دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی

ریخته‌گری
آلیاژهای آهنی

چاپ چهارم

تألیف:

دکتر امیر عابدی

عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی

مهندس وحید مهدوی

سر شناسنامه	:	عابدی، امیر، 1341.
عنوان و نام پدید آور	:	ریخته‌گری آلیاژهای آهنی/ تألیف امیر عابدی، وحید مهدوی.
مشخصات نشر	:	تهران؛ دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، 1386.
مشخصات ظاهری	:	ر، 463ص.: مصور، جدول.
شابک	:	978-964-2651-12-2
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا.
یادداشت	:	چاپ اول دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی: 1386 (ر، 451).
یادداشت	:	چاپ سوم: 1390.
یادداشت	:	کتابنامه: ص. [٤٤٩]-٤٥١.
یادداشت	:	نمایه.
موضوع	:	ذوب آهن.
موضوع	:	چدن – ریخته‌گری
موضوع	:	فولاد سازی.
موضوع	:	تغذیه گذاری (ریخته‌گری).
موضوع	:	قالب و قالب سازی.
شناسنامه افزوده	:	مهدوی، وحید، 1343.
رده بندی کنگره	:	1386 9ر16ع / TS 230
رده بندی دیویی	:	617/2
شماره کتابشناسی ملی	:	2591991

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی

عنوان	:	ریخته‌گری آلیاژهای آهنی
گردآوری و تألیف	:	امیر عابدی، وحید مهدوی
ویراستار	:	عباس مرادی
نوبت چاپ	:	چهارم - تابستان 1392
انتشارات	:	دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی
لیتوگرافی و چاپ	:	چاپ و نشر شریف
طراح جلد	:	مهندس هادی عارفی
ناظر فنی	:	غلامرضا کارگریان مروستی
کارشناس چاپ	:	محمد معتمدی نژاد ، نیره فیروزی
شمارگان	:	1000 جلد
قیمت	:	13.000 تومان
شابک	:	978-964-2651-12-2 ISBN: 978-964-2651-12-2

کلیهٔ حقوق این اثر برای مؤلفین و دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجائی محفوظ است.

نشانی: تهران، لویزان – کد پستی 1678815811 – صندوق پستی 163 – 16785 – تلفن: (2362) 9 – 22970060، 22970070، نمابر: 22970003، پست الکترونیکی: Publish@srttu.edu، وب سایت: http://Publish.srttu.edu

پیشگفتار

یکی از رایج‌ترین تقسیم‌بندی‌ها در رابطه با فلزات و آلیاژهای ریختگی، دسته‌بندی آن‌ها به دو دسته آلیاژهای آهنی و آلیاژهای غیرآهنی است. آلیاژهای آهنی شامل آلیاژهائی هستند که در آن‌ها عنصر آهن به عنوان عنصر پایه و عنصرکربن به عنوان عنصر اصلی محسوب می‌گردد. این آلیاژها بر حسب میزان کربن موجود، به چدن‌ها و فولادها تقسیم می‌گردند.

آلیاژهای آهنی بطور گسترده‌ای در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند، چنانچه در حال حاضر بیش از ۹۰ درصد فلزات مصرفی در صنعت از نوع آلیاژهای آهنی می‌باشند. لذا اطلاع از نحوه ریخته‌گری این آلیاژها و مشخصات آن‌ها مورد نیاز مبرم تمامی دانشجویان و متخصصین متالورژی می‌باشد. با این وجود تا کنون کتاب تخصصی به زبان فارسی در زمینه ریخته‌گری آلیاژهای آهنی که بصورت یک مجموعه واحد به زوایای گوناگون این موضوع پرداخته باشد، موجود نمی‌باشد. این امر ما را بر آن داشت تا به تألیف این کتاب که به تشریح خواص و مبانی تکنولوژیکی و متالورژیکی مورد نیاز برای ریخته‌گری آلیاژهای آهنی می‌پردازد، اقدام کنیم. در این کتاب سعی بر آن است تا خوانندگان و دانشجویان گرامی با اصول کلی مورد نیاز و خواص آلیاژهای آهنی آشنا شوند و لذا از بحث‌های محاسباتی بدلیل گستردگی در بیشتر موارد اجتناب گردیده است. خوانندگان و دانشجویان گرامی در صورت نیاز می‌توانند به کتاب‌های تخصصی‌تر در زمینه‌های مورد نظر، مراجعه نمایند.

در فصل اول کتاب به بررسی مشخصات عمومی آلیاژهای آهنی شامل دسته‌بندی آلیاژهای آهنی، برخی تعریفات اولیه فازها، بررسی نمودار آهن- کربن و تحولات موجود در آن و بررسی تأثیر عناصر آلیاژی بر دیاگرام آهن کربن پرداخته شده است.

در فصل دوم سعی به تشریح کوره‌های مورد استفاده برای ذوب چدن و فولاد که شامل کورهٔ بوته‌ای، کورهٔ دوار، کورهٔ کوپل، کوره القائی و کوره قوس الکتریک هستند، شده است. البته لازم به یادآوری است که به دلیل اهمیت پاتیل‌های ذوب در ریخته‌گری آلیاژهای آهنی، بخصوص در فولادریزی، در قسمت دوم این فصل بخشی تحت عنوان روش‌های حمل مذاب آورده شده است، که به تشریح انواع پاتیل‌های متداول در حمل مذاب این آلیاژها اختصاص یافته است.

در فصل سوم به بررسی کلی چدن‌ها شامل ریزساختار چدن‌ها، کربن معادل، انواع شکل گرافیت در چدن‌ها، دسته‌بندی چدن‌ها و بررسی خواص و کاربردهای هر دسته از چدن‌ها پرداخته شده است. در انتهای این فصل تأثیر عناصر آلیاژی بر روی انواع چدن‌ها آورده شده است.

فصل چهارم شامل دو قسمت است. در قسمت اول به بررسی، دسته‌بندی و مشخصات عمومی و کاربردی فولادهای ریختگی پرداخته شده است و در قسمت دوم، آخال‌ها و گازهای موجود در فولادها و عملیات کیفی که بر روی فولادها به جهت افزایش کیفیت آن‌ها صورت می‌گیرد، مورد بررسی قرار گرفته است. عملیات کیفی شامل بررسی گاز و گاززدائی، اکسیژن و اکسیژن‌زدائی و گوگرد و فسفرزدائی مذاب فولاد قبل از ریخته‌گری می‌باشد.

فصل پنجم اختصاص به مواد قالب و ماهیچه، سیستم‌های راهگاهی و تغذیه‌گذاری در ریخته‌گری آلیاژهای آهنی دارد.

