بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
دانشکده مهندسی و علم مواد

طراحی و انتخاب مواد مهندسی

جلسه چهارم
(فرآیند انتخاب مواد– ۲)

دکتر رضا اسلامی فارسانی

طبقه بندی نیازمندی های مواد

گام بعدی در انتخاب مواد، طبقه بندی نیازمندی های مواد در دو گروه عمده است:

۱- نیازمندی های سخت یا برو- نرو (Go no go requirements)

۲- نیازمندی های نرم یا نسبی

نیازمندی های سخت، آن دسته از نیازمندی هایی است که باید حتماً وجود داشته باشند تا ماده اصلاً بتواند مطرح شود. این گونه از نیازمندی ها معمولاً برا ی سرند اولیه مواد به منظور حذف گروه نامناسب بکار می روند.

برای مثال، در انتخاب ماده برای یک قطعه عایق، تمام مواد فلزی حذف می شوند. اگر عایق انعطاف پذیر بخواهیم ، تمام مواد سرامیکی هم حذف می شوند.

طبقه بندی نیازمندی های مواد

نمونه هایی از نیازمندی های سخت مواد عبارتند از:

- ✓ پایداری در محیط های خورنده
- ✓ شکل پذیری
- ✓ هدایت و یا مقاومت الکتریکی
- ✓ شفافیت به نور یا دیگر امواج
- ✓ حفظ خواص در دماهای بالا

طبقه بندی نیازمندی های مواد

نمونه هایی از نیازمندی های سخت فرآیندها عبارتند از:

- ✓ نرخ تولید
- ✓ اندازه و شکل محصول
- ✓ پرداخت سطح

طبقه بندی نیازمندی های مواد

- در بسیاری از موارد، وجود تجهیزات یا تجربه یک فرآیند تولید مشخص در یک کارگاه نیز نیازمندی سخت تلقی می شود. سازگاریِ بین فرآیند ساخت و ماده نیز یک متغیر مهم سرندکردنی است. مثلا فرآیندهای شکل دادن ورق برای چدن ها مناسب نیست.
- در بسیاری از موارد نیز حذف یک گروه مواد به طور خودکار باعث حذف دسته ای از فرآیندهای تولید می شود. مثلاً اگر پلاستیک ها به دلیل دمای بالای محیط کار حذف شوند، روش قالب گیری تزریقی نیز حذف می شود.

طبقه بندی نیازمندی های مواد

- ✓ نیازمندی های نرم، مواردی هستندکه قابل تعدیل و کم و زیادکردن در برابر یکدیگر باشند.
- ✓ خواص مکانیکی، چگالی و قیمت، نمونه هایی از نیازمندی های نرم بشمار می روند.
- ✓ این نوع نیازمندی ها را می توان براساس اهمیت نسبی آنها که تابع شرایط کاربردی است ، با هم مقایسه کرد.

Company Logo

تدوین و ارزیابی راه حل ها

پس از تعیین و طبقه بندی نیازمندی های مواد، مابقی فرآیند انتخاب، جستجو برای شناسایی ماده ای است که نیازمندی ها را به بهترین گونه برآورده سازد.

خلق راه حل ها

نقطه شروع انتخاب مواد، تمام گستره مواد مهندسی است. در این مرحله، خلاقیت یک ضرورت است تا بتوان مسیرهایی در تمام جهات گشود.

در این مرحله، بدون توجه چندان به امکان پذیری اقتصادی، گزینه های ممکن را باید خلق کرد (خلق راه حل ها).

تدوین و ارزیابی راه حل ها

سرند کردن راه حل ها

پس از پیشنهاد همه راه های ممکن، مواردی که نامناسب هستند، حذف شده و توجه روی گزینه هایی که عملی به نظر می رسند متمرکز می شود.

در پایان این مرحله تعداد مواد کاندید به میزانی کاهش می یابند که بتوان ارزیابی های تفصیلی بعدی را انجام داد.

تدوین و ارزیابی راه حل ها

- ✓ در بسیاری از کاربردها، نسبت $\frac{E}{\varphi}$ مهم است.
- ✓ به عنوان نمونه برای بارگذاری محوری ساده، رابطه $\frac{E}{\varphi}$ مهم است.
- ✓ برای بارگذاری های منجر به کمانش، نسبت $\frac{E^{0.5}}{\varphi}$ و برای خمش یک صفحه عریض، رابطه $\frac{E^{1/3}}{\varphi}$ کاربرد دارد.
- ✓ لذا لازم است منحنی $\frac{E}{\varphi}$ مواد رسم شده و سپس خطی به موازات مثلاً $\frac{E}{\varphi}$ یا $\frac{E^{1/3}}{\varphi}$ یا $\frac{E^{0.5}}{\varphi}$ براساس نوع کاربرد رسم شود. تمام نقاط روی این خط رفتار یکسان داشته و مواد بالای خط بهتر و مواد زیر آن بدتر هستند.

