



بسم الله الرحمن الرحيم

آشنایی با فرآیندهای ساخت

فصل چهارم: ریخته‌گری (۲)

مدرس:

دکتر رضا قنوازی

r_ghanavati@sbu.ac.ir

دانشکده مهندسی مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی

پاییز ۱۴۰۳

(۵) کوره‌ها و عملیات ذوب

عملیات ذوب یکی از جنبه‌های مهم ریخته‌گری است، چون تاثیر مستقیمی بر کیفیت ریختگی دارد. کوره‌ها با فلز مذاب و یا فلز جامد، عناصر آلیاژی، سایر مواد مانند اجزای تشکیل دهنده سرباره، شارژ می‌شوند.

فلاکس‌ها، ترکیبات معدنی هستند که با حذف گازهای محلول و ناخالصی‌های مختلف، فلز مذاب را تصفیه می‌کنند. آنها نقش‌های مختلفی دارند. به عنوان مثال، برای آلیاژهای آلومینیومی، فلاکس پوششی (برای ایجاد مانع برای اکسیداسیون)، فلاکس تمیزکاری، فلاکس ریزکننده و فلاکس تمیزکننده دیواره (برای کاهش اثر مضر برخی از فلاکس‌ها روی دیواره کوره‌ها، مخصوصا کوره های القایی) استفاده می‌شود. فلاکس‌ها ممکن است به صورت دستی اضافه شوند یا به طور خودکار به فلز مذاب تزریق شوند.

پوشش سطح ذوب (coveral): برای محافظت از سطح فلز مذاب در برابر واکنش‌های جوی و آلودگی و همچنین برای مقابله با اتلاف حرارت، فلز مذاب باید عایق‌بندی شود. عایق به طور معمول با پوشش سطح ذوب یا مخلوط کردن ذوب با ترکیباتی که سرباره ایجاد می‌کنند، فراهم می‌شود. برای مثال، در ریخته‌گری فولادها، ترکیب سرباره شامل CaO ، SiO_2 ، MnO و FeO است.



شارژ

شارژ فلز ممکن است از فلزات اصلی خالص تجاری باشد که ضایعات ذوب مجدد شده هستند. ضایعات ریخته‌گری‌ها، سیستم راهگاهی و تغذیه‌های قطعات ریخته‌گری را نیز می‌توان در شارژ قرار داد. اگر نقطه ذوب عناصر آلیاژی به اندازه کافی پایین باشد، عناصر آلیاژی خالص به ذوب اضافه می‌شوند. اگر نقاط ذوب عناصر آلیاژی، بسیار بالا باشد، عناصر آلیاژی به راحتی با فلزات نقطه ذوب پایین مخلوط نمی‌شوند؛ در این مورد، آمیزان‌ها استفاده می‌شوند. اینها معمولاً از آلیاژهای نقطه ذوب پایین‌تر با غلظت بالایی از یک یا دو عنصر آلیاژی مورد نیاز تشکیل شده اند. مثال: فروآلیاژها برای چدن و فولاد.



انتخاب کوره‌های عملیات ذوب

انتخاب صحیح کوره به عوامل زیر بستگی دارد:

- ۱- ملاحظات اقتصادی مانند هزینه اولیه و هزینه های نگهداری و تعمیرات؛
- ۲- ترکیب و نقطه ذوب آلیاژ و سهولت کنترل شیمی فلز؛
- ۳- کنترل اتمسفر کوره برای جلوگیری از آلودگی (معمولی- گاز خنثی-خلاء)؛
- ۴- ظرفیت و سرعت ذوب لازم؛
- ۵- ملاحظات زیست محیطی مانند آلودگی و صدا؛
- ۶- توان مصرفی لازم و موجود بودن و قیمت سوخت؛
- ۷- سهولت اعمال فوق ذوب به فلز؛
- ۸- نوع ماده شارژ مورد استفاده.

اگرچه عملیات ریخته‌گری بطور سنتی شامل نیروی کار **انسانی** هستند، اما از طرفی محیط کار کارخانه‌های ریخته‌گری آلوده، گرم و طاقت‌فرسا است و پیدا کردن پرسنل مناسب برای کار در این شرایط مشکل است و بنابراین **اتوماسیون** ضروری است تا در دسترس نبودن کارگر جبران شود. اتوماسیون، احتمال **خطای انسانی** را می‌کاهد، **نرخ تولید** را افزایش می‌دهد و **کیفیت بالاتری** به دست می‌آید. کارخانه‌های مدرن با امکانات بر پایه **کامپیوتر** برای تمام جنبه‌های عملیاتی، مجهز هستند. ریخته‌گری شامل **دو** فعالیت مجزا هست: فعالیت اول در مورد **ساخت مدل و قالب** که به کمک طراحی با کامپیوتر قابل انجام است. فعالیت دوم **ذوب فلزات و کنترل ترکیب و ناخالصی** آنهاست. سایر عملیات مانند **ریختن ذوب به داخل قالب، تخریب قالب، تمیزکاری، اسپری قالب، ریختن ماسه، عملیات حرارتی و بازرسی** نیز قابل اتوماسیون هستند.

