

Εξέργεια

Πρώτος θερμοδυναμικός νόμος: η ενέργεια διατηρείται (αναφέρεται στην ποσότητα της ενέργειας)

Δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος:

- στον υποβιβασμό της ενέργειας κατά τη διάρκεια μιας μεταβολής,
- στην παραγωγή εντροπίας
(αναφέρεται στην ποιότητα της ενέργειας)

Σύστημα σε κατάσταση **πλήρους εξάντλησης:** βρίσκεται σε θερμοδυναμική ισορροπία με το περιβάλλον του, δηλαδή:

- έχει ίση πίεση και θερμοκρασία με το περιβάλλον του,
- έχει μηδενική κινητική ή δυναμική ενέργεια σε σχέση με το περιβάλλον του,
- δεν έχει καμία χημική αντίδραση με το περιβάλλον του,
- δεν μπορεί να παράξει έργο,
- το σύστημα έχει μηδενική εξέργεια

Εξέργεια

Δυναμικό έργο: η ικανότητα που έχει ένα σύστημα να παράξει έργο, δηλαδή η ποσότητα της ενέργειας που μπορεί να εξαχθεί με τη μορφή ωφέλιμου έργου

Εξέργεια ή διαθέσιμη ενέργεια ή διαθεσιμότητα: εκφράζει τη μέγιστη ικανότητα της ενέργειας για παραγωγή έργου από ένα σύστημα το οποίο βρίσκεται σε μια συγκεκριμένη κατάσταση μέσα σ' ένα συγκεκριμένο περιβάλλον

Η εξέργεια για δεδομένη κατάσταση **εξαρτάται:**

- από τις συνθήκες του περιβάλλοντος του (ή από την κατάσταση πλήρους εξάντλησης)
- από τις ιδιότητες του συστήματος.

Η εξέργεια **είναι** μια ιδιότητα του συνδυασμού συστήματος-περιβάλλοντος και όχι μόνο του συστήματος.

Ένας **τρόπος για να αυξήσουμε** την εξέργεια ενός συστήματος είναι να μειωθεί η εξέργεια του περιβάλλοντος, πράγμα δύσκολο.

Περιβάλλον (*surroundings*), ονομάζουμε ότι υπάρχει έξω από τα όρια του συστήματος και διακρίνεται σε άμεσο περιβάλλον και περιβάλλοντων χώρο.

Εξέργεια

Περιβάλλον: ότι υπάρχει έξω από τα όρια του συστήματος και διακρίνεται σε άμεσο περιβάλλον και περιβάλλον χώρο.

Άμεσο περιβάλλον: αναφέρεται στο μέρος του περιβάλλοντος που επηρεάζεται από την μεταβολή.

Περιβάλλον χώρο: είναι ένας χώρος έξω από το άμεσο περιβάλλον, οι ιδιότητες του οποίου δεν επηρεάζονται από τη μεταβολή.

Έργο περιβάλλοντος (W_{surr}): είναι το έργο που παράγεται κατά τη διάρκεια μιας μεταβολής από το περιβάλλον ή ενάντια σ' αυτό

Ωφέλιμο έργο

$$UW = W_{\text{real}} - W_{\text{surr}}$$

W_{real} το πραγματικό έργο και

W_{surr} το έργο του περιβάλλοντος

Αντιστρεπτό έργο, W_{rev} : η μέγιστη ποσότητα ωφέλιμου έργου που μπορεί να παραχθεί, όταν ένα σύστημα πραγματοποιεί μια μεταβολή από μία αρχική σε μία τελική κατάσταση.