انتخاب راه حل بهینه

- ✓ پس از کوچک کردن محدوده مواد ممکن به موادی که هیچ کدام از نیازمندی های سخت را نقض نمی کنند، جستجو برای یافتن ماده یا موادی که به بهترین شکل نیازمندی های نرم را برآورده می سازند، آغاز می شود.
- ✓ هدف مرحله ارزیابی، وزن دادن به مواد نامزد شده جهت برآورده کردن نیازمندی های تعریف شده به منظور انتخاب بهینه برای آن کاربرد است.
- ✓ در این فرآیند، تنها یک جواب درست نخواهیم داشت، چون فرآیند انتخاب مواد مستلزم بررسی امتیازها و محدودیت های در تضاد با هم است که نوعی توافق و تصمیم گیری را می طلبد، لذا امکان کسب جواب های متعدد وجود دارد.
- ✓ علت این که قطعات مشابه تولید شده توسط سازندگان مختلف با وظایف یکسان، از مواد متفاوت و با روش های مختلفی ساخته شده اند، همین موضوع است.

انتخاب راه حل بهینه

چند روش کمی برای بهینه سازی انتخاب وجود دارند که هیچ یک از آنها نسبت به دیگر روش ها برترین نبوده و براساس شرایط مختلف، یکی از روش ها بکار می رود. این روش ها عبارتند از:

- ✓ روش هزینه به ازای واحد خاصیت
- ✓ روش خواص هنجارشده (وزن داده شده)
- ✓ روش محدودیت خواص

روش هزینه به ازای واحد خاصیت

- روش هزینه به ازای واحد خاصیت هنگامی بکار می رود که یکی از خواص به عنوان مهمترین نیازمندی های عملکردی مطرح باشد.
- در چنین موارد ساده ای، مواد را می توان براساس هزینه خرید یک واحد از آن خاصیت مهم مقایسه کرد.
- برای مثال در انتخاب مواد مناسب برای یک میله که تحت نیروی کششی قرار می گیرد، ماده ای که کمترین هزینه به ازای واحد استحکام را دارا باشد، ماده بهینه است.

روش هزینه به ازای واحد خاصیت

- کمترین هزینه به ازای واحد استحکام یعنی به کمترین میزان $C\rho/S$ نیاز است.
- C هزینه ماده به ازای واحد جرم، ρ بیانگر چگالی و S تنش کار ماده است که با یک ضریب ایمنی مناسب به تنش تسلیم ماده مربوط می شود.
- منظور از هزینه ماده (C)، هزینه کل چرخه تولید (اعم از قیمت ماده، عمر، هزینه ساخت، نصب، نگهداری، تعمیر و اسقاط آن) است.
- چون مقدار نیروی اعمالی F و طول میله یعنی L برای یک میله، ثابت است، لذا هر چه $C\rho$ کمتر باشد، ماده بهتر است. برای بارگذاری استاتیک، استفاده از تنش تسلیم منطقی است، اما برای بار وارد بر قطعه نوسانی یا اعمال بار نوسانی بر قطعه، استحکام خستگی و برای شرایط تحت خزش، استحکام خزشی باید بکار رود.

روش هزینه به ازای واحد خاصیت

مثال:

میله با طول L را برای تحمل نیروی کششی مشخص F در نظر بگیرید.
مساحت مقطع میله (A) برابر است با:

$$A = F/S$$

هزینه میله (C') برابر است با حاصل ضرب جرم ماده در هزینه ماده به ازای واحد جرم:

$$(C') = C.\ \rho.\ A.\ L. = (\ C.\ \rho\ .\ F.\ L.) / S$$

C هزینه ماده به ازای واحد جرم، ρ چگالی ماده و $\rho.A.L$ جرم است.

روش هزینه به ازای واحد خاصیت

وقتی یک ماده به عنوان جایگزین ماده دیگر معرفی می شود دو ماده a و b بر مبنای هزینه نسبی به ازای واحد استحکام (RC') مقایسه می شوند.

$$RC' = (C')_a / (C')_b = C_a \rho_a S_b / C_b \rho_b S_a$$

چون S به تنش تسلیم با یک ضریب مرتبط است، احتمالاً ضریبی ثابت بوده و چون تنش تسلیم a و b مخالف است، لذا S_a و S_b فرق می کنند.