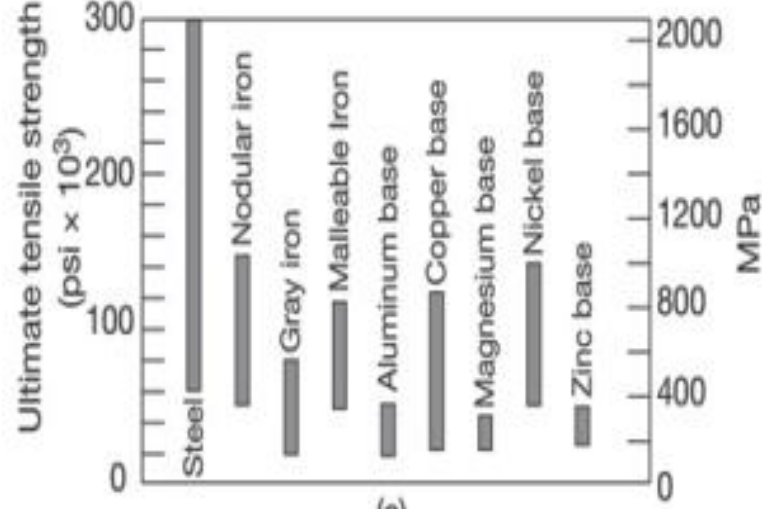
سطح اتوماسیون در کارخانه‌ها یک ملاحظه اقتصادی مهمی است چون اکثر کارخانه‌ها کسب و کار کوچکی هستند. **سطح اتوماسیون بستگی به نوع محصول نیز دارد.** Die-casting در صنعت خودرو می‌تواند شامل تولید در حد صدها هزار باشد بنابراین سطح **بالایی** از اتوماسیون مطلوب است.

ایمنی در کارخانه‌ها

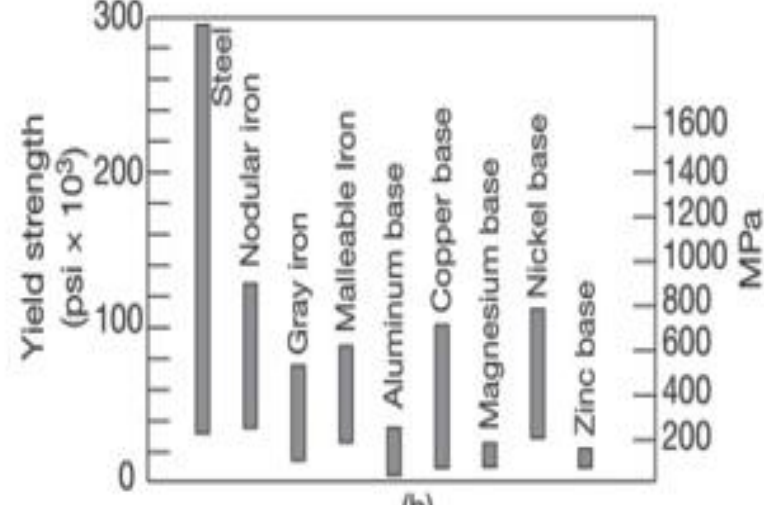
همانند سایر فرایندهای تولید، ایمنی به ویژه به علت عوامل زیر در کارخانه‌های ریخته‌گری اهمیت دارد:

- ۱- وجود گردوغبار ماسه و سایر ترکیبات در ریخته‌گری، **تهویه مناسب و محیط ایمن** برای کارگران الزامی است.
- ۲- **دوده‌های ناشی** از مذاب فلزات و روانکارها، و **پاشش مذاب** حین حمل و ریختن.
- ۳- وجود **سوخت کوره‌ها** و کنترل فشار آنها و عملکرد مناسب شیرها.
- ۴- وجود **رطوبت و آب در قالب**، بوته‌ها و سایر مکان‌ها، بسیار خطر انفجار دارند چون به سرعت تبدیل به بخار می‌شوند.
- ۵- **بازرسی کوره‌ها**، ابزارها و سایر تجهیزات.
- ۶- نیاز به **تجهیزات ایمنی مناسب برای پرسنل** مانند دستکش، کفش و

