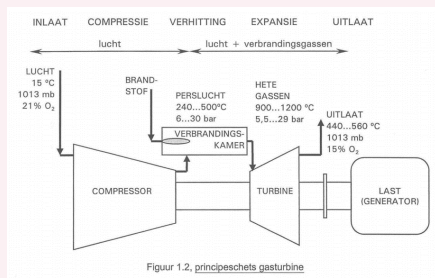


Principe schets



Werkingsprincipe

De GT is een "internal Combustion engine". Met de volgende stadia.

- **Inlaat** Lucht wordt aangezogen door een compressor, vaak een axiale compressor.
- **Compressie** De eindcompressie druk en temp. varieert, van 6-30 bar en resp. 240-500 °C.
- **Gecomprimeerde lucht naar verbrandingskamer** Slechts een relatief klein deel van deze gecompimedeerde lucht wordt toegevoegd.
- **Toevoeging van brandstof met verbranding** In de verbrandingskamer wordt brandstof toegevoerd en onder constante druk vindt verbranding plaats.

Werkingsprincipe (cont)

- **Expansie** De gevormde rookgassen worden uitgestroomd van 440-560 °C.

De turbine zit aan een as bevestigd die door de gehele gasturbine loopt en dus zelf weer de compressor aandrijft.

Het drijvend middel van de GT zijn dus rookgassen, vermengd met de overmaat aan lucht, die uit de schoorsteen verdwijnen. Dit wordt een open systeem genoemd, in tegenstelling tot een gesloten systeem, waarbij het medium, dat altijd een gas is, weer wordt teruggevoerd naar de turbine.

Soorten

Gasturbine voor vliegtuigen

- Stationaire gasturbines

Vliegtuigturbine / Straalmotor

- Geen uitgaande as en leveringen
- Enige wat de straalmotor oplevert is de uitlaat

Soorten (cont)

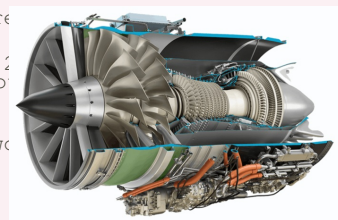
- natuurkundig principe hier het kromme moment.

Stationaire Gasturbines

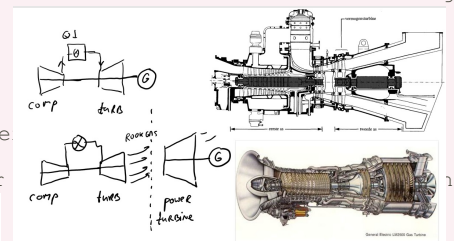
Twee soorten m.b.t. de constructie, Namelijk:

- 1 as
- 2 assen

Vliegtuigturbine/ Straalmotor



Stationaire Gasturbine



Links: 1 as

Rechts: 2 assen

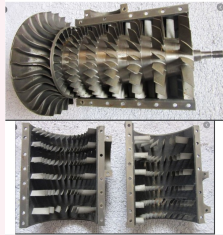


Hoofdc componenten en Constructie

We hebben te maken met de volgende hoofdc componenten:

- Compressor axiaal
- Verbrandingskamer
- Turbine

Axiale Compressoren



Axiale Compressoren

Bij de axiale compressor stroomt de lucht axiaal, dus evenwijdig aan de compressor as.

- **Bestaat uit veel trappen achter elkaar** hier vindt de omkering van de luchts troom middels vaste omkeer sch open plaats.

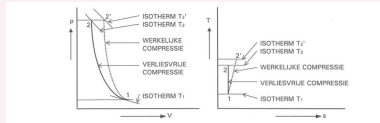
Een krans met deze vaste omkeer sch open wordt een lei wiel genoemd.

- **De drukverhoging per trap is laag** daarom heel veel trappen achter elkaar.

- **Voordeel:** zelfs ook met een hoge einddruk (bij een gasturbine bijv. 30 bar, met ook een hoge eindcompressie) kan grote volumes lucht produceren.

De doortocht wordt steeds nauwer omdat door de compressie het volume steeds kleiner wordt.

