/۳۳ ← پس Si = ۲/۲ - ۰/۳۳ = ۱/۸۷

Mn = ۰/۲ × ۰/۲۵ = ۰/۰۵ ← پس Mn = ۰/۲ - ۰/۰۵ = ۰/۱۵

Ni = ۰/۳ × ۰/۱ = ۰/۰۳ ← پس Ni = ۰/۳ - ۰/۰۳ = ۰/۲۷

Cu = ۰/۵ × ۰/۱ = ۰/۰۵ ← پس Cu = ۰/۵ - ۰/۰۵ = ۰/۴۵

Mo = ۰/۱ × ۰/۱ = ۰/۰۱ ← پس Mo = ۰/۱ - ۰/۰۱ = ۰/۰۹

ترکیب شیمیایی قراضه فولادی بعد از فرآیند ذوب:

C = ۰/۳ × ۰/۰۵ = ۰/۱۵ ← پس C = ۰/۳ - ۰/۰۱۵ = ۰/۲۸۵

Si = ۰/۴ × ۰/۱۵ = ۰/۰۶ ← پس Si = ۰/۴ − ۰/۰۶ = ۰/۳۴

Mn = ۰/۴ × ۰/۲۵ = ۰/۱ ← پس Mn = ۰/۴ − ۰/۱ = ۰/۳

با توجه به ترکیب شیمیایی مواد شارژشده و درصد آنها خواهیم داشت:

C = ۳/۸ × ۲۵/۱۰۰ + ۰/۲۸۵ × ۶۵/۵۴/۱۰۰ + ۳/۵۶۲۵ × ۹/۴۶/۱۰۰ = ۱/۴۷۳

Si = ۰/۸۵ × ۲۵/۱۰۰ + ۰/۳۴ × ۶۵/۵۴/۱۰۰ + ۱/۸۷ × ۹/۴۶/۱۰۰ = ۱/۶۱۲

Mn = ۰/۳ × ۲۵/۱۰۰ + ۰/۳ × ۶۵/۵۴/۱۰۰ + ۰/۱۵ × ۹/۴۶/۱۰۰ = ۰/۲۵۵۸

Cu = ۰/۴۵ × ۹/۴۶/۱۰۰ = ۰/۰۴۲۵۷

P = ۰/۰۲ × ۲۵/۱۰۰ + ۰/۰۲ × ۶۵/۵۴/۱۰۰ + ۰/۰۲ × ۹/۴۶/۱۰۰ = ۰/۰۲

S = ۰/۰۲ × ۲۵/۱۰۰ + ۰/۰۲ × ۶۵/۵۴/۱۰۰ + ۰/۰۲ × ۹/۴۶/۱۰۰ = ۰/۰۲

Ni = ۰/۲۷ × ۹/۴۶/۱۰۰ = ۰/۰۲۵۵۴

Mo = ۰/۰۹ × ۹/۴۶/۱۰۰ = ۰/۰۰۸۵

V = ۰/۱ × ۹/۴۶/۱۰۰ = ۰/۰۰۹۴۶

اکنون میزان کمبود عناصر را با توجه به ترکیب شیمیایی مذاب و اعداد حاصل از قسمت قبلی محاسبه می‌نماییم:

C = ۳/۶۵ − ۱/۴۷۳ = ۲/۱۷

Si = ۲/۴ − ۰/۶۱۲ = ۱/۷۸۸

Mn = ۰/۳۵ − ۰/۲۸۵۸ = ۰/۰۶۴۲

Cu = ۱/۲ − ۰/۰۴۲۵۷ = ۱/۱۵۷۴

P = ۰/۰۲ − ۰/۰۲ = ۰

S = ۰/۰۲ - ۰/۰۲ = ۰

Ni = ۰/۲ - ۰/۰۲۵۵۴ = ۰/۱۷۴۴۶

Mo = ۰/۲۵ - ۰/۰۰۸۵ = ۰/۲۴۱۵

V = ۰/۲ - ۰/۰۰۹۴۶ = ۰/۱۹

Cr = ۰/۲۵ - ۰ = ۰/۲۵

Sn = ۰/۱ - ۰ = ۰/۱

Mg = ۰/۰۴۲ - ۰ = ۰/۰۴۲

برای محاسبه میزان فروسیلیسیم منیزیم مورد نیاز جهت کروی کردن گرافیت‌ها از رابطه زیر استفاده می‌کنیم:

$$Mg = \frac{\text{میزان Mg باقیمانده در مذاب} + ۰/۷۵ \times (\text{گوگرد موردنیاز - گوگرد مذاب})}{\text{درصد بازیابی Mg}}$$

$$Mg = \frac{۰ + ۰/۰۴۲}{۰/۴} = ۰/۱۰۵$$ در نتیجه

در نتیجه:

Mg(kg)	Fe - Si - Mg (Kg)
۵	۱۰۰
۰/۱۰۵	Fe - Si - Mg = ۲/۱ (Kg) مورد نیاز جهت کروی کردن گرافیت‌ها.

اکنون افزایش سیلیسیم ناشی از افزودن ۲/۱ کیلوگرم فروسیلیسیم منیزیم را محاسبه می‌نماییم:

افزایش سیلیسیم ناشی از افزودن Fe-Si-Mg ۲/۱×۵۰/۱۰۰×۸۰/۱۰۰=۰/۸۴kg

در رابطه فوق عدد ۵۰، درصد سیلیسیم در فروسیلیسیم منیزیم و عدد ۸۰ میزان بازیابی فروسیلیسیم منیزیم می‌باشد. اکنون دوباره کمبود سیلیسیم مذاب را محاسبه می‌نماییم.

Si = ۱/۷۸۸ - ۰/۸۴ = ۰/۹۴۸

حال میزان فروآلیاژهای مورد نیاز را به ترتیب ذیل محاسبه می‌نماییم: (با توجه به جدول ۲ ـ ۴)

گرافیت خالص C = ۲/۱۷ × ۱/۰/۹ = ۲/۴Kg

فروسیلیسیم ۷۵ درصد Fe - Si = ۰/۹۸۴ × ۱/۰/۷۵ × ۱/۰/۹ = ۱/۴ Kg

فرومنگنز ۷۵ درصد Fe - Mn = ۰/۰۶۴۲ × ۱/۰/۷۵ × ۱/۰/۹ = ۰/۰۹۵ Kg

فرومولیبدن ۶۵ درصد Fe - Mo = ۰/۲۴۱۵ × ۱/۰/۶۵ × ۱/۰/۹۵ = ۰/۳۹ Kg

فروونادیم ۴۰ درصد Fe - V = ۰/۱۹ × ۱/۰/۴ × ۱/۰/۹ = ۰/۵۲۷ Kg

فروکروم ۷۰ درصد Fe - Cr = ۰/۲۵ × ۱/۰/۷ × ۱/۰/۸۵ = ۰/۴۲ Kg

مس خالص Cu = ۱/۱۵۷۵ × ۱/۰/۹۵ = ۱/۲۱۸ Kg

قلع خالص Sn = ۰/۱ × ۱/۰/۹۵ = ۰/۱۰۵ Kg

نیکل خالص Ni = ۰/۱۷۴۴۶ × ۱/۰/۹۵ = ۰/۱۸۳۶ Kg

اکنون مجموع وزن فروآلیاژها، گرافیت، شمش، برگشتی و قراضه فولادی را محاسبه می‌نماییم:

۱۰۰+۲/۴+۱/۴+۲/۲۴+۰/۰۹۵+۱/۲۱۸+۰/۱۰۵+۰/۱۸۳۶+۰/۳۹+
۰/۵۲۷+۰/۴۲=۱۰۸/۸۷۸kg

حال با توجه به وزن مذاب که در صورت مسئله از ما خواسته شده بود (۲۵۰kg) داریم:

kg	kg
۱۰۸/۸۷۸	۱۰۰
۲۵۰	۲۳۰kg = وزن مذاب بدون سرباره

با توجه به درصد سرباره در کوره کوپل، خواهیم داشت:

وزن مذاب با احتساب سرباره ۲۳۰ × (۱۰۰+۱۰) / ۱۰۰ = ۲۵۳kg

حال با توجه به درصد مود شارژشده از قبیل شمش، قراضه، برگشتی و فروآلیاژهای مورد نیاز خواهیم داشت:

وزن شمش چدن	۲۵۳ × ۰/۲۵ = ۶۳/۲۵kg
وزن برگشتی چدن	۲۵۳ × ۰/۰۹۴۶ = ۲۳/۹۳۳۸kg
وزن قراضه فولادی	۲۵۳ × ۰/۶۵۵۴ = ۱۶۵/۸۱۸kg
گرافیت خالص	C = ۲۳۰/۱۰۰ × ۲/۴ = ۵/۵Kg
فروسیلیسیم منیزیم ۵٪	Fe - Si - Mg = ۲۳۰/۱۰۰ × ۲/۱ = ۴/۳۸ Kg
فروسیلیسیم ۷۵٪	Fe - Si = ۲۳۰/۱۰۰ × ۱/۴ = ۳/۲۲ Kg
فرومنگنز ۷۵٪	Fe - Mn = ۲۳۰/۱۰۰ × ۰/۰۹۵ = ۰/۲۱۸۵ Kg
فرومولیبدن ۶۵٪	Fe - Mo = ۲۳۰/۱۰۰ × ۰/۳۹ = ۰/۸۹۷ Kg
فروونادیم ۴۰٪	Fe - V = ۲۳۰/۱۰۰ × ۰/۵۲۷ = ۱/۲۱۲۱ Kg
فروکروم ۷۰٪	Fe - Cr = ۲۳۰/۱۰۰ × ۰/۴۲ = ۰/۹۶۶ Kg
مس خالص	Cu = ۲۳۰/۱۰۰ × ۱/۲۱۸ = ۲/۸۰۱۴ Kg
قلع خالص	Sn = ۲۳۰/۱۰۰ × ۰/۱۰۵ = ۰/۲۴۱۵ Kg
نیکل خالص	Ni = ۲۳۰/۱۰۰ × ۰/۱۸۳۴ = ۰/۴۲۲۲ Kg

ـ ترتیب شارژ:

ابتدا کوره را روشن نموده تا خوب گرم شود، پس از پیشگرم شدن کوره مقدار ۶۳/۲۵ کیلوگرم شمش چدنی را به همراه ۲۴ کیلوگرم برگشتی چدنی و حدود ۱۶۶

کیلوگرم قراضه فولادی و مقدار ۲/۸۰۱۴ کیلوگرم مس و ۰/۲۴۱۵ کیلوگرم قلع و ۰/۴۲۲ کیلوگرم نیکل را در کوره شارژ می‌نماییم.

بعد از گذشت زمانی حدود ۲ ـ ۱ ساعت این مجموعه سرخ‌شده و به‌صورت قطره قطره از میان لوله‌های گرافیتی عبور کرده و داخل کف کوره جمع می‌شود.

در این لحظه، مقدار ۰/۲۱۸۵ کیلوگرم فرومنگنز و مقدار ۰/۸۹۷ کیلوگرم فرومولیبدن و ۱/۲۱۲۱ کیلوگرم فروونادیم و ۰/۹۶۶ کیلوگرم فروکروم را نیز به مواد شارژ اضافه می‌نماییم. بعد از روشن شدن کوره و گذشت مدت زمان معین برای همگن شدن و ذوب کامل فروآلیاژها مقدار ۵/۵ کیلوگرم گرافیت (کربن) را از دریچه مخصوص به داخل کوره شارژ نموده و سپس با حدوداً ۲۵۰ گرم سلاکس (سرباره‌گیر) عمل سرباره‌گیری را انجام می‌دهیم.

سپس براساس مقدار ذوبی که می‌خواهیم از کوره بگیریم مقدار مشخصی Fe-Si-Mg را در کف پاتیل گذاشته و مذاب را بر روی آن تخلیه می‌نماییم،بعد از پرشدن پاتیل از مذاب، پاتیل را از زیر کوره خارج و بعد از سرباره‌گیری، سریعاً عمل ریخته‌گری را انجام می‌دهیم. لازم به ذکر است که در این مثال فرض شده است که عمل جوانه‌زایی با Fe-Si انجام نشده است.

مثال ۲) می‌خواهیم ۲۰۰ کیلوگرم چدن نشکن با ترکیب شیمیایی ذیل را در یک کوره دوار تهیه نماییم (روش ساندویچی)

C = ۳/۶ Si = ۲/۵ Mn = ۰/۴ Sn = ۰/۱

Mo = ۰/۱ P,S<very low Mg = ۰/۰۴

در صورتی که از شمش سورل با ترکیب ذیل استفاده نماییم مقدار مواد شارژ و ترتیب مواد شارژ را بنویسید.

C = ۳/۸ Si = ۱ Mn = ۰/۲ P,S<very low

- حل: ابتدا مبنای محاسبات را براساس ذوب ۱۰۰ کیلوگرم شمش قرار می‌دهیم. با توجه به سوخت عناصر در کوره دوار می‌توانیم ترکیب ذوب را بعد از ذوب ۱۰۰ کیلوگرم شمش مشخص نماییم.

C = ۳/۸ × ۰/۱ = ۰/۳۸kg ،بعد از سوخت ← C = ۳/۸ − ۰/۳۸ = ۳/۴۲kg

Si = ۱ × ۰/۳ = ۰/۳kg بعد از سوخت ← Si = ۱ − ۰/۳ = ۰/۷kg

Mn = ۰/۲ × ۰/۲۵ = ۰/۰۵kg ،بعد از سوخت ← Mn = ۰/۲ − ۰/۰۵ = ۰/۱۵kg

حال با توجه به ترکیب موردنظر می‌توانیم کمبود مواد را محاسبه نماییم:

C = ۳/۶ − ۳/۴۲ = ۰/۱۸kg Sn = ۰/۱

Si = ۲/۵ − ۰/۷ = ۱/۸kg Mo = ۰/۱

Mn = ۰/۴ − ۰/۱۵ = ۰/۲۵kg Mg = ۰/۰۴

کمبود کربن با استفاده از گرافیت عبارت است از:

C = ۰/۱۸ × ۱/۱ × ۱/۰/۹ = ۰/۲kg

برای کمبود Si داریم:

مقدار Si ذوب = مقدار Si از طریق Fe - Si + مقدار Si ناشی از Fe - Si - Mg

اما مقدار Fe - Si - Mg مجهول است پس:

$$Mg = \frac{\text{Mg باقیمانده در ذوب} + ۰/۷۵ \times (\text{گوگرد مورد نیاز} - \text{گوگرد مذاب})}{\text{درصد بازیابی Mg}}$$

$$Mg = \frac{۰ + ۰/۰۴}{۳۰/۱۰۰} = ۰/۱۳۳kg$$

بنابراین: Mg(kg) ۵ — Fe - Si - Mg(kg) ۱۰۰

۰/۱۳۳ — X ⇐ x=۲/۶kg

و اما افزایش Fe - Si - Mg ناشی از Si ← ۲/۶ × ۰/۵ × ۰/۸ = ۱/۰۴≈۱Kg

مقدار Si از Fe - Si - Mg - مقدار Si ذوب = مقدار Si از طریق Fe - Si

مقدار Si از طریق Fe - Si ۰/۸kg = ۱ - ۱/۸

مقدار Fe - Si = (Fe - Si %۷۵) ۱/۲kg≈۱/۱۸۵ = ۱/۰/۹ × ۱/۰/۷۵ × ۰/۸

Fe - Si جوانه‌زا + Fe - Si برای افزایش Si = Fe - Si کل

جوانه‌زا Fe - Si = درصد وزن‌مذاب × (۰/۴ - ۰/۳) برای ۱۰۰ کیلوگرم مذاب ۰/۴kg =۰/۴×۱۰۰

۰/۴ + Fe - Si برای افزایش Si = ۱/۲ = Fe - Si کل

Si برای افزایش Fe - Si = ۱/۲ - ۰/۴ = ۰/۸kg

کمبود Mn از طریق Fe - Mn، ۷۵٪: ۰/۲۵ × ۱/۰/۷۵×۱/۰/۹=۰/۳۷kg

کمبود قلع از طریق قلع خالص: ۰/۱ × ۱/۰/۹۵ = ۰/۱۰۵kg

کمبود MO از طریق Fe - Mo، ۶۵٪ ۰/۱ × ۱/۰/۶۵ × ۱/۰/۹۵ = ۰/۱۶kg

تا بحال مبنای محاسبات براساس ذوب ۱۰۰ کیلوگرم شمش سورل بوده است. با توجه به اینکه می‌خواهیم ۲۰۰ کیلوگرم مذاب تهیه کنیم مقدار مواد مورد نیاز به این ترتیب محاسبه می‌شود:

وزن ذوب = ۱۰۰ + (کربن) ۰/۲ + ۲/۶ (Fe - Si - Mg) + ۱/۲ (Fe - Si کل) + ۰/۳۷(Fe - Mn)

+ ۰/۱۰۵ خالص (Sn) + ۰/۱۶(Fe - Mo) = ۱۰۴/۶kg ≈۱۰۴/۵kg

از طرفی داریم:

۱۰۴/۵kg (ذوب) ۱۰۰kg

وزن مذاب بدون سرباره ۱۹۲ =x ⇒ X ۲۰۰

۲۱۰kg ≃ ۲۱۱/۲kg = (۱۰/۱۰۰ + ۱۰۰) × ۱۹۲ = وزن مذاب و سرباره (یا وزن شمش)

بنابراین:

کربن = ۰/۲ × ۱/۹۲ = ۰/۳۸۴kg

Fe-Si-Mg = ۲/۶۶ × ۱/۹۲ = ۵/۱kg

Fe-Si برای افزایش Si = ۰/۸ × ۱/۹۲ = ۱/۵۳kg

Fe-Si جوانه‌زا = ۰/۴ × ۱/۹۲ = ۰/۷۶۸kg

Fe-Mn = ۰/۳۷ × ۱/۹۲ = ۰/۷۱kg

Sn = ۰/۱۰۵ × ۱/۹۲ = ۰/۲kg

Fe-Mo = ۰/۱۶ × ۱/۹۲ = ۰/۳kg

ـ ترتیب شارژ:

ابتدا کوره دوار را روشن می‌نماییم تا خوب گرم شود. سپس مقدار ۲۱۰ کیلوگرم شمش سورل را به‌داخل کوره پیشگرم شارژ می‌نماییم و سپس کوره را روشن می‌نماییم تا شمش‌ها ذوب شوند. بعد از ذوب شمش، کوره را به حرکت در می‌آوریم تا مذاب به خوبی همگن شود، سپس کوره را خاموش کرده و با استفاده از حدود ۲۰۰ گرم سلاکس عمل سرباره‌گیری را انجام می‌دهیم. سپس مقدار ۰/۳۸۴ کیلوگرم گرافیت، ۱/۵۳ کیلوگرم فروسیلیسیم ۷۵ درصد، ۰/۷۱ کیلوگرم فرومنگنز ۷۵ درصد، ۰/۲ کیلوگرم قلع خالص، ۰/۳ کیلوگرم فرومولیبدن ۶۵ درصد را به کوره اضافه کرده و کوره را روشن می‌نماییم تا فوق ذوب لازم حاصل شود. بعد از مدت حدوداً ۱۵ ـ ۲۰ دقیقه کوره را خاموش کرده و دریچه شارژ را باز می‌نماییم، سپس بر اساس وزن ذوبی که می‌خواهیم

از کوره بگیریم مقدار مشخصی Fe - Si - Mg را در کف پاتیل قرار می‌دهیم و مقداری براده آهن (حدود ۵۰ - ۱۰۰ گرم) بر روی آن می‌ریزیم و پاتیل را زیر لوچه مذاب قرار می‌دهیم و مقدار مذاب موردنیاز را بر روی Fe - Si - Mg می‌ریزیم.

این عمل با نور خیره کننده و با پاشش ناشی از واکنش منیزیم با مذاب همراه است. بعد از عملیات کروی کردن پاتیل را از زیر کوره خارج کرده و مقدار فروسیلیسیم ۷۵درصد را به‌عنوان جوانه‌زا به مذاب اضافه می‌نماییم (۰/۴ درصد وزن مذاب پاتیل) و سپس مذاب را هم می‌زنیم و بعد از سرباره‌گیری مجدد سریعاً عمل ریخته‌گری را انجام می‌دهیم.

فصل ۵

روش‌های کروی‌نمودن گرافیت در چدن نشکن

۱ـ۵ـ مقدمه

در طی مدت چندین سالی که از کشف چدن نشکن می‌گذرد روش‌های بسیاری برای اضافه‌نمودن آلیاژ کروی کننده به چدن مذاب به منظور کروی نمودن گرافیت‌ها پیشنهاد شده است. در فرآیند تولید چدن نشکن مرحله کروی نمودن گرافیت‌ها که با افزودن آلیاژ کروی کننده به صورت ترکیبی از منیزیم به مذاب صورت می‌گیرد، تنها بخش حساس و با اهمیت از کل کار می‌باشد.

روش کروی نمودن گرافیت‌ها یا به‌طور کلی روش اصلاح سازی تحت تاثیر بخش‌های دیگر فرایند تولید چدن نشکن همچون ترکیب شیمیایی مذاب، ترکیب مواد کروی کننده و خواص چدن مورد نیاز بستگی دارد. به علاوه موارد قابل توجه دیگری مانند هزینه نگهداری، طرح و ترتیب فرآیند ریخته‌گری ـ سهولت نسبی عملیات به فاکتورهای موثر در انتخاب روش کروی نمودن گرافیت‌ها اضافه می‌شود.

بدون شک کنترل عمل افزودن عامل کروی کننده، تنها مرحله مهم و حساس در فرآیند تولید چدن نشکن می‌باشد، از آنجا که منیزیم دارای نقطه تبخیر پایین است، اضافه‌نمودن آن به مذاب باید با دقت صورت گیرد تا درصد مشخص منیزیم درون مذاب بدست آید. انتخاب روش کروی نمودن بستگی به عوامل مختلفی چون:

- هزینه‌ها از جمله سرمایه‌گذاری و تجهیزات
- مقدار مذاب مورد نیاز
- محدودیت‌های فیزیکی از جمله وضعیت و طرح کارخانه دارد.

نکته مهم در روش‌های کروی نمودن گرافیت‌ها، میزان بازیابی فلز منیزیم از فلز یا آلیاژی که به‌عنوان عامل کروی کننده به‌کار می‌رود، می‌باشد.

متغیرهای زیادی وجود دارند که بر میزان بازیابی منیزیم موثر می‌باشند ولی مهم‌ترین آنها:

- ترکیب شیمیایی و درجه حرارت چدن مذاب قبل از عملیات
- اندازه و غلظت مواد کروی کننده
- روش کروی نمودن

طبق یک قانونمندی کلی می‌توان بازیابی فلز منیزیم را از فرمول ذیل محاسبه نمود:

$$\text{درصد بازیابی Mg} = \frac{\text{Mg باقیمانده در ذوب} + ۰/۷۵ \times (\text{گوگرد موردنیاز} - \text{گوگرد اولیه})}{\text{درصد Mg اضافه به ذوب}}$$

۲ـ۵ـ روش کروی نمودن تَه بوته‌ای (بوته سرباز)

روش ته بوته‌ای یا بوته سرباز بدون شک اولین روشی است که در تولید تجارتی چدن نشکن به‌کار گرفته شده است. این روش از نظر انجام عملیات، ساده‌ترین روش است که می‌توان به‌کار برد. در این روش بازیابی مناسب وقتی حاصل می‌شود که نسبت

ارتفاع به قطر بوته در حد بالایی مانند ۳ به ۱ باشد، زیرا با داشتن بوته‌ای که نسبت ارتفاع به قطر زیاد باشد ریختن سریع مذاب به ته بوته و بر روی آلیاژی که وظیفه کروی نمودن را به عهده دارد امکان‌پذیر است.

در این روش مواد کروی کننده به صورت آلیاژ (مانند فروسیلیسیم منیزیم) به‌کار می‌روند، آلیاژ کروی کننده در ته بوته که قبلاً به‌خوبی پیشگرم شده است قرار داده می‌شود و سپس مذاب چدن با دمای مناسب و با سرعت بر روی آن ریخته می‌شود. لذا ترشح یا پاشیدن مذاب و شعله‌ور شدن در این روش کاملاً عادی است. میزان بازیابی منیزیم در این روش ۲۰ الی ۳۰ درصد می‌باشد.

مزیت‌اصلی این روش سادگی آن می‌باشد و محدودیت‌های اصلی این روش عبارتند از:

۱ - پایین بودن میزان بازیابی منیزیم

۲ - آلودگی محیط زیست

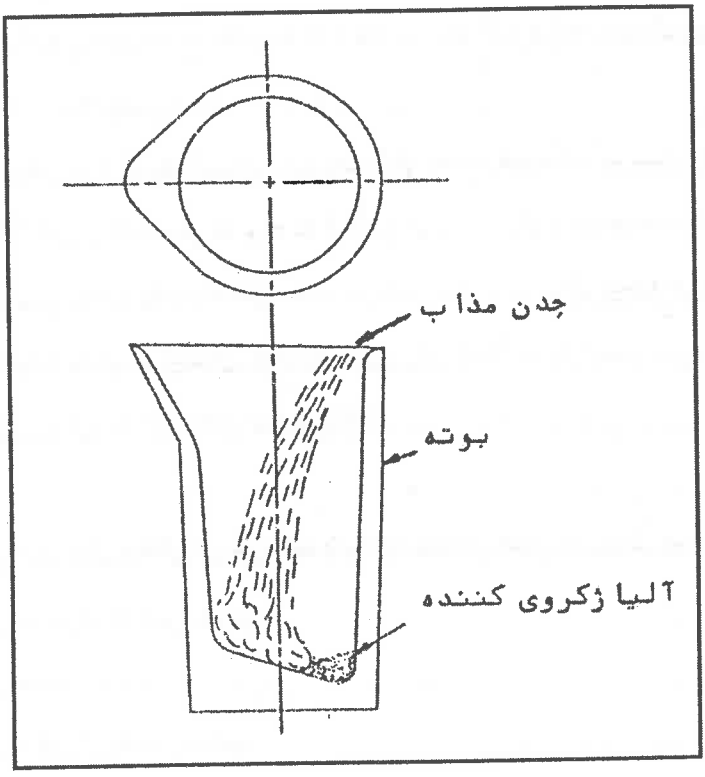
۳ - خطرات ناشی از پاشش مذاب

شکل ۱ - ۵ که شماتیک روش ته بوته‌ای را برای تولید چدن نشکن نشان می‌دهد در صفحه بعد ارائه شده است.

۳ - ۵ - روش کروی نمودن ته بوته‌ای یا ساندویچی

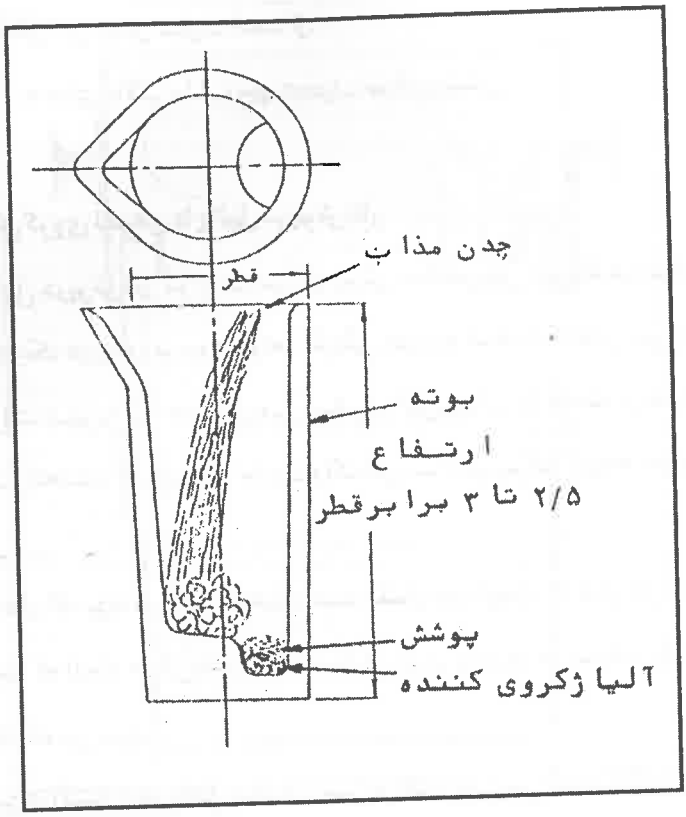
این روش در حقیقت زاییده مستقیم روش ته‌بوته‌ای یا بوته سرباز می‌باشد. در این روش شکل و اندازه بوته همانند روش قبل می‌باشد و مزیت آن یعنی سادگی کار باقی می‌ماند. اختلاف اساسی این دو روش در طراحی ته بوته می‌باشد. در روش ساندویچی بوته به‌گونه‌ای طراحی شده که محفظه کوچکی در ته آن تعبیه شده است که در محفظه

فوق مواد کروی کننده قرار می‌گیرند و سپس با موادی روی آن را می‌پوشانند.



شکل ۱ ـ ۵ ـ شماتیک روش ته‌بوته‌ای (بوته سرباز) برای تولید چدن نشکن

موادی که به‌عنوان پوشش به‌کار می‌روند معمولاً ورق فولادی نازک یا براده آهن می‌باشد، اما در بسیاری از کارگاه‌ها فروسیلیسیم ۷۵ درصد را به‌عنوان پوشش بکار می‌برند. همچنین در بعضی کارگاه‌ها از مقادیر جزیی ماسه چراغی نیز استفاده می‌نمایند. از آنجا که در این روش مواد کروی‌کننده در داخل محفظه ته بوته ریخته می‌شود و سپس مواد پوششی روی آنها قرار می‌گیرند، لذا به این روش اصطلاح ساندویچی اطلاق می‌شود.



شکل ۲ ـ ۵ ـ شماتیک روش ساندویچی برای تولید چدن نشکن

بازیابی منیزیم در این روش به ۳۰ الی ۴۰ درصد می‌رسد.

مزیت‌های اصلی این روش عبارتند از:

۱ ـ سادگی عملیات

۲ ـ مصرف مواد کروی کننده کمتر (در مقایسه با روش بوته سرباز)

۳ ـ آلودگی کمتر (در مقایسه با روش بوته سرباز)

محدودیت اصلی این روش عبارت است از:

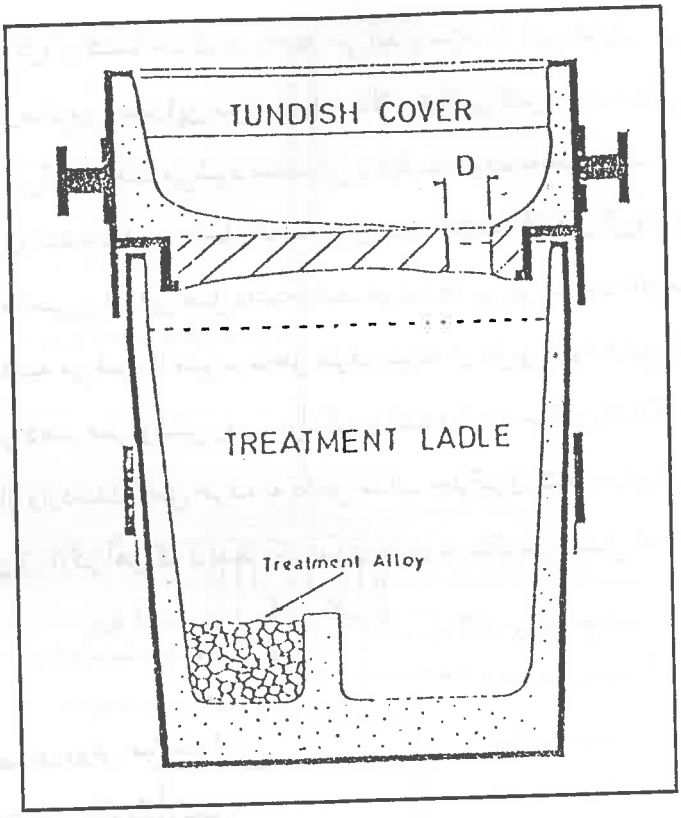
نیازمندی به دمای بالاتر مذاب جهت ذوب مواد پوششی

۴ـ۵ـ روش کروی نمودن با پاتیل درپوش‌دار

روش پاتیل درپوش‌دار نوع خاصی از روش ساندویچی می‌باشد، در این روش با استفاده از یک درپوش بر روی بوته، آلودگی هوا به شدت کاهش می‌یابد و نیاز به تجهیزات تهویه به حداقل می‌رسد. در این روش با محدود نمودن مقدار اکسیژن گرفته‌شده از هوا در طول واکنش با منیزیم دو نتیجه مهم به‌دست می‌آید:

۱ ـ چون مقدار اکسیژن در پاتیل محدود است مقدار دود ایجاد شده در طول واکنش کم بوده و آنچه که ایجاد می‌گردد در داخل پوشش درب رسوب می‌نماید و مقدار کمی از آن وارد کارگاه می‌شود.

۲ ـ چون میزان اکسیژن در پاتیل محدود است، مقدار منیزیمی که با اکسیژن ترکیب می‌شود کم بوده و بنابراین اتلاف منیزیم در مقایسه با روش ساندویچی کمتر است. بازیابی منیزیم در این روش تا ۵۰ درصد گزارش شده است همچنین صرفه‌جویی در مصرف آلیاژ فروسیلیسیم منیزیم تا حدود ۳۰ـ۲۰ درصد گزارش شده است. در روش ساندویچی اصولاً ۳ ـ ۲/۵ درصد از آلیاژ فروسیلیسیم ـ منیزیم ۵ درصد مصرف می‌شود، ولی در روش پاتیل درپوش‌دار مقدار آلیاژ مصرفی ۱/۷ ـ ۱/۴ درصد می‌باشد. چون مصرف آلیاژ فروسیلیسیم ـ منیزیم در این روش کمتر است بنابراین عیوب ناشی از سرباره‌های منیزیم کاهش می‌یابد. شکل ۳ ـ ۵ شماتیک پاتیل درپوش‌دار حاوی آلیاژ کروی کننده را نشان می‌دهد.



شکل ۳ ـ ۵ ـ شماتیک پاتیل درپوش‌دار حاوی آلیاژ کروی‌کننده

۵ ـ ۵ ـ روش کروی نمودن غوطه‌وری (فروبری)

اگرچه منظور از توضیح این روش، کاربرد آن در افزودن مواد کروی‌کننده به مذاب است، اما برای افزودن مواد دیگر به مذاب نیز به‌کار می‌رود. این روش از آنجا مورد توجه قرارگرفته و معروفیت یافته است که می‌توان منیزیم را با غلظت‌های بسیار بالا نیز به‌کار برد. در این روش ظرفی شبیه ناقوس (Plunger) که حاوی مواد کروی کننده است عمیقاً به داخل پاتیل پر از مذاب چدن فروبرده می‌شود و بدین ترتیب از شناور شدن و

بالاآمدن مواد کروی کننده جلوگیری به‌عمل می‌آید و میزان بازیابی افزایش می‌یابد و به بیش از ۵۰ درصد می‌رسد. این میزان بازیابی بالا و توانایی کنترل وزن مذابی که مورد عملیات قرار می‌گیرد باعث می‌شود محصولی با کیفیت خوب به‌دست آید.

مواد کروی کننده باید در داخل ظرف فرورونده (Plunger) قرار گیرند. این ظرف باید محفظه مناسبی برای این عمل داشته باشد. در محیط بیرونی قسمت ناقوسی شکل، سوراخ‌های تعبیه می‌شود تا منیزیم داخل ظرف بتواند از طریق آنها خارج شده و با مذاب واکنش دهد. عمر پوشش رویی مواد کروی کننده باید به میزانی باشد که از واکنش منیزیم قبل از واردشدن کامل ظرف به داخل مذاب جلوگیری کند. برای این منظور معمولاً از ورق نازک آهن که توسط یک توری فلزی به ناقوس متصل است استفاده می‌شود.

مزایای اصلی این روش عبارتند از:

۱ ـ تولید دود کمتر (آلودگی کمتر)

۲ ـ کنترل واکنش مذاب با مواد کروی‌کننده

۳ ـ امکان استفاده از فلز منیزیم خالص

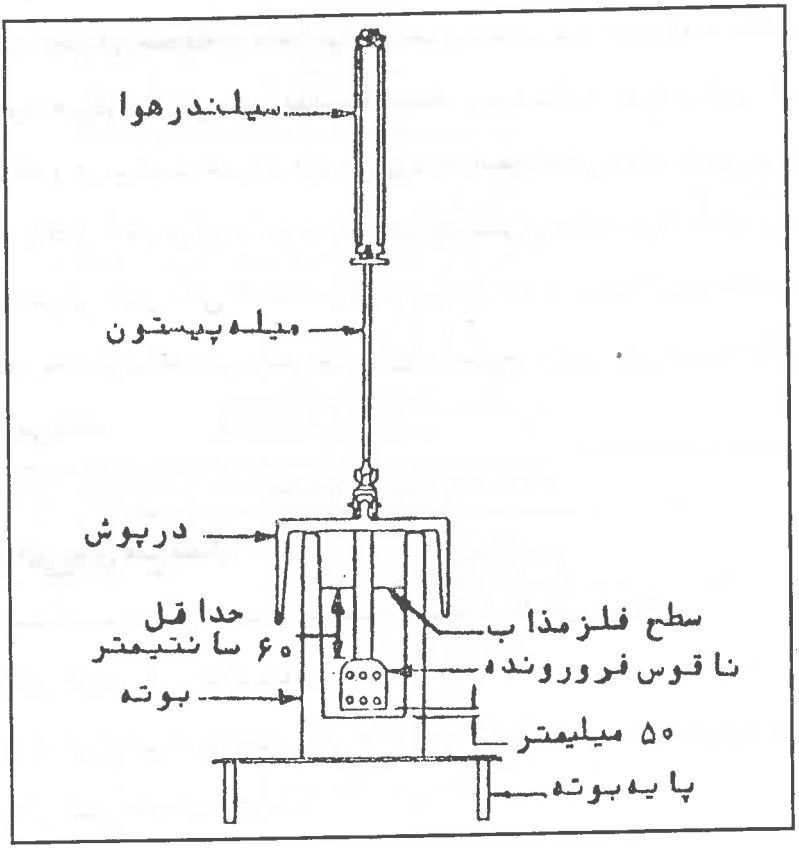
۴ ـ ایجاد سرباره کمتر

محدودیت‌های این روش عبارتند از:

۱ ـ هزینه بالای تهیه وسایل فروبری و ظرف ناقوسی شکل

۲ ـ اتلاف حرارت زیادتر ناشی از گرماگیری تجهیزات فروبری مذاب

۳ ـ مدت زمان طولانی عملیات



شکل ۴ ـ ۵ ـ شماتیک روش غوطه‌وری (فروبری) برای تولید چدن نشکن

۶ـ ۵ ـ روش کروی نمودن بوته گردان یاکنورتور GF

این روش که در اروپا و توسط کارخانه جورج فیشر (Georg Fisher) گسترش یافته است از جمله روش‌هایی است که در آن از فلز منیزیم غیرآلیاژی استفاده می‌شود. در این روش از یک بوته استوانه‌ای گردان استفاده می‌شود که می‌تواند به میزان ۱۸۰ درجه حول یک محور ثابت چرخش نماید. در گوشه‌ای از بوته محفظه‌ای از مواد نسوز ساخته شده است که سطح آن حاوی یک سری سوراخ جهت ورود مذاب به داخل محفظه

می‌باشد. محل این محفظه در داخل بوته به نحوی انتخاب شده است که به هنگام افقی بودن بوته هیچ‌گونه تماس مابین مذاب با محفظه وجود نداشته باشد. هنگامی که بوته می‌چرخد و در موقعیت عمودی قرار می‌گیرد به واسطه تماس مذاب با منیزیم داخل محفظه واکنش آغاز می‌گردد. مدت زمان انجام واکنش برحسب میزان مذاب و مقدار منیزیم مصرفی مابین ۱ الی ۳ دقیقه می‌باشد. در پایان بعد از سرباره‌گیری، مذاب جهت تخلیه و ریخته‌گری آماده می‌باشد. میزان بازیابی منیزیم در این روش حدود ۵۰ الی ۶۰ درصد می‌باشد.

مزایای این روش عبارتند از:

۱ ـ قابلیت کسب بازیابی خوب و مناسب با استفاده از فلز منیزیم خالص

۲ ـ توانایی افزایش کربن مذاب به‌طور همزمان

۳ ـ قابلیت کروی‌نمودن چدن‌هایی بامیزان گوگرد بالا بدون‌نیاز به‌عملیات‌گوگردزدایی

۴ ـ آلودگی کمتر محیط‌زیست

۵ ـ تولید سرباره کمتر

محدودیت‌های اصلی این روش عبارتند از:

۱ ـ بالابودن مدت زمان عملیات

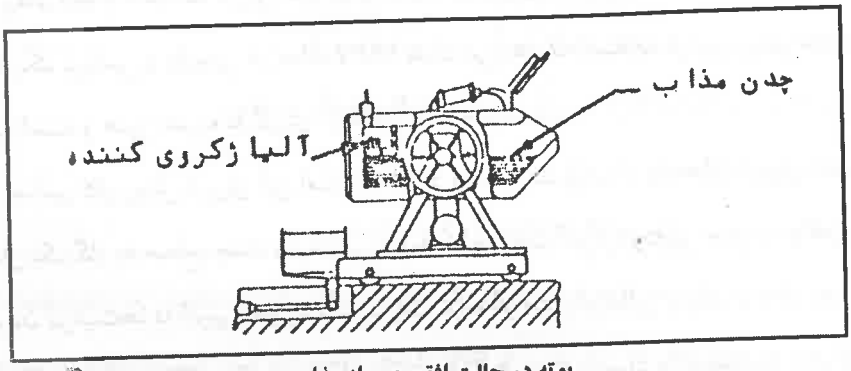
۲ ـ انتخاب دمای بالاتر برای مذاب به علت طولانی بودن زمان عملیات

۳ ـ داشتن حق لیسانس برای نصب و راه‌اندازی روش (از کارخانه GF)

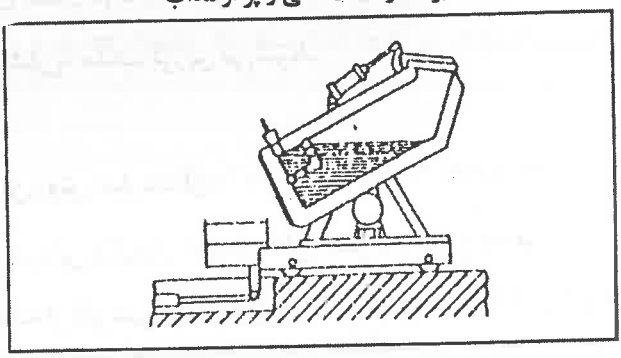
۴ ـ نیاز به داشتن فضای زیاد برای انجام عملیات در کارگاه

۵ ـ مشکلات انتقال مذاب به بوته و از بوته به خط ریخته‌گری

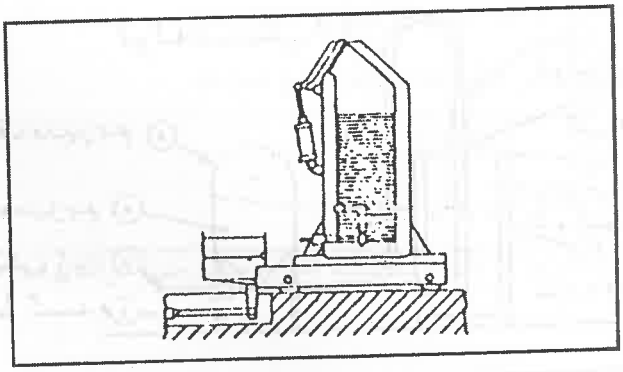
شکل ۵ ـ ۵ دراین صفحه شماتیک مراحل تولید چدن نشکن به روش کنورتور را نشان می‌دهد.



بوته در حالت افقی و پر از مذاب



بوته در حال چرخیدن



بوته در حالت کاملاً چرخیده، تماس مذاب و آلیاژ انجام شده‌است

شکل ۵ ـ ۵ ـ شماتیک روش بوته‌گردان برای تولید چدن نشکن

۷ـ۵ـ روش کروی نمودن تزریقی

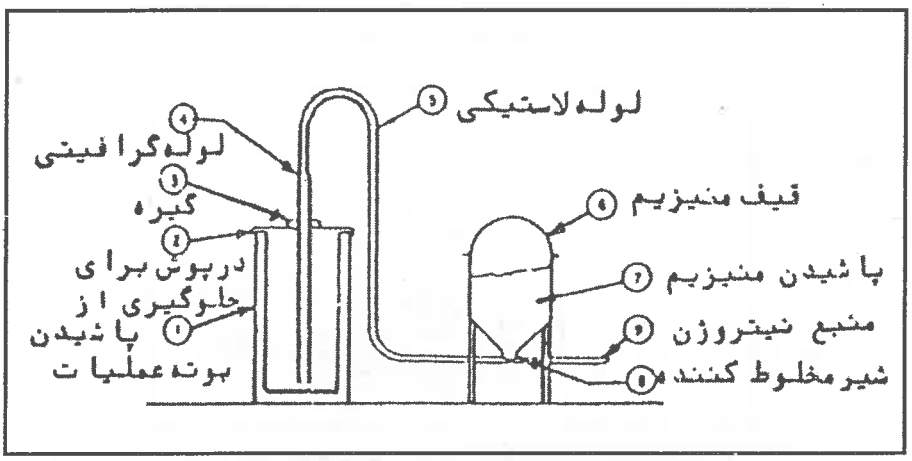
زمان انجام عملیات تزریق منیزیم و آلیاژهای کروی کننده به دهه ۱۹۶۰ برمی‌گردد. البته یک بررسی و بازبینی در سال ۱۹۶۷ نشان می‌دهد که استفاده از این روش محدود بوده است و هنوز هم به‌کارگیری آن کاملاً محدود است.

اساس کار روش تزریق این است که مواد به صورت پودر یا دانه‌های کروی، تحت فشار یک گاز به سطح چدن دمیده می‌شوند تاعملیات گوگردزدایی مذاب و کروی نمودن گرافیت‌ها به‌خوبی صورت گیرد. یک میله گرافیتی توخالی یا یک لوله از جنس مواد نسوز برای انتقال مواد به داخل مذاب به‌کار می‌رود و مواد با استفاده از یک گاز خنثی و تحت فشار به مذاب تزریق می‌شوند.

مزایای اصلی این روش عبارتند از:

۱ ـ امکان گوگردزدایی و کروی نمودن به‌طور همزمان وجود دارد.

۲ ـ امکان استفاده از فلز منیزیم غیرآلیاژی میسر است.



شکل ۶ـ۵ـ شماتیک روش تزریق پودر برای تولید چدن نشکن

محدودیت‌های اصلی این روش عبارتند از:

۱ ـ شدید بودن واکنش مواد کروی کننده و مذاب که نیاز به درپوش روی بوته را ضروری می‌سازد.

۲ ـ در صورت عدم وجود درپوش آلودگی زیاد محیط‌زیست.

۳ ـ بالابردن اتلاف حرارتی کل فرآیند.

۴ ـ احتمال مسدودشدن لوله انتقال مواد کروی کننده.

امروزه از روش اصلاح شده تزریق که به روش سیم فلزی مشهور می‌باشد استفاده می‌گردد در این روش از یک سیم فولادی که در داخل آن آلیاژ کروی کننده به صورت فشرده پرشده است، استفاده می‌گردد که توسط یک غلطک کشیده و وارد پاتیل مذاب می‌شود.

سرعت کشش سیم توسط غلطک قابل تنظیم می‌باشد.

مزیت‌های اصلی این روش عبارتند از:

۱ ـ مصرف آلیاژ کروی کننده کمتر

۲ ـ امکان استفاده از فلز منیزیم خالص

۳ ـ امکان گوگردزدایی و کروی نمودن به‌طور همزمان

محدودیت‌های اصلی این روش عبارتند از:

۱ ـ محدودیت خرید از یک تولیدکننده ثابت (خرید سیم فولادی حاوی آلیاژ کروی کننده)

۲ ـ هزینه بالای تجهیزات مورد نیاز

۸ـ ۵ـ روش کروی نمودن توپی متخلخل

در این روش ورود یک گاز خنثی که از میان منافذ یک توپی متخلخل با فشار به داخل مذاب صورت می‌گیرد باعث به حرکت درآمدن و تلاطم مذاب می‌شود. حرکت متلاطم مذاب این امکان را به‌وجود می‌آورد که واکنش موثری مابین مذاب و مواد کروی کننده که از بالا بر روی آن پاشیده می‌شود صورت بگیرد. بازیابی منیزیم در این روش حدود ۴۰ الی ۵۰ درصد است. زمان تلاطم مذاب نباید از ۳۰ ثانیه تجاوز نماید. افزایش شدت تلاطم مذاب باعث کاهش بازیابی منیزیم می‌شود لذا این روش بیشتر برای گوگردزدایی و کروی کردن به صورت پیوسته و پشت سرهم صورت می‌گیرد.

مزایای اصلی این روش عبارتند از:

۱ ـ امکان استفاده از منیزیم خالص

۲ ـ امکان گوگردزدایی و کروی نمودن به‌طور همزمان

محدودیت‌های اصلی این روش نیز عبارتند از:

۱ ـ محدودیت زمانی برای انجام عملیات

۲ ـ امکان جذب گازها توسط مذاب در اثر تلاطم شدید مذاب

شکل ۷ـ ۵ در صفحه بعد شماتیک روش توپی متخلخل را برای تولید چدن‌نشکن نشان‌می‌دهد.

۹ـ ۵ـ روش کروی نمودن جریان خیس‌کننده

در این روش از یک محفظه که درون آن نسوز کاری شده است استفاده می‌شود. به این صورت که مواد کروی کننده درون یک محفظه که در زیر کوره و بالای پاتیل قرار دارد

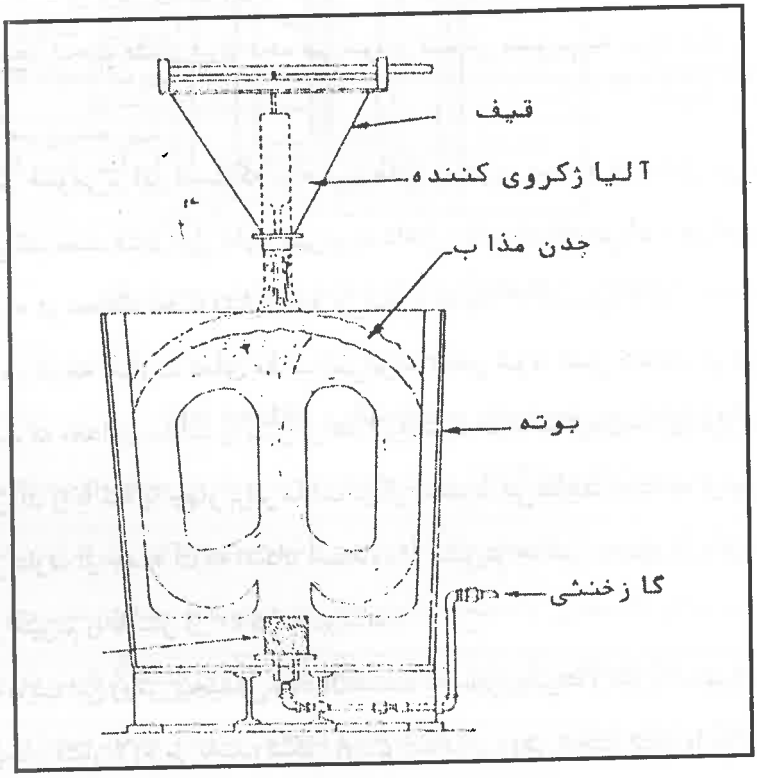
ریخته می‌شود و ذوب از طریق محفظه وارد پاتیل می‌شود، میزان بازیابی این روش ۶۰ تا ۷۰ درصد می‌باشد.

مزایای این روش عبارت‌اند از:

۱ ـ آلودگی کمتر محیط‌زیست

۲ ـ مصرف کمتر آلیاژ کروی کننده

۳ ـ امکان مصرف منیزیم غیرآلیاژی



شکل ۷ ـ ۵ ـ شماتیک روش توپی متخلخل برای تولید چدن‌نشکن

محدودیت‌های اصلی این روش عبارتند از:

۱ ـ بالاتربودن درجه حرارت مذاب از میزان متداول برای تولید چدن نشکن

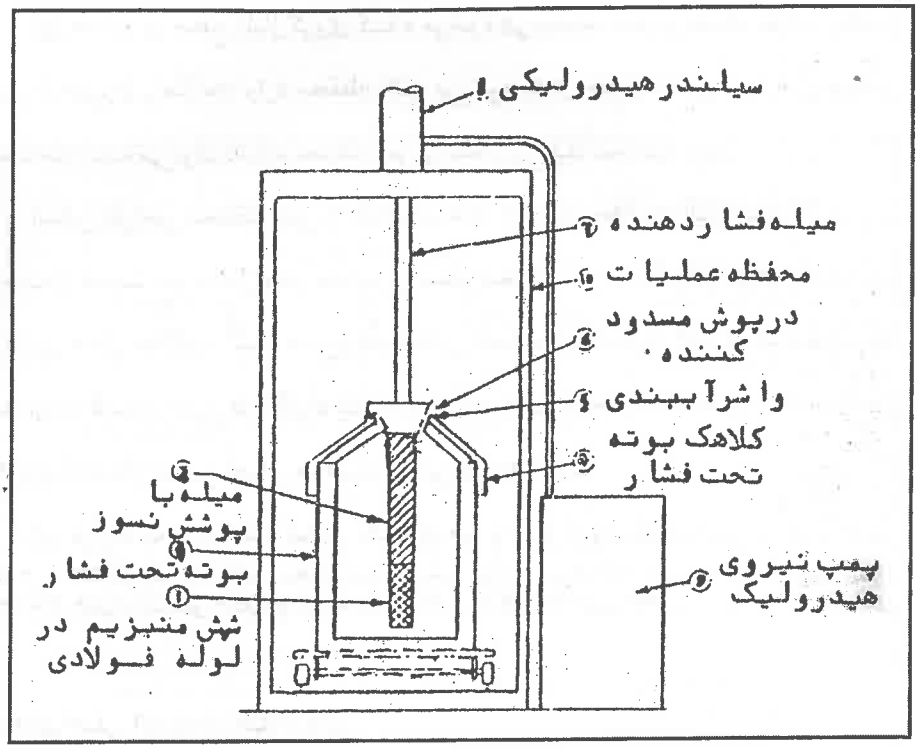
۲ ـ نیاز به داشتن فضای نسبتاً زیاد برای نصب محفظه و کوره

۱۰ ـ ۵ ـ روش کروی نمودن تحت فشار

تحقیقات مربوط به استفاده از بوته و محفظه تحت فشار برای عملیات تلقیح منیزیم به سال ۱۹۷۵ میلادی باز می‌گردد و هنوز هم این تلاش‌ها به نتیجه نهایی نرسیده است. در یکی از طرق مربوط به این روش، یک بوته معمولی در داخل یک محفظه تحت فشار قرار داده می‌شود و شمش منیزیم به بوته مذاب اضافه می‌گردد.

روش عمومی‌تر این است که بوته مربوطه را به خوبی بسته و درزبندی می‌نمایند و هنگامی که تحت فشار قرار دارد منیزیم به داخل مذاب اضافه می‌شود در این حالت، فشاری که در محفظه تحت فشار ایجاد می‌شود (حدود ۱۲ اتمسفر) تا بدان حد است که منیزیم در درجه حرارت دمای مذاب نمی‌تواند تبخیر شود. عمل متداول در این روش این است که مقداری مذاب را بیش از حد لازم مورد عملیات کروی‌سازی قرار می‌دهند و سپس آن را با سه یا چهار برابر مذاب دیگر مخلوط می‌نمایند. استفاده از این روش مزایایی دارد، از جمله آن که امکان استفاده از منیزیم خالص وجود دارد و می‌توان بازیابی منیزیم را تا بیش از ۷۰ درصد رساند.