در نهایت ذکر این نکته ضروری است که انعکاس نظرات و پیشنهادات شما خواننده گرامی، ما را در جهت تکمیل کتاب حاضر به منظور ویرایش این مجموعه در چاپ‌های بعدی کمک می‌کند. پیشاپیش از حسن نظر شما قدردانی می‌گردد.

مؤلفین
امیرعابدی
وحید مهدوی ایمان

فهرست مطالب

فصل اول: مشخصات عمومی آلیاژهای آهنی

۱-۱ مقدمه ۱
۱-۱-۱خواص آهن ۲
۱-۱-۲ طبقه‌بندی آلیاژهای آهنی ۲
۱-۲ ترمودینامیک آلیاژهای آهنی ۱۲
۱-۳ نمودار تعادلی آهن– کربن ۱۳
۱-۴ دماهای بحرانی ۱۵
۱-۵ آلوتروپی‌های آهن ۱۶
۱-۵-۱آهن آلفا ۱۸
۱-۵-۲آهن گاما ۱۹
۱-۵-۳آهن دلتا ۲۰
۱- ۶ فازهای تعادلی در نمودار آهن ـ کربن ۲۱
۱-۷ تحولات موجود در نمودار تعادلی آهن ـ کربن ۲۸
الف) تحول یوتکتیک ۲۸
ب) تحول پریتکتیک ۲۹
ج) تحول یوتکتوئید ۳۰
۱-۸ مراحل انجماد و تحولات فازی در چدن‌ها: (یوتکتیک، هیپویوتکتیک، هیپریوتکتیک) ۳۱
۱-۸-۱ مراحل انجماد و تحولات در چدن‌های یوتکتیکی ۳۳
۱-۸-۲مراحل انجماد و تحولات چدن‌های هیپویوتکتیک ۳۵
۱-۸-۳ مراحل انجماد و تحولات چدن‌های هیپریوتکتیک ۳۷
۱-۹ مراحل انجماد و تحولات فولادهای کم‌کربن همراه با تحول پریتکتیک در سیستم
آهن ـ کربن ۳۹
۱-۱۰مراحل انجماد و تحولات فولادها (یوتکتوئید، هیپویوتکتوئید، هیپریوتکتوئید) ۴۳
۱-۱۰-۱مراحل تحولات فولادهای یوتکتوئیدی ۴۴
۱-۱۰- ۲ مراحل تحولات فولادهای هیپویوتکتوئیدی ۴۶
۱-۱۰-۳ مراحل تحولات فولادهای هیپریوتکتوئیدی ۴۷
۱-۱۱ تاثیر عناصر آلیاژی بر دیاگرام آهن ـ کربن ۴۸

فصل دوم: کوره‌های ذوب و روش‌های حمل مذاب

۲-۱ مقدمه ۵۹
۲-۱-۱کوره بوته‌ای ۶۰
۲-۱-۱-۱ساختمان کوره بوته‌ای ۶۰
۲-۱-۱-۲ انواع کوره‌های بوته‌ای ۶۳
۲-۱-۱-۳ سوخت کوره‌های بوته‌ای ۶۴
۲-۱-۱-۴ شارژ نمودن ۶۴
۲-۱-۲ کوره دوار ۶۵
۲-۱-۲-۱ نحوه کار این کوره‌ها ۶۷
۲-۱-۳ کوره کوپل ۶۸
۲-۱-۳-۱ قسمت‌های مختلف کوره کوپل ۶۹
۲-۱-۳-۲ ابعاد کوره‌های کوپل ۷۰
۲-۱-۳-۳ شارژ کوره کوپل ۷۱
۲-۱-۳-۴ انواع کوره‌های کوپل ۷۲
۲-۱-۳-۵ مزایا و معایب کوره کوپل ۷۶
۲-۱-۳-۶ مناطق قابل بررسی در کوره کوپل از پایین کوره به سمت بالای کوره ۷۶
۲-۱-۳-۷ فلاکس‌های مصرفی در کوره کوپل ۷۸
۲-۱-۴ کوره القائی ۷۸
۲-۱-۴-۱ کوره القائی بدون هسته ۷۹
۲-۱-۴-۲ کوره القائی هسته‌دار ۸۲
۲-۱-۴-۳ برق کوره ۸۴
۲-۱-۴-۴ سیستم‌های خنک‌کننده کوره ۸۶
۲-۱-۴-۵ مواد شارژ و عملیات ذوب ۸۷
۲-۱-۴-۶ مواد آستر دیرگداز ۸۷
۲-۱-۵ کوره قوس الکتریکی ۹۱
۲-۱-۵-۱ ساختمان و تجهیزات کوره قوس الکتریک ۹۴
الف) بدنه کوره ۹۴
ب) سقف کوره ۹۶
ج) برق کوره ۹۷
د) سیستم‌های الکتریکی کوره ۹۹
ه) سیستم کنترل دود ۱۰۶
۲-۱-۵-۲ شارژ نمودن کوره ۱۰۶
۲-۱-۵-۳ ذوب در کوره قوس الکتریک ۱۱۰
۱) ذوب اسیدی ۱۱۰

۲) ذوب بازی ۱۱۹
۲-۱-۵-۴ کوره‌های قوسی با جریان مستقیم ۱۲۱
۲-۲روش‌های حمل فلزمذاب (پاتیل‌ها) ۱۲۲
۲-۲-۱ انواع پاتیل‌ها ۱۲۳
۱) پاتیل سرریز ۱۲۳
۲) پاتیل قوری شکل ۱۲۴
۳) پاتیل ته‌ریز ۱۲۵
۲-۲-۲پوشش پاتیل‌ها ۱۲۶