(αντιστρεπτή μεταβολή)

Αναντιστρεπτότητα ή αλλιώς καταστροφή εξέργειας: το χαμένο δυναμικό έργο κατά τη διάρκεια μιας μεταβολής λόγω εμφάνισης αναντιστρεπτοτήτων

$$I = W_{\text{rev}} - UW$$

όπου W_{rev} και UW το αντιστρεπτό και το ωφέλιμο έργο, αντίστοιχα

Εξέργεια

Συντελεστής απόδοσης του 2ου νόμου: αποτελεί ένα μέτρο της πραγματικής λειτουργίας σε σχέση με την καλύτερη δυνατή λειτουργία κάτω από τις ίδιες συνθήκες

Για τις θερμικές μηχανές ο συντελεστής απόδοσης του 2ου νόμου: ο λόγος της πραγματικής θερμικής απόδοσης προς τη μέγιστη δυνατή (αντιστρεπτή) θερμική απόδοση κάτω από τις ίδιες συνθήκες

$$\eta_{\text{law}} = \frac{\eta_{\text{th}}}{\eta_{\text{th,rev}}}$$

Διατάξεις παραγωγής έργου:

$$\eta_{\text{law}} = \frac{UW}{W_{\text{rev}}}$$

UW και W_{rev} το ωφέλιμο και το αντιστρεπτό έργο, αντίστοιχα

Διατάξεις που καταναλώνουν έργο:

$$\eta_{\text{law}} = \frac{W_{\text{rev}}}{UW}$$

Διατάξεις που δεν παράγουν ή καταναλώνουν έργο:

$$\eta_{\text{law}} = \frac{\text{ανακτημένη εξέργεια}}{\text{προσδιδόμενη εξέργεια}}$$

Εξέργεια

Εξέργεια της κινητικής ενέργειας ανά μονάδα μάζας:

$$x_{ke} = \frac{\vec{V}^2}{2} \quad (\text{J/kg})$$

\vec{V} είναι η ταχύτητα του συστήματος ως προς το περιβάλλον

Εξέργεια της δυναμικής ενέργειας ανά μονάδα μάζας:

$$x_{de} = gz \quad (\text{J/kg})$$

z είναι η απόσταση του συστήματος ως προς ένα επίπεδο αναφοράς στο περιβάλλον

Εξέργεια της εσωτερικής ενέργειας ανά μονάδα μάζας:

$$x_{int} = (u - u_{zero}) + P_{zero} (v - v_{zero}) + T_{zero} (s - s_{zero}) \quad (\text{J/kg})$$

Κλειστό σύστημα ισχύει πάντα για την εξέργεια της εσωτερικής ενέργειας:

$$x_{int} \geq 0$$

Εξέργεια

Εξέργεια του έργου ροής ανά μονάδα μάζας:

$$x_{\text{flow}} = P v + P_{\text{zero}} v \quad (\text{J/kg})$$

$x_{\text{flow}} = 0$ για ένα ρευστό που ρέει σε ατμοσφαιρική πίεση.

$x_{\text{flow}} < 0$ όταν η πίεση του ρευστού που ρέει είναι μικρότερη από την ατμοσφαιρική πίεση, από αυτό συνεπάγεται ότι πρέπει να δοθεί έργο στο ρευστό, ώστε να έρθει στην κατάσταση του περιβάλλοντος, δηλαδή στην κατάσταση πλήρους εξάντλησης, (κατάσταση μηδενικής εξέργειας).

Εξέργεια ενθαλπίας ανά μονάδα μάζας:

$$x_{\text{enth}} = (h - h_{\text{zero}}) - T_{\text{zero}} (s - s_{\text{zero}}) \quad (\text{J/kg})$$

μπορεί να είναι αρνητική σε πίεση μικρότερη από την ατμοσφαιρική.

