

# فصل هشتم

## فرآیندهای تولید



**هدف رفتاری :** با یادگیری این فصل هنرجو می‌تواند :

- ۱- روش‌های ساخت و تولید سازه‌های صنعتی را نام ببرد.
- ۲- روش‌های مختلف و متداول ریخته‌گری را نام ببرد.
- ۳- مزایا و کاربرد روش‌های ریخته‌گری را نام ببرد.
- ۴- روش آهنگری (فورج) را توضیح دهد و موارد متداول کاربرد آن را در صنعت بیان کند.
- ۵- روش نورد را شرح دهد و موارد کاربرد آن را در صنعت ذکر کند.
- ۶- روش اکستروژن را توضیح دهد و موارد متداول کاربرد آن را در صنعت بیان نماید.
- ۷- روش متالورژی پودر را شرح دهد و موارد کاربرد صنعتی آن را بیان نماید.

## ۸-۱- 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 به نام 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.

## ۸-۲- ریخته‌گری

ریختن مذاب فلزات و آلیاژها در محفظه‌ای به نام قالب با هدف تولید قطعه‌ای با شکل مشخص را ریخته‌گری می‌گویند. این روش قدیمی‌ترین فرآیند شناخته شده برای تولید قطعات صنعتی است. شکل (۸-۱) کوره ذوب یک واحد کوچک ریخته‌گری را نشان می‌دهد. در حال حاضر نیز از بهترین روش‌های ساخت و تولید قطعات صنعتی بشمار می‌رود، به طوری که هنوز هم بیش از ۵۰ درصد قطعات انواع ماشین‌آلات صنعتی با این روش تهیه می‌شوند. فلزاتی که نمی‌توان آن‌ها را به راحتی از روش‌های دیگر شکل‌دهی ساخت، یا چکش‌خواری کمی دارند و نیز قطعاتی که دارای شکل‌های پیچیده هستند به روش ریخته‌گری تولید می‌شوند. به طور 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 (۸-۱) 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 ۸-۱- کوره ذوب و فولادسازی در یک واحد ریخته‌گری کوچک

جدول ۱-۸ - انواع متداول روش‌های قالب‌گیری و موارد کاربرد آنها

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

### ۳-۸- روش‌های مهم ریخته‌گری

۱-۳-۸- ریخته‌گری ماسه‌ای: پرکاربردترین قالب‌های یک بار مصرف، 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 به طور معمول به صورت دوتکه ساخته می‌شود. شکل (۸-۲) نمونه‌ای از مدل چوبی ریخته‌گری پولی پروانه را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۸- تهیه مدل ریخته‌گری ماسه‌ای



شکل ۳-۸- 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 (۳-۸) یک جفت درجه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۸- 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) آن را پر می‌کنند. شکل (۴-۸) نمونه قالب ماسه‌ای پولی پروانه را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۸- ماهیچه گذاری در قالب 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 (۵-۸) نمونه دو ماهیچه استوانه‌ای را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۸- عملیات مذاب‌ریزی



شکل ۷-۸- پرداخت کاری سطحی



شکل ۸-۸- قالب فلزی ریخته‌گری (قالب تولید سر سیلندر در کارخانه ایران خودرو)

یادآوری می‌شود گذاشتن تکه چوبی به صورت شیب‌دار برای ایجاد راهگاه مناسب درون قالب و نیز تعبیه تغذیه‌کننده برای جبران کمبود ماده مذاب به دلیل 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 (۶-۸) زمان مذاب‌ریزی داخل قالب را نشان می‌دهد.

پس از خروج قطعه از قالب لازم است، فلز اضافی و لوله‌های تغذیه مذاب بریده شوند. هم‌چنین سطوح مهم ماشین‌کاری شوند تا سطحی پرداخت شده و دقیق حاصل گردد. شکل (۷-۸) پرداخت کاری نهایی پولی ریخته‌گری شده را نشان می‌دهد.

### ۲-۳-۸- ریخته‌گری در قالب فلزی :

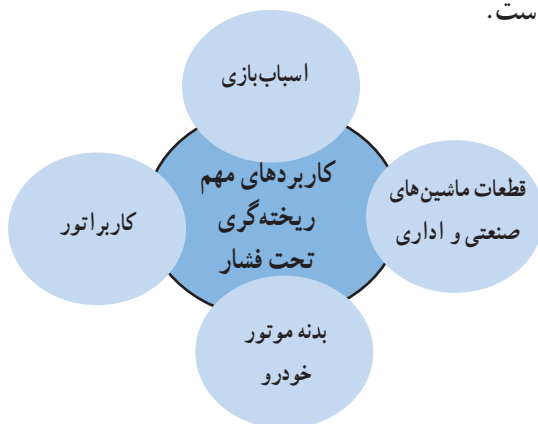
مانند ریخته‌گری در قالب‌های ماسه‌ای است، با این تفاوت که قالب‌ها در این روش فلزی هستند و از آنها برای مدت طولانی استفاده می‌شود. قالب‌ها به‌طور معمول دو تکه ساخته می‌شوند و به وسیله گیره یا پیچ و غیره به هم متصل می‌شوند. (شکل ۸-۸)

### ۳-۳-۸- ریخته‌گری تحت فشار (دایکاست)<sup>۱</sup>: در ریخته‌گری تحت فشار مواد مذاب

تحت فشار به داخل قالب تزریق می‌شوند (بر خلاف روش‌های دیگر که مذاب تحت نیروی وزن خود قالب را پر می‌کند). شکل (۹-۸) یک نمونه از تجهیزات این نوع ریخته‌گری را نشان می‌دهد. تولید قطعات بدون حفره به علت تحت فشار بودن مذاب در درون قالب از مزیت‌های این روش است. بیشتر قطعات آلومینیومی به روش دایکاست ریخته‌گری می‌شوند. در نمودار (۱-۸) موارد پر کاربرد این روش ریخته‌گری و در شکل (۱۰-۸) چند نمونه صنعتی ریخته‌گری شده به این روش نشان داده شده است.