از معایب این روش پیچیدگی زیاد آن نسبت به سایر روش‌ها و نیاز به تجهیزات بیشتر برای ایجاد فشار لازم می‌باشد. شکل ۸ ـ ۵ شماتیک روش تحت فشار را برای تولید چدن نشکن نشان می‌دهد.



شکل ۸ ـ ۵ ـ شماتیک روش تحت فشار برای تولید چدن نشکن

۱۱ ـ ۵ ـ عملیات کروی نمودن در محفظه قالب (In mold)

در این روش عمل افزودن آلیاژ کروی‌کننده به مذاب چدن در محفظه‌ای به نام محفظه فعل و انفعال که جزیی از سیستم راهگاهی می‌باشد صورت می‌گیرد. این عمل را می‌توان هم برای قالب‌هایی با سطح جدایش افقی و هم سطح جدایش عمودی انجام داد. در هر دو حالت مقادیر از پیش محاسبه شده آلیاژ کروی کننده گرافیت در محفظه فعل و انفعال ریخته شده و سپس دو لنگه قالب بسته می‌شود و مذاب چدن به داخل قالب ریخته می‌شود.

این مذاب بر سطح آلیاژ کروی کننده موجود در محفظه فعل و انفعال جریان یافته و پس از عبور از راهگاه‌ها وارد محفظه قالب می‌شود. با در اختیار داشتن معیارهای از پیش محاسبه شده می‌توان اندازه محفظه فعل و انفعال را دقیقاً محاسبه نمود.

اساس طراحی محفظه فعل و انفعال استفاده از عامل حلالیت آلیاژ است که عبارت است از نسبت سرعت ریختن مذاب بر سطح محفظه فعل و انفعال. برای ثابت نگه داشتن عامل حلالیت آلیاژ ضرورتاً بایستی اندازه ذرات آلیاژ کروی کننده در یک محدوده ثابت و معین قرار گیرد ثبات و دقت عمل در انتخاب دانه‌بندی مناسب آلیاژ کروی کننده از عوامل اصلی موفقیت در این فرآیند است.

این فرآیند به دلیل عدم تماس اکسیژن هوا با آلیاژ کروی کننده ایمن و بدون خطر است و میزان بازیابی منیزیم در آن به ۹۰ تا ۱۰۰ درصد می‌رسد.

مزایای اصلی این روش عبارتند از:

۱ ـ کاهش مصرف آلیاژ کروی کننده

۲ ـ آلودگی کمتر محیط زیست

۳ ـ کاهش مراحل تولید در مقایسه با روش‌های دیگر

۴ ـ تسهیل در شرایط اتومات کردن خط تولید

محدودیت‌های اصلی این روش عبارتند از:

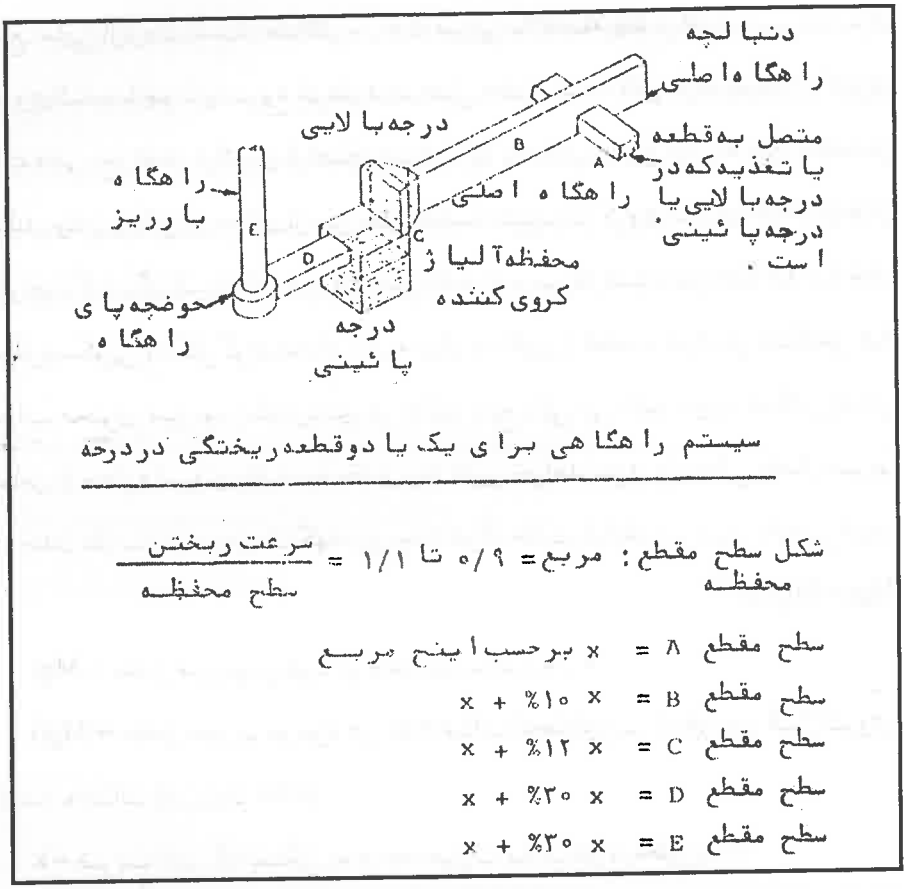
۱ ـ تهیه مذاب با گوگرد پایین

۲ ـ افزایش احتمال ورود ناخالصی‌ها به داخل قطعه ریختگی

۳ ـ نیاز به طراحی سیستم راهگاهی مناسب

۴ ـ نیاز به تغییر در سیستم کنترل کیفیت

۵ ـ کاهش راندمان ریخته‌گری و افزایش میزان برگشتی



شکل ۹ ـ ۵ ـ شماتیک اجزاء سیستم راهگاهی برای عملیات کروی نمودن در محفظه قالب

۱۲ ـ ۵ ـ میرایی منیزیم

اصولاً در چدن‌های خاکستری و انواع چدن نشکن اثرات مواد اضافه شده به مذاب با زمان تداوم نداشته و بیشترین اثر آن در زمان‌های اولیه اضافه نمودن مواد کروی کننده

یا جوانه‌زا می‌باشد(حدود ۲ ـ ۱ دقیقه بعد از اضافه نمودن)، کاهش اثر مواد افزوده شده در طول زمان اصطلاحاً میرایی گفته می‌شود. سرعت میرایی این مواد به صورت یک تابع نمایی از زمان است، حداکثر سرعت میرایی بلافاصله بعد از اضافه نمودن مواد کروی کننده یا جوانه‌زا شروع می‌شود. در عمل حدود نصف تاثیر مواد جوانه‌زا یا کروی کننده در پنج دقیقه اول پس از اضافه نمودن آنها به مذاب از بین می‌رود. این پدیده در تولید چدن نشکن به معنای از بین رفتن قابلیت منیزیم در کروی نمودن گرافیت‌ها و به‌وجود آمدن گرافیت‌های ورقه‌ای می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که ساختار میکروسکوپی (شکل گرافیت‌ها و زمینه میکروسکوپی) قطعات تولیدی هنگامی که مذاب محتوی منیزیم، زمان زیادی در حالت مایع باقی می‌ماند، به‌ویژه هنگامی‌که در تماس با جداره اسیدی باشد، به مقدار زیاد تغییر خواهد نمود. وابستگی مقدار منیزیم در چدن مذاب نسبت‌به زمان‌نگهداری چدن درآن حالت با رابطه زیر نشان داده می‌شود:

$$Mgt=Mgo.e^{-Kt}$$

Mgt = مقدار منیزیم موجود در چدن مذاب در زمان t

Mgo = مقدار منیزیم موجود در چدن مذاب لحظه‌ای پس از افزودن آلیاژ کروی کننده به مذاب (در زمان t=o)

k = ضریب ثابتی که بستگی به درجه حرارت مذاب دارد به‌طوری که:

k = ۰/۰۲۵ در ۱۲۶۰ درجه سانتی‌گراد

k = ۰/۰۴۵ در ۱۳۵۰ درجه سانتی‌گراد

k = ۰/۰۳۵ در ۱۴۰۰ درجه سانتی‌گراد

t = زمان

نتیجه عملی پدیده میرایی آن است که مقدار منیزیم بر اثر افزایش زمان نگهداری

مذاب کاهش یافته و در نتیجه تمایل به ایجاد گرافیت کروی کاهش می‌یابد.

تحت چنین شرایطی خواص فیزیکی و مکانیکی قطعات به‌دست آمده از اولین قالب‌ها نسبت به قالب‌های انتهایی بسیار متفاوت خواهدبود. این پدیده با افزایش حجم تولید شده تشدید شده و مشکلات مربوط به کاهش بهره‌دهی قطعات و افزایش ضایعات را فراهم می‌آورد. برای جلوگیری از این پدیده مضر بایستی طول زمان بین افزودن آلیاژ کروی کننده به مذاب تا انجماد قطعه را به حداقل ممکن کاهش داد، این مهم امروز با استفاده از روش‌هایی همانند عملیات کروی نمودن در محفظه قالب حاصل شده است.

فصل ۶

انجماد چدن نشکن

۱ـ ۶ـ مقدمه

انجماد یوتکتیک گرافیت در چدن نشکن نسبت به چدن با گرافیت ورقه‌ای در دمای بالاتری شروع می‌شود، در حین انجماد چدن نشکن، پوسته‌ای از آستنیت، پیرامون گرافیت کروی تشکیل می‌شود و به همین علت فقط فاز آستنیت با مذاب در تماس خواهدبود، چنین انجمادی را نیوتکتیک می‌گویند. هر دانه گرافیت کروی و پوسته آستنیت دور آن را می‌توان یک سلول در نظر گرفته که کربن باید به داخل این هسته نفوذ نماید تا رشد گرافیت کروی کامل شود. نتیجتاً این فرآیند نسبت به انجماد چدن خاکستری، با سرعت کمتری انجام می‌شود و با شروع انجماد نیوتکتیک جوانه‌زنی گرافیت کروی به اتمام می‌رسد. بنابراین تعداد گرافیت‌های کروی در مرحله اول انجماد تعیین می‌شود. با ادامه انجماد تا دمای یوتکتیک گرافیت‌ها داخل پوسته‌های آستنیتی به رشد خود ادامه خواهند داد. تعداد و میزان کروی شدن گرافیت‌ها بر روی خواص چدن

نشکن تاثیر بسزایی دارد. وقتی تعداد سلول‌ها یا پوسته‌های آستنیت کم باشد مناطقی برای نفوذ کربن به داخل پوسته آستنیت کمتر شده و نتیجتاً تعداد گرافیت‌های کروی کاهش می‌یابد. بسته به فرآیند تولید احتمالِ ایجاد گرافیت ورقه‌ای یا کروی ناقص (شبه کروی) و یا سمنتیت وجود دارد.

۲ـ ۶ـ تعادل آهن و گرافیت

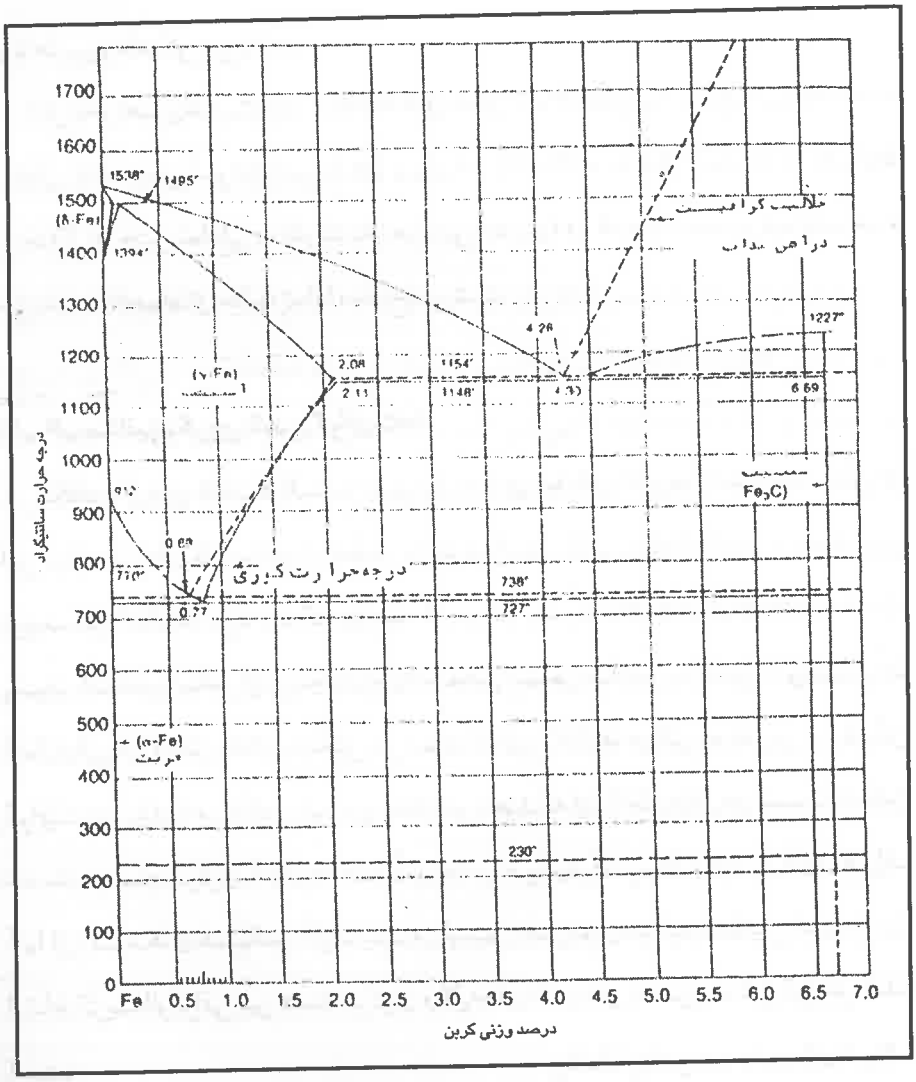
انجماد چدن نشکن یک تحول یوتکتیکی می‌باشد شکل صفحه بعد یک استحاله مذاب به جامد یا تحول یوتکتیکی در انجماد را نشان می‌دهد. همانطوری که در شکل ۱ ـ ۶ مشاهده می‌شود. با افزایش کربن تا حدود ۴/۳ درصد دمای شروع انجماد کاهش یافته و به حدود ۱۱۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. میزان کربن بیش از ۴/۳ درصد موجب افزایش دمای لیکوئیدوس می‌گردد.

در شروع انجماد با افزایش میزان کربن دمای لیکوئیدوس کاهش می‌یابد ولی افزایش کربن بیش از ۳/۷۵ درصد، کاهش قابل توجهی در دمای لیکوئیدوس به‌وجود نمی‌آورد، زیرا خط کاملاً افقی است. از نظر کاربردی قسمت مهم این شکل نقطه‌ای است که با وجود ۴/۳ درصد کربن، دو خط به هم می‌رسند، همانطوری که می‌دانیم این نقطه را نقطه یوتکتیک می‌نامند.

بعد از کربن، سیلیسیم مهمترین عنصری است که روی دمای یوتکتیک تاثیر می‌گذارد. تاثیر سیلیسیم در کاهش میزان کربن یوتکتیک می‌باشد. با افزودن سیلیسیم به کربن مجموعه‌ای تشکیل می‌شود که مشخص کننده میزان کربن معادل یا تعادل می‌باشد. طبق اندازه‌گیری‌های دقیق به عمل آمده مشخص شده که به ازاء افزایش هر یک درصد، سیلیسیم کربن یوتکتیک به میزان ۰/۳۱ درصد کاهش می‌یابد، بنابراین فرمول کربن

معادل را می‌توان به‌صورت ذیل نوشت:

$$C_E = \%C + \frac{\%Si}{۳}$$



شکل ۱ ـ ۶ ـ نمودار تعادل آهن ـ کربن. خطوط ممتد مربوط به نمودار آهن ـ سمنتیت خطوط منقطع مربوط به نمودار آهن ـ گرافیت می‌باشد

اگر کربن معادل کمتر از ۴/۳ درصد باشد، آلیاژ را هیپویوتکتیک و اگر بیشتر ۴/۳ باشد آن را هایپریوتکتیک می‌نامند. به دلیل وضع پیچیده انجماد، به ندرت پیش می‌آید که انجماد از نقطه یوتکتیک انجام شود و انجماد در چدن نشکن یا از نوع هیپویوتکتیکی و یا هایپریوتکتیکی می‌باشد.

اگر بخواهیم وضعیت‌های استحاله طبق شکل ۱ ـ ۶ انجام گیرد، لازم است که انجماد تعادلی باشد یعنی سرعت سردشدن بسیار کم باشد. لازم به ذکر است که در شرایط ریخته‌گری چنین تعادلی به ندرت به‌وجود می‌آید. زیرا در شروع ذوب ریزی، قالب سرد می‌باشد و انجماد از حالت تعادل خارج می‌شود.

۳ ـ ۶ ـ مکانیزم کروی شدن گرافیت‌ها

مکانیزم کروی شدن گرافیت‌ها طبق نظریه‌های مختلفی تشریح شده است ولی در این میان نظریه‌ای که بیشترین تطابق را با شرایط واقعی دارد. مکانیزم جوانه‌زنی غیرهمگن آخال‌ها می‌باشد. که صحت آن نیز توسط پژوهشگران مختلف به اثبات رسیده است. براساس این مکانیزم به محض تماس مذاب با عامل کروی کردن آخال‌هایی در داخل مذاب تشکیل می‌شوند که این آخال‌ها مراکز جوانه‌زنی غیرهمگن گرافیت در مذاب می‌باشند، بررسی نشان می‌دهند که این آخال‌ها از دو قسمت تشکیل شده‌اند، هسته مرکزی آخال‌ها عمدتاً از جنس سولفید کلسیم یا منیزیم و لایه اطراف آنها از اکسیدهای کمپلکس آلومینیم ـ سیلیسیم ـ منیزیم و تیتانیم تشکیل شده است ارتباط کریستالوگرافی بین هسته مرکزی و لایه‌های اکسیدی به صورت ذیل گزارش شده است:

اکسیداز[۱ $\bar{1}$ $\bar{2}$] | | [۰ ۱ $\bar{1}$]، اکسید (۱۱۱) | | سولفید (۱۱۰)

در مرحله بعد کربن موجود در مذاب به صورت گرافیت برروی لایه‌های اکسیدی نشسته و شروع به رشد می‌نمایند، ارتباط کریستالوگرافی بین لایه‌های اکسیدی و گرافیت به ذیل صورت گزارش شده است:

اکسید	(۱۱۱)	||	گرافیت	(۰۰۱)
اکسید	[$\bar{1}$۱۰]	||	گرافیت	[۱۰۱]

رشد گرافیت‌ها به صورت کروی نیز توسط فرآیند (چرخش دوقلویی) تشریح شده است بدین صورت که چرخش دوقلویی از رشد ناپایدار صفحات جانبی ناشی می‌گردد و ناپایداری رشد صفحات جانبی نیز خود به واکنش عناصر کروی کننده با جبهه رشد ارتباط دارد. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که مکانیزم چرخش دوقلویی در مرحله اول رسوب گرافیت را برروی لایه‌های اکسیدی کنترل می‌نماید. در این مرحله رسوب گرافیت‌ها به صورت کروی چنان رشد می‌کنند که به صفحات قاعده محدود نمی‌شوند، در پایان این مرحله، سطح گرافیت‌های کروی به دلیل وجود پله‌های نابجایی پیچشی ناهموار می‌باشد. چون این پله‌ها فقط روی سطوح قاعده تشکیل می‌گردند لذا دانسیته پله‌های مذکور به مقدار عنصر کروی کننده بستگی دارد. به‌طوری که با افزایش آن بر تعداد پله‌های ناقص افزوده می‌گردد. در مرحله دوم گرافیت کروی به وسیله رشد مارپیچی روی پله‌ها و شاخه‌های همسان، به رشد خود ادامه می‌دهند.

۴ـ۶ـ انجماد چدن‌های نشکن

انجماد چدن‌ها بر خلاف فولادها، در یک محدوده حرارتی صورت می‌گیرد

(۱۱۴۷ - ۱۱۵۳ درجه سانتی‌گراد) این قانونمندی برای چدن‌های نشکن نیز صدق می‌نماید. انجماد یوتکتیک چدن‌های نشکن با جوانه‌زنی و رشد گرافیت کروی در مذاب شروع می‌شود، سپس پوسته‌ای از آستنیت اطراف گرافیت‌های کروی تشکیل می‌شود، لذا ارتباط بین گرافیت و مذاب قطع شده و این ارتباط فقط از طریق آستنیت اطراف گرافیت‌ها امکان‌پذیر است در نتیجه ادامه رشد گرافیت‌هایی کروی فقط از طریق نفوذ کربن مذاب از طریق آستنیت به گرافیت‌ها امکان‌پذیر است.

تشکیل و رشد سلول‌های یوتکتیکی (گرافیت + آستنیت) در مذاب شرایط را برای ایجاد مادون انجماد فراهم می‌نماید لذا، با گذشت زمان به علت آزاد شدن انرژی دما افزایش می‌یابد این افزایش دما که در محدوده یوتکتیکی رخ می‌دهد، از چند درجه سانتی‌گراد بیشتر نیست. در مرحله بعد، سلول‌های یوتکتیکی کامل شده و در زیر محدوده دمایی یوتکتیک گرافیت‌های کروی به همراه آستنیت وجود خواهد داشت.

در چدن‌های هیپویوتکتیک، انجماد با جوانه‌زنی و رشد آستنیت شروع می‌شود، این فرآیند همراه با آزاد شدن انرژی و افزایش جزیی دمای مذاب می‌باشد سپس با گذشت زمان رشد آستنیت ادامه می‌یابد، تا دمای مذاب به محدوده دمای یوتکتیک برسد، در این محدوده دمایی ۲ اتفاق مهم رخ می‌دهد، اول آنکه عمل جوانه‌زایی و رشد گرافیت‌های کروی و سپس تشکیل پوسته‌ای از آستنیت اطراف گرافیت‌های کروی انجام می‌شود و دوم آنکه: شاخته‌های اولیه آستنیت به صورت پوسته‌ای کروی شکل در می‌آیند و با نفوذ کربن مذاب به داخل این پوسته‌ها رسوبی از گرافیت به صورت کروی در مرکز آنها حاصل می‌گردد. در این مرحله نیز همانند حالت قبل به علت جوانه‌زنی و رشد سلول‌های یوتکتیکی مادون انجماد جزیی در مذاب ایجاد می‌شود، در مرحله بعد، رشد سلول‌های یوتکتیکی کامل شده و در زیر محدوده دمایی یوتکتیک گرافیت‌های

کروی به همراه آستنیت وجود خواهدداشت.

در چدن‌های هایپریوتکتیک انجماد با جوانه‌زنی و رشد گرافیت‌های کروی شکل شروع می‌شود، این عمل همراه با آزادشدن انرژی و افزایش جزیی دمای مذاب می‌باشد، سپس با گذشت زمان و کاهش دمای مذاب به محدوده یوتکتیکی دو اتفاق رخ می‌دهد. اول، جوانه‌زنی و رشد گرافیت‌های کروی و تشکیل پوسته‌ای از آستنیت اطراف آنها دوم: تشکیل پوسته آستنیتی اطراف گرافیت‌های کروی اولیه. همانند حالت قبل جوانه‌زنی و رشد سلول‌های یوتکتیکی، مادون انجمادی در مذاب ایجاد می‌نمایند که منجر به افزایش دمای جزیی مذاب در محدوده یوتکتیکی می‌شود. در مرحله بعد رشد سلول‌های یوتکتیکی کامل شده و در زیر محدوده یوتکتیک گرافیت‌های کروی به همراه آستنیت وجود خواهدداشت.

۵ـ ۶ـ جوانه‌زایی

جوانه‌زایی عبارت است از افزایش مقدار معین مواد خاص به نام جوانه‌زا به مذاب قبل از انجماد، به‌طور کلی دلایل انجام جوانه‌زایی در چدن‌ها عبارت است‌از:

الف: افزایش تعداد هسته‌های (سلول‌های) یوتکتیکی ب: کاهش مادون انجماد

استفاده از مواد جوانه‌زا برای تولید چدن‌های نشکن موجب تشکیل مراکز جوانه‌زنی برای رسوب گرافیت می‌گردد که نتیجه آن افزایش تعداد گرافیت‌های کروی در واحد سطح می‌باشد. و با بودن این مراکز در طول انجماد رسوب گرافیت آسان‌تر انجام می‌گیرد و وجود هسته‌های گرافیت به تعداد کافی یکی از عوامل مهم برای جلوگیری از پدیده مادون انجماد (Undercooling) یوتکتیک می‌باشد، لذا احتمال تشکیل کاربیدهای یوتکتیکی به شدت کاهش می‌یابد و ساختاری عاری از کاربید با خواص

مکانیکی مطلوب حاصل می‌گردد.

به‌طور کلی جوانه‌زایی در چدن‌های نشکن باعث:

۱ ـ افزایش تعداد گرافیت‌های کروی در واحد سطح

۲ ـ بهبود خواص مکانیکی

۳ ـ کاهش احتمال تشکیل کاربیدهای یوتکتیکی می‌گردد

روش‌های جوانه‌زایی که تا به امروز در مورد چدن‌های نشکن مورد استفاده قرار گرفته شده است عبارتند از:

- جوانه‌زایی در پاتیل هنگام تخلیه مذاب از کوره به پاتیل
- جوانه‌زایی در پاتیل هنگام تخلیه مذاب از پاتیل به پاتیل دیگر
- جوانه‌زایی در پاتیل قبل ریخته‌گری مذاب در قالب
- جوانه‌زایی در جریان مذاب هنگام ریخته‌گری مذاب از پاتیل به داخل قالب
- جوانه‌زایی در داخل قالب

در بین روش‌های فوق‌الذکر جوانه‌زایی در پاتیل قبل ریخته‌گری مذاب در قالب متداول‌ترین روش جوانه‌زایی چدن‌های نشکن می‌باشد. همچنین بایستی توجه داشت که اثر جوانه‌زا با گذشت زمان از بین می‌رود. به همین دلیل سعی می‌شود که زمان جوانه‌زایی حتی‌المقدور به زمان انجماد قطعه نزدیک باشد تا بیشترین اثر جوانه‌زایی به‌دست آید. متداول‌ترین مواد جوانه‌زا شامل ترکیبات فروسیلیسیم (Fe - Si) به‌عنوان پایه جوانه‌زا می‌باشد که معمولاً با مقادیر کمی از کلسیم و یا آلومینیم و یا عناصر خاص نیز همراه می‌باشد، که از عناصر خاص می‌توان به سریم و باریم نیز اشاره نمود. در جدول ۱ ـ ۶ نام و ترکیب شیمیایی چند نوع جوانه‌زای متداول را که در صنعت ریخته‌گری کاربرد فراوان دارند آورده شده است.

جدول ۱ ـ ۶ ـ نام و ترکیب شیمیایی چند نوع جوانه‌زای متداول برای تولید چدن‌نشکن

درصد عناصر / نوع جوانه‌زا	Fe	LA	Tr	Bi	Zr	Mn	Ba	Al	Ca	Si
INOBAR	مابقی	—	—	—	—	—	۹	۱/۳	۱/۰	۶۴
ZL. 80	مابقی	—	—	—	۱/۶	—	—	۱/۴	۲/۵	۷۵
LMC	مابقی	—	—	—	—	—	۰/۸	۰/۸	۱/۷	۶۶
SPHERIX	مابقی	—	۰/۵	۱	—	—	—	۰/۹	۱/۵	۷۲
GRAFIDIN	مابقی	—	—	—	—	۹	۴/۵	۱/۳	۲/۵	۶۴
FESILA	مابقی	۰/۲	—	—	—	—	—	—	<۲/۵	۴۷
ZIRCOGRAF	مابقی	—	—	—	۶	۶	—	۱/۳	۱/۵	۶۶
INOLATE-190	مابقی	—	—	—	۵	۳/۵	۰/۳	۰/۹	۱/۱	۶۵

فصل ۷

روش‌های ریخته‌گری چدن نشکن

۱ـ ۷ـ مقدمه

به‌طور کلی قطعات ریختگی چدن نشکن را می‌توان با استفاده از همه فرآیندهای متداول ریخته‌گری تولید نمود. انتخاب بهترین فرآیند برای تولید قطعه‌ای خاص به عوامل بسیاری بستگی دارد که مهمترین آنها عبارتند از:

- تعداد قطعات مورد نیاز
- وزن قطعه
- جنس قطعه
- تجهیزات موجود در کارخانه
- هزینه‌های اقتصادی

به‌طور کلی سه روش متداول ریخته‌گری برای چدن نشکن به‌کار گرفته می‌شود که هر یک از این سه روش تکنولوژی خاص خود را دارا بوده و بسته به شرایط و عوامل موجود

انتخاب می‌گردد. این سه روش اصلی عبارتند از:

- ریخته‌گری در قالب‌های موقت
- ریخته‌گری در قالب‌های دائمی
- ریخته‌گری گریز از مرکز

۲ـ ۷ـ ریخته‌گری در قالب‌های موقت

در بعضی از فرآیندهای ریخته‌گری قالب هایی که از طریق انواع روش‌های قالب‌گیری تهیه می‌شوند، تنها به منظور یک بار ذوب ریزی و مصرف در خط ریخته‌گری به‌کار برده می‌شوند، که از این رو به این قالب‌ها، قالب‌های موقت و به روش ریخته‌گری در این قالب‌ها، ریخته‌گری در قالب‌های موقت گفته می‌شود.

به‌طور مثال ریخته‌گری در ماسه و ریخته‌گری در قالب پوسته‌ای از نوع قالب‌های موقت می‌باشند. در حقیقت در این میان، قدمت روش ریخته‌گری در ماسه به‌عنوان یک روش تولیدی که از دیرباز شناخته شده است و متداول بودن آن به‌عنوان روشی که هنوز هم بالاترین سطح تولید از نظر وزنی توسط آن صورت می‌گیرد سبب شده که ماسه و ریخته‌گری در ماسه در میان روش‌های موجود ریخته‌گری در قالب‌های موقت، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد.

از طرف دیگر قالب‌های ماسه‌ای، محدودیت‌های قالب‌های دائمی (به‌خصوص قالب‌های فلزی) را ندارند اما در مقایسه با آنها دقت ابعادی پایین‌تری حاصل می‌نمایند و فقط برای یک‌بار ریخته‌گری قابل استفاده می‌باشند و برای هر نوبت تولید باید قالب جدیدی تهیه شود. در نهایت می‌توان گفت که بخش عمده تولیدات قطعات ریختگی در قالب‌های ماسه‌ای انجام می‌شود و انواع مختلفی از ماسه برای قالب‌گیری به‌کار می‌رود.

۳ـ ۷ـ ریخته‌گری در قالب‌های دائمی

روش ریخته‌گری در قالب‌های دائمی برای تولید قطعات کوچک تا متوسط (حداکثر ۱۴ کیلوگرم و حداقل ضخامت ۵ میلی‌متر) که تعداد نسبتاً زیادی مورد نیاز است به‌کار می‌رود. جنس قالب‌های دائمی از جنس چدن خاکستری یا فولادهای گرم کار می‌باشند و اغلب دارای سطح جدایش عمودی و راهگاه در زیر قالب می‌باشند. قالب‌ها قبل از انجام اولین ریخته‌گری با مخلوطی از خاک چینی و سیلیکات سدیم پوشش داده می‌شوند و پس از هر نوبت ریخته‌گری سطوح قالب‌ها با پوشان گرافیتی اندود می‌شوند. یک دوره کامل ریخته‌گری شامل: ماهیچه گذاری، پوشش دادن سطوح قالب، ریختن چدن مذاب، خارج سازی قطعه و تمیز کردن قالب با فشار هوا می‌باشد.

مدت زمان یک سیکل کار متغیر بوده و به وزن و ضخامت قطعه بستگی دارد ولی معمولاً بین ۳ تا ۷ دقیقه متغیر می‌باشد. سرعت سرد کردن سریعی که در قالب دائمی حاصل می‌شود، بخصوص جهت تولید قطعات برای کاربرد تحت فشار که برای کمپرسورها یا سیلندرهای هیدرولیک مورد نیاز می‌باشد، مفید است.

در این روش اکثراً قالب‌ها بر روی صفحات گردان با چندین ایستگاه برای انجام عملیات ریخته‌گری نصب می‌گردند. اما ماشین‌های ثابت و تک قالبی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. قالب‌های دائمی باید دارای هواکش باشند و پس از هر نوبت ریخته‌گری، سطوح قالب‌ها اندود شوند.

۴ـ ۷ـ ریخته‌گری گریز از مرکز

در روش‌های ریخته‌گری در قالب‌های موقت و دائمی قالب‌ها در اثر نیروی ثقل مذاب پر می‌شوند اما در فرآیند ریخته‌گری گریز از مرکز قالب چرخانده می‌شود و

مذاب تحت نیروی گریز از مرکز درون قالب وارد شده و قالب را پر می‌نماید به‌گونه‌ای که بدون استفاده از ماهیچه می‌توان قطعات ریختگی توخالی تولید نمود. از این فرآیند برای تولید لوله، غلطک‌های بزرگ توخالی و قطعات مشابه استفاده می‌شود. با استفاده از این روش امکان تولید قطعاتی به قطر بیش از ۷۵ سانتی‌متر و طول بیش از ۶ متر وجود دارد.

در ریخته‌گری با روش گریز از مرکز در اثر چرخش قالب نیروی گریز از مرکز حاصل می‌گردد و این نیرو برای تامین دو منظور به‌کار گرفته می‌شود که عبارتند از:

الف) کمک به پخش فلز مذاب در سطح قالب

ب) گسترش فشار بالا در قطعه در حین انجماد

فشار بالای حاصل (در مقایسه با نیروهای نرمال هیدرواستاتیک) موجب بالارفتن بهره انجماد جهت‌دار می‌شود. نقش نیروی گریز از مرکز در تولید قطعاتی بی‌نقص و با کیفیت بالای متالورژیکی عمدتاً به لحاظ کنترل انجماد حاصل می‌گردد.

علاوه بر این در اثر فشار بالا، مرکز جرم مذاب به منطقه انجماد نزدیک شده و نقش تغذیه را (مشابه ریخته‌گری استاتیکی) ایفا می‌کند. نیروی گریز از مرکز، آخال‌های غیرفلزی را به سمت محور دوران می‌راند. این مسئله به همراه انجماد جهت‌دار و مسیر کوتاهی که آخال‌ها تا رسیدن به سطح داخلی طی می‌کنند باعث می‌گردد قطعاتی با کیفیت بالا و طبق استاندارد، حاصل گردد علاوه بر این در اثر شیب فشار در قطعه ریختگی، گازهای حل شده در اثر جوانی زنی تشکیل حباب داده و از سطح داخلی خارج می‌گردند.

فصل ۸

عیوب قطعات ریختگی چدن نشکن

۱ـ۸ـ مقدمه

ساختار مطلوب در قطعات ریختگی چدن نشکن معمولاً باید شامل گرافیت‌های کاملاً کروی، در زمینه‌ای مناسب با مشخصات مکانیکی موردنظر باشد اما به هر حال حضور عیوب ساختاری ناخواسته دارای علل مختلفی بوده که می‌توان آنها را به صورت زیر طبقه‌بندی نمود:

- عیوب ناشی از گرافیت
- عیوب ناشی از ریزساختار
- عیوب ناشی از کاربید یوتکتیک
- عیوب ناشی از ناخالصی‌ها
- عیوب سطحی

۲ـ ۸ـ عیوب ناشی از گرافیت

حضور گرافیت با شکل غیر کروی و نامنظم و عدم توزیع یکنواخت آن به‌عنوان عیب ساختاری محسوب می‌شود، انواع عیوب گرافیت در ساختار چدن‌های نشکن را می‌توان به‌صورت زیر طبقه‌بندی نمود:

الف) گرافیت با شکل غیرمنظم

ب) گرافیت فشرده

پ) گرافیت پوک

ت) گرافیت ورقه‌ای

ث) گرافیت منفجر شده

ج) گرافیت با توزیع غیر یکنواخت

چ) تجمع گلوله‌های گرافیت

ح) گلوله‌های گرافیتی ریز

خ) گرافیت با اشکال مختلف

د) ترتیب قرارگرفتن گلوله‌های گرافیتی

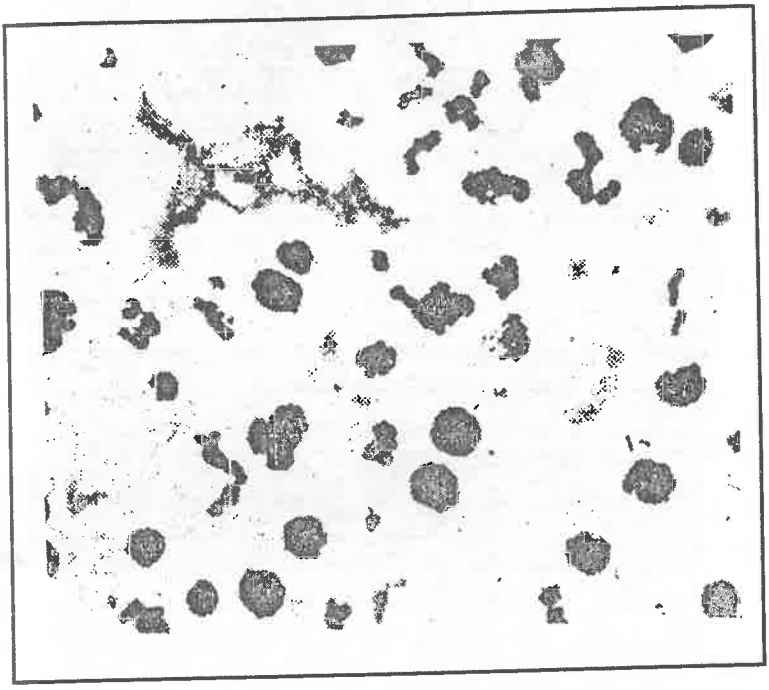
علت تشکیل هر یک از عیوب فوق عبارتند از:

الف) گرافیت با شکل غیرمنظم: علل تشکیل این عیب عبارت است از:

۱ ـ عدم اجرای صحیح عملیات کروی نمودن گرافیت و کم‌بودن مواد کروی کننده و طولانی‌شدن زمان نگهداری مذاب پس از عملیات کروی نمودن گرافیت‌ها.

۲ ـ کم بودن میزان منیزیم باقی‌مانده در مذاب.

۳ ـ به‌کارگیری مواد اولیه شارژ با درجه خلوص پایین در کوره.



شکل ۱ ـ ۸ ـ گرافیت با شکل غیرمنظم، (کمی گرافیت فشرده)

ب) گرافیت فشرده: علل تشکیل این عیب عبارت است از:

۱ ـ کم بودن میزان منیزیم باقی‌مانده در مذاب.

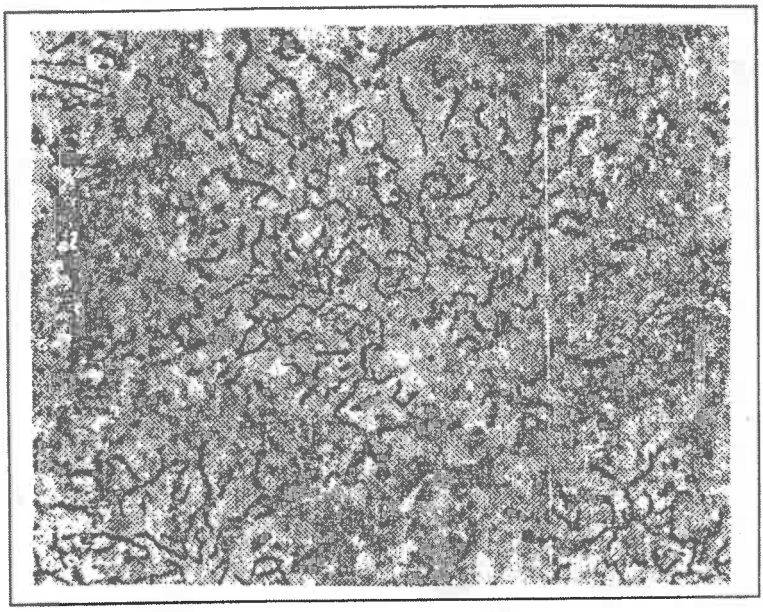
۲ ـ کافی نبودن عمل جوانه‌زایی.

۳ ـ وجود گوگرد بالا در مذاب

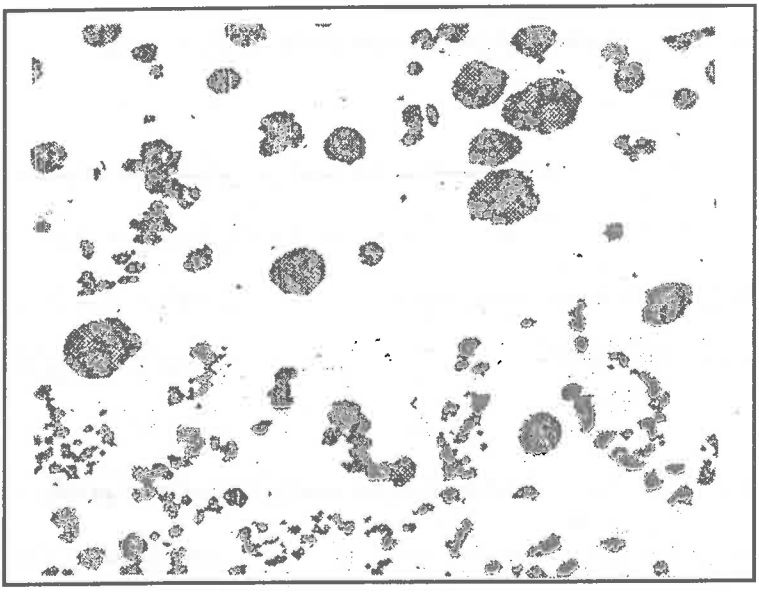
پ) گرافیت پوک: دو علت اصلی این عیب عبارت است از:

۱ ـ بالابودن کربن معادل چدن

۲ ـ حضور بیش از حد سریم و سیلیسیم در مقاطع نازک



شکل ۲ ـ ۸ ـ گرافیت فشرده

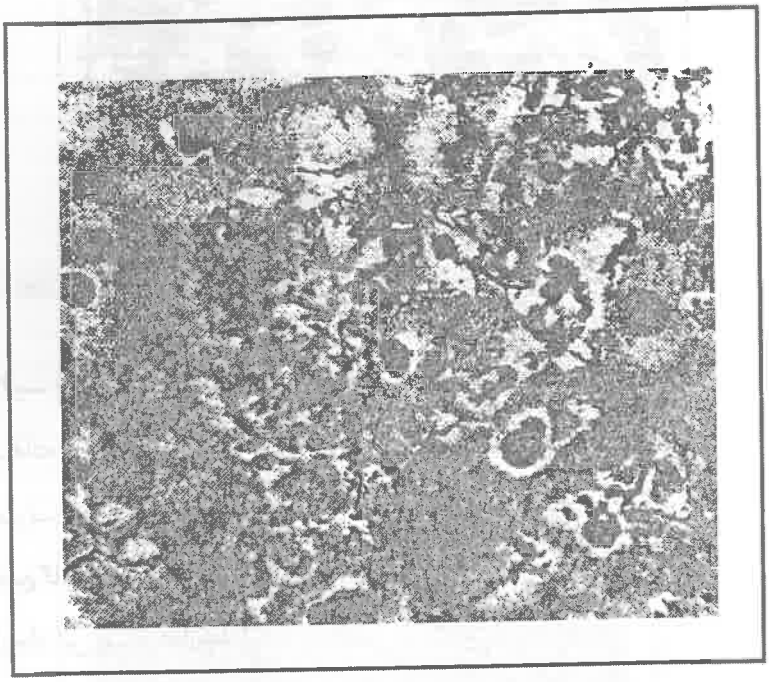


شکل ۳ ـ ۸ ـ گرافیت پوک

ت) گرافیت ورقه‌ای: علل بروز این عیب عبارت است از:

۱ ـ حضور عناصری مانند آنتیموان و تیتانیم بیش از حد مجاز در ترکیب شیمیایی مذاب

۲ ـ بالابودن ضخامت قطعه یا طولانی بودن زمان انجماد

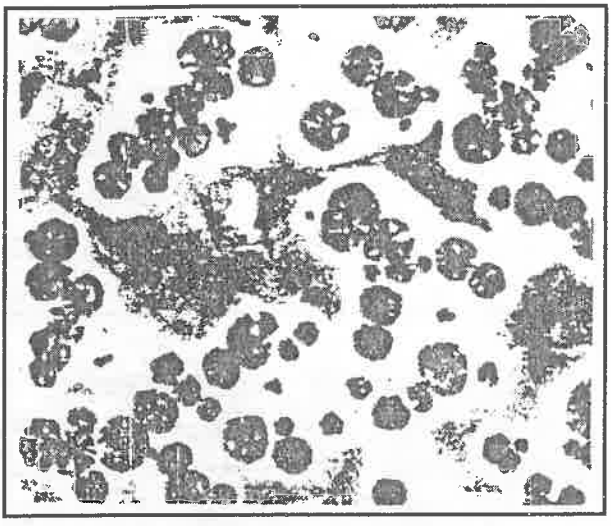


شکل ۴ ـ ۸ ـ گرافیت ورقه‌ای (به‌علت حضور تیتانیم در مذاب)

ث) گرافیت منفجرشده: علل بروز این عیب عبارت است از:

۱ ـ رشد غیرعادی گرافیت‌های کروی هایپریوتکتیک در چدن‌های با کربن معادل بالا.

۲ ـ بکارگیری شارژ اصلی با درجه خلوص بالا و میزان گوگرد خیلی کم، همراه با استفاده از سریم / میش متال.



شکل ۵ ـ ۸ ـ گرافیت منفجرشده

ج) گرافیت با توزیع غیر یکنواخت: علل ایجاد این عیب عبارتند از:

۱ ـ استفاده از چدن‌های با ترکیب شیمیایی هایپریوتکتیک

۲ ـ مصرف بیش از حد مجاز جوانه‌زا و حل نشدن کامل آنها

چ) تجمع گلوله‌های گرافیتی:

علل ایجاد این عیب عبارتند از:

۱ ـ ریخته‌گری چدن‌هایی با ترکیب هایپریوتکتیک.

۲ ـ شیب حرارتی بالای قالب و اثر آن در ایجاد و رشد گرافیت‌های هایپریوتکتیک.

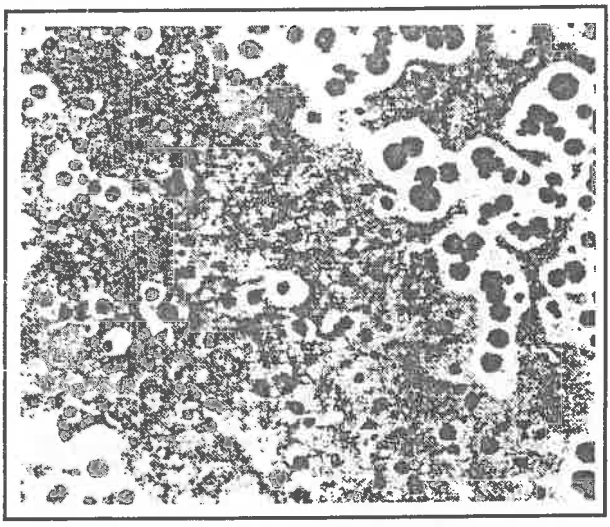
ح) گلوله‌های گرافیتی ریز:

علل ایجاد عیب عبارتند از:

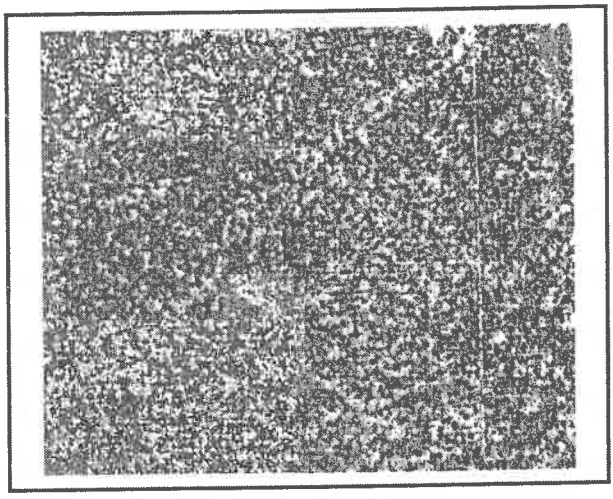
۱ ـ سردشدن سریع قطعه و انجام عملیات حرارتی تمپر بیش از حد لازم بر روی چدن‌نشکن کوئنچ شده در درجه حرارت‌های بالا برای تبدیل زمینه مارتنزیت به فریت

و گرافیت

۲ ـ افزایش بیش از حد سیلیسیم چدن



شکل ۶ ـ ۸ ـ تجمع گرافیت کروی در مقاطع کوچک



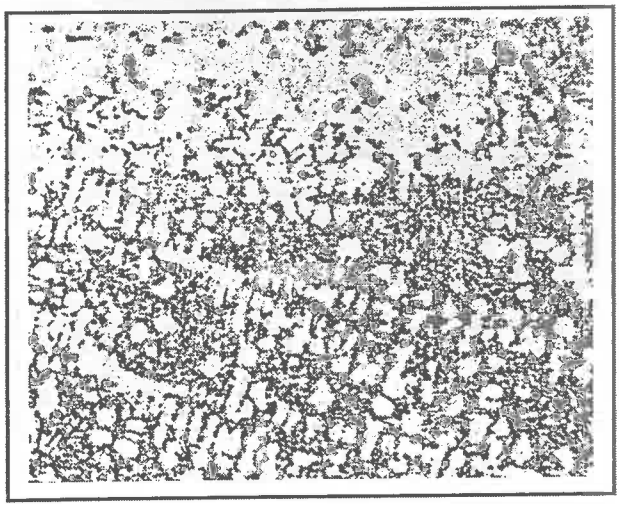
شکل ۷ ـ ۸ ـ گلوله‌های گرافیتی ریز

خ) گرافیت با اشکال مختلف:

علل ایجاد این عیب به‌طور عمده عبارت است از:

۱ ـ کم بودن میزان منیزیم باقی‌مانده در مذاب

۲ ـ عملیات کروی نمودن ناقص



شکل ۸ ـ ۸ ـ گرافیت مختلط از فشرده تا کروی

د) ترتیب قرارگرفتن گلوله‌های گرافیتی: ادعا شده که چگونگی قرارگرفتن گلوله‌های گرافیتی در ساختار چدن نشکن اتفاقی نبوده و طبق قانون خاصی می‌باشد و معمولاً با باندهای مشخصی از فریت از هم جدا می‌شوند. در حقیقت در هنگام انجماد هیپویوتکتیکی و تشکیل آستنیت به‌صورت دندریتی مقداری انرژی ناشی از تشکیل فاز جامد آزاد می‌گردد و این عمل تا از بین‌رفتن فاز مذاب ادامه دارد. در این حال با به‌وجود آمدن فوق تبرید، گرافیت و آستنیت به‌طور همزمان ته‌نشین می‌شوند. و این فرآیند تا دمای یوتکتیک که شاخه‌های آستنیت به‌صورت پوسته‌های کروی درمی‌آیند، ادامه

یافته که با نفوذ کربن به داخل پوسته‌های مزبور، رسوب‌هایی از گرافیت به‌صورت کروی حاصل می‌شوند.

در اصل در محل‌هایی که میزان نفوذ کربن داخل پوسته‌های کروی آستنیت کم یا زیاد باشد به‌ترتیب باعث کم‌شدن و یا زیادشدن گلوله‌های گرافیتی در آن مناطق می‌گردد.

۳ـ۸ـ عیوب ناشی از ریزساختار میکروسکوپی

این عیوب به قرار زیر تقسیم می‌گردند:

الف) پایین بودن تعداد گرافیت‌های کروی

ب) پرلیت اضافی

الف) پایین‌بودن تعداد گرافیت‌های کروی:

علل تشکیل این عیب عبارت است از:

۱ ـ جوانه‌زایی ناقص و کم

۲ ـ طولانی بودن زمان انجماد

۳ ـ مصرف فروسیلیسیم منیزیم کم

ب) پرلیت اضافی:

علت اصلی ایجاد این عیب عبارت است از:

۱ ـ بالا بودن سرعت انجماد

۲ ـ عدم کنترل ترکیب شیمیایی و وجود عناصر پرلیت‌زا در ترکیب مذاب

۴ـ۸ـ عیوب ناشی از کاربید یوتکتیک

ایجاد کاربید یوتکتیک در ساختار چدن نشکن به‌عنوان عیب محسوب می‌شود. انواع

عیوب ناشی از کاربید عبارتند از:

الف) توزیع یکنواخت کاربید

ب) کاربید در مقاطع نازک

پ) کاربید بین سلولی

ت) کاربید مرکز حرارتی (تبرید معکوس)

الف) توزیع یکنواخت کاربید:

علل وقوع این عیب عبارتند از:

۱ ـ عدم تلقیح کافی آلیاژ کروی کننده در مذاب.

۲ ـ زمان نگهداری طولانی مذاب پس از عمل کروی کردن.

۳ ـ استفاده از شارژ ناخالص (وجود عناصری چون کروم و منگنز)

ب) کاربید در مقاطع نازک:

علت اصلی تشکیل این عیب عبارتند از:

۱ ـ کافی نبودن میزان جوانه‌زایی

۲ ـ جوانه‌زایی ناقص و جذب‌نشدن کامل مواد جوانه‌زا در مذاب

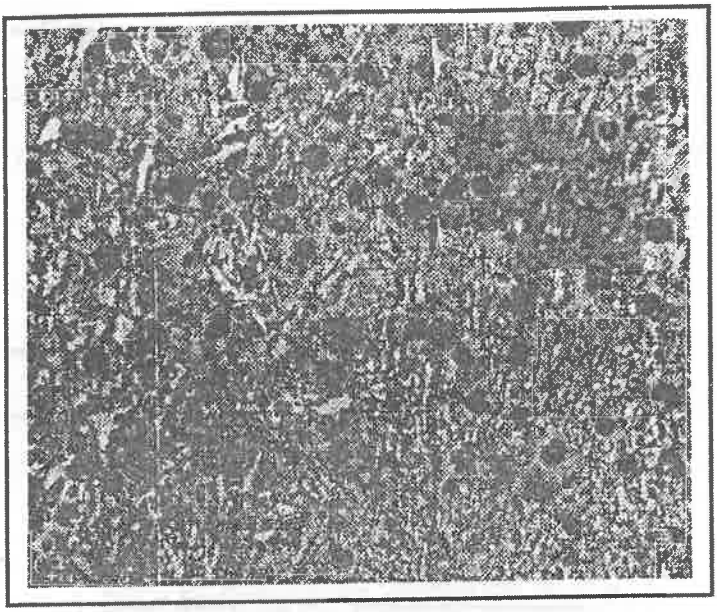
پ) کاربید بین سلولی:

علل اصلی وقوع این عیب به‌قرار زیر می‌باشد:

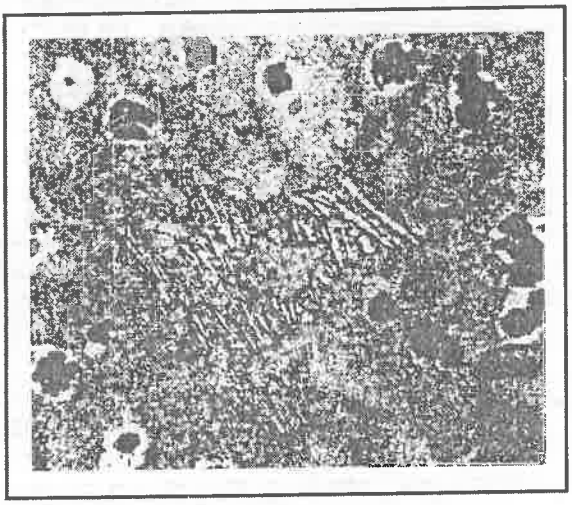
۱ ـ پایین بودن سرعت سردشدن قالب به‌خصوص در مقاطع ضخیم

۲ ـ جوانه‌زایی ناقص و در نتیجه کم‌بودن تعداد گرافیت‌های کروی

۳ ـ استفاده از شارژ ناخالص (وجود عناصری چون کروم و منگنز)



شکل ۹ ـ ۸ ـ توزیع یکنواخت کاربید در چدن نشکن به‌علت جوانه‌زایی ضعیف



شکل ۱۰ ـ ۸ ـ کاربید بین سلولی

ت) کاربید مرکز حرارتی (تبرید معکوس):

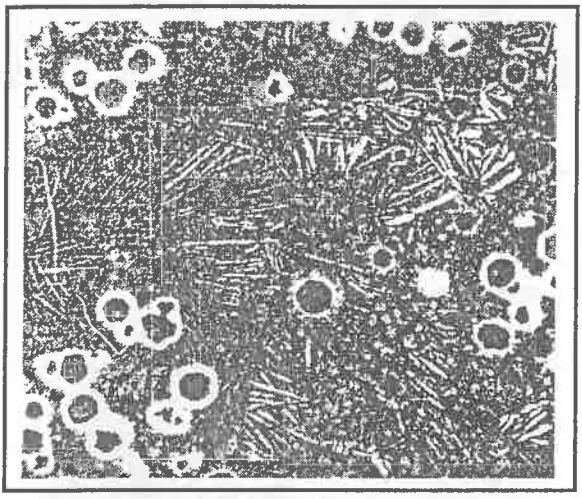
دلایل تشکیل این عیب عبارتند از:

۱ ـ پایین‌بودن سرعت سرد شدن در مرکز حرارتی قطعه که سطح آن با سرعت زیاد سرد می‌شود.

