فصل هشتم

فرآیندهای تولید

هدف رفتاری : با یادگیری این فصل هنرجو می‌تواند :

۱ــ روش‌های ساخت و تولید سازه‌های صنعتی را نام ببرد.

۲ــ روش‌های مختلف و متداول ریخته‌گری را نام ببرد.

۳ــ مزایا و کاربرد روش‌های ریخته‌گری را نام ببرد.

۴ــ روش آهنگری (فورج) را توضیح دهد و موارد متداول کاربرد آن را در صنعت بیان کند.

۵ــ روش نورد را شرح دهد و موارد کاربرد آن را در صنعت ذکر کند.

۶ــ روش اکستروژن را توضیح دهد و موارد متداول کاربرد آن را در صنعت بیان نماید.

۷ــ روش متالورژی پودر را شرح دهد و موارد کاربرد صنعتی آن را بیان نماید.

۱ــ۸ــ مقدمه

وسایلی که در محیط زندگی مورد استفاده قرار می‌گیرند، حاصل انجام یکسری اقدامات کارگاهی با استفاده از ابزار و دستگاه‌های مختلف و صرف هزینه و زمان بر روی مواد اولیه یا مصنوعات نیم‌ساخته می‌باشد. مثل ریخته‌گری، جوشکاری، نورد، ماشین‌کاری، آهنگری و غیره که ما آنها را به‌نام روش‌های مختلف ساخت و تولید قطعات و سازه‌های صنعتی می‌شناسیم و شما با برخی از این روش‌ها در سال‌های قبل یا درس‌های دیگر آشنا شده‌اید. در این فصل با بعضی از روش‌ها مثل : ریخته‌گری ، شکل دهی فلزات در حالت جامد و متالورژی پودر آشنا می‌شوید.

۲ــ۸ــ ریخته‌گری

ریختن مذاب فلزات و آلیاژها در محفظه‌ای به نام قالب با هدف تولید قطعه ای با شکل مشخص را ریخته‌گری می‌گویند. این روش قدیمی‌ترین فرآیند شناخته شده برای تولید قطعات صنعتی است. شکل (۱ــ۸) کوره ذوب یک واحد کوچک ریخته‌گری را نشان می‌دهد. در حال حاضر نیز از بهترین روش‌های ساخت و تولید قطعات صنعتی بشمار می‌رود، به‌طوری‌که هنوز هم بیش از ۵۰ درصد قطعات انواع ماشین‌آلات صنعتی با این روش تهیه می‌شوند. فلزاتی که نمی‌توان آن‌ها را به‌راحتی از روش‌های دیگر شکل‌دهی ساخت، یا چکش‌خواری کمی‌دارند و نیز قطعاتی که دارای شکل‌های پیچیده هستند به روش ریخته‌گری تولید می‌شوند. به‌طور کلی در فرآیند ریخته‌گری ابتدا مدلی از قطعه مورد نظر تهیه شده و سپس بر اساس مدل قالب ساخته می‌شود. در مرحله بعدی مذاب‌ریزی درون قالب انجام می‌شود و در انتهای کار در صورت نیاز قطعه پلیسه‌گیری و پرداخت نهایی می‌شود. در جدول (۱ــ۸) انواع متداول و پرکاربرد روش‌های قالب‌گیری را ملاحظه کنید و در ادامه برخی از آنها شرح داده خواهند شد.

به عقیده صنعتگران، ریخته‌گری هم علم است، هم فن و هم هنر

شکل ۱ــ۸ــ کوره ذوب و فولادسازی در یک واحد ریخته‌گری کوچک

جدول ۱ــ۸ــ انواع متداول روش‌های قالب‌گیری و موارد کاربرد آنها

روش قالب‌گیری	توضیح	نمونه کاربرد صنعتی
قالب ماسه‌ای	قالب‌های یکبار مصرف از ماسه ساخته می‌شوند. هزینه پایین، قابلیت ریخته‌گری وسیع فلزات در اندازه‌ها و شکل‌های مختلف از ویژگی‌های آن است.	سرسیلندر، بدنه موتور
قالب پوسته‌ای	از قالب‌های سرامیکی با ضخامت کم استفاده می‌شود، دقت، نرخ تولید بالا و کیفیت سطح بهتر از ویژگی‌های آن است.	میله‌های اتصال، جعبه دنده
قالب سرامیکی	از قالب ماسه ای که با دمش گاز دی اکسید کربن سخت می‌شود استفاده می‌گردد.	پروانه، قالب تزریق مواد پلیمری
ریخته‌گری دقیق	قالب با دقت ابعادی بالا تهیه می‌شود و برای قطعات کوچک و گران قیمت مناسب است.	جواهرات
قالب دائمی	قالب از جنس فلز ساخته می‌شود و تعداد زیادی قطعه با استفاده از یک قالب ساخته می‌شود. کیفیت سطح خوب و نرخ تولید بالا است ولی قالب آن گران قیمت است.	چرخ دنده وجعبه‌دنده
تحت فشار	مذاب با فشار به داخل قالب فلزی تزریق می‌شود. دقت ابعادی عالی و نرخ تولید بالا از ویژگی‌های آن است.	رینگ اتومبیل، و چرخ‌دنده‌های دقیق

۳ــ۸ــ روش‌های مهم ریخته‌گری

۱ــ۳ــ۸ــ ریخته‌گری ماسه‌ای : پرکاربردترین قالب‌های یک بارمصرف، قالب‌های ماسه‌ای هستند که در آن قالب ساخته شده پس از انجماد مذاب شکسته می‌شود. در این نوع ریخته‌گری ابتدا مدل چوبی یا پلاستیکی بر اساس شکل محصول به‌طور معمول به‌صورت دوتکه ساخته می‌شود. شکل (۲ــ۸) نمونه‌ای از مدل چوبی ریخته‌گری پولی پروانه را نشان می‌دهد.

شکل ۲ــ۸ــ تهیه مدل ریخته‌گری ماسه‌ای

شکل ۳ــ ۸ــ درجه در ریخته‌گری ماسه‌ای

سپس مدل را در قالب نگه‌دارنده فلزی که دو تکه است قرار می‌دهند. هر یک از دو قسمت جداشدنی قالب را «درجه» می‌نامند. شکل (۳ــ۸) یک جفت درجه را نشان می‌دهد.

شکل ۴ــ۸ــ فرآیند قالب‌گیری ماسه‌ای

درجه بالایی را بر روی میز کار قرار می‌دهند، قسمت بالایی مدل را در داخل آن می‌گذارند و با کوبیدن ماسه درون قالب (شامل ماسه، آب، خاک رس و نوعی چسب) آن‌را پر می‌کنند. شکل (۴ــ۸) نمونه قالب ماسه‌ای پولی پروانه را نشان می‌دهد.

شکل ۵ــ۸ــ ماهیچه گذاری درقالب ریخته‌گری

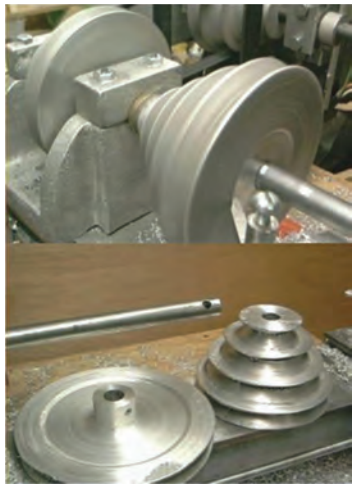
بسیاری از قطعات ریخته‌گری توخالی هستند و یا حفره‌های موجود در آنها قابل دسترس نیستند. این سطوح درونی با قرار دادن ماهیچه داخل قالب شکل می‌گیرد. شکل (۵ــ۸) نمونه دو ماهیچه استوانه‌ای را نشان می‌دهد.

یادآوری می‌شود گذاشتن تکه چوبی به‌صورت شیب‌دار برای ایجاد راهگاه مناسب درون قالب و نیز تعبیه تغذیه‌کننده برای جبران کمبود ماده مذاب به‌دلیل انقباض مذاب در درون قالب ضروری است.

پس از خارج کردن مدل از قالب و کار گذاشتن راهگاه، دو نیمه قالب بر روی هم قرار گرفته و مذاب را درون آن می‌ریزند. پس از سرد شدن مذاب، قالب را شکسته و قطعه را خارج می‌کنند. شکل (۶ــ۸) زمان مذاب‌ریزی داخل قالب را نشان می‌دهد.

شکل ۶ــ۸ــ عملیات مذاب‌ریزی

پس از خروج قطعه از قالب لازم است، فلز اضافی و لوله‌های تغذیه مذاب بریده شوند. هم‌چنین سطوح مهم ماشین کاری شوند تا سطحی پرداخت شده و دقیق حاصل گردد. شکل (۷ــ۸) پرداخت‌کاری نهایی پولی ریخته‌گری شده را نشان می‌دهد.



شکل ۷ــ۸ــ پرداخت کاری سطحی

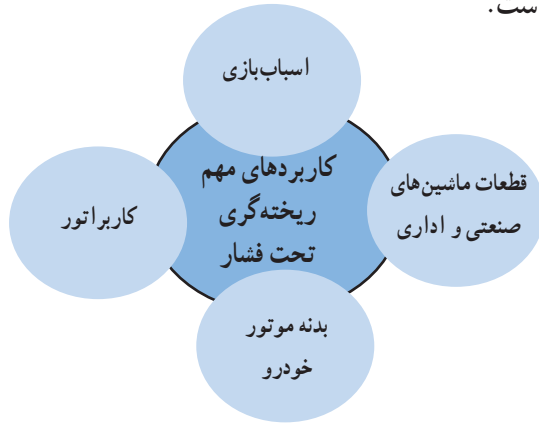
۲ــ۳ــ۸ــ ریخته‌گری در قالب فلزی :

مانند ریخته‌گری در قالب‌های ماسه‌ای است، با این تفاوت که قالب‌ها در این روش فلزی هستند و از آنها برای مدت طولانی استفاده می‌شود. قالب‌ها به‌طور معمول دو تکه ساخته می‌شوند و به وسیله گیره یا پیچ و غیره به‌هم متصل می‌شوند. (شکل ۸ــ۸)

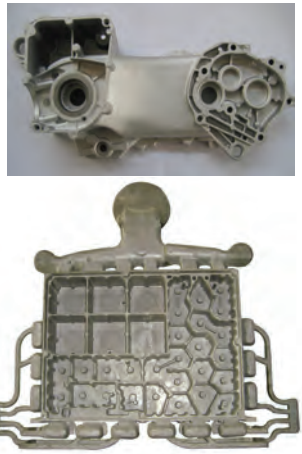
شکل ۸ــ۸ــ قالب فلزی ریخته‌گری (قالب تولید سرسیلندر در کارخانه ایران خودرو)

