



اصول و کاربردهای علم مواد در مهندسی مکانیک

فصل اول:
مقدمه‌ای بر کاربرد علم مواد در
مهندسی مکانیک

اصول علم مواد

1

Material Science- Dr. Farahnakian- 99-1



مقدمه

- مهندسی مکانیک جزء متنوع‌ترین رشته‌های مهندسی است. مهندسان مکانیک، ماشین‌ها و تجهیزاتی را طراحی کرده و می‌سازند که انسان را قادر می‌سازد در فضا، در هوا، روی زمین و یا زیر دریا زندگی کند.
- طبیعتاً بسیاری از آنچه مهندسان می‌توانند یا نمی‌توانند انجام دهند بستگی به ماده‌ای دارد که آن‌ها برای انجام کارشان نیاز دارند. این همان دلیلی است که باعث شده مهندسان مکانیک نیاز به فراگیری علم مواد داشته باشند تا بتوانند با انتخاب ماده مناسب و درخور برای کار خود، ماشین یا تجهیزاتی با بهترین کارایی طراحی کرده و بسازند.

2

Material Science- Dr. Farahnakian- 99-1



ارتباط علم مواد با مهندسی مکانیک

• فرآیند طراحی

• مهندسی مجدد

• مهندسی معکوس

اصول علم مواد - دکتر فرحناکیان

3

Material Science- Dr. Farahnakian- 99-1



معیارهای طراحی و علم مواد

۱- خواص مکانیکی

- آیا شرایط بارگذاری استاتیکی به گونه‌ای است که نیازمند ملاحظات ویژه در زمینه ساخت باشد؟
- آیا خرابی قطعه در طول فرآیند ساخت محتمل است و اگر چنین است چگونه؟
- آیا احتمال دارد که سازه تحت بارهای عملی قرار بگیرد؟ نوع و بزرگی این بارها چقدر است؟
- آیا احتمال دارد که سازه تحت بارهای سیکلی قرار بگیرد؟ نوع، بزرگی و فرکانس این بارها چقدر است؟
- آیا قطعه به مقاومت بیایمی نیازمند است؟
- آیا خواص قطعه در محدوده تغییرات درجه حرارت آن پایدار می‌باشند؟
- مقدار مجاز تغییر شکل قطعه چقدر است؟

4

Material Science- Dr. Farahnakian- 99-1



معیارهای طراحی و علم مواد

۲- خواص فیزیکی

- آیا فرآیند ساخت بر خواص الکتریکی موردنیاز از قطعه تاثیر می گذارد؟
- آیا فرآیند ساخت بر خواص مغناطیسی موردنیاز از قطعه تاثیر می گذارد؟
- آیا فرآیند ساخت بر خواص گرمایی موردنیاز از قطعه تاثیر می گذارد؟
- آیا وزن فاکتور با اهمیتی است؟
- آیا ظاهر قطعه فاکتور با اهمیتی است؟

5

Material Science- Dr. Farahnakian- 99-1



معیارهای طراحی و علم مواد

۳- شرایط کارکردی

- محدوده درجه حرارت کاری سیستم و نرخ تغییرات درجه حرارت به چه مقدار است؟
- شدیدترین محیط مورد انتظار از نقطه نظر خوردگی و زوال خواص ماده چیست؟
- عمر کاری موردنیاز از قطعه چقدر است؟
- مراقبت‌های مورد انتظار در رابطه با این قطعه در چه سطحی است؟
- احتمال خرابی قطعه چقدر است؟
- زمان مورد انتظار تا تعمیر این قطعه چقدر است؟
- میزان مسخولیت در صورت خرابی قطعه چقدر است؟