۲ ـ کم بودن میزان کربن و سیلیسیم در ترکیب شیمیایی

۳ ـ عدم انجام جوانه‌زایی کامل و صحیح

۴ ـ ایجاد مرکز حرارتی شدید در قالب در اثر نادرست بودن سیستم راهگاهی



شکل ۱۱ ـ ۸ ـ کاربید تشکیل شده در مرکز حرارتی به‌علت سردشدن سریع

۵ ـ ۸ ـ عیوب ناشی از ناخالصی‌ها

در آزمایش‌های دقیق میکروسکوپی ناخالصی‌های مختلف و کوچکی به‌طور غیرمنظم در ساختار چدن نشکن مشاهده شده‌اند که به‌طور خلاصه عبارت‌اند از:

الف) کاربید تیتانیم

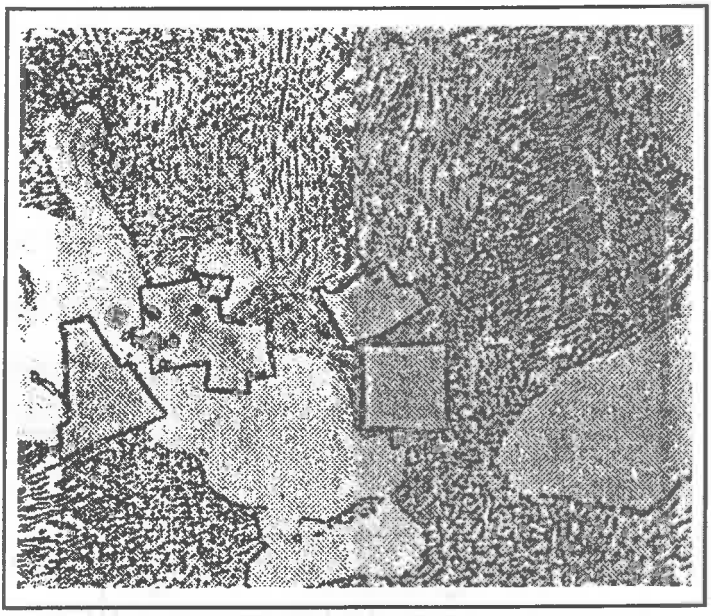
ب) ناخالصی‌های سیاه رنگ

پ) سولفور منیزیم

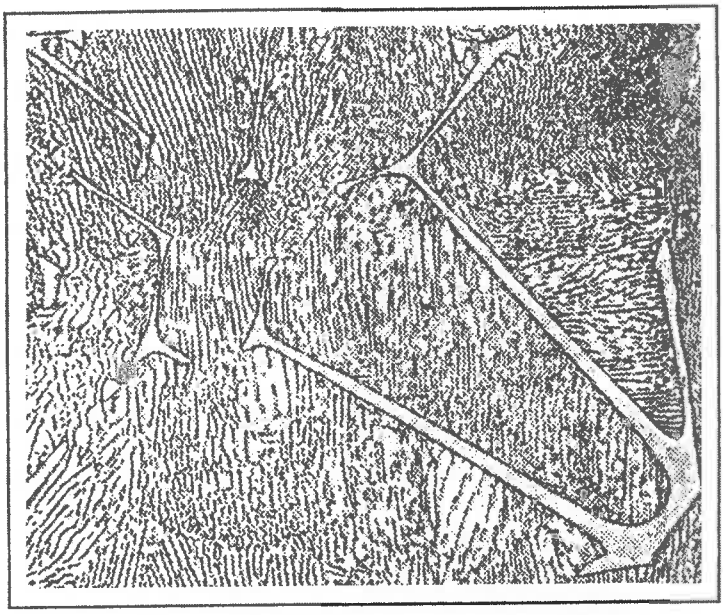
ت) سیلیکات منیزیم

ث) فروسیلیسیم حل نشده

الف) کاربید تیتانیم: حضور مقادیر تیتانیم بیشتر از ۰/۲ درصد منجر به تشکیل مکعب‌های کاملاً سفید رنگ کاربید تیتانیم می‌گردد، که در مرز دانه‌ها متمرکز می‌شوند و تاثیر چندانی بر استحکام کششی چدن ندارند ولی در پایین آوردن استحکام شکست موثرند.



شکل ۱۲ ـ ۸ ـ ناخالصی کاربید تیتانیم به‌صورت مکعب در مرز دانه‌ها



شکل ۱۳ ـ ۸ ـ ناخالصی کاربید تیتانیم به‌شکل چنگک در مرز دانه‌ها

ب) ناخالصی‌های سیاه رنگ:

علل ایجاد این عیب عبارتند از:

۱ ـ واکنش بین منیزیم و اکسیژن در درجه حرارت‌های پایین.

۲ ـ پایین‌بودن درجه حرارت باررریزی و عدم فرصت برای خروج سرباره‌ها.

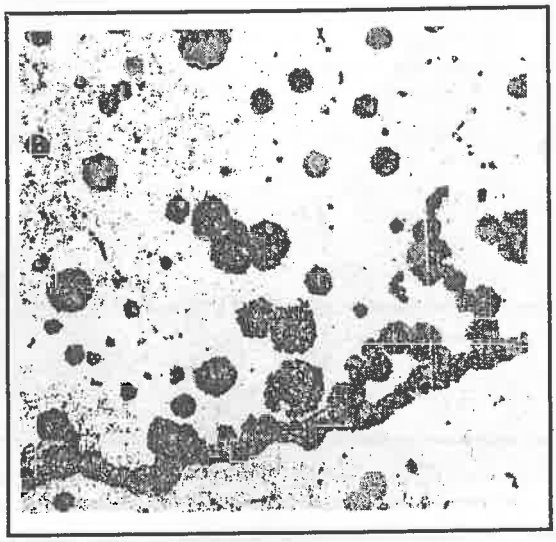
پ) سولفور منیزیم:

علت تشکیل این عیب عبارتند از:

۱ ـ واکنش بین منیزیم و گوگرد مذاب

۲ ـ بالابودن میزان گوگرد مذاب و عدم گوگردزایی صحیح

شکل ۱۴ ـ ۸ ـ ناخالصی‌های سیاه رنگ در مرز دانه



شکل ۱۵ ـ ۸ ـ عیوب ناخالصی

ت) سیلیکات منیزیم:

دو عامل اصلی ایجاد این عیب به قرار زیر می‌باشد:

۱ ـ استفاده از مواد شارژی که بارها ذوب و بهسازی شده باشند

۲ ـ واکنش بین منیزیم و دیواره بوته‌هایی با جداره سیلیسی

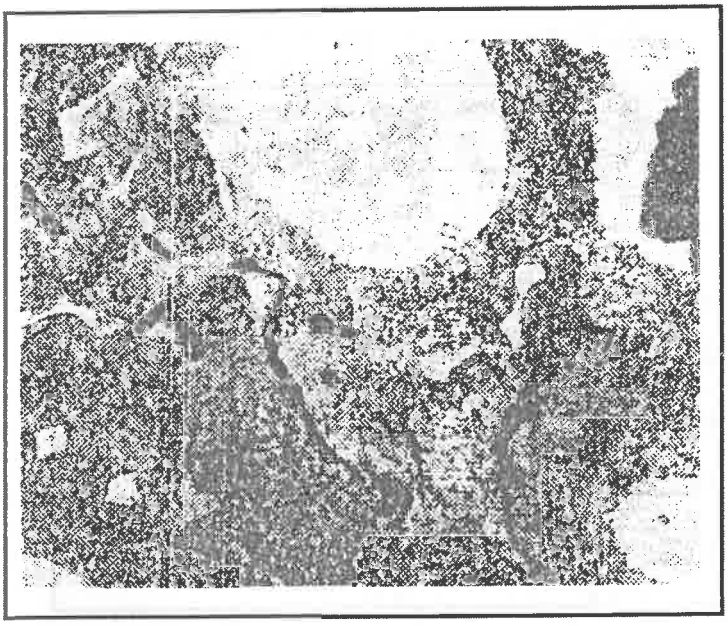
ث) فروسیلیسیم حل نشده:

علل تشکیل این عیب عبارتند از:

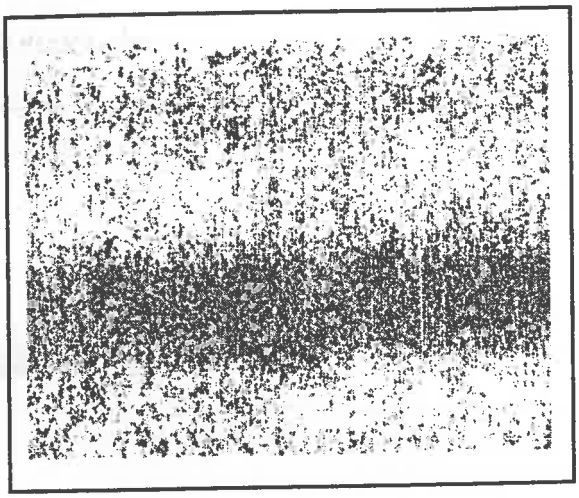
۱ ـ مصرف بیش از حد مواد جوانه‌زا

۲ ـ استفاده از کلوخه‌های بزرگ فروسیلیسیم

۳ ـ پایین‌بودن دمای مذاب قبل از جوانه‌زایی



شکل ۱۶ ـ ۸ ـ ناخالصی‌های سیاه‌رنگ سیلیکات منیزیم



شکل ۱۷ ـ ۸ ـ عیوب ناخالصی پس از ماشین‌کاری

۶ ـ ۸ ـ عیوب سطحی

انواع عیوب سطحی مهم عبارت‌اند از:

الف) گرافیت ورقه‌ای و گلوله‌ای

ب) ناخالصی سرباره

الف) گرافیت ورقه‌ای و گلوله‌ای:

علل تشکیل این عیب به قرار زیر است:

۱ ـ ترکیب گوگرد موجود در مواد قالب با منیزیم مذاب

۲ ـ استفاده از مواد شیمیایی حاوی عناصر جلوگیری‌کننده از تشکیل گرافیت کروی

ب) ناخالصی سرباره:

تشکیل این عیب دارای علل متعددی بوده که به قرار زیر می‌باشند:

۱ ـ طراحی غلط سیستم راهگاهی که باعث تلاطم مذاب می‌گردد.

۲ـ درجه حرارت بارریزی پایین.

۳ـ اکسیدشدن منیزیم درون قالب

فصل ۹

طراحی سیستم راهگاهی و تغذیه‌گذاری برای ریخته‌گری چدن نشکن

۱ـ۹ـ مقدمه

امروزه مبنای طراحی سیستم راهگاهی و تغذیه‌گذاری چدن‌ها گرافیتی (خاکستری و نشکن) مشخص شده اما روش‌های ثابت و روشن جهت انجام محاسبات به گونه‌ای که همه بتوانند از آن بهره بگیرند ارائه نشده است.

از طرف دیگر تفاوت اصلی در طراحی و محاسبات مربوط به دو نوع چدن خاکستری و نشکن تشریح نشده و چنین به نظر می‌رسد که در هر واحد ریخته‌گری انجام عملیات فوق براساس معیارهای طراحی و محاسباتی و تجربیات واحد مربوطه انجام می‌شود.

به‌طور کلی ویژگی‌های یک سیستم راهگاهی مطلوب عبارت‌اند از:

- پرکردن سریع محفظه قالب بدون ایجاد اغتشاش و ماسه‌شویی
- ممانعت از فرسایش قالب و ماهیچه

- ممانعت از ورود آخال‌ها ـ اکسیدها و سرباره به داخل محفظه قالب
- جلوگیری از کاهش درجه حرارت مذاب
- جلوگیری از ورود گازها و هوا به داخل محفظه قالب
- واردنمودن مذاب با نرخ و سرعت ثابت به داخل محفظه قالب
- سهولت جداکردن سیستم راهگاهی از قطعات
- سازگاری با خط قالب‌گیری و سیستم بارریزی
- بهره‌دهی مناسب

به‌طور کلی از نظر طرح سیستم راهگاهی آلیاژها را به دو گروه زیر تقسیم‌بندی می‌نمایند:

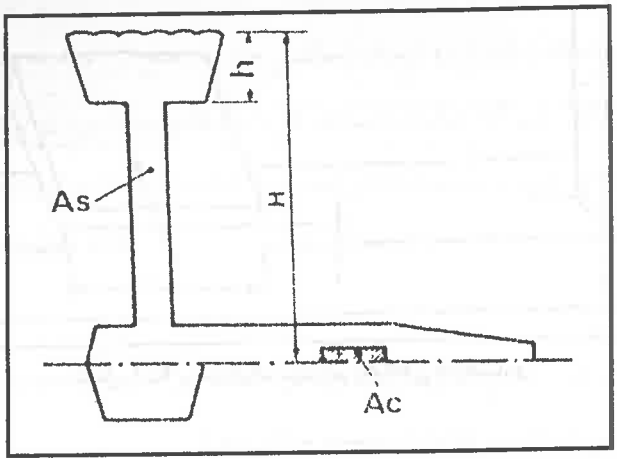
۱ ـ آلیاژهایی که محتوی ذرات شناور سرباره و ناخالصی بوده و با به‌کارگیری سیستم راهگاهی مناسب می‌توان مانع از ورود این ذرات شناور به محفظه قالب شد.

۲ ـ آلیاژهایی که در جریان حرکت در سیستم راهگاهی تمایل به اکسیده‌شدن داشته و آخال‌های اکسیدی را به‌وجود می‌آورند.

آلیاژهایی که تمایل به ایجاد اکسید دارند مانند آلومینیم و بعضی از آلیاژهای مس نیاز به سیستم راهگاهی غیرفشاری دارند در حالی که آلیاژهای سرباره‌دار نظیر چدن‌های خاکستری و نشکن با سیستم راهگاهی فشاری ریخته‌گری می‌شوند. فولادها بسته به نوع عناصر آلیاژی موجود در آنها هم تمایل به تشکیل سرباره و هم تمایل به تشکیل اکسیدهای سطحی دارند، لذا در ریخته‌گری آنها می‌توان از هر دو نوع سیستم فشاری و غیرفشاری استفاده نمود، همچنین حضور منیزیم در چدن‌های نشکن تمایل به ایجاد اکسیدهای ناخواسته منیزیم را به‌وجود آورده لذا به نظر بعضی از محققین سیستم راهگاهی غیرفشاری برای نتیجه‌گیری چدن‌های نشکن مناسب‌تر است.

۲ـ۹ـ سیستم راهگاهی فشاری

در این سیستم تنگه بین راهبار (راهگاه اصلی) و راهباره (راهگاه فرعی) قرار می‌گیرد. در حقیقت راهباره می‌تواند به عنوان تنگه در سیستم راهگاهی فشاری تلقی شود. همچنین راهبار و راهباره (تنگه) در درجه بالایی قرار دارند. حسن سیستم فشاری بهره‌دهی بالای قطعات ـ وزن کمتر راهگاه، امکان ورود کمتر سرباره و ناخالصی‌ها به محفظه قالب و محدودیت آن سرعت زیرا جریان مذاب در راهگاه‌هاست، لذا امکان ماسه‌شویی در آنها وجود دارد.



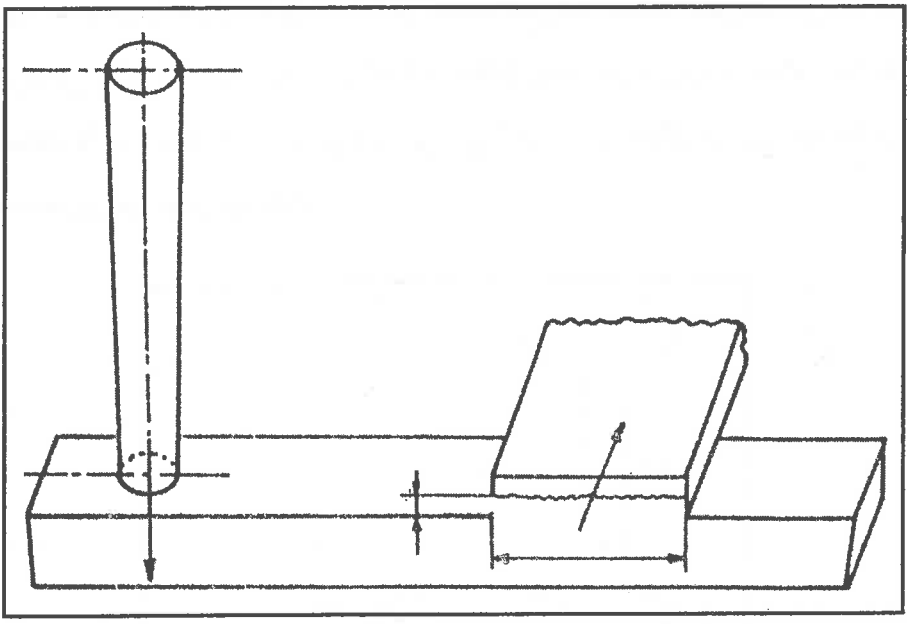
شکل ۱ـ۹ـ شماتیک سیستم راهگاهی فشاری

۳ـ۹ـ سیستم راهگاهی غیرفشاری

در این سیستم تنگه در قسمت تحتانی مابین راهگاه و راهبار قرار می‌گیرد، همچنین راهبار در درجه زیرین و راهباره‌ها در درجه بالایی قرار دارند.

در این سیستم راهبار و راهباره دارای سطح مقطع زیادی بوده و لذا جریان مذاب اولاً

در آن به آرامی می‌باشد و ثانیاً به‌خاطر تقلیل ناگهانی سرعت جریان مذاب در راهبار، امکان جداشدن ناخالصی‌ها از مذاب فراهم می‌گردد ولی محدودیت آن بهره‌دهی کم قطعات تولیدی به علت سنگین‌بودن سیستم راهگاهی می‌باشد.



شکل ۲ ـ ۹ ـ شماتیک سیستم راهگاهی غیرفشاری

۴ ـ ۹ ـ زمان پرکردن قالب

زمان پرکردن قالب یا زمان پرشدن قالب به زمانی اطلاق می‌گردد که پس از طی آن زمان، محفظه قالب کاملاً از مذاب پر می‌شود. زمان پرکردن قالب با توجه به عوامل زیر انتخاب می‌گردد:

- ترکیب شیمیایی مذاب
- جنس قالب
- کیفیت متالورژیکی مذاب
- درجه حرارت ریختن مذاب

-وزن، شکل و ابعاد قطعه -نوع سیستم راهگاهی

-زمان پرکردن قالب از اهمیت بسیار زیادی در ریخته‌گری چدن‌های نشکن برخوردار است به نحوی که زمان ریخته‌گری چدن‌های نشکن بایستی به دلایل زیر کمتر از چدن‌های خاکستری در نظر گرفت:

۱ - به حداقل رساندن عامل صدمه‌زدن به کیفیت متالورژیکی مذاب بعد از مرحله افزودن منیزیم و تلقیح جوانه‌زا.

۲ - به حداقل رساندن افت درجه حرارت در راهگاه‌ها و در نتیجه تاثیر آن به تمایل به ایجاد خطرات انقباض در قطعات

۳ - به حداقل رساندن تمایل به ایجاد ناخالصی‌های حاصل از زمان بارریزی طولانی.

امروزه از رابطه زیر که سالیان متمادی در واحدهای چدن ریزی برای تولید چدن نشکن استفاده می‌شود و صحت آن در تجربه به اثبات رسیده است استفاده می‌شود.

$$\tau = (۱/۲۳ + ۰/۶\alpha)\sqrt{W}$$

که در آن:

τ = زمان پرکردن قالب (طول زمان ریختن مذاب در قالب) بر حسب ثانیه

α = کمترین ضخامت قطعه (برحسب سانتی‌متر)

W = کل وزن مذاب ریخته شده در قالب برحسب کیلوگرم

۵ـ۹ـ تنگه

یکی از مهمترین ویژگی‌ها برای یک سیستم راهگاهی مطلوب پرنمودن محفظه قالب با نرخ معین و در زمان تعیین شده است. ایجاد چنین شرایطی به عهده جزیی از سیستم راهگاهی است که تنگه نامیده می‌شود طبق تعریف تنگه عبارت است از کوچک‌ترین

سطح مقطع یک سیستم راهگاهی که وظیفه نرخ پرنمودن محفظه قالب را بر عهده دارد با توجه به قرارگرفتن تنگه در سیستم‌های راهگاهی آنها را به دو گروه زیر تقسیم می‌نمایند:

- سیستم‌های راهگاهی غیرفشاری که در آنها تنگه بین راهبار و قطعه قرار دارد (تنگه همان راهباره است).
- سیستم‌های راهگاهی غیرفشاری که در آنها تنگه بین راهگاه بارریز و راهباره قرار دارد (تنگه می‌تواند انتهای راهگاه بارریز هم باشد).

از رابطه ساده زیر می‌توان سطح مقطع تنگه را به‌دست آورد.

$$AC = ۰/۸ (W)^{۰/۴۳}$$

AC = مجموع سطوح مقاطع تنگه‌ها برحسب سانتی‌متر مربع

W = وزن کل مذاب برحسب کیلوگرم

از آنجایی که در رابطه‌های فوق زمان پرکردن قالب و فشار متالواستاتیکی مذاب (ارتفاع درجه بالایی) دخالت داده نشده می‌توان از رابطه زیر که توسط محققین پیشنهاد شده استفاده نمود.

$$AC = \frac{۷/۴۸ W}{\tau\sqrt{H}}$$

که در آن: AC = مجموع سطوح مقاطع تنگه (برحسب سانتی‌متر مربع) و W = وزن قطعه به همراه تغذیه‌ها برحسب کیلوگرم و τ = طول زمان پرکردن قالب توسط مذاب بر حسب ثانیه و H = فشار متالواستاتیکی مذاب برحسب سانتی‌متر که H از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$H = h - (p^{۲} / ۲C)$$

h = ارتفاع درجه بالایی برحسب سانتی‌متر و C: کل ارتفاع قطعه برحسب سانتی‌متر

p : ارتفاع قطعه در درجه بالایی برحسب سانتی‌متر.

۶ـ ۹ـ نکات مهم در طراحی اجزای سیستم راهگاهی برای ریخته‌گری چدن‌های نشکن

۱ ـ حتی المقدور حوضچه بارریز به شکل مخروط ناقص طراحی نشود، طراحی به شکل مذکور باعث ایجاد حرکت گردابی و اغتشاش و در نهایت اکسیدشدن مذاب می‌گردد.

۲ ـ سوراخ راهگاه بارریز در یک طرف حوضچه و خارج از مرکز آن باشد اما خیلی نزدیک به دیواره حوضچه نباشد، فاصله سوراخ راهگاه بارریز تا دیواره بهتر است از قطر راهگاه بارریز بیشتر باشد.

۳ ـ عمق حوضچه باید حداقل معادل یک چهارم ارتفاع تای بالایی قالب باشد.

۴ ـ حجم حوضچه باید حداقل معادل مذابی که در واحد زمان از تنگه عبور می‌کند باشد.

۵ ـ راهگاه بارریز دارای شیب مناسبی حدود ۱ تا ۳ درجه باشد.

۶ ـ در سیستم راهگاهی فشاری راهبار و راهباره در تای بالایی قالب قرار می‌گیرند.

۷ ـ شکل راهباره در سیستم راهگاهی فشاری دارای مقطع ذوزنقه باشد و نسبت ارتفاع به عرض متوسط آن ۲ به ۱ باشد.

۸ ـ در صورت امکان در سیستم فشاری از راهبار مستقیم استفاده شود.

۹ ـ در سیستم راهگاهی فشاری بین اولین راهبار و راهگاه بارریز فاصله مناسبی در نظر گرفته شود (معمولاً این فاصله بیشتر از ۴ برابر ارتفاع راهبار می‌باشد)

۱۰ ـ در سیستم راهگاهی فشاری راهباره‌ها پهن و با ضخامت کم می‌باشند و نسبت پهنای به ضخامت ۲ به ۱ می‌باشد.

۱۱ ـ در سیستم راهگاهی فشاری حتی‌الامکان در انتهای راهبار چاهک قرار داده شود همچنین می‌توان از راهبار امتداد یافته با شیب مناسب نیز استفاده کرد.

۱۲ ـ فاصله آخرین راهباره تا انتهای راهباره نیز ۴ برابر ارتفاع راهبار باشد.

۱۳ ـ در سیستم راهگاهی فشاری فاصله بین راهباره‌ها حتی‌الامکان ۴ برابر ارتفاع راهباره باشد.

۱۴ ـ در سیستم غیرفشاری راهبار در تای زیرین و راهباره در تای بالایی قالب قرار می‌گیرد.

۱۵ ـ در سیستم غیرفشاری راهبار به صورت شیب معکوس جهت کم شدن سطح مقطع طراحی می‌شود همچنین میزان روی‌هم افتادگی راهبار و راهباره بر روی هم باید کمی بیش از ضخامت راهباره باشد.

۱۶ ـ طول راهباره در سیستم غیرفشاری حداقل ۴ برابر ضخامت آن باشد.

۱۷ ـ عمیق‌ترین قسمت راهبار دارای ارتفاعی معادل ۴ برابر ضخامت تنگه باشد.

۷ ـ ۹ ـ تغذیه‌گذاری چدن‌های نشکن

تغذیه‌گذاری چدن‌های نشکن به دلیل ویژگی‌های خاص انجماد آن بسیار پیچیده است، علت این پیچیدگی ناشی از انبساط زیاد در حین انجماد چدن‌های نشکن می‌باشد. شناخت پدیده انبساط و به کارگیری درست آن در تغذیه‌گذاری چدن‌های نشکن می‌تواند در کاهش میزان تغذیه و افزایش راندمان آن بسیار موثر واقع شود، و در مواردی نیاز به تغذیه را کاملاً منفی سازد و بالعکس عدم شناخت بر عوامل موثر بر پدیده انبساط، باعث بالارفتن ضایعات و کاهش بهره‌دهی تولید می‌شود.

۸ ـ ۹ ـ تغییرات حجم در روند انجماد چدن‌های نشکن

به‌طور کلی در روند انجماد چدن‌های نشکن تغییرات حجمی به‌صورت زیر اتفاق می‌افتد:

الف) انقباض حاصل از سردشدن مذاب که میزان آن در صنایع مختلف به صورت متفاوت ارائه شده است و محدوده موردقبول ۱ تا ۲ درصد حجمی به ازاء هر ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد فوق ذوب می‌باشد. این انقباض تحت عنوان انقباض مایع معروف و مقدار آن به ترکیب شیمیایی و فوق ذوب بستگی دارد.

ب) انبساط حجمی حاصل از رسوب گرافیت‌ها در اثر واکنش یوتکتیک. این انبساط در اثر اختلاف جرم حجمی مذاب چدن و گرافیت ایجاد می‌شود. (جرم حجمی گرافیت ۲/۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب و جرم حجمی مذاب چدن ۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب است) براساس این اختلاف میزان این انبساط بین ۳ تا ۶ درصد گزارش شده است.

ج) انقباض ثانویه حاصل از تغییر حالت مذاب باقی مانده به جامد که آخرین مرحله تغییرات حجمی در روند انجماد چدن نشکن می‌باشد، این انقباض عمدتاً باعث ایجاد حفره‌های انقباضی ثانویه‌می‌شودکه‌بعضاًماکروسکوپی‌وعمدتاًمیکروسکوپی‌می‌باشد.

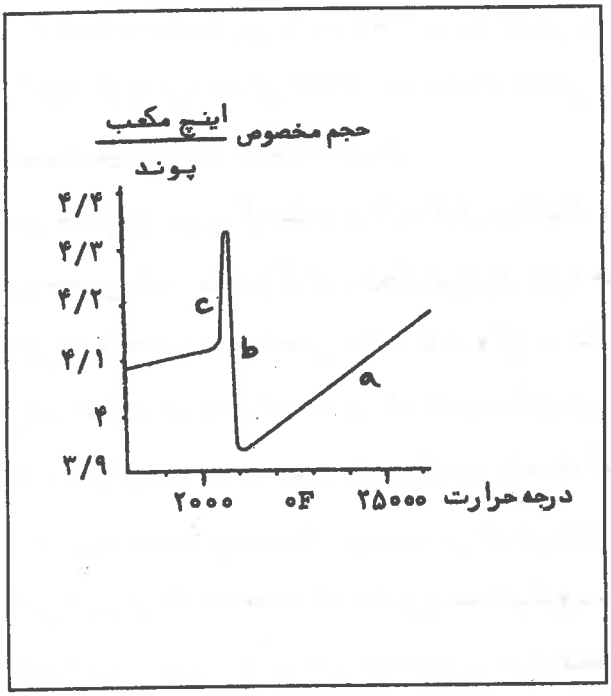
شکل ۳ ـ ۹ در صفحه بعد الگوی عمومی تغییرات حجمی را برای قطعات ریختگی از جنس چدن‌های گرافیتی نشان می‌دهد.

۹ ـ ۹ ـ عوامل موثر بر میزان انبساط مذاب

به‌طور کلی عواملی که بر میزان انبساط و انقباض مذاب چدن‌های نشکن در حین فرآیند انجماد اثر می‌گذارند عبارت‌اند از:

ـ درجه حرارت ریختن مذاب در قالب

- سرعت سردشدن مذاب در قالب
- ترکیب شیمیایی مذاب
- خصوصیات و جنس قالب
- روش کروی نمودن گرافیت‌ها و روش جوانه‌زایی



شکل ۳ ـ ۹ ـ الگوی عمومی تغییرات حجمی برای قطعات ریختگی چدن گرافیتی
(a) انقباض مذاب (b) انبساط (c) انقباض ثانویه

۱ ـ ۹ ـ ۹ ـ درجه حرارت ریختن مذاب در قالب

هرچه تفاوت بین درجه حرارت ریختن مذاب و نقطه شروع انجماد بیشتر باشد. میزان مذاب موردنیاز برای تغذیه کردن قطعه افزایش می‌یابد. با توجه به این واقعیت، با

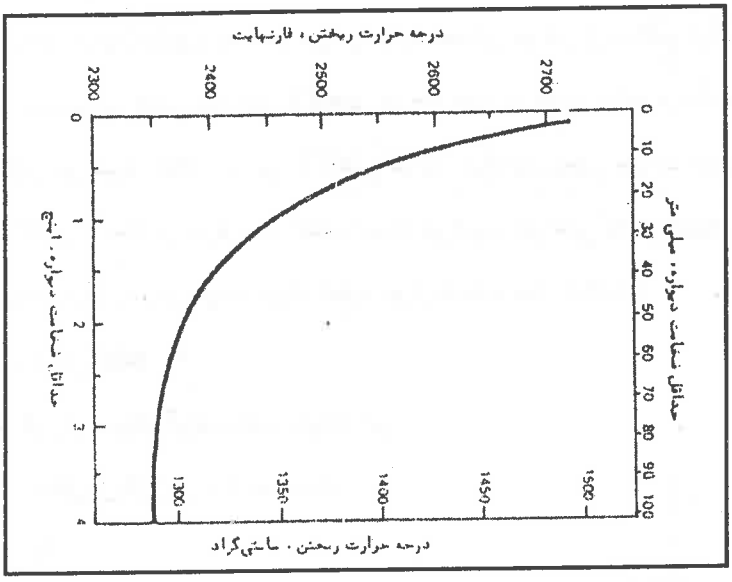
کاهش درجه حرارت ریختن مذاب می‌توان میزان تغذیه‌گذاری را کاهش داد ولی ریختن مذاب با درجه حرارت پایین، به‌خصوص در تولید قطعاتی که دارای مقاطع نازک هستند امکان‌پذیر نیست در چنین مواردی با کاهش درجه حرارت عیب نیامد و یا سربه‌سر شدن تشکیل می‌شود. علاوه بر این با کاهش درجه حرارت ریختن مذاب عیوبی نظیر حفره‌های گازی ـ آخال و سرباره در قطعه ایجاد می‌شود، عواملی که در انتخاب درجه حرارت ریختن مذاب و در نتیجه میزان تغذیه موثر هستند عبارت‌اند از:

- وزن و شکل قطعه
- روش کروی نمودن گرافیت‌ها و جوانه‌زایی
- کیفیت متالورژیکی مورد درخواست
- جنس قالب

مناسب‌ترین درجه حرارت ریختن مذاب در ارتباط با حداقل ضخامت قطعه ریختگی را می‌توان از شکل ۴ ـ ۹ به‌دست آورد. به‌هر حال توصیه می‌شود که هرگز درجه حرارت ریختن مذاب زیر ۱۲۸۵ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته نشود، برای قطعات بسیار نازک می‌توان درجه حرارت ریختن مذاب را تا ۱۴۸۰ درجه سانتی‌گراد افزایش داد.

در مواردی که قطعه ریختگی ضخامت یکسانی دارد می‌توان با انتخاب درجه حرارت صحیح ریختن به ریخته‌گری قطعات بدون استفاده از تغذیه اقدام نمود. متأسفانه چنین شرایطی در اکثر قطعات ریختگی موجود نیست. یعنی قطعه دارای ضخامت‌های غیر یکنواختی بوده که لازم است درجه حرارت ریختن مذاب را براساس حداقل ضخامت قطعه ریختگی انتخاب کرد. البته برای یک قطعه ریختگی که ضخامت‌های بسیار متفاوتی داشته باشد توصیه می‌شود که از تغذیه استفاده شود. در چنین حالتی

لازم است راهگاه‌های فرعی و تغذیه به قسمت‌های ضخیم قطعه متصل شوند.



شکل ۴ ـ ۹ ـ درجه حرارت مناسب ریختن مذاب به‌صورت تابعی از حداقل ضخامت قطعه ریختگی

۲ ـ ۹ ـ ۹ ـ سرعت سرد شدن مذاب در قالب

بررسی‌ها نشان می‌دهد که انقباض مایع در حالتی که مذاب با سرعت بالایی در قالب سرد می‌شود در محدوده وسیعی از درجه حرارت ایجاد می‌شود. به‌طور کلی سرعت سردشدن مذاب در قالب تابعی از ضخامت ـ درجه حرارت باریزی و جنس قالب می‌باشد لذا باید شرایطی ایجاد نمود تا مذاب با سرعت کمتری در قالب سردشده تا شرایط برای ایجاد انبساط حاصل از انقباض فراهم گردد.

۳ ـ ۹ ـ ۹ ـ ترکیب شیمیایی مذاب

ترکیب شیمیایی مذاب بر میزان انقباض آن تاثیر می‌گذارد این تاثیر به علت تغییرات

زیر می‌باشد:

الف) تغییر در محدوده انجماد

ب) تغییر در میزان گرافیت تشکیل شده و در نتیجه میزان انبساط در حین انجماد در صورتی که میزان کربن بیش از ۳/۶ درصد باشد، فاز گرافیت به میزان کافی تشکیل شده و در نتیجه انبساط حاصل از آن انقباض مایع را جبران می‌نماید. مقادیر بیشتر کربن در ترکیب هایپریوتکتیک عموماً برای قطعات با ضخامت کم توصیه می‌شود. تاثیر سایر عناصر بر میزان تغذیه مورد نیاز بستگی به این دارد که عناصر مذکور در کدامیک از دو گروه گرافیت‌زا یا کاربیدزا قرار دارند، عناصری مانند سیلیسیم که گرافیت‌زا قوی است تشکیل گرافیت را ترغیب نموده و در نتیجه میزان انبساط را بیشتر و انقباض حاصل از کاهش درجه حرارت مذاب را جبران می‌نماید. عناصری نظیر منگنز ـ کروم ـ وانادیم و مولیبدن که کاربیدزا هستند با کاهش میزان گرافیت تاثیر معکوس داشته و ایجاد حفره‌های انقباضی را در در قطعه ترغیب می‌نمایند.

۴ ـ ۹ ـ ۹ ـ خصوصیات و جنس قالب

تاثیر جنس قالب و خصوصیات آن بر میزان سلامت قطعات ریختگی چدن نشکن توسط محققین بسیاری بررسی شده است، این بررسی‌ها نشان می‌دهد که:

الف) جنس قالب ـ فرآیند تولید آن و خصوصیات نهایی قالب بر میزان مذاب لازم برای تغذیه کردن حفره‌های انقباضی نقش اساسی دارد.

ب) هر چه قالب دارای استحکام بالاتری باشد نیاز به تغذیه‌گذاری کاهش خواهد یافت.

ج) قالب‌هایی با چسب سیمان کمترین تغییرات ابعادی را در اثر فشار حاصل از آزاد شدن گرافیت‌ها خواهد داشت.

۵ـ۹ـ۹ـ روش کروی نمودن گرافیت‌ها و روش جوانه‌زایی

در خصوص روش کروی نمودن گرافیت‌ها و نوع آلیاژ کروی کننده بر میزان انقباض چدن با گرافیت‌های کروی تحقیقاتی مشخصی صورت نگرفته است، ولی با توجه به تاثیر روش‌ها و آلیاژهای کروی‌کننده مختلف بر میزان و شکل گرافیت‌های کروی می‌توان تاثیر آنها را بر میزان انقباض پیش‌بینی نمود. به‌طور کلی بررسی‌ها نشان می‌دهد که در روش فرآیند کروی نمودن در محفظه قالب تمایل به انقباض کمتر از سایر روش‌هاست، هرچند که علت این پدیده تاکنون به‌طور کامل تشریح نشده است ولی موجه‌ترین دلیل آن بر پایه این واقعیت است که منیزیم به عنوان عنصر کروی کننده و سیلیسیم به عنوان جوانه‌زا درست قبل از انجماد مذاب تلقیح می‌گردند. از طرفی دیگر بررسی‌ها نشان می‌دهد که با افزایش میزان جوانه‌زایی میزان انقباض چدن‌های نشکن کاهش می‌یابد، علت این امر چیزی جز افزایش میزان کربن (تعداد گرافیت‌های کروی در واحد سطح) نمی‌باشد. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهند که هرچه قدر زمان جوانه‌زایی به زمان انجماد قطعه نزدیک‌تر باشد، انقباض مایع کمتر خواهدبود. مقادیر بیشتر کربن در ترکیب هایپریوتکتیک عموماً برای قطعات با ضخامت کم توصیه می‌شود.

۱۰ـ۹ـ روش‌های تغذیه‌گذاری برای ریخته‌گری چدن‌های نشکن

به‌طور کلی روش‌های تغذیه‌گذاری برای تولید قطعات ریختگی چدن‌نشکن را می‌توان به سه گروه زیر طبقه‌بندی نمود:

- روش سنتی
- روش اعمال انبساط
- روش هندسی

۱ـ۱۰ـ۹ـ روش سنتی

در این روش، طراحی تغذیه عموماً براساس تجربه و سعی و خطا صورت می‌گیرد و برای کاهش ضایعات عموماً از تغذیه‌های بزرگتر استفاده می‌شود، برخی از واحدهای ریخته‌گری این تجربیات را به صورت روابط خلاصه برای طراحی تغذیه به‌کار می‌گیرند، به عنوان مثال در طراحی تغذیه برای ریخته‌گری یک قطعه از جنس چدن نشکن در قالب ماسه‌ای‌تر از روابط زیر استفاده می‌شود.

قطر تغذیه = ضخامت متوسط قطعه + ۵cm

ارتفاع تغذیه = (۱/۵ ـ ۲) × قطر تغذیه

در روش سنتی به علت مشکل غیر اقتصادی بودن، بهره‌دهی کم می‌باشد.

۲ـ۱۰ـ۹ـ روش اعمال انبساط

این روش بر مبنای استفاده از انبساط گرافیت برای چیره‌شدن بر انقباض استوار شده است. روش اعمال انبساط با توجه به محدوده مدول قطعه خود به چند روش تقسیم‌بندی می‌گردد که عبارتند از:

الف) روش کنترل فشار

ب) روش اعمال مستقیم انبساط

ج) ریخته‌گری بدون تغذیه

۱ـ۲ـ۱۰ـ۹ـ روش کنترل فشار

این روش اصولاً برای قالب‌های ماسه‌ای با استحکام کم یا ضعیف نظیر قالب‌های ماسه‌ای‌تر به‌کار گرفته می‌شود و با استفاده از کنترل فشار مذاب از تغییر شکل قالب در

مرحله انبساط گرافیت جلوگیری می‌شود.

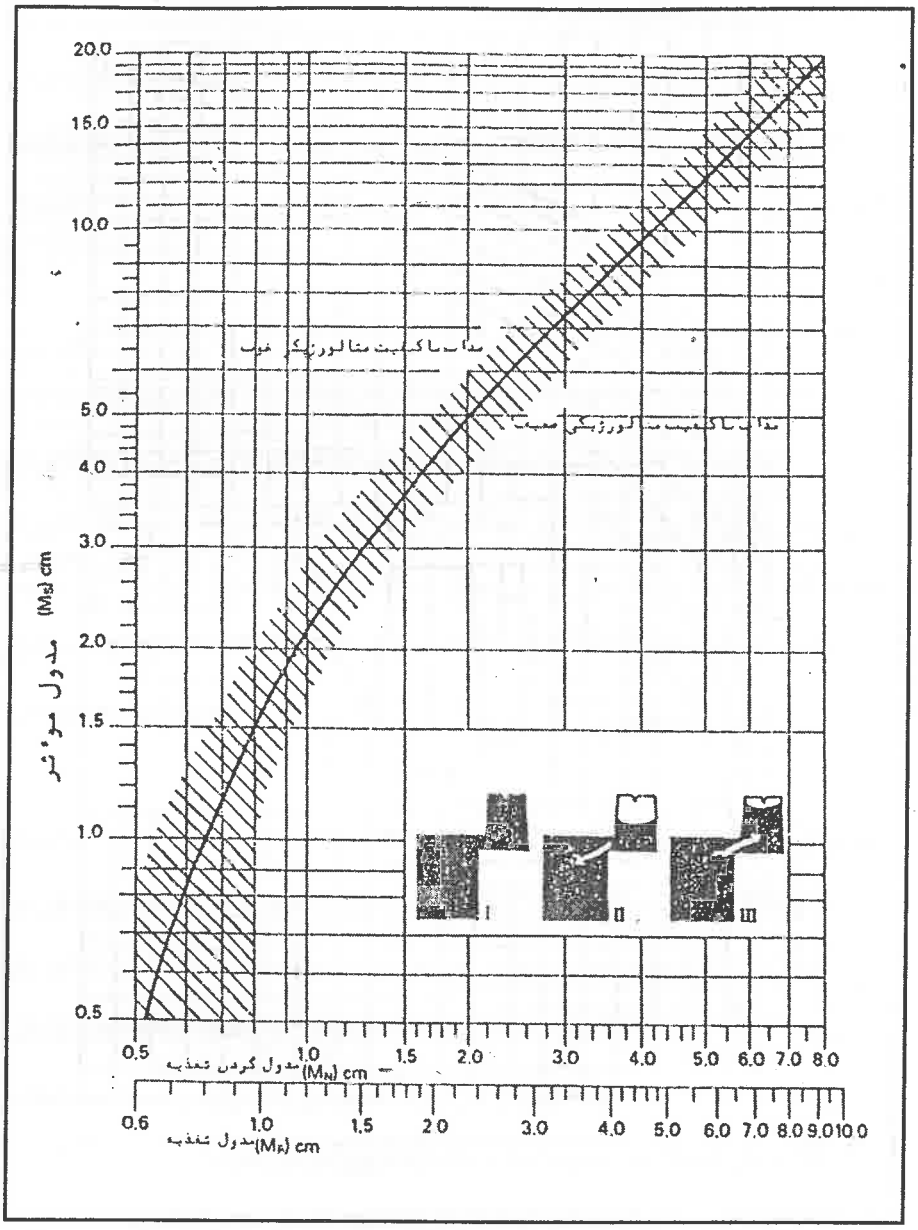
مراحل طراحی دراین روش عبارت‌اند از:

- محاسبه مدول قسمت‌های مختلف و رسم نمودار توزیع مدول برحسب درصد حجمی هر قسمت.
- مشخص کردن واحدهای تغذیه شونده بر حسب شکل قطعه و تعیین مدول موثر هر واحد تغذیه شونده.
- استفاده از شکل‌های ۵ـ۹ و ۶ـ۹ برای تعیین مدول گردن تغذیه و ارتفاع موثر تغذیه با توجه به کیفیت متالورژیکی مذاب.
- طراحی تغذیه و گردن تغذیه.

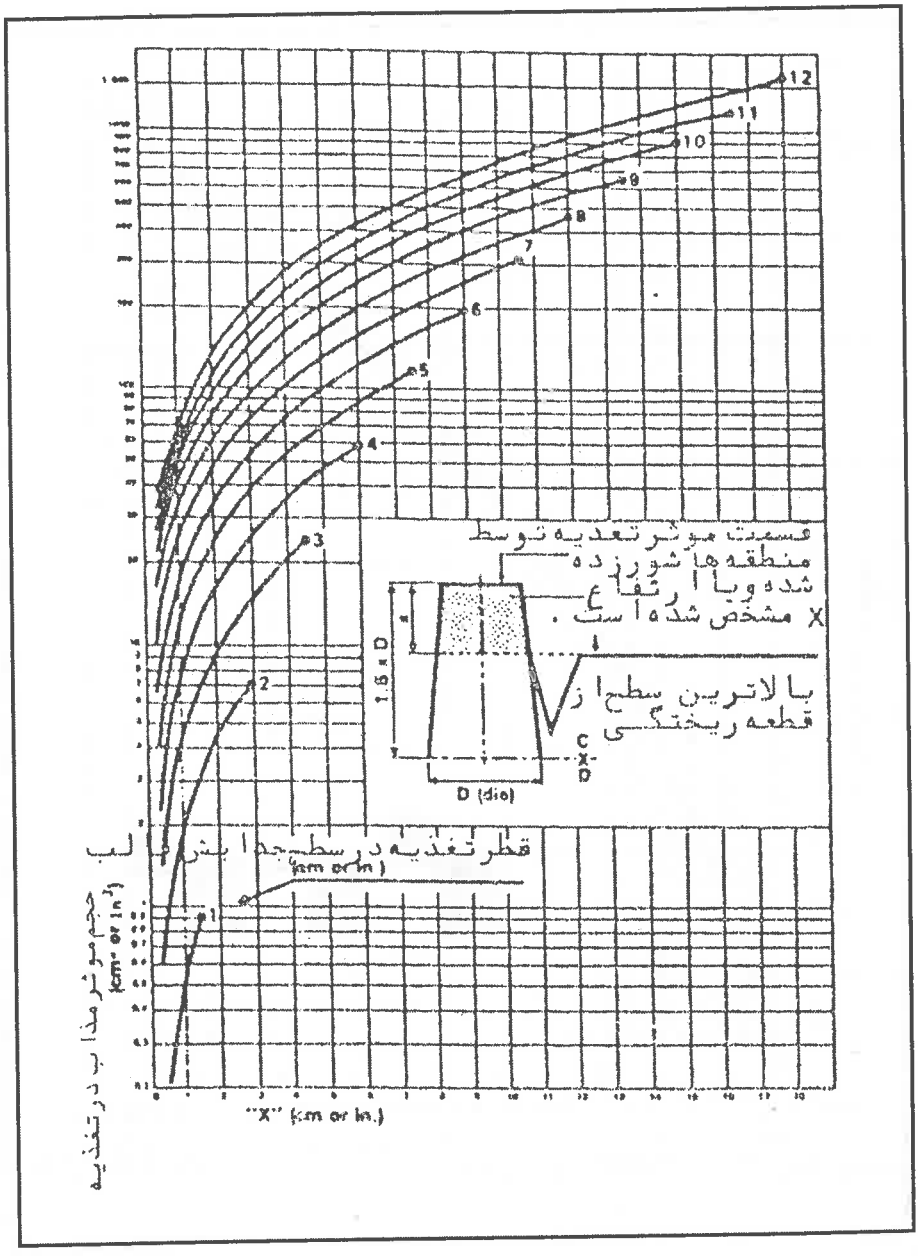
برخلاف دیگر روش‌های اعمال انبساط که در آنها فاصله مذاب‌رسانی تغذیه نامحدود است در روش کنترل فشار برای قطعات با مدول کمتر از ۱/۲ سانتی‌متر باید طول مذاب‌رسانی را مدنظر داشت.

نکته مهم دیگری که در طراحی به روش کنترل فشار وجود دارد. سطح مقطع تنگه و ارتباط آن با مدول گردن تغذیه و مدول موثر قطعه است. تنگه در این سیستم باید پهن و دارای ضخامت بسیار کم باشد و مدول آن کمتر از ۰/۲۵ سانتی‌متر باشد.

استفاده از تنگه یا راهباره نامناسب می‌تواند کارایی تغذیه را کاهش داده و یا به‌طور کلی اثر آن را خنثی سازد و قطعات تولیدشده دارای حفره‌های انقباضی شوند.



شکل ۵ ـ ۹ ـ رابطه بین مدول موثر قطعه *(Ms)*، مدول گردن تغذیه *(Mn)* و مدول تغذیه *(MR)* در طراحی تغذیه برای قطعات ریختگی چدن نشکن به روش کنترل فشار



شکل ۶ـ۹ـ محاسبه ارتفاع موثر تغذیه

۲ - ۲ - ۱۰ - ۹ - روش اعمال مستقیم انبساط

این روش برای قطعاتی که در قالب‌های با استحکام کم یا ضعیف با مدول کمتر از ۰/۴ سانتی‌متر تولید می‌شوند و یا قطعاتی که در قالب‌هایی با استحکام بالا با مدول کمتر از ۲ سانتی‌متر تولید می‌گردند، مورد استفاده قرار می‌گیرد، این روش خود به ۲ قسمت کلی تقسیم‌بندی می‌شود که عبارتند از:

۱ - روش اعمال مستقیم انبساط از طریق جبران انقباض مذاب از سیستم راهگاهی

۲ - روش اعمال مستقیم انبساط از طریق جبران انقباض مذاب از تغذیه

۱ - ۲ - ۲ - ۱۰ - ۹ - روش اعمال مستقیم انبساط از طریق جبران انقباض مذاب از سیستم راهگاهی

این روش برای قطعاتی که مدول آنها کمتر از ۰/۴ سانتی‌متر بوده و در قالب‌هایی با استحکام کم یا ضعیف ریخته‌گری می‌شوند استفاده می‌گردد. در این روش حوضچه بارریز نقش تغذیه را دارد لذا در طراحی حوضچه بارریز باید این موضوع مدنظر قرارگیرد که حوضچه بارریز باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا بتواند عمل تغذیه را به‌خوبی انجام دهد.

همچنین در این روش راهباره‌ها حکم گردن تغذیه را دارا می‌باشند. انتخاب ابعاد گردن تغذیه (راهباره‌ها) بستگی به دو عامل دمای بارریزی و ضخامت قطعه ریختگی در محل اتصال به راهباره دارد. به‌طور کلی برای قطعات کوچک تا متوسط که در دمای بالا ریخته‌گری می‌شوند، راهباره‌های نسبتاً کوچک مناسب‌تر می‌باشند. با کاهش دمای بارریزی به طبع اندازه راهباره‌ها بزرگتر می‌گردد، همچنین با افزایش ضخامت قطعه ریختگی در محل اتصال به راهباره اندازه راهباره‌ها بزرگتر می‌شود.

۲ - ۲ - ۲ - ۱۰ - ۹ - روش اعمال مستقیم انبساط از طریق جبران انقباض مذاب از تغذیه

این روش فقط برای قطعاتی که در قالب‌هایی با استحکام بالا تولید می‌شوند استفاده

می‌گردد. شرایط خلاصه شده این روش عبارتند از:

- قالب باید از استحکام کافی برخوردار باشد.
- کنترل دقیق درجه حرارت مذاب باید میسر باشد.
- قطعات ریختگی باید شکل پیچیده‌ای نداشته باشند.

مراحل طراحی در این روش عبارت است از:

- محاسبه مدول قسمت‌های مختلف قطعه و رسم نمودار مدول برحسب درصد حجمی قسمت‌های مختلف.
- محاسبه مدول موثر قطعه
- طراحی تغذیه و گردن تغذیه با استفاده از اشکال ۵ - ۹ و ۶ - ۹ روش (کنترل فشار)

۳ - ۲ - ۱۰ - ۹ - ریخته‌گری بدون تغذیه

این روش برای قطعاتی که مدول بالاتر از ۲ سانتی‌متر داشته باشند و در قالب‌هایی با استحکام بالا ریخته‌گری شوند، قابل استفاده می‌باشد، به‌طور کلی شرایط لازم برای ریخته‌گری قطعات چدن نشکن بدون تغذیه عبارت است از:

- استفاده از قالب‌هایی با استحکام بالا نظیر قالب‌های چسب سیمان - چسب سرد - CO_2 سیلیکات سدیم.
- ریخته‌گری با سرعت بالا انجام شود.
- ریخته‌گری در محدوده حرارتی ۱۳۵۰ - ۱۳۲۰ درجه سانتی‌گراد انجام گیرد.
- کیفیت متالورژیکی مذاب عالی باشد.
- سوراخ‌های خروج هوا به تعداد کافی وجود داشته باشد (سوراخ‌ها باید حداقل به

تعدادی باشد که از مجموع سطوح مقاطع راهباره‌ها کمتر نباشد. ضمناً مدول سوراخ‌های خروج هوا باید کمتر یا مساوی مدول راهباره‌ها باشد).

- استفاده از راهباره‌های متعدد و نازک (حداکثر ضخامت راهباره با توجه به شکل - وزن و مدول قطعه ۱۵ میلی‌متر باشد).
- استفاده از چند راهگاه بارریز برای قطعات سنگین.

در صورتی که هر یک از شرایط اول تا چهارم به صورت دقیق اجرا نشوند نیاز به استفاده از تغذیه‌هایی برای تضمین سلامت قطعه ضروری خواهدبود، حجم این تغذیه‌ها حداکثر ۲ درصد حجم مذاب موردنیاز برای پرنمودن محفظه قالب است.

۳ - ۱۰ - ۹ - روش هندسی

این روش که ابتدا برای تغذیه‌گذاری چدن‌های سفید ابداع گردید مبنای محاسبات را بر ایجاد یک حفره انقباضی مخروطی شکل قرارداده است. این حفره انقباضی در طراحی به شکل استوانه‌ای ساده در نظر گرفته می‌شود که اندازه آن بستگی به وزن قطعه ریختگی دارد، به‌طور کل در این روش برای محاسبه قطر و ارتفاع تغذیه از روابط ذیل استفاده می‌شود.

