

Conocimientos básicos

Flujo estacionario de fluidos compresibles

Flujo con modificación del volumen

En los gases se diferencia entre el flujo con volumen constante (incompresible) y el flujo con cambio de volumen (compresible). En el flujo incompresible de gases, los procesos de flujo se contemplan de la misma manera que en el caso del flujo de un líquido.

En caso de cambios mayores de presión y temperatura del fluido gaseoso, no se pueden dejar de lado las relaciones físicas entre presión, temperatura y volumen. Este flujo se denomina compresible. Aquí se aplica para los gases ideales la relación:

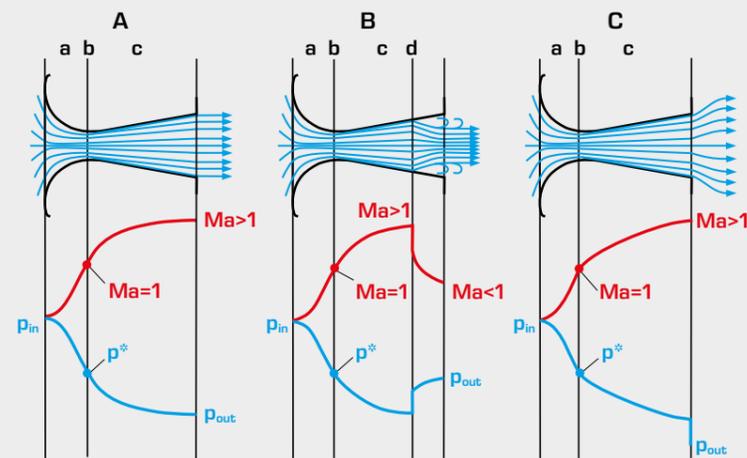
$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T$$

En este contexto es habitual utilizar el término "flujos compresibles", aunque los que son compresibles son los fluidos y no los flujos.

Cuando la velocidad de un flujo de gas es mayor que $Ma > 0,3$, debe considerarse compresible. En el aire, esto corresponde a aprox. 100 m/s a 1 bar y 0°C. Las presiones dinámicas que se producen en el flujo equivalen a máx. 60 mbar.

Por debajo de estos valores límite, un flujo de gas puede ser contemplado como un fluido incompresible con buena aproximación. El flujo en un soplante o el flujo alrededor de un vehículo, por ejemplo, se puede calificar como incompresible. En el caso de turbocompresores, turbinas de gas y vapor, toberas, aviones rápidos o cohetes, sin embargo, el flujo tiene que ser considerado como compresible.

Flujos compresibles en la técnica



Flujos a través de una tobera convergente-divergente (tobera de Laval) con diferentes contrapresiones

- A** tobera "adaptada" con relación de presión óptima. En la salida de la tobera existe velocidad supersónica.
B la onda de choque se produce en la sección divergente de la tobera, luego se establece una velocidad subsónica. Se producen pérdidas de flujo como consecuencia del desprendimiento del flujo.
C subexpansión con distribución del chorro detrás de la salida de la tobera. Se producen pérdidas de flujo.

a sección convergente, **b** sección transversal más estrecha, **c** sección divergente, **d** onda de choque, **p*** relación de presión crítica, **Ma** número de Mach, **v** desarrollo de la velocidad, **p** desarrollo de la presión

Los flujos compresibles juegan un papel muy importante en la conversión de gradientes térmicos en energía cinética en las máquinas hidrodinámicas térmicas. La conversión se realiza mediante la circulación de un gas en distribuidores o toberas. En caso de grandes diferencias de presión, el flujo puede alcanzar la velocidad del sonido e incluso excederla.

Para la generación de velocidades supersónicas se utilizan las así llamadas toberas de Laval.

En la primera parte de la tobera, la parte convergente, el flujo es acelerado a la velocidad del sonido, en la segunda parte, la parte divergente, el flujo es acelerado a velocidad supersónica mediante una mayor expansión. El caudal a través de la tobera es determinado por la velocidad del sonido en la sección transversal más estrecha de la tobera. Para la parte convergente de la tobera vale lo siguiente: en la sección transversal más estrecha de la tobera, la velocidad del fluido alcanza la velocidad del sonido. La relación de presión en este punto es denominado crítico. Al comenzar la relación de presión crítica, se alcanza el máximo caudal másico.

En caso de contrapresiones demasiado altas, se puede producir una onda de choque en la parte divergente de la tobera, de modo que el resto de la tobera trabaja como difusor subsónico y la presión vuelve a subir.

Flujo supersónico

Los flujos supersónicos se comportan en muchos sentidos de manera diferente a los flujos con velocidad subsónica y por eso muestran fenómenos especialmente interesantes.

Mientras que los flujos subsónicos son acelerados mediante reducción de la sección transversal y desacelerados mediante una expansión de la sección transversal, los flujos supersónicos se comportan de manera exactamente contraria.

En los flujos supersónicos se pueden producir fácilmente ondas de choque al modificar la sección transversal, mientras que en flujos subsónicos los desprendimientos de flujo representan un peligro.

Básicamente, la desaceleración de la velocidad supersónica sucede a través de ondas de choque. En una onda de choque la velocidad es reducida bruscamente y, al mismo tiempo, la presión y la temperatura aumentan bruscamente. En las ondas de choque se diferencia entre ondas oblicuas y ondas rectas. Una onda de choque oblicua reduce bruscamente la velocidad, pero esto no resulta en una velocidad subsónica. Después de una onda de choque recta, sin embargo, siempre existe una velocidad del rango subsónico.

Para que las pérdidas sean mínimas en difusores supersónicos, se utiliza una combinación de varias ondas de choque oblicuas y una onda de choque final recta.

Velocidad del sonido en gases

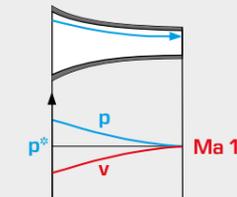
$$c = \sqrt{\kappa R T}$$

c velocidad del sonido, **κ** exponente adiabático, **R** constante de gas, **T** temperatura

Tobera

El flujo es acelerado, la presión cae

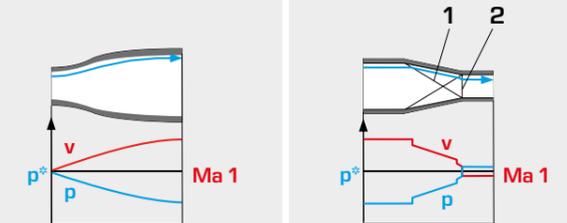
Velocidad subsónica
 $Ma < 1$



Difusor

El flujo es desacelerado, la presión aumenta

Velocidad supersónica
 $Ma > 1$



Desarrollo de la presión y velocidad

v velocidad, **p** presión, **p*** relación de presión crítica, **1** onda de choque oblicua, **2** onda de choque recta

Número de Mach como medida para la velocidad

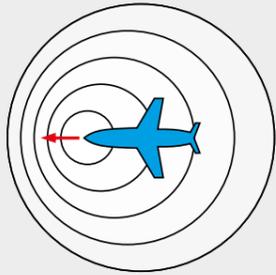
$$Ma = \frac{v}{c}$$

Ma número de Mach, **v** velocidad del fluido, **c** velocidad del sonido

Conocimientos básicos

Flujo estacionario de fluidos compresibles

Flujo alrededor y movimiento a velocidad supersónica



Velocidad
subsónica
 $Ma < 1$

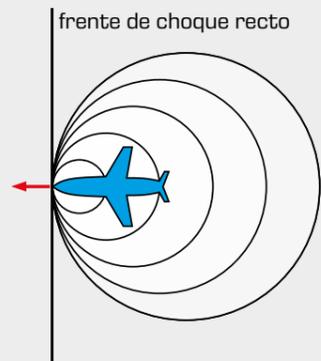
Mientras que a velocidad subsónica, el sonido emitido por el cuerpo también se desplaza hacia adelante, a velocidad supersónica esto no es así. A velocidad supersónica, todas las ondas acústicas forman un frente común en forma de cono, el así llamado cono de Mach. El ángulo de apertura del cono es una medida para el número de Mach.

Ángulo del cono de Mach

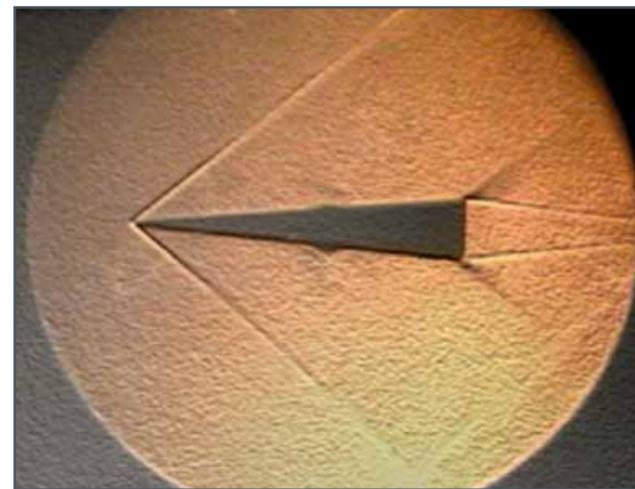
$$\sin \alpha = \frac{1}{Ma}$$

Ma número de Mach, α ángulo de Mach

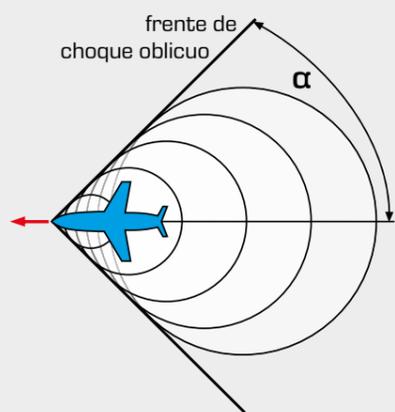
Un ejemplo típico para un frente de choque es el "estampido sónico" de un avión que vuela a velocidad supersónica. En este caso, el frente de choque da con el observador con su brusco cambio de presión y es percibido como estampido.



Velocidad
del sonido
 $Ma = 1$



Frentes de choque oblicuos (cono de Mach) en un cuerpo de resistencia cuneiforme a $Ma = 1,59$



Velocidad
supersónica
 $Ma > 1$

Propagación de ondas acústicas a diferentes velocidades de la fuente sonora en el medio

La tabla muestra un extracto de un curriculum habitual de una escuela superior. Los equipos GUNT cubren, en gran parte, estos contenidos.

Contenidos didácticos para el campo del "flujo estacionario de fluidos compresibles"	Productos GUNT
Desarrollo de la presión y velocidad en flujo en tuberías	HM 230
Ecuación de la energía de los fluidos gaseosos	HM 230
Expansiones a la salida Relación de presión crítica Velocidad crítica	HM 260, HM 261
Velocidad del sonido	HM 261, HM 230, HM 172
Gasto másico crítico	HM 261, HM 230, HM 260
Flujo en toberas convergentes-divergentes Comportamiento de la tobera de Laval con contrapresión modificable	HM 260, HM 261
Movimiento a la velocidad del sonido	HM 172
Flujo a través de ranuras y laberintos	



Con los equipos de ensayo GUNT, usted puede tratar amplia y detalladamente los temas más importantes del flujo estacionario de fluidos compresibles en su laboratorio para mecánica de fluidos.

El túnel de viento supersónico compacto HM 172 también ofrece extraordinarias posibilidades en la visualización de flujos supersónicos.