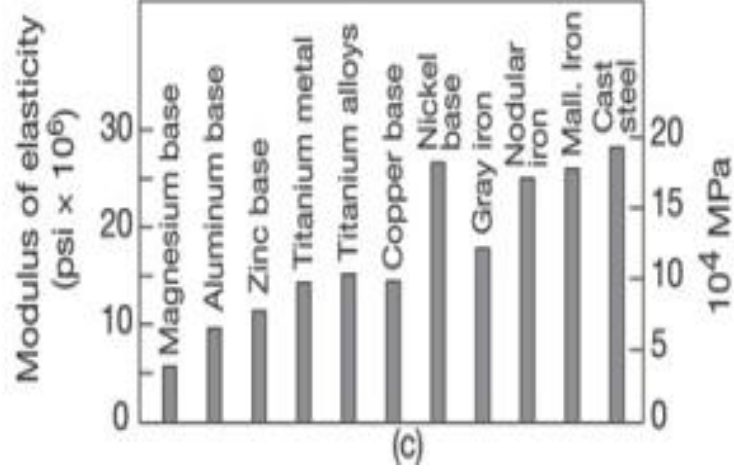
(۷) آلیاژهای ریختگی



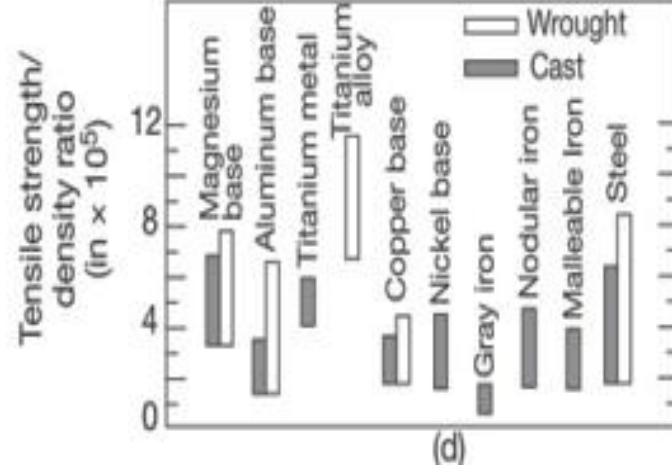
(a)



(b)



(c)



(d)

TABLE 5.2

TYPICAL APPLICATIONS FOR CASTINGS AND CASTING CHARACTERISTICS

TYPE OF ALLOY	APPLICATION	CAST-ABILITY*	WELD-ABILITY*	MACHIN-ABILITY*
Aluminum	Pistons, clutch housings, intake manifolds, engine blocks, heads, cross members, valve bodies, oil pans, suspension components	G-E	F	G-E
Copper	Pumps, valves, gear blanks, marine propellers	F-G	F	G-E
Gray iron	Engine blocks, gears, brake disks and drums, machine bases	E	D	G
Magnesium	Crankcase, transmission housings	G-E	G	E
Malleable iron	Farm and construction machinery, heavy-duty bearings, railroad rolling stock	G	D	G
Nickel	Gas turbine blades, pump and valve components for chemical plants	F	F	F
Nodular iron	Crankshafts, heavy-duty gears	G	D	G
Steel (carbon and low alloy)	Die blocks, heavy-duty gear blanks, aircraft undercarriage members, railroad wheels	F	E	F-G
Steel (high alloy)	Gas turbine housings, pump and valve components, rock crusher jaws	F	E	F
White iron (Fe ₃ C)	Mill liners, shot blasting nozzles, railroad brake shoes, crushers and pulverizers	G	VP	VP
Zinc	Door handles, radiator grills, carburetor bodies	E	D	E

*E, excellent; G, good; F, fair; VP, very poor; D, difficult.

TABLE 5.4**TYPICAL PROPERTIES OF NONFERROUS CASTING ALLOYS**

ALLOY	CONDITION	CASTING METHOD*	UTS (MPa)	YIELD STRESS (MPa)	ELONGATION IN 50 mm (%)	HARDNESS (HB)
<i>Aluminum</i>						
357	T6	S	345	296	2.0	90
380	F	D	331	165	3.0	80
390	F	D	279	241	1.0	120
<i>Magnesium</i>						
AZ63A	T4	S, P	275	95	12	—
AZ91A	F	D	230	150	3	—
QE22A	T6	S	275	205	4	—
<i>Copper</i>						
Brass C83600	—	S	255	177	30	60
Bronze C86500	—	S	490	193	30	98
Bronze C93700	—	S	240	124	20	60
<i>Zinc</i>						
No. 3	—	D	283	—	10	82
No. 5	—	D	331	—	7	91
ZA27	—	P	425	365	1	115

*S, sand; D, die; P, permanent mold.

آلیاژهای آهنی

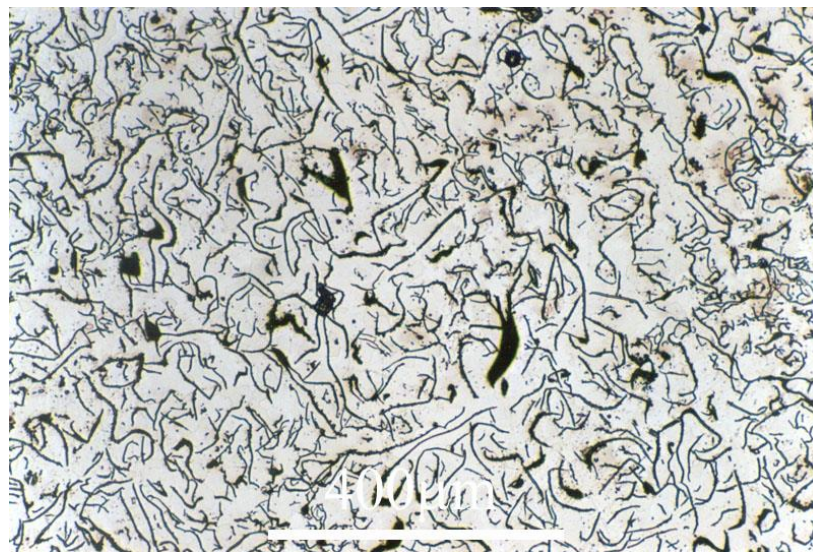
چدن‌ها بیشترین سهم ریخته‌گری در میان همه فلزات ریختگی را بر اساس **وزن** دارند. آن‌ها معمولاً دارای چندین خواص مطلوب مانند **مقاومت سایشی**، **سختی** و **قابلیت ماشینکاری** مناسب هستند. این آلیاژها به سهولت قابل ریخته‌گری به شکل‌های پیچیده هستند.