Εξέργεια για απλά συμπιεστά κλειστά συστήματα ανά μονάδα μάζας

$$x_{\text{closed}} = (u - u_{\text{zero}}) + P_{\text{zero}} (v - v_{\text{zero}}) - T_{\text{zero}} (s - s_{\text{zero}}) + \frac{\vec{V}^2}{2} + gz \quad (\text{J/kg})$$

$$x_{\text{closed}} \geq 0$$

Εξέργεια

Εξέργεια για ανοικτά συστήματα ανά μονάδα μάζας

$$x_{\text{open}} = (u - u_{\text{zero}}) + P_{\text{zero}} (v - v_{\text{zero}}) - T_{\text{zero}} (s - s_{\text{zero}}) + \frac{\vec{V}^2}{2} + gz + (P - P_{\text{zero}})v$$

Εξέργεια

Μεταφορά εξέργειας μέσω μεταφοράς θερμότητας ανά μονάδα μάζας σε μια θέση με απόλυτη θερμοκρασία T_2

$$X_{\text{heat}} = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)q$$

όπου T_1 μπορεί να είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος και τότε $T_1 = T_\alpha = T_{\text{zero}}$

$T_1 > T_2$: η μεταφορά θερμότητας προς ένα σύστημα αυξάνει την εξέργεια του συστήματος και η μεταφορά θερμότητας από το σύστημα τη μειώνει.

$T_1 < T_2$: η θερμότητα που μεταφέρεται είναι η θερμότητα που απορρίπτεται στο ψυχρό μέσο και δε θα πρέπει να συγχέεται με τη θερμότητα που παρέχεται από το περιβάλλον σε θερμοκρασία T_2 .

$T_1 = T_2$: η εξέργεια που μεταφέρεται με τη θερμότητα είναι μηδενική.

Μεταφορά της εξέργειας μέσω μεταφοράς έργου ανά μονάδα μάζας:

$$X_{\text{work}} = \frac{UW - W_{\text{surr}}}{m}$$

όταν πρόκειται για έργο ογκομεταβολής, όπου $W_{\text{surr}} = (V_2 - V_1)P_\alpha$, και P_α είναι η ατμοσφαιρική πίεση και V_1 και V_2 είναι ο αρχικός και ο τελικός όγκος του συστήματος, αντίστοιχα

$$X_{\text{work}} = \frac{UW}{m}$$

για κάθε άλλη μορφή έργου

Εξέργεια

Μεταφορά εξέργειας λόγω μεταφοράς μάζας ανά μονάδα μάζας

$$x_{\text{mass}} = (h - h_{\text{zero}}) - T_{\text{zero}} (s - s_{\text{zero}}) + \frac{\vec{V}^2}{2} + gz \Rightarrow x_{\text{mass}} = \Psi$$

Γενικά συμπεράσματα:

$x_{\text{heat}} = 0$ για αδιαβατικά συστήματα.

$x_{\text{mass}} = 0$ για κλειστά συστήματα.

$x_{\text{total}} = 0$ για κλειστά απομονωμένα συστήματα, αφού στα συστήματα αυτά δε λαμβάνει χώρα μεταφορά θερμότητας, έργου ή μάζας.

Εξέργεια

Αρχή μείωσης της εξέργειας:

Η εξέργεια δεν αυξάνεται και κατά τη διάρκεια μιας πραγματικής διεργασίας καταστρέφεται

Μονωμένο σύστημα: η εξέργεια πάντα μειώνεται ή στην καλύτερη περίπτωση παραμένει σταθερή, όταν η διεργασία είναι αντιστρεπτή, δηλ.;

$$\Delta x_{\text{isolated}} = (x_2 - x_1)_{\text{isolated}} \leq 0$$

Συμπειες:

- Η εξέργεια ενός συστήματος μπορεί και να αυξηθεί.
- Η μεταβολή της εξέργειας ενός συστήματος μπορεί να είναι θετική ή αρνητική κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας.
- Η εξέργεια που καταστρέφεται δε μπορεί να είναι αρνητική.