$Dr = Dp + ۲W$ = قطر تغذیه، که در آنها: Dr: قطر تغذیه

Dp: قطر حفره انقباضی در تغذیه

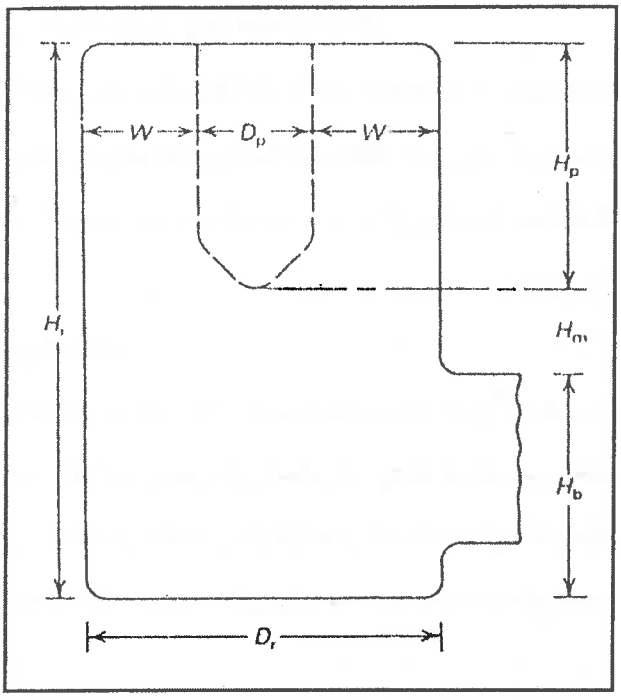
Hr: ارتفاع تغذیه

$Hr = Hb + Hm + Hp$ = ارتفاع تغذیه Hb: ارتفاع گردن تغذیه

Hp: ارتفاع حفره انقباضی در تغذیه

Hm: فاصله مناسب بین حفره انقباضی و گردن تغذیه

براساس پژوهش‌های انجام شده برای وزن‌های مختلف ریختگی مقادیر HP و Dp به صورت جداولی ارائه شده است، مقدار W نیز برای قطعات صفحه‌ای شکل برابر ضخامت قطعه و برای قطعات مکعبی شکل ۳۵ درصد طول یال مکعب و برای قطعات میله‌ای شکل دو برابر قطر یا ضخامت میله خواهدبود.



شکل ۷ ـ ۹ ـ مقطع تغذیه طراحی شده به روش هندسی

فصل ۱۰

تاثیر عناصر آلیاژی بر خواص ساختاری و مکانیکی چدن‌های نشکن

۱ـ۱۰ـ مقدمه

خواص مکانیکی چدن‌های نشکن در حالت سیاه تاب (As Cast) تابع ریزساختار میکروسکوپی می‌باشد. قسمتی از این ریزساختار مانند شکل، اندازه و نحوه توزیع گرافیت‌ها پس از انجماد و یا به عبارتی پس از تغییر حالت یوتکتیک و قسمتی دیگر یعنی ساختار پیرامون گرافیت پس از تغییر حالت یوتکتوئید شکل می‌گیرد. عناصر آلیاژی که بر تغییر حالت یوتکتیک چدن‌های نشکن اثر می‌گذارند براساس تأثیرگذاری بر تشکیل گرافیت یا کاربید به سه دسته ذیل تقسیم‌بندی می‌شوند.

الف) عناصری که بر شکل گرافیت تاثیر می‌گذارند شامل:

۱ ـ عناصری که شکل گرافیت را کروی می‌نمایند مانند: Ce - Mg

۲ ـ عناصری که شکل گرافیت را از حالت کروی خارج می‌نمایند مانند: Al - N

ب) عناصر گرافیت‌زا که با افزایش آنها مقدار گرافیت‌زایی افزایش می‌یابد: Ni - Si - C

پ) عناصر کاربیدزا که با افزایش آنها مقدار گرافیت‌زایی کاهش و مقدار کاربیدزایی افزایش می‌یابد مانند: Ti - Cr

همچنین عناصر آلیاژی که بر تغییر حالت یوتکتوئید اثر می‌گذارند براساس تاثیرگذاری بر ریزساختار پیرامون گرافیت به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شوند:

الف) عناصر فریت‌زا که با افزایش آنها میزان فریت زمینه افزایش می‌یابد مانند: Si - C

ب) عناصر پرلیت‌زا که با افزایش آنها میزان پرلیت زمینه افزایش می‌یابد مانند: Sn - Cu- Mn

پ) عناصر آستنیت‌زا که با افزایش آنها و مصرف بیش از حد آنها فاز آستنیت در دمای محیط پایدار می‌گردد مانند: Mn - Ni.

از آنجایی‌که اکثر عناصر آلیاژی مورد استفاده در چدن‌های نشکن ضمن تاثیرگذاری بر تغییر حالت یوتکتیک بر تغییر حالت یوتکتوئید نیز اثر می‌گذارند. لذا عناصر آلیاژی رفتار دوگانه‌ای از خود نشان می‌دهند، که بررسی آنها جهت دستیابی به خواص مکانیکی مناسب اجتناب‌ناپذیر می‌باشد.

۲ـ۱۰ـ کربن

اصولاً مقدار کربن در چدن‌های نشکن بستگی به مشخصات قطعات تولیدی دارد و می‌تواند بین ۳ ـ ۴ درصد متغیر باشد ولی عمدتاً میزان این عنصر را بین ۳/۶ تا ۳/۸ درصد درنظر می‌گیرند.

در چدن نشکن قسمت اعظم کربن به‌صورت گرافیت‌های کروی در ساختار میکروسکوپی ظاهر گشته و تا حدود ۹ درصد حجم را اشغال می‌نمایند. چگونگی تاثیر

کربن بستگی زیادی به‌وجود و میزان عناصر دیگر خصوصاً عنصر سیلیسیم دارد. به همین جهت پارامتری تحت عنوان کربن معادل تعریف شده که دربرگیرندهٔ تاثیر مشترک کلیه عناصر موجود، خصوصاً عناصر کربن و سیلیسیم می‌باشد. با افزایش میزان کربن معادل افزایش حجم گرافیت آزاد شده و افزایش تعداد گرافیت‌های کروی حاصل می‌گردد.

همچنین با افزایش کربن، تمایل به ایجاد ساختار فریتی و افزایش سیالیت مذاب ترغیب می‌گردد. ذکر این نکته ضروری است که افزایش بیش از حد کربن باعث افزایش کربن معادل شده و تمایل به عیب شناوری گرافیت در قطعات افزایش می‌یابد. تاثیر کربن بر خواص مکانیکی چدن‌های نشکن نسبتاً ناچیز می‌باشد اما به‌طور کلی با افزایش کربن استحکام کششی ـ تنش تسلیم و سختی کاهش و درصد ازدیاد طول نسبی و انرژی شکست افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش کربن، سختی پذیری قطعات ریختگی کاهش می‌یابد.

۳ـ۱۰ـ سیلیسیم

سیلیسیم عنصری است که تاثیر بسیار زیادی بر ساختار و خواص مکانیکی چدن‌های نشکن داشته و کنترل آن به منظور دستیابی به ساختارها و خواص موردنظر چه در حالت ریختگی و چه در حالت عملیات حرارتی شده الزامی است. به‌طور معمول میزان سیلیسیم در چدن‌های نشکن بین ۱/۸ تا ۲/۸ درصد بوده و با افزایش آن اولاً احتمال تشکیل کاربیدهای یوتکتیکی کاهش یافته و ثانیاً ریزساختار زمینه در حالت ریختگی از پرلیتی به سمت فریتی متمایل می‌گردد. در ضمن با افزایش مقدار سیلیسیم گرافیت‌زایی افزایش می‌یابد و به این ترتیب تعداد گرافیت‌های کروی در واحد سطح

افزایش و اندازه گرافیت‌های کروی کاهش می‌یابد. در چدن‌های نشکن فریتی -پرلیتی با افزایش سیلیسیم میزان فریت افزایش و در نتیجه استحکام کششی و تنش تسلیم کاهش و درصد ازدیاد طول نسبی و دمای تبدیل شکست نرم به ترد در چدن‌های نشکن کاهش می‌یابد. از طرفی چون سیلیسیم گرافیت‌زای قوی می‌باشد برای سختی‌پذیری کاربردی ندارد اما به‌طور کلی با افزایش عنصر سیلیسیم تا ۳ درصد، عمق سختی‌پذیری افزایش می‌یابد و در مقادیر بیش از ۳ درصد با افزایش سیلیسیم عمق سختی‌پذیری کاهش می‌یابد.

۴ـ۱۰ـ منگنز

منگنز یکی از عناصر اصلی چدن‌های نشکن می‌باشد که حداکثر میزان آن در چدن‌های نشکن فریتی سیاه تاب ۰/۲ درصد و در چدن‌های پرلیتی ۰/۵ درصد می‌باشد. منگنز در غیاب گوگرد به عنوان یک عنصر پرلیت‌زا عمل نموده و باعث کاهش فریت در ساختارهای ریختگی می‌گردد. علاوه بر این منگنز تشکیل کاربید را نیز ترغیب می‌نماید به‌خصوص در حین انجماد در اثر پدیده جدایش غلظت منگنز در مناطق بین سلولی افزایش می‌یابد، به‌نحوی که غلظت آن در مناطق مذکور به چندین برابر غلظت متوسط نیز می‌رسد و در نتیجه کاربیدهای تشکیل شده در این مناطق از عنصر منگنز غنی می‌باشد، به نحوی که حتی تجزیه آنها با استفاده از عملیات حرارتی آنیل در دمای بالا نیز بسیار مشکل می‌باشد همچنین با افزایش منگنز تا ۰/۲۵ درصد، اندازه گرافیت‌های کروی کاهش یافته و تعداد آنها در واحد سطح به میزان کمی افزایش می‌یابد ولی با افزایش این عنصر در مقادیر بیش از ۰/۲۵ درصد تعداد گرافیت‌های کروی در واحد سطح کاهش یافته و اندازه متوسط آنها افزایش می‌یابد.

در خصوص کاربیدزایی و پرلیت‌زایی عنصر منگنز باید به این نکته اشاره نمود که این خصوصیات به میزان سیلیسیم موجود در چدن نیز بستگی دارد به نحوی که با افزایش سیلیسیم می‌توان حد مجاز منگنز را بالاتر در نظر گرفت. همچنین علاوه بر میزان سیلیسیم، دیگر عناصر موجود در چدن، چگونگی عمل تلقیح و جوانه‌زایی نیز در تعیین حد مجاز منگنز در چدن نشکن موثر می‌باشد. به‌طور کلی با افزایش منگنز میزان فریت کاهش، استحکام کششی ـ تنش تسلیم و سختی افزایش و درصد ازدیاد طول نسبی و انرژی شکست کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش منگنز عمق سختی‌پذیری افزایش می‌یابد.

۵ـ۱۰ـ گوگرد

گوگرد عنصری است که مقدار آن در چدن‌های نشکن بسیار کم می‌باشد، ولی همین مقدار کم و تغییرات جزیی آن تاثیر بسیار زیاد و قابل توجهی در ساختار میکروسکوپی این چدن‌ها دارد. معمولاً در چدن‌های نشکن مقدار گوگرد نهایی بین ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۱۵ درصد در نظر گرفته می‌شود ولی در هر صورت میزان این عنصر نباید از ۰/۰۲ درصد تجاوز نماید. بالا بودن میزان گوگرد با توجه به میل ترکیبی زیاد آن با منیزیم اولاً: میزان ناخالصی‌ها و آخال‌های سولفید منیزیم را افزایش می‌دهد. ثانیاً: موجب تشکیل گرافیت‌های فشرده می‌گردد.

برای کاهش میزان سولفور مذاب، عملیات گوگردزدایی قبل از عملیات کروی کردن بر روی مذاب چدن‌های نشکن انجام می‌گیرد. از طرفی دیگر اگر میزان گوگرد موجود در چدن از حد مشخص پایین‌تر باشد در امر جوانه‌زایی اختلالاتی ایجاد می‌نماید که علاوه بر کم شدن تعداد گرافیت‌های کروی در واحد سطح احتمال تشکیل کاربیدهای فوق

تبریدی نیز افزایش خواهدیافت. حد مجاز گوگرد برای دستیابی به ساختاری با گرافیت‌های کاملاً کروی و عاری از هرگونه کاربید با توجه به روش انتخاب شده جهت کروی نمودن گرافیت‌ها تعیین می‌گردد و سپس با درنظر گرفتن این مقدار حداقل میزان منیزیم باقی‌مانده را مشخص می‌نمایند.

با توجه به تاثیر گوگرد بر شکل گرافیت‌های کروی مشخص است که با افزایش گوگرد مذاب استحکام کششی ـ استحکام تسلیم ـ درصد ازدیاد طول نسبی و انرژی شکست کاهش می‌یابد و سختی متناسب با میزان کاربیدهای تشکیل شده تغییر خواهدنمود.

۶ـ۱۰ـ فسفر

فسفر عنصری است که همواره در ترکیب چدن‌های نشکن یافت می‌شود. به‌طور کلی فسفر اثر قوی روی استحکام فریت دارد ولی به‌دلیل اثرات مضر این عنصر میزان آن در تولید چدن نشکن نباید از ۰/۰۵ درصد بیشتر باشد. چنانچه میزان این عنصر از حد فوق‌الذکر تجاوز نماید، براثر پدیده جدایش فاز استدیت که یوتکتیک آهن و فسفر می‌باشد، در مناطق بین سلولی تشکیل می‌شود که به این ترتیب باعث کاهش انرژی شکست چدن‌های نشکن می‌شود. به‌طور کلی فسفر عنصری پرلیت‌زا می‌باشد و با افزایش میزان فسفر، استحکام کششی ـ تنش تسلیم ـ سختی افزایش یافته و درصد ازدیاد طول نسبی کاهش می‌یابد. از طرفی با افزایش فسفر دمای انتقال شکست نرم به ترد افزایش می‌یابد.

۷ـ۱۰ـ مس

مس عنصری است که تاثیر بسیار زیادی بر ساختار و خواص مکانیکی چدن‌های

نشکن دارد. به‌طور کلی مس در مرحله انجماد یک گرافیت‌زای متوسط بوده و تمایل به تجزیه یا جلوگیری از تشکیل کاربیدهای لدربوریتی را دارد. قدرت گرافیت‌زایی مس بین $\frac{1}{3}$ تا $\frac{1}{5}$ عنصر سیلیسیم گزارش شده است. همچنین مس به علت خاصیت پرلیت‌زایی در خلال سردکردن در محدودهٔ دمایی تغییر حالت یوتکتوئید باعث افزایش پرلیت در ساختار زمینه شده و به علت تاثیری که بر پایداری آستنیت دارد باعث کاهش درجه حرارت تجزیه آستنیت به پرلیت می‌شود و بدین وسیله باعث ریزشدن پرلیت می‌گردد.

بررسی‌های انجام شده بر خاصیت گرافیت‌زایی عنصر مس مشخص می‌نماید که مس تا میزان ۳ درصد گرافیت‌زا بوده و در مقادیر بالاتر از ۳ درصد کاربیدزا (سمانتیت‌زا) می‌باشد.

به‌طور کلی از آنجایی که خاصیت پرلیت‌زایی مس قوی می‌باشد با افزایش میزان مس استحکام کششی ـ تنش تسلیم و سختی افزایش یافته و درصد ازدیاد طول نسبی و انرژی شکست کاهش می‌یابد، همچنین با افزایش مس عمق سختی‌پذیری افزایش می‌یابد.

۸ ـ ۱۰ ـ قلع

این عنصر که جزء عناصر جزیی محسوب می‌گردد پرلیت‌زای بسیار قوی می‌باشد به نحوی که مقدار قلع لازم جهت رسیدن به زمینه‌ای با مقدار معین از پرلیت در حدود $\frac{1}{9}$ تا $\frac{1}{10}$ مقدار مس لازم برای رسیدن به همان میزان پرلیت می‌باشد. در چدن‌های نشکن فریتی میزان قلع نباید از ۰/۰۱ تجاوز نماید و در چدن‌های نشکن پرلیتی بسته به ضخامت قطعه ریختگی میزان قلع می‌تواند بین ۰/۰۳ تا ۰/۱۵ درصد درنظر گرفته می‌شود. گزارش‌های موجود در رابطه با اثر قلع بر مشخصات گرافیت‌های کروی بر این نکته دلالت دارند که قلع تا قبل از حصول یک ساختار کاملاً پرلیتی مانند مس اثرات

مثبتی بر مشخصات گرافیت‌های کروی دارد، ولی با افزایش این عنصر، افزون بر مقدار لازم برای تشکیل یک ساختار پرلیتی، منجر به تشکیل گرافیت‌های بین سلولی که حالت شبه لایه‌ای دارند می‌گردد که به این ترتیب خواص مکانیکی قطعات تولیدی کاهش می‌یابد.

اثر قلع بر خواص مکانیکی چدن‌های نشکن قابل توجه می‌باشد به نحوی که تا حدود ۰/۱۵ درصد قلع استحکام کششی و تنش تسلیم افزایش یافته و بیش از ۰/۱۵ درصد کاهش می‌یابند از سوی دیگر با افزایش قلع سختی نیز افزایش یافته و درصد ازدیاد طول نسبی و مقاومت به ضربه با افزایش قلع کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش قلع عمق سختی‌پذیری به مقدار جزیی افزایش می‌یابد.

۹ـ۱۰ـ کروم

اینکه آیا در چدن‌های نشکن عنصر کروم را می‌توان جزء عناصر جزیی به حساب آورد یا خیر بستگی به نوع چدن نشکن مورد نظر دارد. به‌طور کلی عنصر کروم ضمن داشتن قابلیت کاربیدزایی قوی، پرلیت‌زای متوسط نیز می‌باشد. همچنین کروم در مقادیر کم تاثیر قابل توجهی بر مشخصات گرافیت‌ها ندارد ولی با افزایش این عنصر بیش از ۰/۲۵ درصد تعداد گرافیت‌های کروی در واحد سطح کاهش و اندازهٔ متوسط گرافیت‌های کروی کمی افزایش می‌یابد.

در چدن‌های نشکن فریتی سیاه تاب میزان کروم باید در حداقل ممکن در نظر گرفته شود ولی در هر صورت مقدار این عنصر در چدن‌های مزبور نباید از ۰/۴ درصد تجاوز کند. در چدن‌های نشکن فریتی آنیل شده مقدار کروم را می‌توان تا ۰/۱ درصد در نظر گرفت که این میزان حداکثر مقدار کروم مجاز برای این‌گونه چدن‌ها است.

در چدن‌های نشکن پرلیتی استفاده از ۰/۱ درصد کروم مجاز می‌باشد و در چدن‌های نشکن که نیاز به مقاومت در برابر سایش دارند می‌توان کروم را تا ۰/۳ درصد نیز افزایش داد. به‌طور کلی با افزایش عنصر کروم میزان کاربید کروم و پرلیت افزایش یافته و در نتیجه استحکام کششی و تنش تسلیم و سختی تا حدودی افزایش یافته و درصد ازدیاد طول نسبی و انرژی شکست کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش کروم قابلیت سختی‌پذیری افزایش می‌یابد.

۱۰ـ۱۰ـ نیکل

شاید بتوان گفت که مهمترین عنصر شناخته شده در چدن‌های نشکن عنصر نیکل باشد. زیرا نیکل بدون معایبی که سایر عناصر ایجاد می‌کنند، استحکام را افزایش می‌دهد. نیکل عنصری گرافیت‌زا بوده و میزان گرافیت‌زایی آن، $\frac{1}{3}$ عنصر سیلیسیم می‌باشد. همچنین نیکل عنصر پرلیت‌زای ضعیفی نیز می‌باشد، به‌طور کلی با افزایش عنصر نیکل در چدن‌های نشکن فریتی ـ پرلیتی، تعداد گرافیت‌های کروی در واحد سطح افزایش و اندازه متوسط گرافیت‌ها کاهش می‌یابد، همچنین با افزایش نیکل میزان فاز پرلیت افزایش می‌یابد و در نتیجه استحکام کششی، تنش تسلیم و سختی افزایش و درصد ازدیاد طول نسبی و انرژی ضربه کاهش می‌یابد. همچنین از عنصر نیکل برای افزایش عمق سختی پذیری استفاده فراوان می‌شود. عنصر نیکل به همراه عنصر مولیبدن عمق سختی‌پذیری چدن‌های نشکن را افزایش می‌دهند.

۱۱ـ۱۰ـ مولیبدن

مولیبدن یکی از عناصری است که به منظور افزایش سختی‌پذیری در

چدن‌های‌نشکن اضافه می‌گردد. مولیبدن ضمن دارابودن خاصیت کاربیدزایی، پرلیت‌زای متوسطی نیز می‌باشد. همچنین مولیبدن درمقادیر کم (حداکثر ۰/۱ درصد) تاثیر قابل توجهی بر مشخصات گرافیت‌های کروی ندارد ولی با افزایش این عنصر تعداد گرافیت‌های کروی در واحد سطح کاهش و اندازه گرافیت‌های کروی کمی افزایش می‌یابد. به‌طور کلی با افزایش عنصر مولیبدن میزان کاربید مولیبدن و پرلیت افزایش یافته و در نتیجه استحکام کششی، تنش تسلیم و سختی افزایش یافته و درصد ازدیاد طول نسبی و انرژی شکست کاهش می‌یابند. علاوه بر این مولیبدن قابلیت سختی‌پذیری چدن‌های نشکن را افزایش می‌دهد. عنصر مولیبدن عمدتاً به همراه عناصر مس و نیکل در جهت افزایش سختی پذیری به‌کار می‌رود.

۱۲ـ۱۰ـ سرب

عنصر سرب به دلیل اختلالاتی که در شکل گرافیت‌های کروی ایجاد می‌نماید، تاثیر مضری بر خواص مکانیکی چدن‌های نشکن دارد. به نحوی که وجود ۰/۰۵ درصد از این عنصر باعث تغییر شکل گرافیت‌ها از حالت کروی به حالت فشرده می‌شود. البته تاثیر مضر این عنصر را می‌توان از طریق اضافه نمودن مقادیر مشخصی از عنصر سریم خنثی نمود. در چدن‌های نشکن تاثیر مضر عنصر سرب که عمدتاً سبب ایجاد اُفت قابل ملاحظه‌ای در میزان انعطاف‌پذیری می‌گردد، با وجود ۰/۰۱ درصد از این عنصر در غیاب سریم ظاهر می‌گردد. در حالی که وجود ۰/۰۲ درصد سریم قادر به خنثی نمودن کامل تاثیر مضر فوق و ابقاء گرافیت‌های کروی و خواص مکانیکی اولیه می‌باشد. عنصر سریم را می‌توان به همراه آلیاژ کروی کننده حاوی منیزیم و یا به‌صورت میش متال که حاوی دیگر عناصر نادر خاکی می‌باشد به مذاب چدن اضافه نمود.

۱۳ـ ۱۰ـ تیتانیم

چگونگی تاثیر تیتانیم در چدن‌های نشکن بستگی زیادی به میزان منیزیم باقی‌مانده، ضخامت قطعه ریختگی و دیگر عناصر جزیی دارد. به هر صورت و در هر شرایط خاص وجود این عنصر در حد ۰/۰۲ درصد و در غیاب سریم می‌تواند سبب ایجاد اختلال در شکل گرافیت‌ها گشته و در نتیجه افت خواص مکانیکی را موجب می‌گردد. اصولاً حد مجاز تیتانیم در چدن‌های نشکن که حاوی ۰/۰۴ تا ۰/۰۵ درصد منیزیم می‌باشد را می‌توان ۰/۰۵ درصد درنظر گرفت، ولی در صورت استفاده از فروسیلیسیم منیزیم حاوی سریم می‌توان میزان تیتانیم را تا ۰/۱ درصد افزایش داد. افزایش تیتانیم تا این مقدار باعث کاهش تعداد گرافیت‌های کروی در واحد سطح، افزایش اندازه گرافیت‌های کروی، افزایش جزیی پرلیت و افزایش کاربیدهای تیتانیم در ساختار زمینه می‌شود. به‌طور کلی و بر مبنای گزارشات موجود با افزایش میزان منیزیم باقیمانده تعداد گرافیت‌های غیرمتعارف حاصل از وجود عنصر تیتانیم با آهنگ یکنواختی کاهش یافته و کاهش ضخامت قطعه ریختگی نیز کاهش تدریجی تعداد گرافیت‌های غیرمتعارف را به‌دنبال دارد. در هر صورت تاثیر مضر عنصر تیتانیم را می‌توان از طریق افزودن حدود ۰/۰۴ درصد سریم خنثی و بدین ترتیب گرافیت‌های کروی و خواص مکانیکی اولیه را ابقاء نمود.

۱۴ـ ۱۰ - وانادیم

این عنصر جزء عناصر کاربیدزا و پرلیت‌زای قوی می‌باشد. به‌طور کلی با افزایش وانادیم تا ۰/۰۵ درصد تعداد گرافیت‌های کروی در واحد سطح کاهش، اندازه متوسط گرافیت‌ها افزایش و میزان پرلیت افزایش می‌یابد. در چدن‌های با ۰/۰۵ درصد وانادیم،

کاربیدهای وانادیم به‌صورت رشته‌هایی در مرز دانه‌های پرلیت مشاهده می‌گردد، وانادیم در مقادیر جزیی تاثیر مضری بر شکل گرافیت‌های کروی ندارد و باعث افزایش قابلیت سختی‌پذیری چدن‌های نشکن نیز می‌گردد.

۱۵ـ۱۰ـ آنتیموان

آنتیموان عنصری است که کمتر در شمش‌ها و قراضه‌های فولادی مورد استفاده در تولید چدن‌های نشکن یافت می‌گردد، مگر در مواردی که عمدتاً به منظور خاصی به مذاب چدن افزوده شود. این عنصر تشکیل گرافیت‌های غیر کروی را ترغیب نموده، به همین دلیل و با وجودی که تاثیر فوق از طریق اضافه نمودن عنصر سریم خنثی می‌گردد، جزء عناصر مضر محسوب می‌شود. این عنصر در عین حال موجب تشکیل پرلیت و پایداری آن نیز می‌گردد. وجود آنتیموان تا ۰/۰۲ درصد در غیاب عنصر سریم گرافیت‌های غیرکروی و غیر متعارف ایجاد می‌نماید.

تاثیر مضر عنصر آنتیموان را می‌توان از طریق افزودن مقادیر مشخصی از عنصر سریم خنثی نمود.

۱۶ـ۱۰ـ آرسنیک

آرسنیک عنصری است که در چدن‌های نشکن تاثیری بسیار مشابه تاثیر عنصر قلع داشته ولی در مقایسه با آن پرلیت‌زای ضعیف‌تری می‌باشد، به گونه‌ای که برای تشکیل مقدار معینی پرلیت، مقدار آرسنیک باید حدود ۲ برابر مقدار قلع در نظر گرفته شود. معمولاً در چدن‌های نشکن مقدار آرسنیک کمتر از ۰/۰۱ درصد درنظر گرفته می‌شود ولی میزان این عنصر را می‌توان بدون آنکه تاثیر مضری بر کروی شدن گرافیت‌ها داشته

باشد تا حدود ۰/۰۹ درصد افزایش داد، البته اگر میزان آرسنیک از ۰/۱۲ درصد تجاوز نماید موجب تشکیل گرافیت‌های غیرمتعارف می‌گردد.

۱۷ـ۱۰ـ بیسموت

بیسموت عنصری است که به‌طور معمول در چدن‌های نشکن وجود ندارد ولی اگر چنانچه میزان این عنصر در چدن‌های مذکور از حد ۰/۰۰۱ درصد تجاوز نماید موجب تشکیل گرافیت‌های نامطلوب و غیرمتعارف می‌شود. وجود بیسموت به مقدار ۰/۰۰۶ درصد کاملاً از تشکیل گرافیت کروی جلوگیری می‌نماید. همچنین مقدار بیسموت مجاز بستگی به ضخامت قطعه ریختگی دارد. به نحوی که در مقاطع نازک‌تر می‌توان میزان بیسموت را تا ۰/۰۰۲ درصد افزایش داد. تاثیر مضر بیسموت را می‌توان از طریق افزودن مقدار مشخصی از سریم خنثی نمود و بدین ترتیب از وجود بیسموت اثرات سودمندی نیز حاصل می‌شود.

حضور توأم بیسموت و سریم در چدن‌های نشکن باعث افزایش تعداد گرافیت‌های کروی در واحد سطح و کاهش اندازه متوسط گرافیت‌های کروی می‌گردد و منجر به کاهش غلظت عناصری نظیر منگنز، سیلیسیم، کروم در مرز سلهای یوتکتیکی می‌شود. اضافه نمودن بیسموت به چدن نشکن در حضور سریم، استحکام کششی را افزایش می‌دهد ولی تاثیر مهمی بر خواص ضربه‌ای چدن‌های مذکور نمی‌گذارد.

۱۸ـ۱۰ـ تلوریم

تلوریم عضوی کاربیدزا و پرلیت‌زا می‌باشد و به‌طور معمول در چدن‌های نشکن یافت نمی‌شود. ولی اگر چنانچه میزان این عنصر از ۰/۰۵ درصد تجاوز نماید موجب

تشکیل گرافیت‌های کروی غیرمتعارف می‌گردد. تاثیر مضر تلوریم را می‌توان با افزودن مقدار مشخصی از سریم خنثی نمود.

۱۹ـ۱۰ـ آلومینیم

آلومینیم یک عنصر فریت‌زا می‌باشد. آلومینیم در مقادیر کم، مشابه تیتانیم عمل می‌نماید و باعث تشکیل گرافیت‌های غیرمتعارف می‌گردد. در نتیجه مقدار مجاز آن را ۰/۰۵ درصد در نظر می‌گیرند. اثر مخرب آلومینیم را در مقادیر کم می‌توان با استفاده از مقدار مشخصی از عنصر سریم برطرف نمود. آلومینیم را می‌توان بیش از حد مجاز آن نیز به مذاب افزود. ولی برای برطرف نمودن اثر مخرب آن باید از عناصر نیکل، قلع و یا مس استفاده نمود. در ضمن چدن‌های نشکن پرآلومینیم برای کاربرد دماهای بالا (مقاوم به اکسیداسیون) بسیار مناسب می‌باشد.

۲۰ـ۱۰ـ هیدروژن

هیدروژن عامل اصلی ایجاد حفره‌های گازی به‌خصوص حفره‌های زیر سطحی در چدن‌های نشکن می‌باشد. منبع اصلی هیدروژن غالباً ترکیب آلومینیم موجود در چدن مانند فروسیلیسیم که حاوی ۳ ـ ۱ درصد آلومینیم می‌باشد و یا بخار آب ایجاد شده در سطح تماس بین مذاب و قالب می‌باشد. اثر آلومینیم در ایجاد چنین نقائصی بستگی به میزان آن در چدن مذاب دارد. وجود آلومینیم در محدوده ۰/۲ ـ ۰/۰۱ درصد امکان تشکیل حفره‌های گازی را بسیار زیاد می‌نماید ولی افزایش آلومینیم بیش از ۰/۲ درصد نه تنها کمکی به ایجاد حفره نمی‌نماید بلکه حتی از بروز آن با ایجاد یک قشر محافظ جلوگیری می‌نماید.

۲۱ـ۱۰ـ تنگستن

• تنگستن عنصری پرلیت‌زا و کاربیدزا می‌باشد. تاثیر تنگستن مشابه تاثیر وانادیم می‌باشد و با افزایش آن تعداد گرافیت‌های کروی در واحد سطح کاهش، اندازه متوسط گرافیت‌های کروی افزایش و میزان پرلیت و کاربید در ساختار میکروسکوپی افزایش می‌یابد. به‌طور کلی اثر تنگستن بر ریزساختار و خواص مکانیکی چدن‌های نشکن در حالت سیاه تاب بدین‌گونه است که با افزایش درصد تنگستن در چدن نشکن کاربیدهای غنی از تنگستن ـ آهن با سختی بالا در زمینه تشکیل می‌گردد. با افزایش تنگستن درصد پرلیت و درصد حجمی کاربیدهای غنی از تنگستن ـ آهن زمینه افزایش و تعداد گرافیت‌های کروی در واحد سطح و میزان کروی شدن گرافیت‌ها کاهش می‌یابد. با افزایش تنگستن استحکام کششی و درصد ازدیاد طول نسبی کاهش می‌یابد. با افزایش تنگستن انرژی ضربه کاهش اما سختی ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. تنگستن در مقادیر جزیی باعث افزایش سختی‌پذیری چدن‌های نشکن می‌گردد.

۲۲ـ۱۰ـ بُر

بُر عنصر کاربیدزا بسیار قوی می‌باشد که به‌طور معمول در چدن‌های نشکن یافت نمی‌شود. ولی اگر چنانچه میزان آن از ۰/۰۱ درصد تجاوز نماید ضمن تشکیل کاربید موجب تشکیل گرافیت‌های غیرمتعارف نیز می‌گردد.

۲۳ـ۱۰ـ ازت

حداکثر مقدار اَزت حل شده در قطعات ریختگی چدن نشکن ۱۵۰ PPm گزارش شده است وجود این مقدار ازت در چدن‌های نشکن ضمن تشکیل گرافیت‌های

غیرمتعارف باعث ایجاد عیوب شکافی نیز می‌گردد. اثر مضر ازت را می‌توان با افزودن مقادیر مشخص تیتانیم یا آلومینیم خنثی نمود.

۲۴ـ۱۰ـ سریم

سریم عنصری است که باعث کروی شدن گرافیت‌ها می‌شود، و به این ترتیب بر تعداد و اندازه گرافیت‌های کروی اثر می‌گذارد. با افزایش سریم تعداد گرافیت‌های کروی افزایش و اندازه متوسط آنها کاهش می‌یابد.

افزایش سریم باید متناسب با گوگرد مذاب باشد. افزایش بیش از حد سریم به مذاب باعث تشکیل کاربید می‌شود، همچنین عنصر سریم در بسیاری مواقع به‌منظور حذف یا به حداقل رساندن اثر مضر بعضی از عناصر به مذاب اضافه می‌گردد.

۲۵ـ۱۰ـ کلسیم

کلسیم همانند سریم بر تعداد و اندازه گرافیت‌های کروی اثر می‌گذارد. با افزایش کلسیم تعداد گرافیت‌های کروی در واحد سطح افزایش و اندازه متوسط آنها کاهش می‌یابد. افزایش بیش از حد کلسیم به مذاب شرایط را برای تشکیل کاربید مهیا می‌نماید.

فصل ۱۱

عملیات حرارتی چدن‌های نشکن

۱ـ۱۱ـ مقدمه

به‌دلیل تنوع خواص چدن‌های نشکن طراحان و مصرف کنندگان امکان استفاده وسیعی از این خواص را دارند، همچنین دامنه کاربرد چدن‌های نشکن با انجام سیکل‌های مختلف عملیات حرارتی بسیار وسیع‌تر نیز می‌گردد، بنابراین عملیات حرارتی به عنوان ابزار ارزشمندی برای توسعه و کاربرد این آلیاژها به‌شمار می‌رود. به‌طور کلی قطعات ریخته‌شده از جنس چدن نشکن به دلایل زیر تحت عملیات حرارتی قرار می‌گیرند.

- تنش گیری
- بهبود قابلیت ماشین‌کاری
- بهبود خواص ضربه و انعطاف‌پذیری
- افزایش استحکام کششی و مقاومت به سایش

به‌طور کلی قطعات چدن نشکن تحت عملیات‌های حرارتی زیر قرار می‌گیرند:

- آنیل کردن
- نرماله کردن
- آستمپرینگ
- سخت کردن و برگشت دادن (کوئنچ و تمپرکردن)
- سخت‌کاری سطحی
- تنش گیری

۲ـ۱۱ـ محدوده دمای بحرانی

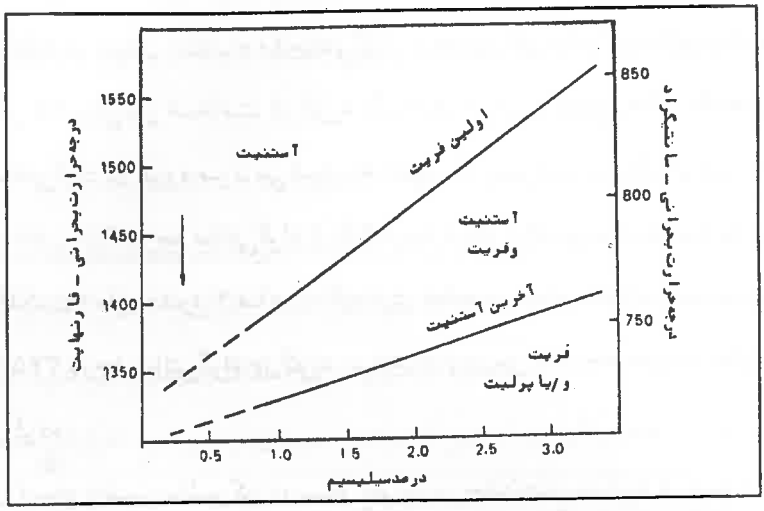
دمای بحرانی چدن‌ها با دمای بحرانی فولادهای کربنی متفاوت است و محدوده وسیع‌تری دارد. به علت وجود مقدار قابل ملاحظه‌ای عنصر سیلیسیم در چدن‌ها به جای آلیاژ دوتایی، آلیاژ سه‌تایی آهن ـ کربن ـ سیلیسیم حاصل می‌شود، وجود عنصر سوم یعنی سیلیسیم سبب می‌شود که تحول یوتکتوئیدی به جای یک دمای ثابت در یک محدوده دمایی انجام شود.

علاوه بر سیلیسیم، عناصر آلیاژی دیگر نظیر منگنز، فسفر، نیکل، مس و... دمای بحرانی را تغییر می‌دهند. فسفر و کروم همانند سیلیسیم عمل می‌کنند در حالی که نیکل و منگنز باعث کاهش دماهای بحرانی خواهند شد. شکل ۱ ـ ۱۱ در صفحه بعد اثر سیلیسیم را بر محدوده دمای بحرانی چدن‌های نشکن نشان می‌دهد.

۳ـ۱۱ـ عملیات حرارتی آنیل

هنگامی که حداکثر انعطاف‌پذیری و بهترین خصوصیات ماشین‌کاری موردنیاز بوده

و به استحکام کششی و سختی بالا نیاز نباشد، چدن‌های نشکن را تحت عملیات حرارتی آنیل کردن قرار می‌دهند.



شکل ۱ ـ ۱۱ ـ اثر سیلیسیم بر روی محدوده دمای بحرانی برای چدن‌های نشکن در شرایطی که با سرعتی معادل ۵ درجه سانتی‌گراد برساعت سردشوند

به‌طور کلی آنیل کردن باعث تغییرات زیر می‌گردد:

۱ ـ اگر کاربیدهای یوتکتیکی موجود باشند از بین رفته و همزمان ریزساختار فریتی به‌وجود می‌آید.

۲ ـ اگر قطعات دارای ریزساختار پرلیتی یا مخلوط فریت ـ پرلیت باشند، ریزساختارشان کاملاً فریتی می‌شود.

دو سیکل مختلف برای آنیل کردن چدن‌های نشکن مورد استفاده قرار می‌گیرد:

الف) قطعه در دمای ۹۵۰ ـ ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک‌ساعت و به‌علاوه یک ساعت به ازاء هر ۲۵ میلی‌متر ضخامت در کوره نگهداری می‌شود، سپس قطعه تا دمای ۶۹۰ درجه سانتی‌گراد سردشده (به نحوی که هیچ گونه تنشی در آن ایجاد نشود) و به

مدت ۵ ساعت و به علاوه یک ساعت به ازاء هر ۲۵ میلی متر ضخامت در این دما نگهداشته می‌شود سپس نمونه در کوره سرد می‌شود.

ب) قطعه در دمای ۹۵۰ ـ ۹۰۰ سانتی‌گراد به مدت یک ساعت به‌علاوه یک ساعت به ازاء هر ۲۵ میلی‌متر ضخامت در کوره نگهداری می‌شود. سپس قطعه تا دمای ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد در کوره سرد می‌شود، به نحوی که سرعت سردکردن در محدوده دمایی ۷۸۰ ـ ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد از ۹۵ درجه سانتی‌گراد در ساعت تجاوز ننماید. بعد از گذشت زمان حدود ۲ ساعت نگهداری قطعه در دمای ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد قطعه تا ۳۴۵ درجه سانتی‌گراد در کوره سردشده و سپس تا درجه حرارت اتاق در هوا سرد می‌گردد.

برای ایجاد قابلیت ماشین‌کاری بسیار خوب در چدن‌های نشکن، درصد منگنز و فسفر و عناصر آلیاژی نظیر کروم، نیکل، مولیبدن باید حداقل مقدار ممکن باشند، زیرا عناصر فوق عملیات آنیل کردن را به تاخیر می‌اندازند. نقش عناصر فوق اکثراً تشکیل و یا تثبیت کاربید اولیه می‌باشد. به نحوی که تجزیه آنها غیرممکن می‌باشد، به‌عنوان مثال حضور ۰/۲۶ درصد کروم منجر به تشکیل کاربیدهای اولیه‌ای می‌گردد که حتی با آنیل کردن به مدت ۲ تا ۲۰ ساعت در ۹۲۵ درجه سانتی‌گراد نیز تجزیه نخواهدشد. عناصر دیگر تثبیت کننده کاربید عبارتند از مولیبدن بیشتر از ۰/۳ درصد و بُر بیشتر از ۰/۰۰۲ درصد.

۴ ـ ۱۱ ـ نرماله کردن

نرماله کردن باعث افزایش قابل ملاحظه‌ای در استحکام کششی می‌شود. در اثر نرماله کردن تغییراتی به شرح زیر در ساختار حاصل می‌گردد.

۱ ـ چدن‌هایی با ریزساختار فریتی یا مخلوط فریت ـ پرلیت به چدن‌هایی با ریزساختار پرلیتی تبدیل می‌شوند.

۲ ـ در چدن‌هایی که ریزساختارشان ذاتاً پرلیتی باشند، لایه‌های پرلیتی نازک‌تر شده و خواص مکانیکی تغییر می‌کند.

عملیات نرماله کردن شامل گرم کردن قطعه تا دمای ۹۴۰ ـ ۸۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت به ازای هر ۲۵ میلی‌متر ضخامت می‌باشد. پس از این مدت قطعات از کوره خارج شده و در هوای فشرده سرد می‌شوند. افزایش عناصر آلیاژی تا حد متوسط باعث افزایش قابل ملاحظه سختی‌پذیری قطعات ضخیم می‌شود. معمولاً نیکل به عنوان عنصر آلیاژی ترجیح داده می‌شود، زیرا موجب افزایش استحکام کششی چدن نشکن با هر ضخامت مقطع می‌شود. مولیبدن به همراه نیکل در افزایش سختی و استحکام موثر می‌باشد، لذا برای قطعات ضخیم‌تر توصیه می‌گردد که از عناصر مولیبدن و نیکل استفاده شود.

جدول ۱ ـ ۱۱ ـ شرایط عملیات حرارتی نرماله کردن چدن‌های نشکن

ضخامت قطعه برحسب میلی‌متر	درجه حرارت نرماله کردن (سانتی‌گراد)	زمان نرماله کردن (ساعت)
کمتر از ۱۳	حداقل ۸۷۰	۱
۲۵ ـ ۱۳	۹۴۰	۱
بیشتر از ۲۵	۹۴۰	۱

ذکر این نکتهِ ضروری است که در نرماله کردن، درجه حرارت نمونه‌ها، موقع خروج از کوره اثر قابل ملاحظه‌ای بر سختی نهایی دارد. در شرایطی که درجه حرارت

نرماله‌کردن از ۸۴۵ درجه سانتی‌گراد کمتر باشد، درصد فریت در ریزساختار میکروسکوپی نهایی به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته و در نتیجه سختی شدیداً کاهش می‌یابد.

۵ـ۱۱ـ آستمپرینگ

آستمپرینگ فرآیند بخصوصی از عملیات حرارتی به منظور ایجاد ساختار بینیتی می‌باشد و هدف از آن افزایش خواص مکانیکی قطعات تولیدی می‌باشد.

به‌طور کلی عملیات حرارتی آستمپرینگ عبارت است از گرم کردن قطعه تا منطقه آستنیته و نگه‌داشتن در این دما برای مدت زمان معین، سپس خنک کردن در یک حمام مذاب به‌منظور انجام تحول بینیتی و ایجاد ساختار بینیت در قطعات. خواص چدن‌های نشکن آستمپر شده در ارتباط مستقیم با ساختار میکروسکوپی آنها که در نتیجه آستمپرینگ به‌وجود می‌آید، می‌باشد به‌طوری که با تغییر درجه حرارت آستمپر این خواص در محدوده وسیعی تغییر خواهد نمود. به‌طور کلی چدن‌های نشکن آستمپر شده را می‌توان به دو دسته اصلی تقسیم نمود:

۱ ـ دسته اول چدن‌هایی که تحولشان در درجه حرارت‌های پایین صورت می‌گیرد و ساختارشان از بینیت پایینی تشکیل شده است، این گروه از چدن‌های نشکن آستمپرشده بسیار سخت بوده ($\geq$ ۴۰۰ HB) و استحکام بالایی دارند.

۲ ـ دسته دوم چدن هایی که تحولشان در درجه حرارت‌های بالا صورت می‌گیرد و ساختارشان از بینیت بالایی تشکیل شده است، این گروه از چدن‌های نشکن آستمپر دارای سختی متوسط (۳۵۰ ـ ۲۶۰ HB) بوده و دارای استحکام خوبی می‌باشند. به‌علاوه این نوع چدن‌ها از انعطاف‌پذیری و مقاومت به ضربه خوبی برخوردارند،

همچنین استحکام خستگی و مقاومت به سایش و قابلیت ماشین‌کاری این گروه از چدن‌ها نسبتاً خوب می‌باشد. لازم به‌ذکر است که تهیه چدن‌های بینیتی که در ابتدا در مورد آنها اشاره کردیم عموماً از دو روش زیر صورت می‌پذیرد.

۱ ـ تنظیم دقیق ترکیب شیمیایی مذاب و کنترل سرعت انجماد و سردشدن، به نحوی که ساختار قطعه پس از انجماد شامل گرافیت کروی و زمینه بینیتی باشد.

۲ ـ با استفاده از عملیات حرارتی، در این روش ترکیب شیمیایی مذاب به نحوی تنظیم می‌شود که ساختار حاصل از ریخته‌گری شامل گرافیت کروی و پرلیت باشد، سپس با آستمپرکردن پرلیت را به بینیت تبدیل می‌نمایند.

چدن‌های نشکن بینیتی که به این روش (روش دوم) تهیه می‌شوند، از خواص مکانیکی بهتری برخوردار می‌باشند. به‌علاوه دامنه خواص مکانیکی این نوع چدن‌ها بسیار وسیع‌تر می‌باشد.

۶ـ۱۱ـ سخت‌کردن و برگشت دادن (کوئنچ و تمپرکردن)

در اثر این عملیات ساختاری با حداکثر سختی و مقاومت به سایش به‌دست می‌آید، سختی نهایی بستگی به انتخاب صحیح دمای برگشت دادن دارد.

عملیات سخت‌کردن شامل، گرم کردن قطعه تا دمای ۹۵۰ ـ ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت به ازای هر ۲۵ میلی‌متر ضخامت می‌باشد، پس از این مدت قطعات در آب یا روغن خنک می‌شوند. معمولاً روغن به عنوان محیط خنک کننده جهت کاهش تنش‌ها ترجیح داده می‌شود. پس از خنک کردن قطعات تحت عملیات برگشت دادن زیر دمای بحرانی قرار می‌گیرند و هدف از این عمل کاهش تنش‌های داخلی و کاهش مقدار آستنیت باقی‌مانده در قطعات ریختگی می‌باشد. انتخاب دما و زمان برگشت دادن

بستگی به حداکثر سختی موردنظر دارد. سختی‌پذیری قطعات را می‌توان با افزودن عناصر آلیاژی تغییر داد.

۷ـ۱۱ـ سخت‌کاری سطحی

چدن‌های نشکن را می‌توان به سهولت تحت عملیات سخت‌کاری سطحی به روش شعله‌ای و یا القایی قرار داد، معمولاً چدن‌های نشکن با ریزساختار پرلیتی بر چدن‌هایی با ریزساختار فریتی برای سخت‌کاری سطحی ترجیح داده می‌شوند، عملیات سخت‌کاری سطحی برای چدن‌های نشکن معمولاً برای قطعات سنگین نظیر غلطک‌ها و چرخ دنده‌ها و... به‌کار می‌روند.

چدن‌هایی که ساختار میکروسکوپی آنها عاری از هرگونه فریت آزاد باشد را توسط این روش به راحتی می‌توان سخت نمود. برای این کار زمان لازم برای نگهداری در درجه حرارت آستنیته کردن بسیار کوتاه می‌باشد. در صورتی که مقدار کمی فریت در ریزساختار میکروسکوپی وجود داشته باشد، باز هم نتایج حاصل از سخت کردن سطحی به روش‌های فوق رضایت‌بخش می‌باشد. ولی در صورتی که زمینه کاملاً فریتی باشد، زمان نگهداری در درجه حرارت آستنیته کردن باید آنقدر افزایش داده شود تا انحلال کربن از ذرات گرافیت، نفوذ و توزیع آن در آستنیت به حدی برسد که سختی موردنظر به‌دست می‌آید.

جدول ۲ ـ ۱۱ محدود سختی برای چدن‌های نشکن که با استفاده از روش صحیح سخت‌کردن سطحی و کنترل درجه حرارت آستنیته کردن در محدوده حرارتی ۸۴۵ تا ۸۷۰ درجه سانتی‌گراد سخت شده‌اند را نشان می‌دهد.

جدول ۲ ـ ۱۱ ـ محدوده سخت کردن برای چدن‌های نشکن

ریزساختاراولیه	عملیات قبل از سخت کردن سطحی	محیط سردکننده پس از آستنیته کردن	سختی HRC
فریتی	آنیل کامل	آب	۳۵ - ۴۵
فریتی - پرلیتی	تنش‌گیری	هوا	۴۰ - ۴۵
فریتی - پرلیتی	تنش‌گیری	آب	۵۰ - ۵۵
عمدتاً پرلیتی	تنش‌گیری	آب	۵۸ - ۶۲

۸ ـ ۱۱ ـ تنش‌گیری

تولید قطعات ریختگی عاری از تنش‌های ناشی از خنک‌شدن پس از انجماد تقریباً غیرممکن است، در اکثر موارد مقدار این تنش‌ها کم می‌باشد و اهمیتی ندارد ولی گاهی اوقات مقدار قابل توجهی از این تنش‌ها ایجاد می‌شود که باعث تاب برداشتن قطعه یا ترک‌خوردن آنها می‌گردد، چدن‌های نشکن را می‌توان در محدودهٔ دمایی ۶۸۰ ـ ۵۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار داد و تنش‌گیری نمود. محدودهٔ بالایی دما جهت حذف کلیه تنش‌های اضافی می‌باشد اما تنش‌گیری در محدودهٔ دمایی بالا باعث کاهش جزیی سختی و استحکام کششی چدن‌های نشکن می‌شود. به‌طور کلی محدودهٔ درجه حرارت‌های پیشنهادی برای انواع مختلف چدن‌های نشکن در جدول ۳ ـ ۱۱ نشان داده شده است.

جدول ۳ ـ ۱۱ ـ محدودهٔ درجه حرارت‌های پیشنهادی، تنش‌گیری برای انواع مختلف چدن‌نشکن

انواع چدن‌های نشکن	درجه حرارت (سانتی‌گراد)
چدن‌های نشکن غیرآلیاژی	۵۱۰ - ۵۷۰
چدن‌های نشکن کم آلیاژی	۵۷۰ - ۶۰۰
چدن‌های نشکن پرآلیاژی	۶۰۰ - ۶۵۰
چدن‌های نشکن آستنیتی	۶۲۰ - ۶۸۰

زمان موردنیاز برای درجه حرارت‌های ارائه شده بستگی به دمای مورد استفاده دارد، ولی زمان یک ساعت به‌علاوه یک ساعت به ازاء هر ۲۵ میلی‌متر ضخامت مناسب می‌باشد. سردکردن قطعه از دمای تنش‌گیری باید یکنواخت باشد تا از ایجاد مجدد تنش در قطعات ریختگی جلوگیری شود. قطعات ریختگی باید تا درجه ۲۹۰ درجه سانتی‌گراد در کوره و سپس در هوا سرد شوند.

فصل ۱۲

چدن نشکن آستمپر

۱ـ ۱۲ـ مقدمه

در مواردی که سختی و استحکام کششی بالاتری نیاز باشد می‌توان از عملیات حرارتی آستمپرینگ، برای چدن‌ها و به‌خصوص برای چدن نشکن استفاده نمود. با عملیات حرارتی آستمپرینگ، چدنی تولید می‌گردد که علاوه بر داشتن استحکام بالا از انعطاف‌پذیری مناسب و مقاومت به سایش خوبی برخوردار باشد.

ریزساختار میکروسکوپی چدن‌های آستمپر از نوع بینیتی است و نوع چدن‌نشکن را پس از این گونه عملیات به نام ADI* می‌شناسند. این نوع چدن‌ها همان‌طور که اشاره شد از خواص مکانیکی بهتری برخوردار هستند به طوری که با انعطاف‌پذیری و چقرمگی یکسان، استحکام کششی چدن‌های نشکن آستمپر شده را به سادگی می‌توان تا دو برابر استحکام کششی چدن‌های نشکن معمولی افزایش داد به‌علاوه این نوع

---

* - ADI: Austempered Ductile Iron

چدن‌های قابلیت کار سختی در سطح را داشته، از این رو استحکام خستگی و مقاومت به سایش بسیار خوبی دارند. خواص بسیار عالی این نوع چدن‌ها، مستقیماً ناشی از ریزساختار میکروسکوپی منحصر به فرد حاصل از آستمپر کردن آنها می‌باشد.

۲ـ ۱۲ـ فرآیند آستمپرینگ

همان‌طوری در بالا ذکر شد این فرآیند از جمله عملیاتی است که جهت بهبود خواص مکانیکی برروی چدن نشکن انجام می‌گیرد، لذا برای توضیح هرچه بهتر موضوع به تحلیل و بررسی این فرآیند می‌پردازیم.

به‌طور کلی فرآیند آستمپرکردن شامل چهار مرحله می‌باشد:

الف) آستنیته نمودن: در این مرحله قطعه تا درجه حرارت آستنیته کردن (۹۲۵ ـ ۸۲۵ درجه سانتی‌گراد) گرم می‌شود که زمان نگهداری در این درجه حرارت به اندازه‌ای است که کربن به‌طور یکنواخت در ساختار زمینه پخش شود.

ب) سردکردن سریع از درجه حرارت آستنیته کردن تا محدودهٔ تحول بینیت: سردکردن قطعه در این مرحله از درجه حرارت آستنیته کردن باید به نحوی باشد که از تشکیل فریت و پرلیت جلوگیری به عمل آید.

ج) نگهداری درجه حرارت آستمپرکردن: برای این منظور قطعات در درجه حرارت ۲۵۰ ـ ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت زمان لازم نگه داشته می‌شوند.

د) سردکردن قطعه تا درجه حرارت محیط: در این مرحله به‌منظور جلوگیری از به‌وجود آمدن تنش در قطعات، سرعت سرد کردن تا درجه حرارت محیط بایستی تا حد امکان کم باشد.

۳ـ ۱۲ـ تحول بینیتی

• تحول بینیتی در چدن‌های نشکن با فولادها یکسان نمی‌باشد. در اغلب فولادها در نتیجه آستمپرینگ یک ساختار بینیتی شامل رشته‌های سوزنی شکل فریت و کاربید که به‌طور همزمان از آستنیت تشکیل شده‌اند به‌وجود می‌آید. در چدن‌های نشکن تحول بینیتی یک تحول دو مرحله‌ای محسوب می‌شود، زیرا در ضمن آستمپرکردن فاز فریت جوانه‌زده و در داخل آستنیت شروع به رشد می‌نماید، در همین زمان کربن از فریت در حال رشد خارج شده و جذب منطقه مجاور که آستنیت می‌باشد، می‌شود، چون مقدار سیلیسیم در چدن زیاد می‌باشد فاز سمنتیتی که معمولاً در اثر تحول بینیتی به‌وجود می‌آید (در فولادها) حذف می‌گردد و در نتیجه با ادامه تحول آستنیت باقیمانده به‌طور مداوم کربنی را که در اثر تشکیل شدن فریت از شبکه خارج می‌شود متوقف می‌نمایند. فریت حاصله در این مرحله به فریت بینیتی معروف می‌باشد.