لغت چدن شامل خانواده آلیاژهای: **چدن خاکستری**، **داکتیل**، **سفید** و **مالیبل** و **گرافیت فشرده** است.

TABLE 5.3**PROPERTIES AND TYPICAL APPLICATIONS OF CAST IRONS**

CAST IRON	TYPE	ULTIMATE TENSILE STRENGTH (MPa)	YIELD STRENGTH (MPa)	ELONGATION IN 50 mm (%)	TYPICAL APPLICATIONS
Gray	Ferritic	170	140	0.4	Pipe, sanitary ware
	Pearlitic	275	240	0.4	Engine blocks, machine tools
	Martensitic	550	550	0	Wearing surfaces
Ductile (Nodular)	Ferritic	415	275	18	Pipe, general service
	Pearlitic	550	380	6	Crankshafts, highly stressed parts
	Tempered martensite	825	620	2	High-strength machine parts, wear resistance
Malleable	Ferritic	365	240	18	Hardware, pipe fittings, general engineering service
	Pearlitic	450	310	10	Couplings
	Tempered martensite	700	550	2	Gears, connecting rods
White	Pearlitic	275	275	0	Wear resistance, mill rolls

چدن خاکستری. در این ساختار، گرافیت به طور عمده به شکل **ورقه‌ای** است. به این علت خاکستری نامیده می‌شود که وقتی می‌شکند، مسیر شکست در راستای ورقه‌های گرافیت است و **ظاهری خاکستری** دارد. این ورقه‌ها به صورت **محل تمرکز تنش** عمل می‌کنند. در نتیجه چدن خاکستری **شکل‌پذیری ناچیزی** دارد و تحت **تنش کششی** ضعیف است هرچند **تحت فشار**، قوی است. ورقه‌های گرافیت امکان **میراکردن ارتعاشات** را ایجاد می‌کنند. این خاصیت چدن خاکستری را برای سازه‌های ماشین‌آلات مناسب می‌سازد (مثل **پایه ماشین تراش**). قطعات ریخته‌گری چدن خاکستری، حفرات انقباضی و تخلخل نسبتاً **کمی** دارند.



انواع مختلف چدن خاکستری شامل **فریتی**، **پرلیتی**، **بینیتی** و **مارتنزیتی** هستند. ساختارهای مختلف خواص و کاربرد متفاوتی دارند.

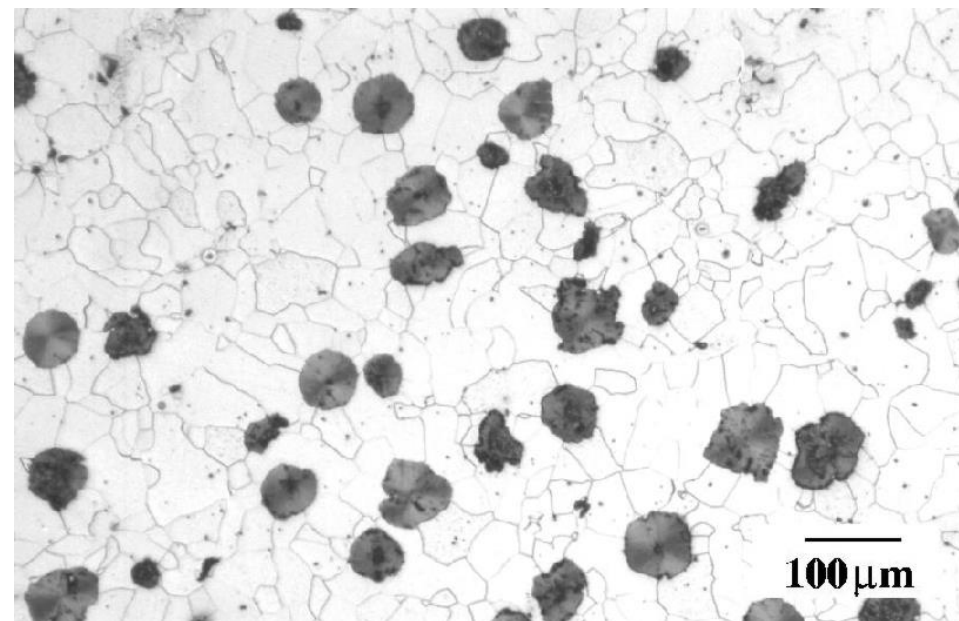
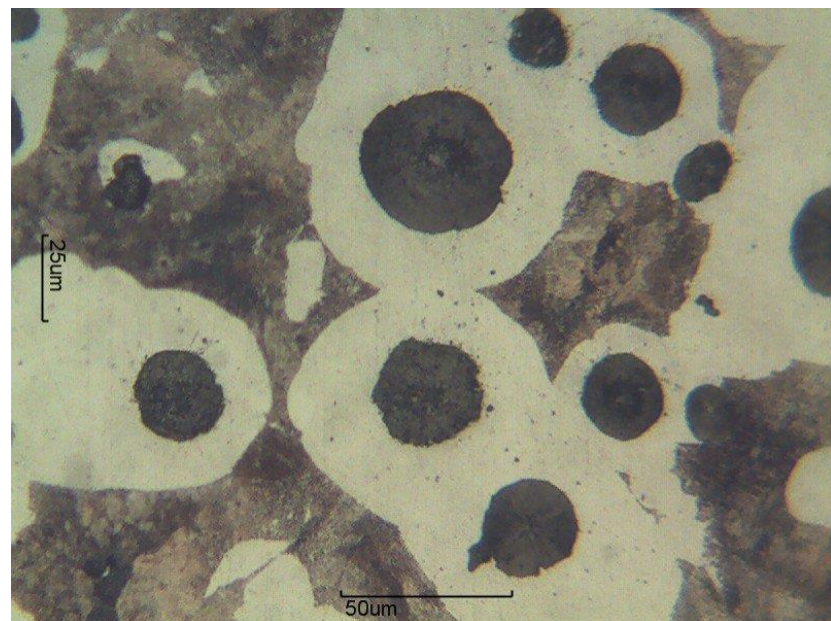
در **چدن خاکستری فریتی**، ساختار شامل ورقه‌های گرافیت در زمینه فریت آلفا است.