اگر RC' کمتر از یک باشد، ماده a بر ماده b ترجیح دارد.

$$(C')_a < (C')_b$$

۱- روش هزینه به ازای واحد خاصیت

فرمول های هزینه به ازای واحد خاصیت در شرایط بارگذاری مختلف براساس استحکام تسلیم و سفتی

سطح مقطع و شرایط بارگذاری	هزینه واحد استحکام	هزینه واحد سفتی
استوانه توپر در کشش یا فشار	$C\rho/S$	$C\rho/E$
استوانه توپر در خمش	$C\rho/S^{2/3}$	$C\rho/E^{1/2}$
استوانه توپر در پیچش	$C\rho/S^{2/3}$	$C\rho/G^{1/3}$
میله استوانه ای توپر به عنوان ستون	------	$C\rho/E^{1/2}$
مقطع مستطیل شکل درخمش	$C\rho/S^{1/2}$	$C\rho/E^{1/3}$
مخزن تحت فشار از استوانه جدار نازک	$C\rho/S$	-------

روش هزینه به ازای واحد خاصیت

- ✓ روش هزینه به ازای واحد خاصیت دارای این اشکال است که تنها یک نیازمندی را به عنوان مهمترین در نظر گرفته و به دیگر نیازمندی ها بی توجه است.

- ✓ اما در بسیاری از کاربردها وضعیت پیچیده تر بوده و عموماً نیازمندی ماده بیش از یک خاصیت را به عنوان خاصیت مهم مطرح می کند. در این حالت از روش خواص وزن داده شده استفاده می شود.

روش خواص هنجار شده (وزن داده شده)

- ✓ روش خواص هنجار شده را می توان برای بهینه سازی انتخاب مواد در شرایطی که باید چند خاصیت در نظر گرفته شوند، بکار برد.
- ✓ هر نیازمندی یا خاصیت ماده را برحسب اهمیتش وزن می دهند. مقدار وزنی هر خاصیت حاصل ضرب مقدار عددی آن خاصیت در ضریب وزن (α) است.
- ✓ مقدار منفرد خواص هنجار شده هر ماده ای را با هم جمع می کنند تا شاخص مقایسه ای عملکرد مواد (γ) بدست آید. ماده ای که بالاترین شاخص عملکرد γ را داشته باشد، ماده بهینه برای آن کاربرد است.

Company Logo

روش خواص هنجار شده (وزن داده شده)

- ✓ اشکال این روش در شکل ساده آن است که باید واحدهای ناهمسان را با هم ترکیب کند که می تواند منجر به جواب های غیرمنطقی شود.
- ✓ وقتی خواص مختلف فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی با مقادیر عددی بسیار متفاوت با هم ترکیب می شوند، این موضوع چشمگیر است. در این حالت خاصیتی که مقدار عددی بالاتری دارد، بدون توجه به ضریب وزنی اش، تاثیر بیشتری خواهد داشت. این مشکل با واردکردن ضریب های مقیاس (هنجارش) برطرف می شود.
- ✓ هر خاصیت طوری مقیاس بندی می شود که بیشترین مقدارش از ۱۰۰ تجاوز نکند. هنگام بررسی فهرست مواد نامزد شده، هر بار یک خاصیت بررسی شده و به بهترین مقدار فهرست، عدد ۱۰۰ و به مابقی مقداری به تناسب، نمره داده می شود. سپس ضریب وزنی در عدد حاصل (عدد بین ۰ تا ۱۰۰) ضرب می شود.

روش خواص هنجار شده (وزن داده شده)

- وارد کردن ضریب هنجارش، تبدیل مقادیر معمولی خواص ماده به مقادیر بدون بعد هنجارشده را تسهیل می کند. برای یک ماده مشخص ، مقدار هنجار شده β برای یک خاصیت برابر است با:

$$\beta = \frac{(\text{مقدار عددی خاصیت} \times ۱۰۰)}{\text{بالاترین مقدار در فهرست}}$$

- برای خواصی نظیر هزینه، کاهش وزن در اثر خوردگی یا سایش، افزایش وزن در اثر اکسایش و ... عدد کوچکتر مطلوب است لذا:

$$\beta = \frac{(\text{مقدار عددی خاصیت} \times ۱۰۰)}{\text{کمترین مقدار در فهرست}}$$

روش خواص هنجار شده (وزن داده شده)

برای خواصی از ماده که بندرت با مقادیر عددی تعریف می شوند (نظیر مقاومت به خوردگی و سایش، قابلیت ماشین کاری و جوشکاری و ...)، عموماً از عالی، خیلی خوب، خوب، قابل قبول و ضعیف استفاده می شود. در این موارد با استفاده از یک مقیاس دلخواه، درجه بندی را به مقادیر عددی تبدیل می کنند.