شکل ۹-۸- تجهیزات ریخته‌گری تحت فشار



نمودار ۱-۸- کاربرد ریخته‌گری تحت فشار



شکل ۱۰-۸- چند نمونه از قطعات ریخته‌گری شده به روش دایکاست پیوسته



#### ۴-۳-۸- ریخته‌گری پیوسته : در این روش فلز مذاب به وسیله پاتیل<sup>۱</sup> به محل دستگاه

ریخته‌گری پیوسته حمل می‌شود، سپس مذاب به داخل ظرف نگهدارنده مذاب ریخته می‌شود و به تدریج 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 به شکل جامد از آن خارج می‌شود و توسط جریان آب یا هوا خنک می‌شود. وقتی که طول نیم ساخته منجمد شده به حد معینی برسد به وسیله ابزار برش (مکانیکی یا حرارتی) برش داده می‌شود. در شکل (۸-۱۱) تخلیه مذاب از پاتیل ذوب‌ریزی را در فرآیند ریخته‌گری پیوسته نشان می‌دهد و شکل (۸-۱۲) انجام برش گرم تحت‌الهای گداخته تولید شده به وسیله عملیات ریخته‌گری پیوسته را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۱۲- برش حرارتی نیم ساخته‌های ریخته‌گری شده در حالت گداخته در فرآیند ریخته‌گری پیوسته



شکل ۸-۱۱- تخلیه مذاب یا مذاب‌ریزی از درون پاتیل حمل مذاب در ابتدای خط ریخته‌گری پیوسته.

#### ۴-۸- ریخته‌گری چدن

با توجه به این که 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 ۱ درصد) 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 (۸-۱۳) تخلیه مذاب چدن از کوره یک کارگاه تولید قطعات چدنی را نشان می‌دهد.

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



شکل ۸-۱۳

## ۵-۸- ریخته‌گری فولاد

ریخته‌گری برای تولید قطعات فولادی در مقایسه با قطعات چدنی کاربرد کمتری دارد. ولی



شکل ۸-۱۴- عملیات ذوب‌ریزی از پاتیل حمل مذاب

برخی از قطعات صنعتی که فرم پیچیده‌ای دارند و یا لازم است نیروی زیادی را تحمل کنند از فولادهای ریخته‌گری ساخته می‌شوند.

ریخته‌گری فولادها نیز مشابه چدن‌ها است، با این تفاوت که اگر از روش ریخته‌گری در ماسه استفاده می‌شود، باید ماسه‌ای به کار 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 (۸-۱۴) تخلیه مذاب فولاد را از پاتیل مذاب‌ریزی نشان می‌دهد.



## ۸-۶- 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.

۸-۶-۱ آهنگری<sup>۱</sup>: 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 (۸-۱۵) روش آهنگری سنتی را نمایش می‌دهد.



شکل ۸-۱۵- آهنگری به روش سنتی

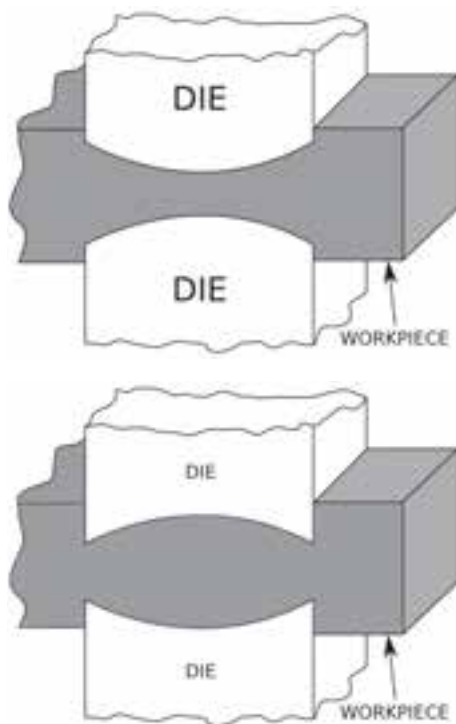
امروزه نیز فلز نیم‌ساخته را که به لقمه معروف است، گداخته (گرم می‌کنند) و در قالب یا سندان قرار داده و با اعمال نیرو به شکل قالب در می‌آورند. شکل (۸-۱۶) دو نمونه از قالب‌های مورد استفاده در این فرآیند شکل‌دهی فلزات را به‌صورت شماتیک نشان می‌دهد. نیرو را می‌توان به آرامی (با پرس هیدرولیک) و یا به‌صورت ضربه‌ای (با پتک مکانیکی) اعمال کرد. نمودار (۸-۲) دسته‌بندی عملیات آهنگری را از لحاظ نوع قالب نشان می‌دهد و در شکل (۸-۱۷) فرآیند آهنگری را در یک واحد بزرگ صنعتی نشان می‌دهد.

آهنگری با قالب باز

آهنگری از نظر نوع قالب

آهنگری با قالب بسته

نمودار ۸-۲- تقسیم‌بندی عملیات آهنگری

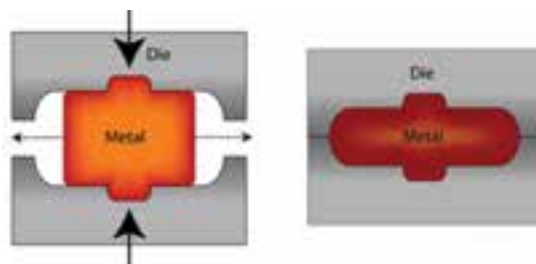


شکل ۸-۱۶- دو نوع قالب فرآیند شکل‌دهی به روش آهنگری



شکل ۸-۱۷- 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 (۸-۱۸) به صورت 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 (۸-۱۹) تصویر دیگری از عملیات آهنگری به روش قالب باز را برای تولید قطعات صنعتی نشان می‌دهد.

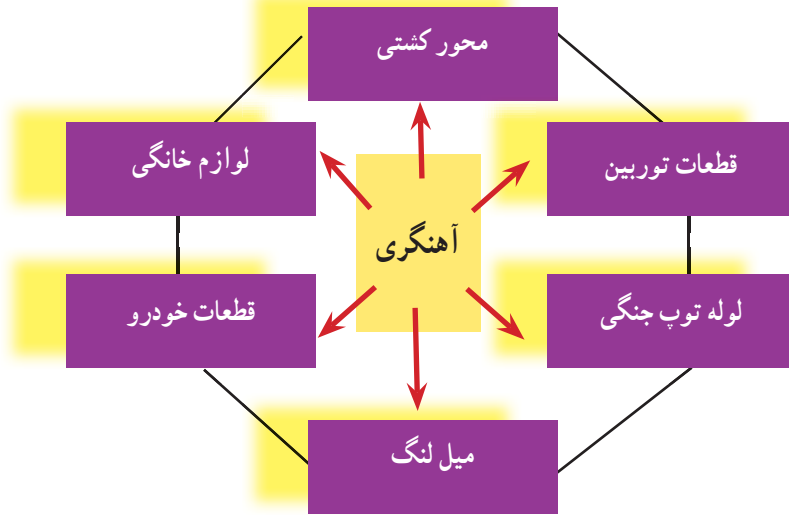


شکل ۸-۱۸



شکل ۸-۱۹- 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 (۸-۳) کاربردهای مختلف قطعات آهنگری شده را در بخش‌های مختلف صنعتی نشان می‌دهد. در شکل (۸-۲۰) تعدادی از قطعات کوچک صنعتی که به وسیله روش آهنگری تولید شده‌اند نشان داده شده است.