در **چدن خاکستری پرلیتی** گرافیت در زمینه پرلیت است.

چدن خاکستری بینیتی از آستمپر کردن چدن خاکستری پرلیتی بدست می‌آید. در نتیجه این چدن بسیار سخت است.

استفاده عمومی چدن خاکستری در موارد زیر است: لوله‌ها، پوسته موتور الکتریکی، بلوک موتور و...

چدن داکتیل (نشکن). در این ساختار، گرافیت به شکل **کروی** (اسفروئید) است. شکل ورقه‌های گرافیت را با افزودن مقادیری **منیزیم** و یا **سرب** قبل از ریختن مذاب، می‌توان به شکل کروی تغییر داد. چدن داکتیل را می‌توان عملیات حرارتی کرد تا ساختار آن را **فریتی**، **پرلیتی** و حتی **مارتنزیت تمپر شده** کرد. به طور معمول برای قطعات ماشین، لوله و **میل لنگ** استفاده می‌شود و توسط یک مجموعه اعداد دو رقمی مشخص می‌شوند. به عنوان مثال کلاس یا درجه ۸۰-۵۵-۰۶ (Ksi) نشان می‌دهد که ماده دارای حداقل استحکام کششی ۵۵۰ MPa، حداقل استحکام تسلیم ۳۸۰ MPa و ازدیاد طول ۶٪ در ۵۰ میلیمتر است.

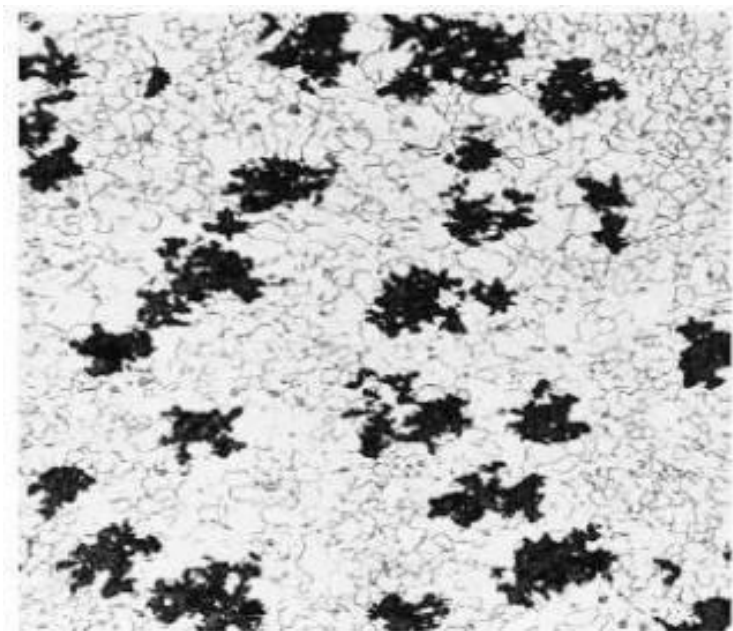


چدن سفید. چدن سفید بسیار سخت و مقاوم در برابر سایش و شکننده است، زیرا ساختار آن شامل مقدار زیادی از کاربید آهن به جای گرافیت است. این ساختار با خنک کردن سریع چدن خاکستری یا تنظیم ترکیب آن با نگه داشتن محتوای کربن و سیلیسیم پایین ایجاد می شود. این چدن، آهن سفید نیز نامیده می شود، زیرا عدم وجود گرافیت سطح شکستگی را به صورت ظاهری بلورین سفید نشان می دهد. به دلیل سختی شدید آن و مقاومت در برابر سایش، چدن سفید به طور معمول برای سطح داخلی ماشین آلات استفاده می شود که با مواد ساینده در ارتباط هستند، مثل غلطک نورد و کفشک ترمز قطار.