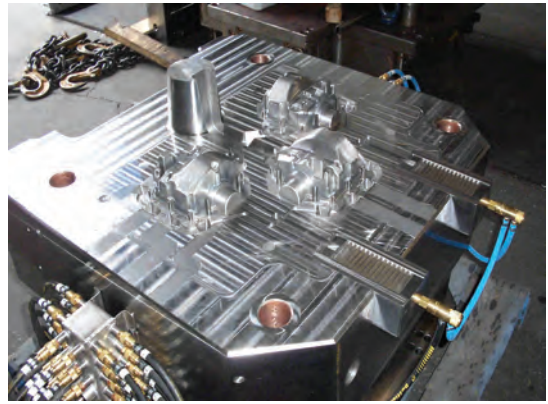
۳ــ۳ــ۸ــ ریخته‌گری تحت فشار (دایکاست)[۱] :در ریخته‌گری تحت فشار مواد مذاب تحت فشار به‌داخل قالب تزریق می‌شوند (بر خلاف روش‌های دیگر که مذاب تحت نیروی وزن خود قالب را پر می‌کند). شکل (۹ــ ۸) یک نمونه از تجهیزات این نوع ریخته‌گری را نشان می‌دهد. تولید قطعات بدون حفره به‌علت تحت فشار بودن مذاب در درون قالب از مزیت‌های این روش است. بیشتر قطعات آلومینیومی‌به روش دایکاست ریخته‌گری می‌شوند. در نمودار (۱ــ۸) موارد پرکاربرد این روش ریخته‌گری و در شکل (۱۰ــ۸)چند نمونه صنعتی ریخته‌گری شده به این روش نشان داده شده است.

شکل ۹ــ۸ــ تجهیزات ریخته‌گری تحت فشار



نمودار ۱ــ۸ــ کاربرد ریخته‌گری تحت فشار





شکل ۱۰ــ۸ــ چند نمونه از قطعات ریخته‌گری شده به روش دایکاست پیوسته

۱ــ Day cast

۴ــ۳ــ۸ــ ریخته‌گری پیوسته : در این روش فلز مذاب به‌وسیله پاتیل[1] به محل دستگاه ریخته‌گری پیوسته حمل می‌شود، سپس مذاب به داخل ظرف نگهدارنده مذاب ریخته می‌شود و به‌تدریج وارد محفظه انجماد می‌شود. ظرف نگهدارنده مذاب از جنس مس ساخته شده و مرتباً با سیستم آبگرد سرد می‌شود. فلز مذاب پس از ورود به محفظه انجماد و سرد شدن به‌شکل جامد از آن خارج می‌شود و توسط جریان آب یا هوا خنک می‌شود. وقتی که طول نیم ساخته منجمد شده به حد معینی برسد به‌وسیلهٔ ابزار برش (مکانیکی یا حرارتی) برش داده می‌شود. در شکل (۱۱ــ۸) تخلیه مذاب از پاتیل ذوب‌ریزی را در فرآیند ریخته‌گری پیوسته نشان می‌دهد و شکل (۱۲ــ۸) انجام برش گرم تحتال‌های گداخته تولید شده به‌وسیله عملیات ریخته‌گری پیوسته را نشان می‌دهد.

شکل ۱۱ــ۸ــ تخلیه مذاب یا مذاب‌ریزی از درون پاتیل حمل مذاب در ابتدای خط ریخته‌گری پیوسته.

شکل ۱۲ــ۸ــ برش حرارتی نیم‌ساخته‌های ریخته‌گری شده در حالت گداخته در فرآیند ریخته‌گری پیوسته

۴ــ۸ــ ریخته‌گری چدن

با توجه به این‌که چدن از قابلیت ریخته‌گری خوب و چکش‌خواری بدی برخوردار است لذا به‌طور معمول از روش ریخته‌گری برای تولید قطعات چدنی استفاده می‌کنند. قالب‌گیری قطعات کوچک در داخل درجه و قطعات بزرگ در زمین انجام می‌شود. پس از تهیه قالب، چدن مذاب را از طریق راهگاه به داخل قالب می‌ریزند و پس از سرد شدن و انجماد، قطعه مورد نظر را از قالب خارج می‌کنند. اندازه مدل بایستی به اندازه انقباضی که فلز در هنگام سرد شدن پیدا می‌کند (چدن خاکستری ۱درصد) بزرگتر از قطعه اصلی در نظر گرفته شود. هم‌چنین برای ایجاد فضای خالی در قسمت‌هایی از قطعه مورد نظر می‌توان از ماهیچه استفاده کرد که در این موارد باید روی مدل زائده‌ای برای تکیه‌گاه ماهیچه در نظر گرفت. شکل (۱۳ــ۸) تخلیه مذاب چدن از کوره یک کارگاه تولید قطعات چدنی را نشان می‌دهد.

۱ــ پاتیل : ظرف فلزی بزرگی است که برای حمل مذاب استفاده می‌شود.

شکل ۱۳ــ۸

۵ــ۸ــ ریخته‌گری فولاد

ریخته‌گری برای تولید قطعات فولادی در مقایسه با قطعات چدنی کاربرد کمتری دارد. ولی برخی از قطعات صنعتی که فرم پیچیده‌ای دارند و یا لازم است نیروی زیادی را تحمل کنند از فولادهای ریختگی ساخته می‌شوند.

شکل ۱۴ــ۸ــ عملیات ذوب‌ریزی از پاتیل حمل مذاب

ریخته‌گری فولادها نیز مشابه چدن‌ها است، با این تفاوت که اگر از روش ریخته‌گری در ماسه استفاده می‌شود، باید ماسه‌ای به‌کار رود که دیرگدازتر باشد (دمای مذاب فولاد بیشتر از چدن است). از تفاوت‌های دیگر انقباض بیشتر مذاب فولاد (حدود ۲ درصد) نسبت به چدن است. از این روش برای تهیه قطعاتی مانند: بدنه توربین، جرثقیل و غیره استفاده می‌شود. شکل (۱۴ــ۸) تخلیه مذاب فولاد را از پاتیل مذاب‌ریزی نشان می‌دهد.

۶ــ۸ــ شکل‌دهی فلزات در حالت جامد

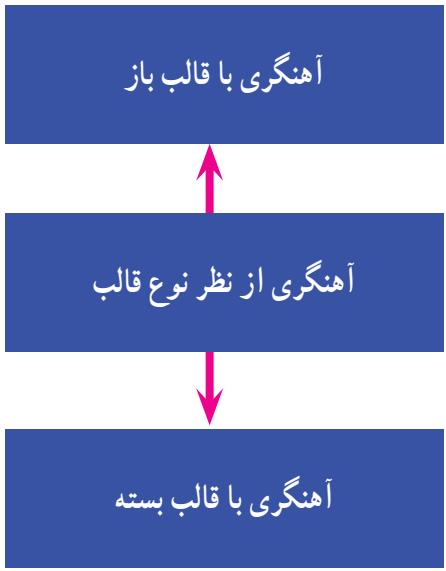
یکی دیگر از روش‌های مورد استفاده در تولید قطعات صنعتی فرآیند شکل‌دهی در حالت جامد است که به روش‌های مختلف انجام می‌شود. در این روش‌ها نیرو عامل اصلی شکل‌دهی است و از حرارت نیز می‌توان به‌عنوان عامل کمکی بهره برد. آهنگری، نورد و اکستروژن از متداول‌ترین و پرکاربردترین روش‌های شکل‌دهی فلزات در حالت جامد هستند.

۱ــ۶ــ۸ــ آهنگری[۱] : آهنگری یکی از قدیمی‌ترین روش‌های شکل دادن فلزات می‌باشد. در دوران گذشته آهنگران فلز مورد نظرشان را تا حد لازم گداخته می‌کردند، بعد با یک انبر آن را بر روی سندان نگه می‌داشتند و چکش کاری می‌کردند تا شکل مورد نظر را پیدا کند. شکل (۱۵ــ۸) روش آهنگری سنتی را نمایش می‌دهد.

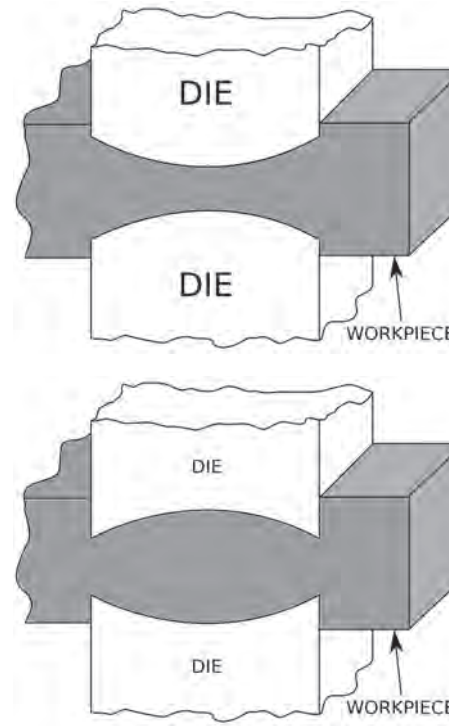
شکل ۱۵ــ۸ــ آهنگری به روش سنتی

امروزه نیز فلز نیم‌ساخته را که به لقمه معروف است، گداخته (گرم می‌کنند) و در قالب یا سندان قرارداده و با اعمال نیرو به شکل قالب در می‌آورند. شکل (۱۶ــ۸) دو نمونه از قالب‌های مورد استفاده در این فرآیند شکل‌دهی فلزات را به‌صورت شماتیک نشان می‌دهد. نیرو را می‌توان به آرامی(با پرس هیدرولیک) و یا به‌صورت ضربه‌ای (با پتک مکانیکی) اعمال کرد. نمودار (۲ــ۸) دسته‌بندی عملیات آهنگری را از لحاظ نوع قالب نشان می‌دهد و در شکل (۱۷ــ۸) فرآیند آهنگری را در یک واحد بزرگ صنعتی نشان می‌دهد.

