محاسبات ضخامت مربوط به مخازن تحت فشار و مبدلهای حرارتی

در طراحی مکانیکی مخازن تحت فشار و مبدل‌های حرارتی، این موضوع به‌خصوص هنگام محاسبه ضخامت پوسته بر اساس ASME Section VIII, Division 1باعث سردرگمی می‌شود.

نکته اصلی این است که برای محاسبه ضخامت موردنیاز Required Thicknessیا Thickness Calculated، لازم نیست ضخامت واقعی قطعه را از قبل بدانیم.بلکه با محاسبه قطر داخلی محاسبات را انجام میدهیم. قطر خارجی را می‌توان از قطر داخلی طراحی و فشار و تنش مجاز اسبه کردو پس از تعیین ضخامت موردنیاز، ضخامت انتخابی را برای بررسی MAWPبه کار می‌بریم.

اجازه دهید مراحل را دقیق و با فرمول توضیح دهم.

۱ .تفاوت سه نوع ضخامت

پارامتر	مفهوم
t_{calc}	ضخامت محاسباتی موردنیاز بر اساس فشار طراحی
t_{nom}	ضخامت اسمی انتخاب‌شده برای ساخت، پیش از کسر خوردگی و تلرانس‌ها
$t_{available}$	ضخامت قابل‌استفاده برای تحمل فشار، پس از کسر خوردگی و سایر کسورات مربوط

در حالت معمول، ابتدا t_{calc}را محاسبه می‌کنیم، سپس ضخامت اسمی مناسب را انتخاب می‌کنیم و در نهایت MAWPرا بر اساس ضخامت مؤثر و هندسه واقعی قطعه بررسی می‌کنیم.

۲ .محاسبه ضخامت پوسته استوانه‌ای با قطر داخلی

برای یک پوسته استوانه‌ای تحت فشار داخلی، مطابق ASME Section VIII, Division 1، بند UG-27، رابطه ضخامت بر مبنای قطر داخلی به شکل زیر است:

$$t_{calc} = \frac{PR_i}{SE - 0.6P}$$

یا با استفاده از قطر داخلی:

$$\boxed{t_{calc} = \frac{PD_i}{2SE - 1.2P}}$$

که در آن:

- P :فشار طراحی، با واحد سازگار با سایر پارامترها
- D_i :قطر داخلی در شرایط طراحی

محاسبات ضخامت مربوط به مخازن تحت فشار و مبدلهای حرارتی

- $R_i = D_i/2$:شعاع داخلی
- S :تنش مجاز متریال در دمای طراحی
- E :ضریب کیفیت اتصال جوشی
- t_{calc} :ضخامت موردنیاز برای تحمل فشار، بدون احتساب Corrosion Allowance

دقت کنید :در این فرمول اصلاً به قطر خارجی نیاز نداریم؛

۳ .اگر بخواهیم از فرمول قطر خارجی استفاده کنیم، چه باید کرد؟

برای پوسته استوانه‌ای تحت فشار داخلی، رابطه معادل بر مبنای شعاع خارجی عبارت است از:

$$t = \frac{PR_o}{SE + 0.4P}$$

از آنجا که:

$$R_o = R_i + t$$

اگر این رابطه را در فرمول بالا جای‌گذاری کنیم:

$$t = \frac{P(R_i + t)}{SE + 0.4P}$$

با بازآرایی جبری:

$$t(SE + 0.4P) = PR_i + Pt$$

$$t(SE - 0.6P) = PR_i$$

بنابراین:

$$\boxed{t = \frac{PR_i}{SE - 0.6P}}$$

مشاهده می‌کنید که نتیجه دقیقاً همان رابطه مبتنی بر قطر داخلی است.

۴ .مثال عددی برای شفاف شدن موضوع

فرض کنید اطلاعات طراحی یک مخزن به شرح زیر باشد:

پارامتر	مقدار
فشار طراحی P	10 barg
قطر داخلی D_i	2000 mm
تنش مجاز S	138 MPa
ضریب جوش E	1.0
خوردگی مجاز CA	3 mm

برای سازگاری واحدها، فشار را به MPaتبدیل می‌کنیم:

$$P = 1.0 \text{ MPa}$$

بنابراین:

$$t_{calc} = \frac{1.0 \times 2000}{2 \times 138 \times 1.0 - 1.2 \times 1.0}$$

$$\boxed{t_{calc} = 7.28 \text{ mm}}$$

این مقدار ضخامت موردنیاز برای تحمل فشار است و هنوز خوردگی مجاز به آن اضافه نشده است.

با احتساب CA:

$$t_{required} = 7.28 + 3 = 10.28 \text{ mm}$$

در این مرحله باید ضخامت اسمی مناسبی برای ساخت انتخاب شود .برای مثال، ضخامت اسمی 12 mmممکن است گزینه اولیه باشد؛ اما پذیرش نهایی آن به تلرانس منفی ورق، الزامات کد، بارهای دیگر و سایر شرایط طراحی بستگی دارد.

۵ .حالا MAWPرا چگونه محاسبه می‌کنیم؟

پس از انتخاب ضخامت، جهت محاسبه MAWPاز رابطه معکوس فرمول ضخامت استفاده می‌کنیم.

محاسبات ضخامت مربوط به مخازن تحت فشار و مبدلهای حرارتی

برای پوسته استوانه‌ای تحت فشار داخلی:

$$\boxed{MAWP = \frac{SEt}{R_i + 0.6t}}$$

در این رابطه، tباید **ضخامت مؤثر قابل‌استفاده برای تحمل فشار** باشد و R_iشعاع داخلی متناظر با هندسه مورد محاسبه است.

برای مثال، اگر ضخامت اسمی 12 mmباشد و CAبرابر 3 mmدر نظر گرفته شود، با فرض اینکه فعلاً تلرانس منفی ساخت و سایر کسورات را نادیده بگیریم:

$$t = 12 - 3 = 9 \text{ mm}$$

اگر شعاع داخلی 1000 mmو $S = 138$ MPaو $E = 1$باشد:

$$MAWP = \frac{138 \times 1 \times 9}{1000 + 0.6 \times 9}$$

$$MAWP = 1.24 \text{ MPa}$$

یعنی تقریباً:

$$\boxed{MAWP \approx 12.4 \text{ barg}}$$

این یک محاسبه مقدماتی برای پوسته است؛ MAWPنهایی تجهیز باید با توجه به اجزای مختلف، نازل‌ها، هدها، اتصالات و محدودیت‌های طراحی تعیین شود.

۶ .ترتیب صحیح محاسبات در شیت طراحی مکانیکی

مرحله ۱ —داده‌های طراحی

فشار، قطر داخلی، دما، متریال، تنش مجاز و ضریب جوش

مرحله ۲ —محاسبه t_{calc}

با فرمول UG-27و قطر داخلی، بدون نیاز به قطر خارجی

مرحله ۳ —افزودن CAو انتخاب ضخامت اسمی

محاسبات ضخامت مربوط به مخازن تحت فشار و مبدلهای حرارتی

کنترل تلرانس منفی ورق و الزامات ساخت

مرحله ۴ — بررسی MAWP

استفاده از ضخامت مؤثر و هندسه واقعی قطعه، با کنترل تمام اجزای تجهیز

یک نکته مهم درباره قطر خارجی

اگر نرم‌افزار طراحی شما از قطر خارجی استفاده می‌کند، دو حالت وجود دارد:

- **محاسبه اولیه ضخامت** :از رابطه مبتنی بر قطر داخلی استفاده کنید، یا معادله مبتنی بر قطر خارجی را جبری حل کنید.
- **بررسی نهایی** :MAWPضخامت واقعی یا ضخامت اسمی پس از کسر کسورات مربوط را با هندسه متناظر قطعه استفاده کنید؛ قطر خارجی و قطر داخلی باید با همان تعریف هندسی و ضخامت مورد استفاده در محاسبه سازگار باشند.

همچنین، فرمول‌های فوق مربوط به **پوسته استوانه‌ای تحت فشار داخلی** هستند .برای هدهای بیضوی، نیم‌کروی، مخروطی و فشار خارجی، روابط و الزامات جداگانه‌ای در کد وجود دارد.