Compressie



Figuur 1.6. compressie in p-v en T-s diagram
De werkelijke compressorarbeid wordt per kg lucht:

$$W_c = c_p \cdot (T_2 - T_1) \quad [\text{kJ/kg}]$$

$$\eta_c = \frac{T_2 - T_1}{T_2 - T_1} \cdot 100\% = \frac{W_c}{W_c} \cdot 100\% \quad (\text{orde van grootte } 80 \text{ tot } 85\%)$$

Compressie

De compressie van de lucht gebeurt snel, zodat er geen warmte uitwisseling met de omgeving is.

Verliesvrije adiabatische compressie isentroop. - De lijn ligt naar links. **Nozzel**

Het verschil in oppervlakte tussen de twee lijnen

- De arbeid is s.w. lucht * delta T

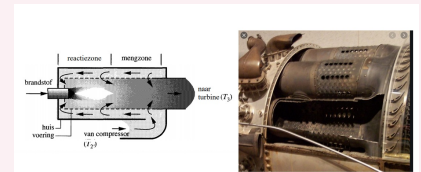
Compressie (cont)

- Het compressorendement wordt

Het compressorrendement

- Afhankelijk van inwendige verliezen
- Ligt in de orde van grootte 80-85%
- Verslechterd door vervuiling/kontaminatie
- Hoge eindcompressietemp beïnvloedt

Verbrandingskamer



Verbrandingskamer

- Deze bevat:
- **De liner** Een dun wandige veel vulde liner n stroomt.
 - De compressielijn volgt dus niet de isothermen die in het spuit de brandstof in.



Verbrandingskamer (cont)

- **Igniters** Ontsteekt de ingespoten brandstof (spark-plug)

De verbrandingskamer

- Moet sterk genoeg zijn om de hoge druk te weerstaan.
- het materiaal moet ook de hoge temperaturen weerstaan.
- Worden hoge eisen aan het materiaal gesteld.

Drukval

- Kleine drukval (een paar procent) t.o.v de eindcompressiedruk van de compressor.

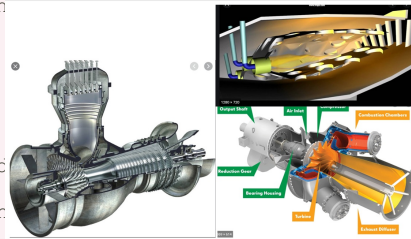
- Ontstaat doordat de lucht de geperforeerde verbrandingskamer in moet stromen.
- De turbine een iets lagere drukverhoging dan de compressor.

2 zones

- **De reactie zone** Waar de brandstof verbrandt.

- **Mengzone** De hete verbrandingsproducten mengen met de omringende lucht en deze opwarmen.

Soorten Verbrandingskamers



Soorten Verbrandingskamers

Drie soorten verbrandingskamers:

- **De Silo** Waarbij de gassen van boven het geperforeerde verbrandingskamer in moet stromen.
- **De ringvormige** De verbrandingsruimte is omringeld door de turbine en de compressor.
- **De can** Een cilindervormige verbrandingsruimte, waarbij de gassen mengen met de omringende lucht en deze opwarmen.

Turbine



FIGUUR 5.12 Koelkanalen in de schoepen van een gasturbine (bron: General Electric) (a) looppoort; (b) deel van looppoort; (c) deel van straalbuisring

- **Straalbuisring**
- **Turbinebladen**
- **Koeling**

Turbine

Na verwarming expanderen de warme rookgassen.

Straalbuisring

- Gaan de rookgassen doorheen.
- Zorgt dat de rookgassen met de juiste druk te weerstaan.
- Analoog met een leiwielt van de stoomturbine.

Na elk loopwiel volgt een leiwiel of straalbuisring.

Turbinebladen

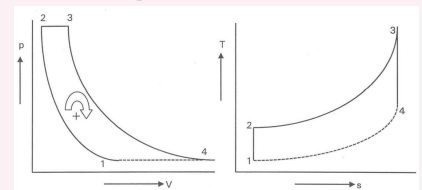
- Dit zijn holle turbinebladen.

Koeling

Rendement

- Voordeel uit zo hoog mogelijke in verbrandingsruimte, waarbij de gassen worden opgewarmd.

Thermodynamica



Het proces in de gasturbine wordt hier links uitgezet in het P-V-diagram, rechts het T-S diagram.

Thermodynamica in P-V en T-S

Diagrammen

1-2 Compressie -Adiabatische compressie

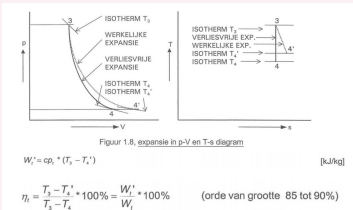
2-3 Warmte toevoer Er wordt warmte toegevoerd bij een constante druk.

3-4 Expansie De lucht expandeert, waarbij deze arbeid verricht.

4-1 Uitlaat -De lijn is gestippeld, omdat het medium niet wordt teruggevoerd en via de uitlaat verdwijnt. Voordeel is dat hierdoor immers een constant koppel wordt getoond.

Ong slechts 25% v/d lucht die wordt aangezogen is verbrandingslucht. Het medium waarop de GT werkt zijn dus lucht waar warmte aan wordt toegevoerd, of beter rookgassen. Een aanzienlijk deel van het opgewekte vermogen van de GT wordt gebruikt voor compressie arbeid.

Thermodynamica expansie



Thermodynamica expansie

De Hierdoor vindt er weinig of geen warmteoverdracht plaats met de verbrandingskamer.

gaat zeer snel. Grote volumes worden in zeer korte tijd gecompimereerd, geen tijd voor warmte uitwisseling met de verbrandingskamer.

Tijdens De druk en temp. dalen naar de werkelijke uitlaattemp. T4. In het echt wordt er een constante druk. In het echt wordt er een constante druk.

Expansie van de turbine

omdat het medium niet wordt teruggevoerd en via de uitlaat verdwijnt.

temperatuur T3

Werkelijke Expansie

-Deze lijn ligt door de wrijving

-Turbine uitlaattemp. T4

-De thermische energie wordt

Werkelijke arbeid

-De werkelijke turbine arbeid.

- = de s.w. v.d. rookgassen * De compressor zuigt lucht aan bij een iets

Turbinerendement

Thermodynamica expansie (cont)

De De warmteoverdracht met de verbrandingskamer.

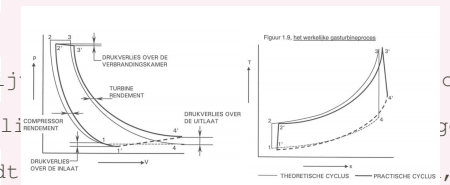
- T4.

De arbeid die door elke kg stromend medium op de turbine wordt geleverd is met de werkelijke uitlaattemp. T4 acc

uitgaande as. Want de turbine moet immers ook nog de compressor aandrijven en deze vraagt een aanzienlijke hoeveelheid arbeid per kg lucht.

voerd en via de uitlaat verdwijnt.

Gehele Kringproces



De verschuivingen van het werkelijke (deel)proces tov het theoretische proces.

De compressor zuigt lucht aan bij een iets lagere druk dan atmosferisch (1 ~ 1').

Daardoor wordt ook de compressorperisdruk lager.