۱ــ Forging



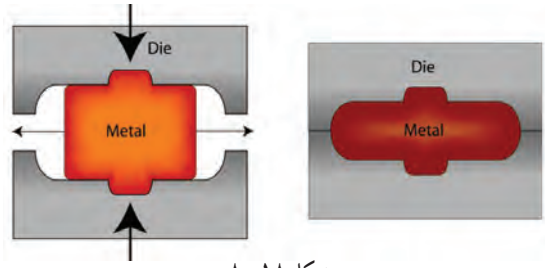
نمودار ۲ــ۸ــ تقسیم‌بندی عملیات آهنگری



شکل ۱۶ــ۸ــ دو نوع قالب فرآیند شکل‌دهی به روش آهنگری

شکل ۱۷ــ۸ــ تولید قطعات فولادی به روش آهنگری در یک واحد بزرگ صنعتی

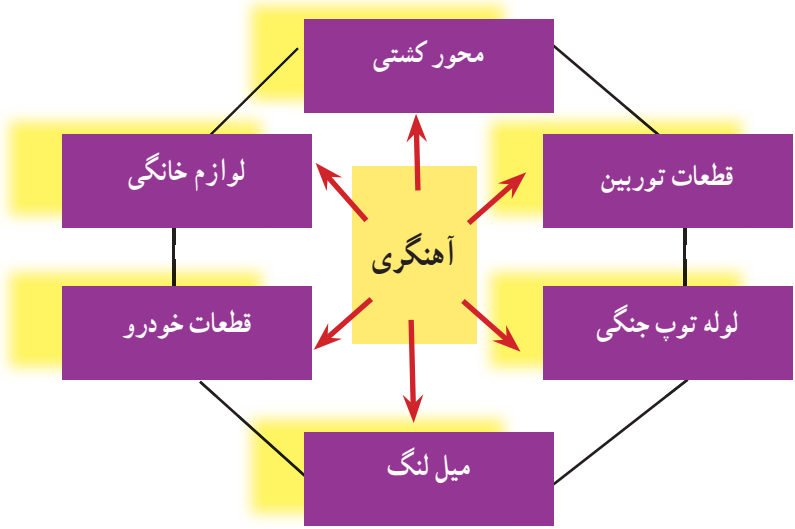
آهنگری در قالب باز معمولاً برای شکل‌های ساده و با دقت ابعادی کم استفاده می‌شود. در این روش سنبه توسط دستگاه پرس به لقمه‌ای که درون قالب قرار دارد برخورد کرده و با کاستن از ارتفاع آن طول و عرض قطعه را تا مقدار معینی افزایش می‌دهد. در آهنگری به روش قالب بسته که در شکل (۱۸ــ۸) به‌صورت شماتیک نشان داده شده است و برای شکل‌های پیچیده مناسب است، لقمه درون نیمه پایینی قالب قرار گرفته و نیمه بالایی قالب توسط پرس بر روی لقمه فشار وارد می‌کند. به این ترتیب لقمه به شکل محفظه داخل قالب درمی‌آید. شکل (۱۹ــ۸) تصویر دیگری از عملیات آهنگری به روش قالب باز را برای تولید قطعات صنعتی نشان می‌دهد.



شکل ۱۸ــ۸

شکل ۱۹ــ۸ــ عملیات آهنگری به روش قالب باز برای تولید قطعات صنعتی

سکه و آچار فرانسه دو نمونه از قطعات تولید شده به روش آهنگری هستند. نمودار (۳ــ۸) کاربردهای مختلف قطعات آهنگری شده را در بخش‌های مختلف صنعتی نشان می‌دهد. در شکل (۲۰ــ۸) تعدادی از قطعات کوچک صنعتی که به‌وسیله روش آهنگری تولید شده‌اند نشان داده شده است.

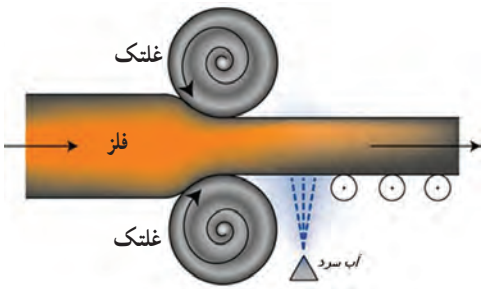


نمودار ۳ــ۸ــ کاربرد روش آهنگری در تولید قطعات صنعتی

شکل ۲۰ــ۸ــ برخی از قطعات صنعتی که به روش آهنگری تولید شده‌اند.

از مزایای روش آهنگری می‌توان به کم بودن ضایعات اشاره کرد و از معایب آن می‌توان کیفیت سطحی نه‌چندان بالا را نام برد. لازم به یادآوری است، تمامی فلزات را نمی‌توان به روش آهنگری شکل داد، زیرا برخی فلزات ترد و شکننده هستند (مثل چدن‌ها)، حتی زمانی‌که به آن‌ها حرارت داده شود.

۲ــ۶ــ۸ــ نورد[1] : در این روش تغییر شکل بر اثر عبور قطعه فلزی از میان دو غلتک ایجاد می‌شود (شکل۲۱ــ۸). درفرآیند نورد به دلیل نیروهای فشاری، ضخامت قطعه کاهش یافته، طول و پهنای آن اضافه می‌شود. شکل (۲۲ــ۸) خط نورد گرم در کارخانه فولاد مبارکه اصفهان را نشان می‌دهد.



شکل ۲۱ــ۸ــ نمایش فرآیند نورد

شکل ۲۲ــ۸ــ خط نورد گرم در کارخانه فولاد مبارکه اصفهان

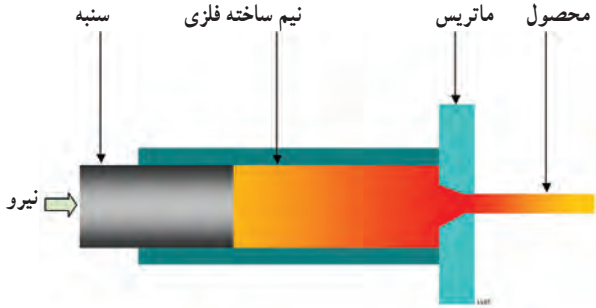
یادآوری می‌شود قسمت اعظم فلزات و آلیاژها در کارخانه‌های تولید مواد فلزی به‌صورت شمش یا نیم ساخته تولید می‌شوند و سپس در کارگاه‌های صنعتی توسط دستگاه‌های نورد به ورق، تیرآهن، تسمه، ریل ، نبشی و غیره تبدیل می‌شوند. شکل(۲۳ــ۸) چند نمونه از محصولات صنعتی تولید شده به روش نورد را نشان می‌دهد.

شکل ۲۳ــ۸ــ بعضی از محصولات فولادی تولید شده به‌وسیله عملیات نورد

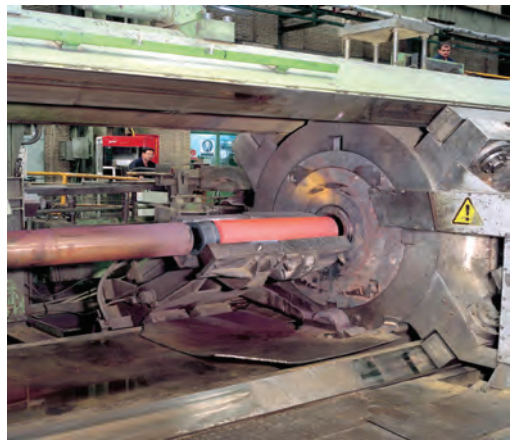
۱ــ Rolling

۳ــ۶ــ۸ــ اکستروژن[1] : عبارت است از عبور دادن فلز گداخته نیم ساخته فلزی از روزنه یک قالب توسط اعمال نیرو برای تولید مقطعی با شکل دلخواه شکل(۲۴ــ۸). برای این منظور ابتدا ماتریسی[2] به فرم مقطع شمش مورد نظر تهیه و در پیشانی سیلندر پرس نصب می‌کنند. سپس فلز گداخته‌ای را که هم قطر محفظه پرس هیدرولیک است به پودر شیشه آغشته می‌کنند و در داخل محفظه قرار می‌دهند. سمبه پرس هیدرولیک از پشت به فلز گداخته فشار وارد می‌کند و آن را از داخل روزنه ماتریس به بیرون می‌راند. شکل (۲۵ــ۸) این عملیات را نشان می‌دهد. استفاده از پودر شیشه باعث کم کردن اصطکاک شده و عمل رانش بلوک را آسان‌تر می‌کند. بیشترین کاربرد این روش برای تولید پروفیل‌های فلزات غیر آهنی مثل آلومینیوم است. شکل (۲۶ــ۸) نمونه‌هایی از پروفیل‌های تولید شده به روش اکستروژن را نشان می‌دهد.

شکل ۲۴ــ۸ــ نمونه‌ای از قالب مورد استفاده در فرآیند اکستروژن



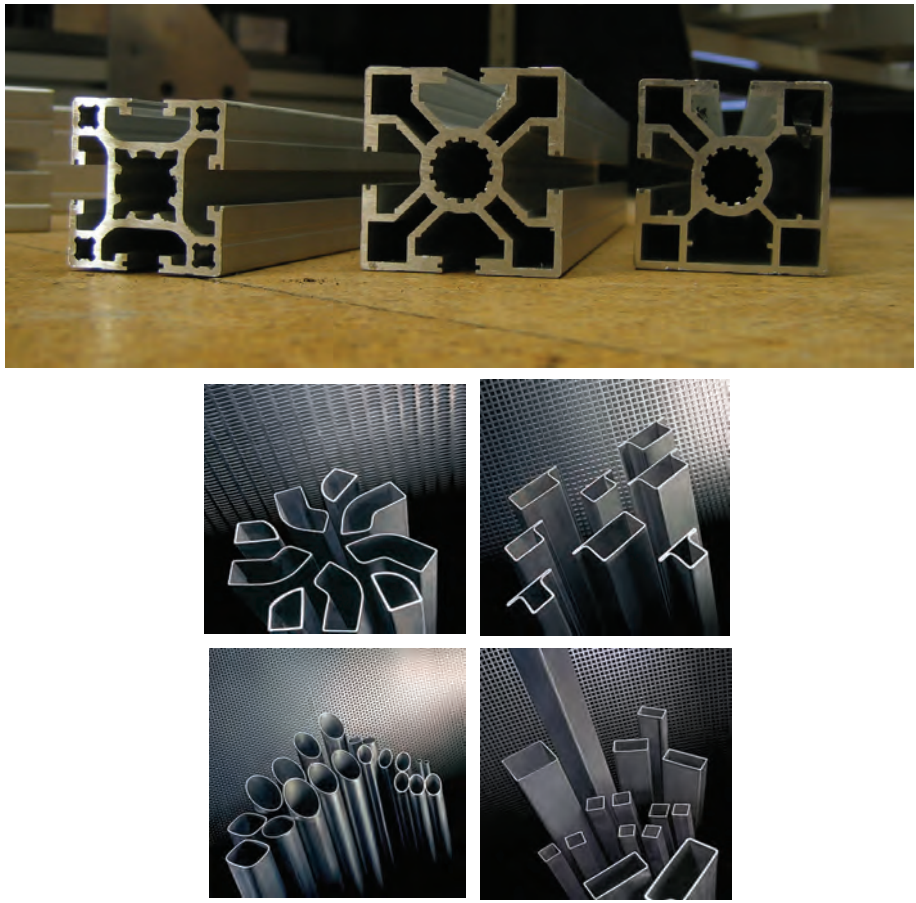
شکل ۲۵ــ۸ــ فرآیند اکستروژن در تولید قطعات صنعتی



شکل ۲۶ــ۸ــ اعمال فشار توسط پرس هیدرولیک به فلز گداخته در فرآیند اکستروژن

۱ــ Extrosion

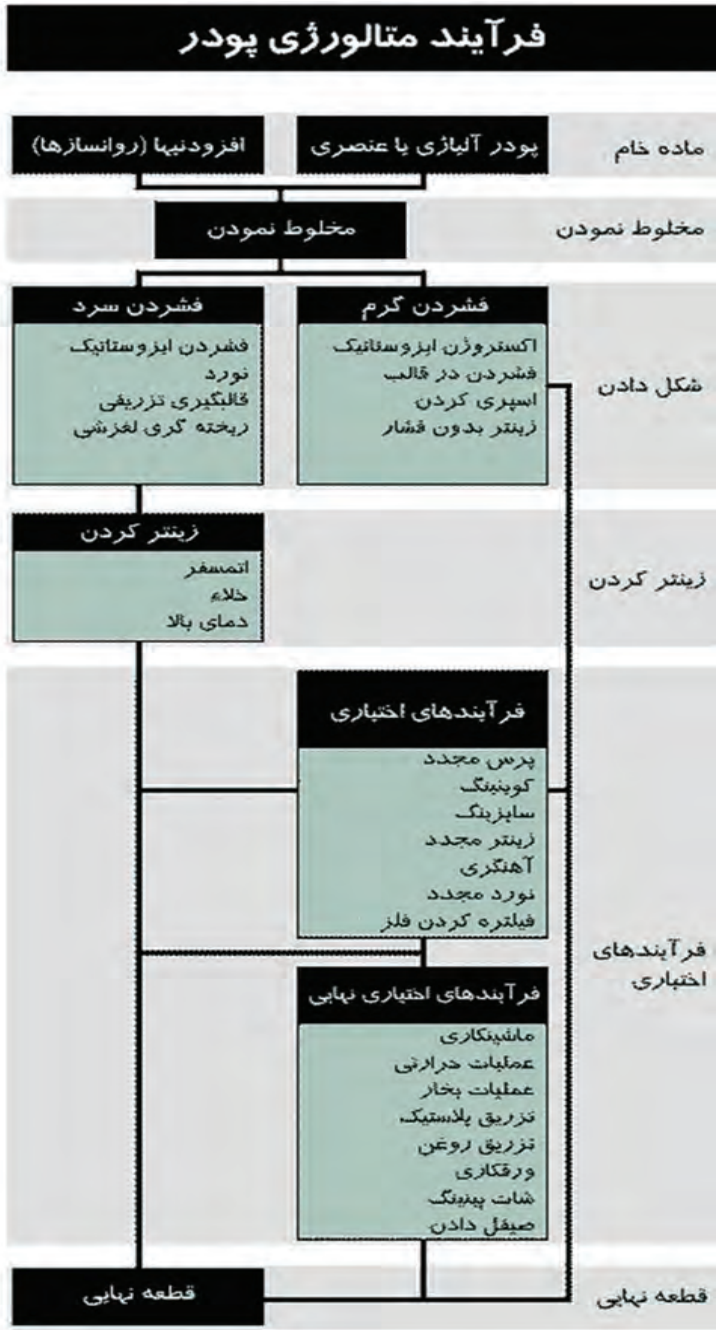
۲ــ نوعی قالب است که فلز گداخته با فشار از داخل آن عبور می‌کند و شکل مقطع خروجی آن را به خود می‌گیرد.



شکل ۲۷ــ۸ــ پروفیل‌های مختلف فلزی تولید شده به روش اکستروژن

۷ــ۸ــ متالورژی پودر

متالورژی پودر فرآیند قالب گیری قطعات فلزی از پودر فلز توسط اعمال فشار زیاد می‌باشد. در این فرآیند پس از عمل فشردن پودر فلز، عمل تف جوشی در درجه حرارت زیرنقطه ذوب و در فشار یک اتمسفر انجام می‌پذیرد که در آن ذرات فلز ضمن متراکم شدن، به‌هم جوش می‌خورند. نمودار (۴ــ۸) مراحل مختلف تولید قطعات صنعتی به روش متالورژی پودر را نشان می‌دهد.



نمودار ۴ــ۸ــ مراحل مختلف روش متالورژی پودر در تولید قطعات صنعتی

یکی از مزایای این روش قابلیت آن برای تولید قطعات پیچیده با کیفیت بالا و تلرانس‌های دقیق با رعایت جنبه‌های اقتصادی است. شکل (۲۸ــ۸) کاربرد روش متالورژی پودر در تولید قطعات صنعتی و نمونه‌هایی از قطعات تولید شده به این روش را نشان می‌دهد.

نمودار ۵ــ۸ــ کاربرد متالورژی پودر در تولید قطعات صنعتی

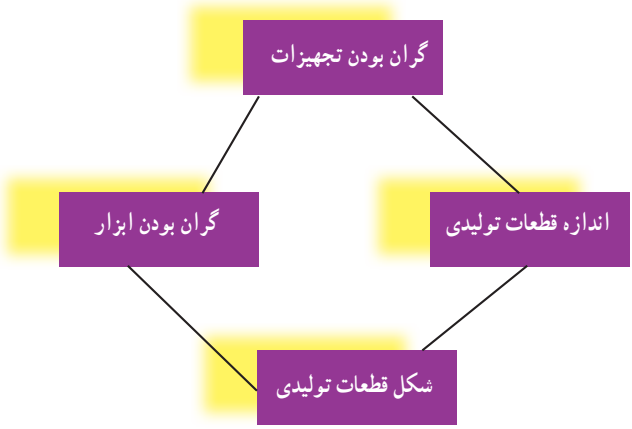
شکل ۲۸ــ۸ــ نمونه‌هایی از قطعات صنعتی تولید شده به روش متالورژی پودر

یکی از کاربردهای رایج قطعات متالورژی پودر در صنایع خودروسازی می‌باشد.

از دیگر قطعات تولید شده به روش متالورژی پودر می‌توان به تولید رشته‌های تنگستنی لامپ، بوش‌های خود روانساز، اتصالات الکتریکی، اجزاء ترمیمی بدن، قطعات ماشین‌های اداری، صافی‌های مورد مصرف در دمای بالا، قطعات ضدسایش، قطعات توربین و آمالگام‌های دندانپزشکی اشاره نمود. شکل (۲۹ــ۸) نمونه‌های دیگری از قطعات تولید شده به روش متالورژی پودر را نشان می‌دهد.

شکل ۲۹ــ۸ــ نمونه‌هایی دیگر از محصولات تولید شده به روش متالورژی پودر

با وجود تمامی مزیت‌های متالورژی پودر، محدودیت‌هایی نیز در این روش وجود دارد. نمودار (۶ــ۸) به محدودیت‌های روش متالورژی پودر اشاره می‌کند.



نمودار ۶ــ۸ــ محدودیت‌های روش متالورژی پودر

با این وجود بیشتر قطعات تولید شده بوسیله متالورژی پودر کمتر از ۲/۳ کیلوگرم وزن دارند، اگرچه می‌توان قطعاتی با وزن ۱۶ کیلوگرم را هم به وسیله ماشین آلات متعارف متالورژی پودر تولید کرد. هم‌چنین گران بودن ابزار و تجهیزات خط تولید باعث می‌شود که ظرفیت تولید پایین، غیراقتصادی گردد.

آزمون پایانی

۱ــ در صنعت کدام روش قالب‌گیری فراگیرتر از سایر روش‌ها است؟

الف) بوته‌ای ب) ماسه‌ای ج) سرامیکی د) تحت فشار

۲ــ کدام گزینه غلط بیان شده است؟

الف) در روش قالب ماسه‌ای قالب و مدل یک بار مصرف هستند.

ب) قالب فلزی برای مدت طولانی مورد استفاده واقع می‌شود.

ج) در روش قالب گیری دقیق مدل هم یکبار مصرف است.

د) در ریخته‌گری تحت فشار قطعات محکم و بدون مک تولید می‌شود.

۳ــ کدام گزینه نادرست است؟ بیان شده است که.

الف) از مزایای فرج نداشتن ضایعات است.

ب) تمامی فلزات را می‌توان با روش فورج شکل داد.

ج) امروزه فرج کاری جای آهنگری سابق را گرفته است.

د) فرم گرفتن لقمه گداخته با ضربه درون قالب نوعی فرج است.

۴ــ چگونگی استفاده از نورد در ساخت را بنویسید.

۵ــ ماده اولیه نیم ساخته‌های فولادی چه شکلی دارد و چگونه شکل می‌گیرد؟

۶ــ تف جوش یعنی چه و در کجا مورد استفاده واقع می‌شود؟

۷ــ مزایای تولید به روش متالورژی پودر را بنویسید.

۸ــ کاربرد متالورژی پودر در صنایع اتومبیل کدام است؟

۹ــ محدودیت‌های تولید به روش متالورژی پودر را بنویسید.

۱۰ــ در کدام روش ماشین کاری، قطعه کار ضمن عبور از ابزارهای برنده متوالی شکل می‌گیرد؟

الف) تراشکاری ب) فرزکاری ج) خان‌کشی د) سنگ‌زنی

فصل نهم

انتخاب مواد

هدف‌های رفتاری : با یادگیری این فصل هنرجو می‌تواند :

۱ــ مراحل عرضه یک محصول به بازار را نام ببرد.

۲ــ فرآیند انتخاب مواد را شرح دهد.

۳ــ دلایل کلی انتخاب مواد اجزاء یک محصول را بیان نماید.

۱ــ۹ــ مقدمه

در فصل‌های قبل با مواد مختلف صنعتی، خواص و موارد کاربرد آنها در صنعت آشنا شدیم و به‌صورت مختصر روش‌های ساخت و تولید سازه‌های صنعتی مورد بررسی قرار گرفت. در این فصل مراحل کلی انتخاب مواد برای سازه‌های صنعتی با ذکر مثال بیان می‌شود و پارامترهای مؤثر در آن مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

۲ــ۹ــ انتخاب مواد مهندسی

برای ورود به بحث با بررسی خواص چند سازه صنعتی شروع می‌کنیم :

برای ساخت ریل‌های قطار از فولاد استفاده می‌شود، چون فولاد دارای استحکام و چقرمگی بالا می‌باشد و در برابر سایش مقاوم است. مناسب‌ترین نوع فولاد CK۶۰ و CK۷۰ می‌باشد که دلیل آن قابلیت سختی‌پذیری سطحی آن و در نتیجه مقاومت به سایش مناسب می‌باشد. از مواد سرامیک و یا پلیمرنمی‌توان استفاده کرد چون : سرامیک‌ها تُرد و شکننده هستند و پلیمرها با وجود چقرمگی مناسب، استحکام لازم برای تحمل وزن قطار را ندارد (شکل ۱ــ۹).

شکل ۱ــ۹ــ ریل راه آهن از فولاد مقاوم در برابر سایش ساخته می‌شود.

برای ساخت بدنه کشتی نکات زیر باید در انتخاب ماده مد نظر قرار گیرد :

- استحکام بالا
- قابلیت شکل‌پذیری و جوشکاری مناسب
- مقاومت در برابر خوردگی

فولادها و آلیاژهای آلومینیومی می‌توانند انتظارات فوق را برآورده نمایند، هر چند فولاد از نظر استحکام نسبت به آلیاژهای آلومینیوم برتری دارد ولی آلیاژهای آلومینیوم از نظر مقاومت در برابر خوردگی و سبک‌بودن مزیت دارند. بنابراین برای ساخت کشتی‌های غول‌پیکر که استحکام بالاتری نیاز دارند فولاد گزینه مناسب‌تر است (شکل ۳ــ۹) (برای جلوگیری از خوردگی آن از سیستم حفاظتی استفاده می‌کنند) و در ساخت کشتی‌های مسافربری (شکل ۲ــ۹) و قایق‌ها که سرعت آنها نیز اهمیت پیدا می‌کند، استفاده از آلیاژهای آلومینیومی مناسب‌تر است.

شکل ۲ــ۹ــ کشتی مسافربری ساخته شده از آلیاژهای آلومینیومی

شکل ۳ــ۹ــ کشتی غول پیکر ساخته شده از فولاد کربنی

۱ــ۲ــ۹ــ خودرو : جنس ورق‌های مورد استفاده در بدنه خودروها به‌طور عمده از فولادهای میکروآلیاژی می‌باشد شکل (۴ــ۹) چون :

- نسبت استحکام به وزن نسبتاً بالایی دارند.
- از قابلیت شکل‌پذیری و جوش‌کاری مطلوبی برخوردارند.

شکل ۴ــ۹ــ بدنه خودرو به‌طور معمول از فولادهای میکرو آلیاژی (کم آلیاژ) ساخته می‌شود.

۲ــ۲ــ۹ــ هواپیما : بدنه هواپیما را از آلیاژهای آلومینیوم می‌سازند شکل (۵ــ۹) چون : نسبت استحکام به وزن بالایی دارند(حدود سه برابر فولاد است).

شکل ۵ ــ۹ــ بدنه هواپیما به‌طور معمول از آلیاژهای آلومینیوم ساخته می‌شود.

از سرامیک‌ها و پلیمرها به‌دلایل زیر نمی‌توان برای ساخت بدنه هواپیما استفاده کرد.

سرامیک‌ها

۱ــ قابلیت شکل پذیری کمی‌دارند.

۲ــ ترد و شکننده هستند.

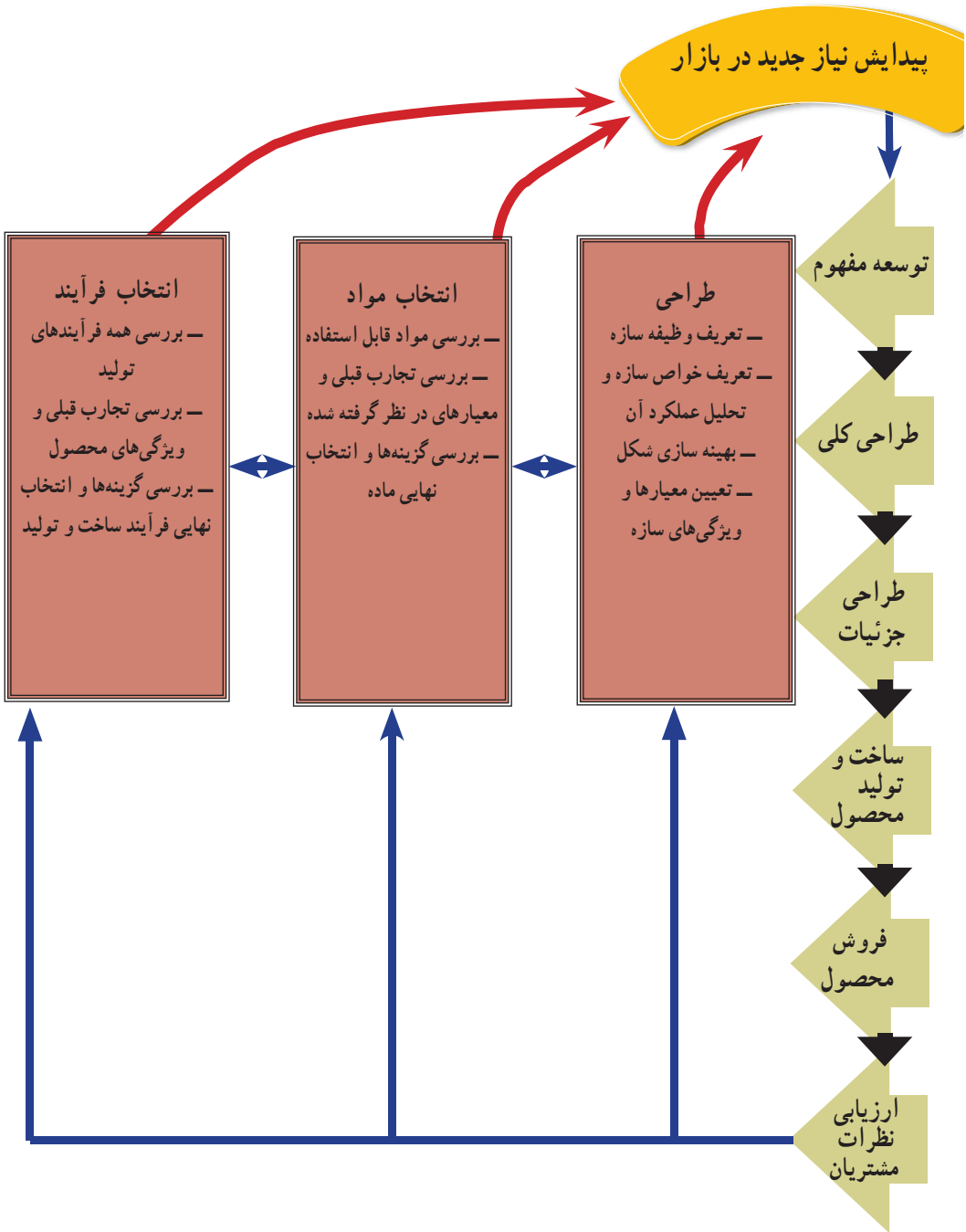
پلیمرها

۱ــ استحکام پایینی دارند.

۲ــ قابلیت اتصال مناسبی ندارند.

۳ــ۹ــ مراحل طراحی، ساخت و تولید سازه‌های صنعتی

به‌طورکلی در فرآیند ساخت و تولید محصول صنعتی مراحل متعددی وجود دارد که باید به آنها پرداخته شود. در نمودار (۱ــ۹) به مراحل اصلی و مهم اشاره شده است.



نمودار ۱ــ۹ــ مراحل عرضه محصول به بازار

انتخاب مواد یکی از مراحل مهم در تولید محصول صنعتی است. سؤال اینجاست که با توجه به گستردگی بسیار زیاد مواد مهندسی، چگونه می‌توان خواص همه آنها را بررسی کرد و به جواب مناسب رسید؟ اگر فرایند انتخاب ماده بدون روند خاصی صورت گیرد، احتمال حذف انتخاب‌های مناسب‌تر وجود دارد. شاید به نظر برسد که می‌توان از تجارب قبلی استفاده نمود، اما روشن است که آنچه در گذشته انتخاب شده یک جواب است، ولی ممکن است مناسب‌ترین جواب نباشد. بنابراین اگر همیشه خود را به تجارب قبلی محدود کنیم از نوآوری غافل خواهیم شد.

۴ــ۹ــ روند انتخاب مواد صنعتی

روند انتخاب مواد باید طوری باشد که در یک زمان محدود با بررسی گزینه‌های موجود، بهترین انتخاب را انجام داد.

۱ــ۴ــ۹ــ وظایف سازه : از آنجایی که سازه‌های مختلف دارای وظایف متفاوتی هستند، بنابراین معیارهای انتخاب آنها نیز متفاوت است. به‌عنوان مثال وظیفه اسکلت ساختمان این است که وزن ساختمان را تحمل کند و در برابر زلزله مقاوم باشد، بنابراین از ویژگی‌های لازم برای سازه مذکور استحکام بالا و تحمل امواج زلزله است.

جداره داخلی یک کوره ریخته‌گری را در نظر بگیرید. این ماده باید در دمای بسیار بالا کار کند و به‌طور دائم با فلزات مذاب در تماس باشد. پس باید در مقابل اکسیداسیون مقاوم باشد و از انتقال حرارت جلوگیری کند تا دمای داخل کوره افت نکند.

مثال دیگر، ماده مورد استفاده در ساخت سنباده است. این ماده باید بسیار سخت باشد تا باعث سایش دیگر اجسام شده ولی خودش سائیده نشود.

۲ــ۴ــ۹ــ شناسایی مواد قابل استفاده : با توجه به نیازها و محدودیت‌های تعیین شده در مرحله قبل، مواد قابل استفاده شناسایی و معرفی می‌شوند.

۳ــ۴ــ۹ــ ارزیابی گزینه‌ها : در این مرحله نقاط قوت و ضعف گزینه‌های مختلف از نظر فنی با یکدیگر مقایسه می‌شوند و میزان در دسترس بودن و نیز صرفه اقتصادی مواد مختلف در نظر گرفته می‌شود.

به‌طور معمول علاوه بر مسائل فنی ــ اقتصادی محدودیت‌های دیگری نیز در انتخاب دخالت دارند مثلاً در مورد اسباب‌بازی‌ها، سالم و بی‌خطر بودن محصول اهمیت فراوانی دارد و یا استفاده از جیوه برای ساخت باتری ممنوع است چون جیوه باعث مسمومیت می‌شود.

هم‌چنین در این مرحله برای افزایش دقت سعی می‌شود از محاسبات نیز کمک گرفته شود و به کمک نرم افزار شرایط عملکرد سازه شبیه‌سازی و تحلیل گردد. به‌طور مثال با محاسبه حداقل استحکام، سختی، هدایت الکتریکی و سایر معیارهای مهم و مقایسه خواص مواد مختلف با مقادیر تعیین شده، مواد قابل قبول از سایر مواد تفکیک می‌شوند. برای کمک به ارزیابی گزینه‌های باقیمانده می‌توان از پاسخ برخی سؤالات هم کمک گرفت :

۱ــ آیا محیطی که قرار است قطعه در آن کار کند شرایط خاصی دارد؟

دو قطعه را در نظر بگیرید که استحکام یکسانی نیاز دارند ولی یکی از آنها در یک کشتی و دیگری در لوازم خانگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اولی در محیطی کار می‌کند که تحت بارهای مکانیکی زیاد و خوردگی شدید قرار دارد، در حالی‌که شرایط کار قطعه دوم بسیار راحت‌تر است.

۲ــ حساسیت سازه چقدر است؟ (برای فهم بهتر موضوع، حساسیت یک قطعه از هواپیما را با یک قطعه از ماشین لباسشویی مقایسه کنید.)

۳ــ توجیه اقتصادی برای میزان سرمایه گذاری روی محصول چقدر است؟

۴ــ۴ــ۹ــ تصمیم‌گیری : در این مرحله با در نظر گرفتن تمام معیارها(فنی، اقتصادی ، زیست‌محیطی و ایمنی) و توجه به میزان اهمیت آنها، ماده مناسب انتخاب می‌شود.

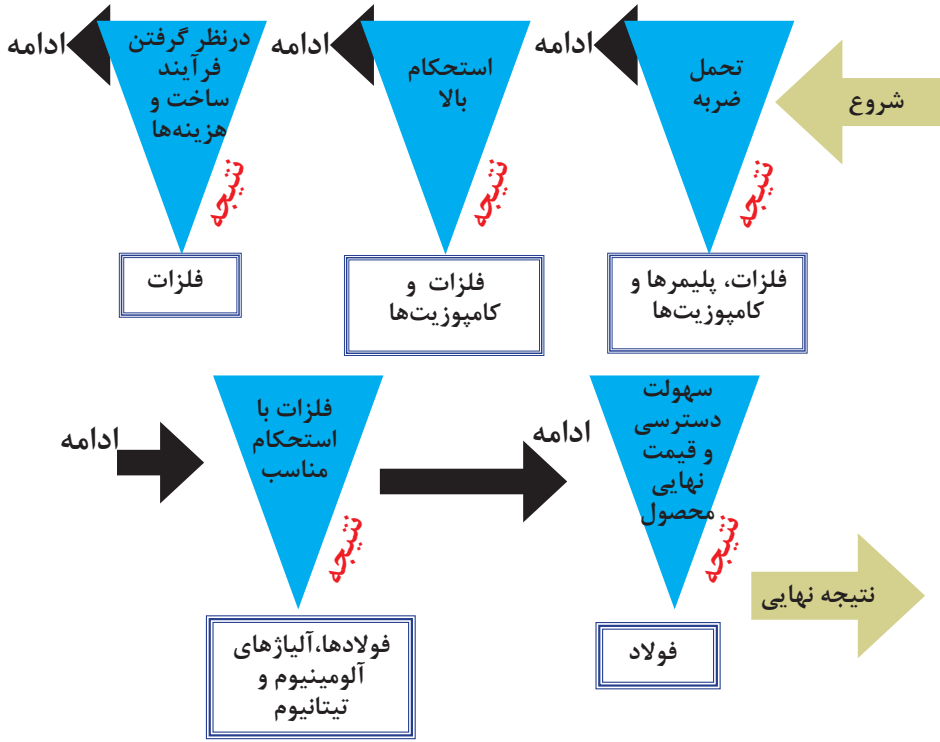
مثال کاربردی : برای درک بهتر موارد ذکرشده، مراحل انتخاب مواد اجزای مختلف یک دوچرخه بررسی می‌شود (شکل ۶ــ۹).

شکل ۶ــ۹ــ بخش‌های مختلف یک دوچرخه که باید از مواد مناسب ساخته شوند.

الف) بدنه : بدنه دوچرخه، ساختار اصلی آن را تشکیل می‌دهد بنابراین مهم‌ترین بخش آن نیز محسوب می‌شود. بدنه باید بتواند فشار ناشی از وزن دوچرخه‌سوار و ضربه‌های احتمالی در ناهمواری‌های راه را تحمل کند (نیاز عملکردی). وزن آن نیز نباید زیاد باشد تا باعث سنگین شدن دوچرخه نشود. بنابر این استحکام نسبتاً زیاد و وزن کم معیارهای اصلی انتخاب ماده مناسب برای بدنه دوچرخه هستند.

در بین مواد مهندسی گفته شده، فلزات و آلیاژهای آنها بهترین ترکیب از استحکام و تحمل ضربه را دارند و با روش‌های مختلف می‌توان مقاطع توخالی از آنها تولید کرد که وزن محصول را کاهش می‌دهد. در بین فلزات نیز فولادها و برخی از آلیاژهای آلومینیوم و آلیاژهای تیتانیوم دارای خواص مذکور هستند اما دسترسی به فولادها نسبت به دو دسته دیگر آسان‌تر و قیمت آن به مراتب پایین‌تر است (نیاز اقتصادی).

پس برای بدنه دوچرخه، فولاد انتخاب مناسبی است. ولی برای دوچرخه‌هایی که در مسابقات استفاده می‌شوند. محدودیت هزینه کمتر لحاظ می‌شود، در نتیجه می‌توان از آلیاژهای سبک‌تر و گران‌تر بهره برد. این مطالب در نمودار (۲ــ۹) نشان داده شده است.



نمودار ۲ــ۹ــ روند انتخاب ماده برای بدنه دوچرخه

ب) روکش صندلی: روکش صندلی باید از جنسی ساخته شود که دوچرخه‌سوار با نشستن روی آن احساس راحتی داشته باشد. ولی نباید آنقدر نرم باشد که پس از چند بار استفاده تغییر شکل دهد. بنابراین وظیفه آن ایجاب می‌کند که میزان مناسبی از نرمی و استحکام را هم‌زمان داشته باشد. پلیمرها ضمن سبک و نرم بودن از استحکام مناسبی نیز برخوردار هستند در حالی که فلزات و سرامیک‌ها سخت هستند و برای این محصول مناسب نمی‌باشند. هم‌چنین پلیمرها به‌طور معمول ارزان قیمت هستند. پس در مجموع مواد پلیمری انتخاب مناسبی برای این بخش از دوچرخه هستند.

پ) ترمز: وظیفه ترمز دوچرخه این است که باعث توقف سریع دوچرخه شود، بنابراین باید اصطکاک بالایی بین لاستیک چرخ و ترمز دوچرخه وجود داشته باشد. اغلب سرامیک‌ها زبر بوده و در تماس با مواد دیگر دارای ضریب اصطکاک بالایی هستند، اما آیا می‌توان ترمز دوچرخه را از جنس سرامیک ساخت؟ جواب این سؤال منفی است زیرا سختی بالای سرامیک باعث تخریب لاستیک چرخ خواهد شد. پس بهتر است ترمز را هم‌جنس لاستیک دوچرخه انتخاب کنیم تا علاوه بر داشتن ضریب اصطکاک بالا، عمر لاستیک نیز کاهش نیابد.

ت) سیم برق: مهم‌ترین وظیفه سیم برق آن است که جریان را به‌خوبی منتقل کند. سرامیک‌ها و پلیمرها رسانای جریان برق نیستند، پس باید از فلزات استفاده شود. طلا، نقره و مس در بین فلزات بهترین رسانایی را دارند و همگی با روش‌های تولید سیم سازگارند. ولی با در نظر گرفتن قیمت این فلزات، طلا و نقره کنار می‌روند و مس گزینه مناسب می‌ماند.

ث) زنجیر: وظیفه زنجیر دوچرخه، انتقال نیرو از رکاب به چرخ عقب است. از آنجایی که زنجیر برای انجام این وظیفه با چرخ دنده‌ها در ارتباط است، باید در مقابل سایش مقاومت کند و اگر نیرو به شکل ناگهانی به آن وارد شد دچار شکست نشود. سرامیک‌ها در مقابل سایش بسیار مقاوم هستند ولی ترد بوده و با یک ضربه کوچک می‌شکنند. هم‌چنین امکان ساخت سرامیک‌ها به شکل زنجیر وجود ندارد. پلیمرها نیز نرم بوده و تحمل سایش را ندارند. ولی فولادها از نظر مقاومت در برابر ضربه و سایش انتخاب مناسبی به حساب می‌آیند. ضمن این‌که با استفاده از روغن می‌توان شرایط کاری زنجیر فولادی را راحت‌تر کرد تا عمر آن بیشتر شود.

کار گروهی ۱

با دقت در مثال دوچرخه، در مورد هر یک از قطعات زیر(خودرو) چند ماده مناسب پیشنهاد داده و در نهایت یکی را انتخاب کنید.

- کمک فنر
- شیلنگ رادیاتور
- پیستون
- چرخ دنده گیربکس
- داشبورد
- بدنه
- شاسی

کار گروهی ۲

به نظر شما در مورد قطعات زیر مهم‌ترین معیار انتخاب مواد چیست؟

- راکت بدمینتون
- سیلندر اتومبیل
- قاب تلفن همراه
- بال هواپیما
- کاغذ بسته‌بندی شکلات
- بدنه تانک نظامی
- مدارهای الکترونیکی

آزمون پایانی

۱ــ چرا برای ساخت بدنه کشتی‌های کوچک از آلومینیوم استفاده می‌شود؟

۲ــ دلایل استفاده از پلیمر در ساخت قایق‌های تندرو را بنویسید.

۳ــ گزینه‌هایی که در انتخاب مواد برای یک سازه صنعتی مد نظر است کدام است؟

۴ــ CK۶۰ و CK۷۰ در ردیف کدام گروه از فولادها هستند ؟

جدول ۱ــ ویژگی‌ها و کاربرد فولادهای ابزار

مقایسه با DIN 17350 (10.80)

مثال‌های کاربردی	A[21]	دمای سخت‌کاری °C	سختی HB[11]	شماره مواد	علامت اختصاری
فولادهای سرد کار غیر آلیاژی					
اجزای قالب، شافت قالب‌های تندبر و فلزات سخت	Ö	800…830	231	1.1740	C 60 W
ابزار هوای فشرده در صنایع معدن و جاده‌سازی	W	790 … 820	183	1.1620	C 70 w2
قالب با حفره تخت، قلم‌دستی، ماتریس ضربه سردکار، چاقو	W	780 … 810	192	1.1525	C 80 W1
تیغه اره نواری ودیسکی برای ماشینکاری چوب، تیغه ماشین‌های درو	Ö	800 … 830	222	1.1830	C 85 W
ابزار پیچ‌بری، قالب اکستروژن، قالب حکاکی، فرمان‌ها	W	770 … 800	213	1.1545	C 105 W1

جدول ۲ــ ویژگی‌ها و کاربرد فولادهای ابزارسازی پر آلیاژ

مقایسه با DIN 17350 (10.80)

فولادهای سردکار					
مثال‌های کاربردی	A[21]	دمای سختکاری °C	سختی HB[11]	شماره مواد	علامت اختصاری
فولاد سختکاری سطحی هوا سخت، شکل دادن مواد مصنوعی	L	780…810	255	1.2767	X 19 NiCrMo 4
ابزار کار روی مواد ترموپلاستی که خواص خورندگی شیمیایی دارند	Ö	1000…1040	285	1.2316	X 36 CrMo 17
ابزار برش، تیغه‌های خان‌کشی، ابزار پیچ‌زنی غلتکی، قالب‌های پرس، نازل سند پلاست	L	950…980	255	1.2436	X 210 CrW 12
فولادهای گرم کار					
سنبه اکستروژن، قالب چکشی	L	860…900	248	1.2714	19 NiCrMoV 7
قالب، قالب ریخته‌گری تحت فشار فلزات سبک	L	1000…1040	229	1.2343	X 38 CrMoV 51
توپی قالب آهنگری بسته، قلاب آهنگری، قالب ریخته‌گری تحت فشار فلزات سبک و سنگین	Ö	1010…1050	229	1.2365	X 32 CrMoV 33
فولادهای تندبر					
تیغه‌های خان‌کشی، مته ماریچ، تیغه فرز، برقو، قلاویز، خزینه‌زن، قالب برش ظریف	Ö, L	1190…1230	240 تا 300	1.3343	S 6–5–2
تیغه فرز، مته ماریچ، قلاویز	Ö, L	1200…1240		1.3243	S 6–5–2–5
رنده تراشکاری و فولادهای قالب	Ö, L	1210…1250		1.3207	S 10–4–3–10
رنده تراشکاری، رنده صفحه تراش، تیغه فرز	Ö, L	1260…1300		1.3255	S 18–1–2–5

۱ــ وضعیت تحویل 2ــ وسیله سخت کردن (ترساندن) : آب W، روغن Ö، هوا L

جدول ۳ــ ویژگی‌ها و کاربرد فولادهای سردکار آلیاژی

مقایسه با DIN 17350 (10.80)

علامت اختصاری	شماره مواد	سختی HB[11]	دمای سخت‌کاری °C	A[21]	مثال‌های کاربردی
21 MnCr 5	1.2436	212	810…840	Ö	ابزار براده‌برداری مواد مصنوعی که ماشینکاری شده و سختکاری سطحی (سمانتاسیون) می‌شود.
60 WCrV 7	1.2550	229	870 … 900	Ö	برش ورق فولادی 6…15mm، ماتریس آرایشی، بیرون‌انداز، سنبه سوراخ‌کاری سردکار
90 MnCrV 8	1.2842	229	790 … 820	Ö	شکل‌دادن مواد مصنوعی، تکه‌های براده‌برداری و سنبه‌ها، قالب‌های کشش عمیق، ابزار اندازه‌گیری
100 Cr 6	1.2067	223	790 … 820	Ö	فرامین، سنبه‌های کشش، ابزار براده‌برداری چوب، قرقره لبه‌دار کردن سر لوله، سنبه
115 CrV 3	1.2210	223	760 … 810	W	قلاویز، بیرون‌انداز، سنبه، خزینه‌زن، قلم (فولاد نقره)
106 WCr 6	1.2419	229	800…830	Ö	حدیده، تیغه فرز، برقو، فرامین ابزار اندازه‌گیری، ابزار پیچ‌زنی، سنبه

جدول ۴ــ ویژگی‌ها و کاربرد فولادهای مقاوم به حرارت

مقایسه با DIN 17155 (10.83)

خواص، کاربرد	تنش تسلیم Re به N/mm² در دمای به °C					درصد تغییر طول نسبی شکست A به ٪	استحکام کششی R_m N/mm²	نوع فولاد	
	500	400	300	200	20	در دمای محیط		شماره مواد	علامت اختصاری
مخصوص همه روش‌های جوشکاری ذوبی و جوشکاری برقی لب به لب ضربه‌ای، مخزن‌های تحت فشار، لوله‌های تحت فشار، تأسیسات دیگ بخار	–	70	95	135	195	25	280…400	1.0348	UH I
	–	110	140	185	235	24	360…480	1.0345	H I
	–	130	155	205	265	22	410…530	1.0425	H II
	–	155	205	245	290	21	460…580	1.0481	17 Mn 4
	–	175	225	265	355	20	510…650	1.0473	19 Mn 6
	150	160	180	225	275	20	440…590	1.5415	15 Mo 3
	175	190	215	240	300	20	440…590	1.7335	13 CrMo 4 4
	185	205	230	245	310	18	480…630	1.7380	10 CrMo 9 10

مقادیر استحکام برای محصولات با ضخامت کمتر از 16mm صادق است.

جدول ۵ــ ویژگی‌ها و کاربرد فولادهای ضد زنگ

مقایسه با DIN 17440 (07 .85)

خواص، کاربرد	درصد تغییر طول نسبی شکست A %	تنش تسلیم $R_{p0.2}$ N/mm²	استحکام کششی R_m N/mm²	سختی HB	B^{11}	نوع فولاد: شماره مواد	نوع فولاد: علامت اختصاری
فولادهای فریتی قابل تغییر شکل سرد، براده‌برداری بد، قابلیت جوشکاری مشروط؛ اجزای مانع و محافظ، پوشش	20	250	400…600	185	G	1.4000	X 6 Cr 13
	18	400	550…700	–	V	1.4002	X 6 CrAl 13
	20	270	450…600	185	G	1.4016	X 6 Cr 17
	20	270	450…600	185	G	1.4510	X 6 CrTi 17
فولادهای مارتنزیتی سختکاری شونده، براده‌برداری خوب، گاهی جوشکاری نشدنی، قطعات با استحکام بالا؛ محورهای ثابت و گردان، صنایع جراحی	20	250	450…650	200	G	1.4006	X 10 Cr 13
	18	420	600…800	–	V		
	–	–	≤ 740	230	G	1.4021	X 20 Cr 13
	14	450	650…800	–	V		
	–	–	≤ 800	250	G	1.4031	X 38 Cr 13
	–	–	≤ 900	280	G	1.4116	X 45 CrMoV 15
فولادهای آستنیتی قابلیت خوب تغییر شکل سرد، جوشکاری خوب، براده‌برداری بد؛ صنایع شیمیایی و تغذیه	45	195	500…700	–	A	1.4301	X 5 CrNi 18 10
	40	200	500…730	–	A	1.4541	X 6 CrNiTi 18 10
	35	210	500…730	–	A	1.4571	X 6 CrNiMoTi 17 12 2
	35	230	490…690	–	A	1.4438	X 2 CrNiMo 18 16 4

1ــ وضعیت عملیات حرارتی؛ G آنیل شده، V بهسازی شده، A سخت شده (ترسانده شده)

مقادیر استحکام برای فولاد تسمه تا ضخامت 25mm و تولیدات صفحه‌ای شکل (ورق و نوار) تا ضخامت 12mm صادق است.

جدول ۶ــ ویژگی‌ها و موارد استفاده فولادهای تسمه و ورق							
مقایسه با DIN 1623 T2 (2.86)							
خواص، کاربرد	سختی HRB	درصد تغییر طول نسبی شکست A ٪	تنش تسلیم R_e N/mm²	استحکام کششی R_m N/mm²	C ٪	نوع فولاد: شماره مواد	نوع فولاد: علامت اختصاری
تولیدات صفحه‌ای شکل نورد سرد طبق DIN 1623 T2 در ضخامت 3mm استاندارد شده است. در مورد نبود محدودیت جوشکاری چیزی نمی‌توان گفت. همه انواع و سطوح تولید، مخصوص پوشش رنگ است.	–	20	215	360…510	0.17	1.0037 G 1.0036 G 1.0116 G	St 37.2 G St 37.2 G St 37.3 G
	–	18 16	245 325	430…580 510…680	0.20 0.20	1.0144 G 1.0570 G	St 44.3 G St 52.3 G
	–	14 10 6	295 335 365	490…660 590…770 690…900	0.40 0.50 0.65	1.0050 G 1.0060 G 1.0070 G	St 50.2 G St 60.2 G St 70.2 G

جدول ۷ــ ویژگی‌ها و کاربرد فولادهای نسوز		
موارد استفاده	ویژگی‌ها	علامت اختصاری
لوله‌های بخار داغ	قابلیت جوشکاری خوب	14 CrMo 4
سوپاپ‌های موتورهای احتراقی	مقاوم در مقابل سایش و خورندگی	X 45 Cr Ni W 15 13 X 45 Cr Ni Si 19 10
قطعات کوره‌های صنعتی، جعبه های بهسازی	مقاوم در مقابل سوختن (تا ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد)	X 15 Cr Ni Si 25 20

جدول ۸ــ ویژگی‌ها و کاربرد فولادهای فنر قابل بهسازی

مقایسه با DIN 17221 (12.72)

خواص، کاربرد	وضعیت عملیات حرارتی بهسازی شده					نوع فولاد	
	درصد تغییر طول نسبی شکست A %	تنش تسلیم $R_{P0.2}$ N/mm²	استحکام کششی R_m N/mm²	آنیل نرم سختی HB	نورد گرم سختی HB	شماره مواد	علامت اختصاری
حلقه‌های فنری، صفحات فنری	6	1030	1180…1370	217	240	1.0970	38 Si 7
فنرهای تخت و مخروطی	6	1130	1320…1570	245	270	1.0903	51 Si 7
فنرهای بشقابی و استوانه‌ای	6	1130	1320…1570	255	310	1.0961	60 SiCr 7
فنرهای تخت؛ بشقابی؛ استوانه‌ای تخت تنش بالا	6	1180	1370…1620	248	310	1.7176	55 Cr 3
	6	1180	1370…1670	241	310	1.8159	50 CrV 4
	6	1180	1370…1670	255	310	1.7701	51 CrMo 4

مقادیر استحکام برای قطعات با قطر 10mm صادق است.

مدول الاستیسیته حدود $E=200\,000\ N/mm^2$ و مدول برشی (مدول بانکی) $G=800\,000\ N/mm^2$ است.

جدول ۹ــ ویژگی‌ها و کاربرد فولادهای ورق ظریف و ورق سفید (حلبی)

مقایسه با DIN 1616 (10.84)

ورق ظریف یک محصول نیمه تمام نورد سرد از فولاد غیرآلیاژی نرم است.
ورق سفید، یک ورق ظریف با پوشش قلع الکترولیتی دو طرفه است.

تقسیم‌بندی طبق بوشش قلع				تقسیم‌بندی طبق درجه سختی			
دو طرفه نامساوی		دو طرفه مساوی			شماره مواد		
پوشش قلع هر طرف به g/m^2	علامت کوتاه	پوشش قلع هر طرف به g/m^2	علامت کوتاه	سختی راکول HR 30 Tm	ورق ظریف	ورق سفید	علامت اختصاری
2.0 / 1.0	D 2.0 / 1.0	1.0	E 1.0 / 1.0	< 52	1.0371	1.0381	T50
5.0 / 2.8	D 5.0 / 2.8	2.8	E 2.8 / 2.8	48...56	1.0372	1.0382	T52
7.5 / 5.0	D 7.5 / 5.0	4.0	E 4.0 / 4.0	54...61	1.0375	1.0385	T57
5.6 / 2.8	D 5.6 / 2.8	5.0	E 5.0 / 5.0	57...65	1.0377	1.0387	T61
8.4 / 5.6	D 8.4 / 5.6	7.5	E 7.5 / 7.5	61...60	?	?	?

جدول ۱۰ــ کاربرد فولادهای ازته‌شدنی (نیتروژه)

خواص، کاربرد	درصد تغییر طول نسبی شکست A %	تنش تسلیم $R_{p0.2}$ N/mm²	استحکام کششی R_m N/mm²	11_B	آنیل نرم سختی HB	نوع فولاد: شماره مواد	نوع فولاد: علامت اختصاری
مقایسه با DIN 17211 (94.87)							
قطعات تحت سایش تا ضخامت 250mm سوپاپ اتومبیل	11 10	800 750	1000...1200 900...1100	V V	248 248	1.8515 1.8521	31 CrMo 12 15 CrMoV 5 9
قطعات تحت سایش مقاوم به حرارت تا ضخامت 100mm	11	800	1000...1200	V	248	1.8519	31 CrMoV 9
قطعات تحت سایش مقاوم به حرارت تا $500^{\circ}C$ و ضخامت 80mm ، قطعات توربین بخار	14	600	800...1000	V	248	1.8507	34 CrAlMo 5
برای قطعات مخصوص بزرگ، شاتون، محورها	12	650	850...1050	V	248	1.8550	34 CrAlNi 7

واژه‌نامه

❐الف

استخراج	Extraction
احیا مستقیم	Direct reduction
آهن	Ferrous
آهن خام	Pig iron
استخراج فلزات به روش تر	Hydrometallurgy
استخراج فلزات به روش حرارت	Pyrometallurgy
استحکام نهایی تسلیم	Ultimate Tensile Strength
آلیاژ	Alloy
استاندارد	Standard
آستنیت	Austenite
آلومینیوم	Aluminum
آهنگری	Forging

❐ب

بینیت	Beinite
برشکاری	Cutting
توماس ـ بسمر (روش فولادسازی)	Tomas ـ Besmer
تنش	Stress
تنش تسلیم	Yield stress

Fracture stress	تنش شکست
Tensile test	تست کشش
	❐پ
Polymer	پلیمر
Plastic	پلاستیک
Metallic bonding	پیوند فلزی
Aging	پیرسختی
Pearlite	پرلیت
	❐ج
Periodic table of elements	جدول طبقه‌بندی عناصر
Solid	جامد
Welding	جوشکاری
	❐چ
Cast Iron	چدن
White cast iron	چدن سفید
Grey cast iron	چدن خاکستری
Malleable cast iron	چدن مالیبل
Ductile cast iron	چدن نشکن
Density	چگالی
	❐خ
Milling	خرد کردن

خواص فیزیکی	Physical properties
خواص مکانیکی	Mechanical properties
خزش	Creep
خستگی	Fatigue

ر

ریزساختار	Microstructure
روی	Zinc
ریخته گری	Casting

ز

زیمنس ـ مارتین (روش فولادسازی)	Siemens ـ Martin

س

سرامیک	Ceramic
ساختار اتمی	Atomic Structure
سلول واحد	Lattice
سلول واحد مکعبی ساده	Simple Cubic
سلول واحد مکعبی مرکزدار	Body Centered Cubic
سلول واحد مکعبی با وجوه مرکزیر	Face Centered Cubic
سلول واحد منشور با قاعده شش ضلعی فشرده	Hexagonal Close ـ Packed
سایش	Wear
سختی	Hardness
سختی راکول	Rockwell hardness

Brinell hardness	سختی برینل
Vickers hardness	سختی ویکرز
Cementite	سمانتیت
Lead	سرب
	❐ش
Glass	شیشه
Brittle fracture	شکست ترد
Ductile fracture	شکست نرم
	❐ع
Heat Treatment	عملیات حرارتی
Defect	عیب
	❐غ
screening	غربال کردن
	❐ف
Metal	فلز
Ferrous metal	فلزات آهنی
Non ـ Ferrous metal	فلزات غیرآهنی
Steel	فولاد
Plain carbon steel	فولاد ساده کربنی
Alloy steel	فولاد آلیاژی
Stainless steel	فولاد زنگ نزن

فولاد کم آلیاژ پر استحکام	High Strength Low Alloy
فولاد ابزار	Tools steel
فیبر	Fiber
فریت	Ferrite
❐ق	
قلع	Tin
قلع اندود	Tinning
❐ک	
کوره بلند	Blast furnace
کامپوزیت	Composite
کوره قوس الکتریک	Electric arc furnace
کریستال	Crystal
کرنش	Strain
کرنش شکست	Fracture strain
کار سرد	Cool work
کار گرم	Hot work
❐گ	
گالوانیزه کردن	Galvanizing
گاز	Gas
گلویی شدن	Necking
❐ل	

Rubber	لاستیک
Pipe	لوله
	❐م
Mandaliev	مندلیف
Electron See model	مدل دریای الکترونی
Liquid	مایع
Magnetic	مغناطیس
Stress ــ Strain curve	منحنی تنش ــ کرنش
Elastic zone	منطقه الاستیک
Plastic zone	منطقه پلاستیک
Elongation	میزان ازدیاد طول
Martensit	مارتنزیت
Copper	مس
Powder Metallurgy	متالورژی پودر
	❐ن
Nanomaterials	نانومواد
Tension force	نیروی کششی
Pressure force	نیروی فشاری
Shear force	نیروی برشی
Screw force	نیروی پیچشی
Melting point	نقطه ذوب

Boiling point	نقطه جوش
Rolling	نورد
	❐و
Plate	ورق
	❐هـ
Electrical Conductivity	هدایت الکتریکی
Thermal Conductivity	هدایت حرارتی

منابع و مآخذ

1_ Avner, introduction to physical metallurgy, McGraw Hill, 1983.

2 _ David A. Porter, Phase Transformations in Metals and Alloys, CRC press, 2001.

3_ Dieter, mechanical metallurgy, McGraw Hill, 1984.

4_ Metal handbook 19th edition, vol 1, Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys.

5_ Metal handbook 29th edition, vol, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special _ Purpose Materials.

6_Metal handbook 58th edition, vol, forging & casting.

7_ Metal handbook 19th edition, vol, Metallographic and Microstructures.

۸ــ خواص مکانیکی مواد: فلزات و سرامیک‌ها، نگارش علوم، احمد رزاقیان و آرمان صدقی، ۱۳۸۴

۹ــ خواص فیزیکی مواد، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، احمد رزاقیان و سعید باغشاهی، ۱۳۸۸

۱۰ــ اصول و کاربرد عملیات حرارتی فولادها، دانشگاه صنعتی اصفهان، محمدعلی گلعذار، ۱۳۸۸

۱۱ــ مرجع کامل آلیاژهای آهنی و غیرآهنی، سایه گستر، علیرضا ململی، ۱۳۸۸

۱۲ــ آلومینیوم و آلیاژهای آن، سراجیان، جواد قربانیان و حسین سراجیان، ۱۳۸۸

۱۳ــ خواص فیزیکی و مکانیکی پلیمرها، دانشگاه تهران، سیامک مطهری و ایرج رضاییان، ۱۳۸۶

۱۴ــ انتخاب مواد برای طراحی ــ مهندسی، دانشگاه فردوسی (مشهد)، ترجمه علی حائریان اردکانی، محسن حداد سبزوار و فاتح فاضلی

۱۵ــ جزوه دوره‌های مهندسی بین‌المللی جوش (IIW)، مجموعه شماره دو ــ بخش فولادسازی، مرکز پژوهش و مهندسی جوش ایران

۱۶ــ جزوه دوره‌های مهندسی بین‌المللی جوش (IIW)، مجموعه شماره دو ــ بخش آلیاژهای آهن کربن، مرکز پژوهش و مهندسی جوش ایران