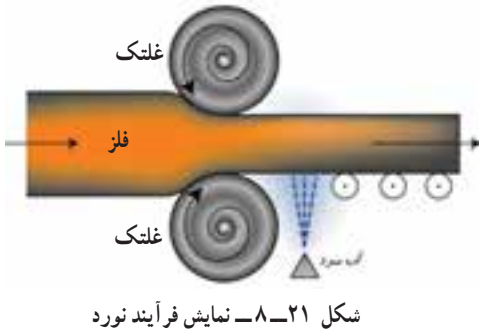


نمودار ۸-۳ کاربرد روش آهنگری در تولید قطعات صنعتی



شکل ۸-۲۰ 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 زمانی که به آن‌ها حرارت داده شود.



۲-۶-۸- نورد: در این روش تغییر

شکل بر اثر عبور قطعه فلزی از میان دو غلنک ایجاد می‌شود (شکل ۸-۲۱). در فرآیند نورد به دلیل نیروهای فشاری، ضخامت قطعه کاهش یافته، طول و پهنای آن اضافه می‌شود. شکل (۸-۲۲) خط نورد گرم در کارخانه فولاد مبارکه اصفهان را نشان می‌دهد.



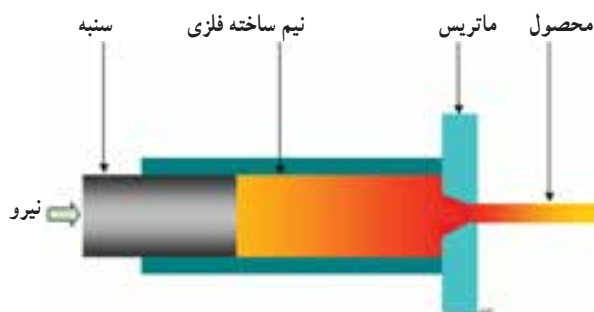
شکل ۸-۲۲- خط نورد گرم در کارخانه فولاد مبارکه اصفهان

یادآوری می‌شود قسمت اعظم فلزات و آلیاژها در کارخانه‌های تولید مواد فلزی به صورت شمش یا نیم ساخته تولید می‌شوند و سپس در کارگاه‌های صنعتی توسط دستگاه‌های نورد به ورق، تیر آهن، تسمه، ریل، نبشی و غیره تبدیل می‌شوند. شکل (۸-۲۳) چند نمونه از محصولات صنعتی تولید شده به روش نورد را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۲۳- بعضی از محصولات فولادی تولید شده به وسیله عملیات نورد

۳-۶-۸- اکستروژن<sup>۱</sup>: عبارت است از عبور دادن فلز گداخته نیم ساخته فلزی از روزنه یک قالب توسط اعمال نیرو برای تولید مقطعی با شکل دلخواه شکل (۲۴-۸). برای این منظور ابتدا ماتریسی<sup>۲</sup> به فرم مقطع شمش مورد نظر تهیه و در پیشانی سیلندر پرس نصب می کنند. سپس فلز گداخته ای را که هم قطر محفظه پرس هیدرولیک است به پودر شیشه آغشته می کنند و در داخل محفظه قرار می دهند. سمبه پرس هیدرولیک از پشت به فلز گداخته فشار وارد می کند و آن را از داخل روزنه ماتریس به بیرون می راند. شکل (۲۵-۸) این عملیات را نشان می دهد. استفاده از پودر شیشه باعث کم کردن اصطکاک شده و عمل رانش بلوک را آسان تر می کند. بیشترین کاربرد این روش برای تولید پروفیل های فلزات غیر آهنی مثل آلومینیوم است. شکل (۲۶-۸) نمونه هایی از پروفیل های تولید شده به روش اکستروژن را نشان می دهد.



شکل ۲۴-۸- نمونه ای از قالب مورد استفاده در فرآیند اکستروژن

شکل ۲۵-۸- فرآیند اکستروژن در تولید قطعات صنعتی

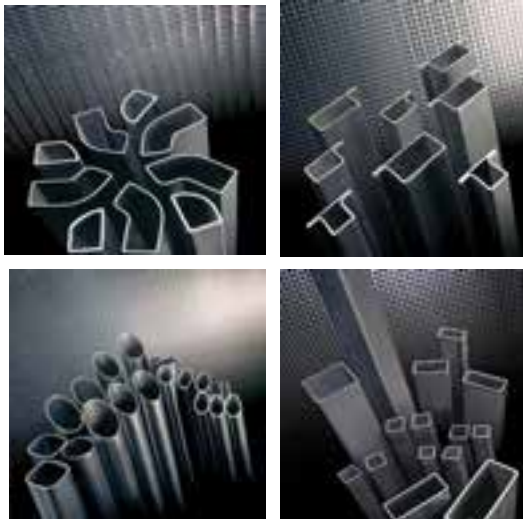
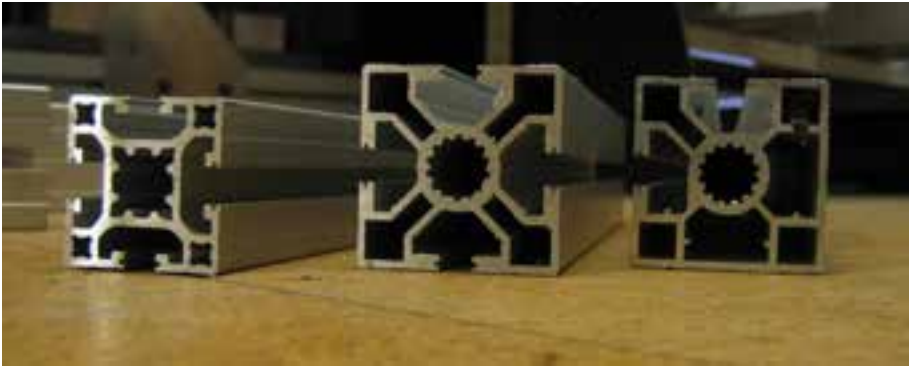


شکل ۲۶-۸- اعمال فشار توسط پرس هیدرولیک به فلز گداخته در فرآیند اکستروژن

۱- Extrusion

۲- نوعی قالب است که فلز گداخته با فشار از داخل آن عبور می کند و شکل مقطع خروجی آن را به خود می گیرد.