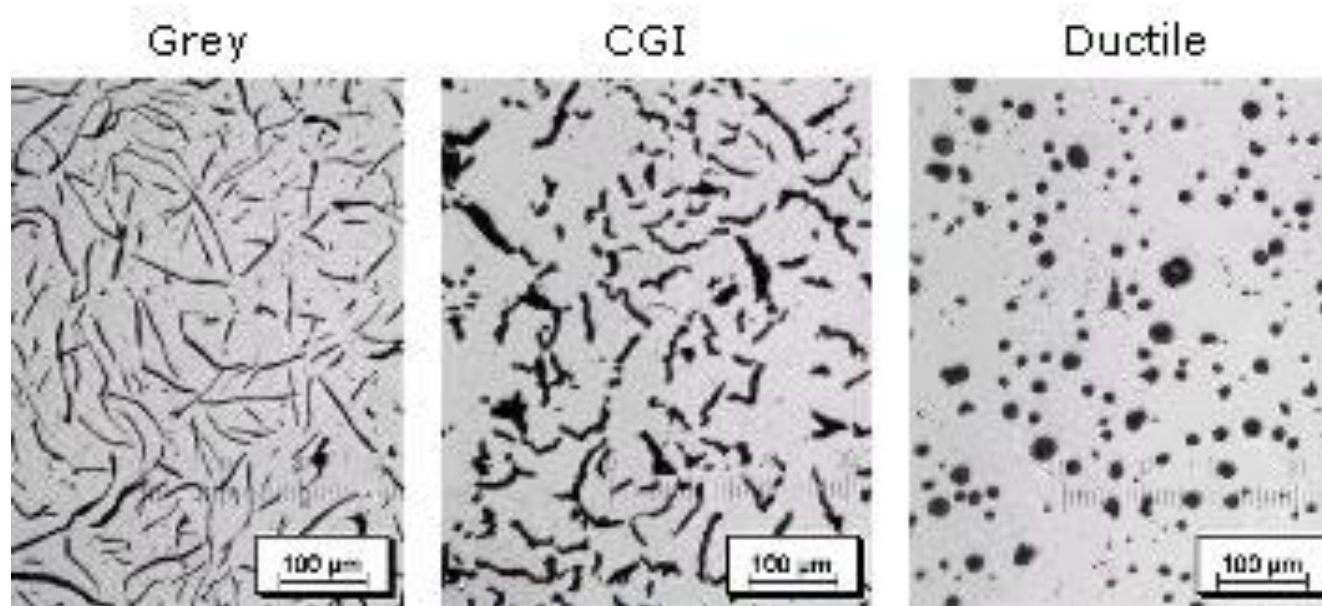
White Cast Iron

چدن مالیل (چکشخوار). چدن مالیل با آنیل چدن سفید بین ۸۰۰ تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد تا چندین ساعت بدست می‌آید. در طول این فرآیند، سمنتیت به آهن و گرافیت تجزیه می‌شود. گرافیت به صورت خوشه‌ای در زمینه فریت یا پرلیت وجود دارد و به همین ترتیب دارای ساختاری شبیه به چدن با گرافیت کروی (ندولار) است. این ساختار انعطاف پذیری، استحکام و مقاومت در برابر شوک را بهبود می‌دهد. آنها با یک علامت پنج رقمی (سه رقم اول استحکام بر حسب PSI ضرب در ۱۰۰ و دو رقم بعدی ازدیاد طول) مشخص می‌شوند؛ به عنوان مثال، ۳۵۰۱۸ نشان می‌دهد که استحکام تسلیم ماده KSi ۳۵ است و ازدیاد طول آن در ۵۰ میلیمتر ۱۸ درصد است.



Malleable Cast Iron

چدن با گرافیت فشرده (compacted-graphite). ساختار فشرده گرافیت دارای پوسته‌های کوتاه، ضخیم و متصل است که دارای سطوح بیضوی و شکل گردی هستند. خواص مکانیکی و فیزیکی این چدن بین چدن‌های با گرافیت ورقه‌ای و گرافیت کروی است. روش تولید، مشابه چدن نشکن است. ماشینکاری آن بسیار آسان است. کاربردهای معمول شامل بلوک موتور خودرو، میل لنگ، قالب ریخته‌گری، سر سیلندر و دیسک‌های ترمز است. به خصوص برای اجزای در دمای بالا و مقاوم در برابر خستگی حرارتی مناسب است.



ریخته‌گری فولادها. به علت درجه حرارت بالا مورد نیاز برای ذوب کردن فولادها، بالای ۱۶۵۰ درجه سانتی‌گراد، به ویژه با توجه به واکنش پذیری بالای فولاد با اکسیژن، نیاز به مواد قالب مناسب است. فولاد ریخته‌گری دارای خواصی یکنواخت‌تر (ایزوتروپی) از فولاد بدست آمده روش‌های مکانیکی است. فولاد ریخته‌گری می‌تواند جوش داده شود با این حال، جوش ریزساختار را در ناحیه متاثر از حرارت تغییر می‌دهد و بر استحکام، انعطاف‌پذیری و تافنس فلز پایه اثر می‌گذارد.