فصل سوم: چدن‌ها

۳-۱مقدمه ۱۳۳
۳-۱-۱ ریزساختار چدن‌ها ۱۳۴
۳- ۱-۲ کربن معادل ۱۳۶
۳- ۱-۳ اثر میزان کربن و سیلیسیم بر نوع چدن‌ها ۱۳۸
۳-۱-۴ انواع شکل‌های گرافیت ۱۴۳
۳-۱-۵ دسته‌بندی چدن‌ها ۱۴۵
۳-۲چدن خاکستری(چدن با گرافیت ورقه‌ای) ۱۴۵
۳-۲-۱عوامل مؤثر بر خواص چدن‌های خاکستری ۱۴۸
۱) ساختار زمینه ۱۴۸
۲) فاز گرافیت ۱۵۴
۳-۲-۲ انواع توزیع گرافیت لایه‌ای در چدن‌های خاکستری ۱۵۴
۳-۲-۳ اندازه ذرات گرافیت ۱۶۱
۳-۲-۴ تلقیح (جوانه‌زائی) در چدن‌های خاکستری ۱۶۲
۳-۲-۴- ۱ انواع جوانه‌زاها ۱۶۵
۳-۲-۴-۲ انواع روش‌های تلقیح (افزودن) ۱۶۸
الف) اضافه کردن در پاتیل ۱۶۸
ب) تلقیح بارریز ۱۶۸
ج) روش تلقیح در قالب ۱۷۰
۳-۲-۵ خواص و کاربردها ۱۷۱
۳-۲-۶ ذوب و ریخته‌گری ۱۷۴
۳-۳چدن داکتیل (چدن با گرافیت کروی) ۱۷۵
۳-۳-۱ عناصر بازدارنده گرافیت کروی ۱۸۱
۳ـ۳ـ۲ مواد خام برای تولید چدن داکتیل ۱۸۲
۳-۳-۳گوگردزدائی درچدن‌های داکتیل ۱۸۴

۳-۳-۴ عملیات کروی کردن گرافیت‌ها ۱۸۵
۳-۳-۴-۱ کنترل میزان منیزیم ۱۸۷
۳-۳-۵ روش‌های افزودن منیزیم به مذاب ۱۸۸
۱ـ روش روریزی ۱۸۸
۲ـ روش پاتیل با درپوش(تاندیش) ۱۸۹
۳ـ روش ساندویچی ۱۹۱
۴ ـ روش غوطه‌وری یا فروبردن ۱۹۲
۵ ـ روش کنورتور فیشر ۱۹۴
۶ ـ روش افزودن منیزیم در سیستم راهگاهی ۱۹۵
۷-روش‌های دیگر ۱۹۶
۳-۳-۶ تلقیح (جوانه‌زائی) ۱۹۸
۳-۳-۷ چدن‌های داکتیل آستمپر شده ۲۰۳
۳-۳-۷-۱ انواع مختلف چدن‌های ADI ۲۰۴
۳-۳-۷-۲ نحوه عملیات حرارتی (روش تولید) چدن‌هایADI ۲۰۷
۳-۳-۷-۳ کاربردها و مقایسه خواص مکانیکی چدن‌هایADI ۲۱۰
۳ـ۳-۸ ذوب، ریخته‌گری و انجماد چدن‌های داکتیل ۲۱۱
۳-۳-۹عوامل مؤثر برخواص چدن‌های داکتیل ۲۱۳
۱ـ ساختارهای گرافیت ۲۱۴
۲ـ ساختار زمینه ۲۱۶
۳ـ سطح مقطع ۲۱۷
۴ـ ترکیب شیمیایی ۲۱۹
۳-۳-۱۰ خواص مکانیکی و کاربرد ۲۲۰
۳-۴ چدن با گرافیت فشرده CG ۲۲۱
۳-۴-۱خواص و کاربرد چدن با گرافیت فشرده ۲۲۹
۳-۴-۲ عوامل مؤثر بر خواص ۲۳۱
۱) ریزساختار ۲۳۱
۲) ترکیب شیمیائی ۲۳۲
۳) سطح مقطع ۲۳۲
۳-۵ چدن سفید ۲۳۳
۳-۵-۱کاربرد چدن‌های سفید ۲۳۶
۳ -۶ چدن مالیبل (چدن با گرافیت برفکی) ۲۳۷
۳-۶-۱ انواع چدن‌های مالیبل ۲۴۰
الف) چدن مالیبل مغزسیاه ۲۴۰
ب) چدن مالیبل مغزسفید ۲۴۱

۳-۶-۲ بررسی مراحل عملیات مالیبل کردن ۲۴۲
۳-۶ ـ۳ بررسی ریزساختارها ۲۴۵
۳-۶-۴ کنترل جوانه‌ها و نحوهٔ توزیع و تعداد گرافیت‌ها ۲۴۷
۳-۶-۵ خواص و کاربردهای چدن مالیبل ۲۴۸
۳-۷ چدن‌های آلیاژی ۲۵۰
۳-۷-۱ چدن‌های مقاوم دربرابر حرارت ۲۵۱
۳-۷-۱-۱ چدن‌های پُرسیلیسیم ۲۵۲
۳-۷-۱-۲ چدن‌های آلومینیم‌دار ۲۵۴
۳-۷-۱-۳ چدن‌های کرم‌دار ۲۵۵
۳-۷-۱-۴ چدن‌های نیکل‌دار ۲۵۶
۳-۷-۲ چدن‌های مقاوم دربرابر خوردگی ۲۵۷
۳-۷-۲-۱چدن‌های پرسیلیسیم ۲۵۷
۳-۷-۲-۲چدن‌های نیکل‌دار ۲۵۸
۳-۷-۲-۳چدن‌های پرکرم ۲۶۱
۳-۷-۳چدن‌های مقاوم در برابر سایش ۲۶۱
۳-۷-۳-۱چدن‌های نیکل – کرم‌دار موسوم به نایهارد ۲۶۲
۳-۷-۳-۲چدن‌های پرکرم ۲۶۴
۳-۸ تأثیر عناصر آلیاژی بر روی چدن‌ها ۲۶۵
۳-۸-۱تأثیر عناصر آلیاژی در چدن‌های خاکستری ۲۶۶
۳-۸-۲ تأثیر عناصر آلیاژی در چدن‌های داکتیل ۲۷۲
۳-۸-۲-۱عناصر جزئی رواج دهنده گرافیت غیرکروی ۲۷۴
۳-۸-۲-۲عناصر ترغیب‌کننده پرلیت ۲۷۵
۳-۸-۲-۳عناصر ترغیب‌کننده کاربید ۲۷۷
۳-۸-۲-۴تأثیر عناصر آلیاژی بر روی قابلیت سخت شوندگی ۲۷۷
۳-۸-۲-۵ عناصر آلیاژی جهت دستیابی به خواص مخصوص ۲۷۸
۳-۸-۳تاثیرات عناصر آلیاژی در چدن‌های با گرافیت فشرده ۲۷۸
۳-۸-۴ تاثیر عناصر آلیاژی در چدن‌های سفید ۲۸۰
۳-۸-۵ تاثیر عناصر آلیاژی در چدن‌های مالیبل ۲۸۱
۳-۸-۶ بررسی کلی تاثیر عناصر بر روی انواع چدن‌ها ۲۸۳