برای مثال به موارد فوق به ترتیب اعداد ۱ ، ۲ ، ۳ ، ٤ و٥ را داده و شاخص عملکرد ماده (γ) به روش زیر تعیین می شود.

$$\gamma = \sum_{i=1}^{n} \beta_i \alpha_i$$

α، ضریب اهمیت نسبی

β، خاصیت هنجار شده

i، تمام مقادیر از ۱ تا n خواص مرتبط

روش خواص هنجار شده (وزن داده شده)

- این روش را می توان برای حالتی که ماده جدید جایگزینی بجای ماده موجود انتخاب شده، در نظر گرفت. در این حالت نمره برتری نسبی (RM) بدست می آید:

$$RM = M_n / M_e$$

M_n و M_e به ترتیب نمره های برتری ماده جدید و فعلی هستند.

اگر RM بزرگتر از یک باشد ماده جدید بهتر است.

- برای تعداد زیادی ماده با خواص متعدد، روش مذکور نیاز به محاسبات بسیار زیاد و خسته کننده با زمان طولانی دارد، لذا بهتر است از رایانه استفاده شود.

روش محدودیت خواص

در روش محدودیت خواص، نیازمندی های عملکردی به سه گروه زیر تقسیم بندی می شوند:

- ✓ خواص با محدودیت حداقل
- ✓ خواص با محدودیت حداکثر
- ✓ خواص با مقدار هدف

روش محدودیت خواص

- ✓ برای مثال اگر ماده ای مستحکم وسبک مورد نظر باشد، یک حد پایین برای استحکام و یک حد بالا برای چگالی تعیین می شود.
- ✓ زمانی که سازگاری بین مواد مهم باشد، یک مقدار هدف برای آنها تعیین می شود. برای مثال، ضریب انبساط حرارتی و موقعیت ماده در سری های گالوانیکی، تا به ترتیب تنش های حرارتی و خوردگی گالوانیکی کنترل شوند.
- ✓ این که یک خاصیت حد بالا یا پایین تعریف شود، تابع کاربرد قطعه است. مثلاً هدایت الکتریکی برای کابل برق، یک حد پایین برای هادی و یک حد بالا برای عایق تعریف می شود.

روش محدودیت خواص

- روش محدودیت خواصِ برای بهینه نمودن ماده و فرآیند در مواردی که گزینه های ممکن نسبتاً زیاد است، بکار می رود. در این حالت، حدود تعیین شده برای خواص مختلف می تواند برای حذف مواد نامناسب بکار روند.
- مواد باقیمانده، موادی هستند که خواص آنها بالای حدود پایین، زیر حدود بالا و در محدوده هدف برای نیازمندی های تعریف شده، قرار دارند.
- پس از مرحله سرندکردن، روش محدودیت خواص می تواند برای بهینه کردن انتخاب بین مواد باقیمانده بکار رود.

روش محدودیت خواص

همانند روش خواص هنجار شده، به هرکدام از نیازمندی ها یا خواص، یک ضریب وزنی (Q) داده می شود. سپس طبق رابطه زیر یک عدد برتری (m) برای هر ماده محاسبه می شود:

$$m = [\sum_{i=1}^{nl} ai \frac{yi}{xi}]_l + [\sum_{j=1}^{nu} aj \frac{xj}{yj}]_u + [\sum_{k=1}^{nt} ak\, |xk/yk - 1|]$$

l، u و t به ترتیب به معنای حد پایینی، حد بالایی و مقدار هدف خواص.

n_l ، n_u و n_t به ترتیب تعداد خواص با حد پایینی، حد بالایی و مقدار هدف.

X_i، X_j و X_K ضریب های وزنی خواص با حد پایینی، حد بالایی و مقدار هدف.

y_i، y_j و y_k مقادیر تعیین شده حد پایینی، حد بالایی و اندازه هدف.

هرچه مقدار عددی برتری (m) کوچک تر باشد، ماده بهتر است.

روش محدودیت خواص

هزینه را می توان به دو روش زیر در نظر گرفت:

- ✓ به عنوان یک خاصیت با حد بالایی در نظر گرفته و وزن مناسب به آن داده شود.
- ✓ به عنوان عامل تصحیح کننده در عدد برتر به صورت زیر وارد شود:

$$m' = (C_x / C_y)\, m$$

C_x و C_y به ترتیب هزینه ماده نامزد شده و حد بالایی تعیین شده برای هزینه هستند.

در این حالت نیز هرچه عدد برتری تصحیح شده (m') کمتر باشد، ماده مرتبط با آن بهینه است.