ریخته‌گری فولادهای زنگ‌نزن. ریخته‌گری فولادهای زنگ‌نزن شامل ملاحظات مشابه با فولادهای کربنی است. فولادهای زنگ‌نزن عموماً دارای دامنه انجماد طولانی هستند. ساختارهای مختلفی در فولاد زنگ‌نزن در ترکیبات مختلف قابل دستیابی است و می‌توان آنها را عملیات حرارتی و جوشکاری کرد. **مقاومت در برابر گرما و خوردگی** بالایی دارند. آلیاژهای ریخته‌گری **پایه نیکل** برای محیط‌های **بسیار خورنده و دمای بسیار بالا** به جای این دسته استفاده می‌شوند.

-آلیاژهای غیر آهنی

• **آلیاژهای آلومینیوم.** آلیاژهای ریختگی پایه آلومینیومی دارای طیف وسیعی از خواص مکانیکی هستند که عمدتاً به دلیل مکانیزم‌های مختلف سخت شدن و عملیات حرارتی است. **سیالیت آنها به اکسیدها و عناصر آلیاژی در فلز بستگی دارد. هدایت الکتریکی و گرمایی بالایی دارند.**

مقاومت به خوردگی (بجز در برابر عناصر قلیایی) خوبی دارند. **غیرسمی و سبک بوده و قابلیت ماشینکاری** خوبی دارند. با این حال، به جز برای آلیاژهای حاوی سیلیکون، **مقاومت کمی نسبت به سایش و خراش** دارند. آلیاژهای ریخته‌گری آلومینیوم دارای کاربردهای فراوانی از جمله بلوک‌های موتور، موارد تزئینی، هوافضا و قطعات الکتریکی است.



• **آلیاژهای پایه مس.** آلیاژهای ریخته‌گری پایه مس، دارای مزایای هدایت الکتریکی و حرارتی خوب، مقاومت در برابر خوردگی، غیر سمی بودن (مگر اینکه حاوی سرب باشد)، ماشینکاری خوب و خواص سایشی مناسب (یاتاقان برنجی) هستند. خواص مکانیکی و سیالیت متاثر آنها از عناصر آلیاژی است.

• **آلیاژهای دمای بالا:** دارای گستره وسیعی از خواص و دماهایی ریخته‌گری تا ۱۶۵۰ درجه سانتیگراد برای تیتانیوم و بالاتر برای آلیاژهای نسوز هستند. کاربردهای معمول شامل اجزای موتور جت و موشک هستند. برای برخی از این آلیاژها ریخته‌گری از سایر روشها مانند فورج به صرفه‌تر است.



۸) ریخته‌گری شمش و ریخته‌گری پیوسته

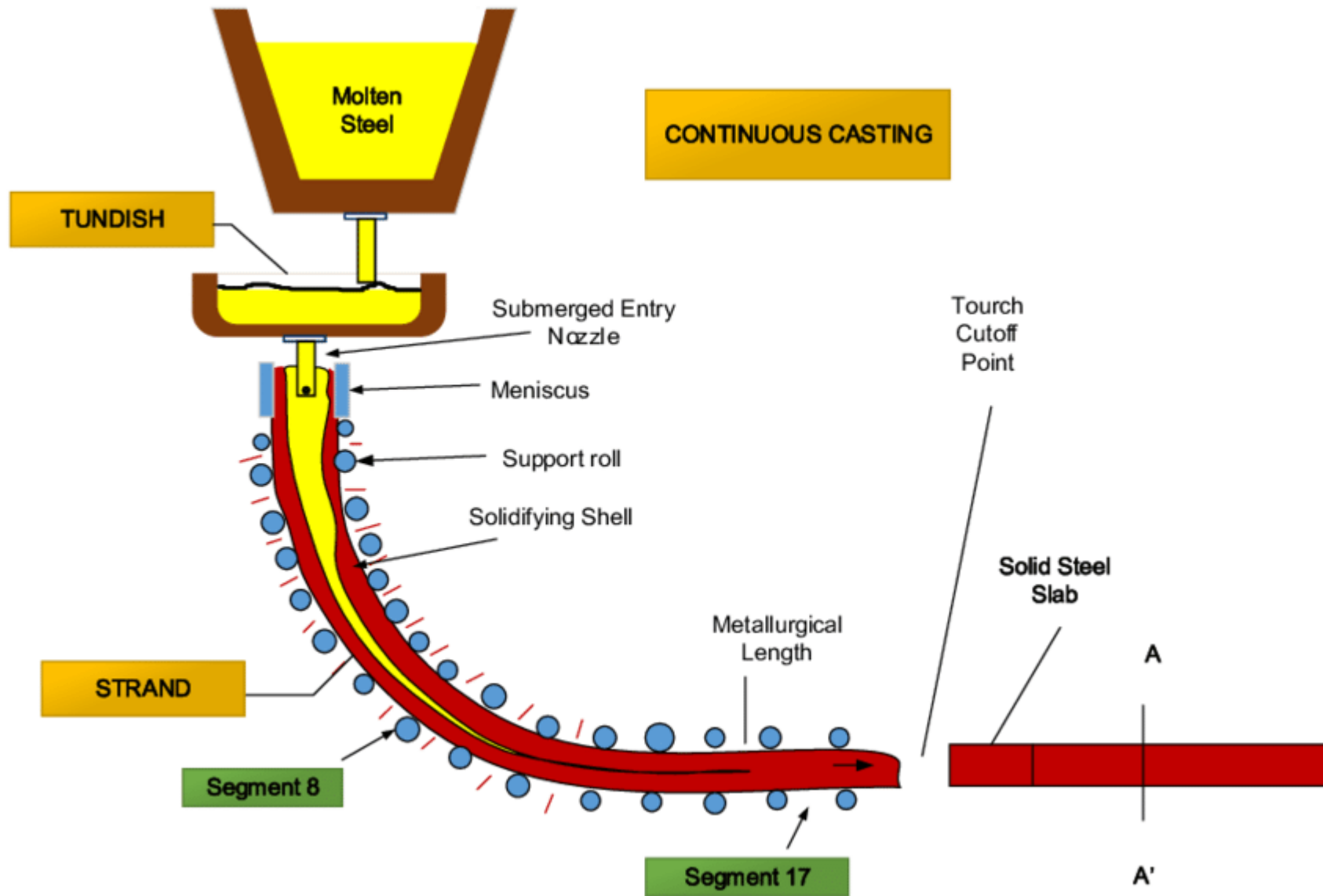
به طور سنتی، اولین مرحله در فرآوری اغلب فلزات یا آلیاژها، شکل دادن مذاب به شکل جامد (شمش) برای فرآوری با نورد یا ریخته‌گری بعدی است. در ریخته‌گری شمش، مذاب به درون قالب شمش ریخته شده و منجمد می‌شود. شمش‌ها سرد شده و از قالب جدا می‌شوند و دوباره برای همگن‌سازی و فرایند بعدی (نورد) گرم یا (ریخته‌گری برای شکل‌ریزی) ذوب می‌شوند. شمش‌ها می‌توانند مقطعی مربعی، مستطیلی از وزن چند صد پوند تا ۴۰ تن داشته باشند. این فرایند به سرعت در حال جایگزینی به وسیله ریخته‌گری پیوسته است.