شکل ۲۷-۸- پروفیل‌های مختلف فلزی تولید شده به روش اکستروژن

## ۸-۷- متالورژی پودر

متالورژی پودر فرآیند قالب‌گیری قطعات فلزی از پودر فلز توسط اعمال فشار زیاد می‌باشد. در این فرآیند پس از عمل فشردن پودر فلز، عمل تف‌جوشی در درجه حرارت زیر نقطه ذوب و در فشار یک اتمسفر انجام می‌پذیرد که در آن ذرات فلز ضمن متراکم شدن، به هم جوش می‌خورند. نمودار (۸-۴) مراحل مختلف تولید قطعات صنعتی به روش متالورژی پودر را نشان می‌دهد.

# فرآیند متالورژی پودر



نمودار ۴-۸- مراحل مختلف روش متالورژی پودر در تولید قطعات صنعتی

یکی از مزایای این روش قابلیت آن برای تولید قطعات پیچیده با کیفیت بالا و تolerانس‌های دقیق با رعایت جنبه‌های اقتصادی است. شکل (۲۸-۸) کاربرد روش متالورژی پودر در تولید قطعات صنعتی و نمونه‌هایی از قطعات تولید شده به این روش را نشان می‌دهد.

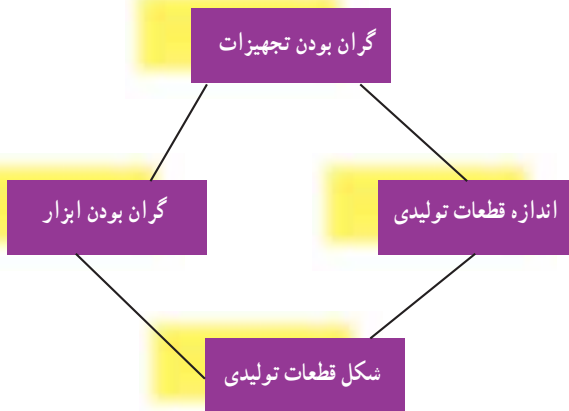


یکی از کاربردهای رایج قطعات متالورژی پودر در صنایع خودروسازی می‌باشد. از دیگر قطعات تولید شده به روش متالورژی پودر می‌توان به تولید رشته‌های تنگستنی لامپ، بوش‌های خود روانساز، اتصالات الکتریکی، اجزاء ترمیمی بدن، قطعات ماشین‌های اداری، صافی‌های مورد مصرف در دمای بالا، قطعات ضدسایش، قطعات توربین و آمالگام‌های دندانپزشکی اشاره نمود. شکل (۸-۲۹) نمونه‌های دیگری از قطعات تولید شده به روش متالورژی پودر را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۲۹- نمونه‌هایی دیگر از محصولات تولید شده به روش متالورژی پودر

با وجود تمامی مزیت‌های متالورژی پودر، محدودیت‌هایی نیز در این روش وجود دارد. نمودار (۸-۶) به محدودیت‌های روش متالورژی پودر اشاره می‌کند.



نمودار ۸-۶- محدودیت‌های روش متالورژی پودر

با این وجود بیشتر قطعات تولید شده بوسیله متالورژی پودر کمتر از  $\frac{2}{3}$  کیلوگرم وزن دارند، اگرچه می‌توان قطعاتی با وزن ۱۶ کیلوگرم را هم به وسیله ماشین‌آلات متعارف متالورژی پودر تولید کرد. هم‌چنین گران بودن ابزار و تجهیزات خط تولید باعث می‌شود که ظرفیت تولید پایین، غیراقتصادی گردد.

- ۱- در صنعت کدام روش قالب گیری فراگیرتر از سایر روش ها است؟  
 الف) بوته ای    ب) ماسه ای    ج) سرامیکی    د) تحت فشار
- ۲- کدام گزینه غلط بیان شده است؟  
 الف) در روش قالب ماسه ای قالب و مدل یک بار مصرف هستند.  
 ب) قالب فلزی برای مدت طولانی مورد استفاده واقع می شود.  
 ج) در روش قالب گیری دقیق مدل هم یکبار مصرف است.  
 د) در ریخته گری تحت فشار قطعات محکم و بدون مک تولید می شود.
- ۳- کدام گزینه نادرست است؟ بیان شده است که.  
 الف) از مزایای فرج نداشتن ضایعات است.  
 ب) تمامی فلزات را می توان 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.
- ۴- چگونگی استفاده از نورد در ساخت را بنویسید.
- ۵- ماده اولیه نیم ساخته های فولادی چه شکلی دارد و چگونه شکل می گیرد؟
- ۶- تف جوش یعنی چه و در کجا مورد استفاده واقع می شود؟
- ۷- مزایای تولید به روش متالورژی پودر را بنویسید.
- ۸- کاربرد متالورژی پودر در صنایع اتومبیل کدام است؟
- ۹- محدودیت های تولید به روش متالورژی پودر را بنویسید.
- ۱۰- در کدام روش ماشین کاری، قطعه کار ضمن عبور از ابزارهای برنده متوالی شکل می گیرد؟  
 الف) تراشکاری    ب) فرزکاری    ج) خان کشی    د) سنگ زنی

# فصل نهم

## انتخاب مواد



**هدف‌های رفتاری :** با یادگیری این فصل هنرجو می‌تواند :

- ۱- مراحل عرضه یک محصول به بازار را نام ببرد.
- ۲- فرآیند انتخاب مواد را شرح دهد.
- ۳- دلایل کلی انتخاب مواد اجزاء یک محصول را بیان نماید.



## ۹-۱- مقدمه

در فصل‌های قبل با مواد مختلف صنعتی، خواص و موارد کاربرد آنها در صنعت آشنا شدیم و به صورت 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.

## ۹-۲- 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  $CK60$  و  $CK70$  می‌باشد که دلیل آن قابلیت سختی‌پذیری سطحی آن و در نتیجه مقاومت به سایش مناسب می‌باشد. از مواد سرامیک و یا پلیمر نمی‌توان استفاده کرد چون: سرامیک‌ها ترد و شکننده هستند و پلیمرها با وجود چقرمگی مناسب، استحکام لازم برای تحمل وزن قطار را ندارد (شکل ۹-۱).



شکل ۹-۱- 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



شکل ۹-۲- کشتی مسافربری ساخته شده از آلیاژهای آلومینیومی



شکل ۹-۳- کشتی غول پیکر ساخته شده از فولاد کربنی

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 سبک بودن مزیت دارند. بنابراین برای ساخت کشتی‌های غول‌پیکر که استحکام بالاتری نیاز دارند فولاد گزینه مناسب‌تر است (شکل ۹-۳) (برای جلوگیری از خوردگی آن از سیستم حفاظتی استفاده می‌کنند) و در ساخت کشتی‌های مسافربری (شکل ۹-۲) و قایق‌ها که سرعت آنها نیز اهمیت پیدا می‌کند، استفاده از آلیاژهای آلومینیومی مناسب‌تر است.

### ۹-۲-۱- خودرو: جنس ورق‌های مورد استفاده در بدنه خودروها به‌طور عمده از

فولادهای میکروآلیاژی می‌باشد (شکل ۹-۴) چون:

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



شکل ۹-۴- بدنه خودرو به‌طور معمول از فولادهای میکروآلیاژی (کم آلیاژ) ساخته می‌شود.

۹-۲-۲- هواپیما: بدنه هواپیما را از آلیاژهای آلومینیوم می‌سازند شکل (۹-۵) چون: نسبت استحکام به وزن بالایی دارند (حدود سه برابر فولاد است).



شکل ۹-۵- بدنه هواپیما به‌طور معمول از آلیاژهای آلومینیوم ساخته می‌شود.

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

#### سرامیک‌ها

۱- قابلیت شکل پذیری کمی دارند.

۲- ترد و شکننده هستند.

#### پلیمرها

۱- استحکام پایینی دارند.

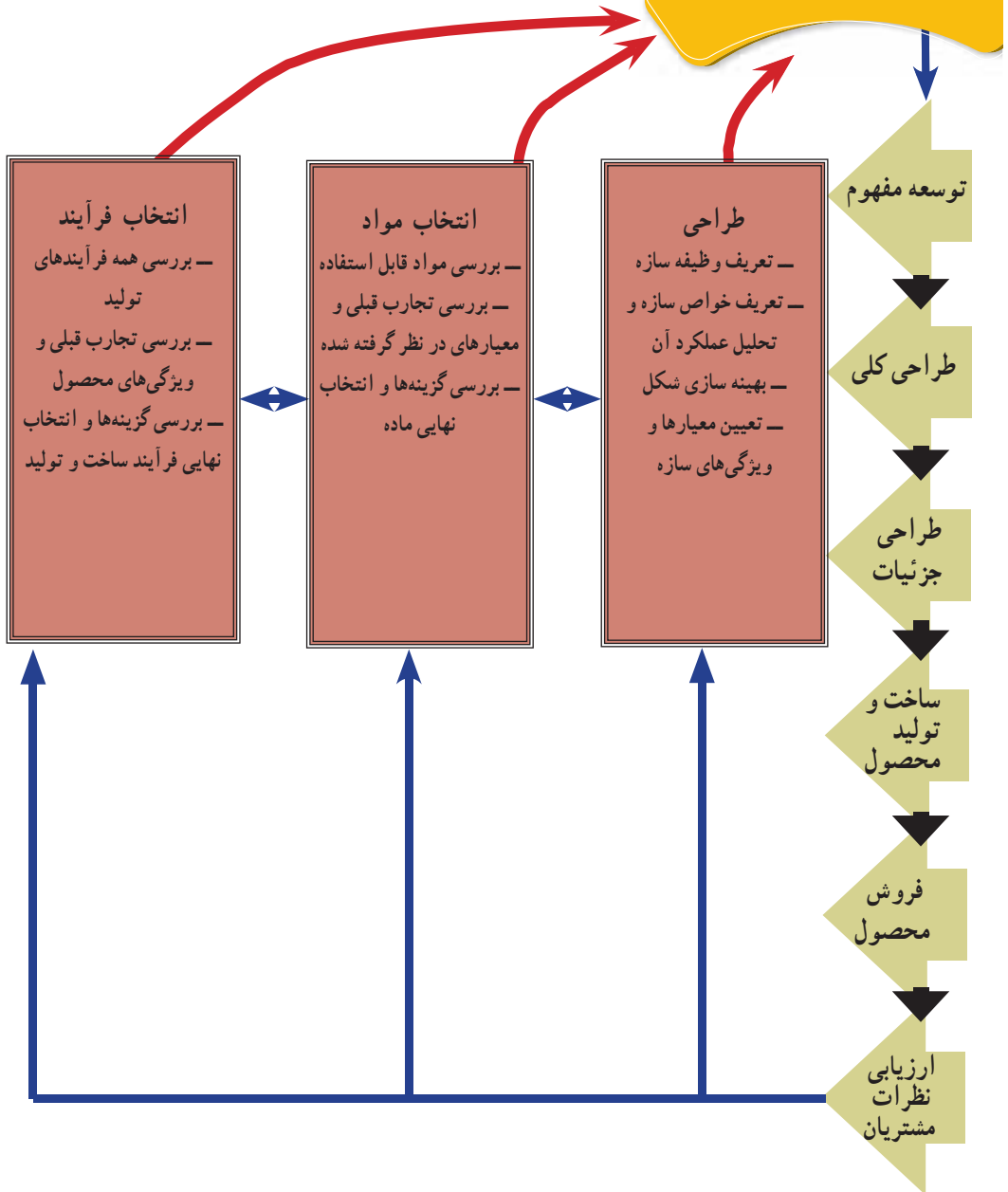
۲- قابلیت اتصال مناسبی ندارند.

### ۹-۳- مراحل طراحی، ساخت و تولید سازه‌های صنعتی

به‌طور کلی در فرآیند ساخت و تولید محصول صنعتی مراحل متعددی وجود دارد که باید به آنها

پرداخته شود. در نمودار (۹-۱) به مراحل اصلی و مهم اشاره شده است.

## پیدایش نیاز جدید در بازار



نمودار ۱-۹- 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.

#### ۹-۴-۹- روند انتخاب مواد صنعتی

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

۹-۴-۹-۱ 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 سنبله است. این ماده باید بسیار سخت باشد تا باعث سایش دیگر اجسام شده ولی خودش سائیده نشود.

۹-۴-۹-۲ شناسایی مواد قابل استفاده: با توجه به نیازها و محدودیت‌های تعیین شده در مرحله قبل، مواد قابل استفاده شناسایی و معرفی می‌شوند.

۹-۴-۹-۳ 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 - 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:

۱- 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 حالی که شرایط کار قطعه دوم بسیار راحت‌تر است.

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

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

۴-۴-۹- تصمیم‌گیری: در این مرحله با در نظر گرفتن تمام معیارها(فنی، اقتصادی، زیست محیطی 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 ۶-۹).



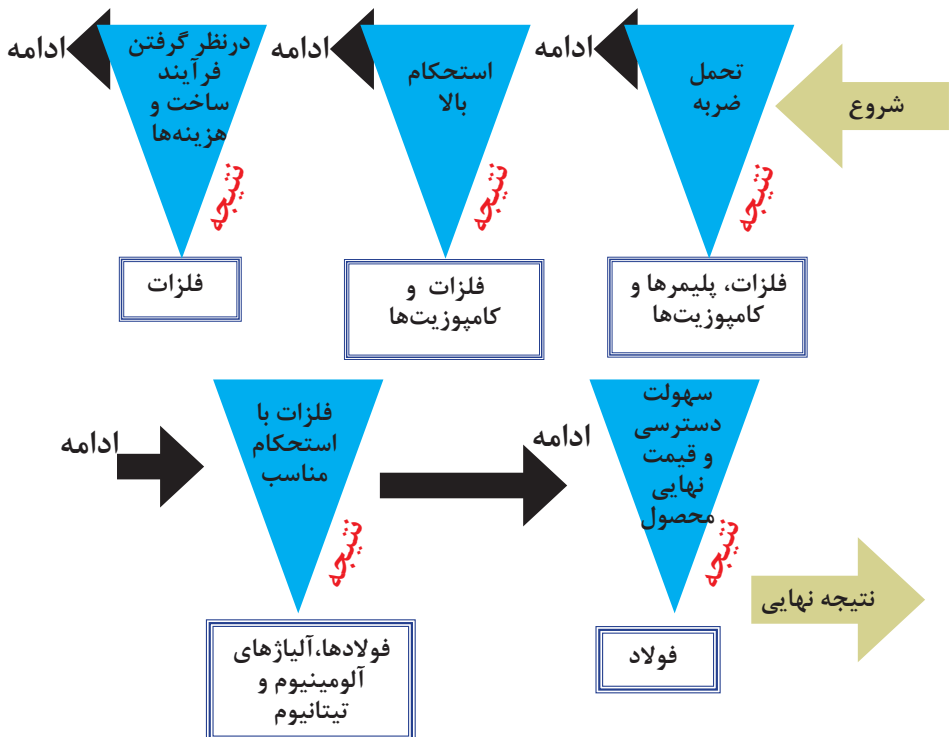
شکل ۶-۹- بخش‌های مختلف یک دوچرخه که باید از مواد مناسب ساخته شوند.



**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 (۲-۹) نشان داده شده است.



نمودار ۲-۹- 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.

ب) **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 بالایی 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 برقی**: مهم‌ترین وظیفه سیم برق آن است که جریان را به خوبی 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) **زنجر**: وظیفه زنجر دوچرخه، انتقال نیرو از رکاب به چرخ عقب است. از آنجایی که زنجر 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 زنجر 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 زنجر 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

- ۱- چرا برای ساخت بدنه کشتی‌های کوچک از آلومینیوم استفاده می‌شود؟
- ۲- دلایل استفاده از پلیمر در ساخت قایق‌های تندرو را بنویسید.
- ۳- گزینه‌هایی که در انتخاب مواد برای یک سازه صنعتی مد نظر است کدام است؟
- ۴- CK۶۰ و CK۷۰ در ردیف کدام گروه از فولادها هستند؟

# پیوست‌ها

## جدول ۱- ویژگی‌ها و کاربرد فولادهای ابزار

مقایسه با (10.80) DIN 17350					
علامت اختصاری	شماره مواد	سختی HB <sup>11</sup>	دمای سخت کاری °C	A <sup>21</sup>	مثال‌های کاربردی
<b>فولادهای سرد کار غیر آلیاژی</b>					
C 60 W	1.1740	231	800...830	Ö	اجزای قالب، شافت قالب‌های تندر و فلزات سخت
C 70 w2	1.1620	183	790 ... 820	W	ابزار هوای فشرده در صنایع معدن و جاده‌سازی
C 80 W1	1.1525	192	780 ... 810	W	قالب با حفزه تخت، قلم‌دستی، ماتریس ضربه سردکار، چاقو
C 85 W	1.1830	222	800 ... 830	Ö	تیغه اره نواری و دیسکی برای ماشینکاری چوب، تیغه ماشین‌های درو
C 105 W1	1.1545	213	770 ... 800	W	ابزار پیچ‌بری، قالب اکستروژن، قالب حکاک، فرمان‌ها

## جدول ۲- ویژگی‌ها و کاربرد فولادهای ابزارسازی پر آلیاژ

فولادهای سردکار					
علامت اختصاری	شماره مواد	سختی HB	دمای سختکاری °C	A <sup>21</sup>	مثال‌های کاربردی
X 19 N CrMo 4	1.2767	255	780 810	L	فولاد سختکاری سطحی هو سخت شکل دهنده مصنوعی
X 36 CrMo 17	1.2316	285	1000 1040	Ö	بز کاوی و ترموپلاستی که خصوصاً خردنگی شیمیایی دارند
X 210 CrW 12	1.2436	255	950 980	L	بز برش تیغه‌های خان‌کنشی بز بیج نی غلثکی قالب‌های پرس نال سند بلاست
<b>فولادهای گرم کار</b>					
19 N CrMoV 7	1.2714	248	860 900	L	سنبه کستروژن قالب چکنشی
X 38 CrMoV 51	1.2343	229	1000 1040	L	قالب قالب یخته‌گری تحت فشار فلزات سبک
X 32 CrMoV 33	1.2365	229	1010 1050	Ö	نوبی قالب هنگری بسته قالب هنگری قالب یخته‌گری تحت فشار فلزات سبک و سنگین
<b>فولادهای تندر</b>					
S 6 5 2	1.3343	240 تا 300	1190 1230	Ö L	تیغه‌های خان‌کنشی مته ما بیج تیغه فر برفو قلاویز خزین ن قالب برش ظرف
S 6 5 2 5	1.3243		1200 1240	Ö L	تیغه فر مته ما بیج قلاویز
S 10 4 3 10	1.3207		1210 1250	Ö L	نده ترشکای و فولادهای قالب
S 18 1 2 5	1.3255		1260 1300	Ö L	نده ترشکای نده صفحه ترش تیغه فر
1- وضعیت تحویل 2- وسیله سخت کردن (ترساندن) ب W و غن Ö هو L					

### جدول ۳- ویژگی ها و کاربرد فولادهای سردکار آلیاژی

مقایسه با (10.80) DIN 17350					
مثال های کاربردی	A <sup>21</sup>	دمای سخت کاری °C	سختی HB <sup>11</sup>	شماره مواد	علامت اختصاری
ابزار براده برداری مواد مصنوعی که ماشینکاری شده و سختکاری سطحی (سمانتاسیون) می شود.	Ö	810...840	212	1.2436	21 MnCr 5
برش ورق فولادی 6...15mm، ماتریس آرایشی، بیرون انداز، سنبه سوراخ کاری سردکار	Ö	870 ... 900	229	1.2550	60 WCrV 7
شکل دادن مواد مصنوعی، تکه های براده برداری و سنبه ها، قالب های کنش عمیق، ابزار اندازه گیری	Ö	790 ... 820	229	1.2842	90 MnCrV 8
فرامین، سنبه های کنش، ابزار براده برداری چوب، قرقره لبه دار کردن سر لوله، سنبه	Ö	790 ... 820	223	1.2067	100 Cr 6
فلاویز، بیرون انداز، سنبه، خزینه زن، قلم (فولاد نقره)	W	760 ... 810	223	1.2210	115 CrV 3
حدیده، تیغه فرز، برقو، فرامین ابزار اندازه گیری، ابزار پیچ زنی، سنبه	Ö	800...830	229	1.2419	106 WCr 6

### جدول ۴- ویژگی ها و کاربرد فولادهای مقاوم به حرارت

مقایسه با (10.83) DIN 17155									
نوع فولاد	استحکام کششی R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	درصد تغییر طول نسبی شکست A به %	تنش تسلیم Re به N/mm <sup>2</sup> در دمای به C					خواص، کاربرد	
			20	200	300	400	500		
UHI	1.0348	280...400	25	195	135	95	70	-	مخصوص همه روش های جوشکاری ذوبی و جوشکاری برقی لب به لب ضربه ی، مخزن های تحت فشار، لوله های تحت فشار، تأسیسات دیگ بخار
HI	1.0345	360...480	24	235	185	140	110	-	
HII	1.0425	410...530	22	265	205	155	130	-	
17 Mn 4	1.0481	460...580	21	290	245	205	155	-	
19 Mn 6	1.0473	510...650	20	355	265	225	175	-	
15 Mo 3	1.5415	440...590	20	275	225	180	160	150	
13 C Mo 4 4	1.7335	440...590	20	300	240	215	190	175	
10 C Mo 9 10	1.7380	480...630	18	310	245	230	205	185	

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

## جدول ۵- ویژگی‌ها و کاربرد فولادهای ضد زنگ

مقایسه با (07.85) DIN 17440

نوع فولاد	شماره مواد	B	سختی HB	استحکام کششی $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	تنش تسلیم $R_p^{0.2}$ N/mm <sup>2</sup>	درصد تغییر طول نسبی شکست A %	خواص، کاربرد
X 6 C 13	1.4000	G	185	400...600	250	20	فولادهای فریتی قابل تغییر شکل سرد، برده برد ری بد، قابلیت جوشکاری مشروط؛ جزای مانع و محافظ، پوشش
X 6 C A 13	1.4002	V	-	550...700	400	18	
X 6 C 17	1.4016	G	185	450...600	270	20	
X 6 C T 17	1.4510	G	185	450...600	270	20	
X 10 C 13	1.4006	G V	200 -	450...650 600...800	250 420	20 18	فولادهای مارتنزیتی سختکاری شونده، برده برد ری خوب، گاهی جوشکاری نشدنی، قطعات با استحکام بالا؛ محوره‌های ثابت و گردن، صنایع جراحی
X 20 C 13	1.4021	G V	230 -	$\leq 740$ 650...800	- 450	- 14	
X 38 C 13	1.4031	G	250	$\leq 800$	-	-	
X 45 C MoV 15	1.4116	G	280	$\leq 900$	-	-	
X 5 C N 18 10	1.4301	A	-	500...700	195	45	فولادهای آستنیتی قابلیت خوب تغییر شکل سرد، جوشکاری خوب، برده برد ری بد؛ صنایع شیمیایی و تغذیه
X 6 C N T 18 10	1.4541	A	-	500...730	200	40	
X 6 C N MoT 17 12 2	1.4571	A	-	500...730	210	35	
X 2 C N Mo 18 16 4	1.4438	A	-	490...690	230	35	

۱- وضعیت عملیات حرارتی: G آنیل شده، V بهسازی شده، A سخت شده (ترسانده شده).  
مقادیر استحکام بری فولاد تسه تا ضخامت 25mm و تولید ت صفحه ی شکل (ورق و نور) تا ضخامت 12mm صادق ست.



جدول ۶- ویژگی ها و موارد استفاده فولادهای تسمه و ورق

مقایسه با (2.86) DIN 1623 T2

نوع فولاد	C %	استحکام کششی R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	تنش تسلیم R <sub>e</sub> N/mm <sup>2</sup>	درصد تغییر طول نسبی شکست % A	سختی HRB	خواص، کاربرد	
							علامت اختصاری
St 37.2 G	0.17	360...510	215	20	-	تولیدات صفحه‌ای شکل نورد سرد طبق DIN 1623 T2 در ضخامت 3mm استاندارد شده است.	
St 37.2 G							1.0037 G
St 37.3 G							1.0116 G
St 44.3 G	0.20	430...580	245	18	-	در مورد نبود محدودیت جوشکاری چیزی نمی‌توان گفت. همه انواع و سطوح تولید، مخصوص پوشش رنگ است.	
St 52.3 G	1.0570 G	510...680	325	16			
St 50.2 G	1.0050 G	490...660	295	14			
St 60.2 G	0.50	590...770	335	10	-		
St 70.2 G	1.0070 G	690...900	365	6			