فصل چهارم: فولادها، عملیات کیفی مذاب فولاد

۴-۱ مقدمه ۲۹۳
۴-۱-۱نگرشی کلی بر روش‌های فولادسازی ۲۹۳
۴-۱-۲روش‌های مختلف فولادسازی ۲۹۴

۱- تولید فولاد در کنورتور با دمش هوا ۲۹۴
۲- تولید فولاد در کنورتور با دمش اکسیژن ۲۹۶
۳- فولادسازی در کوره زیمنس مارتین ۲۹۶
۴- فولادسازی در کوره‌های الکتریکی ۲۹۶
۵ - فولادسازی به کمک روش‌های جدید ۲۹۷
۴-۱-۳تقسیم‌بندی فولادها ۳۰۰
۴-۱-۳-۱تقسیم‌بندی برحسب کیفیت ۳۰۰
۴-۱-۳-۲تقسیم‌بندی بر حسب ترکیب شیمیائی ۳۰۱
۴-۱-۴تأثیر عناصر آلیاژی بر روی فولادها ۳۰۵
۴-۲عملیات کیفی مذاب فولادها ۳۱۶
۴-۲-۱آخال‌ها (منابع، دسته‌بندی) ۳۱۶
۴-۲-۱-۱کنترل آخال‌ها ۳۱۸
۴-۲-۱-۲ کنترل شکل آخال‌ها ۳۲۲
۴-۲-۲گازها (منابع تولید، نقش و تأثیرات، روش‌های کاهش و اندازه‌گیری) ۳۲۵
۴-۲-۳ گاز و گازدائی ۳۲۵
۴-۲-۳-۱ هیدروژن ۳۲۵
۴-۲-۳-۲ ازت ۳۲۷
۴-۲-۳-۳ اکسیژن و اکسیژن‌زدائی ۳۲۸
۴-۲-۲-۱تخلخل‌های گازی (علل، دسته‌بندی انواع مختلف تخلخل، عوامل تشکیل، اثر تخلخل‌ها بر خواص فولاد) ۳۳۴
۴-۲-۴ انواع تخلخل گازی ۳۳۴
۱) مک‌های سطحی ۳۳۴
۲) مک‌های داخلی ۳۳۵
۳) مک‌های کرمی شکل ۳۳۵
۴) مک‌های سوزنی ۳۳۵
۴-۲-۵ عوامل کلی تشکیل و تشدید مک‌های گازی ۳۳۷
۴-۲-۶ گوگرد و فسفرزدائی ۳۳۷
۴-۲-۷ ترک گرم ۳۳۸

فصل پنجم: قالب‌ها، مواد قالبگیری، پوشش‌ها، سیستم‌های راهگاهی، تغذیه‌گذاری

۵-۱قالب‌ها ۳۴۱
۵-۱-۱ قالب‌های موقت ۳۴۱
۵-۱-۱-۱قالب‌های ماسه‌ای ۳۴۲
۵-۱-۱-۱-۱ فالب‌های ماسه‌ای تر ۳۴۱

سیستم ماسه تر ۳۴۵
۱- مخزن ذخیره ماسه ۳۴۶
۲- آسیاب ماسه ۳۴۶
۳- محفظه ذخیره موقت ماسه قالب‌گیری ۳۴۹
۴- ماشین‌های قالب‌گیری ۳۴۹
۵- ریخته‌گری ۳۵۲
۶- تخلیه (خارج کردن قطعات از قالب). ۳۵۲
۷- نقاله حمل ماسه برگشتی (توسط تسمه نقاله) ۳۵۳
۸- غربال(الک) ۳۵۴
۹- خنک کردن ماسه ۳۵۵
۱۰- خواص ماسه تر ۳۵۵
کنترل سیستم ماسه تر ۳۵۶
۵-۱-۱-۱-۲ قالب‌های ماسه‌ای خشک ۳۵۸
۵-۱-۱-۱-۳ قالب‌های با چسب سیلیکات سدیم ۳۵۸
۵-۱-۱-۲ ریخته‌گری دقیق ۳۵۸
۵-۱-۱-۳ریخته‌گری در قالب‌های پوسته‌ای ۳۶۰
۵-۱-۱-۴مشخصات مواد قالب‌گیری و ماهیچه در قالب‌های موقت ۳۶۰
۵-۱-۱-۴-۱ماسه ۳۶۰
ماسه‌های طبیعی ۳۶۱
ماسه مصنوعی (ساختگی) ۳۶۱
۵-۱-۱-۴-۲چسب‌ها ۳۶۹
چسب‌های آلی ۳۷۰
چسب‌های غیرآلی ۳۷۳
۵-۱-۱-۴-۳ افزودنی‌های ماسه تر ۳۷۴
ماسه پایه ۳۷۵
خاک رس ۳۷۵
پودر زغال ۳۷۶
۵-۱-۲ قالب‌های دائم ۳۷۷
۵-۱-۲-۱ریخته‌گری در قالب‌های دائم ۳۷۷
۵-۱-۳پوشش‌ها ۳۸۳
۵-۱-۳-۱پوشش‌های قالب و ماهیچه ۳۸۳
۵-۲سیستم‌های راهگاهی ۳۸۴
۵-۲-۱ اجزای اصلی سیستم راهگاهی ۳۸۵
۵-۲-۲ انواع سیستم‌های راهگاهی ۳۹۲

۵-۲-۲-۱سیستم فشاری ۳۹۲
۵-۲-۲-۲ سیستم غیرفشاری ۳۹۳
۵-۲-۳ تصفیه مذاب و جلوگیری از ورود مواد خارجی ۳۹۳
۵-۲-۳-۱ استفاده از ماهیچه صافی ۳۹۴
۵-۲-۳-۲ تعبیه کانال ممتد ۳۹۶
۵-۲-۳-۳ استفاده از راهگاه گردابی ۳۹۷
۵-۲-۴ سیستم‌های راهگاهی در ریخته‌گری چدن و فولاد ۳۹۸
۵-۳ تغذیه‌گذاری ۳۹۹
۵-۳-۱ تأثیر نوع انجماد بر تغذیه‌گذاری ۴۰۴
۵-۳-۲برد تغذیه و برد قالب (اثر تغذیه و اثر انتهای قالب) ۴۰۵
۵-۳-۳عوامل مؤثر در برد تغذیه (فاصله مذاب‌رسانی) ۴۰۷
۵-۳-۴ انواع تغذیه ۴۱۱
الف) تغذیه باز ۴۱۱
ب) تغذیه بسته (کور) ۴۱۲
۵-۳-۵ تغذیه‌گذاری در فولادها ۴۱۲
۵-۳-۶ اندازه تغذیه ۴۱۳
۵-۳-۷ کارائی تغذیه ۴۱۸
۵-۳-۸ افزایش کارائی تغذیه ۴۲۰
۵-۳-۸-۱ سرد کردن سریع قطعه ۴۲۰
۵-۳-۸-۲ گرم نگه داشتن مذاب تغذیه ۴۲۵
۵-۳-۸-۳ لایه‌گذاری ۴۳۱
۵-۳-۹ محل اتصال تغذیه به قطعه (گردن تغذیه) ۴۳۵
۵-۳-۹-۱ ماهیچه برشی ۴۳۸
۵-۳-۱۰تغذیه‌گذاری در چدن‌ها ۴۴۰
۵-۳-۱۰-۱ بررسی مراحل انجماد چدن‌های گرافیتی ۴۴۱
۵-۳-۱۰-۲ بررسی تفاوت‌های انجمادی چدن خاکستری و چدن با گرافیت کروی ۴۴۴
۵-۳-۱۰-۳ بررسی تأثیر پارامترهای مؤثر در کارائی تغذیه ۴۴۵
منابع ۴۵۹