ریخته‌گری پیوسته Continuous casting

روش سنتی ریخته‌گری شمش، فرایندی ناپیوسته است؛ که هر شمش بعد انجماد از قالب جدا شده و جداگانه فرآوری می‌شود. حفره انقباضی و تغییرات ریزساختاری در شمش نیز وجود دارد. این مسائل با فرایند ریخته‌گری پیوسته رفع شده‌اند که فولاد با کیفیت و کم هزینه‌تری تولید می‌شود.

فلز مذاب در پاتیل با دمیدن گاز نیتروژن به مدت ۵ تا ۱۰ دقیقه تمیز و متعادل شده است. این فلز سپس به یک مخزن ریخته‌گری نسوز (Tundish) ریخته می‌شود که در آن ناخالصی‌ها به سطح می‌آیند. فلز مذاب از درون قالب‌های مسی آبگرد عبور داده می‌شود و در مسیر روبه پایین خود به همراه غلطک‌های نوردی، منجمد می‌شود.



قبل از شروع فرآیند ریخته‌گری، یک **استارت جامد یا نوار** به پایین قالب افزوده می‌شود. سپس فلز مذاب ریخته می‌شود و روی نوار شروع به انجماد می‌کند.

نوار با همان سرعتی که فلز ریخته می‌شود، در امتداد مسیری که توسط غلطک‌ها پشتیبانی می‌شود، خارج می‌شود.

نرخ خنک شدن چنان است که فلز یک پوسته را ایجاد می‌کند تا بتواند خود را در طول مسیر به سمت پایین محکم نگه دارد، **سرعت‌های معمول حدود ۲۵ میلی متر بر ثانیه است.**

ضخامت پوسته در انتهای خروجی قالب (**نه غلتک‌ها**) حدود ۱۲-۱۸ میلی‌متر است.

خنک کننده اضافی توسط اسپری آب در امتداد مسیر انجماد فلز فراهم می‌شود.

قالب‌ها به طور کلی با **گرافیت یا روان کننده جامد** مشابه پوشش داده می‌شوند تا اصطکاک و چسبندگی در فصل مشترک قالب و فلز را کاهش دهند. برای کاهش اصطکاک و چسبندگی، قالب‌ها را نیز **ارتعاش** می‌دهند.

فلز ریخته شده بطور متناوب توسط **برش مشعل به طول مورد نظر برش** داده می‌شود و **یا** می‌توان آن را به طور مستقیم به یک **نورد غلتکی** برای کاهش بیشتر ضخامت و یا نورد محصولات مانند تیرهای I شکل فرستاده شوند.

فلزات در ریخته‌گری مداوم دارای ترکیب و خواص **یکنواخت‌تر** از موارد ریخته‌گری شمش هستند.

اگر چه ضخامت تسمه فولاد معمولاً حدود **۲۵۰ میلی‌متر** است، در توسعه‌های اخیر این ضخامت را می‌توان **۱۵ میلی‌متر یا کمتر** نیز رسانید. نوار نازک، تعداد عملیات نورد را کاهش می‌دهد و بنابراین بهره‌وری را بهبود می‌بخشد.

بعد از نورد گرم، برای ورقه‌های فولادی فرایندهای بیشتری نیز اعمال می‌شوند، مانند تمیزکاری و اسیدشویی جهت حذف اکسیدهای سطحی، نورد سرد برای بهبود استحکام، آنیل و پوشش‌دهی (گالوانیزه)