

Mecânica dos Fluidos I (Engenharia Aeroespacial)

Problemas da semana 13
7 a 11 de Dezembro de 2015

Problema 1

Um jacto de ar inside sobre um objecto parado. A temperatura estática longe do objecto é $T_\infty = 20^\circ\text{C}$, a temperatura no ponto de estagnação é $T_0 = 40^\circ\text{C}$. A pressão estática longe do objecto é a pressão ambiente, $p_\infty = 10^5$ Pa.

1. Calcule a velocidade do jacto longe do objecto e o respectivo número de Mach;
2. Determine a massa volúmica do ar do jacto;
3. Calcule a pressão no ponto de estagnação.
4. Existe uma onda de choque antes do ponto de estagnação?
5. Se, mantendo as temperaturas indicadas acima e as propriedades do ar, duplicar a pressão ambiente, quais as respostas que se alterariam?

Soluções:

(1) A velocidade é $v_\infty = 200,5$ m/s, o número de Mach é $M_\infty = 0,584$. (2) A massa volúmica é $\rho_\infty = 1,19$ kg/m³. (3) A pressão de estagnação isentrópica é $p_0 = 1,256 \times 10^5$ Pa. (4) Não pode haver uma onda de choque num escoamento subsónico. (5) Pela definição de temperatura adiabática de estagnação, a velocidade manter-se-ia, o número de Mach também só depende da temperatura e a razão p/p_0 também seria a mesma. Alteravam-se a massa volúmica (na proporção das pressões) e a pressão de estagnação isentrópica (também na proporção das pressões estáticas p_∞).

Problema 2

Um modelo é ensaiado num túnel aerodinâmico de secção constante $A = 4$ m². Mediram-se a pressão estática e a temperatura estática em secções em que o escoamento é uniforme, a montante ($p_1 = 1,00000 \times 10^5$ Pa, $T_1 = 290,0$ K) e a jusante ($p_2 = 9,79813 \times 10^4$ Pa, $T_2 = 289,8$ K) O escoamento é de ar. A potência térmica trocada com o exterior é praticamente nula. Determine a resistência do modelo.

Soluções:

A resistência é $D = 7,119 \times 10^3$ N.

Problema 3

Um compressor radial (cf. figura 1) aspira ar atmosférico ($p_{01} = 10^5$ Pa e $T_{01} = 293$ K). A área da secção de entrada é $A_1 = 0,2$ m² e a área periférica do rotor na secção de saída é $A_2 = 0,01$ m². O caudal é $\dot{m} = 16$ kg/s, a velocidade à saída do rotor é $v_2 = 500$ m/s. O ar que sai do rotor é desacelerado parcialmente no estator até à secção de saída $A_3 = 0,2$ m². Considere que o escoamento de entrada e o escoamento no estator são perfeitamente isentrópicos, excepto nalguma possível onda de choque frontal (tudo isto só é válido como primeira aproximação) e admita que a compressão é reversível, sem troca de calor (hipóteses que também são apenas aproximadas).

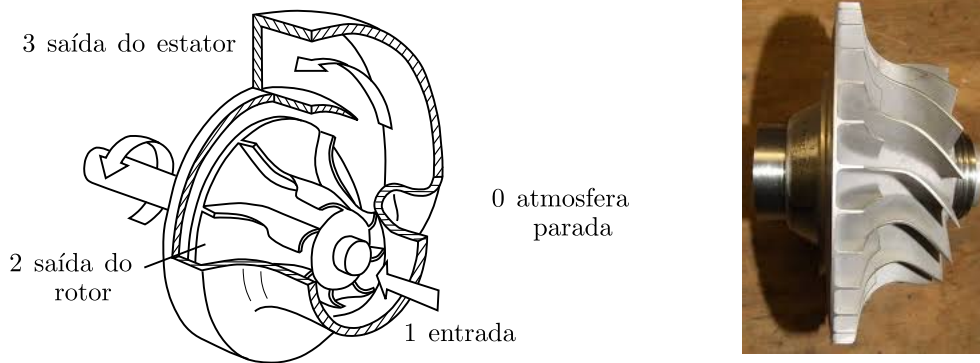


Figura 1: Esquema do compressor: o ar entra axialmente, com uma área A_1 , sai do rotor com área periférica A_2 e sai do estator com área $A_3 = A_1$. À direita, fotografia do rotor.

1. Calcule a velocidade do ar à entrada, a sua temperatura e pressão.
2. Calcule a temperatura e pressão do ar à saída do rotor.
3. Calcule a potência fornecida ao fluido pelo compressor.
4. Calcule a pressão de estagnação isentrópica à saída do rotor.
5. É de esperar uma onda de choque no estator?
6. Admita que ocorre uma onda de choque frontal logo à saída do rotor. Calcule o número de Mach e a pressão de estagnação isentrópica imediatamente a seguir à onda de choque.
7. Calcule a pressão do ar à saída do estator.
8. Calcule a velocidade do ar à saída do estator.
9. Trace a evolução da pressão p ao longo do escoamento, bem como um diagrama $T - s$, desde 0 (atmosfera parada) até 3 (à saída do estator).

Soluções:

(1) À entrada, a velocidade é $v_1 = 68,66$ m/s, a temperatura é $T_1 = 290,65$ K e a pressão é $p_1 = 9,7226 \times 10^4$ Pa. (2) À saída do rotor, a temperatura é $T_2 = 435,40$ K e a pressão é $p_2 = 4,0001 \times 10^4$ Pa. (3) A potência fornecida ao fluido é $P = 4,252 \times 10^6$ W. (4) A pressão de estagnação isentrópica à saída do rotor é $p_{02} = 9.640 \times 10^5$ Pa. (5) É de esperar uma onda de choque porque o escoamento é supersónico à saída do rotor ($M_2 = 1,195$) e desacelera para subsónico. Se o escoamento fosse isentrópico no estator, para aquele caudal mássico e condições de estagnação poderia ser $M_3 = 0,02813$ ou $M_3 = 4,760$, mas só a alternativa subsónica corresponde a uma desaceleração. Em princípio, um escoamento supersónico não desacelera até subsónico sem onda de choque. (6) Depois da onda de choque, o

número de Mach é $M_{ch2} = 0,8053$ e a pressão de estagnação isentrópica é $p_{0_{ch2}} = 9,7053 \times 10^5$ Pa. (7)
A pressão do ar à saída do estator é $p_3 = 9,7000 \times 10^5$ Pa. (8) A velocidade à saída é $v_3 = 13,25$ m/s.

José Maria C. S. André