فصل اول

مشخصات عمومی آلیاژهای آهنی

۱-۱ مقدمه

آهن عنصری است که با علامت شیمیائی Fe [1] درگروه ۸ و دوره ۴ در جدول تناوبی قرار دارد. جرم اتمی این عنصر ۵۵/۸۴ گرم بر مول، عدد اتمی و چگالی آن به ترتیب ۲۶ و $۷/۸۶ \frac{gr}{cm^3}$ می‌باشد. شبکه بلوری این عنصر از نوع مکعبی است. این فلز از سنگ معدن آهن استخراج می‌شود و درطبیعت به حالت عنصر(خالص) یافت نمی‌شود. برای تهیه آهن عنصری (خالص)، باید ناخالصی‌های آن را با روش احیاء شیمیائی از بین برد.

در خصوص اهمیت آهن می‌توان گفت اساس تمدن صنعت جهان امروز وابسته به آهن و آلیاژهای مختلف آن است.کاربرد آهن از تمامی فلزات بیشتر است و ۹۵ درصد تناژ کل فلزات تولید شده در سراسر جهان را تشکیل می‌دهد. این عنصر چهارمین عنصر فراوان در پوسته زمین بوده و مقدار آن حدود پنج درصد می‌باشد. آهن بصورت خالص

---

1 -Ferrum

به دلیل استحکام کم آن، در صنعت مصرف ندارد و اکثراً آلیاژهای مختلف آن شامل فولادها و چدن‌ها مورد مصرف می‌باشند. این آلیاژها بواسطه کاربردشان در موارد مختلف از اهمیت زیادی در صنایع جدید برخوردارند. قیمت ارزان و استحکام بالای آلیاژهای آهنی، استفاده از آنها را در صنایع اتومبیل سازی، کشتی سازی، تجهیزات نظامی، اسکلت ساختمانها و غیره اجتناب ناپذیر کرده است.

۱-۱-۱خواص آهن

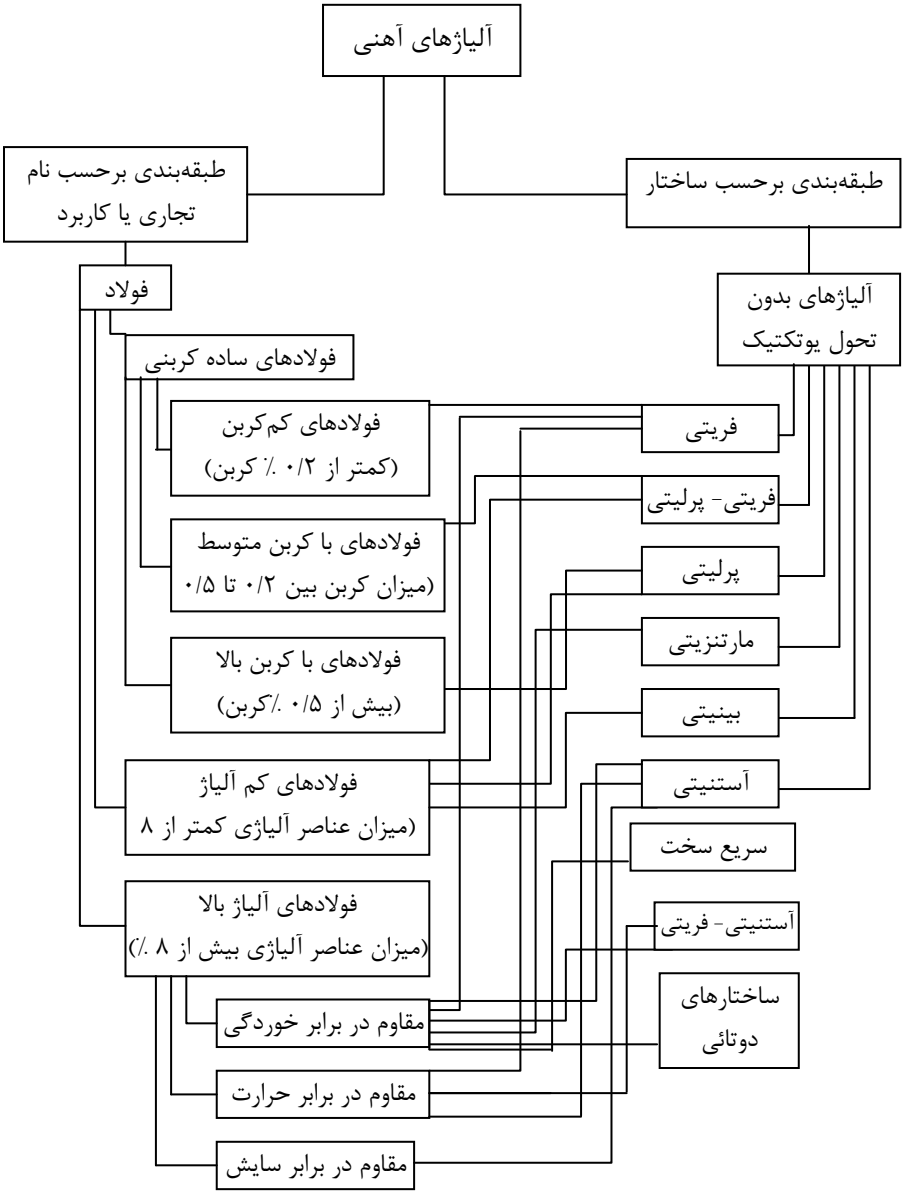
این عنصر در حالت جامد دارای خواص چکش‌خواری و جلای فلزی می‌باشد. نقطه ذوب آهن خالص ۱۵۳۹ درجه سانتی‌گراد و نقطه بخار آن ۳۲۰۰ درجه سانتی‌گراد است. این عنصر در هنگام ذوب به میزان ۴/۴ درصد منبسط می‌گردد.[۱]