Για μία διεργασία ισχύει:

Αδύνατη διεργασία $x_{\text{destroyed}} < 0$

Αντιστρεπτή διεργασία $x_{\text{destroyed}} = 0$

Μη αντιστρεπτή διεργασία $x_{\text{destroyed}} > 0$

Εξέργεια

Η παραγωγή εντροπίας οδηγεί σε **καταστροφή της εξέργειας**, δηλ.:

$$\dot{X}_{\text{destroyed}} = T_{\text{zero}} S_{\text{gen}} \geq 0$$

Αρχή διατήρησης της εξέργειας σ' ένα σύστημα:

$$\Delta \dot{X}_{\text{system}} = \dot{X}_{\text{in}} - \dot{X}_{\text{out}} - \dot{X}_{\text{destroyed}}$$

$\Delta \dot{X}_{\text{system}}$ ο ρυθμός μεταβολής της εξέργειας ενός συστήματος ανά μονάδα μάζας κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας

$\dot{X}_{\text{in}} - \dot{X}_{\text{out}}$ ο ρυθμός μεταφοράς εξέργειας ανά μονάδα μάζας με τη μορφή θερμότητας, έργου και μάζας.

$\dot{X}_{\text{destroyed}}$ ο ρυθμός ανά μονάδα μάζας που καταστρέφεται η εξέργεια μέσα στα όρια του συστήματος εξαιτίας των αναντιστρεπτοτήτων (ή της παραγωγής εντροπίας).

Κλειστό σύστημα

$$\Rightarrow \Delta \dot{x}_{\text{system}} = \dot{x}_2 - \dot{x}_1 = \sum \left(1 - \frac{T_{\text{envir}}}{T} \right) \dot{q} - [\dot{w} - P_{\text{envir}} (V_2 - V_1)] - T_{\text{envir}} \dot{s}_{\text{gen}}$$

\dot{q} είναι ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας μέσω της οριακής επιφάνειας με θερμοκρασία T στη θέση

Ανοικτό σύστημα

$$\begin{aligned} \Rightarrow \Delta \dot{x}_{\text{system}} = \dot{x}_2 - \dot{x}_1 = & \sum \left(1 - \frac{T_{\text{envir}}}{T} \right) \dot{q} - (\dot{w} - P_{\text{envir}} \dot{V}) + \\ & + \sum m_{\text{in}} \left[(h_{\text{in}} - h_{\text{envir}}) - T_{\text{envir}} (s_{\text{in}} - s_{\text{envir}}) + \frac{\vec{V}_{\text{in}}^2}{2} + gz \right] - \\ & - \sum m_{\text{out}} \left[(h - h) - T_{\text{envir}} (s - s_{\text{envir}}) + \frac{\vec{V}_{\text{out}}^2}{2} + gz \right] - \dot{x}_{\text{destroyed}} \end{aligned}$$

η αρχική κατάσταση 1 η τελική κατάσταση 2 του όγκου ελέγχου

Εξέργεια

Ανοικτά συστήματα μόνιμης ροής μίας εισόδου και μίας εξόδου:

$$\dot{V} = 0 \quad \Delta \dot{x}_{\text{system}} = 0$$

$$\sum \left(1 - \frac{T_{\text{envir}}}{T} \right) \dot{q} - \dot{w} + (\psi_1 - \psi_2) - x_{\text{destroyed}} = 0$$

όπου

$$\psi = (h - h_{\text{envir}}) - T_{\text{envir}} (s - s_{\text{envir}}) + \frac{\vec{V}^2}{2} + gz$$

$$\psi_1 - \psi_2 = (h_1 - h_2) - T_{\text{envir}} (s_1 - s_2) + \frac{\vec{V}_1^2 - \vec{V}_2^2}{2} + g(z_1 - z_2) \quad (\text{Εξέργεια ροής})$$

Για αντιστρεπτή διεργασία:

$$\sum \left(1 - \frac{T_{\text{envir}}}{T} \right) \dot{q} - \dot{w}_{\text{rev}} + (\psi_1 - \psi_2) - x_{\text{destroyed}} = 0$$