جدول ۷- ویژگی ها و کاربرد فولادهای نسوز

موارد استفاده	ویژگی ها	علامت اختصاری
لوله‌های بخار داغ	قابلیت جوشکاری خوب	14 CrMo 4
سویاپ‌های موتورهای احتراقی	مقاوم در مقابل سایش و خوردندگی	X 45 Cr Ni W 15 13 X 45 Cr Ni Si 19 10
قطعات کوره‌های صنعتی، جعبه‌های بهسازی	مقاوم در مقابل سوختن (تا ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد)	X 15 Cr Ni Si 25 20

جدول ۸- ویژگی ها و کاربرد فولادهای فنر قابل بهسازی

مقیاسه با (12.72) DIN 17221

نوع فولاد		وضعیت عملیات حرارتی بهسازی شده					درصد تغییر طول نسبی شکست A %	خواص، کاربرد
علامت اختصاری	شماره مواد	نورد گرم سختی HB	آنیل نرم سختی HB	استحکام کششی R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	تنش تسلیم R <sub>p0.2</sub> N/mm <sup>2</sup>			
38 S 7	1.0970	240	217	1180...1370	1030	6	حلقه های فنری، صفحات فنری	
51 S 7	1.0903	270	245	1320...1570	1130	6	فنرهای تخت و مخروطی	
60 S C 7	1.0961	310	255	1320...1570	1130	6	فنرهای بشقابی و ستون نه ی	
55 C 3	1.7176	310	248	1370...1620	1180	6	فنرهای تخت؛ بشقابی؛ ستون نه ی تخت تنش بالا	
50 C V 4	1.8159	310	241	1370...1670	1180	6		
51 C Mo 4	1.7701	310	255	1370...1670	1180	6		

مقادیر استحکام بری قطعات با قطر 10mm صادق ست.  
مدول الاستیسیته حدود E=200 000 N/mm<sup>2</sup> و مدول برشی (مدول بانکی) G =800 000 N/mm<sup>2</sup> ست.

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

مقایسه با (10.84) DIN 1616

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

تقسیم بندی طبق درجه سختی			تقسیم بندی طبق پوشش قلع				
علامت اختصاری	شماره مواد		سختی راکول HR 30 Tm	دو طرفه مساوی		دو طرفه نامساوی	
	ورق سفید	ورق ظریف		علامت کوتاه	پوشش قلع هر طرف به $g/m^2$	علامت کوتاه	پوشش قلع هر طرف به $g/m^2$
T50	.038	.037	< 52	E .0 / .0	.0	D 2.0 / .0	2.0 / .0
T52	.0382	.0372	48...56	E 2.8 / 2.8	2.8	D 5.0 / 2.8	5.0 / 2.8
T57	.0385	.0375	54...6	E 4.0 / 4.0	4.0	D 7.5 / 5.0	7.5 / 5.0
T6	.0387	.0377	57...65	E 5.0 / 5.0	5.0	D 5.6 / 2.8	5.6 / 2.8
?	?	?	6 ...60	E 7.5 / 7.5	7.5	D 8.4 / 5.6	8.4 / 5.6

جدول ۱۰- کاربرد فولادهای از ته شدنی (نیتروژنه)

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

## واژه‌نامه

	الف □
Extraction	استخراج
Direct reduction	احیا مستقیم
Ferrous	آهن
Pig iron	آهن خام
Hydrometallurgy	استخراج فلزات به روش تر
Pyrometallurgy	استخراج فلزات به روش حرارت
Ultimate Tensile Strength	استحکام نهایی تسلیم
Alloy	آلیاژ
Standard	استاندارد
Austenite	آستنیت
Aluminum	آلومینیوم
Forging	آهنگری
	ب □
Beinlite	بینیت
Cutting	برشکاری
Tomas – Besmer	توماس – بسمر (روش فولادسازی)
Stress	تنش
Yield stress	تنش تسلیم

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

Physical properties	خواص فیزیکی
Mechanical properties	خواص مکانیکی
Creep	خزش
Fatigue	خستگی
	□ر
Microstructure	ریزساختار
Zinc	روی
Casting	ریخته‌گری
	□ز
Siemens – Martin	زیمنس – مارتین (روش فولادسازی)
	□س
Ceramic	سرامیک
Atomic Structure	ساختار اتمی
Lattice	سلول واحد
Simple Cubic	سلول واحد مکعبی ساده
Body Centered Cubic	سلول واحد مکعبی مرکزدار
Face Centered Cubic	سلول واحد مکعبی با وجوه مرکزپر
Hexagonal Close – Packed	سلول واحد منشور با قاعده شش ضلعی فشرده
Wear	سایش
Hardness	سختی
Rockwell hardness	سختی راکول

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 – Ferrous metal	فلزات غیر آهنی
Steel	فولاد
Plain carbon steel	فولاد ساده کربنی
Alloy steel	فولاد آلیاژی
Stainless steel	فولاد زنگ نزن



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

Rubber	لاستیک
Pipe	لوله
	□ م
Mandaliev	مندلیف
Electron See model	مدل دریای الکترونی
Liquid	مایع
Magnetic	مغناطیس
Stress – Strain curve	منحنی تنش – 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.
- ۸\_ خواص مکانیکی مواد: فلزات و سرامیک‌ها، نگارش علوم، احمد رزاقیان و آرمان صدقی، ۱۳۸۴
- ۹\_ خواص فیزیکی مواد، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، احمد رزاقیان و سعید باغ‌شاهی، ۱۳۸۸
- ۱۰\_ اصول و کاربرد عملیات حرارتی فولادها، دانشگاه صنعتی اصفهان، محمدعلی گل‌نذار، ۱۳۸۸
- ۱۱\_ مرجع کامل آلیاژهای آهنی و غیر آهنی، سایه گستر، علیرضا ململی، ۱۳۸۸
- ۱۲\_ آلومینیوم و آلیاژهای آن، سراجیان، جواد قربانیان و حسین سراجیان، ۱۳۸۸

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

۱۳۸۶

۱۴- انتخاب مواد برای طراحی - مهندسی، دانشگاه فردوسی (مشهد)، ترجمه علی حائریان

اردکانی، محسن حداد سبزواری و فاتح فاضلی

۱۵- جزوه دوره‌های مهندسی بین‌المللی جوش (IIW)، مجموعه شماره دو - بخش فولادسازی،

مرکز پژوهش و مهندسی جوش ایران

۱۶- جزوه دوره‌های مهندسی بین‌المللی جوش (IIW)، مجموعه شماره دو - بخش آلیاژهای

آهن کربن، مرکز پژوهش و مهندسی جوش ایران

