TD Compresseur axial

Remarque : les équations citées dans les solutions des exercices, vous les trouverez dans le chapitre 3 du cours de turbomachine approfondie.

Ex 1

Soit l'écoulement de l'air de masse volumique ρ, de vitesse débitante V_n, à travers la section S, le débit est : $\dot{m} = \rho\, S\, V_n$. Sachant que, la vitesse axiale est constante tout le long du compresseur. Montrer la relation suivante : $S_1 > S_2$.

Solution

Par construction, la vitesse axiale est constante tout le long du compresseur, on a alors : $V_{n1} = V_{n2}$

La conservation du débit-massique à l'entrée et à la sortie du compresseur : $\rho_1\, S_1\, V_{n1} = \rho_2\, S_2\, V_{n2}$, $\Rightarrow \rho_1\, S_1 = \rho_2\, S_2$ et par la suite $\frac{S_1}{S_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$

Dans le compresseur, la pression de sortie est supérieure à l'entrée $P_2 > P_1$, la masse volumique augmente du fait de la compressibilité de l'air. C'est-à-dire pour une même quantité de masse, le volume diminue. $\rho_2 > \rho_1$. Par ailleurs en considérant la relation : $\frac{S_1}{S_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$, on conclu que la section d'entrée S_1, est supérieure à la section de sortie S_2, et alors : $S_1 > S_2$, l'espace annulaire de l'écoulement d'air dans le compresseur doit être convergent.

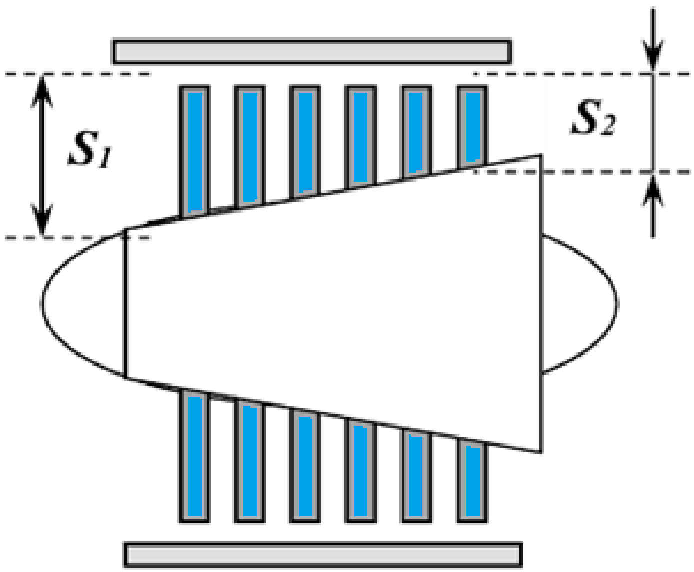


Figure Schéma d'un compresseur axial.

Ex 2

Les données d'un compresseur axial pour un étage sont suivants:

- Température de stagnation de l'air à l'entrée $T_1 = 295K$

- Angle de l'aube à la sortie $\beta_2 = 32^0$

- Coefficient de débit $\varphi = \frac{V_n}{U} = 0{,}56$

- Nombre de Mach de la vitesse relative à l'entrée $M_{W1} = 0{,}78$

- Degré de réaction R= 0,5

Trouver :

1) L'angle de l'aube à l'entrée β_1

2) L'expression de la vitesse relative $W1$, en nombre de Mach

3) La vitesse axiale V_a

4) l'élévation de température de stagnation ΔT_{0s}

Solution :

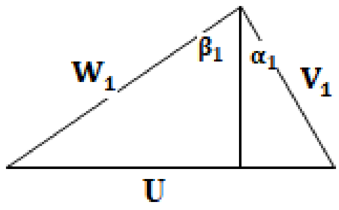


Figure triangle de vitesses à l'entrée

1) Le degré de réaction est donné par l'équation (53) : $R = \frac{V_n}{2\,U}\left(tg\beta_1 + tg\beta_2\right)$ et le coefficient de débit $\varphi = \frac{V_n}{U} = 0{,}56$.

Donc on peut calculer : $tg\beta_1 = \frac{2\,R}{\varphi} - tg\beta_2 = 1{,}16$ et delà on tire $\beta_1 = 49{,}24^0$

2) L'expression de la vitesse relative $W1$, en nombre de Mach s'écrit comme suit : $M_{W1} = \frac{V_1}{(\gamma\, R\, T_1)^{\frac{1}{2}}}$

3) la température statique $T_1 = T_{01} + \frac{V_1^2}{2\,C_p}$, avec l'expression de M_{W1}, on a : l'équation : $V_1^2 = \gamma\, R\, {M_{W1}}^2 \left(T_{01} - \frac{V_1^2}{2\,C_p}\right)$,

Du triangle de vitesses : $W_1 = \frac{V_n}{\cos\beta_1}$ et $V_1 = \frac{V_n}{\cos\alpha_1}$

comme le degré de réaction R = 0,5 on a l'égalité : $\alpha_1 = \beta_2$ et par conséquent $V_1 = \frac{V_n}{\cos\beta_2}$

En remplaçant W_1, dans l'équation de V_1, on a l'équation suivante :

$$V_n{}^2 = 104{,}41\,295 - \frac{V_n^2}{1445}, \Longrightarrow V_n = 169{,}51 \text{ m/s}$$

4) L'augmentation de la température de stagnation est obtenue à partir de la combinaison de l'équation (41) : $\Delta T_{0s} = \frac{\lambda}{C_p} U\, V_n \left(tg\beta_1 - tg\beta_2\right)$ et $\varphi = \frac{V_n}{U}$, alors :

$$T_{02} - T_{01} = \frac{V_n{}^2}{C_p\ \varphi}\left(tg\beta_1 - tg\beta_2\right) = 27{,}31 \text{ K.}$$

Ex 3

Un compresseur axial a les données suivantes :

- Vitesse de rotation N = 152 trs/s.