در ادامه آستنیت اشباع شده از کربن به صورت پایدار نخواهد بود و اگر زمان نگهداری در درجه حرارت آستمپر به اندازه کافی باشد امکان تجزیه آستنیت اشباع از کربن وجود دارد که این پایداری با توجه به مقدار عناصر آلیاژی همراه چدن مشخص می‌شود. با توجه به مطالب ذکر شده، تحول بینیتی در چدن‌های نشکن را می‌توان یک استحاله دو مرحله‌ای محسوب نمود که شامل مراحل زیر می‌باشد:

مرحله اول: تجزیه آستنیت به فریت بینیتی و آستنیت غنی از کربن:

$$\gamma \rightarrow \alpha_B + \gamma_{hc}$$

مرحله دوم: تجزیه آستنیت غنی از کربن به فریت و کاربید:

$$\gamma_{hc} \rightarrow \alpha + \text{Carbide}$$

نکته مهم در عملیات آستمپرینگ این‌جاست که مقادیر نسبی فریت و آستنیت به

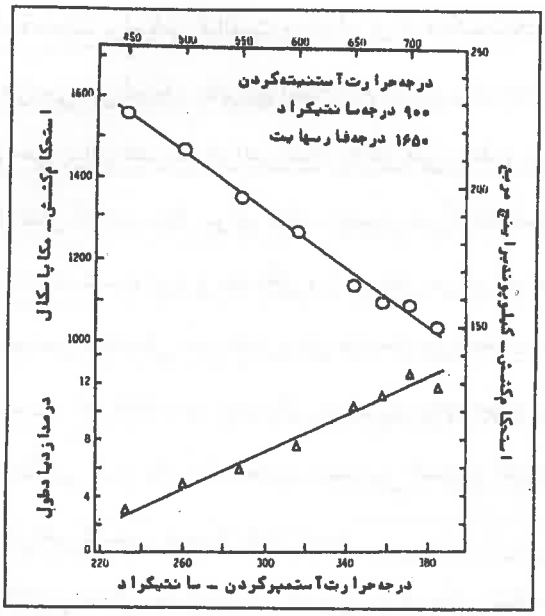
میزان قابل توجه‌ای به دو پارامتر درجه حرارت و زمان آستمپرینگ بستگی دارد. اگر درجه حرارت آستمپر کردن بالاتر از ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد باشد سوزن‌ها با ضخامت نسبتاً درشت و مشخص فریتی بینیتی به‌وجود می‌آیند. که این فریت‌ها محصول مرحله اول تحول می‌باشند و اگر تحول زودتر از موعد لازم قطع شود در هنگام سردکردن مقداری مارتنزیت نیز تشکیل خواهدشد. اگر درجه حرارت آستمپر کردن پایین‌تر از ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد باشد ریزساختار شامل صفحات متناوب فریتی و آستنیتی خواهدبود. با کاهش درجه حرارت آستمپر لایه‌های فریت و آستنیت کوچک‌تر شده و نتیجتاً استحکام کششی افزایش می‌یابد.

۴ ـ ۱۲ ـ خواص مکانیکی

چون نشکن آستمپر از آن دسته موادی است که خواص مکانیکی آن در محدودهٔ وسیعی توسط عملیات حرارتی انتخابی به‌دست می‌آید. شکل ۱ ـ ۱۲ رابطه میان دمای عملیات آستمپرینگ و خواص کششی را نمایش می‌دهد. دمای بالای آستمپرینگ (حدوداً ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد)، چدن نشکن آستمپری با استحکام کششی در محدودهٔ ۱۲۵ الی ۱۵۰ پوند بر اینچ مربع همراه با استحکام خستگی و مقاومت به ضربه خوب ایجاد می‌نماید.

همچنین این چدن قابلیت کار سخت شدن را از طریق یک تحول کرنشی از آستنیت به مارتنزیت را دارا می‌باشد. در دمای تحول پایین‌تر (حدوداً ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد) استحکام کششی و سختی و مقاومت به سایش افزایش می‌یابند ولی مقاومت به ضربه کاهش می‌یابد. بنابراین توسط کنترل نسبتاً ساده شرایط عملیات آستمپر کردن می‌توان از چدن نشکن آستمپر دامنه وسیعی از خواص گوناگون راکه در هیچ یک از آلیاژهای آهنی

یافت نمی‌شود، به‌دست آورد.



شکل ۱ ـ ۱۲ ـ اثر درجه حرارت آستمپرینگ برروی خواص کششی چدن نشکن آستمپر (ADI)

۱ ـ ۴ ـ ۱۲ ـ خواص کششی

همانند سایر استانداردهای چدن نشکن که در فصل مربوط به استانداردها درباره آنها بحث شده، استاندارد A۸۹۷ , ASTM حداقل خواص کششی را برای رده‌های گوناگون چدن نشکن آستمپر مشخص می‌نماید. تولیدکنندگان چدن نشکن آستمپر، بر این عقیده‌اند که نه تنها بایستی آمارگیری داده‌های خواص مکانیکی قطعات صورت پذیرد بلکه گواهی تعهد آنها را در بهبود ممتد کیفیت قطعات باید در نظر گرفت. باید توجه شود که مدول یانگ در کشش برای تمام رده‌های چدن نشکن آستمپر در محدودهٔ $۲۵/۳ \times ۱۰^{۶}$ پوند بر اینچ مربع (۱۷۴ ـ ۱۶۸ گیگا پاسکال) می‌باشد.

۲ ـ ۴ ـ ۱۲ ـ چقرمگی شکست

به‌طور معمول قطعات براساس قابلیت جلوگیری از شکست‌های ناشی از تغییر شکل پلاستیک طراحی می‌شوند، بنابراین استحکام تسلیم یا استحکام کششی تحت عنوان کدهای طراحی برای تشریح خواص مواد به‌کار می‌روند و سپس یک ضریب ایمنی برای مقدار تنش کاری مجاز برای قطعه تعیین می‌گردد. معمولاً در طراحی شکست قطعه در اثر شکست ترد یا خستگی، را در نظر می‌گیرند. در نتیجه چقرمگی شکست یکی از خواص مکانیکی مهم آلیاژ برای طراحان در انتخاب مواد در کاربردها و مصارف حساس است. اما اطلاعات چقرمگی شکست برای چدن نشکن آستمپر کم می‌باشد، چراکه اولاً این آلیاژ یک ماده جدید مهندسی است و اکثر تلاش‌ها در جهت اندازه‌گیری‌های خواص کششی متمرکز شده است.

ثانیاً اینکه در اکثر رده‌های چدن نشکن آستمپر، چقرمگی شکست یک خاصیتی است که به‌طور الاستیک عمل نمی‌کند.

به‌طورکلی هنگامی‌که داده‌های مربوط به خواص چقرمگی چدن‌نشکن آستمپر جمع‌بندی می‌شوند سه نکته مهم آشکار می‌گردد:

الف) با در نظر گرفتن استحکام بالا، چدن نشکن آستمپر چقرمگی بسیار خوبی را دارا می‌باشد.

ب) بالاتر بودن چقرمگی چدن نشکن آستمپر نسبت به چدن‌های نشکن معمولی و برابری یا بالاتربودن آن نسبت به فولادهای ریختگی و آهنگری.

پ) چقرمگی چدن‌نشکن آستمپر شدیداً به ریزساختار بستگی دارد.

چقرمگی شکست چدن نشکن آستمپر در محدودهٔ ۵۰ الی ۷۰ مگاپاسکال مجذور متر می‌باشد که از مقدار چدن نشکن با زمینه مارتنزیت تمپرشده بالاتر است.

۳ ـ ۴ ـ ۱۲ ـ خستگی

همانطور که در شکل ۲ ـ ۱۲ نشان داده شده است خواص خستگی چدن‌های نشکن آستمپر برابر یا بیشتر از مقادیر فولادهای آهنگری می‌باشد. استحکام خستگی چدن نشکن آستمپر در صورت انجام عملیات سطحی مانند: غلطک‌زنی، ساچمه‌زنی یا ماشین‌کاری بعد از عملیات حرارتی به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد.

شکل‌های ۲ ـ ۱۲ و ۳ ـ ۱۲ همچنین نمایانگر آن هستند که چدن‌های نشکن آستمپر تقریباً به وجود فاق حساس هستند و نسبت حساسیت فاق آنها از ۱/۶ ـ ۱/۲ متغیر است. نسبت حساسیت فاق برای فولادهایی با استحکام خستگی برابر چدن نشکن آستمپر در محدودهٔ ۲/۴ ـ ۲/۲ می‌باشد.

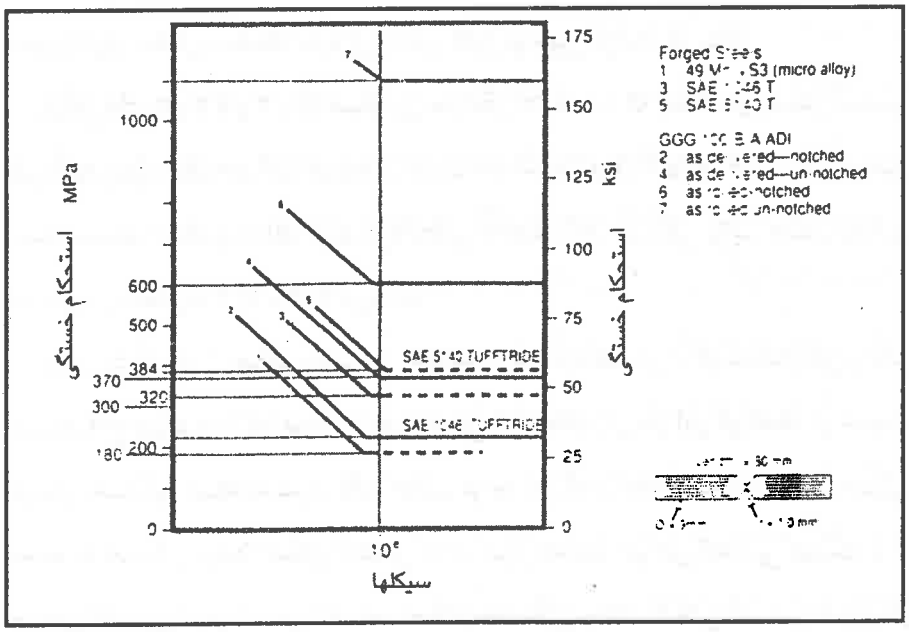
برای پیشگیری از عواقب ناشی از حساسیت به فاق، قطعاتی با گوشه‌های تیز و قائم باید اصلاح شوند و یا در صورت نیاز بایستی از غلطک‌زنی در این گوشه‌ها در جهت افزایش خستگی استفاده نمود. نکته جالب توجه این که برخلاف چدن نشکن معمولی محدودهٔ خستگی چدن نشکن آستمپر بدون شیار همانند خواص کششی نیست و از خواص کششی تبعیت نمی‌کند. استحکام خستگی چدن نشکن آستمپر شیاردار (فاق‌دار) با افزایش استحکام کششی، سریعاً افزایش می‌یابد و در نتیجه چدن نشکن آستمپر با استحکام بالا، پایین‌ترین حساسیت به فاق را دارا می‌باشد.

شکل ۲ ـ ۱۲ در صفحه بعد خواص خستگی چدن ADI با انواع مختلف فولاد فورج شده را به صورت مقایسه‌ای نشان داده است.

۴ ـ ۴ ـ ۱۲ ـ مقاومت به سایش

چدن‌های نشکن آستمپر با دامنه وسیعی از سختی، مقاومت به سایش بالاتری از

سایر آلیاژهای رقیب فراهم می‌آورد. این خاصیت به مهندس طراح اجازه انتخاب ترکیبی از خواص مختلف همچون: استحکام، چقرمگی و مقاومت به سایش را می‌دهد و می‌دانیم که همه این خواص می‌تواند یک قطعه بسیار مناسب را برای کاربردهای ویژه به‌وجود آورد.



شکل ۲ ـ ۱۲ ـ مقایسه خواص خستگی چدن ADI و انواع مختلف فولاد فورج شده

یکی از خصوصیات مهم چدن‌های نشکن آستمپر در شرایط سایش تحول کرنش آستنیت پایدار است. نتیجه این تحول، افزایش قابل توجهی در سختی است، این افزایش در سختی سطح و رابطه آن با ریزساختار علت اصلی کاهش حساسیت مقاومت به سایش به سختی است. با کاهش در سختی چدن نشکن آستمپر (با افزایش دمای آستمپرینگ)، مقدار آستنیت پایدار افزایش می‌یابد. این افزایش در محتوی آستنیت، بالا

رفتن سختی سطح در اثر تغییر شکل سطحی را ایجاد می‌کند.

• برای چقرمگی و مقاومت به سایش بالا بایستی از دمای آستمپرینگ ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد الی ۳۷۵ درجه سانتیگراد استفاده نمود. در هنگام نیاز به استحکام بالا و مقاومت به سایش، دمای ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد بهترین نتایج را به‌دست می‌دهد.

۵ـ ۱۲ـ قابلیت ماشین‌کاری

در مقایسه با آلیاژهای دیگر، قابلیت ماشین‌کاری، چدن نشکن یکی از مزایای عمده آن است. با در نظر گرفتن افزایش سختی و استحکام در چدن نشکن آستمپر، بروز مشکلاتی در ماشین‌کاری چدن نشکن آستمپر، منطقی به نظر می‌رسد. به هر حال صرفه‌جویی در هزینه مربوط به ماشین‌کاری پیاپی گوشزد شده است. به‌طور کلی دلایل حضور دو خاصیت مهم قابلیت ماشین‌کاری و خواص مکانیکی به قرار زیر است:

اولاً: قابلیت ماشین‌کاری گروه‌های نرم‌تر چدن نشکن آستمپر بالاتر از فولادهایی با خواص برابر است.

ثانیاً: افزایش سختی پیش‌بینی شده قطعه در حین عملیات آستمپرینگ، باعث می‌شود ماشین‌کاری گروهای مستحکم‌تر چدن نشکن آستمپر قبل از عملیات حرارتی آسان‌تر باشد. از طرف دیگر عمر ابزار برش اساساً با افزایش سختی چدن نشکن آستمپر، سرعت براده برداری و نیز نرخ برش آلیاژ کاهش می‌یابد. بنابراین دلایل فقط گروه‌های ۱۰ / ۸۰ / ۱۲۵ و ۷ / ۱۰۰ / ۱۵۰ از چدن نشکن آستمپر شده پس از عملیات حرارتی ماشین‌کاری می‌شوند، در حالی که در سایر موارد قطعات باید طبق دستور زیر تحت عملیات ماشین‌کاری قرار بگیرند:

الف) ریخته‌گری قطعه

ب) انجام دادن آنیل به منظور ایجاد ساختار کاملاً فریتی

پ) ماشین‌کاری

ت) آستمپر کردن

ث) ماشین‌کاری نهایی

ج) عملیات تمام کاری (ساچمه زنی و...)

با اینکه عملیات آنیل کردن بر روی کل هزینه تولید تاثیر منفی می‌گذارد، اما مزایای تغییرات ابعادی یکنواخت در حین عملیات حرارتی آستمپرینگ و بهبود قابلیت ماشین‌کاری زمینه فریتی، هزینه آنیل کردن را جبران می‌نماید.

در مقاله‌های ارائه شده در اولین کنفرانس بین‌المللی چدن نشکن آستمپر، تغییرات ابعادی در حین عملیات حرارتی از اندکی انقباض تا ۰/۴ درصد گزارش شده بود.

۶ـ ۱۲ـ کنترل تولید

خواص مکانیکی که چدن نشکن آستمپر ارائه و حاصل می‌نماید آن را به صورت یک انتخاب مناسب برای مصارفی که استانداردها بایستی دقیقاً اجرا شوند قرار داده است.

انجام عملیات حرارتی آستمپر نمی‌تواند اثر عیوب ریختگی را بر خواص مکانیکی خنثی و یا جبران کند. بنابراین قطعات چدن‌نشکن ریخته‌شده باید فاقد عیوب سطحی بوده و ریزساختار آنها ترجیحاً به‌صورت ذیل باشد.

۱ ـ میزان کروی شدن گرافیت‌ها بالاتر از ۸۰٪

۲ ـ تعداد گرافیت‌های کروی در واحد سطح ۱۰۰ عدد بر میلی‌متر مربع و یا بالاتر باشد

۳ ـ توزیع یکنواخت گرافیت‌ها

۴ـ عدم وجود کاربید در زمینه

۵ـ عدم وجود حفرات در قطعه

۶ـ حداقل میزان آخال‌ها

۷ـ کنترل نسبت پرلیت به فریت

برای تضمین کیفیت یکنواخت، چدن نشکن آستمپر بایستی در کارگاه‌هایی که دارای سیستم کنترل کیفیت مناسب بوده و بتوانند قطعات یکنواخت با کیفیت بالای چدن نشکن را تولید کنند، تهیه گردند. به‌عبارت ساده‌تر برای تولید یک قطعه از جنس چدن نشکن آستمپر یک قطعه ریختگی با کیفیت بالا نیاز است.

قطعات عاری از عیب باید تحت عملیات حرارتی دقیق و درست آستمپر قرارگیرند تا خواص موردنیاز حاصل گردد. به همین دلیل بایستی همکاری نزدیکی میان طراح، ریخته‌گر و عملیات حرارتی کننده، در طول فرآیندها، از طراحی تا مرحله تحویل به مشتری برقرار باشد.

۷ـ ۱۲ـ ترکیب شیمیایی

به‌منظور جلوگیری از به‌وجود آمدن پرلیت یا فریت درشت (ساختار ویدمن اشتاتن) در هنگام سرد کردن تا درجه حرارت آستمپر کردن لازم است قطعه از سختی‌پذیری مناسب برخوردار باشد که اغلب برای رسیدن به این هدف اضافه نمودن عناصر آلیاژی به‌خصوص به ترکیب شیمیایی چدن الزامی است. همچنین بعضی از عناصر آلیاژی باعث جداشدن بیشتر استحاله بینیتی یعنی استحاله بینیتی بالا و پایین از یکدیگر می‌شوند که بدین ترتیب امکان دستیابی به ساختارهای متفاوت افزایش می‌یابد. در اغلب موارد، ترکیب شیمیایی قطعات چدن نشکن آستمپر با چدن‌های نشکن معمولی

یکسان نیست. در انتخاب ترکیب شیمیایی و یا مواد شارژ برای تولید چدن نشکن آستمپر بایستی توجه کافی در محدود کردن عناصر با اثرات مضر بر روی کیفیت قطعه از طریق ایجاد گرافیت غیرکروی، تشکیل کاربید و آخال‌ها و تشویق انقباض در نظر گرفته شود.

نکته قابل توجه دوم؛ کنترل مقدار کربن، سیلیسیم و سایر عناصر عمده آلیاژی است که سختی‌پذیری چدن و خواص ریزساختار متحول شده را کنترل می‌نمایند. به لحاظ اقتصادی و اجتناب از بروز مشکلات متالورژیکی برای به‌دست آوردن سختی‌پذیری مناسب در چدن نشکن آستمپر، از عناصر آلیاژی گوناگون در کنار هم استفاده می‌شود. برای جلوگیری از جدایش، عناصر آلیاژی، منگنز و مولیبدن بایستی مقادیر آنها را محدود کرده و سختی‌پذیری دلخواه را توسط افزودن نیکل یا مس به‌دست آورد.

۸ ـ ۱۲ ـ اثر عناصر آلیاژی

۱ ـ ۸ ـ ۱۲ ـ کربن

افزایش کربن در محدودهٔ ۳ تا ۴ درصد استحکام کششی چدن نشکن آستمپر را افزایش می‌دهد، اما اثر ناچیزی بر روی درصد ازدیاد طول نسبی و سختی دارد. کربن بایستی در محدودهٔ ۳/۸ - ۳/۶ درصد کنترل شود.

۲ ـ ۸ ـ ۱۲ ـ سیلیسیم

این عنصر تشکیل گرافیت را تشویق کرده، حلالیت کربن در آستنیت را کاهش داده، و دمای یوتکتوئید را افزایش می‌دهد. افزایش سیلیسیم خواص ضربه‌ای چدن نشکن آستمپر را افزایش داده و دمای شکست نرم به ترد را پایین می‌آورد. سیلیسیم بایستی در

محدودهٔ ۲/۸ - ۲/۴ درصد به دقت کنترل شود.

۳ - ۸ - ۱۲ - منگنز

منگنز می‌تواند یک عنصر مفید و یک عامل مضر (تشکیل فاز کاربیدی) محسوب گردد. این عنصر سختی‌پذیری را افزایش می‌دهد، اما در حین انجماد به علت جدایش در مرز سلول‌ها، کاربید تشکیل داده و عملیات آستمپرینگ را به تعویق می‌اندازد.

در نتیجه برای قطعات تعداد گرافیت‌های کروی در واحد سطح کم و یا ضخامت‌های بزرگتر از ۱۹ میلی‌متر، جدایش منگنز می‌تواند باعث انقباض، تشکیل کاربیدها و آستنیت ناپایدار شود. این عیوب ریزساختاری و ناهمگن قابلیت ماشین کاری را کاهش داده و از خواص مکانیکی می‌کاهد.

برای بهبود خواص و کاهش حساسیت چدن نشکن آستمپر به ضخامت قطعه و تعداد گرافیت‌های کروی در واحد سطح محدودکردن مقدار منگنز به زیر ۰/۳ درصد ضروری است.

۴ - ۸ - ۱۲ - مس

برای افزایش سختی پذیری ممکن است تا ۰/۸ درصد مس به چدن نشکن آستمپر افزوده شود. مس اثر قابل توجهی بر روی خواص کششی ندارد. اما انعطاف‌پذیری را در دمای آستمپر زیر ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌دهد.

۵ - ۸ - ۱۲ - نیکل

برای افزایش سختی‌پذیری چدن نشکن آستمپر تا ۲ درصد نیکل افزوده می‌شود. در

دمای آستمپر زیر ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد، نیکل، استحکام کششی را کمی کاهش می‌دهد، اما انعطاف‌پذیری و چقرمگی شکست را افزایش خواهدداد.

۶ـ۸ـ۱۲ـ مولیبدن

مولیبدن نیز یکی از عناصر مهم در سختی‌پذیری چدن نشکن آستمپر است، و در مقاطع ضخیم برای جلوگیری از تشکیل فریت به‌کار برده می‌شود. با این حال در صورت تجاوز مقدار مولیبدن از حد لازم، سختی‌پذیری، استحکام کششی و انعطاف‌پذیری کاهش می‌یابد. اثر مولیبدن بر کاهش این خواص به علت جدایش مولیبدن در مرز سلول‌ها و تشکیل کاربید می‌باشد. مقدار مولیبدن بایستی دقیقاً کنترل شود و نباید در مقاطع ضخیم از ۰/۲ درصد فراتر رود.

فصل ۱۳

خواص مکانیکی و فیزیکی چدن‌های نشکن

۱ـ ۱۳ـ مقدمه

چدن نشکن خانواده‌ای از چدن‌ها محسوب می‌شود که با تغییرات انجام گرفته در ریزساختار آنها خواص متنوعی به‌دست می‌آید. یکی از مشخصه‌های مشترک در تمامی چدن‌های نشکن گرافیت‌های کروی موجود در ساختار این چدن‌هاست، که می‌توان آنها را به عنوان عامل بازدارنده از گسترش ترک، در نظر گرفت. همین گرافیت‌های کروی باعث به‌وجود آمدن خواصی نظیر: استحکام کششی و مقاومت به ضربه در این چدن‌ها می‌شود و آنها را قابل رقابت با انواع فولادهای نوردی و یا ریختگی می‌نماید. کنترل و بررسی زمینه در چدن‌های نشکن ریختگی و یا عملیات حرارتی شده، شرایطی را از نظر ترکیب و روش کنترل به‌وجود می‌آورد که طراح می‌تواند انواع این چدن‌ها را برای مقاصد معین انتخاب نماید.

کاربردهای موفق چدن نشکن در شرایط بحرانی به لحاظ تنوع خواص در صنعت

است. به منظور استفاده مطمئن از چدن نشکن، مهندسان طراح باید از یک سری اطلاعات مهندسی مانند: رفتار الاستیکی، استحکام، انعطاف‌پذیری، سختی، چقرمگی شکست و خواص شکست، خواص فیزیکی، انبساط حرارتی، هدایت حرارتی، چگالی، خواص مغناطیسی و ظرفیت گرمایی، بهره‌مند باشند.

این بخش به توصیف خواص مکانیکی و فیزیکی چدن‌های نشکن که بستگی به ریزساختار آنها دارد، می‌پردازد و نیز توصیف می‌کند که چگونه ترکیب و سایر پارامترهای تولید بر ریزساختار و خواص اثر می‌گذارد.

۲ـ ۱۳ـ عوامل موثر بر خواص مکانیکی

۱ـ ۲ـ ۱۳ـ ریزساختار

مشخصه چدن نشکن، کروی بودن همه گرافیت‌های آن است. اگرچه این نوع گرافیت در حدود ۱۰ درصد از حجم چدن نشکن را اشغال می‌کند، اما شکل متراکم و کروی آن تاثیر بر خواص مکانیکی را به حداقل می‌رساند. گرافیت موجود در چدن‌های نشکن تجارتی همیشه کاملاً کروی نیست. گرافیت می‌تواند شکلی تقریباً نامنظم به خود گیرد، اما اگر مانند گرافیت نوع II در استاندارد ASTM - A۲۴۷ شبه کروی باشد، خواص چدن مشابه خواص چدنی با گرافیت کروی نخواهدبود. شکل گرافیت در هنگام انجماد چدن تعیین می‌شود و به هیچ وجه تغییر نمی‌کند، مگر با ذوب مجدد چدن.

اختلاف بین رده‌های گوناگون چدن نشکن در ریزساختار فلز پیرامون گرافیت است که زمینه نامیده می‌شود. با تغییر در ترکیب شیمیایی و سرعت سردشدن قطعه ریختگی ریزساختار آن تغییر می‌کند. قطعه ریختگی را می‌توان به آهستگی در قالب ماسه‌ای سرد تا سختی سیاه تاب آن به حداقل برسد. ساختار زمینه و سختی را با عملیات حرارتی نیز

می‌توان تغییر داد،رده‌های بسیار نشکن را معمولاً آنیل می‌نمایند. تا ساختار زمینه کاملاً فرْیتی و عاری از کربن آزاد شود. رده‌های متوسط معمولاً در حالت سیاه تاب و بدون انجام عملیات حرارتی به‌کار می‌روند و ساختار زمینه، متشکل از فریت و پرلیت می‌باشد که فریت سفیدرنگ به صورت حلقه‌هایی در پیرامون کره‌های سیاهرنگ گرافیت دیده می‌شوند، به همین سبب آنها را چدن نشکن چشم گاوی می‌نامند معمولاً نرماله کردن رده‌های پراستحکام کاملاً پرلیتی ایجاد می‌کند، یا با آب دادن (کوئنچ) و بازگشت (تمپر) چدن نشکن زمینه‌ای از مارتنزیت بازپخته به‌دست می‌آید. همچنین می‌توان به چدن نشکن مقدار متعادلی عناصر آلیاژی افزود تا زمینه‌ای کاملاً پرلیتی در حالت سیاه تاب تولید شود.

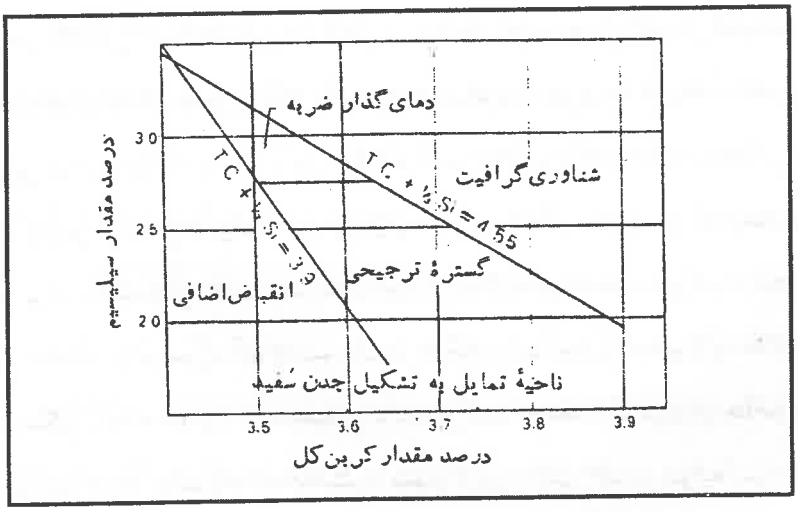
۲ ـ ۲ ـ ۱۳ ـ ترکیب شیمیایی

ترکیب شیمیایی چدن نشکن و سرعت سردشدن قطعه ریختگی اثری مستقیم برخواص کششی آن دارند، این دو عامل بر ساختار زمینه چدن تاثیر می‌گذارند. همه رده‌های چدن نشکن را می‌توان از یک نوع چدن تولید نمود. به شرط آنکه ترکیب شیمیایی مناسب داشته باشند و بتوان با کنترل سرعت سردشدن قطعه ریختگی پس از انجماد یا پس از انجام عملیات حرارتی، زمینه با ریزساختار مطلوب در آن ایجاد نمود.

اما ترکیب شیمیایی اغلب چدن‌های تجارتی به‌گونه‌ای انتخاب می‌شوند که بتوان عوامل مختلف را در مورد آنها تعمیم داد. در هنگام تولید تجارتی معمولاً رده‌های نرمتر چدن نشکن را با چنان ترکیب شیمیایی تولید می‌کنند که مقدار کمتری از عناصر پایدار کننده پرلیت (مثلاً منگنز) داشته باشند. تا مقدار کربن ترکیبی آنها در شرایط سیاه تاب به حداقل برسد یا در صورت آنیل کردن چرخه آنیل کوتاهتر شود. رده‌های پراستحکام

چدن نشکن را با چنان ترکیب شیمیایی تهیه می‌کنند که سختی‌پذیری کافی برای پاسخگویی به روش سردکردن مورد استفاده را داشته باشد. قطعات ریختگی که مقطع ضخیم‌تری دارند، باید لزوماً حاوی عناصر آلیاژی باشند، در اغلب موارد ترکیب شیمیایی چدن به گونه‌ای انتخاب می‌گردد که سبب سهولت تولید شود. محدوده ایده‌آل مقدار کربن و سیلیسیم در شکل ۱ ـ ۱۳ نشان داده شده است.

مشخصات فنی چدن برای کار در دمای کم در معرض ضربه‌خواهان حداکثر مقدار سیلیسیم است. با افزایش مقدار سیلیسیم سختی چدن رو به کاهش می‌رود و با تشکیل فریت به جای پرلیت چدن نشکن‌تر می‌شود. اما در چدن کاملاً فریتی، همانند چدن‌هایی که آنیل می‌شوند، افزایش مقدار سیلیسیم سبب افزایش جزیی استحکام می‌شود. نیکل نیز اثر مشابهی دارد. در چدن‌های پرلیتی پراستحکام، با افزایش مقدار منگنز و عناصر آلیاژی از قبیل مس و مولیبدن یا نیکل مقدار سختی پرلیت تشکیل شده افزایش و میزان انرژی شکست کاهش می‌یابد.



شکل ۱ ـ ۱۳ ـ محدودهٔ ایده‌آل کربن‌وسیلیسیم‌برای‌ریخته‌گری‌چدن‌های‌نشکن

۳ـ ۱۳ـ رده‌های چدن نشکن

رده‌های متداول چدن نشکن عمدتاً از لحاظ ساختار زمینه‌ای که گرافیت کروی را در برگرفته تفاوت دارند. این اختلاف‌ها نتیجه تفاوت در ترکیب شیمیایی، سرعت سردشدن قطعه ریختگی پس از بارریزی یا عملیات حرارتی می‌باشند. از اختلاف‌های جزیی در ترکیب شیمیایی یا افزودن عناصر آلیاژی می‌توان به عنوان وسیله‌ای برای دستیابی به ریزساختارهای مطلوب استفاده نمود. رده‌های متداول چدن نشکن را نیز می‌توان با سختی برینل مشخص کرد. اگرچه ریزساختار مناسب برای تامین سختی موردنظر نیز یکی از خواسته‌ها می‌باشد. در سایر مشخصات فنی برای کاربردهای ویژه نه تنها خواص کششی، بلکه محدودیت‌های موجود از لحاظ ترکیب شیمیایی را نیز در نظر می‌گیرند.

جدول ۱ ـ ۱۳ ـ رده‌های مختلف چدن نشکن براساس استاندارد *ASTM A۵۳۶*

رده چدن	حداقل استحکام کششی		حداقل استحکام تسلیم		درصد ازدیاد طول نسبی	ریزساختار
	Psi	*Mpa*	*Psi*	*Mpa*		
۱۸ ـ ۴۰ ـ ۶۰	۶۰۰۰۰	۴۱۴	۴۰۰۰۰	۲۷۶	۱۸	فریت
۱۲ ـ ۴۵ ـ ۶۵	۶۵۰۰۰	۴۴۸	۴۵۰۰۰	۳۱۰	۱۲	فریت + پرلیت
۰۶ ـ ۵۵ ـ ۸۰	۸۰۰۰۰	۵۵۲	۵۵۰۰۰	۳۷۹	۶	پرلیت + فریت
۰۳ ـ ۷۰ ـ ۱۰۰	۱۰۰۰۰۰	۶۹۰	۷۰۰۰۰	۴۸۳	۳	پرلیت
۰۲ ـ ۹۰ ـ ۱۲۰	۱۲۰۰۰۰	۸۲۸	۹۰۰۰۰	۶۲۱	۲	مارتنزیت بازپخته یا بینیت

۴ـ ۱۳ـ سختی

به دلیل حداقل بودن تاثیر گرافیت کروی بر خواص مکانیکی، سختی چدن‌نشکن

آزمونی مناسب است و با اندکی اغماض می‌توان آن را مستقیماً به سایر خواص ربط داد. هرگاه ترکیب شیمیایی و ریزساختار چدن ایده‌آل باشد، رابطه بین خواص کششی و سختی قابل اطمینان است. اما هرگاه مثلاً شکل گرافیت بسیار نامنظم یا زمینه حاوی کاربیدهای اولیه باشد، این رابطه قابل اطمینان نیست. حضور تشکیل دهنده‌های غیرمتعارف در ریزساختار، همچون کاربیدهای اولیه یا پیدایش سایر شکل‌های گرافیت ممکن است بر بعضی از خواص تاثیری متفاوت با خواص دیگر بگذارد. سختی همه چدن‌های گرافیتی، اساساً همان سختی فاز زمینه است که بر اثر وجود گرافیت تا حدودی کاهش می‌یابد. گرافیت کروی بر مقدار سختی حاصل از سختی سنج‌های معمول تاثیر می‌گذارد اما نه به اندازه گرافیت ورقه‌ای. آزمون‌های میکروسکوپی سختی برروی فلز زمینه و در نواحی دور از گرافیت انجام می‌شود حال آنکه آزمون‌های ماکروسکوپی بر ناحیه‌ای وسیع شامل گرافیت و زمینه انجام می‌گیرد. برای تعیین سختی چدن نشکن استفاده از آزمون‌های برینل ترجیح داده می‌شود. در جدول ۲ ـ ۱۳ مقادیر ایده‌آل سختی برینل ساختارهای زمینه گوناگون آمده است.

جدول ۲ ـ ۱۳ ـ سختی برینل چدن‌های نشکن

ساختار زمینه	سختی برینل	رده چدن براساس استاندارد *ASTM*
فریت	۱۸۷ ـ ۱۴۹	۱۸ ـ ۴۰ ـ ۶۰
فریت + پرلیت	۲۰۷ ـ ۱۷۰	۱۲ ـ ۴۵ ـ ۶۵
پرلیت + فریت	۲۴۸ ـ ۱۸۷	۰۶ ـ ۵۵ ـ ۸۰
پرلیت	۲۶۹ ـ ۲۱۷	۰۳ ـ ۷۰ ـ ۱۰۰
زمینه سوزنی یا بینتی	۳۵۰ ـ ۲۶۰	۰۲ ـ ۹۰ ـ ۱۲۰
مارتنزیت بازپخته	۵۵۰ ـ ۳۵۰	۰۲ ـ ۹۰ ـ ۱۲۰
آستنیت	۱۶۰ ۴۰	پرآلیاژ

۵ـ ۱۳ـ حساسیت مقطع و عناصر آلیاژی

کروی بودن شکل گرافیت در چدن نشکن سبب می‌شود که این نوع چدن کمتر از سایر چدن‌ها در برابر ضخامت مقطع حساسیت داشته باشد. اما مقاطع بسیار نازک این چدن ممکن است به صورت چدن سفید منجمد شوند. زمینه و حتی ساختار گرافیت نیز ممکن است در مقاطع بسیار ضخیم تغییر نماید، از آن‌سو می‌توان ترکیب شیمیایی یا عملیات حرارتی قطعه را طوری تنظیم نمود که ساختار زمینه در مقاطع نازک و ضخیم به دلخواه فریتی یا پرلیتی شود. سردشدن بسیار آهسته مقاطع ضخیم فلزی را می‌توان طوری تنظیم نمود که ساختار زمینه در مقاطع نازک و ضخیم به دلخواه فریتی یا پرلیتی شود. سردشدن بسیار آهسته مقاطع ضخیم به سه روش بر خواص قطعه ریختگی تاثیر می‌گذارد. این سه روش عبارت است از:

الف) سبب شناوری گرافیت در چدن‌های پرکربن می‌شود. با پایین‌تر نگه‌داشتن مقدار کربن معادل از آنچه برای قطعات ریختگی کوچک‌تر لازم است، می‌توان از شناوری گرافیت در بالای مقاطع ضخیم ریختگی جلوگیری نمود.

ب) سلول‌هایی با ابعاد بزرگ تشکیل می‌دهد و سبب افزایش جدایش می‌شود. تشکیل گرافیت‌های بزرگ ممکن است به افزایش جدایش در مرز سلول‌ها منجر شود، این پدیده استحکام و میزان کروی بودن چدن را کاهش و دمای انتقال نرم به ترد را افزایش می‌دهد. افزایش جدایش در مرز سلول‌ها در مورد عناصر کاربیدزا به ویژه کروم سبب تشکیل کاربیدهایی می‌شود که نمی‌توان از طریق آنیل معمولی آنها را تجزیه نمود. اما توانسته‌اند نمونه‌های چدن نشکن از قطر ۶/۵ تا ۱۲/۵ میلی متر حاوی ۰/۶ درصد منگنز، ۱/۶ درصد نیکل، ۰/۹ مس را آنیل نمایند و زمینه کاملاً فریتی به‌دست آورند.

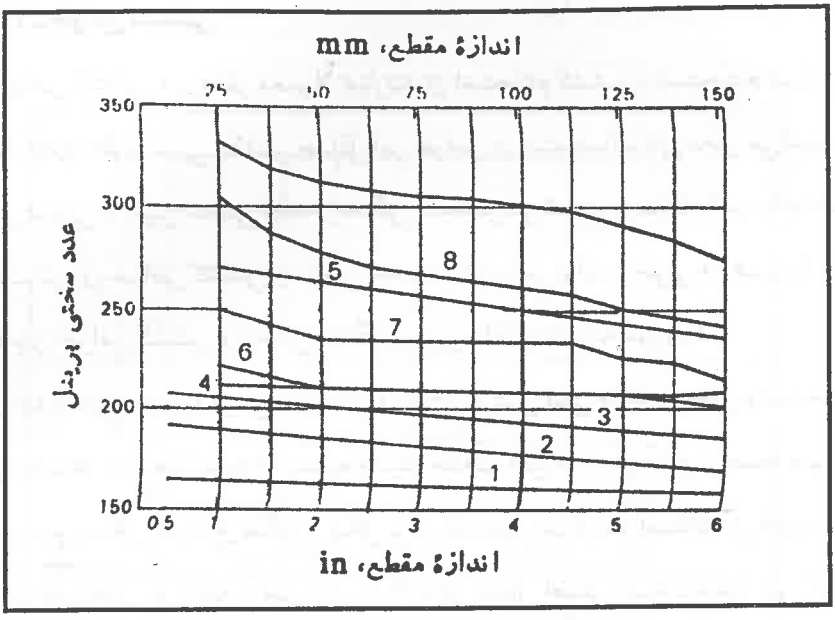
ج) سبب تشکیل فریت با سختی و استحکام نسبتاً کم می‌شود، مقاطع ضخیمی که

آهسته سرد شده باشند سختی و استحکام کمتری خواهند داشت، مگر آنکه ترکیب شیمیایی چدن طوری تنظیم شده باشد که سردکردن آهسته را جبران کند یا سرعت سردکردن در محدوده دمای تبدیل افزایش یابد، البته به قطعات ریختگی ضخیم‌تر عناصر آلیاژی می‌افزایند و یا آنها را تحت عملیات حرارتی قرار می‌دهند تا بر این اثر غلبه نموده و استحکام بیشتری به‌دست آید. در شکل‌های ۲ ـ ۱۳ و ۳ ـ ۱۳ اثر ضخامت مقطع تا ۱۵۰ میلی‌متر بر سختی چدن نشکن حاوی عناصر آلیاژی مختلف نشان داده شده است.

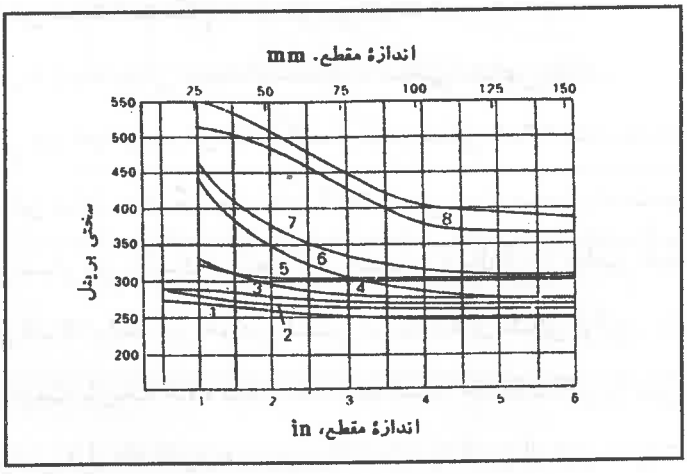
اثر اندازه مقطع در چدن‌های آلیاژی پس از انجام عملیات نرماله کردن قابل توجه‌تر می‌باشد. بیشتر بودن مقدار سیلیسیم باعث افزایش تمایل به تشکیل فریت و در نتیجه کاهش سختی چدن می‌شود، با افزایش مقدار منگنز، فسفر و عناصر آلیاژی از قبیل نیکل، مس، مولیبدن و مقادیر اندکی قلع، پرلیت بیشتر و ریزتر تولید می‌شود و سختی افزایش می‌یابد.

جدول ۳ ـ ۱۳ ـ مقدار عناصرآلیاژی در چدن‌نشکن در شکل‌های ۲ ـ ۱۳ و ۳ ـ ۱۳

درصد عناصر آلیاژی			
شماره چدن	*Ni*	*Mo*	*V*
۱	۱/۰	–	–
۲	۲/۰	–	–
۳	۲/۰	۰/۲۵	–
۴	۲/۰	۰/۵۵	–
۵	۲/۰	۰/۵۵	۰/۲
۶	۳/۷۵	–	–
۷	۳/۷۵	۰/۲۵	–
۸	۳/۷۵	۰/۵۵	–



شکل ۲ ـ ۱۳ ـ اثر عناصر آلیاژی ذکرشده در جدول ۳ ـ ۱۳ برسختی چدن‌های نشکن سیاه تاب



شکل ۳ ـ ۱۳ ـ اثر عناصر آلیاژی ذکر شده در جدول ۳ ـ ۱۳ بر سختی چدن‌های نشکن نرماله‌شده

۶ـ ۱۳ـ خواص کششی

خواص کششی موردنظر معمولاً عبارتند از استحکام کششی، استحکام تسلیم و درصد ازدیاد طول نسبی. مقادیر حداقل این خواص در مشخصات فنی معین می‌شوند و به‌طور ضمنی با تعیین سختی قطعه ریختگی مشخص می‌شوند. به سبب تاثیر یکنواخت گرافیت کروی خواص کششی و سختی چدن‌نشکن را می‌توان به خوبی به هم ربط داد. رابطه بین خواص کششی و سختی بستگی به ریزساختار دارد به‌طوری که:

الف) چدن‌هایی با زمینه فریتی (آنیل شده)، کربن ترکیبی کمی دارند، سختی و استحکام این چدن‌ها به سخت‌شدن فریت به وسیله عناصر حل شده در آن و از همه مهم‌تر سیلیسیم بستگی دارد. از منگنز و نیکل برای سخت‌کردن فریت استفاده می‌شود.

ب) در چدن‌هایی با زمینه پرلیتی، کاربید لایه‌ای عامل اصلی سخت‌شدن می‌باشد. چدن‌های پرلیتی حاوی فریت آزاد در این گروه قرار دارند.

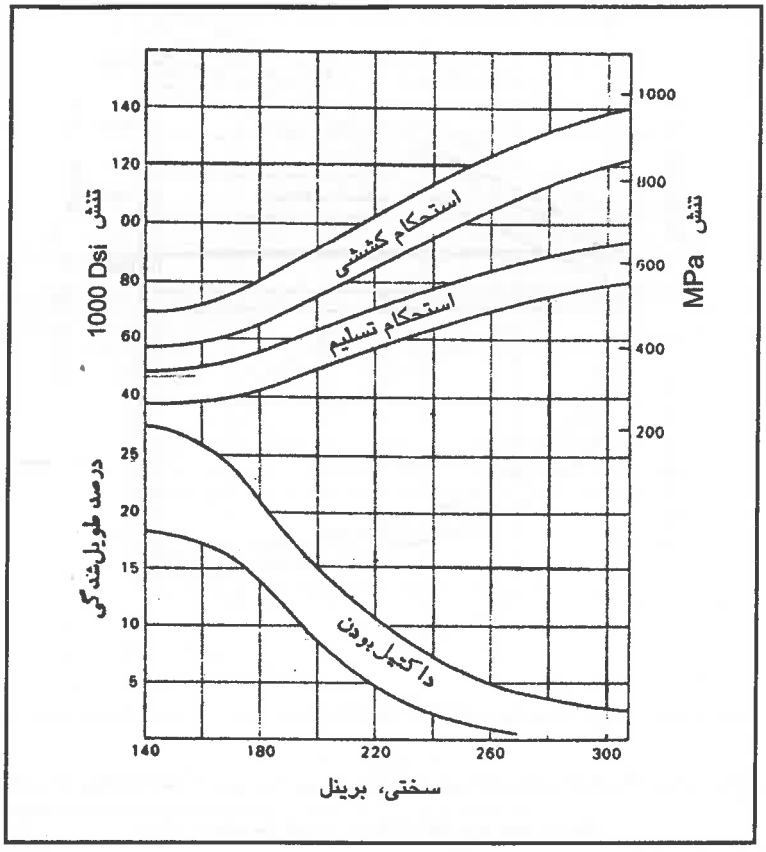
ج) زمینه یکنواخت از مارتنزیت بازپخته که به‌وسیله عملیات حرارتی ایجادشده باشد، سبب افزایش نسبت استحکام به سختی می‌شوند.

د) چدن‌هایی با زمینه بینیتی نسبت استحکام به سختی مشابهی دارند.

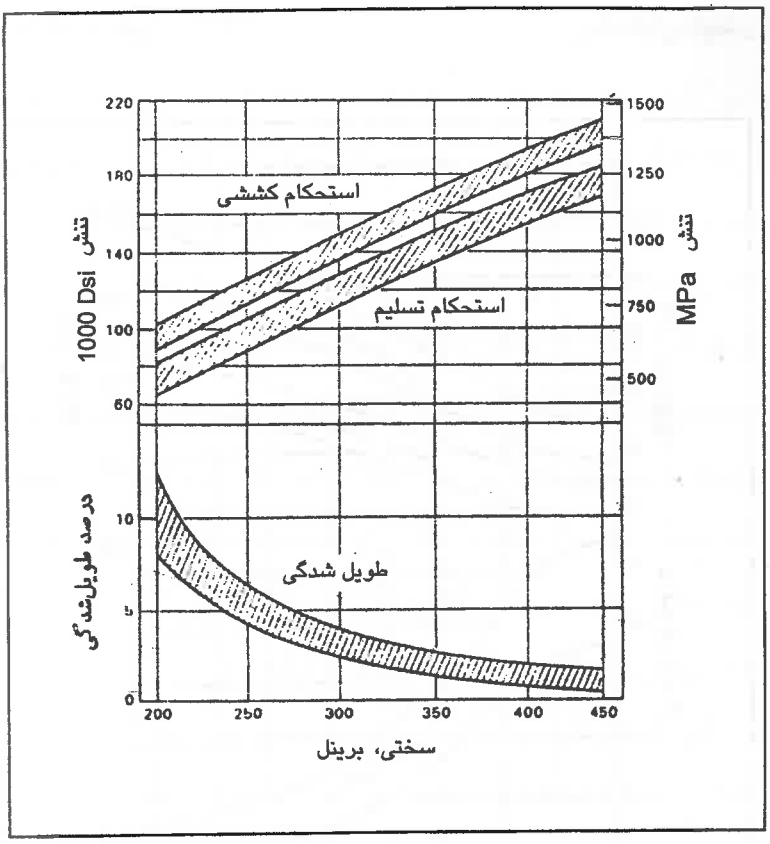
رابطه کلی بین خواص در دو حالت الف و ب در شکل ۴ ـ ۱۳ نشان داده شده است، سمت چپ این شکل نمایانگر چدن‌های کاملاً فریتی است. سمت راست چدن‌هایی با زمینه پرلیتی بسیار ریز را نشان می‌دهد که از عملیات نرماله‌کردن حاصل شده‌اند.

در شکل ۵ ـ ۱۳ رابطه بین خواص کششی در چدن‌های نشکن کوئنچ و بازپخته شده با زمینه مارتنزیت بازپخته شده نشان داده شده است. چدن نشکن را می‌توان مورد عملیات حرارتی قرار داد تا زمینه بینیتی پیدا نماید یا آن را آلیاژی نمود تا در حین سردشدن مقاطع نازک‌تر در قالب ساختاری بینیتی پیدا نماید. ساختار مقاطع ضخیم را با

نرماله کردن نیز بینیتی می‌نمایند.

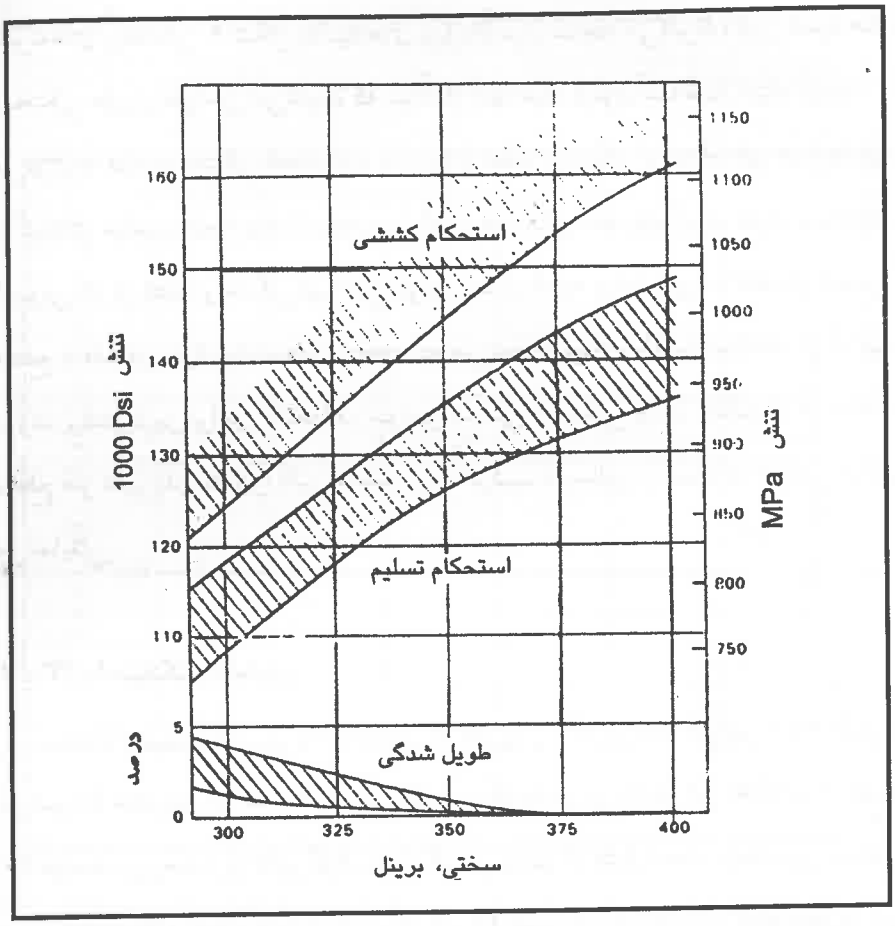


شکل ۴ ـ ۱۳ ـ رابطه کلی بین سختی و خواص کششی چدن‌های نشکن در حالت سیاه تاب - آنیل شده یا نرماله شده با ریزساختار فریتی و یا پرلیتی



شکل ۵ ـ ۱۳ ـ رابطه ایده‌آل بین سختی و خواص کششی چدن‌های نشکن که برای به‌دست آوردن زمینه مارتنزیت بازپخته، کوئنچ و تمپر شده‌اند

در شکل ۶ـ۱۳ رابطه بین خواص چدن‌های آلیاژی نیکل ـ مولیبدن‌دار با ریزساختار بینیتی نشان داده شده است.



شکل ۶ ـ ۱۳ ـ رابطه سختی و خواص کششی چدن نشکن نیکل ـ مولیبدن‌دار با ریزساختار بینیتی

آزمون کشش چدن نشکن همانند آزمون سایر فلزات نشکن می‌باشد. استحکام تسلیم براساس ۰/۲ درصد کرنش و از روی منحنی تنش ـ کرنش محاسبه می‌شود زیرا چدن‌نشکن فاقد نقطه تسلیم آشکار می‌باشد. مدول الاستیسیته (یانگ) را نیز می‌توان از روی همین نمودار تعیین نمود. نمونه‌های آزمون‌های کششی از طریق ماشین‌کاری

نمونه‌های ریختگی Y شکل یا میله‌های ویژه آزمون ساخته می‌شوند، این نمونه‌های ریختگی طوری طراحی می‌شوند که بتوان از آنها میله آزمون ساخت. میله آزمون را می‌توان به قطعه ریختگی الحاق کرد یا آن را از قطعه ریختگی برید، اما این عمل را باید به گونه‌ای مناسب انجام داد تا از به‌دست آمدن داده‌های غلط جلوگیری شود. نمونه‌های آزمونی که از قطعه ریختگی تهیه می‌شوند باید از ناحیه پرتنش بریده نشوند. معمولاً سطح یا مقطعی نازک یا نامنظم از قطعه که نمی‌توان نمونه‌ای با ابعاد مناسب از آن تهیه نمود، پرتنش‌ترین نواحی قطعه‌اند. خواص کششی و سختی چدن نشکن از ضخامت مقطع فلز تاثیر پذیرند این تاثیر با تغییر رده، ترکیب شیمیایی و عملیات حرارتی تغییر می‌نماید.