2. De compressie gaat gepaard met verliezen (2 ~ 2').

3. De druk daalt iets tijdens de verhitting in de verbrandingskamer (3 ~ 3') door de delta P over de verbrandingskamer

4. De expansie gaat gepaard met verliezen en de uitlaatdruk is iets hoger dan de atmosferische (4 ~ 4').

STEG

Dit is een combinatie van een gasturbine en een stoom turbine

Na les van woensdag aanvullen



Variable inlaatschoepen	Verliezen (cont)	Rendement
	- <i>Het gebruik van filters, zorgt voor toename delta P</i>	$\eta = \frac{\text{de nuttig verbruikte energie}}{\text{de daartoe toegevoerde energie}} \cdot 100\%$ $W_{\text{net}} = W_1' - W_2'$ $\eta = \frac{W_1' - W_2'}{Q_1} \cdot 100\% = \frac{(T_3 - T_4') - (T_2' - T_1)}{(T_3 - T_1)} = 1 - \frac{T_2' - T_1}{T_3 - T_1}$
Brandstof		Rendement
Meest draaien op:		De nuttige energie/ Nuttige Arbeid
- Gas		De nuttige energie van d
- Destillaat brandstoffen		De gasturbine zelf dient
		was = W * turbine - W compr
Draaien op residual fuels:	- <i>Vervuiling van de Filters</i>	Totaal rendement van de GT
- Meer belasting op verbrandingsonderdelen	Uitlaat	- Houden de soorte lijke
- Ash	- <i>Uitlaatkanaal levert weerstand</i>	In de orde van grootte van 300 tot 1500 Pa (3 tot 15 mbar).
- Zouten	- <i>Drukverlies door uitlaatweerstand</i>	- Formule als verhouding
- Zware metalen	- <i>Uitlaatgassen ketel</i>	- De samens tel lin g t u: er maat.
Bij het verstoken van zware brandstoffen dient er derhalve vaker (boroscoop)inspecties worden toegepast, waardoor de GT dan buiten bedrijf is.	Mechanische Verliezen	Te hoog rendement
	Deze treden op in bv. de aslaging	Wanneer dit het geval is dan dient:
Verliezen	<u>De verliezen nemen toen zodra je in ons geval gebruik maakt van een powerturbine.</u>	- T4' Temp na expansie, zo laa
Deze treden op meerdere plaatsen op, namelijk:		Bij een verslechterd tu
- Aanzuigen		r.
- Uitlaat		
Aanzuigen		
- Aanzuigen van lucht gebeurt via een inlaat-systeem		



Rendement (cont)

- Omgevings temp., deze kan je niet beïnvloeden (tenzij je een verdampingspin gebruikt om de inlaat te koelen)
- Inlaat temp. van de turbine, zo hoog mogelijk
- Deze wordt in realiteit begrenst door wat de turbine kan aanpakken (1250 grC). Daarom is luchtkoeling zo belangrijk
- Eindcompressie temp., zo laag mogelijk
- Daarom is het compressorendement belangrijk, nl bij gelijke drukverhouding produceert een compressor.

Diagram met rend spec arbeid en drukverhouding

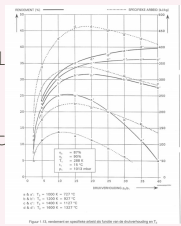


Diagram is rendement (lijn) en de specifieke arbeid (stippellijn) afgezet tegen de drukverhouding van de turbine, voor verschillende turbine inlaattemperaturen. Hoge turbine inlaattemp T3 gunstig voor:

- GT rendement
- Hoogte van de specifieke arbeid

Ontwerp GT afhankelijk van op welk vermogen hij moet leveren; hoe hoger het specifieke vermogen, hoe kleiner de GT geconstrueerd kan worden.

Nuttige & Specifieke arbeid

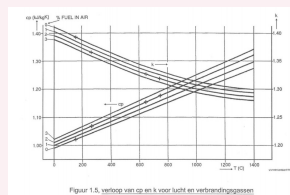
$$P = \dot{m}_g \cdot W \quad [\text{kW}]$$

Hierin is:

- \dot{m}_g = massastroom lucht of gas [kg/s]
- W = arbeid per kg lucht [kJ/kg]

Hiervoor werd de arbeid/warmte telkens berekend als $C_p \cdot \Delta T$, wat de arbeid per kg medium opleverde, ook wel specifieke arbeid genoemd. Het medium van de GT is lucht, dan wel rookgassen. De brandstof is ong 2% van de luchtmassa. Het vermogen is de massastroom * specifieke arbeid, Let wel, W is hier de nuttige specifieke arbeid, dus $W_t - W_c$.

Soortelijke warmte rookgassen



In eerdere benaderingen van GT formules gingen we ervan uit dat de soortelijke warmte van de rookgassen constant waren, dit is echter niet het geval. In dit diagram is cp, de s.w. bij constante druk, van rookgassen gegeven als functie van de temp en het percentage brandstof dat in de lucht verbrand wordt. Tevens is k, de adiabatische constante van de wet van Poisson, nl $P1 V1^k = P2 V2^k$.