

DINAMICA DE GASES CHOQUE OBLICUO Y ONDAS DE EXPANSIÓN

Cuando un flujo supersónico cambia de dirección “hacia si mismo”, es probable que se produzcan ondas de choque, mientras que cuando el flujo cambia de dirección “lejos de si mismo”, puede ocurrir ondas de expansión. En cambio, si la onda es muy, muy débil se produce una onda mach, el cual forma un ángulo μ respecto a la dirección del flujo corriente arriba; μ es llamado el ángulo mach, definido como:

$$\mu = \text{sen}^{-1}(M^{-1})$$

A través de la onda de choque oblicuo, los componentes tangenciales de velocidad corriente arriba y corriente debajo de la onda son iguales. Sin embargo, los componentes tangenciales de mach no son iguales. Las propiedades termodinámicas a través de la onda de choque oblicua dependen de la componente normal del número de mach corriente arriba (M_{N1}). Las relaciones de presiones, temperatura, densidad, entropía a lo largo del choque oblicuo son los mismos de choque normal utilizando como dato M_{N1} . El valor de M_{N1} es:

$$M_{N1} = M_1 \text{sen}(\beta)$$

El valor de β , que es el ángulo de la onda de choque oblicua, esta en función del ángulo θ (ángulo de superficie) y del mach inicial (M_1). La expresión es así:

$$\tan \theta = 2 \cot \beta \cdot \left(\frac{M_1^2 \cdot \text{sen} 2\beta - 1}{M_1^2 (k + \cos 2\beta) + 2} \right)$$

Analizando un poco esta expresión podemos obtener cierta información interesante:

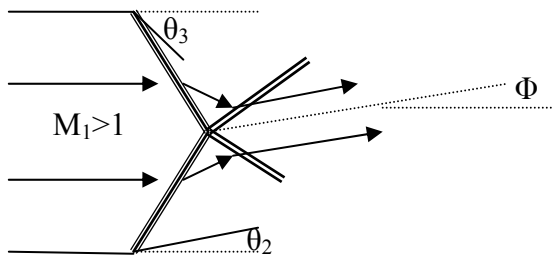
- a) Para un número de mach M_1 dado, existirá un ángulo de deflexión máximo θ_{MAX} . Si la geometría física del medio donde se desenvuelve el flujo es tal que $\theta > \theta_{MAX}$, entonces no existe solución para una onda de choque oblicua intensa. En todo caso, el choque tendera a ser mas curvado y achatado.
- b) Para un ángulo θ dado menor a θ_{MAX} ($\theta < \theta_{MAX}$), existen dos valores de β , dados por la relación θ - β - M para un numero de mach dado. Debido a que los cambios a través de la onda de choque son mas severos a medida que β se incrementa, el valor mayor de β es llamado la solución de choque fuerte o intenso, en cambio, el valor menor de β es llamado la solución de choque débil. En general, la solución de choque débil es favorecida y usualmente se produce. Sin embargo, lo que determina que se produzca o no la solución de choque fuerte es la contrapresión. Si la contrapresión es aumentada por cualquier mecanismo, entonces el choque fuerte podría producirse. En la solución de choque fuerte, M_2 es subsónico. En la solución de choque débil, M_2 es supersónico, excepto en una pequeña región de θ_{MAX} .
- c) Si $\theta=0$, entonces $\beta=\pi/2$ (correspondiente a un choque normal) o $\beta=\mu$ (correspondiente a una onda mach).
- d) Para un valor de θ dado, a medida que el número de mach de corriente libre disminuye de valores supersónicos altos a bajos, el ángulo de onda aumenta (para la solución de choque débil). Finalmente, existe un numero de mach bajo el cual no hay soluciones posibles, en el numero de macho donde $\theta = \theta_{MAX}$. Para números de mach menores la onda de choque se vuelve fuerte.

Un caso interesante de choque oblicuo es cuando se producen intersecciones de ondas de choque oblicuas de distinta naturaleza, léase ángulos de deflexión distintos. En estos casos la onda de choque en un sector será de una naturaleza mucho mayor que la otra. Se observa que el sector cuatro (4) es donde se “reencuentran” las líneas de flujo que partieron desde la condición corriente arriba uno (1), mediante un análisis físico podemos obtener algunos conocimientos:

- a) La presión de los dos flujos debe ser la misma $P_4=P_4'$. Si no lo fuera, la línea no fuera recta, sino curva.

Dinámica de Gases – Preparaduría Docente – Choque Oblicuo y Ondas de Expansión

- b) Las velocidades en la regiones 4 y 4' deben ser de igual dirección, sin embargo, ellas difieren en su magnitud. Si las velocidades tuvieran direcciones distintas, entonces existiría posibilidad de una pérdida de campo de flujo en las cercanías de la línea, algo físicamente imposible.



Hay que notar también que los valores de temperatura y densidad, como también la entropía y magnitud de velocidad son diferentes en las regiones 4 y 4'.

Como se menciona al inicio, cuando un flujo cambia de dirección “lejos de si mismo” se producirá una onda de expansión. Esta situación es totalmente opuesta al choque oblicuo. Para tener una mejor idea de lo que estamos hablando, mencionemos algunos aspectos característicos de este fenómeno:

- $M_2 > M_1$. El valor de mach aumenta.
- $P_2/P_1 < 1$, $\rho_2/\rho_1 < 1$, $T_2/T_1 < 1$. La presión, densidad y temperatura disminuyen a lo largo de la onda de expansión.
- La zona de expansión, es en realidad, una zona continua de expansión, compuesta de un número infinito de ondas mach. Esta posee una línea de mach frontal cuyo ángulo es $\mu_1 = \sin^{-1}(M_1^{-1})$ y una línea de mach trasera $\mu_2 = \sin^{-1}(M_2^{-1})$.
- Las líneas de flujo a lo largo de la onda de expansión son líneas curvas suaves.
- Debido a que la expansión toma lugar a lo largo de una sucesión continua de ondas mach y $ds=0$ para cada onda mach. Entonces la expansión es isentrópica.

En este campo hubo dos personas que realizaron los mayores aportes: el Señor Ludwig Prandtl y su estudiante Theodor Meyer, quien propuso (este ultimo) un trabajo denominado (traducido del alemán) “Sobre los procesos de flujo dibimensionales en un gas fluyendo a velocidades supersónicas”. De ese trabajo y otros mas encontramos ciertas expresiones muy útiles al estudio de este fenómeno, que podemos resumir como:

$$d\theta = \sqrt{M^2 - 1} \frac{dV}{V}$$

Integrando a lo largo de la onda, la ecuación queda de la siguiente forma:

$$\theta_2 = \nu(M_2) - \nu(M_1) \quad \text{Suponiendo } \theta_1 = 0$$

ν Es la función de Prandtl-Meyer, dada por:

$$\nu(M) = \sqrt{\frac{k+1}{k-1}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{k-1}{k+1} (M^2 - 1)} - \tan^{-1} \sqrt{M^2 - 1}$$