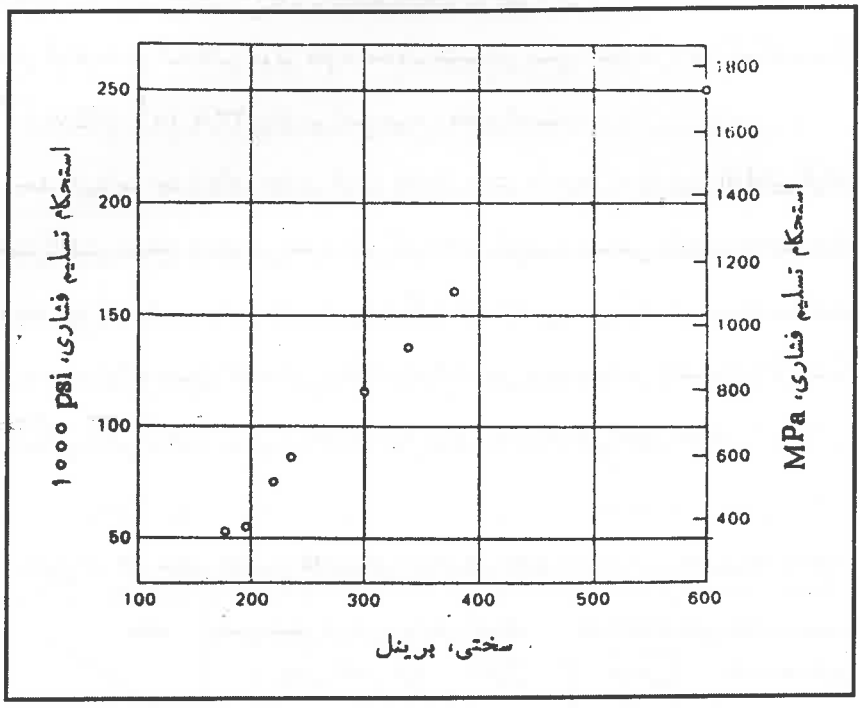
۷ـ ۱۳ـ استحکام فشاری

استحکام تسلیم فشاری چدن نشکن که به روش ۰/۲ درصد کرنش اندازه‌گیری می‌شود تا حدودی از استحکام تسلیم کششی آن بیشتر می‌باشد. این اختلاف تا حدود ۲۰ درصد می‌رسد زیرا تاثیر گرافیت در کشش بیشتر از فشار است. رابطه بین سختی برینل و استحکام تسلیم فشاری در شکل ۷ـ۱۳ نشان داده شده است. نکته مهم در این خصوص، این است که در مورد فلزات نرم استحکام فشاری نهایی تعیین نمی‌شود.

افزایش استحکام تسلیم فشاری نسبت به کشش در چدن‌های نشکن با زمینه فریتی چشمگیرتر از چدن‌های با زمینه پرلیتی است.

تنش تسلیم ۰/۱ درصد چدن‌های فریتی در فشار تقریباً ۲۰ مگا پاسکال (۳۰۰۰ پوند بر اینچ مربع) بیشتر از حالت کشش است. در مورد چدن‌های پرلیتی و چدن‌هایی که کوئنچ و بازپخت می‌شوند. استحکام فشاری افزایش و به ۱۲ مگاپاسکال (۱۸۰۰ پوند بر

اینچ مربع) می‌رسد. چدن‌هایی با ساختار مختلط بین این مقادیر قرار می‌گیرند. حد تناسب فشاری معادل ۸۰ درصد تنش تسلیم ۰/۲ درصد در فشار است.



شکل ۷ ـ ۱۳ ـ رابطه بین سختی و استحکام تسلیم فشاری چدن نشکن در ۰/۲ درصد کرنش

۸ ـ ۱۳ ـ خواص برشی و پیچشی

استحکام پیچشی یا برشی نهایی معمولاً در حدود ۹۰ درصد استحکام کششی می‌باشد. در چدن‌های نشکن با استحکام بیشتر و انعطاف‌پذیری کمتر، این اختلاف تا حدودی افزایش می‌یابد. استحکام تسلیم و حد تناسب برشی یا پیچشی در حدود ۷۵ درصد مقادیر متناظر کششی است.

۹ـ ۱۳ـ خواص کشسانی و میرایی

مدول کشسانی یا مدول الاستیسیته (یانگ) چدن نشکن تا رسیدن به حد کشسانی (الاستیک) ثابت است. ساختار زمینه بر شیب منحنی تنش و کرنش تاثیر ندارد. بلکه تنها مقدار گرافیت بر آن تاثیر موثر دارد. مدول کشسانی بین ۱۵۹ تا ۱۷۲ گیگا پاسکال (۲۳×۱۰^{۶} ـ ۲۵×۱۰^{۶} پوند بر اینچ مربع) متغیر است.

حد پایین به چدن‌های حاوی کربن معادل بیشتر مربوط است زیرا افزایش گرافیت باعث کاهش مقطع چدن می‌شود. اگر گلوله‌های گرافیت شکلی نامنظم داشته باشند فاصله آنها افزایش و مدول کشسانی (یانگ) آنها کاهش می‌یابد. در نتیجه با حضور کاربیدهای اولیه مدول کشسانی (یانگ) افزایش می‌یابد. خواص کشسان (الاستیکی) دینامیکی را می‌توان از روی بسامد تشدید برای چدن نشکن تعیین نمود.

جدول ۴ ـ ۱۳ ـ خواص کشسان (الاستیکی) دینامیکی حاصل از اندازه‌گیری‌های بسامد تشدید

ماده / خواص	چدن نشکن فریتی ـ پرلیتی با سختی ۲۴۱ ـ ۱۵۶ مقدار میانگین	فولاد SAE۱۰۱۸ طولی	فولاد SAE۱۰۱۸ عرضی	چدن خاکستری نوع ۳۰ مقدار میانگین
مدول یانگ گیگاپاسکال	۱۷۲/۳۸	۲۱۰/۶۳	۲۱۱/۷۹	۱۲۲/۱۱
مدول برشی گیگاپاسکال	۱۷۲/۳۸	۲۱۰/۶۳	۲۱۱/۷۹	۱۲۲/۱۱
نسبت پوآسون	۰/۲۸۳	۰/۲۸۳	۰/۲۹۹	۰/۲۵۴
میرایی، لگاریتم کاهش × $۱۰^{-۴}$	۸/۳۱۶	۱/۳۱	۱/۲۳	۶۸/۶۷

۱۰ـ ۱۳ـ تنش‌های مرکب

از آنجا که نمودار تنش و کرنش چدن نشکن خطی است و استحکام تسلیم معینی در کشش و در فشار دارد، نظریه تسلیم و سایر روش‌های ریاضی تحلیلی تنش را می‌توان در مورد قطعات ریختگی چدن نیز به کار بست.

در کاربردهای مهم باید اثر احتمالی تنش‌های چند محوره یا مرکب را شناخت از آنجا که قطعات ریختگی معمولاً شکل ساده‌ای ندارند، غالباً تحت بار، الگویی از تنش دارند. باید انتظار داشت که مشخصه‌های تسلیم فلز در قطعه‌ای پیچیده با مشخصه‌های تسلیم آن در نمونه آزمون کشش (بار تک محوره) متفاوت باشد. فنون تجربی تحلیل تنش را می‌توان در مورد قطعات ریختگی چدن به گونه‌ای بسیار موثر به کار بست. اندازه‌گیری کرنش و توزیع آن، خواه در مدلی از قطعه و خواه در قطعه‌ای با ابعاد واقعی در حال کار یا در شرایط شبیه سازی شده، مطمئن‌ترین مبنا برای طراحی به‌شمار می‌رود. در خستگی نیز سیستم‌های تنش مرکب دخیل می‌باشند. روش تعیین رفتار خستگی در حضور انواع تنش در ادامه توضیح داده می‌شود.

۱۱ـ ۱۳ـ خواص خستگی یا دوام

فلزات تحت بارهای چرخه‌ای یا تنش‌های متغیر تکرار شونده‌ای که مقدار حداکثر آنها از استحکام تسلیم بسیار کمتر می‌باشند، می‌شکنند. این نوع شکست را شکست خستگی می‌نامند. شکست خستگی شبیه شکستِ مواد ترد میباشند. هر چند در فلزی بسیار نرم رخ داده باشد. شکست خستگی مستقیماً به تنش و تعداد چرخه‌ها (سیکل‌های اعمال نیرو) مربوط می‌شود. تمرکز تنش از قبیل تمرکز تنش در شیارها عمر خستگی را کاهش می‌دهد، اما سرعت چرخه بارگذاری (سیکل) و وجود دوره‌های

استراحت تاثیر چندانی ندارند.

با کاهش تنش حداکثر تعداد چرخه‌های (سیکل‌های) لازم برای ایجاد شکست بسیار بیشتر می‌شود. بیشترین تنشی که به ازاء آن تعداد چرخه‌های لازم برای شکست به بینهایت میل می‌کند را حد دوام می‌نامند. نسبت دوام رابطه بین حد دوام و استحکام کششی است. اغلب نتایج مربوط به استحکام خستگی با استفاده از آزمون تیر چرخان به‌دست می‌آیند. اثر عوامل ایجاد تنش برحد دوام با استفاده از میله‌های آزمون فاق‌دار ارزیابی می‌شوند. بدین منظور فاقی (شیار) در پیرامون میله‌ای با اندازه بزرگتر ایجاد می‌نمایند، به‌گونه‌ای که مقطع موثر میله پس از ایجاد فاق، با مقطع میله بدون فاق مورد مقایسه، معادل باشد. نسبت حد دوام نمونه بدون فاق به حد دوام نمونه فاق‌دار را ضریب حساسیت در برابر فاق یا ضریب تمرکز تنش دینامیکی می‌نامند. مقدار نسبت دوام در چدن‌های نشکن مختلف را در حدود ۰/۳۳ تا ۰/۵۲ به‌دست آورده‌اند. با افزایش استحکام کششی حد دوام افزایش می‌یابد، اما این افزایش همچون سایر فلزات آهنی، متناسب با افزایش استحکام کششی نیست.

رابطه بین استحکام کششی و نسبت دوام در چدن‌های فریتی آنیل شده با رابطه متناظر در چدن‌هایی با زمینه پرلیتی یا مارتنزیتی بازپخته متفاوت می‌باشد. اگرچه با افزایش سختی، استحکام کششی افزایش می‌یابد اما حد دوام نمونه فاق‌دار، در سختی‌های زیاد افزایش نمی‌یابد. ترکیب شیمیایی از جمله وجود عناصر آلیاژی در محدوده‌های متداول تجاری تاثیری بر خواص خستگی ندارد. مگر از طریق اثر بر ریزساختار و خواص کششی.

خواص خستگی تا حدودی به شکل گرافیت بستگی دارند. گرافیت غیرکروی استحکام خستگی را کاهش می‌دهد. اما تاثیر آن بر استحکام خستگی کمتر ازاستحکام

کششی می‌باشد. در جدول ۵ ـ ۱۳ این رفتار در مورد گروهی از چدن‌های نشکن با زمینه پرلیتی با سیرنزولی درصد کروی شدن گرافیت‌ها نشان داده شده است. با نصف شدن درصد کروی شدن گرافیت‌ها استحکام کششی کاهش چشمگیر داشته اما استحکام خستگی معادل ۷۵ درصد مقدار آن در حالت بهینه باقی می‌ماند، نسبت دوام از ۰/۳۱ به ۰/۳۷ افزایش می‌یابد.

وجود آخال‌های غیرفلزی و سطوح ریختگی زبر نیز استحکام خستگی را کاهش می‌دهد وجود عناصر آلیاژی تا حدی که بر ریزساختار زمینه تاثیر می‌گذارند، بر رفتار خستگی نیز موثر هستند. محیط‌های خورنده هم خواص کششی و هم خواص خستگی را کاهش می‌دهند. از طریق ساچمه‌زنی، غلطک‌زنی سطح و سخت‌کاری شعله‌ای و القایی، می‌توان حد خستگی چدن‌نشکن را به ویژه در آزمون‌های خمشی و پیچش افزایش داد.

جدول ۵ ـ ۱۳ ـ تاثیر کاهش درصد کروی‌شدن گرافیت‌ها بر خواص کششی و خستگی چدن‌نشکن پرلیتی

ردیف	درصد کروی شدن گرافیت‌ها	استحکام کششی مگاپاسکال	حددوام بدون‌فاق مگاپاسکال	نسبت دوام حد خستگی به استحکام کششی	ضریب فاق خستگی بدون‌فاق به‌خستگی با فاق V
۱	۹۸	۹۰۸	۲۷۸	۰/۲۱	۲/۰۰
۲	۹۷	۹۰۶	۲۸۶	۰/۳۲	۱/۹۵
۳	۹۵	۸۶۸	۲۶۳	۰/۳	۱/۸۹
۴	۷۷	۷۸۴	۲۳۹	۰/۳۱	۱/۷۳
۵	۴۴	۶۴۱	۲۱۷	۰/۳۴	۱/۶۵
۶	۵۰	۵۶۱	۲۰۸	۰/۳۷	۱/۶۹

۱۲ـ ۱۳ـ خواص چقرمگی شکست

چقرمگی از لحاظ مفهومی بسیار ساده است، اما به صورت مشخصه قابل اندازه‌گیری پیچیده است. چقرمگی هر ماده معیاری از انرژی لازم برای شکستن آن ماده می‌باشد. این کار به‌طور فیزیکی به مقاومت ماده در برابر تشکیل ترک و رشد آن مربوط می‌شود. شکست عموماً بر اثر تورق یا به هم پیوستن حفره‌ها رخ می‌دهد. تورق یا شکست ترد با حداقل تغییر پلاستیک شکل همراه است و سطح شکستی براق و صاف به جا می‌گذارد. در این نوع شکست انرژی بسیار کمی جذب می‌شود، بنابراین عدد چقرمگی شکست اندک می‌باشد.

در مقابل شکست نرم، در نتیجه تشکیل حفره در سطح مشترک دوفاز و در پی آن رشد و به هم پیوستن آنها رخ می‌دهد. سطح شکست خاکستری رنگ، مات، زبر و ناهموار است و جذب انرژی ناشی از تغییر شکل پلاستیکی سبب می‌شود که عدد چقرمگی شکست زیاد باشد. تورق و به هم‌پیوستن حفره‌ها را می‌توان دو روش عمده شکست در نظر گرفت.

در دمای کم تغییر شکل پلاستیکی محدود می‌شود و شکست نرم به کاهش چقرمگی شکست می‌انجامد. دمای تغییر شکست نرم به ترد را دمای تبدیل شکست نرم به ترد می‌نامند. برای تعیین چقرمگی شکست مواد از جمله چدن نشکن از دو آزمون استفاده می‌شود که عبارتند از آزمون ضربه و آزمون مکانیک شکست.

۱ـ ۱۲ـ ۱۳ـ اندازه‌گیری چقرمگی شکست با آزمون‌های ضربه

در آزمون‌های ضربه چارپی از نمونه‌هایی استفاده می‌شود که عموماً فاق (شیار) V دارند و به روش خمش سه نقطه‌ای بارگذاری می‌شوند. در آزمون‌های ضربه، انرژی

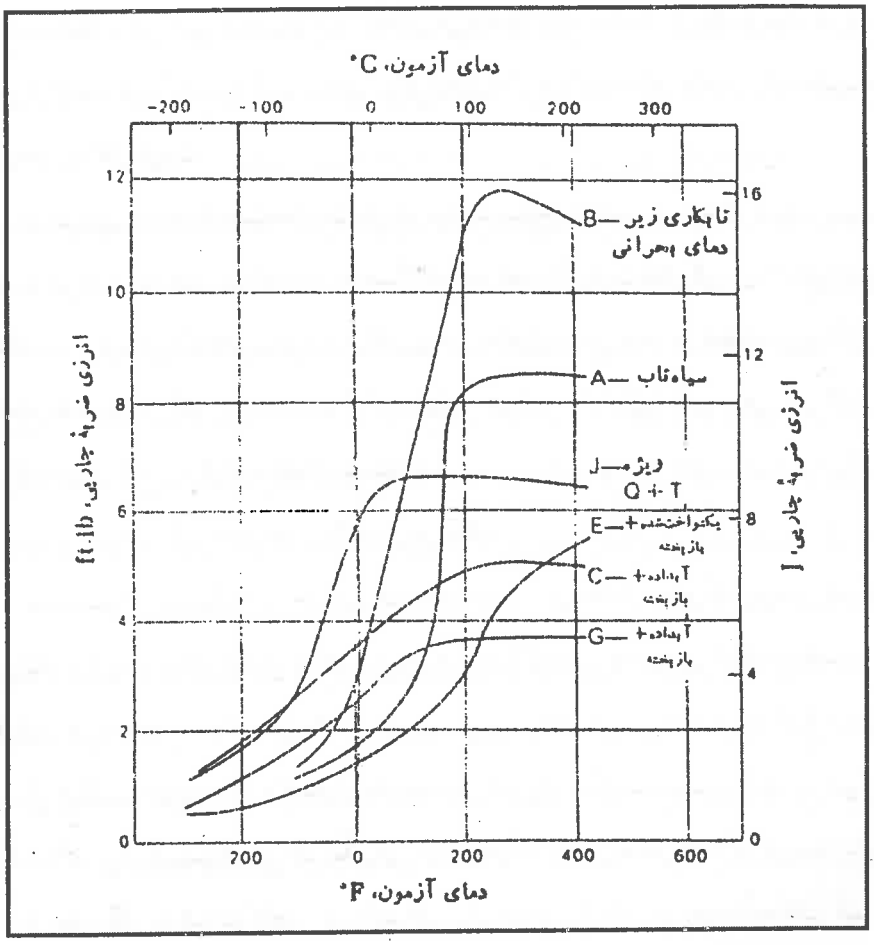
جذب شده در حین شکست نمونه اندازه‌گیری می‌شود. از آنجا که بیشتر انرژی صرف تغییر شکل نمونه می‌شود هرچه ماده نرم‌تر باشد مقدار انرژی جذب شده بیشتر خواهدبود. حالت‌های تنش پیچیده ناشی از فاق، آهنگ کرنش بالا و دمای کم، انرژی جذب شده را در حین شکست ماده کاهش می‌دهند. نتایج حاصل از یک آزمون ضربه را نمی‌توان مستقیماً با نتایج آزمون‌های دیگر مقایسه کرد یا داده‌های حاصل را مستقیماً در طراحی به کار گرفت.

با افزایش تعداد گرافیت‌های کروی در واحد سطح خواص ضربه‌ای چدن نشکن بهبود می‌یابد. در صورت افزایش حجم گرافیت و تعداد گرافیت‌های کروی، دمای تبدیل شکست نرم به ترد کاهش و انرژی شکست ضربه افزایش می‌یابد. در قطعات ریختگی با مقطع ضخیم، بزرگتر بودن اندازه گرافیت‌ها بر خواص مکانیکی تاثیر منفی نمی‌گذارد. هرگاه میزان کرویت گرافیت‌های چدن‌نشکن خوب باشد، ساختار زمینه و ترکیب شیمیایی خواص ضربه‌ای چدن را تعیین می‌نمایند.

سیلیسیم اثری دوگانه بر خواص ضربه‌ای دارد، زیرا مقدار زیاد آن زمینه را فریتی می‌کند و فریت دمای تبدیل شکست نرم به ترد را کاهش و انرژی شکست ضربه را افزایش می‌دهد. اما چدن‌های کم سیلیسیم با ریزساختار فریت حاصل از آنیل دمای تبدیل شکست نرم به ترد کمتری دارند ولی انرژی شکست ضربه آنها با انرژی چدن‌های پرسیلیسیم فریتی تقریباً برابر است. هرگاه مقدار فسفر از ۰/۱ درصد بیشتر باشد چقرمگی به شدت کاهش می‌یابد. اثر سایر عناصر آلیاژی نیز عمدتاً به تاثیر آنها بر ریزساختار زمینه مربوط می‌شود.

هرگاه ریزساختار مارتنزیت کاملاً بازپخته موجود باشد، خواص ضربه‌ای خوبی حاصل می‌شود. در شکل ۸ ـ ۱۳ اثر عملیات حرارتی برخواص ضربه‌ای نمونه‌های

آزمون چارپی با فاق V نشان‌داده شده است. در چدن‌های پراستحکام ریزساختار مارتنزیتی که برای کروی شدن کاربیدها بازپخت می‌شوند، نسبت به ساختار پرلیتی با سختی مشابه، خواص ضربه‌ای بهتری دارد.



شکل ۸ ـ ۱۳ ـ تاثیر انواع عملیات حرارتی بر خواص ضربه‌ای چدن نشکن

تنش‌زدایی چدن‌های فریتی یا فریتی‌پرلیتی سیاه تاب تاثیر ناچیزی بر مقاومت در

برابر ضربه دارد.

دما بر خواص ضربه‌ای چدن نشکن تاثیر می‌گذارد، بیشترین استحکام ضربه‌ای چدن‌های نشکن پرلیتی در دمای تقریباً ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و تا حدود ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌دست می‌آید اختلاف استحکام ضربه‌ای بین چدن‌های نشکن فریتی و پرلیتی با افزایش دما کاهش می‌یابد.

۲ ـ ۱۲ ـ ۱۳ ـ اندازه‌گیری چقرمگی شکست با آزمون مکانیک شکست

چقرمگی چدن نشکن را با آزمون‌های ویژه مکانیک شکست نیز می‌توان ارزیابی کرد، در این آزمون‌ها تمام یا بخشی از شکست حالت ترد دارد. با استفاده از این روش می‌توان برای تنش معینی اندازه ترکی را که به شکست ترد، می‌انجامد و چقرمگی ماده (KIc)، را تخمین زد، هرگاه تنش اعمالی از تنش تسلیم فلز کمتر باشد، اندازه ترک بحرانی تقریباً معادل $(KIc / Ys)^2$ خواهدبود که در آن Ys استحکام تسلیم است. برای اندازه‌گیری شدت تنش بحرانی (KIc) از علم مکانیک شکست الاستیک خطی می‌توان استفاده نمود، اخیراً روش تحلیل الاستیک ـ پلاستیک برای کاربرد در مورد موادی که پیش از شکست تغییر شکل پلاستیک می‌دهند نیز ابداع شده است.

هم گرافیت و هم ریزساختار زمینه بر چقرمگی شکست، تاثیر می‌گذارند. در چدن‌های نشکن فریتی هرچه گرافیت کروی‌تر باشد چقرمگی شکست بیشتر می‌شود. با افزایش تعداد گرافیت‌های کروی در واحد سطح، شکست کاملاً نرم می‌شود و بنابراین مقدار KIc در دماهای کم بسیار بالا خواهد بود اما در دماهای بالاتر اثر تعداد گرافیت‌های کروی در واحد سطح چندان قابل توجه نمی‌باشد.

۱۳ـ ۱۳ـ خواص در دمای بالا

چدن نشکن نشان داده است که در دمای بالا بسیار سودمند است. سیلیسیم موجود در آن سهم بسزایی در تثبیت استحکام در دمای بالا و مقاومت در برابر اکسیدشدن دارد. کاربردهای قطعات ریختگی چدن نشکن در دمای بالا را می‌توان به چهار گروه تقسیم نمود:

الف) کاربردهایی که در آنها دقت ابعادی مهم است و اعوجاج تحت بار باید حداقل باشد.

ب) کاربردهایی که برای تحمل بار در آنها واپیچش یا اعوجاج قابل توجه را می‌توان پذیرفت. نمونه‌ای از این کاربردها را می‌توان در قطعات کوره‌های صنعتی مشاهده نمود.

ج) کاربردهای ساده‌تر که در آن فلز تنها باید اندکی بیش از وزن خود را تحمل نماید، اما دما بسیار زیاد است. محدودیت کاری در این کاربردها تنها اکسایش تخریبی می‌باشد.

د) گرم شدن یا سردشدن سریع و ایجاد اختلاف دمای زیاد در یک قطعه که سبب پیدایش تنش‌های باقیمانده و اعوجاج یا خستگی حرارتی می‌شود.

بنابراین طراحی برای کار در دمای زیاد نه تنها شامل برآوردن خواسته‌های کاری است بلکه مستلزم در نظر گرفتن احتمال شکست نیز می‌باشد، علاوه بر این در معیارهای طراحی باید سرعت‌های انتقال حرارت، شیب‌های دمایی و انبساط گرمایی را نیز در نظر گرفت. بین این نکته‌ها و انتخاب مواد بستگی متقابل وجود دارد.

۱ـ ۱۳ـ ۱۳ـ انتخاب مواد

به منظور انتخاب ماده‌ای برای کار در دمای بالا شرایط و خواسته‌های عملی باید در

نظر گرفته شود. به‌ویژه دانستن محدودهٔ دمایی که قطعه به آن می‌رسد اهمیت دارد. وجود مقدار زیادی سیلیسیم در چدن نشکن سبب بهبود مقاومت در برابر اکسید شدن می‌شود اما سیلیسیم و گرافیت کروی رسانایی گرمایی (هدایت حرارتی) را کاهش می‌دهند و در نتیجه رسانایی گرمایی چدن نشکن از چدن خاکستری بسیار کمتر می‌باشد، در کاربردهایی که شیب دمایی زیادی دارند مدول کشسانی (یانگ) بزرگ، رسانایی گرمایی کم و نشکن بودن به تابیدگی قطعات ریختگی چدن نشکن می‌انجامد.

۲ ـ ۱۳ ـ ۱۳ ـ اثر دما

پایداری حرارتی چدن چه از لحاظ حفظ خواص مکانیکی و چه از نظر حفظ ابعاد اولیه به پایداری ریزساختار و مقاومت چدن در برابر اکسیدشدن بستگی دارد. سختی و استحکام چدن نشکن در دمای بیشتر از ۴۳۰ درجه سانتی‌گراد از سختی و استحکام چدن در دمای پایین‌تر کمتر است و با افزایش دما به تدریج کاهش می‌یابد. در دمای کمتر از ۵۴۰ درجه سانتی‌گراد اثر دائمی گرما بر سختی یا استحکام چدن نشکن ناچیز می‌باشد، چدن‌های فریتی یا کاملاً آنیل شده از لحاظ خواص فلزی در همه دماها تا محدودهٔ دمای بحرانی که بالاتر از ۷۳۰ درجه سانتی‌گراد است پایدارند. خواص آنها به ترکیب شیمیایی چدن بستگی دارد. زیرا استحکام و مقاومت فریت در برابر گرما را ترکیب شیمیایی آن تعیین می‌کند. مقدار سیلیسیم چدن و عناصری از قبیل نیکل، مولیبدن و آلومینیم بر خواص فریت در دمای بالا تاثیر مستقیم دارد. ریزساختار چدن‌های نشکن پرلیتی تا دمای ۴۲۰ درجه سانتی‌گراد پایدار می‌ماند. در دمای بیشتر از ۵۴۰ درجه سانتی‌گراد ممکن است کاربید موجود در پرلیت به تدریج کروی و سپس به آهن و کربن تجزیه شود. کربن در درون چدن نفوذ می‌کند و به صورت گرافیت بر سطح

گلوله‌های گرافیت موجود می‌نشیند (گرافیت‌زایی حرارتی) این پدیده در دمایی بیشتر از ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت قابل توجهی رخ می‌دهد. در دمای بیشتر از ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد گرافیت‌زایی زمان کوتاهی به‌طول می‌انجامد. سرعت واقعی گرافیت‌زایی به ترکیب شیمیایی چدن به ویژه مقدار سیلیسیم و مقدار عناصر پایدار کننده کاربید همچون منگنز، مولیبدن و کروم بستگی دارد. با پیشروی عملیات کروی شدن و گرافیت‌زایی، استحکام و سختی چدن پرلیتی کاهش می‌یابد و به استحکام و سختی چدن فریتی آنیل شده می‌رسد.

۱۴ـ ۱۳ـ رشد و اکسیدشدن یا پوسته‌شدن

چدن‌های نشکن حتی در غیاب تنش، در دمای بالا رشد (منبسط می‌شوند) می‌نمایند. سرعت و مقدار رشد به ترکیب شیمیایی و ریزساختار چدن و زمان ماندن در هر دما و ثابت یا متغیر بودن دما بستگی دارد، رشد چدن‌های نشکن در دمای ثابت به این بستگی دارد که دمای نگهداری قطعه بالاتر یا پایین‌تر از محدودهٔ بحرانی (دمای یوتکتوئید) باشد. علائم نگهداری قطعه در دمای کمتر از ۸۲۰ درجه سانتی‌گراد عبارت‌اند از:

الف) چدن نشکن فریتی (آنیل شده) اساساً رشد نمی‌کند.

ب) چدن‌های پرلیتی (نرماله شده) و ساختارهای مختلط فریتی ـ پرلیتی (سیاه تاب) در نتیجه گرافیت‌زایی رشد می‌نمایند. حداکثر رشد در مورد چدن‌های کاملاً پرلیتی در حدود یک درصد است. مقدار رشد واقعی گزارش شده ناشی از ماندگاری طولانی در دمای بالا در حدود ۱/۴ تا ۱/۲ درصد است.

علائم نگهداری قطعه در دمای بیشتر از ۸۲۰ درجه سانتی‌گراد عبارت‌اند از:

الف) همه چدن‌های نشکن مقدار زیادی رشد می‌نمایند، ساختارهای پرلیتی (سیاه تاب یا نرماله شده) بیشتر از رده‌های فریتی (آنیل شده) رشد دارند.

ب) در چدن‌های پرلیتی (سیاه تاب) مقاطع نازک بیشتر از مقاطع ضخیم رشد می‌کنند هرگاه قطعه به مدت یک تا دو ساعت در دمایی بالاتر از ۹۸۰ درجه سانتی‌گراد بماند، مقاطع نازک به ضخامت $\frac{1}{4}$ اینچ یا کمتر در حدود یک درصد رشد می‌نمایند در حالی‌که مقاطع ضخیم‌تر در حدود ۰/۵ درصد رشد دارند.

ج) بیشتر بودن سیلیسیم سبب افزایش مقاومت در برابر رشد می‌شود.

برخلاف چدن‌های خاکستری که هم از طریق گرافیت‌زایی و هم در نتیجه اکسیدشدن زیرسطحی رشد می‌نمایند، رشد چدن‌های نشکن عمدتاً از گرافیت‌زایی ناشی می‌شود. معمولاً پیش از گرافیت‌زایی یک نهفتگی وجود دارد. با افزایش دما دوره نهفتگی کاهش و سرعت گرافیت‌زایی افزایش می‌یابد. پس از تکمیل گرافیت‌زایی در نتیجه اکسیدشدن درونی رشد ناچیزی حاصل می‌شود. چدن‌های نشکن در دمای بالا کمتر از چدن‌های خاکستری رشد می‌نمایند. پوسته شدن یا اکسیدشدن را معمولاً از طریق اندازه‌گیری افزایش وزن نمونه یا عمق نفوذ اکسید ارزیابی می‌نمایند. روش دوم اطمینان بیشتری دارد زیرا در هنگام تعیین افزایش وزن ناشی از تشکیل اکسید فلزی، باید کاهش وزن ناشی از کربن‌زدایی را نیز به حساب آورد.

هرچه مقدار سیلیسیم چدن نشکن بیشتر باشد و در صورتی که با کروم یا ترکیبی از کروم مولیبدن آلیاژ شود کمتر رشد خواهدنمود. قلع پرلیت را پایدار می‌نماید و سرعت رشد را کاهش می‌دهد اما مس از طریق تولید پرلیت که در دمای زیاد تجزیه می‌شود باعث افزایش رشد می‌شود. نوع پوسته تشکیل شده بر روی چدن نشکن تعیین کننده سرعت اکسیدشدن است زیرا نفوذ یون‌های فلز به سمت بیرون و یا نفوذ یون‌های

اکسیژن به سمت داخل را تعیین می‌نماید. با افزایش مقدار سیلیسیم در فلز ترکیب شیمیایی پوسته تغییر می‌نماید و از اکسید آهن به سیلیکات آهن تبدیل می‌شود، پوسته سیلیکاتی در برابر عبور یون‌های فلز و اکسیژن از همه مقاوم‌تر می‌باشد و در نتیجه سرعت اکسیدشدن را کاهش می‌دهد. با توجه به گفته‌های بالا می‌توان دریافت که در نتیجه افزایش مقدار سیلیسیم و حضور آلومینیم مقاومت در برابر اکسیدشدن بهبود می‌یابد.

۱۵ـ ۱۳ - خواص کوتاه مدت در دمای بالا

چدن‌های نشکن در بعضی از کاربردهای دمای بالا به‌کار می‌روند. اگرچه آزمون‌های تنش ـگسیختگی و یا خزش برای ارزیابی در کاربردهای دمای بالا بسیار سودمندند، اما آزمون‌های کششی کوتاه مدت نیز به‌کار می‌روند. استحکام چدن‌های نشکن فریتی در دماهای کمتر از ۳۱۵ درجه سانتی‌گراد چندان تغییر نمی‌نماید. بالاتر از این دما استحکام کششی و تسلیم کاهش می‌یابد و در دمای ۷۶۰ درجه سانتی‌گراد به ۴۱ مگاپاسکال می‌رسد. درصد ازدیاد طول نسبی چدن‌های نشکن فریتی با افزایش دما کاهش می‌یابد و در دمای ۵۴۰ درجه سانتی‌گراد به حداقل ۸ درصد می‌رسد و سپس با افزایش دما تا ۷۶۰ درجه سانتی‌گراد به سرعت افزایش می‌یابد. استحکام کششی و تسلیم چدن نشکن پرلیتی با افزایش دما تا حدود ۷۶۰ درجه سانتی‌گراد به ۵۲ مگاپاسکال می‌رسد. درصد ازدیاد طول نسبی چدن‌های نشکن پرلیتی با افزایش دما کاهش می‌یابد و در دمای ۴۲۵ درجه سانتی‌گراد به ۳ درصد می‌رسد و سپس با افزایش دما تا ۷۶۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. کاهش مدول کشسانی فولاد و چدن‌نشکن با افزایش دما تا دمای ۴۸۰ درجه سانتی‌گراد تقریباً خطی می‌باشد. اختلاف مدول چدن و فولاد ناشی از وجود

گرافیت در چدن می‌باشد و با افزایش دما اثر گرافیت بر مدول اندکی کاهش می‌یابد.

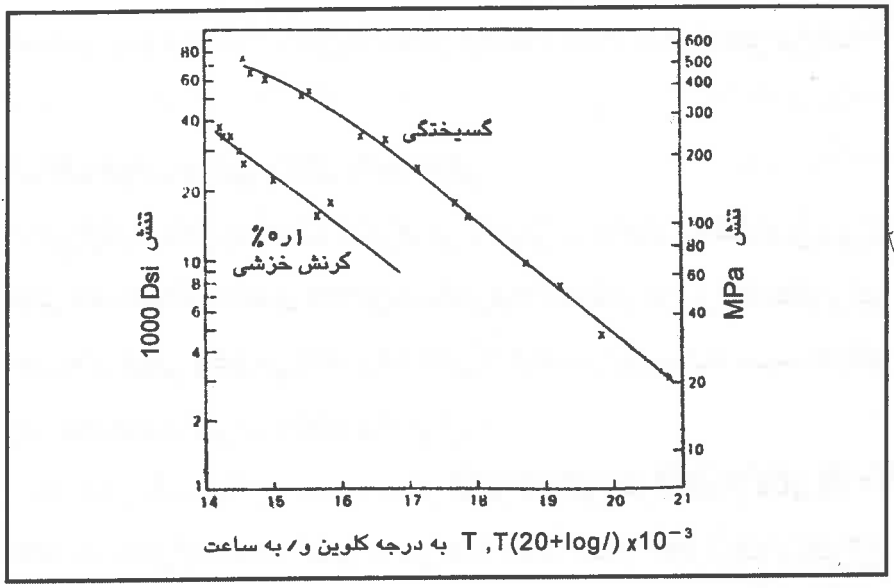
۱۶ـ ۱۳ـ خواص خزشی و تنش ـ گسیختگی

نتایج آزمون خزش چدن‌های نشکن فریتی و پرلیتی در دماهای مختلف بدین‌صورت گزارش شده است که تا دمای ۴۲۵ درجه سانتی‌گراد استحکام خزشی چدن‌های پرلیتی از چدن‌های فریتی بیشتر می‌باشد. رشد ناشی از گرافیت‌زایی پرلیت سبب افزایش خزش چدن‌های پرلیتی در دماهای زیاد می‌شود.

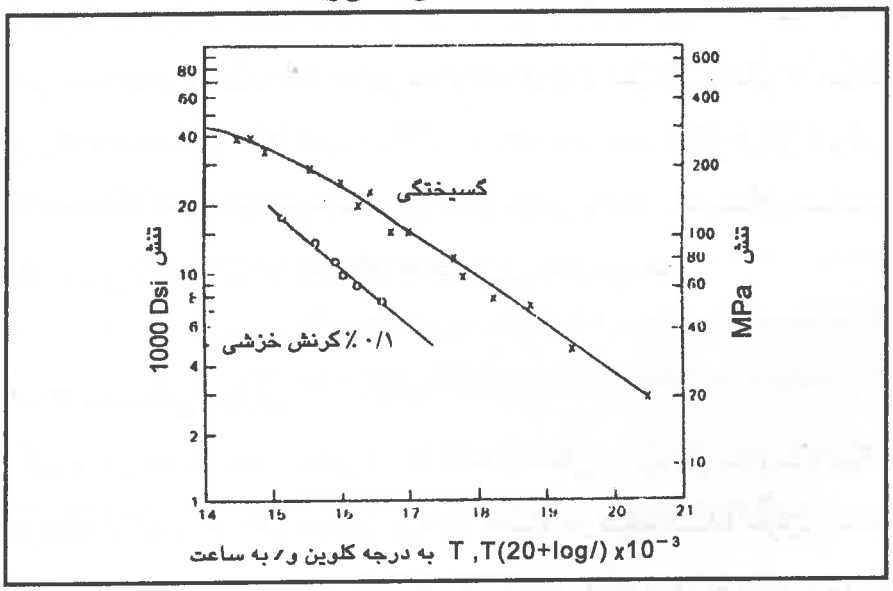
رفتار تنش ـ گسیختگی چدن‌های نشکن فریتی و پرلیتی غیرآلیاژی از دمای ۴۲۵ تا ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد به این صورت می‌باشد که تا دمای ۵۴۰ درجه سانتی‌گراد استحکام تنش ـ گسیختگی چدن‌های نشکن پرلیتی از فریتی بیشتر می‌باشد. در دمای ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد چدن‌های پرلیتی تنها اندکی محکمتر می‌باشند. نمودارهای لارسن ـ میلر که برای نشان دادن خواص دما بالای خزش و تنش ـ گسیختگی به صورت تابع زمان و دماست در شکل‌های ۹ ـ ۱۳ و ۱۰ ـ ۱۳ برای چدن نشکن فریتی و پرلیتی نشان داده شده است. این نمودارها برتری رفتار خزشی و تنش ـ گسیختگی چدن‌های نشکن پرلیتی را در مقایسه با چدن‌های نشکن فریتی نشان می‌دهد.

۱۷ـ ۱۳ـ خستگی حرارتی

گرم و سردنمودن مکرر بخشی از یک قطعه ریختگی به شیوه‌ای متفاوت با دیگر بخش‌های آن سبب خستگی حرارتی می‌شود. معمولاً در نتیجه انبساط حرارتی بخش گرم شده تحت فشار قرار دارد. از آنجا که حداکثر تنش فشاری در حداکثر دما رخ می‌دهد و در این حالت فلز کمترین استحکام را دارد، لذا دچار تغییر شکل می‌شود



شکل ۹ ـ ۱۳ ـ منحنی لارسن ـ میلر برای رفتار خزش و تنش ـ گسیختگی چدن نشکن پرلیتی در شرایط مرکب زمان ـ دمای زیاد



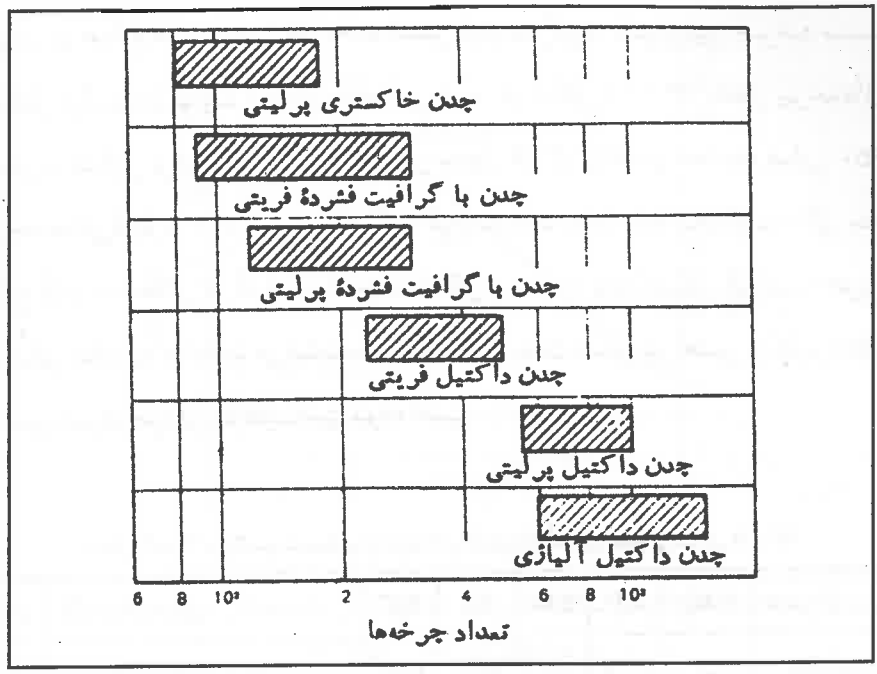
شکل ۱۰ ـ ۱۳ ـ منحنی لارسن ـ میلر برای رفتار خزشی و تنش ـ گسیختگی چدن نشکن فریتی در شرایط مرکب زمان ـ دمای زیاد

سپس در هنگام سرد نمودن فلز تحت کشش قرار می‌گیرد. تکرار این چرخه سبب تشکیل ترک و در نهایت شکست قطعه می‌شود. در شکل ۱۱ - ۱۳ مقدار چرخه‌های منجر به تشکیل ترک چدن‌های ذکر شد در جدول ۶ـ۱۳ را که در محدوده دمایی ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد گرم شده‌اند نشان داده شده است، اگر چه نتایج آزمون‌ها حاکی از آن است که چدن نشکن و به ویژه چدن نشکن آلیاژی به خوبی در برابر شکست مقاومت می‌نمایند، اما استفاده از چدن نشکن در بعضی از کاربردهای تضمین شوک حرارتی موفقیت‌آمیز نبوده است.

جدول ۶ـ ۱۳ ـ ترکیب شیمیایی چدن‌ها در آزمون خستگی حرارتی شکل ۱۱ ـ ۱۳

نوع	ترکیب شیمیایی	%C	%S	%Mn	%P	%Mg	عنصر آلیاژی
A	چدن خاکستری نوع ۳۰	۲/۹۶	۲/۹۰	۰/۷۸	۰/۰۷	–	۰/۱۲Cr
B	چدن با گرافیت فشرده فریتی	۳/۵۲	۲/۶۱	۰/۲۵	۰/۰۵	۰/۰۱۵	–
C	چدن با گرافیت فشرده پرلیتی	۳/۵۲	۲/۲۵	۰/۴۰	۰/۰۵	۰/۰۱۵	۱/۴۷Cu
D	چدن‌نشکن فریتی	۳/۶۷	۲/۵۵	۰/۱۳	۰/۰۶	۰/۰۳۰	–
E	چدن‌نشکن پرلیتی	۳/۶۰	۲/۳۴	۰/۵۰	۰/۰۵	۰/۰۳۰	۰/۵۴Cu
F	چدن‌نشکن آلیاژی	۳/۴۸	۴/۸۴	۰/۳۱	۰/۰۷	۰/۰۳۰	۱/۰۲Mo

زیاد بودن مدول کشسانی، کم بودن رسانایی گرمایی (هدایت حرارتی) چدن نشکن استفاده از آن را در کاربردهایی که دارای چرخه حرارتی می‌باشند محدود می‌کند.



شکل ۱۱ ـ ۱۳ ـ تعداد چرخه‌های گرمایی بین دمای ۶۵۰ و ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد برای ایجاد ترک در چدن‌های ذکر شده در جدول ۶ ـ ۱۳

۱۸ ـ ۱۳ ـ خواص در دمای کم

تُردی چدن و فولادها در دمای کم به خوبی شناخته شده است. این پدیده در آزمون ضربه بیش از هرجای دیگر آشکار می‌شود. با کاهش دما استحکام کششی افزایش می‌یابد اما کاهش شدید در انعطاف‌پذیری نمونه آزمون را در برابر تنش‌های موضعی بسیار حساس می‌نماید، به‌طوری که استحکام نهایی موثر کاهش می‌یابد. این حساسیت در قطعات ریختگی مورد استفاده در دماهای کم وجود دارد، لذا استفاده از چدن‌های نشکن با ریزساختار آستنیتی برای کار در دمای کم توصیه می‌شود.

اثر فسفر، سیلیسیم و منگنز بر خواص کششی در دمای کم در مورد چدن‌های نشکن

فریتی بررسی شده است. با کاهش دما از ۲۰ به ۶۰ـ درجه سانتی‌گراد استحکام تسلیم و کششی چدن‌های نشکن حاوی ۱/۸۸ تا ۲/۸ درصد سیلیسیم یا چدن‌های نشکن حاوی ۰/۲۷ درصد تا ۰/۶۲ درصد منگنز افزایش و میزان انعطاف‌پذیری آنها کاهش می‌یابد، اما میزان انعطاف‌پذیری چدن حاوی ۰/۱۴ درصد فسفر نسبت به چدن‌هایی که کمتر از ۰/۰۲ درصد فسفر دارند، در این محدوده دمایی با شدت بیشتری کاهش می‌یابد، دلیل این پدیده اثر تردکنندگی فسفر در دمای کم می‌باشد.

۱۹ـ ۱۳ـ انبساط گرمایی (حرارتی)

ضریب انبساط گرمایی چدن اصولاً به ساختار زمینه آن بستگی دارد و دما و شکل گرافیت و ترکیب شیمیایی نیز تا حدودی بر آن تاثیر می‌گذارد، ضریب انبساط گرمایی چدن‌های نشکن شبیه به ضریب انبساط گرمایی چدن‌های خاکستری می‌باشد این ضریب در مورد چدن خاکستری و نشکن در محدوده $۱۰/۱ \times ۱۰^{-۶}$ تا $۱۲/۶ \times ۱۰^{-۶}$ بر درجه سانتی گراد متغیر است، ضریب انبساط گرمایی چدن‌های زمینه فریتی و مارتنزیتی معمولاً اندکی از ضریب انبساط گرمایی چدن‌های زمینه پرلیتی بیشتر است. این ضریب در مورد ریزساختار آستنیتی بسیار بزرگتر و در حدود ۱۸×۱۰^{-۶} بر درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

۲۰ـ ۱۳ـ هدایت گرمایی (حرارتی)

هدایت گرمایی چدن‌ها اصولاً تابعی از شکل گرافیت، ریزساختار زمینه و ترکیب شیمیایی می‌باشند. از نقطه نظر شکل گرافیت بیشترین هدایت گرمایی در حالتی حاصل می‌گردد که شکل گرافیت به صورت ورقه‌ای باشد، ولی بررسی‌ها مشخص نموده است

که هدایت گرمایی در حالت گرافیت‌های کروی و فشرده نیز در حد قابل قبولی قرار دارند. ریزساختار میکروسکوپی نیز به هدایت گرمایی تاثیر دارد بهترین هدایت گرمایی در ریزساختار فریتی مشاهده می‌گردد. از طرفی هدایت گرمایی تحت تاثیر ترکیب شیمیایی و عناصر آلیاژی تشکیل دهنده آلیاژ نیز می‌باشد ـ سیلیسیم ـ نیکل ـ آلومینیوم هدایت گرمایی را کاهش می‌دهند. فسفر و منگنز هدایت گرمایی را اندکی کاهش و افزودن تا ۲ درصد مس هدایت گرمایی را اندکی افزایش می‌دهد. تاثیر عناصر کاربیدزا بر هدایت گرمایی چدن‌ها نیز به روشنی مشخص نیست بعضی از محققین از افزایش و بعضی دیگر از کاهش هدایت گرمایی توسط این عناصر خبر داده‌اند. هدایت گرمایی چدن نشکن غیرآلیاژی در دمای محیط از ۰/۰۹۳ تا ۰/۱۰۸ کالری بر سانتی‌متر مربع بر ثانیه بر سانتی متر بر درجه سانتی‌گراد متغیر می‌باشد.

۲۱ـ ۱۳ـ هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی چدن‌ها تابعی از ترکیب شیمیایی و ریزساختار زمینه می‌باشد و گرافیت‌ها تاثیر چندانی بر هدایت الکتریکی ندارند ولی بررسی‌ها مشخص نموده‌اند که وجود گرافیت‌های کروی بهتر از گرافیت‌های ورقه‌ای می‌باشد لذا هدایت الکتریکی چدن‌های نشکن مقداری بالاتر از چدن‌های خاکستری می‌باشد. افزایش کربن – سیلیسیم ـ نیکل ـ آلومینیوم هدایت الکتریکی را کاهش و مقاومت الکتریکی را افزایش می‌دهند. همچنین بیشترین هدایت الکتریکی مربوط به ریزساختار فریت و کمترین آن مربوط به ریزساختار آستنیتی می‌باشد. برای تعیین هدایت الکتریکی معمولاً از آزمون مقاومت ویژه استفاده می‌گردد مقاومت ویژه چدن نشکن غیرآلیاژی با ریزساختار فریتی ـ پرلیتی در محدود ۲۴ تا ۳۵ میکرواهم سانتی‌متر گزارش شده است.

۲۲ـ ۱۳ـ خواص مغناطیسی

خواص مغناطیسی چدن‌ها تابعی از ترکیب شیمیایی و ریزساختار میکروسکوپی آنها می‌باشد، به‌طور کلی خواص مغناطیسی چدن‌ها به مراتب کمتر از فولادهای سیلیسیم‌دار می‌باشد امّا در بعضی موارد که نیاز به قطعات پیچیده باشد می‌توان از چدن‌ها استفاده نمود. برای تعیین خواص مغناطیسی از آزمون القای مغناطیسی استفاده می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که القای مغناطیسی تابعی از شکل گرافیت‌ها نمی‌باشد ولی بعضی از محققین القای مغناطیسی در چدن‌های گرافیت‌های ورقه‌ای را کمتر از چدن‌های گرافیت‌های کروی گزارش نموده‌اند. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیشترین مغناطیس شدگی در زمینه فریتی و کمترین آن در زمینه‌های مارتنزیتی و آستنیتی ایجاد می‌گردد. از طرفی مطالعه انجام شده برروی تاثیر عناصر آلیاژی نشان می‌دهد که حضور عناصر کاربیدزا باعث کاهش خاصیت مغناطیسی چدن‌ها می‌گردد.

فصل ۱۴

ماشین‌کاری چدن‌های نشکن

۱ـ۱۴ـ مقدمه

در تولید اکثر محصولات فلزی، ماشین‌کاری جهت حصول به شکل نهایی دلخواه به‌کار گرفته می‌شود. ریخته‌گری به دلیل تولید قطعات پیچیده همانند قطعه نهایی کم هزینه‌ترین روش برای تولید این‌گونه قطعات می‌باشد. کاهش ماشین‌کاری و مواد مصرفی، شکل دقیق و یکنواختی تلرانس‌های ابعادی توسط تکنولوژی‌های ریخته‌گری مدرن باعث صرفه‌جویی اقتصادی بیشتر در تولید قطعات شده‌اند.

۲ـ۱۴ـ قابلیت ماشین‌کاری

قابلیت ماشین‌کاری یک خاصیت ذاتی ماده نیست بلکه بیشتر نتیجه تماس میان قطعه و ابزارهای برشی گوناگون در سرعت‌های متفاوت و تحت روش‌های روغن‌کاری مختلف می‌باشد. معمولاً قابلیت ماشین‌کاری توسط اندازه‌گیری رابطه میان سرعت

تراش‌کاری و عمر ابزار برشی تعیین می‌گردد، زیرا این فاکتورها مستقیماً بر روی قابلیت تولید در فرآیند ماشین‌کاری و هزینه‌های ماشین‌کاری تاثیر می‌گذارند.

به‌طور کلی عوامل مؤثر بر قابلیت ماشین‌کاری چدن‌های نشکن عبارتند از:

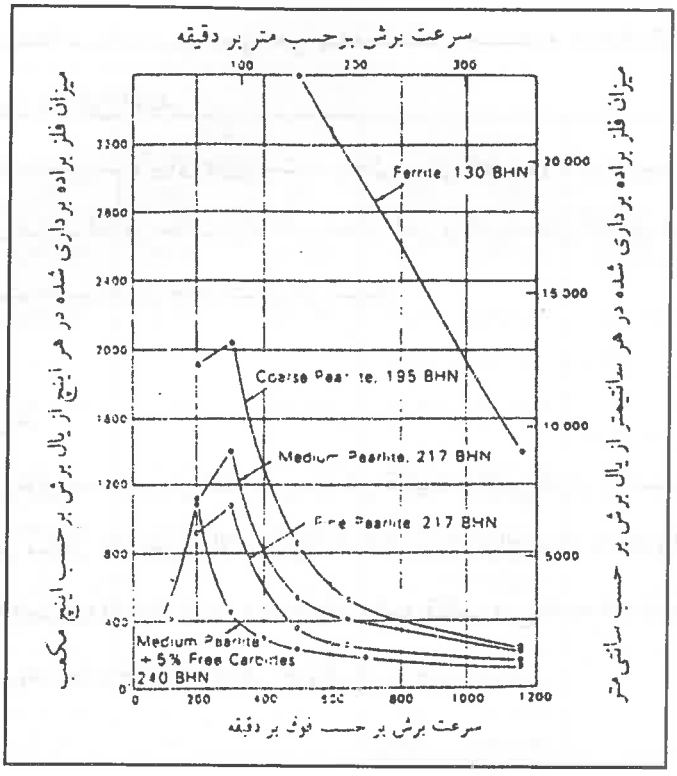
الف) ریزساختار ب) ناخالصی‌ها پ) سطح نهایی موردنیاز

در ادامه به بررسی هر یک از پارامترهای ذکر شده می‌پردازیم:

الف) ریزساختار

قابلیت ماشین‌کاری تحت تاثیر ریزساختار میکروسکوپی و سختی است. حضور ذرات گرافیت در چدن‌های خاکستری، چکش‌خوار و نشکن، علت بالا بودن خواص ماشین‌کاری این مواد و قابلیت ماشین‌کاری بهتر آنها نسبت به فولادهای ریختگی است. در چدن‌ها، شکل گرافیت نقش مهمی را در ماشین‌کاری ایفا می‌نماید، به‌نحوی که گرافیت‌های لایه‌ای در چدن خاکستری بالاترین خواص ماشین‌کاری را فراهم می‌آورند، ریزساختار میکروسکوپی پیرامون گرافیت عامل اصلی تعیین کننده عمر ابزار برشی است. به علت رابطه نزدیک سختی و ریزساختار، سختی معمولاً به عنوان قابلیت ماشین کاری شناخته می‌شود. با این‌حال سختی برای ریزساختارهای مشابه یک مشخصه دقیق از قابلیت ماشین کاری نمی‌باشد. شکل ۱ ـ ۱۴ قابلیت ماشین‌کاری چدن‌نشکن را با ریزساختار مختلف نشان می‌دهد. فریت نرم‌ترین فاز زمینه در چدن‌نشکن است و در نتیجه بهترین قابلیت ماشین‌کاری را ارائه می‌دهد. با اینکه فریت چدن نشکن به اندازه فریت در فولاد نرم نیست اما به‌علت خاصیت روغن‌کاری و روانکاری گرافیت‌های کروی، قابلیت ماشین کاری بالاتری به چدن نشکن اعطاء می‌نماید. قابلیت ماشین‌کاری چدن نشکن معمولاً تا ۳ درصد سیلیسیم افزایش می‌یابد

اما بالاتر از این اُفت می‌نماید.