– Le facteur $\lambda = 0{,}93$.

- Vitesse tangentielle U = 205 m/s au rayon moyen r_{moy}.

– Degré de réaction R = 50%, au rayon moyen.

Déterminer :

1) les angles l'aube β_1, β_2, et des vitesses absolues α_1, α_2

2) le rayon moyen r_{moy}

Solution

1) En considérant le facteur λ, et utilisant l'équation (41) :

$\Delta T_{0s} = \frac{\lambda}{C_p} U\, V_n \left(tg\beta_1 - tg\beta_2\right)$, ce permet de trouver l'équation suivante:

$\left(tg\beta_1 - tg\beta_2\right) = 0{,}814$, **(A)**

par ailleurs, le degré de réaction est donné par l'équation (53) :

$R = \frac{V_n}{2\,U}\left(tg\beta_1 + tg\beta_2\right)$, ce qui permet de trouver l'équation suivante :

$tg\beta_1 + tg\beta_2 = 1.318$, **(B)**

obtention des angles l'aube β_1, β_2:

la résolution pour β_1, et β_2, du système d'équation (A) et (B) permet d'obtenir :

$2\ tg\,\beta_1 = 2{,}132$, Alors $\beta_1 = 46{,}83^0$,

et $tg\,\beta_2 = 1{,}318 - tg\beta_1$, $\beta_2 = 14{,}14^0$,

obtention des angles l'aube α_1, α_2:

le triangle de vitesses est symétrique car la valeur du degré de réaction est 50%, on a alors : $\beta_1 = 46{,}83^0 = \alpha_2$, et $\beta_2 = 14{,}14^0 = \alpha_1$,

2) le rayon moyen r_{moy}, est obtenu en appliquant la relation suivante :

$r_{moy} = \frac{U}{2\,\pi\,N} = 0.215$ m

Ex 4 :

l’'air entre dans un compresseur axial, à la pression de stagnation et température de $P_{01} = 1$ bar, et $T_{01} = 292K$, respectivement. Le rapport de pression du compresseur est de $R_{pr} = 9{,}5$. Si le rendement isentropique du compresseur est $\eta_c = 0{,}85$.

Trouver :

1) la température T_{02}, à la sortie.

2) le travail de compression,

Prendre $\gamma = 1{,}4$ et la capacité de l’air $C_p = 1{,}005$ kJ / kg K.

Solution

1) l’application de l’équation : $\frac{P_{02}}{P_{03}} = \left(\frac{T_{02'}}{T_{01}}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$, permet d’obtenir la température isentropique à la sortie :

$T_{02'} = T_{01} \frac{P_{02}}{P_{03}}^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 55{,}92$ K, la relation du rendement isentropique :

$\eta_c = \frac{T_{02'} - T_{01}}{T_{02} - T_{01}}$, de ces relations on tire l’expression de la température :

$T_{02} = T_{01} + \frac{T_{02'} - T_{01}}{\eta_c} = 602{,}49$ K

2) le travail de compression est :

$W_c = C_p \,(T_{02} - T_{01}) = 312$ kJ/kg

Ex 5

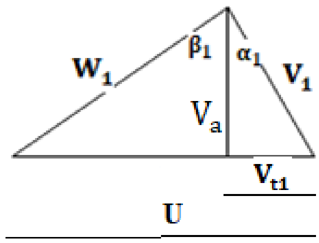
Un compresseur axial, de diamètre extérieure du rotor égale à D = 0,95 m et diamètre du moyeu égale à $D_{moyeu} = 0{,}85\ \mathrm{m}$. L'angle de la vitesse absolue $\alpha_1 = 28^0$ mesuré à partir de la direction axiale et l'angle de la vitesse relative $\beta_1 = 56^0$. L'angle de sortie de vitesse absolue est $\alpha_2 = 56^0$ et l'angle de sortie de la vitesse relative est $\beta_2 = 28^0$. Le rotor tourne à N = 5000 tours par minute et la densité de l'air est de 1,2 kg / m^3. Déterminer :

1. La vitesse axiale
2. Le débit massique
3. La puissance requise

Solution

1) la vitesse U est donnée par : $U = \frac{\pi\, D\, N}{60} = 249\ \mathrm{m/s}$

la vitesse au moyeu est $U = \frac{\pi\, D_{moyeu}\, N}{60} = 223\ \mathrm{m/s}$



A partir du triangle de vitesses on a :

$tg\alpha_1 = \frac{V_{t1}}{V_a}$ et $tg\beta_1 = \frac{U - V_{t1}}{V_a}$ en additionnant ces deux relations on obtient :

$\frac{U}{V_a} = tg\alpha_1 + tg\beta_1$, ce qui donne :

$U = V_n\,(tg\,\alpha_1 + tg\,\beta_1) = V_n\,(2{,}0146)$, D'où on tire la vitesse axiale :

$V_a = V_n = 123{,}6\ \mathrm{m/s}$

2) le débit massique est : $\dot{m} = \pi\,(r^2 - r^2_{moyeu})\,\rho\, V_a = 20{,}98\ \mathrm{kg/s}$

3) le travail de compression est donné par l'équation (38) :

$\dot{W} = U\, V_n\,(tg\beta_1 - tg\beta_2) = 29{,}268\ \mathrm{kJ/kg}$

la puissance requise est $P = \dot{m}\,\dot{W} = 614\ \mathrm{kW}$.