6

Material Science- Dr. Farahnakian- 99-1



معیارهای طراحی و علم مواد

- مثال ۱: ترکیب استحکام و چکش‌خواری (انعطاف‌پذیری) که از آن به چقرمگی یاد می‌شود. مثلاً میل‌لنگ خودرو نیاز است هم دارای استحکام بالایی باشد و هم دارای مقاومت به ضربه خوبی برخوردار باشد، که جمع شدن این دو خاصیت در یک‌جا هم مشکل بوده و نیاز به آشنایی با علم مواد دارد.
- مثال ۲: پره‌های توربین نمونه بسیار خوبی از این مورد است. پره توربین در شرایط دما بالا کار می‌کند، بنابراین باید از جنس یا ماده‌ای ساخته شود که قادر باشد تنش‌ها را در این دمای بالا تحمل کرده و با پدیده خزش مقابله کند. از طرف دیگر جنس آن باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که در این دمای بالا اکسید نشود.
- مثال ۳: انتخاب جنس قطعات یک پمپ است. اگر وظیفه یک پمپ، پمپاژ اسید باشد، بایستی قطعات پمپ بتواند در مقابل آن اسید مقاومت به خوردگی داشته باشند و در صورتی که پمپ، لجن یا گل بخواهد پمپاژ کند، جنس قطعات این پمپ باید مقاومت به سایش بالایی داشته باشند. هر حالی که اگر این پمپ یک پمپ فشارقوی باشد، قطعات باید از استحکام قوی برخوردار باشند.

7

Material Science- Dr. Farahnakian- 99-1



انتخاب فرآیندهای ساخت و علم مواد

- در حالت کلی طراح فرآیند ساخت فقط نتایج حاصل از این فرآیندهای مختلف را ارزیابی می‌کند. به این معنی که بررسی می‌کند که ماده انتخابی بایستی چگونه ساخته شود. این ارزیابی در سه زمینه:
 - (۱) بررسی ملاحظات مربوط به شکل و هندسه قطعه،
 - (۲) نیازمندی‌های مربوط به خواص مواد و
 - (۳) ملاحظات ساخت اجرا می‌گردد.
- این ارزیابی سه مرحله‌ای تحت عنوان فرآیند انتخاب مواد شناخته‌شده و به‌عنوان روند موردپذیرش در زمینه ارزیابی مواد شناخته می‌شود.

8

Material Science- Dr. Farahnakian- 99-1



طبقه‌بندی مواد مهندسی

- فلزات
- سرامیک‌ها
- پلیمرها
- علاوه بر موارد فوق مواد کامپوزیتی نیز به وجود آمده‌اند که ترکیبی از دو یا چند ماده بالا هستند

9

Material Science- Dr. Farahnakian- 99-1



فلزات و آلیاژها

- آلیاژ ترکیبی از انواع فلزات یا فلزات با غیر فلزات است که در آن عناصر در یکدیگر کاملاً حل شده و امکان تفکیک عناصر از یکدیگر وجود ندارد. آلیاژها برای دستیابی به خواص ویژه‌تری به وجود آمده‌اند که توسط فلزات خالص قابل حصول نیست. خواص و ویژگی‌هایی از قبیل استحکام، صلبیت، مقاومت به خوردگی، هزینه محصول و غیره.

مهم‌ترین خواص فلزات عبارت‌اند از:

- جزء عناصر واسطه جدول تناوبی هستند.
- دارای ساختار بلوری هستند.
- مات هستند و نور را از خود عبور نمی‌دهند.
- استحکام خوبی دارند.
- رسانای الکتریکی هستند.
- معمولاً شکل پذیرند.
- قابلیت پرداخت سطح دارند.

10

Material Science- Dr. Farahnakian- 99-1



فلزات و آلیاژها

آلیاژهای به دو دسته کلی تقسیم بندی می شوند:

۱- آلیاژهای آهنی: عنصر پایه این آلیاژها آهن است، مانند فولاد و چدن که ترکیبی از آهن، کربن و سایر عناصر آلیاژی هستند.

۲- آلیاژهای غیر آهنی: عنصر پایه این آلیاژها عنصری غیر از آهن است، مانند برنج که ترکیب مس و روی است و یا آلیاژهای آلومینیوم.

11

Material Science- Dr. Farahnakian- 99-1



آلیاژهای آهنی (فولاد)

- ترکیبات آهنی با حداکثر ۰.۲٪ کربن را فولاد گویند. به طور کلی فولادها به دو گروه آلیاژی و غیر آلیاژی تقسیم می شوند. فولادهای غیر آلیاژی به مقدار کم سیلیسیم (کمتر از نیم درصد) و منگنز (کمتر از هشت دهم درصد) دارند.
- فولادهای آلیاژی به دسته های آلیاژی با درصد کم (با اجزای ترکیبی کمتر از ۰.۵٪) و آلیاژی با درصد زیاد (با اجزای ترکیبی بیش از ۰.۵٪ تقسیم می شوند).
- مقادیر زیاد کربن، فسفر و گوگرد در آهن برای زمینه های فنی مناسب نیستند و به کمک فرآیندهای اکسیداسیونی کاهش می یابند. به همین منظور، برحسب نوع فرآیندی که فولاد به وسیله ی آن تهیه می شود، فولادهای آلیاژی با مقدار کربن و عناصر آلیاژی مربوطه مشخص می شوند.

12

Material Science- Dr. Farahnakian- 99-1



آلیاژهای آهنی (چدن)

- ترکیبات آهنی با کربن بیش از ۰.۲٪ را چدن گویند. برحسب چگونگی اتصال کربن در ساختار بلوری، چدن‌های مختلف به دست می‌آیند. در چدن خاکستری، کربن به صورت مجزا و در چدن سفید کربن به صورت کاربید آهن (سمنتیت) است. ایجاد فاز گرافیت به سرعت انجماد، ضخامت جداره و مقادیر کربن و سیلیسیم بستگی دارد.
- چدن خاکستری یکی از آلیاژهای آهن (چدن فلالایه و رگه‌های گرافیت نازک است که قابلیت ریخته‌گری خوبی دارد. در صنعت ماشین‌سازی، برای قطعات چدنی معمولاً تا جایی که خواص آن کفایت کند، از چدن خاکستری استفاده می‌شود.
- از مزایای آن می‌توان به هزینه کم، ریخته‌گری ساده و قابلیت ماشین‌کاری خوب را نام برد. از دیگر خصوصیات آن ترد بودن، خواص لغزشی مناسب (در مقایسه با فولادهای ساختمانی)، استحکام فشاری زیاد (حدود ۳ تا ۵ برابر حد کششی یا حد شکست، ضربه‌گری و جذب ارتعاشات (به دلیل وجود لایه‌های گرافیت) و حساسیت کم در مقابل تغییر شکل ناگهانی بیرونی است.

13

Material Science- Dr. Farahnakian- 99-1



فلزات و آلیاژهای سبک (فلزات و آلیاژهای غیر آهنی)

- به‌کارگیری آلیاژهای آلومینیومی و آلومینیوم خالص از طرفی به لحاظ وزن مخصوص کم (۲۷۰۰ تا ۲۸۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب) و استحکام نسبتاً زیاد (مثلاً در ماشین‌های با تغییر مدام محل کارکرد، نظیر اتومبیل و هواپیما) و لوازم‌خانگی و همچنین برای اجزای با عملکرد سریع (نظیر پیستون) و از طرف دیگر به لحاظ قابلیت خوب هدایت الکتریکی و انتقال حرارت بالا، بسیار مناسب هستند.
- آلیاژهای منیزیم با وزن مخصوص کم‌تر در مقایسه با آلیاژهای آلومینیوم، ۱۸۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب، مورد توجه‌اند. حد دوام آن‌ها تقریباً نظیر آلیاژهای آلومینیومی است. به‌علاوه ساده‌تر قابل براده‌برداری بوده، ولی به‌سختی قابل جوشکاری‌اند. قابلیت لحیم‌کاری نداشته و در حالت سرد شکل‌پذیری خوبی ندارند.

14

Material Science- Dr. Farahnakian- 99-1



فلزات و آلیاژهای سبک (فلزات و آلیاژهای غیر آهنی)

- از دیگر فلزات و آلیاژهای سبک، تیتانیوم و آلیاژهای مربوط به آن هستند. تیتانیوم خالص برحسب مقادیر اکسیژن و آهن بین ۰/۲ تا ۰/۴ درصد، استحکام کششی ۲۹۰ تا ۵۴۰ مگا پاسکال دارد. از آنجایی که وزن مخصوص تیتانیوم تنها ۵۵ تا ۶۰ درصد فولاد است و چون ضریب انبساط و ضریب هدایت گرمایی آن کم است، امروزه در صنعت هوافضا بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- تیتانیوم قابلیت جوشکاری و لحیم کاری دارد. آلیاژهای تیتانیوم با آلومینیوم تا ۰/۸، مولیبدن، وانادیوم تا ۴/۵٪ و قلع تا ۰/۳٪ دارای استحکام کششی بزرگتر (حداکثر 1180 N/mm^2) است. ولی برای دماهای بالا (بیش از ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد) مناسب نیستند.

15

Material Science- Dr. Farahnakian- 99-1



فلزات و آلیاژهای سبک (فلزات و آلیاژهای غیر آهنی)

- مس خالص در الکتروتکنیک و به‌منظور انتقال حرارت مورد استفاده قرار می‌گیرد. آلیاژهای مس ویژگی‌هایی نظیر مقاومت زیاد در مقابل خوردگی، قابلیت لحیم کاری خوب، خواص لغزنده و استحکام مناسب، قابلیت هدایت گرما و الکتریسیته‌ی خوب و همچنین قابلیت‌های متفاوت به لحاظ شکل دادن قطعات مربوطه (ریخته‌گری، پرس کاری، کشیدن، آهنگری و نورد) را دارا هستند.
- برنج آلیاژهای مس و روی، با اضافه کردن آلومینیوم برای اجزاء ریختگی ظریف، استفاده می‌شوند. برنج‌های مخصوص با نیکل اضافه‌شده استحکام زیاد هستند و در مقابل خوردگی و گرما، سخت‌تر از برنج معمولی می‌باشند. از ریختگی آن، برای یاتاقان لغزشی، اجزای سامانه تعویض گاز در موتور (سامانه سوپاپ) استفاده می‌کنند.
- از دیگر آلیاژهای مس، برنزها هستند. برنرها، آلیاژها مس با قلع، آلومینیوم، روی، سرب و بیش از ۶۰٪ مس، از برنج‌گران‌ترند. برنز قلع برای پیچ‌ها و فنرها و برنز آلومینیوم برای یاتاقان به لحاظ خواص لغزنده خوب مناسب هستند. برنز ریختگی برای چرخ‌دنده‌های حلزونی و یاتاقان‌های لغزشی با بار نسبتاً بزرگ و در سامانه‌هایی که مقاومت بالا در مقابل خوردگی نیاز است (نظیر پیچ‌های کشتی و همچنین وسایل شیمیایی) بکار برده می‌شوند.

16

Material Science- Dr. Farahnakian- 99-1



سرامیک‌ها

- **سرامیک‌ها** از عناصر فلزی و غیرفلزی تشکیل شده‌اند، و بیشتر شامل اکسیدها مانند اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) و اکسید سیلیکون (SiO_2)، نیتrideها مانند نیتريد سیلیکون (Si_3N_4) و کاربیدها مانند کاربید سیلیکون (SiC) هستند. دسته‌ای از سرامیک‌ها به‌عنوان سرامیک‌های سنتی شناخته می‌شوند که از مواد معدنی تشکیل شده‌اند مانند ظروف چینی که از خاک رس تهیه شده‌اند، سیمان و شیشه.
- برخی خواص سرامیک‌ها عبارت‌اند از:
 - مقاوم در دماهای بالا هستند.
 - دارای ساختار بلوری و آمورف هستند.
 - سخت و شکننده هستند.
 - عایق الکتریسیته و حرارت هستند.
 - در برابر مواد خوردنده مانند اسیدها و بازها مقاوم هستند.
 - کاربردها: استفاده به‌عنوان ابزار برش مانند ابزارهای تنگستن کارباید، آجرهای نسوز کوره‌های ذوب و عملیات حرارتی، پوشش بدنه شاتل‌های فضایی، بلبرینگ‌های ضد سایش از جنس تیتانیوم نیتراید.

17

Material Science- Dr. Farahnakian- 99-1



پلیمرها

- **پلیمر** از زنجیره‌های بلند مولکولی تشکیل شده و ساختار پیچیده‌ای را به وجود می‌آورند. هر زنجیره مولکولی از تعداد زیادی واحد تکرار (مونومر) تشکیل شده است. پلی به معنای چند و مر به معنای زنجیره یا پاره است و از این رو این گروه با نام چندپاره و یا بسیار نیز شناخته می‌شوند.
- نحوه و ترتیب قرارگیری این اتصالات زنجیره‌ای در کنار هم باعث ایجاد پلیمرهای نوین با خواص جدید می‌گردد. زنجیره‌های پلیمری عموماً از چند عنصر کربن، اکسیژن، هیدروژن و گاهی سیلیس تشکیل شده‌اند که عنصر کربن جزء اصلی آن است. برخی از پلیمرهای معروف عبارت‌اند از: پلی‌اتیلن (PE)، پلی‌پروپیلن (PP)، پلی‌امید (نایلون) (PA)، پلی‌استایرن (PS)، پلی‌وینیل کلراید (PVC) و پلی‌کربنات (PC) هستند.
- برخی خواص پلیمرها عبارت‌اند از:
 - دارای چگالی پایینی هستند.
 - دارای ساختار نیمه بلوری و آمورف هستند.
 - برخی دارای شفافیت کم و برخی دارای شفافیت بالا حتی بیشتر از شیشه هستند.
 - برخی از آن‌ها دارای انعطاف‌پذیری بالایی هستند.
 - استحکام ضعیف و سختی کمی دارند.
 - کاربردها: لوازم خانگی، صنایع بسته‌بندی، صنایع الکترونیک، صنایع خودرو، صنایع پزشکی

18

Material Science- Dr. Farahnakian- 99-1



کامپوزیت ها

• کامپوزیت ماده‌ای است که از ترکیب دو یا چند نوع ماده (فلز، سرامیک، پلیمر) برای دستیابی به خواص بهتر به وجود آمده است. این اجزاء در مقیاس میکروسکوپی با یکدیگر ترکیب شده‌اند و ولی در یکدیگر حل نمی‌شوند. وجه تمایز الیاز و کامپوزیت در این است که در الیاز اجزاء در یکدیگر حل شده و دارای فصل مشترک نیستند ولی در کامپوزیت اجزاء در یکدیگر حل نشده و دارای فصل مشترک بوده و از همدیگر قابل تفکیک هستند. کامپوزیت‌ها بر اساس نوع ماده زمینه به سه دسته تقسیم می‌شوند:

۱- کامپوزیت‌های زمینه پلیمری،

۲- کامپوزیت‌های زمینه فلزی و

۳- کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی.

• کامپوزیت‌ها به این دلیل توسعه یافتند تا خواص ترکیبی که در یک ماده خالص قابل دستیابی نیست، حاصل شود مانند وزن کم و استحکام بالا. موادی که دارای استحکام بالا هستند مانند فلزات دارای چگالی نسبتاً بالایی هستند و موادی که دارای چگالی کمی هستند دارای استحکام پایینی هستند. با تقویت پلیمرها توسط الیاف‌هایی مانند الیاف شیشه یا کربن می‌توان هم به استحکام خیلی بالا در حد فولاد رسید و هم اینکه چگالی ماده کم باشد.

• کاربردها: لوازم ورزشی، صنایع خودرو، صنایع هوایی، صنایع نظامی