شکل ۱ ـ ۱۴ ـ قابلیت ماشین‌کاری چدن‌نشکن با ریزساختارهای مختلف

پرلیت که حاوی مخلوطی از فریت نرم و کاربیدهای لایه‌ای سخت است یک ریزساختار معمول در تمام رده‌های چدن نشکن با استحکام متوسط می‌باشد. کسر حجمی پرلیت و ظرافت لایه‌های پرلیت سختی و قابلیت ماشین‌کاری چدن‌های نشکن حاوی پرلیت را تعیین می‌نمایند. با اینکه قابلیت ماشین‌کاری با افزایش پرلیت کاهش می‌یابد، با این حال به‌نظر می‌رسد که چدن‌های نشکن پرلیتی بهترین ترکیب از قابلیت ماشین‌کاری و سختی را در کنار یکدیگر دارا می‌باشند. شکل ۱ ـ ۱۴ نمایانگر اثرات

ظرافت پرلیت بر روی قابلیت ماشین‌کاری و اثر کاهش سختی در افزایش ظرافت پرلیت است. کاربیدها سخت‌ترین جزء در چدن نشکن هستند و ضعیف‌ترین قابلیت ماشین‌کاری را دارا می‌باشند.

کاربیدها به صورت لایه‌ای در پرلیت به راحتی برش خورده و تاثیری بر روی قابلیت ماشین‌کاری ندارند اما در حالت آزاد کاربیدهای آهن و کاربیدهای آلیاژی هر دو باعث کاهش قابلیت ماشین‌کاری چدن نشکن می‌شوند.

ب) ناخالصی‌ها

ناخالصی‌های محبوس در قطعات ریختگی قابلیت ماشین‌کاری را شدیداً کاهش می‌دهند. این مناطق با سختی بالا معمولاً شامل جوانه‌زای حل نشده، اکسیدها ـ سیلیکات‌ها (سرباره)، مواد نسوز و دانه‌های ماسه قالب می‌باشند که باید به نحو مناسبی از ورود آنها به قطعه ریختگی جلوگیری به عمل آورد.

پ) سطح نهایی موردنیاز

در چدن‌های نشکن با توجه به ریزساختار و روش صیقل‌کاری می‌توان سطوح نهایی بسیار صیقلی را به‌دست آورد. به عبارت دیگر چدن نشکن می‌تواند با بهره‌گیری از ریزساختار دانه‌ای مناسب و روش صحیح تمام کاری، پس از ماشین‌کاری، از سطحی بسیار خوب و مناسب برخوردار شود، که البته توسط سنگ‌زنی و براده برداری یک سطح نهایی ۴ میکرواینچی یا پایین‌تر به‌دست می‌آید. جدول ۱ ـ ۱۴ عملیات گوناگون ماشین‌کاری و سطوح نهایی حاصل را در رده‌های متفاوت چدن نشکن نشان می‌دهد.

جدول ۱ ـ ۱۴ ـ عملیات گوناگون ماشین‌کاری و سطوح نهایی حاصل در چدن‌های نشکن

عملیات ماشینکاری	نوع چدن داکتیل					
	۱۸ـ۴۰ـ۶۰		۰۶ـ۵۵ـ۸۰		۰۳ـ۷۰ـ۱۰۰	
	۱۵۲ BHN		۲۲۳ BHN		۲۶۵ BHN	
	μm	μin	μm	μin	μm	μin
تراشکاری، کاربید، خشن‌تراشی با روغن محلول	۳ر۲ـ۵ر۱	۸۰ـ۶۰	۳ر۲ـ۲۰ر۱	۸۰ـ۵۵	۵۴ر۲ـ۵۲ر۱	۱۰۰ـ۶۰
تراشکاری، کاربید، تراش نهایی با روغن محلول	۳ر۲ـ۷۸ر۱	۸۰ـ۷۰	۵۲ر۱ـ۰۲ر۱	۶۰ـ۴۰	۵۴ر۲ـ۲۷ر۱	۱۰۰ـ۵۰
فرزکاری با پیشانی تیغه، کاربید، خشن‌تراشی با و بدون سطح پیشانی	۱۶ر۱۰ـ۵۴ر۲	۴۰۰ـ۱۰۰	۸۹ر۸ـ۷۸ر۱	۳۵۰ـ۷۰	۱۶ر۱۰ـ۷۸ر۱	۴۰۰ـ۷۰
فرزکاری با پیشانی تیغه، تراش نهایی با سطح پیشانی	۵ر۳ـ۳ر۲	۱۲۰ـ۸۰	۳ر۲ـ۵۲ر۱	۸۰ـ۶۰	۷۸ـ۵۲ر۱	۷۰ـ۶۰
کف‌سایی، خشن‌تراشی	۷۶ر۰ـ۳۸ر۰	۳۰ـ۱۵	۶۴ر۰ـ۳۸ر۰	۲۵ـ۱۵	۶۴ر۰ـ۳۸ر۰	۲۵ـ۱۵
کف‌سایی، تراش نهایی	۳۸ر۰ـ۱۰ر۰	۱۵ـ۴	۳۸ر۰ـ۱۰ر۰	۱۵ـ۴	۳۰ر۰ـ۰۸ر۰	۱۲ـ۳
گردسایی، خشن‌تراشی	۵۳ر۰	۲۱	۵۳ر۰	۲۱	۵۳ر۰	۲۱
گردسایی، تراش نهایی	۱۰ر۰	۴	۱۰ر۰	۴	۱۰ر۰	۴
صیقل‌زنی تخت، خشن‌تراشی	۵۱ر۰ـ۳۰ر۰	۲۰ـ۱۲	۵۱ر۰ـ۳۰ر۰	۲۰ـ۱۲	۵۱ر۰ـ۳۰ر۰	۲۰ـ۱۲
صیقل‌زنی تخت، تراش نهایی	۲۸ر۰ـ۱۵ر۰	۱۱ـ۶	۲۸ر۰ـ۱۵ر۰	۱۱ـ۶	۲۸ر۰ـ۱۵ر۰	۱۱ـ۶
صیقل‌زنی گرد	۲۳ر۰ـ۱۸ر۰	۹ـ۷	۲۳ر۰ـ۱۸ر۰	۹ـ۷	۲۳ر۰ـ۱۸ر۰	۹ـ۷
پرداخنکاری	۱۵ر۰ـ۱۰ر۰	۶ـ۴	۲۳ر۰ـ۱۰ر۰	۹ـ۴	۱۵ر۰ـ۱۰ر۰	۶ـ۴
نماسکاری	۲۸ر۰ـ۱۳ر۰	۱۱ـ۵	—	—	۲۳ر۰ـ۱۳ر۰	۹ـ۵

۳ ـ ۱۴ ـ روش‌های متداول ماشین‌کاری

به‌طور کلی روش‌های متفاوتی برای ماشین‌کاری وجود دارد که عبارت‌اند از:

الف) صیقل کار غلطکی ب) شاب‌زنی

پ) ماشین‌کاری سایشی ت) ضرب‌زنی (حدیده کاری)

که در ادامه به بررسی هر یک از روش‌های فوق می‌پردازیم:

۱ـ ۳ ـ ۱۴ ـ صیقل‌کاری غلطکی

این عملیات، فرآیندی برای سردکاری یا کار سرد است که از طریق تغییر شکل پلاستیکی ناهمواری‌های سطحی، سطح ظریف و صافی ایجاد می‌نماید برای انجام این تغییر شکل با چرخش غلطک‌های سخت شده، روی سطح تراشکاری یا داخل تراشی شده، نیروهای غلطشی ویژه و بزرگی ایجاد می‌شود، برخلاف نورد کاری سرد که معمولاً با تغییر مقطع زیادی همراه است صیقل کاری غلطکی تنها بر سطح قطعه اثر می‌گذارد و سطحی عالی پدید می‌آورد که برای سیلندرهای هیدرولیکی که با کاسه نمد درزبندی می‌شوند بسیار مناسب است. از این فرآیند می‌توان در مورد هر نوع قطعه ریختگی ماشین‌کاری شده استفاده نمود اما در مورد چدن‌های فریتی با سختی کم مؤثرتر واقع می‌شود. صیقل‌کاری غلطکی موفقیت‌آمیز به سه عامل بستگی دارد که به هنگام آماده سازی سطح پیش از صیقل کاری باید آنها را در نظر گرفت. این عوامل عبارت‌اند از:

۱ ـ مواج‌بودن سطح تراش خورده

۲ ـ شکل هندسی قطعه

۳ ـ اضافه مجاز برای غلطک‌کاری

۲ ـ ۳ ـ ۱۴ ـ شاب‌زنی

با شاب‌زنی قطعات ریختگی چدنی می‌توان سطوح بسیار دقیقی به‌دست آورد. در این فرآیند سطحی دقیق را در تماس با سطحی که باید شاب زده شود قرار می‌دهند. ناحیه‌های تماس دو سطح را با رنگی که به سطح دقیق کاری مالیده شده است نشانه‌گذاری می‌کنند. با استفاده از شاب لایه‌های بسیار نازک فلز را از نواحی رنگ‌شده

روی سطح با دقت بر می‌دارند. در حقیقت شاب ابزار دستی است که لبه‌ای بسیار سخت دارد. با شاب‌زنی سطوح تخت، شیارهای هادی ماشین‌های ابزار و یاتاقان‌ها را می‌توان به سطوح بسیار دقیقی تبدیل نمود.

۳ ـ ۳ ـ ۱۴ ـ ماشین‌کاری سایشی

سنگ زنی و پرداخت کاری عملیات متداول تمام کاری قطعات ریختگی چدنی هستند که مشخصه آنها فلزبرداری اندک، ایجاد سطحی صاف و ظریف با تلرانس‌های ابعادی دقیق است. با ظهور ماشین‌های سنگ‌زنی پرقدرت، اصطلاح ماشین‌کاری سایشی برای توصیف عملیات سنگ‌زنی مورد استفاده برای فلز برداری سنگین و نیز پرداخت‌کاری ظریف متداول شده است. در تمام عملیات سنگ‌زنی، با عمل مکانیکی، دانه‌های ساینده‌ای که آرایش تصادفی دارند فلز را از قطعه کار برمی‌دارد.

این دانه‌های ساینده را می‌توان به چرخ، سنگ سمباده، یا حلقه تسمه چسبانده یا به‌صورت آزاد به‌کار برد. ساینده‌هایی که استفاده از آنها در مورد قطعات ریختگی چدنی توصیه می‌شود عبارتند از: سیلیسیم کاربید (کربوراندوم) و اکسید آلومینیم (آلوکسیت).

و اما به‌طور کلی این عملیات به چند دسته کلی تقسیم می‌گردند که عبارتند از:

۱ ـ ماشین سنگ کف‌سایی با محور افقی

۲ ـ ماشین سنگ کف‌سایی با محور عمودی

۳ ـ گردسایی

۴ ـ سنگ‌زنی بی‌مرغک

۵ سنگ‌زنی داخلی

۶ ـ سنگ‌زنی با تسمه سنباده

۴ ـ ۳ ـ ۱۴ ـ ضرب‌زنی

ضرب زنی عملیات مخصوصی است که برای تغییر شکل یک قطعه چدن نشکن برای به دست آوردن قطعه نهایی و یا برش راهباره‌ها، گردن تغذیه و پلیسه‌های خط جدایش به‌کار می‌رود. با توجه به استحکام چدن نشکن اندازه‌ای از قطعه را که می‌توان ضرب‌زنی نمود و مقداری تغییر شکل ایجاد نمود، محدود می‌باشد. با این حال در قطعات کوچک با تعداد بالا که به شکل نهایی نزدیک هستند و احتیاج به بررسی و کنترل ابعادی کمتری دارند، ضرب‌زنی یک عملیات اقتصادی و با صرفه جهت کاهش عملیات ماشین‌کاری و تمیزکاری می‌باشد.

۴ ـ ۱۴ ـ ملاحظات قابلیت تولید

قابلیت ماشین‌کاری یک قطعه ریختگی یک جزء مهم در قابلیت تولید آن می‌باشد. اما ملاحظات مهم دیگری نیز وجود دارد، حد مجاز (آزادی) ماشین‌کاری برروی قابلیت تولید، راندمان و هزینه‌های ماشین‌کاری تاثیر می‌گذارد. در مقایسه با قطعات فولادی ریختگی، چدن نشکن در قطعات مشابه نیاز به حد مجاز ماشین‌کاری پایین‌تری دارد. افزایش یکنواختی ابعاد قطعه توسط مواد قالب‌گیری با دانسیته بالا و کاهش سطوح معیوب نیز بر روی حد مجاز ماشین‌کاری اثر می‌گذارند. ایجاد رابطه میان مهندس طراح و ریخته‌گر در جهت تصمیم‌گیری درباره قابلیت تولید به‌منظور رعایت استاندارد و خواسته‌های مشتری و در نهایت انتخاب یک آلیاژ مناسب چدن نشکن، بهبود روند تولید قطعه و رفع نیاز مشتری را افزایش می‌دهد.

فصل ۱۵

روش‌های اتصال چدن نشکن

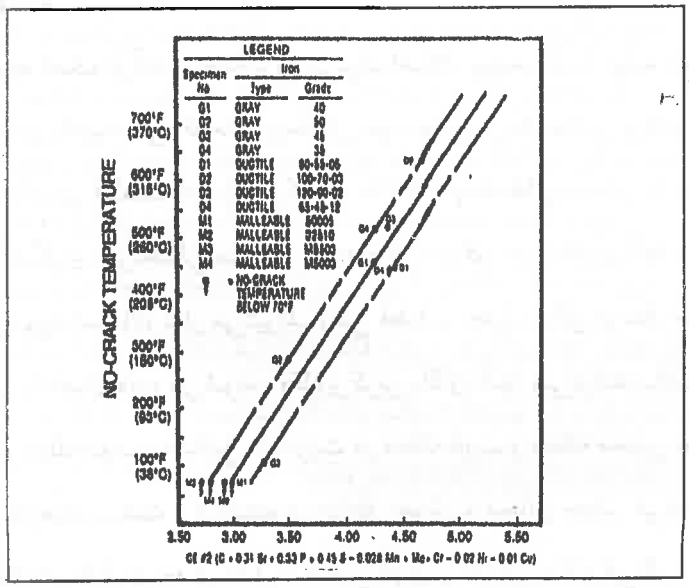
۱ـ ۱۵ـ مقدمه

با اینکه به کمک فرآیند ریخته‌گری می‌توان اشکال پیچیده‌ای را تولید نمود اما به دلایل اقتصادی یا مهندسی، قطعات ریختگی خود جزیی از یک ماشین بوده و به قطعات ریختگی و یا سایر قطعات متصل می‌گردند. با اینکه چدن‌های نشکن با صرفه‌تر از فولادهای آهنگری و ریختگی هستند، اما به‌خاطر مشکل جوشکاری آنها در این گونه موارد کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. وقتی قطعات چدن نشکن توسط جوشکاری ذوبی تعمیر یا اتصال داده می‌شوند، مقادیر کربن بالای آنها می‌تواند باعث تشکیل کاربیدها در منطقه ذوب و تشکیل مارتنزیت در منطقه ذوب و منطقه مجاور جوش شود.

تشکیل فازهای سخت و شکننده در مناطق جوش و مجاور جوش می‌تواند باعث ایجاد یک کاهش قابل توجه در قابلیت ماشین‌کاری و خواص مکانیکی گردد. انجمن جوشکاری آمریکا یک آزمایش برای تعیین قابلیت جوشکاری چدن‌ها ابداع نموده

است. این آزمایش شامل تولید جوش‌های کنترل شده بدون فلز پرکننده بر روی قطعات پیش‌گرم شده تا دماهای گوناگون و تعیین دمایی (دمای بدون ترک) که در قطعه ترک به‌وجود نمی‌آید، می‌باشد. شکل ۱ ـ ۱۵ در صفحه بعد رابطه میان کربن معادل و دمای بدون تَرک برای چدن‌های نشکن، خاکستری و مالیبل را در جوشکاری ذوبی نشان می‌دهد.

روش جوشکاری بدون فلزپرکننده که برای سهولت و استاندارد کردن روش آزمایش برای به‌دست آوردن این نمودار به‌کار برده شده، روش علمی مناسبی برای جوشکاری نیست به این دلیل بایستی فقط جهت مقایسه قابلیت جوشکاری و تعیین دقیق قابلیت جوشکاری با شرایط پیشگرم کردن به‌کار برده شود. علاوه بر این روش‌هایی مانند لحیم‌کاری نرم، لحیم‌کاری سخت، اتصال نفوذی و اتصال با چسب می‌توانند بین چدن نشکن و دامنه وسیعی از سایر موارد اتصالاتی با کیفیت بالا تولید نمایند.



شکل ۱ ـ ۱۵ ـ رابطه کربن معادل و درجه حرارت عدم تشکیل ترک (دمای پیشگرم) برای چدن‌ها

۲ـ۱۵ـ جوشکاری

فرآیند جوشکاری شامل ذوب یک فلز پرکننده و فلز پایه مجاور منطقه جوش می‌باشد در صورت عدم به‌کارگیری روش‌های صحیح، کربن بالای چدن نشکن می‌تواند منجر به تولید کاربیدهایی در منطقه ذوب و مارتنزیت در منطقه ذوب و منطقه مجاور جوش بشود با این‌حال با استفاده از مواد و روش‌های صحیح می‌توان قطعات چدن نشکن را به‌طور موفقیت‌آمیزی به چدن نشکن یا فولاد جوش داد، که این روش‌ها به دو دسته تقسیم‌بندی می‌شوند:

- جوشکاری قوسی
- جوشکاری گازی

۱ـ۲ـ۱۵ـ جوشکاری قوسی

روش‌های گوناگونی برای جوشکاری قوسی چدن‌نشکن به خود و یا سایر مواد مهندسی با خواص قابل قبول به‌کارگرفته شده است. خواص قطعات چدن نشکن اتصال داده شده با جوشکاری قوسی با الکترود پوشش‌دار توسط الکترودهای پایه Ni و Ni-Fe در ۳۰ سال گذشته به‌طور قابل توجهی توسعه یافته است. این الکترودها ناحیه ذوب غنی از نیکل به‌وجود آورده که نسبتاً نرم و قابل ماشین‌کاری بوده و استحکام کششی، انعطاف‌پذیری و مقاومت به خستگی لازم را نیز دارا می‌باشند. روش قوس کوتاه فرآیند جوشکاری تحت پوشش گاز محافظ MIG توسط کنترل گرمای ورودی، تغییرات ساختاری کمتری در منطقه مجاور جوش ایجاد می‌کند.

استفاده از سیم پرکننده با پایه نیکل در روش MIG باعث ایجاد جوش‌هایی با خواص کششی برابر با چدن نشکن پایه و استحکام خستگی برابر ۶۵ تا ۷۵ درصد

مقادیر خستگی چدن‌های نشکن جوش داده نشده فریتی و پرلیتی ایجاد می‌نماید.

با وجود هزینه‌های بالای مواد مصرفی و تمایل به تشکیل عیوب ناشی از ذوب ناکامل (عدم ذوب) روش MIG قوس کوتاه به طور گسترده‌ای در اتصالات قطعات چدن نشکن به‌کار برده می‌شود. تحقیقات جدید BCIRA نشان می‌دهد که جوش‌های MIG قوس کوتاه با سیم جوش غنی از Ni انرژی ضربه شکست بالاتری از اتصال‌های MIG با سیم Ni - Fe و Ni - Fe - Mn و سیم‌های Ni - Fe فلاکس‌دار ایجاد می‌کنند.

جوشکاری قوسی با سیم فلاکس‌دار که در آنها از سیم جوش حاوی فلاکس استفاده شده است به‌طور عمده برای چدن‌ها استفاده می‌شود. این روش دارای مزایای بیشتری می‌باشد که از جمله سرعت بالای رسوب فلز ۶-۹Kg/h را می‌توان نام برد. کلید موفقیت این روش در سیم‌جوش مصرفی است. این سیم جوش‌ها شامل Ni - Fe هستند که داخل آن با کربن و مواد سرباره‌ساز و اکسیژن‌زدا پر می‌شود. حضور نیکل باعث رسوب گرافیت در حین انجماد فلز جوش شده و تشکیل کاربید را خنثی نموده و در نتیجه تنش‌های حاصل را در جوش کم می‌نماید.

جدول ۱ ـ ۱۵ در صفحه بعد خواص مکانیکی جوش‌های حاصل از فرآیندهای مختلف را که برای اتصال صفحاتی به ضخامت ۲۰ میلی‌متر از جنس چدن نشکن با فلز پرکننده پایه نیکل ـ آهن استفاده شده است را نشان می‌دهد.

۳ ـ ۲ ـ ۱۵ ـ جوشکاری گازی

برای اتصالات چدن نشکن از طریق جوشکاری گازی می‌توان به دو روش ذوبی یا اتصال نفوذی عمل نمود. جوشکاری گازی ذوبی یک روش برای اتصال قطعات چدن نشکن است. این فرآیند شامل ذوب فلز پایه و یا سیم پرکننده توسط حرارت منتقل شده

جدول ۱ ـ ۱۵ ـ خواص مکانیکی جوش‌های حاصل از فرآیندهای مختلف

شمارهٔ نمونه آزمون	فرایند جوشکاری	مادهٔ مورد استفاده	خواص مکانیکی نمونه‌های آزمون کشش: استحکام کششی MPa	استحکام کششی ۱۰۰۰ psi	طویل‌شدگی نمونهٔ ۲ اینچی، ٪	محل شکستگی
۱a	پودری	آلیاژ Ni-Si-B	۳۰۶	۴۴٫۴	۲	فلز
۱b	پودری	آلیاژ Ni-Si-B	۳۰۶	۴۴٫۴	۲	فلز
۲a	پودری	آلیاژ Ni-Si-B-Cr	۳۱۵	۴۵٫۷	۲	فلز
۲b	پودری	آلیاژ Ni-Si-B-Cr	۲۶۸	۳۸٫۸	۱٫۵	اتصال
۳a	قوس الکتریکی	الکترودهای نیکل ـ آهن	۱۷۳	۲۵٫۱	۰٫۵>	
۳b	قوس الکتریکی	الکترودهای نیکل ـ آهن	۲۸۸	۴۱٫۷	۱٫۵	
۴a	قوس الکتریکی	الکترودهای نیکل ـ آهن	۳۲۴	۴۷٫۰	۳	
۴b	قوس الکتریکی	الکترودهای نیکل ـ آهن	۳۱۴	۴۵٫۵	۲٫۵	
۵a	قوس الکتریکی	الکترودهای کروم ـ نیکل 25/20	۳۳۲	۴۸٫۲	۴٫۵	
۵b	قوس الکتریکی	الکترودهای کروم ـ نیکل 25/20	۳۴۸	۵۰٫۴	۴٫۵	
۶a	MIG	سیم پرکنندهٔ نیکل 61	۳۰۶	۴۴٫۴	۳٫۵	
۶b	MIG	سیم پرکنندهٔ نیکل 61، (شرکت بین‌المللی نیکل)	۳۱۰	۴۵٫۰	۳٫۵	

از طریق شعله اُکسی استیلن است. در این فرآیند حوضچه جوش به‌طور دائم و ثابت با فلاکس محافظت می‌شود. با استفاده از سیم‌های پرکننده از جنس چدن نشکن و فلاکس‌هایی با ترکیب مناسب (معمولاً حاوی سریم یا سایر عناصر خاکی نادر) با تشکیل گرافیت‌های کروی در جوش، خواصی همانند چدن نشکن حاصل می‌شود. یک جوشکاری گازی ذوبی موفقیت‌آمیز به شرایط پیشگرم، حفظ و نگهداری حوضچه مذاب جوش و استفاده از سیم جوش مناسب بستگی دارد. معایب عمده این روش

قابلیت تولید پایین، وابستگی کیفیت اتصال به مهارت و اعوجاج قطعات پیچیده در اثر حرارت ورودی بیش از حد می‌باشد. با این حال در صورت به‌کارگیری روش و مواد مناسب، جوش گازی ذوبی می‌تواند اتصالاتی با خواص استحکامی قابل مقایسه با فلز پایه ایجاد نماید.

در روش بدون ذوب گازی (نفوذی) از یک مشعل اکسی استیلن اصلاح شده که به‌عنوان منبع حرارت عمل می‌نماید و یک پودر مناسب با نقطه ذوب پایین‌تر از فلز پایه استفاده می‌شود. برای این منظور پودر را در داخل مشعل وارد نموده و زمانی که سطح چدن به دمای خاص رسید، پودرهای ذوب شده بر و روی سطح فلز پاشیده می‌شود و به تدریج با ذوب بیشتر پودرها سطوح آغشته شده ضخیم‌تر می‌شوند. جوشکاری پودری، چدن زمینه را ذوب نمی‌نماید و موفقیت اتصال توسط تشکیل یک باند نفوذی تأمین می‌گردد.

جوشکاری پودری محدودیت‌های بی‌شماری دارد. این روش سرعت کمی دارد و گرانقیمت است و به جوشکاری افقی محدود می‌گردد. با اینکه دمای قطعه تا نقطه ذوب خود بالا نمی‌رود، اما این حرارت برای اعوجاج قطعات پیچیده کافی است. جوشکاری پودری جهت تعمیر، روکش کاری و اتصال چدن‌های آلیاژی استفاده می‌گردد. تحقیقات در BCIRA نشان داده است که این روش جوشکاری برای چدن‌های نشکن، خاکستری و مالیبل مناسب است.

۳ـ ۱۵ـ تکنولوژی جوشکاری

انتخاب روش جوشکاری و ماده پرکننده صحیح یک نیاز است اما برای تولید جوش‌هایی با کیفیت بالا در چدن نشکن کافی نیست. متغیرهای مهم دیگر عبارتند از:

الف) نوع و ترکیب شیمیایی چدن نشکن پایه

ب) طراحی و آماده سازی محل اتصال

ج) کنترل حرارت قطعه قبل از جوشکاری، در حین جوشکاری و بعد از جوشکاری (عملیات حرارتی پیشگرم و پسگرم).

الف) نوع و ترکیب شیمیایی چدن‌نشکن پایه

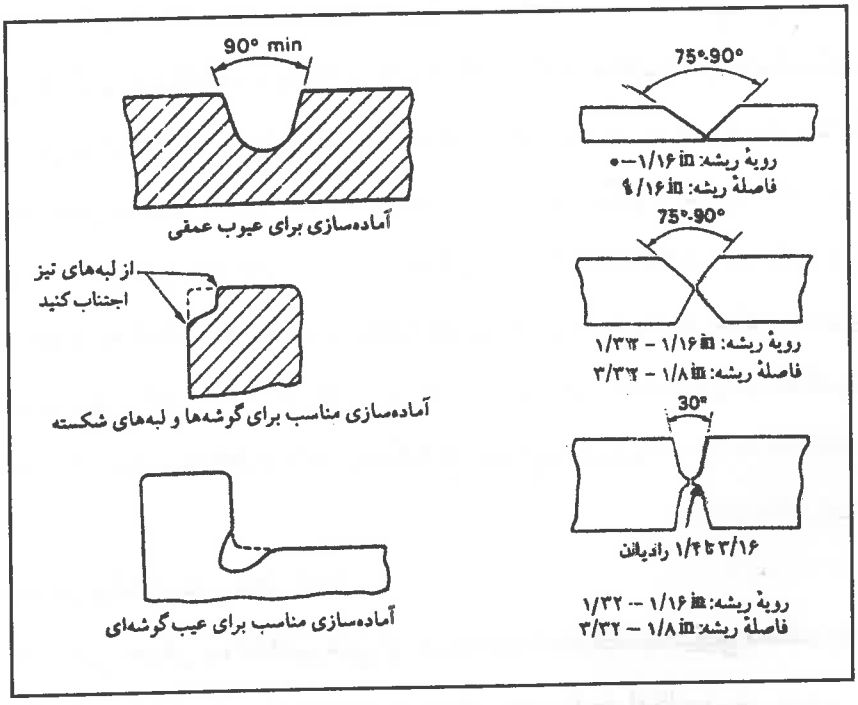
با اینکه آزمایش قابلیت جوشکاری چدن‌ها نمایانگر آن است که دمای بدون تَرک به ترکیب شیمیایی چدن مرتبط است چدن‌های نشکن فریتی قابلیت جوشکاری بالاتری نسبت به سایر رده‌های چدن نشکن دارا می‌باشند. ترکیب شیمیایی به‌طور کل از طریق کربن معادل بر روی قابلیت جوشکاری تاثیر می‌گذارد. کربن معادل بالاتر احتمال تَرک را بیشتر می‌نماید. ترکیب شیمیایی همچنین از طریق تاثیر بر روی سختی‌پذیری مناطق مجاور جوش بر روی قابلیت جوشکاری تاثیر می‌گذارد. منگنز و کروم به‌طور قابل توجهی سختی‌پذیری را افزایش می‌دهند که این باعث کاهش قابلیت جوشکاری از طریق تمایل به تشکیل مارتنزیت در منطقه مجاور جوش می‌شود. با اینکه سیلیسیم سختی‌پذیری را کمی افزایش می‌دهد، این اثر بر روی قابلیت جوشکاری توسط قدرت گرافیت‌زایی سیلیسیم به‌طریق کاهش تشکیل کاربید خنثی می‌شود.

ب) طراحی و آماده‌سازی محل اتصال

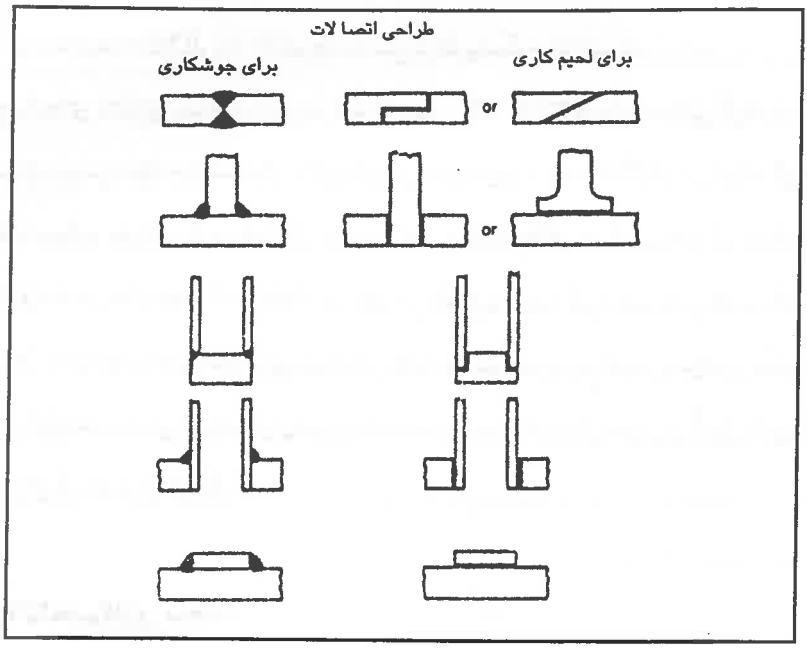
طراحی جوش به فاکتورهایی از جمله ضخامت قطعه، شکل قطعه، روش جوشکاری و نیازهای سرویس‌دهی بعدی بستگی دارد. تا حد امکان بایستی طراحی به صورتی انجام پذیرد که تحمل بار غالباً توسط خود قطعه صورت گیرد تا توسط منطقه

جوش. در یک مجموعه جوشکاری شده، طراح معمولاً می‌تواند محل جوشکاری را در منطقه‌ای کم تنش تعبیه کند. در شکل ۴ ـ ۱۵ نمونه‌هایی از طرح اتصال برای جلوگیری از تنش در اتصال و افزایش عمق جوش نشان داده شده است.

همچنین در شکل ۵ – ۱۵ روش‌هایی برای جوشکاری و لحیم کاری سخت ارائه شده است. برای اطمینان از ایمنی جوشهای بدون حفره گازی بایستی سطوح مجاور اتصال تمیزکاری شده و سطوح اتصال سنگ زده شده یا ماشین‌کاری شوند و هرگونه تجمع خاک، کثافت، روغن، گریس و سایر مواد از روی آنها پاک بشوند.



شکل ۴ ـ ۱۵ ـ حالات مربوط به طراحی اتصال



شکل ۵ ـ ۱۵ ـ طرح‌های اتصال برای جوشکاری و لحیم کاری

ج) عملیات حرارتی پیشگرم و پسگرم

برای جلوگیری از تَرک حرارتی، کاهش سختی در منطقه مجاور جوش و کاهش تنش‌های باقیمانده و اعوجاج قطعات چدن بایستی عملیات پیشگرم بر روی قطعات چدن نشکن انجام شود. ترجیح داده می‌شود که کل قطعات پیشگرم شود اما به‌خاطر مسائلی مانند اندازه قطعه و یا کمبود تجهیزات این کار معمولاً عملی نمی‌باشد و از پیشگرم کردن موضعی استفاده می‌شود.

می‌توان قطعات را توسط مشعل‌های گازی یا یک مشعل اکسی استیلن پیشگرم نمود. در روش‌های گرم کردن موضعی برای جلوگیری از اعوجاج و تَرک خوردن در قطعات پیچیده بایستی از گرم کردن سریع و غیریکنواخت پرهیز نمود. چدن‌های نشکن فریتی

فقط در محدوده ۱۵۰ الی ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد پیشگرم می‌شوند.

چدن‌های نشکن پرلیتی نیز در محدوده ۳۴۰ ـ ۳۱۵ درجه سانتی‌گراد پیشگرم می‌شوند. روش‌های جوشکاری با گرمای ورودی پایین مانند MIG قوس کوتاه اثر مضر محفظه مجاور جوش را به حداقل می‌رسانند. عملیات‌های حرارتی بعد از جوشکاری (پسگرم) به سردشدن آهسته قطعات منجر می‌شود و باعث کم شدن تنش‌های باقیمانده می‌شود. با توجه به خواسته‌های سفارش دهنده جهت رسیدن به خواص مکانیکی دلخواه قطعات بعد از جوشکاری می‌توانند تحت عملیات‌های حرارتی آنیل یا نرماله یا تنش‌گیری کردن قرار گیرند.

۴ ـ ۱۵ ـ لحیم‌کاری سخت

تشکیل ریزساختارهای ناخواسته در مناطق جوش و مناطق مجاور جوش در حین جوشکاری ذوبی روش‌های غیر ذوبی را جایگزین مناسبی برای اتصال چدن‌های نشکن مبدل ساخته است.

لحیم کاری سخت فلزات توسط ذوب آلیاژهای غیرآهنی که نقطه ذوب آنها بالاتر از ۴۲۵ درجه سانتی‌گراد اما کمتر از نقطه ذوب آلیاژهایی است که می‌خواهیم به هم متصل شوند اطلاق می‌گردد. در حین فرآیند لحیم کاری سخت، فلز پرکننده ذوب شده توسط خاصیت موئینگی بدرون فاصله اندک میان دو جزء کشیده شده و بعد از انجماد یک پیوند فیزیکی ایجاد می‌نماید.

الف) طراحی اتصال و آماده‌سازی

برخلاف اتصالات جوشکاری، فاصله اتصال برای لحیم‌کاری سخت برای

کنترل ضخامت، حداکثر استحکام اتصال و نفوذ فلز پرکننده به درون فاصله توسط خاصیت موئینگی و کاهش مقدار فلز پرکننده مصرفی کوچک می‌باشد. به همین دلیل ترجیح داده می‌شود که این اتصالات تحت بارهای فشاری یا برشی قرار بگیرند. با اینکه خواص کششی اتصالات لحیم‌کاری سخت عالی است، اما هرگونه بار خم‌کننده، خواص مکانیکی را شدیداً کاهش می‌دهد. از طرفی توسط تراشکاری سطوح ریخته‌گری، نرم‌کردن سطوح، گرافیت زایی سطوح لحیم‌کاری سخت توسط شعله اکسی استیلن یا حمام نمک و پاک کردن سطوح از هرگونه خاک ـ غبار ـ روغن و گریس و... توسط یک محلول مناسب، می‌توان اتصال بهتری به‌دست آورد.

ب) گرم کردن

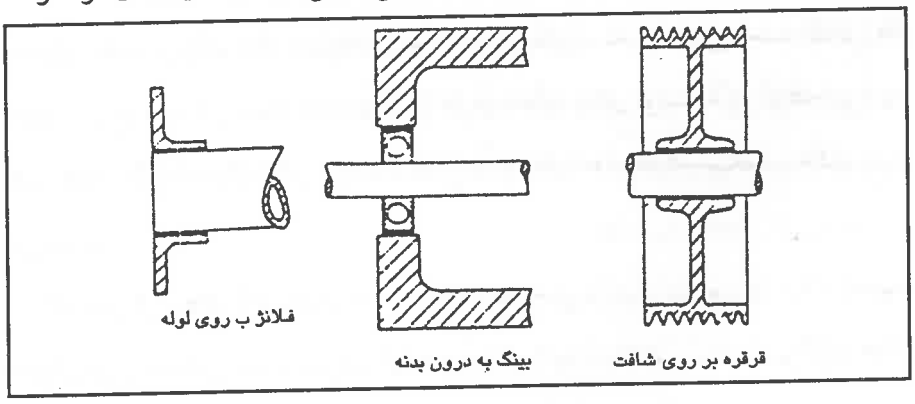
انتخاب روش گرم کردن برای لحیم کاری سخت به اندازه قطعه، طراحی قطعه، ترکیب شیمیایی فلز پایه و سرعت تولید بستگی دارد، مشعل‌ها می‌توانند دستی باشند که انعطاف‌پذیر هستند اما نیاز به مهارت لحیم‌کار دارد یا می‌توانند به‌صورت منبع حرارتی ثابت در یک خط لحیم‌کاری سخت قرار بگیرد. لحیم کاری سخت القایی یک روش سریع حرارتی است که معمولاً در ظرفیت‌های بالای تولید به‌کار گرفته می‌شود. کوره‌های دائم یا بزرگ برای گرم‌شدن کامل تا دمای لحیم‌کاری سخت به‌کار برده می‌شوند.

اتمسفر کوره‌های لحیم‌کاری سخت می‌تواند خنثی، احیاء کننده و یا خلاء (جهت جلوگیری از تشکیل اکسید برروی قطعه و آلیاژ پرکننده) باشد. اگر اتمسفر کوره هوای معمولی باشد به فلاکس نیاز خواهیم داشت.

۵ـ۱۵ـ اتصال با چسب

اتصال با چسب جهت اتصال مواد مهندسی، به‌خصوص صفحات و ورق‌ها به‌کار برده می‌شود، علاوه بر عدم تغییرات ساختاری در فلز پایه به‌علت عدم نیاز به وجود حرارت در عمل اتصال مشکل اعوجاج حل می‌گردد و اجازه اتصال چدن نشکن را به دامنه وسیعی از مواد فلزی و غیرفلزی، بدون توجه به نقطه ذوب و یا خواص فیزیکی و شیمیایی آنها می‌دهد. معمولی‌ترین چسب‌ها جهت اتصال سازه‌های فلزی به یکدیگر عبارت‌اند از: سخت کننده‌ها، اکریلیک‌های نرم شده و رزین‌های اپوکسی. استحکام پیوند چسب‌ها به‌طور قابل توجهی کمتر از استحکام چدن نشکن فریتی است و در نتیجه در مصارفی که نیاز به استحکام وجود دارد، بایستی توجه خاصی به این موضوع گردد. در شکل ۶ـ۱۵ مثال‌های معمول از اتصالات چسبی آورده شده است.

کارکرد مناسب اتصال از طریق اتصالات خاصی که در آنها تنش‌های کششی و برشی به تنش فشاری وارد بر اتصال تبدیل می‌شود، به‌دست می‌آید. سایر محدودیت‌های استفاده از اتصالات چسبی عبارت‌اند از محدودیت کاربرد در دمای‌بالا، کمبود اطلاعات درباره کارکرد و کارایی اتصالات چدنی در مصارفی شامل بارها و محیط‌های گوناگون.



شکل ۶ـ۱۵ـ مثال‌هایی از طرح اتصال توسط چسب

فصل ۱۶

استانداردهای چدن نشکن

۱ـ ۱۶ـ مقدمه

هدف شاخص‌های استاندارد برای قطعات چدن نشکن، فراهم نمودن اطلاعاتی برای طراح و مصرف‌کننده برای انتخاب، تشریح و رسیدن به توافق بر روی یک‌سری از خواص خاص جهت اطمینان از عملکرد مناسب در جهت طراحی مورد نظر می‌باشد. استفاده از خصوصیات موجود در استانداردها، خریداری قطعات را از تولیدکنندگان مطمئن می‌سازد، زیرا این خصوصیات باعث ایجاد یک قطعه استاندارد براساس خواص مورد نیاز طراح می‌شود و مهم نیست که این قطعه کجا و چگونه تهیه شده است.

استانداردها بایستی به دقت انتخاب شده و به‌طور دقیق اجرا شوند تا از تأمین نیازهای مشتری توسط به‌کارگیری آنها، بدون افزودن نیازهای زائد که جز پیچیده کردن فرآیند و افزایش هزینه نقش دیگر ندارند، اطمینان حاصل شود. وظیفه طراح و تولیدکننده آن است که مشخصه‌های استاندارد و محدودیت آنها در نظر گرفته و بر روی

استانداردهایی با بهترین کارآیی با نسبت ساخت به هزینه به توافق برسند. طراح بایستی خواص مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی قطعه را طوری در نظر بگیرد که قطعه ریختگی کارآیی لازم را در حین سرویس داشته باشد.

بعد از انتخاب استاندارد تولیدکننده بایستی وجود استاندارد را در کلیه قطعات تضمین نماید. مواد خام اولیه و روش‌های ریخته‌گری برای تولید قطعات به‌طور معمول تحت کنترل طراح یا استاندارد نیستند مگر آنکه در استاندارد نکاتی راجع به این موضوع ذکر شده باشد و یا اینکه مهندس طراح و تولید در مورد نکاتی افزون بر استاندارد به توافق رسیده باشند. چنین مواردی باید منطقی و صحیح باشد زیرا این توافق‌ها هزینه قطعات را افزایش می‌دهد.

ASTM، پنج استاندارد دارد که چدن نشکن را تحت پوشش قرار می‌دهد. ASTM A۵۳۶ از بیشینه کاربرد برخوردار است که بیشتر رده‌های چدن نشکن مورد استفاده در نیازهای مهندسی را دربر می‌گیرد. سایر استانداردها، کاربرد چدن‌های نشکن آستنیتی و مخصوص را تحت پوشش خود قرار می‌دهد. ASTM در سال ۱۹۹۰ خصوصیات و استانداردهای جدیدی را برای چدن نشکن آستمپر به چاپ رسانده. استاندارد SAEJ۴۳۴ معمولاً برای چدن‌های نشکن ریختگی به‌ویژه برای صنایع خودروسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

همچنین استانداردهای ملی در کشورهای صنعتی و استاندارد بین‌المللی ISO به استاندارد نمودن چدن‌های نشکن اقدام نموده‌اند.

استانداردهای زیاد دیگری در مورد چدن نشکن وجود دارد که پاره‌ای از آنها را سازمان‌های صنعتی و تجاری برای تولیدات خاص براساس شرایط موجود طراحی کرده‌اند. وقتی که هر استانداردی دارای مشخصات مربوط به خود باشد شباهت‌های

زیادی را بین انواع استانداردهای مختلف می‌توان مشاهده نمود. قبل از استفاده از هر استاندارد، مهندس طراح بایستی با آن آشنایی کامل داشته باشد.

استانداردهای چدن نشکن عموماً براساس خواص مکانیکی بنا نهاده شده‌اند بجز چدن‌های نشکن آستنیتی که ترکیب شیمیایی آنها نیز باید مورد توجه قرار گیرد. در قسمت ۲ ـ ۱۶ استانداردهای مختلف چدن نشکن نشان داده شده است.

۲ ـ ۱۶ ـ جداول استاندارد چدن نشکن

جدول ۱ ـ ۱۶ ـ استاندارد ASTM A۴۷۶

ترکیبات شیمیایی	
کربن (حداقل)	۳/۰
سیلیسیم (حداکثر)	۳/۰
فسفر (حداکثر)	۰/۰۸
گوگرد (حداکثر)	۰/۰۵

خواص کششی		
ضخامت نمونه آزمایشی	۲۵mm	۷۵mm
استحکام کششی (حداقل) ksi	۸۰	۸۰
استحکام تسلیم (حداقل) ksi	۶۰	۶۰
درصد ازدیاد طول نسبی (حداقل)	۳/۰	۱/۰

جدول ۲ ـ ۱۶ ـ استاندارد ASTM A۵۳۶

(خواص کششی)					
	گرید ۶۰/۴۰/۱۸	گرید ۶۵/۴۵/۱۲	گرید ۸۰/۵۵/۰۶	گرید ۱۰۰/۷۰/۰۳	گرید ۱۲۰/۹۰/۰۲
استحکام‌کششی (حداقل) psi	۶۰۰۰۰	۶۵۰۰۰	۸۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰
استحکام‌تسلیم (حداقل) psi	۴۰۰۰۰	۴۵۰۰۰	۵۵۰۰۰	۷۰۰۰۰	۹۰۰۰۰
درصد ازدیادطول‌نسبی (حداقل)	۱۸	۱۲	۶/۰	۳/۰	۲/۰

جدول ۳ ـ ۱۶ ـ استاندارد ASTM A۵۷۱

	کلاس ۱	کلاس ۲
استحکام کششی Ksi	۶۵	۶۰
استحکام تسلیم Ksi	۳۰	۲۵
درصد ازدیاد طول نسبی	۳۰	۲۵
سختی برینل	۱۲۱ ـ ۱۷۱	۱۱۱ ـ ۱۷۱
انرژی ضربه FT-Ib	۱۵	۲۰
	۱۲	۱۵

جدول ۴ ـ ۱۶ ـ استاندارد ASTM A۸۹۷

گرید	حداقل استحکام کششی	حداقل استحکام تسلیم	درصد ازدیاد طول نسبی	انرژی ضربه	سختی
	Ksi	Ksi	%	Ft-lb	BHN..
۱۲۵/۸۰/۱۰	۱۲۵	۸۰	۱۰	۷۵	۲۶۹ـ۳۲۱
۱۵۰/۱۰۰/۷	۱۵۰	۱۰۰	۷	۶۰	۳۰۲ـ۳۶۳
۱۷۵/۱۲۵/۴	۱۷۵	۱۲۵	۴	۴۵	۳۴۱ـ۴۴۴
۲۰۰/۱۵۵/۱	۲۰۰	۱۵۵	۱	۲۵	۳۸۸ـ۴۷۷
۲۳۰/۱۸۵/ـ	۲۳۰	۱۸۵	..	..	۴۴۴ـ۵۵۵

جدول ۵ ـ ۱۶ ـ استاندارد SAE J۴۳۴C

گرید	استحکام کششی (حداقل)				استحکام تسلیم (حداقل)				درصد ازدیاد طول نسبی	سختی	ساختار
	N/mm^2	kgf/mm^2	$tonf/in^2$	lbf/in^2	N/mm^2	kgf/mm^2	$tonf/in^2$	lbf/in^2	%	HB	
D۴۰۱۸	۴۱۴	۴۲/۲	۲۶/۸	۶۰۰۰۰	۲۷۶	۲۸/۱	۱۷/۹	۴۰۰۰۰	۱۸	۱۷۰max	F
D۴۵۱۲	۴۴۸	۴۵/۷	۲۹/۰	۶۵۰۰۰	۳۱۰	۳۱/۶	۲۰/۱	۴۵۰۰۰	۱۲	۱۵۶-۲۱۷	F+P
D۵۵۰۶	۵۵۲	۵۶/۲	۲۹/۰	۸۰۰۰۰	۳۷۹	۳۸/۷	۲۴/۶	۵۵۰۰۰	۶	۱۸۷-۲۵۵	F+P
D۷۰۰۳	۶۸۹	۷۰/۳	۴۴/۶	۱۰۰۰۰۰	۳۸۳	۴۹/۲	۳۱/۳	۷۰۰۰۰	۳	۲۴۱-۳۰۲	P

جدول ۶ ـ ۱۶ ـ استاندارد ISO ۱۰۸۳

گرید	استحکام کششی (حداقل)			استحکام تسلیم (حداقل)			درصد ازدیاد طول نسبی	سختی	ساختار
	N/mm^2	kgf/mm^2	$tonf/in^2$	N/mm^2	kgf/mm^2	$tonf/in^2$	%	HB	
۸۰۰-۲	۸۰۰	۸۱/۶	۵۱/۸	۴۸۰	۴۸/۹	۳۱/۱	۲	۲۴۰-۳۵۲	P
۷۰۰-۲	۷۰۰	۷۱/۴	۴۵/۳	۴۲۰	۴۲/۸	۲۷/۲	۲	۲۲۹-۳۰۲	P
۶۰۰-۳	۶۰۰	۶۱/۲	۳۸/۸	۳۷۰	۳۷/۷	۲۴/۰	۳	۱۹۲-۲۶۹	P+F
۵۰۰-۷	۵۰۰	۵۱/۰	۳۲/۴	۳۲۰	۳۲/۶	۲۰/۷	۷	۱۷۰-۲۴۱	F+P
۴۰۰-۱۲	۴۰۰	۴۰/۸	۲۵/۹	۲۵۰	۲۵/۵	۱۶/۲	۱۲	< ۲۰۱	F
۳۷۰-۱۷	۳۷۰	۳۷/۷	۲۴/۰	۲۳۰	۲۳/۵	۱۴/۹	۱۷	< ۱۷۹	F

جدول ۷ ـ ۱۶ ـ استاندارد ISO ۲۸۹۲

استاندارد B.S	استاندارد NF	استاندارد DIN	استاندارد ASTM	استاندارد SIS	نام بین‌المللی
S-NiMn ۱۳ ۷	S-NM ۱۳ ۷	GGG-NiMn ۱۳ ۷	—	۱۴۰۷۷۱	—
S-NiCr ۲۰ ۲	S-NC ۲۰ ۲	GGG-NiCr ۲۰ ۲	Type D-۲	۱۴۰۷۷۶	Ni-ResistD-۲
S-NiCr ۲۰ ۲	S-NC ۲۰ ۳	GGG-NiCr ۲۰ ۳	Type D-۲B	—	Ni-ResistD-۲B
S-NiSiCr۲۰ ۵ ۲	S-NSC۲۰ ۵ ۲	GGG-NiSiCr۲۰ ۵ ۲	—	—	Nicrosilal
S-Ni ۲۲	S-N ۲۲	GGG-Ni ۲۲	Type D-۲C	—	Ni-ResistD-۲C
S-NiMn ۲۳ ۴	S-NM ۲۳ ۴	GGG-NiM ۲۳ ۴	ASTM A۵۷۱D-۲M	—	Ni-ResistD-۲M
S-NiCr ۳۰ ۱	S-NC ۳۰ ۱	GGG-NiCr ۳۰ ۱	Type D-۳A	—	Ni-ResistD-۳A
S-NiCr ۳۰ ۳	S-NC ۳۰ ۳	GGG-NiCr ۳۰ ۳	Type D-۳	—	Ni-ResistD-۳
S-NiSiCr۳۰ ۵ ۵	S-NSC۳۰ ۵ ۵	GGG-NiSiCr۳۰ ۵ ۵	Type D-۴	—	Ni-ResistD-۴
S-Ni ۳۵	S-N ۳۵	GGG-Ni ۳۵	Type D-۵	—	Ni-ResistD-۵
S-NiCr ۳۵ ۳	S-NC ۳۵ ۳	GGG-NiCr ۳۵ ۳	Type D-۵B	—	Ni-ResistD-۵B
—	—	GGG-NiCrNb۲۰ ۲	—	—	Ni-ResistD-۲W
—	—	GGG-NiSiCr۳۰ ۵ ۲	—	—	Ni-ResistD-۲A
—	—	GGG-NiSiCr۳۵ ۵ ۲	—	—	Ni-ResistD-۵S

جدول ۸ ـ ۱۶ ـ استاندارد NF A ۳۲ - ۲۰۱

گرید	استحکام کششی (حداقل)			استحکام تسلیم (حداقل)			درصد ازدیاد طول نسبی	سختی	ساختار
	N/mm^2	kgf/mm^2	$tonf/in^2$	N/mm^2	kgf/mm^2	$tonf/in^2$	%	HB	
FGS۳۷۰-۱۷	۳۷۰	۳۷/۷	۲۴/۰	۲۳۰	۲۳/۵	۱۴/۹	۱۷	۱۷۹>	F
FGS۴۰۰-۱۲	۴۰۰	۴۰/۸	۲۵/۹	۲۵۰	۲۵/۵	۱۶/۲	۱۲	۲۰۱>	F
FGS۵۰۰-۷	۵۰۰	۵۱/۰	۳۲/۴	۳۲۰	۳۲/۶	۲۰/۷	۷	۱۷۰-۲۴۱	F+P
FGS۶۰۰-۳	۶۰۰	۶۱/۲	۳۸/۸	۳۷۰	۳۷/۷	۲۴/۰	۳	۱۹۲-۲۶۹	P
FGS۷۰۰-۲	۷۰۰	۷۱/۴	۴۵/۳	۴۲۰	۴۲/۸	۲۷/۲	۲	۲۲۹-۳۰۲	P
FGS۸۰۰-۲	۸۰۰	۸۱/۶	۵۱/۸	۴۸۰	۴۸/۹	۳۱/۱	۲	۲۴۸-۳۵۲	Port

جدول ۹ ـ ۱۶ ـ استاندارد UNI ۴۵۴۴

گرید	استحکام کششی (حداقل)			استحکام تسلیم (حداقل)			درصد ازدیاد طول نسبی	سختی	ساختار
	N/mm^2	kgf/mm^2	$tonf/in^2$	N/mm^2	kgf/mm^2	$tonf/in^2$	%	HB	
GS۳۷۰-۱۷	۳۷۰	۳۸	۲۴/۰	۲۳۰	۲۳	۱۴/۹	۱۷	۱۳۱-۱۷۹	F
GS۴۰۰-۱۲	۴۰۰	۴۱	۲۵/۹	۲۵۰	۲۵	۱۶/۲	۱۲	۱۴۳-۲۰۱	F
GS۵۰۰-۷	۵۰۰	۵۱	۳۲/۴	۳۲۰	۳۳	۲۰/۷	۷	۱۷۰-۲۴۱	P+F
GS۶۰۰-۳	۶۰۰	۶۱	۳۸/۸	۳۷۰	۳۸	۲۴/۰	۳	۱۹۲-۲۶۹	P
GS۷۰۰-۲	۷۰۰	۷۱	۴۵/۳	۴۲۰	۴۳	۲۷/۲	۲	۲۲۹-۳۰۲	P
GS۸۰۰-۲	۸۰۰	۸۱	۵۱/۸	۴۸۰	۴۹	۳۱/۱	۲	۲۴۸-۳۵۲	Port

جدول ۱۰ ـ ۱۶ ـ استاندارد JIS G ۵۵۰۲

گرید	استحکام کششی (حداقل)			استحکام تسلیم (حداقل)			درصد ازدیاد طول نسبی	سختی
	N/mm^2	kgf/mm^2	$tonf/in^2$	N/mm^2	kgf/mm^2	$tonf/in^2$	%	HB
۳۷	۳۶۳	۳۷	۲۳/۵	۲۳۵	۲۴	۱۵/۲	۱۷	۱۷۹max
۴۰	۳۹۲	۴۰	۲۵/۴	۲۵۵	۲۶	۱۶/۵	۱۲	۲۰۱max
۴۵	۴۴۱	۴۵	۲۸/۶	۲۸۴	۲۹	۱۸/۴	۱۰	۱۴۳-۲۱۲
۵۰	۴۹۰	۵۰	۳۱/۷	۳۲۴	۳۳	۲۱/۰	۷	۱۷۰-۲۴۱
۶۰	۵۵۸	۶۰	۳۸/۱	۳۷۳	۳۸	۲۴/۱	۳	۱۹۲-۲۶۹
۷۰	۶۸۶	۷۰	۴۴/۴	۴۲۲	۴۳	۲۷/۳	۲	۲۲۹-۳۰۲
۸۰	۷۸۵	۸۰	۵۰/۸	۴۸۱	۴۹	۳۱/۱	۲	۲۴۸-۳۵۲

جدول ۱۱ ـ ۱۶ ـ استاندارد SIS ۱۴۰۷

گرید	استحکام کششی (حداقل)			استحکام تسلیم (حداقل)			درصد ازدیاد طول نسبی	سختی
	N/mm^2	kgf/mm^2	$tonf/in^2$	N/mm^2	kgf/mm^2	$tonf/in^2$	%	HB
۱۷-۰۰	۴۰۰	۴۰/۸	۲۵/۹	۲۵۰	۲۵/۵	۱۶/۲	۱۵	۱۳۵ـ۱۸۰
۱۷-۰۲	۴۰۰	۴۰/۸	۲۵/۹	۲۵۰	۲۵/۵	۱۶/۲	۱۸	۱۳۰ـ۱۷۰
۱۷-۱۵	۳۵۰	۳۵/۷	۲۲/۷	۲۲۰	۲۲/۴	۱۴/۲	۲۲	۱۵۰max
۲۷-۰۲	۵۰۰	۵۱/۰	۳۲/۴	۳۲۰	۳۲/۶	۲۰/۷	۷	۱۷۰ـ۲۳۰
۳۲-۰۳	۶۰۰	۶۱/۲	۳۸/۸	۳۸۰	۳۸/۷	۲۴/۶	۵	۲۰۰ـ۲۶۰
۳۷-۰۱	۷۰۰	۷۱/۴	۴۵/۳	۴۴۰	۴۴/۹	۲۸/۵	۳	۲۳۰ـ۳۰۰

جدول ۱۲ ـ ۱۶ ـ استاندارد BS ۲۷۸۹

ساختار	سختی	درصد ازدیاد طول نسبی	استحکام تسلیم (حداقل)			استحکام کششی (حداقل)			گرید
	HB	%	$tonf/in^2$	kgf/mm^2	N/mm^2	$tonf/in^2$	kgf/mm^2	N/mm^2	
TM	۳۰۲ to ۳۵۹	۲	۳۸/۸	۶۱/۲	۶۰۰	۵۸/۳	۹۱/۸	۹۰۰	۹۰۰/۲
Por-T	۲۴۸ to ۳۵۲	۲	۳۱/۱	۴۸/۹	۴۸۰	۵۱/۸	۸۱/۶	۸۰۰	۸۰۰/۲
P	۲۲۹ to ۳۰۲	۲	۲۷/۲	۴۲/۸	۴۲۰	۴۵/۳	۷۱/۴	۷۰۰	۷۰۰/۲
P/F	۱۹۲ to ۲۶۹	۳	۲۴/۰	۳۷/۷	۳۷۰	۳۸/۹	۶۱/۲	۶۰۰	۶۰۰/۳
F/P	۱۷۰ to ۲۴۱	۷	۲۰/۷	۳۲/۶	۳۲۰	۳۲/۴	۵۱/۰	۵۰۰	۵۰۰/۷
F/P	۱۶۰ to ۲۲۱	۱۰	۲۰/۷	۳۲/۶	۳۲۰	۲۹/۱	۴۵/۹	۴۵۰	۴۵۰/۱۰
F	< ۲۱۲	۱۲	۱۷/۵	۲۷/۵	۲۷۰	۲۷/۲	۴۲/۸	۴۲۰	۴۲۰/۱۲
F	< ۱۷۹	۱۸	۱۶/۲	۲۵/۵	۲۵۰	۲۵/۹	۴۰/۸	۴۰۰	۴۰۰/۱۸
F	< ۱۷۹	۱۸	۱۶/۲	۲۵/۵	۲۵۰	۲۵/۹	۴۰/۸	۴۰۰	۴۰۰/۱EL۲۰
F	< ۱۶۰	۲۲	۱۴/۲	۲۲/۴	۲۲۰	۲۲/۷	۳۵/۷	۳۵۰	۳۵۰/۲۲
F	< ۱۶۰	۲۲	۱۴/۲	۲۲/۴	۲۲۰	۲۲/۷	۳۵/۷	۳۵۰	۳۵۰/۲۳L۴۰

جدول ۱۳ ـ ۱۶ ـ استاندارد DIN ۱۶۹۳

گرید	استحکام کششی (حداقل)			استحکام تسلیم (حداقل)			درصد ازدیاد طول نسبی	سختی	ساختار
	N/mm^2	kgf/mm^2	$tonf/in^2$	N/mm^2	kgf/mm^2	$tonf/in^2$	%	HB	
GGG-۴۰	۴۰۰	۴۰/۸	۲۵/۹	۲۵۰	۲۵/۵	۱۶/۲	۱۵	۱۲۰-۱۸۰	F
GGG-۵۰	۵۰۰	۵۱/۰	۳۲/۴	۳۲۰	۳۲/۶	۲۰/۷	۷	۱۵۰-۲۴۰	F+P
GGG-۶۰	۶۰۰	۶۱/۲	۳۸/۸	۳۸۰	۳۸/۷	۲۴/۶	۳	۱۷۵-۲۹۰	P+F
GGG-۷۰	۷۰۰	۷۱/۴	۴۵/۳	۴۴۰	۴۴/۹	۲۸/۵	۲	۲۱۰-۳۲۰	P
GGG-۸۰	۸۰۰	۸۱/۶	۵۱/۸	۵۰۰	۵۱/۰	۳۲/۴	۲	۲۳۰-۳۶۰	P
GGG-۳۵-۳	۳۵۰	۳۵/۷	۲۲/۷	۲۲۰	۲۲/۴	۱۴/۲	۲۲	—	—
GGG-۴۰-۳	۴۰۰	۴۰/۸	۲۵/۹	۲۵۰	۲۵/۵	۱۶/۲	۱۸	—	—

فصل ۱۷

کاربردهای صنعتی چدن نشکن

۱ـ ۱۷ـ مقدمه

چدن نشکن یک ماده مهم مهندسی شناخته شده است. رشد و توسعه تولید قطعات چدن نشکن در صنایع مختلف اهمیت این ماده مهندسی را ثابت می‌نماید. عمده‌ترین مصرف قطعات چدن نشکن در صنعت لوله‌سازی و خودروسازی می‌باشد. حدوداً ۴۰ درصد کل تولید چدن نشکن در جهان در صنعت لوله‌ریزی و حدود ۲۰ درصد در صنعت خودروسازی مصرف می‌شود.