۱-۱-۲طبقه‌بندی آلیاژهای آهنی

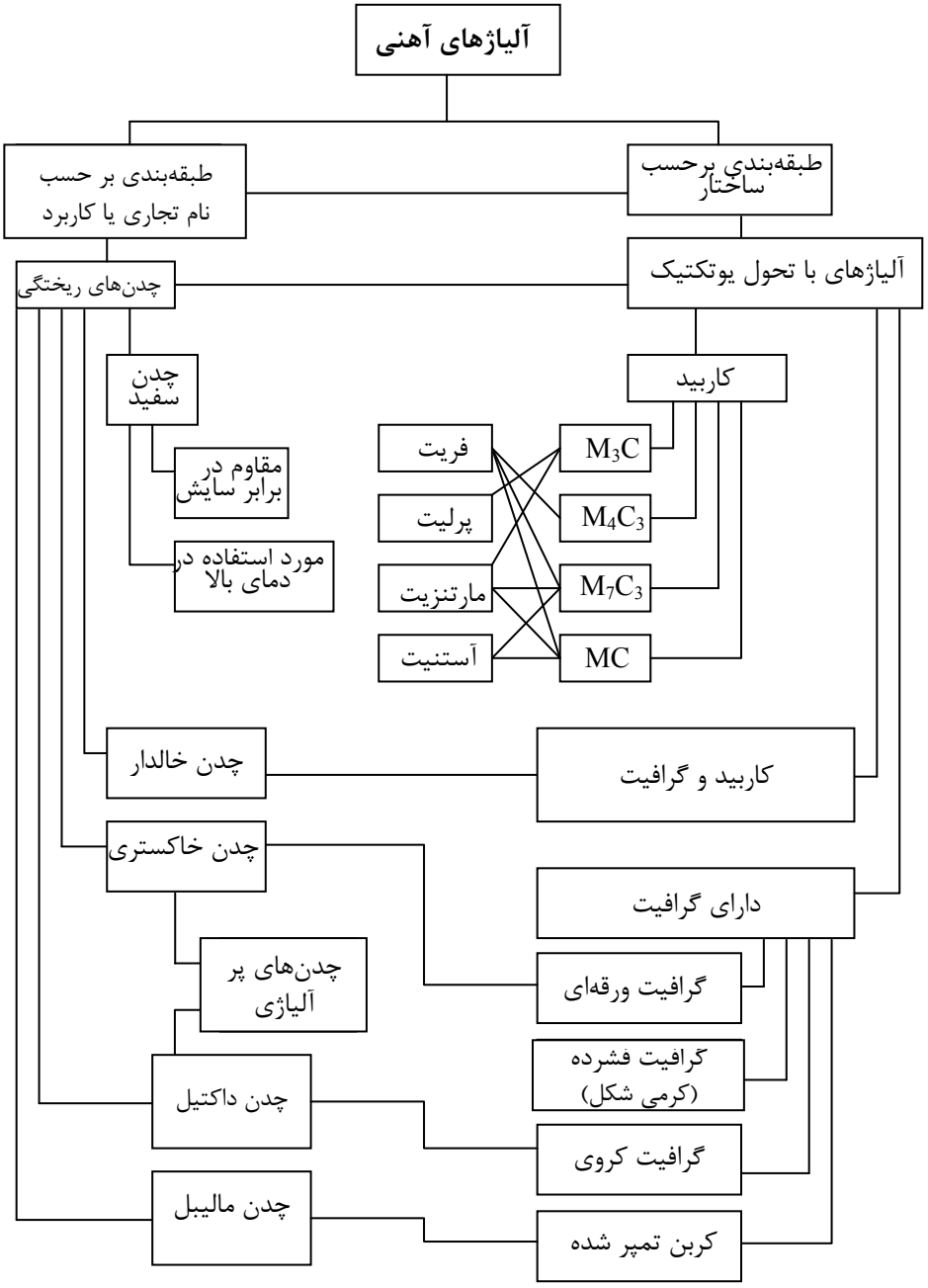
اکثر قطعات آهنی از انواع مختلف آلیاژهای آهن و کربن (فولاد و چدن) ساخته می‌شوند، در این میان فولاد ها بدلیل کاربردهای وسیعشان از اهمیت بیشتری برخوردارند.

چدن و فولاد (آلیاژهای آهنی) نشان دهنده برخی از پیچیده‌ترین سیستم‌های آلیاژی هستند. زیرا با توجه به ترکیب شیمیائی، شرایط انجماد و نوع عملیات حرارتی، ریزساختارهای گوناگونی حاصل می‌شود که همین امر موجب حصول خواص مختلفی در این آلیاژها می‌گردد.

در این قسمت برای آشنائی با آلیاژهای آهنی یک سیستم طبقه‌بندی در مورد فولاد و چدن با توجه به نام تجاری یا کاربردشان و ساختار آنها در نمودارهای (۱-۱) و (۲-۱) ارائه شده است.[۲]



نمودار(۱-۱) طبقه‌بندی فولادها[۲]



نمودار (۲-۱) طبقه‌بندی چدن‌ها[۲]

چدن‌ها آلیاژهائی سه تایی از آهـن، کـربن و سیلیـسیم هـستند کـه میـزان کـربن معادل[۱] آنها بیش از ۲ درصد می‌باشد و برخی عناصر دیگر مانند فـسفر،گوگرد و منگنـز در حد کم در چدن‌ها وجود دارد. چدن‌ها عموماً توسط ریخته‌گری شکل داده می‌شـوند و دارای تحول یوتکتیک در هنگام انجماد هستند.

تنوع زیاد در خواص از طریق تغییر مقادیر عناصر سیلیسیم و کربن در ایـن آلیاژهـا امکان‌پذیر است.

بوسیله آلیاژسازی با عناصر گونـاگون فلـزی یـا غیـر فلـزی و بوسـیله ریختـه‌گـری ذوب‌های مختلف و شیوه‌های مختلف عملیات حرارتی، انواع چـدن‌هـای مختلـف قابـل تولید است.