Για αντιστρεπτή διεργασία και αδιαβατική:

$$\dot{w}_{\text{rev}} = \psi_1 - \psi_2$$

Εξέργεια

Δείκτες Ενεργειακής Συμπεριφοράς Συστήματος Συμπαραγωγής

(περίοδος αναφοράς όλων των μεγεθών συνήθως θεωρείται το ένα έτος)

συντελεστής μηχανικής απόδοσης του κύριου κινητήρα: $\eta_m = \frac{UW}{\dot{m}_f \cdot FCV}$

συντελεστής ηλεκτρικής απόδοσης η_e του κύριου κινητήρα: $\eta_e = \frac{UW_e}{HI} = \frac{UW_e}{\dot{m}_f \cdot FCV}$

συντελεστής θερμικής απόδοσης του CHP: $\eta_q = \frac{\dot{Q}}{HI} = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_f \cdot FCV}$

ολικός συντελεστής απόδοσης του συστήματος συμπαραγωγής CHP:

$$\eta_{CHP} = \eta_e + \eta_q = \frac{UW + \dot{Q}}{HI}$$

Εξεργειακός θερμικός βαθμός απόδοσης:

$$x_q = \frac{\dot{E}_q}{\dot{E}_f} = \frac{\dot{E}_q}{\dot{m}_f \cdot \varepsilon_f}$$

\dot{E}_q είναι η ροή ενέργειας που αντιστοιχεί στην θερμική ισχύ \dot{Q}

\dot{E}_f είναι η ροή ενέργειας του καυσίμου και ε_f η ειδική εξέργεια του καυσίμου.

Ολικός εξεργειακός συντελεστής απόδοσης του συστήματος συμπαραγωγής CHP:

$$x = \eta_e + x_q = \frac{UW_e + \dot{E}_q}{\dot{E}_f}$$

Εξέργεια

Λόγος της ωφέλιμης ηλεκτρικής ισχύς προς την παραγόμενη θερμική ισχύ

$$\text{PHR} = \frac{UW_e}{\dot{Q}}$$

Λόγος εξοικονόμησης ενέργειας καυσίμου

$$\text{FESR} = \frac{HI_s - HI_c}{HI_s}$$

HI_s : η ολική θερμική ισχύς του καυσίμου που απαιτείται για ξεχωριστή παραγωγή UW_e και \dot{Q} ενώ HI_c είναι η ολική θερμική ισχύς του καυσίμου που απαιτείται ώστε το σύστημα συμπαραγωγής να παράγει τις ίδιες UW_e και με την ξεχωριστή παραγωγή.

Σύστημα συμπαραγωγής προτιμητέο πρέπει: $\text{FESR} > 0$

Εξέργεια

Εάν θεωρηθεί ότι το σύστημα συμπαραγωγής αντικαθιστά χωριστές μονάδες παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας με βαθμούς απόδοσης η_e και η_q αντίστοιχα, τότε:

$$\eta_{\text{CHP}} = \eta_e \cdot \left(1 + \frac{1}{\text{PHR}}\right) \qquad \text{PHR} = \frac{\eta_e}{\eta_q} = \frac{\eta_e}{\eta - \eta_e}$$

$$\text{FESR} = 1 - \frac{\text{PHR} + 1}{\eta \cdot \left(\frac{\text{PHR}}{\eta_e} + \frac{1}{\eta_q}\right)}$$

$$\text{HI}_{\text{fS}} = \text{HI}_{\text{fe}} + \text{HI}_{\text{fq}} = (\dot{m}_f \cdot \text{FCV})_e + (\dot{m}_f \cdot \text{FCV})_q$$

$$\text{HI}_{\text{fe}} = (\dot{m}_f \cdot \text{FCV})_e = \frac{W_e}{\eta_e} \qquad \text{HI}_{\text{fq}} = (\dot{m}_f \cdot \text{FCV})_q = \frac{\dot{Q}}{\eta_q}$$

όπου οι δείκτες e και q αντιστοιχούν σε ξεχωριστά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας