

Лекція 3

Теплові або колоритні параметри стану тіла. Теплота і робота

Ідеальний газ. Рівняння станів ідеальних газів. Суміш ідеальних газів.

3.1. Теплові або колоритні параметри стану тіла.

До цих параметрів стану відносять внутрішню енергію, ентальпію та ентропію.

Внутрішня енергія— U [Дж], питома – u [Дж/кг] – енергія взаємодії між молекулами тіла. В загальному випадку U складається з внутрішньої початкової потенційної енергії для термодинамічного аналізу—рівна 0, внутрішньої потенційної і внутрішньої кінетичної енергії. Оскільки в термодинамічному процесі робоче тіло, як правило, під тиском, то по відношенню для цих випадків внутрішня потенційна енергія дорівнює нулю. Отже, U визначається кінетичною складовою і залежить від температури робочого тіла або середньої кінетичної енергії молекул, тобто

$$U = U_k = f(t) = \frac{mv^2}{2},$$

m —маса молекули, кг; v —середня поступальна, обертальна, коливальна швидкість молекули, м/с.

В технічній термодинаміці U підраховують

$$\delta U = C_v dt = \int_{t_1}^{t_2} C_v dt = C_v (t_2 - t_1).$$

За своїм фізичним змістом внутрішня енергія не є величиною повним диференціалом, оскільки на наступний момент часу не має попереднього значення .

Виникає при наявності зміни температур в різних точках робочого тіла.

Ентропія— S [Дж/К], питома – s [Дж/(кг·К)] – штучно введений параметр, що є величиною повним диференціалом і представляє в диференціальних

рівняннях теплоту, що за фізичним змістом не є такою величиною. Він змінюється від кількості переданої теплоти. Тобто:

$$dS = \frac{\Delta Q}{T};$$

dS – нескінченно малий приріст ентропії, Дж/К; ΔQ – кількість теплоти, що підведена до тіла в даному процесі, Дж; T – температура тіла в даний момент часу, К.

Так як ентропія не залежить від виду процесу і визначається початковими і кінцевими станами робочого тіла, то знаходять тільки його зміна в даному процесі, які можна знайти за наступними рівняннями:

$$\Delta S = c_v \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} + R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1};$$

$$\Delta S = c_p \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} - R \cdot \ln \frac{P_2}{P_1};$$

$$\Delta S = c_v \cdot \ln \frac{P_2}{P_1} + c_p \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

Якщо ентропія системи зростає ($\Delta S > 0$), то системі підводиться тепло. Якщо ентропія системи зменшується ($\Delta S < 0$), то системі відводиться тепло. Якщо ентропія системи не змінюється ($\Delta S = 0, s = const$), то системі не підводиться і не відводиться тепло (адіабатний процес).

Ентальпія— $H(I)$ [Дж], питома $h(i)$ [Дж/кг] – повний запас енергії, яким володіє робоче тіло. Фізичний зміст. Якщо в циліндрі (рис. 3.1.) з нижньою стінкою є газ з поршнем над ним в стані спокою і на поршень прикласти зусилля G , то через деякий час поршень займе нижче положення, стиснувши газ, переміститься на шах S . Тоді, остаточно, повний запас енергії яким володіє газ під поршнем дорівнює сумі внутрішньої енергії взаємодії між молекулами газу і зовнішній енергії тиску поршня з вантажем G на газ. Це є ентальпія.

$$H = U + G \cdot f \cdot S = U + PV,$$

де P – тиск газу, Па; v – об'єм газу, м³; f – площа поперечного перерізу, м²; S – переміщення поршня, м; U – внутрішня енергія газу, Дж; G – зусилля, кг.

Ентальпію підраховують в технічній термодинаміці за формулою

$$\delta h = C_p dt = \int_{t_1}^{t_2} C_p dt = C_p (t_2 - t_1).$$

($\delta h > \delta U$) - для однакових умов.

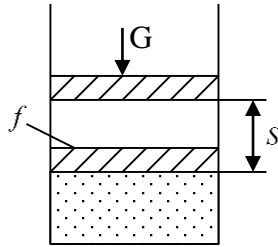


Рис. 3.1. Фізичний зміст ентальпії

Усі параметри будь-якого робочого тіла залежно від тиску і температури представлені в довідникових таблицях параметрів стану.

3.2 Тепло та робота

Існує дві форми передачі енергії у процесі від одного тіла до іншого. Перший спосіб передачі енергії реалізується при безпосередньому контакті двох тіл з різними температурами. Кількість енергії, яка передається таким способом називається теплотою або кількістю теплоти. Отже, теплота виникає лише при наявності найменшої різниці температур в різних точках тіла або між тілами.

Звідси теплота не є повним диференціалом, оскільки не має конкретного числового значення на наступному моменті часу, є лише кількість теплоти, що передається за якийсь проміжок часу.

Теплота— Q [Дж], питома q [Дж/кг]. Підраховують за формулою

$$\delta q = c_x dt = \int_{t_1}^{t_2} c_x dt = c_x (t_2 - t_1),$$

де c_x - теплоємність робочого тіла в даному термодинамічному процесі, Дж/(кг·К).

Для термодинамічного аналізу циклів теплових машин користуються TS-діаграмою (рис. 3.2.).

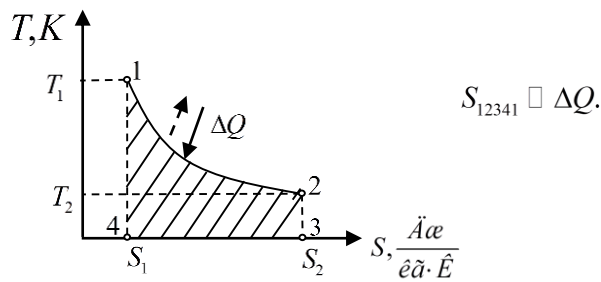


Рис.3.2. TS-діаграма термодинамічного циклу

Зручність користування полягає в тому, що площа фігури, яка обмежена ділянкою процесу і віссю абсцис еквівалентна кількості підведеної або відведеної теплоти. Друга форма передачі енергії реалізується з наявністю силових полів або зовнішнього тиску. Для передачі енергії тіло повинно або пересуватись в силовому полі або змінювати свій об'єм під дією зовнішнього тиску. Такий спосіб передачі енергії називається роботою і позначається L [Дж], питома l [Дж/кг]. В технічній термодинаміці роботу підраховують за формулою

$$\delta l = p dV = \int_{V_1}^{V_2} p dV = p(V_2 - V_1)$$

і називають „зовнішня корисна робота”.

Розрізняють також роботу, що затрачується із зовні на привід термодинамічної системи. Її позначають l_0 , і по відношенню до термодинамічної системи вона є від'ємною

$$\delta l_0 = -v dp = - \int_{p_1}^{p_2} v dp = -v(p_2 - p_1) = v(p_1 - p_2)$$

Цю роботу підраховують для розрахунку процесів роботи компресорів, холодильних машин. Робота, як і теплота, не є величиною повним диференціалом, оскільки виникає лише при наявності зміни об'єму.

Для термодинамічного аналізу циклів теплових машин поруч з TS-діаграмою застосовують pV-діаграму (рис.3.3.) зміни стану робочого тіла в процесі роботи машин. Зручність користування полягає в тому, що зовнішня корисна робота еквівалентна площі фігури, обмеженої ділянкою процесу і віссю абсцис, а робота підведена із зовні еквівалентна площі фігури обмеженій ділянкою процесу і віссю ординат.

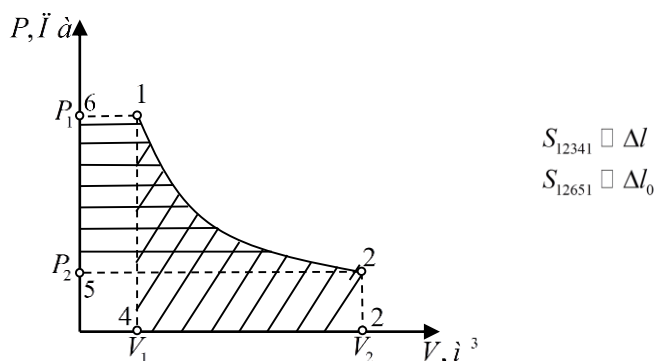


Рис.3.2. PV-діаграма термодинамічного циклу

Аналіз одного і того ж циклу даної теплової машини одночасно проводиться за допомогою PV і TS-діаграм. Цикли мають різну геометричну форму, оскільки це різні системи координат.

3.3. Ідеальний газ. Універсальне рівняння стану ідеального газу Менделєєва-Клапейрона.

Ідеальний газ—це газ, в якому відсутні сили взаємодії між молекулами, а розміри молекул значно менші, ніж об'єм, який вони займають, отже, нехтують силами взаємодії між молекулами та їх розмірами.

Ідеальний газ—це такий стан газу, тиск якого прямує до нуля. В ТОТ часто для спрощення розрахунків і пояснення фізичного змісту виконують розрахунки, замінюючи реальний газ ідеальним.

1874 р Д.І.Менделєєв ґрунтуючись на законі Дальтона ("У рівних об'ємах різних ідеальних газів, що знаходяться при однакових температурах і тисках, міститься однакова кількість молекул") запропонував універсальне рівняння стану, яке називають рівнянням Клапейрона-Менделєєва:

$$PV = mRT,$$

$$PV = \frac{m}{\mu} R_{\mu} T,$$

де P – тиск, Па; V – об'єм, м³; m – маса, кг; R – газова стала, Дж/(кг·К); T – абсолютна температура, К; μ – молекулярна вага газу, кг/кмоль; R_{μ} – універсальна газова стала, кг/(кмоль·К), $R_{\mu} = 8314$.