انواع چدن‌ها شامل چدن خاکستری[۲]، چدن سفید[۳]، چدن خالدار[۴]، چدن داکتیـل[۵]، چدن با گرافیت فشرده[۶] و چدن مالیبل[۷] می‌باشند. چنانچه برای ایجاد خـواص مشخـصی در ترکیبات چدن های مذکور از عناصر آلیاژی در مقادیر زیاد استفاده شود، این چدن‌ها را چدن‌های آلیاژی می‌نامند.(۲)

ذوب چدن‌های ریختگی در ابتدا توسط کوره بلند[۸] صورت گرفت. چدن مذاب تولید شده در این کوره‌ها شامل حدود ۴ درصد کربن و بیش از ۲ درصد سیلیـسیم همـراه بـا دیگر عناصر آلیاژی بود که از سنگ معدن و دیگر محتویات شارژ تشکیل می‌شد. حضور کربن و دیگر عناصر آلیاژی در آهن مذاب موجب کاهش نقطه ذوب آهن از ۱۵۳۶ درجه سانتی‌گراد (آهن خالص) به حدود ۱۱۵۰ درجه سانتی‌گراد (دمای یوتکتیـک) مـی‌شـود (نمودار آهن ــکربن شکل ۹-۱). به این ترتیب حـرارت ایجـاد شـده در کـوره دمـشی

برای آشنائی بیشتر به فصل سوم(چدن‌ها) مراجعه شود

1 -Carbon Equivalent
2 -Gray iron
3 -White iron
4 -Mottled iron
5 -Ductile iron
6 -Compacted graphite iron
7 -Malleable iron
8 -Blast furnace

موجب ذوب کامل چدن و رساندن دمای آن به حدود ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌گردید.

در اثر انجماد چدن‌ها با توجه به ترکیب شیمیائی، سرعت سرد کردن و مواد جوانه زا، قسمت اعظم کربن بصورت گرافیت یا کاربید آهن[1] رسوب می‌کند. اگر کربن بصورت ورقه‌های گرافیت رسوب کند، محصول تولید شده چدن خاکستری نام دارد، زیرا سطح مقطع شکست آن به رنگ خاکستری تیره می‌باشد که دلیل آن حضور گرافیت به میزان ۱۲ درصد از حجم کل می‌باشد (شکل ۳-۱). (۳)

در صورتی که کربن بصورت کاربید در ساختار رسوب کند، محصول چدن سفید نام دارد. زیرا سطح شکست آن سفید و براق است. چدن‌هائی که در آنها گرافیت و کاربید آهن در کنار هم وجود دارند به چدن‌های خالدار موسومند.(۴)

در اوایل صنعت ریخته‌گری چدن، چدن سفید ارزش کمی داشت. زیرا بسیار شکننده و سخت بود و قابلیت ماشینکاری نداشت، ولی امروزه با توجه به خواص مقاومت به سایش این دسته از چدن‌ها و استفاده از عناصر آلیاژی در ترکیب آنها، چدن‌های سفید کاربردهای گوناگونی در صنایع یافته‌اند.

از مزایای چدن‌های خاکستری می‌توان به سیالیت بالا، خواص خوب ماشینکاری و جبران انقباض حجمی در اثر انبساط گرافیت‌ها در مراحل انجماداشاره نمود، که همین امر موجب افزایش کاربرد آنها در صنایع مختلف گردیده است(جدول ۱-۱) (۳).

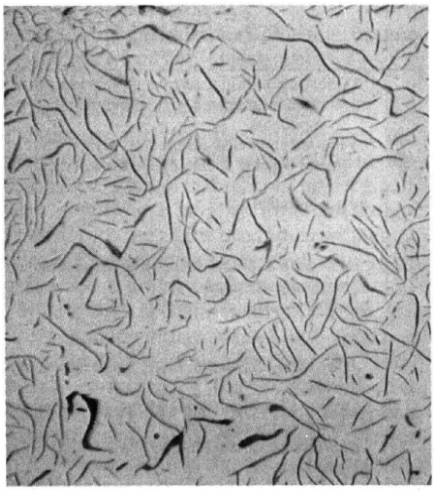
جدول (۱-۱) تفکیک چدن‌ها بر حسب تناژ تولیدی در سال ۱۹۹۶ (1000s tones)(۳)

چدن مالیبل	مجموع چدن‌ها	چدن خاکستری	چدن داکتیل	چدن مالیبل
آلمان، فرانسه، UK	۶۱۲۷	۳۶۶۹ (۵۹/۹٪)	۲۳۶۸ (۳۸/۶٪)	۸۴(۱/۳۷٪)
آمریکا	۱۰۳۱۴	۶۰۴۸ (۵۸/۶٪)	۴۰۳۴(۳۹/۱٪)	۲۳۲(۲/۲۵٪)

اطلاعات منتشره از CAEF از کارخانه‌های ریخته‌گری اروپا در سال ۱۹۹۶

1-(Fe_3C)

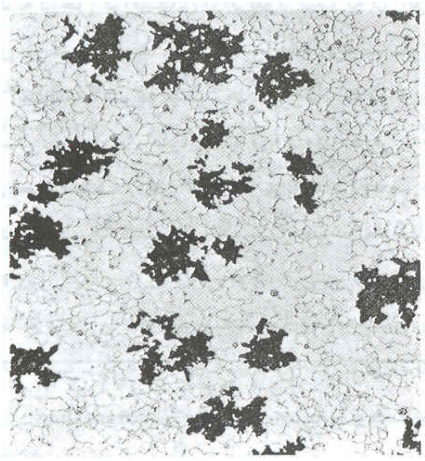
درک کامل تأثیر ترکیب شیمیائی و جوانه‌زائی بر شکل گرافیت‌ها بواسطه تلقیح[1] مذاب، بطور گسترده‌ای موجب استفاده از چدن خاکستری به عنوان یک ماده مهندسی شده است. به هر حال با توجه به عدم انعطاف پذیری ذاتی چدن خاکستری بعلت حضور گرافیت‌های ورقه ای در ساختار، تا حدودی محدودیت‌هائی در استفاده از این چدن‌ها ایجاد شده است. (۳)



شکل (۳-۱) ساختار چدن خاکستری ریختگی (۲)

چدن‌های مالیبل دستهٔ دیگری از چدن‌ها هستند که بوسیله ریخته‌گری چدن سفید و انجام عملیات حرارتی معینی (عملیات مالیبل کردن) بر روی آنها تولید می‌شوند. در طی عملیات حرارتی مزبور کاربید آهن به نوعی از گرافیت بنام گرافیت برفکی تبدیل می‌شود (شکل۴-۱) به‌نحوی که انعطاف‌پذیری[2] و قابلیت افزایش طول[3]، ۱۰ درصد یا بیشتر افزایش می‌یابد. (۳)

1-Inoculation
2-ductile
3-elongation



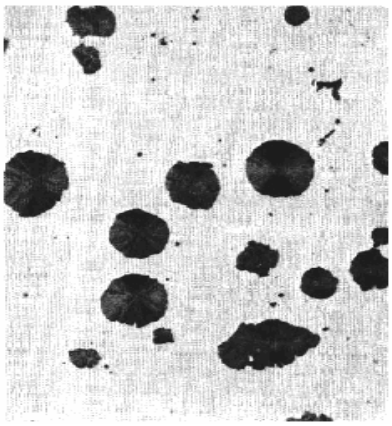
شکل (۴-۱) ساختار چدن مالیبل [۳]

اولین چدن مالیبل مغز سفید[۱] توسط ریمور[۲] در فرانسه در سال ۱۷۲۰ میلادی تولید شد و چدن مالیبل مغز سیاه[۳] که مفیدتر بود در سال ۱۸۳۰ میلادی در آمریکا بوسیله بوییدن[۴] تولید شد.