۲ـ ۱۷ـ چدن نشکن در صنعت لوله‌سازی

لوله ریزی با روش ریخته‌گری گریز از مرکز انجام می‌گیرد. مصرف عمده این لوله‌ها در زمینه آب‌رسانی، گاز، فاضلاب‌های معمولی و صنعتی می‌باشد. برای بالابردن مقاومت لوله در برابر خوردگی سطوح داخلی و خارجی لوله‌ها را توسط پوشش‌های

مقاوم در مقابل خوردگی می‌پوشانند.

لوله‌ها پس از ریخته‌گری و کنترل‌های اولیه بلافاصله به کوره آنیل منتقل می‌گردند. ساختار میکروسکوپی لوله‌های سیاه تاب چدن نشکن شامل گرافیت‌های کروی در زمینه پرلیتی می‌باشد. در سطح خارجی لوله و نقاط نزدیک آن کاربیدهای ظریفی همراه با مقدار کمی گرافیت تشکیل می‌گردد که به تدریج به‌طرف سطح داخلی لوله بر حجم گرافیت افزوده می‌گردد و کاربید آزاد تقریباً حذف می‌گردد. در قطرهای کوچک بهبود مقاومت در طول لوله و چقرمگی مطرح می‌باشد و در لوله‌های بزرگ بهبود مقاومت در دیواره مطرح بوده به همین منظور این لوله‌ها با ابعاد مختلف مانند لوله به قطرهای ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌متر و... تولید می‌گردند.

۳ـ۱۷ـ چدن نشکن در صنعت خودروسازی

صنعت خودروسازی در تولید انبوه چدن‌های نشکن سهم بزرگی دارد. این تقاضا پتانسیل تجاری بسیار خوبی را برای کارخانجات ریخته‌گری چدن نشکن به‌عنوان تأمین کنندگان این صنعت ایجاد می‌نماید. ترکیب استثنایی، استحکام کششی بالا، مقاومت به ضربه و خستگی و چقرمگی خوب، مقاومت به سایش و قابلیت ماشین‌کاری مطلوب قطعات چدن نشکن موفقیت این ماده را در صنعت خودرو تضمین نموده است. قطعاتی که در خودرو از جنس چدن نشکن ساخته می‌شوند عبارت‌اند از:

۱ـ قطعات اکسل

۲ـ توپی چرخ

۳ـ میل‌لنگ‌ها

۴ـ منیفولد دود

۵ـ انگشتی سوپاپ

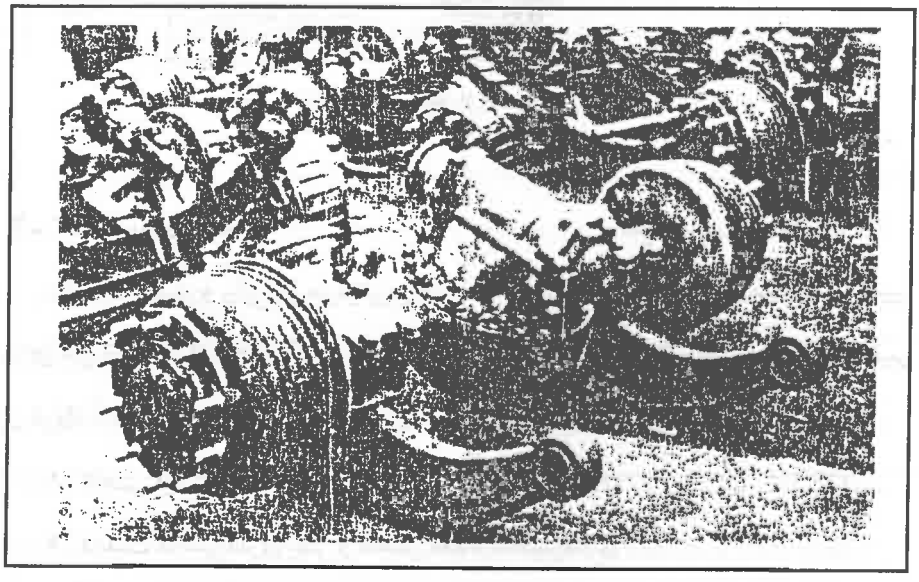
۶ـ بازوی انتقال‌دهنده نیرو

۷ـ دنده‌های پینیون

۸ـ اتصالات ترمز

۱ـ ۳ـ ۱۷ـ قطعات اکسل

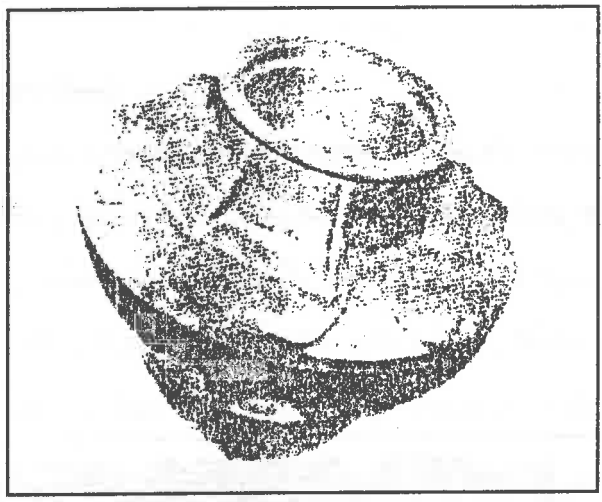
قطعاتی نظیر اکسل و اتصالات آن، جعبه دنده‌ها و درپوش‌های جعبه دنده نمونه‌ای از قطعاتی هستند که از چدن‌نشکن تولید می‌شوند. این قطعات بایستی دارای استحکام کششی و فشاری، انعطاف‌پذیری و چقرمگی و مقاومت به شوک حرارتی خوبی بوده و همچنین قابلیت ماشین‌کاری عالی داشته باشد. برای تولید این قطعات معمولاً از چدن نشکن فریتی استفاده می‌شود.



شکل ۱ـ ۱۷ـ نمایش قطعات اکسل از جنس چدن نشکن

۲ ـ ۳ ـ ۱۷ ـ توپی چرخ

برای تولید توپی چرخ از چدن نشکن فریتی استفاده می‌شود. چدن نشکن در این قطعه جایگزین فولاد ریختگی و فورج (آهنگری) شده است، با این مزیت که وزن آن کمتر می‌باشد.



شکل ۲ ـ ۱۷ ـ توپی از جنس چدن نشکن

۳ ـ ۳ ـ ۱۷ ـ میل‌لنگ‌ها

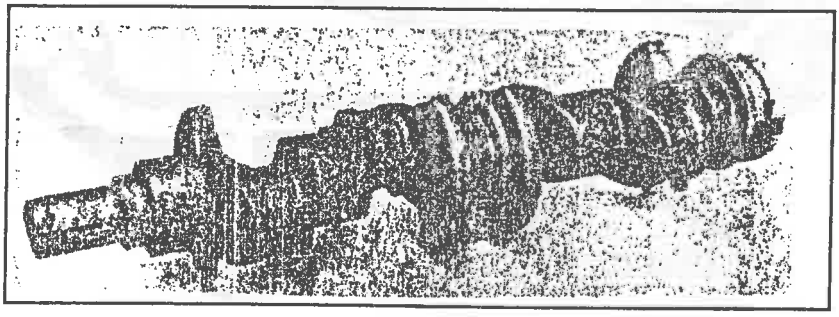
میل‌لنگ خودرو یکی از موفق‌ترین قطعات چدن‌نشکن می‌باشد و نخستین تغییر برای این قطعه از فولاد آهنگری به چدن نشکن در سال ۱۹۵۱ انجام پذیرفت. این تغییر از فولاد آهنگری به چدن نشکن دارای مزایای زیر بود:

۱ ـ کاهش قیمت تمام شده قطعه

۲ ـ قابلیت ماشین‌کاری بهتر و کاهش مقدار ماشین‌کاری

۳ ـ انعطاف بیشتر در طراحی

میل‌لنگ خودرو باید دارای مشخصات مکانیکی و فیزیکی یکنواخت از جمله مقاومت به خستگی بالا، سطح ماشین‌کاری شده مقاوم، سختی، مقاومت به پیچش خوب و خواص ماشین‌کاری مطلوب باشد. برای تهیه میل‌لنگ از چدن نشکن آستمپر شده استفاده می‌شود. استفاده از چدن نشکن آستمپر شده موجب بالارفتن استحکام ضمن کاهش وزن قطعه می‌شود و سطح ماشین‌کاری شدهٔ مقاوم با ساختار بینیتی به‌دست می‌آید. دقت ابعادی قطعات تولیدشده به روش قالب‌گیری پوسته‌ای و ماسه‌تر به اندازه‌ای است که نیازی به ماشین‌کاری زیاد ندارد.



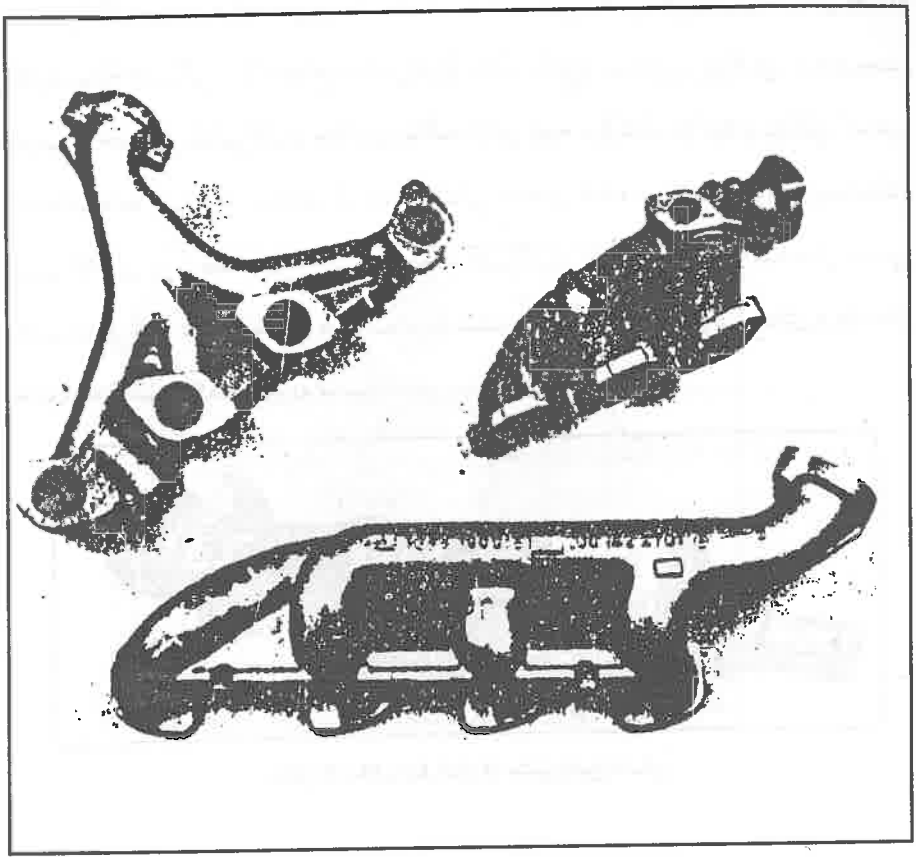
شکل ۳ ـ ۱۷ ـ میل‌لنگ از جنس چدن نشکن

۴ ـ ۳ ـ ۱۷ ـ منیفولد دود

در مقایسه با چدن خاکستری، چدن نشکن مقاومت بیشتری در برابر درجه حرارت ۶۰۰ ـ ۷۰۰ درجه سانتی گراد دارد. بنابراین استفاده از این ماده برای تولید منیفولد دود بسیار عالی خواهدبود. محاسن چدن نشکن نسبت به چدن خاکستری برای تولید منیفولد دود جهت موتورهای داغتر به شرح زیر می‌باشد:

الف) بالاتربودن نقطه یوتکتوئید چدن نشکن

ب) میزان اکسیداسیون کمتر

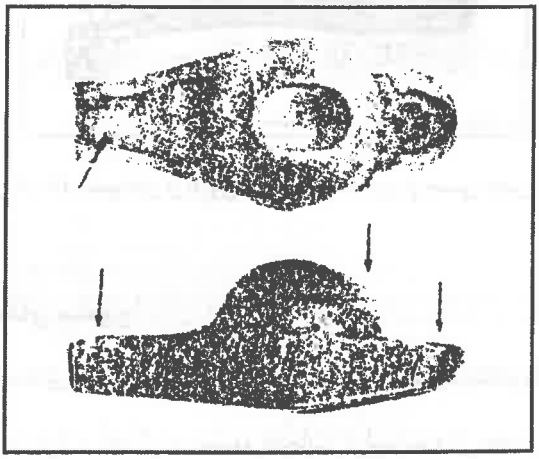


شکل ۴ ـ ۱۷ ـ سه نمونه منیفولد از جنس چدن نشکن

۵ ـ ۳ ـ ۱۷ ـ انگشتی سوپاپ

انگشتی سوپاپ با استفاده از روش قالب‌گیری پوسته‌ای از نوع طبقه‌ای تولید می‌شود. با این فرآیند تولید قطعات ریختگی با ضخامت کم، ابعاد دقیق و هزینه پایین امکان‌پذیر است. علت اصلی تولید انگشتی سوپاپ از جنس چدن نشکن این است که می‌توان این قطعه را از چدن نشکن فریتی با ابعاد نهایی تولید نمود و هزینه ماشین‌کاری

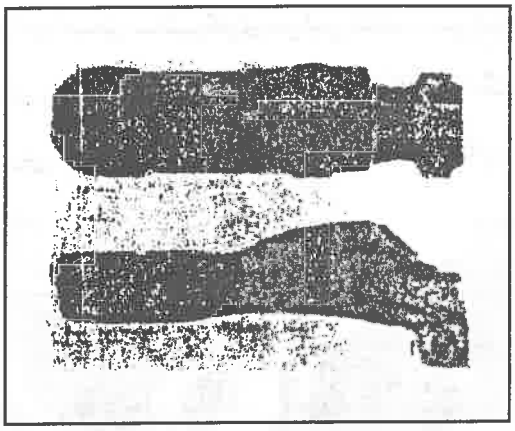
را به حداقل رساند. تنها محل ماشین‌کاری در این قطعه سوراخ کردن یک قسمت مخصوص برای روغن می‌باشد. پس از عملیات سوراخ کاری، انگشتی‌های سوپاپ به وسیله عملیات حرارتی آستمپرینگ سخت می‌شوند تا استحکام و مقاومت به سایش مورد نیاز به‌دست آید.



شکل ۵ ـ ۱۷ ـ انگشتی سوپاپ از جنس چدن نشکن

۶ ـ ۳ ـ ۱۷ ـ بازوی انتقال‌دهنده نیرو

این قطعه از یک طرف بر روی یک محور عمودی و به نوک سوپاپ در قسمت انتهای طول سوپاپ تماس دارد. میل بادامک در واقع بر روی قطعه فوق جهت میزان باز شدن سوپاپ می‌چرخد. بادامک‌های واقع بر روی میل بادامک سختی ۵۰۰ برینل دارند. مقاومت به سایش و مقاومت به خستگی و قابلیت ماشین‌کاری قطعه مزبور باید عالی باشد. برای تأمین این خواص، قطعه فوق در محل میل بادامک، تحت عملیات حرارتی سخت کاری سطحی کربونیتروراسیون به عمق ۰/۹ ـ ۰/۶ میلی‌متر قرار می‌گیرد.



شکل ۶ ـ ۱۷ ـ نمونه‌ای از بازوی انتقال دهنده نیرو از جنس چدن نشکن

۷ ـ ۳ ـ ۱۷ ـ دنده‌های پینیون

برای تولید دنده‌های پینیون از چدن نشکن آستمپر شده استفاده می‌شود. در مقایسه با دهنده‌های پینیون فولاد آهنگری شده، قطعات تولیدشده از چدن نشکن، سبک‌تر و احتیاج آنها به ماشین‌کاری کمتر می‌باشد. برای بالابردن استحکام دنده‌ها و مقاومت در برابر سایش از عملیات حرارتی آستمپرینگ استفاده می‌شود.

۸ ـ ۳ ـ ۱۷ ـ اتصالات ترمز

تقریباً تمام اتصالات ترمز از قطعات چدن نشکن تولید می‌شوند. قطعات ترمز به شرح زیر می‌باشند:

ـ کام شاتون

این قطعه از چدن نشکن فریتی تولید می‌شود. انرژی لازم برای به‌کار انداختن ترمز به

وسیله این قطعه توزیع می‌شود، بنابراین نیروی زیادی به این قطعه وارد می‌شود و در عمل این قطعه کاملاً موفّق بوده است.

ـ کلاهک ترمز

این قطعه از چدن نشکن پرلیتی تولید می‌شود. کلاهک ترمز به پوسته اکسل پیچ شده و تمام قطعات ترمز به این قطعه اتصال دارند، به همین جهت وقتی خودرو ترمز می‌کند، نیروهای پیچشی زیادی را متحمل می‌شود.

ـ کفشک ترمز

این قطعه از چدن نشکن پرلیتی تولید می‌شود و در شرایط سخت ترمز، کفشک ترمز از نوع چدن نشکن بهترین ماده بوده است.

۴ ـ ۱۷ ـ چدن نشکن در ساخت چرخ دنده‌ها

موادی که برای تهیه چرخ‌دنده به‌کار برده می‌شوند بایستی دقیقاً دارای خواصی از قبیل: استحکام، مقاومت به سایش و قابلیت سختی‌پذیری مناسب باشند. خواص دیگر مانند قابلیت جوشکاری و ماشین‌کاری و حساسیت در برابر تَرک و توزیع تنش، رفتار تحت لرزش و ارتعاش و همچنین کاهش هزینه از مسائل اساسی و مهم در انتخاب ماده مناسب برای کاربرد چرخ دنده می‌باشند.

خواص متنوع چدن‌های نشکن دلیل استفاده آنها برای تهیه چرخ‌دنده‌ها می‌باشد. به خصوص در کاربردهایی که حفظ شکل دنده‌ها الزامی باشد، مانند زمانی که فشار بسیار زیادی بین سطوح درگیر به‌وجود آید و مقاومت به سایش حائز اهمیت زیادی می‌باشد.

خواص ریختگی خوب چدن نشکن امکان دستیابی به ساختار یکنواخت و سطح مناسب پس از ماشین‌کاری و خواص جذب ارتعاش را به سازنده می‌دهد. در محل‌هایی که نیاز به استحکام خستگی و ضربه‌ای در ریشه دنده داریم استفاده از چدن نشکن انتخاب مناسبی خواهد بود.

۱ ـ ۴ ـ ۱۷ ـ استحکام خستگی دورانی تاج دنده‌ها

از آنجایی که ظرفیت تحمل بار در چرخ‌دنده‌های سخت نشده (نرم) وابسته به مقاومت در برابر ترک می‌باشد، لذا موادی که دارای مقاومت مناسب در برابر ترک تحت شرایط خستگی دورانی هستند برای چنین کاربردهایی ترجیح داده می‌شوند و به وسیله عملیات حرارتی یا آلیاژسازی خواص لازمه را می‌توان به‌وجود آورد. بهبود در هر دو روش باعث بالارفتن سختی می‌شود که تأثیر مفیدی در استحکام خستگی دورانی دارد.

عمر دنده‌ها با توجه به حضور خلل و فرج و ترک آنها تعیین می‌شود. ترک‌ها به‌صورت میکروسکوپی یا به صورت ترک مویی روی سطح پیدا شده و اشاعه آن در بین دانه‌ها خواهد بود. رشد ترک‌ها تا زمانی ادامه می‌یابد که تعداد کمی از حفره‌ها تشکیل شده باشند. روغن که به منظور روان‌سازی در محل وجود دارد، داخل ترک‌های مویی تحت فشار ناشی از دوران وارد می‌شود و از ادامه ترک جلوگیری می‌نماید.

تخریب ناشی از حفره‌ها (ترک‌ها) بر روی تاج دنده‌ها از جنس چدن نشکن، با تخریب مشابه که در فولاد به‌وجود می‌آید، متفاوت می‌باشد. حفره‌های کوچک و متعددی به‌طور منظم در تمام سطح تاج دنده‌های چدن‌های نشکن به‌وجود می‌آید.

به‌طور کلی در اثر تنش‌های ناشی از دوران، حفره‌ها رشد می‌کنند. ولی در چدن‌های نشکن اندازه (Size) حفره‌ها زیاد نمی‌شود، در نتیجه از شکستگی تاج دنده جلوگیری به‌عمل می‌آید. زمانی که بار از حد مجاز بیشتر شود، باعث تغییر شکل در دنده شده و در نهایت دنده به‌صورت نرم شکسته می‌شود.

۲ ـ ۴ ـ ۱۷ ـ مقاومت در برابر سایش تاج دنده‌ها

در واقع سایش عبارت از میزان ساییده شدن تاج دنده‌ها در مقابل نیروهای اعمالی و اهمیت آن در طول عمر دنده بسیار زیاد است، ساییدگی نه تنها بر روی دوام دنده اثر دارد بلکه باعث به‌وجود آمدن سر و صدای دنده در حال کار نیز می‌شود. این مطلب به‌طور کلی به نوع جنس دنده‌های تولید شده و سختی سطوح درگیر بستگی دارد. در چدن نشکن شکل گرافیت بر روی مقاومت در برابر سایش تأثیر تعیین کننده‌ای دارد و با افزایش مقدار گرافیت‌های کروی، مقاومت به سایش چدن نشکن افزایش می‌یابد.

۳ ـ ۴ ـ ۱۷ ـ انواع چدن‌های نشکن برای ساخت چرخ‌دنده‌ها

برای دنده‌هایی که تحت تأثیر تنش‌هایی بالایی قرار می‌گیرند بایستی از چدن نشکن عاری از کاربید و فریت استفاده نمود. اصولاً برای دنده‌هایی که سطح آنها سخت نشده باشد، چدن نشکن پرلیتی با سختی حدود ۲۷۰ برینل کاربرد دارد، توصیه می‌شود از چدن‌های نشکن بینیتی که به‌وسیله عملیات حرارتی یا آلیاژسازی دارای سختی ۳۵۰ برینل شده‌اند برای کار تحت تأثیر تنش‌های بالا استفاده گردد. برای دنده‌هایی که تحت تأثیر تنش‌های پایین‌تر کار می‌کنند، چدن‌های نشکن فریتی که حاوی مقداری کاربید باشند پیشنهاد می‌شود.

۵ ـ ۱۷ ـ چدن نشکن در غلطک سازی

تولید غلطک‌های نورد گرم از جنس چدن نشکن تقریباً از سال ۱۹۶۰ میلادی شروع شده است و از آن زمان تولید این غلطک‌ها توسعه پیدا کرده و در بسیاری از موارد جایگزین غلطک‌های چدن خاکستری و فولادی شده است. دلایل عمده برای توسعه و تولید غلطک‌های چدن نشکن عبارت‌اند از:

- بهبود مقاومت در برابر سایش
- استحکام کششی مناسب
- مقاومت در برابر ترک‌های ناشی از افزایش دمای کار
- قابلیت ماشین‌کاری بهتر

به‌طور کلی غلطک‌های فولادی در مراحل اولیه نورد و غلطک‌های چدنی در مراحل بعدی و نهایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. ولی در کارخانه‌های نورد متوسط و کوچک و در جایی که تنش‌های وارده به غلطک اجازه بدهد غلطک‌های چدنی مورد استفاده قرار می‌گیرند. غلطک‌های ساخته شده از چدن نشکن برای نورد کردن ورق و مقاطع مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در بعضی موارد استحکام غلطک‌های ساخته شده از چدن نشکن در مقایسه با استحکام غلطک‌های فولادی تقریباً برابر است و سختی و مقاومت در برابر سایش آن در مقایسه با غلطک‌های فولادی بالاتر می‌باشد. تنش‌های هنگام نورد و تنش‌های خمشی که به یک غلطک اعمال می‌شود، عامل تعیین کننده در استفاده از غلطک‌های چدن نشکن می‌باشد. با استفاده از ترکیب شیمیایی و عملیات حرارتی مناسب می‌توان غلطک‌ها را از جنس چدن نشکن با استحکام بالا و مقاومت در برابر سایش بهتر تولید و به‌جای غلطک فولادی مورد استفاده قرار دارد. تعیین ترکیب شیمیایی غلطک‌های چدن

نشکن برای دستیابی به خواص موردنظر، تابع سه پارامتر متغیر می‌باشد:

۱ ـ مقدار و اندازه گرافیت‌ها ۲ ـ مقدار و اندازه کاربیدها ۳ ـ ریزساختار زمینه

در مواردی که به‌کارگیری چدن خاکستری به دلیل تَرک خوردگی ناشی از گرما محدودیت پیدا می‌کند، می‌توان از غلطک‌های چدن نشکن بدون به‌وجود آمدن مشکلی استفاده نمود. علت این امر آن است که غلطک چدن نشکن مقاومت بیشتری در برابر ترک‌خوردگی ناشی از گرما دارد. مقاومت در برابر سایش غلطک‌های چدن نشکن بستگی به مقدار کاربید موجود در آنها دارد. این کاربیدها در اثر حضور عناصر آلیاژی و استفاده از مبردها به‌وجود می‌آیند. ریزساختار زمینه، مقاومت به سایش و مقاومت در برابر تَرک‌خوردگی را تعیین می‌نماید و اصولاً غلطک‌های چدن نشکن با ریزساختارهای پرلیتی و بینیتی تولید می‌شوند.

۱ ـ ۵ ـ ۱۷ ـ غلطک‌های چدن نشکن پرلیتی

استحکام و چقرمگی مناسب، مقاومت در برابر سایش خوب و مقاومت در برابر خوردگی از ویژگی‌های غلطک‌های ساخته شده از جنس چدن نشکن پرلیتی می‌باشند. مقاومت در برابر سایش با افزایش سختی افزایش می‌یابد. اصولاً غلطک‌های چدن نشکن پرلیتی، در مراحل میانی و نهایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، ولی در نورد مقاطع یا میل‌گرد غلطک‌های از جنس چدن نشکن پرلیتی در مرحله اوّل هم مورد استفاده قرار می‌گیرند که ترکیب شیمیایی مورد استفاده بستگی به قطر و اندازه غلطک دارد ولی اصولاً در ترکیب آنها عناصر کروم ـ نیکل و مولیبدن یافت می‌شود.

لازم به ذکر است پس از ریخته‌گری و ماشین‌کاری، عملیات حرارتی نرماله کردن روی غلطک‌های چدن نشکن پرلیتی انجام می‌گیرد.

۲ ـ ۵ ـ ۱۷ ـ غلطک‌های چدن نشکن بینیتی

یکی از ویژگی‌های مهم غلطک‌های چدن نشکن با ساختار بینیتی استحکام بالا و چقرمگی مناسب می‌باشد. کاربرد این غلطک با غلطک‌های فولادی تقریباً برابر می‌باشد و مقاومت آنها در برابر تَرک خوردگی ناشی از گرما عالی می‌باشد. کاربرد این غلطک‌ها در مراحل اول نورد ورق و مقاطع، در مواقعی که به استحکام بالا نیاز می‌باشد است. غلطک‌های چدن نشکن بینیتی پس از ریخته‌گری تحت عملیات حرارتی تمپرینگ در درجه حرارت بین ۳۰۰ ـ ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرند. در ترکیب شیمیایی این غلطک‌ها سه عنصر نیکل ـ کروم و مولیبدن یافت می‌شود.

منابع و مراجع

منابع فارسی استفاده شده:

۱ ـ متالورژی کاربردی چدن‌ها ـ مرعش مرعشی ـ انتشارات نورد و تولید قطعات فولادی ـ ۱۳۷۲.

۲ ـ قطعات ریختگی چدنی (خواص مکانیکی) ـ محمدرضا افضلی ـ انتشارات شرکت ملی فولاد ایران ـ ۱۳۷۱.

۳ ـ قطعات ریختگی چدنی (خواص فیزیکی ـ خوردگی و عملیات گرمایی) ـ محمدرضا افضلی ـ شرکت ملی فولاد ایران ـ ۱۳۷۲.

۴ ـ قطعات ریختگی چدنی (جوشکاری، ماشین‌کاری و پوشش‌کاری) ـ محمدرضا افضلی ـ انتشارات شرکت ملی فولاد ایران ـ ۱۳۷۳.

۵ ـ ذوب چدن در کوره‌های کوپل گازسوز ـ پرویز شریفی ـ مجله ریخته‌گری ـ بهار ۱۳۷۱.

۶ ـ کوره القایی بدون هسته ـ داریوش سلیمی ـ مجله ریخته‌گری ـ بهار و تابستان ۱۳۷۵.

۷ ـ ریخته‌گری چدن ـ محمدحسین فتحی ـ انتشارات جهاد دانشگاهی، دانشگاه صنعتی اصفهان ـ ۱۳۶۶.

۸ ـ محاسبه شارژ چدن‌های نشکن و خاکستری در کوره‌های مختلف ـ رضا خانی اوشانی ـ امیرحسین کیا ـ پایان نامه کارشناسی ـ دانشگاه آزاداسلامی واحدکرج ـ ۱۳۷۸.

۹ ـ ساخت کوره زمینی (بوته‌ای) ـ حبیب‌الله دهقانی ـ مجله ریخته‌گری ـ بهار ۱۳۶۱.

۱۰ ـ بررسی خواص ماسه‌های سیلیسی با چسب طبیعی مورد مصرف در کارگاه‌های ریخته‌گری استان تهران ـ حامد ثابت ـ ویژه‌نامه ریخته‌گری ـ شهریور ماه ۱۳۷۸.

۱۱ ـ چدن‌ها ـ پرویز دوامی ـ انتشارات جامعه ریخته‌گران ایران ـ ۱۳۶۰.

۱۲ ـ فرآیندهای قالب‌گیری با چسب‌های خاکی ـ نجم‌الدین عرب ـ ویژه‌نامه ریخته‌گری ـ شهریور ماه ۱۳۷۸.

۱۳ ـ مواد قالب‌گیری در ریخته‌گری ـ محمد حسین فتحی ـ انتشارات ارکان اصفهان ـ ۱۳۶۵.

۱۴ ـ گزارش فرآیند جعبه داغ و کاربردهای آن ـ مرکز پژوهش‌های متالورژی رازی ـ خرداد ۱۳۷۱.

۱۵ ـ فرآیندهای قالب‌گیری و ماهیچه‌گیری چسب سرد ـ مرکز پژوهش‌های متالورژی رازی ـ شهریور ۱۳۷۰.

۱۶ ـ اثر تنگستن بر ریزساختار و خواص مکانیکی چدن نشکن در حالت سیاه تاب ـ حامد ثابت ـ دوازدهمین سمینار سالیانه جامعه ریخته‌گران ایران ـ خرداد ۱۳۷۹.

۱۷ ـ پرسش و پاسخ ریخته‌گری ـ مجله ریخته‌گری ـ تابستان ۱۳۶۲.

۱۸ ـ تولید چدن‌نشکن به روش تزریق نوار مغزی‌دار منیزیم ـ علی شایگان ـ نجم الدین عرب دوازدهمین سمینار سالیانه جامعه ریخته‌گران ایران ـ خرداد ۱۳۷۹.

۱۹ ـ گزارش تاثیر جوانه‌زاهای مختلف بر روی چدن خاکستری و نشکن ـ آرش منتظری

- شرکت مالیبل سایپا - سال ۱۳۷۷.

۲۰ - روش کنترل فشار - یحیی جافریان - سومین سمینار جامعه ریخته‌گران ایران - خرداد ۱۳۷۰.

۲۱ - اصول و کاربرد عملیات حرارتی فولادها و چدن‌ها - محمد علی گلعذار - انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان - ۱۳۶۷.

منابع انگلیسی استفاده شده:

1. Metals Handbook - Vol 15 (Casting) - ASM - 1988.

2. Ductile Iron Data For Design Engineers - QIT - Feret Titane. Inc - 1990.

3 - Cast Irons - J. R. Davis - ASM - 1996.

4 - Cast Iron Technology - R. Elliott - Butterworths - 1988.

5 - The Physical Metallurgy of Cast Iron - I. Minkoff - John wiley and sons - 1983.

6 - Ductile Iron Handbook - R. B. Gundlach - C. R. Loper Jr - B. Morgen - ASM - 1992.

7 - Engineering Data on Nodular Cast Irons - G. N. J. Gilbert - SI Units - BCIRA - 1986.

ASTM A ۵۷۱

حدود ترکیب شیمیایی

عنصر	ترکیب
کربن کل	۲/۷ - ۲/۲
سیلیسیم	۲/۵۰ - ۱/۵۰
منگنز	۴/۵ - ۳/۷۵
نیکل	۲۴/۵ - ۲۱/۰
کروم	۰/۲max
فسفر	۰/۰۸max

برای قطعات ضخیم‌تر از ۸ میلی‌متر مقدار کربن باید حداکثر ۲/۹ درصد در نظر گرفته شود.

خواص مکانیکی

	کلاس ۱	کلاس ۲
استحکام کششی Ksi	۶۵	۶۰
استحکام تسلیم Ksi	۳۰	۲۵
درصد ازدیاد طول نسبی	۳۰	۲۵
سختی برینل	۱۷۱ - ۱۲۱	۱۷۱ - ۱۱۱
انرژی ضربه FT-Ib	۱۵	۲۰
	۱۲	۱۵

ASTM A ۸۹۷

گرید	حداقل استحکام کششی	حداقل استحکام تسلیم	درصد ازدیاد طول نسبی	انرژی ضربه	سختی
	Ksi	Ksi	%	Ft-lb	BHN..
۱۲۵/۸۰/۱۰	۱۲۵	۸۰	۱۰	۷۵	۲۶۹_۳۲۱
۱۵۰/۱۰۰/۷	۱۵۰	۱۰۰	۷	۶۰	۳۰۲_۳۶۳
۱۷۵/۱۲۵/۴	۱۷۵	۱۲۵	۴	۴۵	۳۴۱_۴۴۴
۲۰۰/۱۵۵/۱	۲۰۰	۱۵۵	۱	۲۵	۳۸۸_۴۷۷
۲۳۰/۱۸۵/_	۲۳۰	۱۸۵	..	..	۴۴۴_۵۵۵

ASTM A ۴۷۶

ترکیبات شیمیایی	
کربن (حداقل)	۳/۰
سیلیسیم (حداکثر)	۳/۰
فسفر (حداکثر)	۰/۰۸
گوگرد (حداکثر)	۰/۰۵

خواص کششی		
ضخامت نمونه آزمایشی	۲۵mm	۷۵mm
استحکام کششی (حداقل) ksi	۸۰	۸۰
استحکام تسلیم (حداقل) ksi	۶۰	۶۰
درصد ازدیاد طول نسبی (حداقل)	۳/۰	۱/۰

ASTM A ۵۳۶

(خواص کششی)					
	گرید ۶۰/۴۰/۱۸	گرید ۶۵/۴۵/۱۲	گرید ۸۰/۵۵/۰۶	گرید ۱۰۰/۷۰/۰۳	گرید ۱۲۰/۹۰/۰۲
استحکام‌کششی (حداقل) psi	۶۰۰۰۰	۶۵۰۰۰	۸۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰
استحکام‌تسلیم (حداقل) psi	۴۰۰۰۰	۴۵۰۰۰	۵۵۰۰۰	۷۰۰۰۰	۹۰۰۰۰
درصد ازدیادطول‌نسبی (حداقل)	۱۸	۱۲	۶/۰	۳/۰	۲/۰

(خواص کششی)			
	گرید ۶۰/۴۲/۱۰	گرید ۷۰/۵۰/۰۵	گرید ۸۰/۶۰/۰۳
استحکام‌کششی (حداقل)	۶۰۰۰۰	۷۰۰۰۰	۸۰۰۰۰
استحکام‌تسلیم (حداقل)	۴۲۰۰۰	۵۰۰۰۰	۶۰۰۰۰
درصد ازدیادطول‌نسبی (حداقل)	۱۰	۵	۳

SAE J۴۳۴C

ساختار	سختی	درصدازدیاد طول نسبی	استحکام تسلیم (حداقل)				استحکام کششی (حداقل)				گرید
	HB	%	lbf/in^2	$tonf/in^2$	kgf/mm^2	N/mm^2	lbf/in^2	$tonf/in^2$	kgf/mm^2	N/mm^2	
F	۱۷۰max	۱۸	۴۰۰۰۰	۱۷/۹	۲۸/۱	۲۷۶	۶۰۰۰۰	۲۶/۸	۴۲/۲	۴۱۴	D۴۰۱۸
F+P	۱۵۶-۲۱۷	۱۲	۴۵۰۰۰	۲۰/۱	۳۱/۶	۳۱۰	۶۵۰۰۰	۲۹/۰	۴۵/۷	۴۴۸	D۴۵۱۲
F+P	۱۸۷-۲۵۵	۶	۵۵۰۰۰	۲۴/۶	۳۸/۷	۳۷۹	۸۰۰۰۰	۲۹/۰	۵۶/۲	۵۵۲	D۵۵۰۶
P	۲۴۱-۳۰۲	۳	۷۰۰۰۰	۳۱/۳	۴۹/۲	۳۸۳	۱۰۰۰۰۰	۴۴/۶	۷۰/۳	۶۸۹	D۷۰۰۳

ISO ۱۰۸۳

ساختار	سختی	درصدازدیاد طول نسبی	استحکام تسلیم (حداقل)			استحکام کششی (حداقل)			گرید
	HB	%	$tonf/in^2$	kgf/mm^2	N/mm^2	$tonf/in^2$	kgf/mm^2	N/mm^2	
P	۲۴۰-۳۵۲	۲	۳۱/۱	۴۸/۹	۴۸۰	۵۱/۸	۸۱/۶	۸۰۰	۸۰۰-۲
P	۲۲۹-۳۰۲	۲	۲۷/۲	۴۲/۸	۴۲۰	۴۵/۳	۷۱/۴	۷۰۰	۷۰۰-۲
P+F	۱۹۲-۲۶۹	۳	۲۴/۰	۳۷/۷	۳۷۰	۳۸/۸	۶۱/۲	۶۰۰	۶۰۰-۳
F+P	۱۷۰-۲۴۱	۷	۲۰/۷	۳۲/۶	۳۲۰	۳۲/۴	۵۱/۰	۵۰۰	۵۰۰-۷
F	< ۲۰۱	۱۲	۱۶/۲	۲۵/۵	۲۵۰	۲۵/۹	۴۰/۸	۴۰۰	۴۰۰-۱۲
F	< ۱۷۹	۱۷	۱۴/۹	۲۳/۵	۲۳۰	۲۴/۰	۳۷/۷	۳۷۰	۳۷۰-۱۷

ISO ۲۸۹۲ - ۱۹۷۳

نام بین‌المللی	استاندارد SIS	استاندارد ASTM	استاندارد DiN	استاندارد NF	استاندارد B.S
–	۱۴۰۷۷۲	–	GGG-NiMn ۱۳ ۷	S-NM ۱۳ ۷	S-NiMn ۱۳ ۷
Ni-ResistD-۲	۱۴۰۷۷۶	Type D-۲	GGG-NiCr ۲۰ ۲	S-NC ۲۰ ۲	S-NiCr ۲۰ ۲
Ni-ResistD-۲B	–	Type D-۲B	GGG-NiCr ۲۰ ۳	S-NC ۲۰ ۳	S-NiCr ۲۰ ۲
Nicrosilal	–	–	GGG-NiSiCr۲۰ ۵ ۲	S-NSC۲۰ ۵ ۲	S-NiSiCr۲۰ ۵ ۲
Ni-ResistD-۲C	–	Type D-۲C	GGG-Ni ۲۲	S-N ۲۲	S-Ni ۲۲
Ni-ResistD-۲M	–	ASTM A۵۷۱D-۲M	GGG-NiM ۲۳ ۴	S-NM ۲۳ ۴	S-NiMn ۲۳ ۴
Ni-ResistD-۳A	–	Type D-۳A	GGG-NiCr ۳۰ ۱	S-NC ۳۰ ۱	S-NiCr ۳۰ ۱
Ni-ResistD-۳	–	Type D-۳	GGG-NiCr ۳۰ ۳	S-NC ۳۰ ۳	S-NiCr ۳۰ ۳
Ni-ResistD-۴	–	Type D-۴	GGG-NiSiCr۳۰ ۵ ۵	S-NSC۳۰ ۵ ۵	S-NiSiCr۳۰ ۵ ۵
Ni-ResistD-۵	–	Type D-۵	GGG-Ni ۳۵	S-N ۳۵	S-Ni ۳۵
Ni-ResistD-۵B	–	Type D-۵B	GGG-NiCr ۳۵ ۳	S-NC ۳۵ ۳	S-NiCr ۳۵ ۳
Ni-ResistD-۲W	–	–	GGG-NiCrNb۲۰ ۲	–	–
Ni-ResistD-۴A	–	–	GGG-NiSiCr۳۰ ۵ ۲	–	–
Ni-ResistD-۵S	–	–	GGG-NiSiCr۳۵ ۵ ۲	–	–

NFA ۳۲ـ۲۰۱

ساختار	سختی	درصدازدیاد طول نسبی	استحکام تسلیم (حداقل)			استحکام کششی (حداقل)			گرید
	HB	%	$tonf/in^2$	kgf/mm^2	N/mm^2	$tonf/in^2$	kgf/mm^2	N/mm^2	
F	۱۷۹>	۱۷	۱۴/۹	۲۳/۵	۲۳۰	۲۴/۰	۳۷/۷	۳۷۰	FGS۳۷۰-۱۷
F	۲۰۱>	۱۲	۱۶/۲	۲۵/۵	۲۵۰	۲۵/۹	۴۰/۸	۴۰۰	FGS۴۰۰-۱۲
F+P	۱۷۰-۲۴۱	۷	۲۰/۷	۳۲/۶	۳۲۰	۳۲/۴	۵۱/۰	۵۰۰	FGS۵۰۰-۷
P	۱۹۲-۲۶۹	۳	۲۴/۰	۳۷/۷	۳۷۰	۳۸/۸	۶۱/۲	۶۰۰	FGS۶۰۰-۳
P	۲۲۹-۳۰۲	۲	۲۷/۲	۴۲/۸	۴۲۰	۴۵/۳	۷۱/۴	۷۰۰	FGS۷۰۰-۲
Port	۲۴۸-۳۵۲	۲	۳۱/۱	۴۸/۹	۴۸۰	۵۱/۸	۸۱/۶	۸۰۰	FGS۸۰۰-۲

UNI ۴۵۴۴

ساختار	سختی	درصدازدیاد طول نسبی	استحکام تسلیم (حداقل)			استحکام کششی (حداقل)			گرید
	HB	%	$tonf/in^2$	kgf/mm^2	N/mm^2	$tonf/in^2$	kgf/mm^2	N/mm^2	
F	۱۳۱-۱۷۹	۱۷	۱۴/۹	۲۳	۲۳۰	۲۴/۰	۳۸	۳۷۰	GS۳۷۰-۱۷
F	۱۴۳-۲۰۱	۱۲	۱۶/۲	۲۵	۲۵۰	۲۵/۹	۴۱	۴۰۰	GS۴۰۰-۱۲
P+F	۱۷۰-۲۴۱	۷	۲۰/۷	۳۳	۳۲۰	۳۲/۴	۵۱	۵۰۰	GS۵۰۰-۷
P	۱۹۲-۲۶۹	۳	۲۴/۰	۳۸	۳۷۰	۳۸/۸	۶۱	۶۰۰	GS۶۰۰-۳
P	۲۲۹-۳۰۲	۲	۲۷/۲	۴۳	۴۲۰	۴۵/۳	۷۱	۷۰۰	GS۷۰۰-۲
Port	۲۴۸-۳۵۲	۲	۳۱/۱	۴۹	۴۸۰	۵۱/۸	۸۱	۸۰۰	GS۸۰۰-۲

JISG ۵۵۰۲

سختی	درصد ازدیاد طول نسبی	استحکام تسلیم (حداقل)			استحکام کششی (حداقل)			گرید
HB	%	$tonf/in^2$	kgf/mm^2	N/mm^2	$tonf/in^2$	kgf/mm^2	N/mm^2	
۱۷۹max	۱۷	۱۵/۲	۲۴	۲۳۵	۲۳/۵	۳۷	۳۶۳	۳۷
۲۰۱max	۱۲	۱۶/۵	۲۶	۲۵۵	۲۵/۴	۴۰	۳۹۲	۴۰
۱۴۳-۲۱۲	۱۰	۱۸/۴	۲۹	۲۸۴	۲۸/۶	۴۵	۴۴۱	۴۵
۱۷۰-۲۴۱	۷	۲۱/۰	۳۳	۳۲۴	۳۱/۷	۵۰	۴۹۰	۵۰
۱۹۲-۲۶۹	۳	۲۴/۱	۳۸	۳۷۳	۳۸/۱	۶۰	۵۵۸	۶۰
۲۲۹-۳۰۲	۲	۲۷/۳	۴۳	۴۲۲	۴۴/۴	۷۰	۶۸۶	۷۰
۲۴۸-۳۵۲	۲	۳۱/۱	۴۹	۴۸۱	۵۰/۸	۸۰	۷۸۵	۸۰

SIS ۱۴۰۷

گرید	استحکام کششی (حداقل)			استحکام تسلیم (حداقل)			درصد ازدیاد طول نسبی	سختی
	N/mm^2	kgf/mm^2	$tonf/in^2$	N/mm^2	kgf/mm^2	$tonf/in^2$	%	HB
۱۷-۰۰	۴۰۰	۴۰/۸	۲۵/۹	۲۵۰	۲۵/۵	۱۶/۲	۱۵	۱۳۵-۱۸۰
۱۷-۰۲	۴۰۰	۴۰/۸	۲۵/۹	۲۵۰	۲۵/۵	۱۶/۲	۱۸	۱۳۰-۱۷۰
۱۷-۱۵	۳۵۰	۳۵/۷	۲۲/۷	۲۲۰	۲۲/۴	۱۴/۲	۲۲	۱۵۰max
۲۷-۰۲	۵۰۰	۵۱/۰	۳۲/۴	۳۲۰	۳۲/۶	۲۰/۷	۷	۱۷۰-۲۳۰
۳۲-۰۳	۶۰۰	۶۱/۲	۳۸/۸	۳۸۰	۳۸/۷	۲۴/۶	۵	۲۰۰-۲۶۰
۳۷-۰۱	۷۰۰	۷۱/۴	۴۵/۳	۴۴۰	۴۴/۹	۲۸/۵	۳	۲۳۰-۳۰۰

B.S ۲۷۸۹

ساختار	سختی	درصدازدیاد طول نسبی	استحکام تسلیم (حداقل)			استحکام کششی (حداقل)			گرید
	HB	%	$tonf/in^2$	kgf/mm^2	N/mm^2	$tonf/in^2$	kgf/mm^2	N/mm^2	
TM	۳۰۲ to ۳۵۹	۲	۳۸/۸	۶۱/۲	۶۰۰	۵۸/۳	۹۱/۸	۹۰۰	۹۰۰/۲
Por-T	۲۴۸ to ۳۵۲	۲	۳۱/۱	۴۸/۹	۴۸۰	۵۱/۸	۸۱/۶	۸۰۰	۸۰۰/۲
P	۲۲۹ to ۳۰۲	۲	۲۷/۲	۴۲/۸	۴۲۰	۴۵/۳	۷۱/۴	۷۰۰	۷۰۰/۲
P/F	۱۹۲ to ۲۶۹	۳	۲۴/۰	۳۷/۷	۳۷۰	۳۸/۹	۶۱/۲	۶۰۰	۶۰۰/۳
F/P	۱۷۰ to ۲۴۱	۷	۲۰/۷	۳۲/۶	۳۲۰	۳۲/۴	۵۱/۰	۵۰۰	۵۰۰/۷
F/P	۱۶۰ to ۲۲۱	۱۰	۲۰/۷	۳۲/۶	۳۲۰	۲۹/۱	۴۵/۹	۴۵۰	۴۵۰/۱۰
F	< ۲۱۲	۱۲	۱۷/۵	۲۷/۵	۲۷۰	۲۷/۲	۴۲/۸	۴۲۰	۴۲۰/۱۲
F	< ۱۷۹	۱۸	۱۶/۲	۲۵/۵	۲۵۰	۲۵/۹	۴۰/۸	۴۰۰	۴۰۰/۱۸
F	< ۱۷۹	۱۸	۱۶/۲	۲۵/۵	۲۵۰	۲۵/۹	۴۰/۸	۴۰۰	۴۰۰/۱EL۲۰
F	< ۱۶۰	۲۲	۱۴/۲	۲۲/۴	۲۲۰	۲۲/۷	۳۵/۷	۳۵۰	۳۵۰/۲۲
F	< ۱۶۰	۲۲	۱۴/۲	۲۲/۴	۲۲۰	۲۲/۷	۳۵/۷	۳۵۰	۳۵۰/۲۳L۴۰

ساختار	سختی	درصدازدیاد طول نسبی	استحکام تسلیم (حداقل)			استحکام کششی (حداقل)			گرید
	HB	%	$tonf/in^2$	kgf/mm^2	N/mm^2	$tonf/in^2$	kgf/mm^2	N/mm^2	
F	۱۲۰-۱۸۰	۱۵	۱۶/۲	۲۵/۵	۲۵۰	۲۵/۹	۴۰/۸	۴۰۰	GGG-۴۰
F+P	۱۵۰-۲۴۰	۷	۲۰/۷	۳۲/۶	۳۲۰	۳۲/۴	۵۱/۰	۵۰۰	GGG-۵۰
P+F	۱۷۵-۲۹۰	۳	۲۴/۶	۳۸/۷	۳۸۰	۳۸/۸	۶۱/۲	۶۰۰	GGG-۶۰
P	۲۱۰-۳۲۰	۲	۲۸/۵	۴۴/۹	۴۴۰	۴۵/۳	۷۱/۴	۷۰۰	GGG-۷۰
P	۲۳۰-۳۶۰	۲	۳۲/۴	۵۱/۰	۵۰۰	۵۱/۸	۸۱/۶	۸۰۰	GGG-۸۰
—	—	۲۲	۱۴/۲	۲۲/۴	۲۲۰	۲۲/۷	۳۵/۷	۳۵۰	GGG-۳۵-۳
—	—	۱۸	۱۶/۲	۲۵/۵	۲۵۰	۲۵/۹	۴۰/۸	۴۰۰	GGG-۴۰-۳