چدن‌های مالیبل برای کاربردهائی که نیاز به مقاومت در برابر ضربه دارند هستند. از جمله کاربردهای اصلی این دسته از چدن‌ها می‌توان به اجزاء خطوط راه آهن و صنایع اتومبیل‌سازی اشاره نمود. [۳]

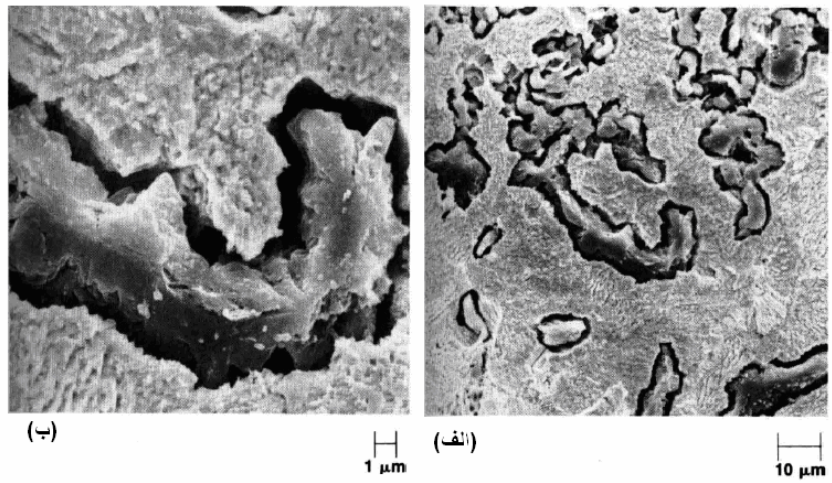
در اواخر دهۀ ۱۹۴۰ میلادی با کشف چدن داکتیل پیشرفت بزرگی در صنایع چدن ایجاد شد. شکل گرافیت در این چدن‌ها به فرم کروی بود و توسط ریخته‌گری ترکیب مناسبی از چدن تلقیح شده با منیزیم تولید می‌شد (شکل۵-۱). پیشرفت‌های زیادی از آن زمان تا به امروز در زمینۀ تولید و افزایش کاربرد این دسته از چدن‌ها صورت گرفته است، به‌طوریکه امروزه چدن‌های داکتیل تبدیل به یکی از آلیاژهای پر مصرف شده‌اند و این روند رشد همچنان ادامه دارد(جدول۱-۱).[۳]

1- white heart iron
2- Reaumur
3- black heart
4- Boyden



شکل (۵-۱) چدن با گرافیت کروی [۲]

چدن‌های با گرافیت فشرده نیز دسته دیگری از چدن‌ها هستند که شکل گرافیت در آنها در حالت میانی گرافیت ورقه‌ای و گرافیت کروی واقع شده و خواص آنها در حد واسط خواص چدن خاکستری و چدن داکتیل می‌باشد (شکل ۶-۱). [۴]



شکل (۶-۱) ریزساختار گرفته شده توسط SEM از چدن با گرافیت فشرده
الف) بزرگنمائی ۵۶۰ ب) بزرگنمائی ۲۸۰۰

آخرین گروه از چدن‌ها شامل چدن‌های آلیاژی هستند که جهت دست‌یابی به خواص حرارتی یا مقاومت به خوردگی و سایش، در آنها از عناصر آلیاژی در مقادیر بالا استفاده شده است. [۳]

تشریح کامل هر گروه از چدن های مزبور در فصل سوم بطور مبسوط آورده شده است.

فولادها نیز گروه دیگری از آلیاژهای آهن - کربن هستند که در آنها میزان کربن بسیار کمتر از چدن‌ها می‌باشد. در فولادها عناصری مانند سیلیسیم و منگنز در مقادیر کم و عناصر فسفر و گوگرد به عنوان ناخالصی حضور دارند. فولادها بدون تحول یوتکتیک منجمد می‌گردند و میزان کربن معادل آنها کمتر از۲ درصد می‌باشد.

فولادها را می‌توان بر حسب ترکیب طبقه بندی نمود. مانند فولادهای کربنی و فولادهای آلیاژی، بر حسب ریزساختار مانند فولادهای فریتی، آستنیتی، مارتنزیتی و غیره و یا بر حسب فرم محصولات مانند میله، صفحه، ورق، تسمه و یا شکل‌های مورد نیاز در ساختمان‌سازی (به شکل ۱-۱ توجه نمائید).

استفاده‌های عمومی، این طبقه‌بندی‌ها را بصورت جزئی تر تقسیم نموده است. به عنوان مثال فولادهای کربنی معمولاً با توجه به میزان کربن به فولادهای کربنی کم کربن،کربن متوسط و کربن بالا تقسیم می‌شوند. فولادهای آلیاژی نیز با توجه به میزان عناصر آلیاژی به دو دسته فولادهای کم آلیاژی و پر آلیاژی تقسیم می‌شوند. در صورتی که عناصر آلیاژی به‌منظور افزایش خاصیت معینی به فولاد اضافه نشده باشد و از مقادیر جدول (۲-۱) تجاوز نکنند، آن فولادها را فولادهای ساده کربنی می‌نامند. در این حالت اگر میزان کربن کمتر از ۰/۲ درصد باشد، فولاد ساده کربنی کمکربن نامیده می‌شود. در صورت وجود کربن به میزان ۰/۲ تا ۰/۵ درصد، فولاد مذکور در دسته فولادهای ساده کربنی با کربن متوسط قرار می‌گیرد و در صورت بیشتر بودن میزان کربن از ۰/۵ درصد، این دسته فولادها را ساده کربنی پرکربن می‌نامند.