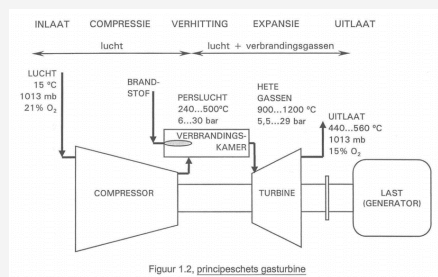


Principe schets



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 gecompimpeerde lucht wordt toegevoerd.

-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 door de noot van de hete rookgassen.

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

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

Vliegtuigen

-Stationaire

Gasturbines

Vliegtuigturbine / Straalmotor

-Geen uitgaande as en leveringen

-Enige wat de straalmotor leveringen

Soorten (cont)

- natuurkundig principe hier het factor.

Stationaire Gasturbines

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

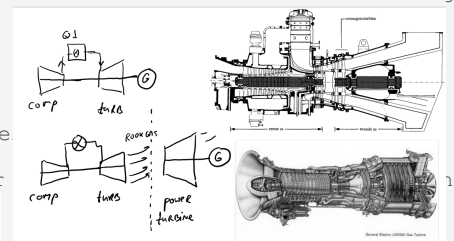
- 1 as

- 2 assen

Vliegtuigturbine/ Straalmotor



Stationaire Gasturbine



Links: 1 as

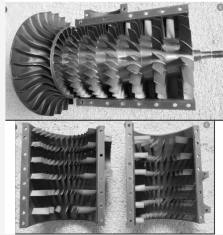
Rechts: 2 assen

Hoofdc componenten en Constructie

We hebben te maken met de volgende hoofdc componenten:

- Compressor *axiaal*
- Verbr andi ngs kamer
- 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.

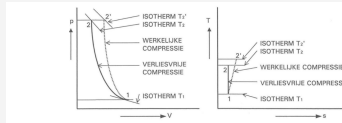
Een krans met deze vaste omkeer sch open wordt een lei wiel genoemd.

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

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

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.

- Hierdoor stijgt de temperatuur van de lucht snel, zodat er geen warmte uitwisseling met de omgeving is.

Verliesvrije adiabatische compressie isentroop.

- De lijn ligt naar links. **Nozzel**

- Het opp. onder de compressie lijn, afgetekend op de P-as, is de arbeid.
- De werkelijke compressie ligt daar rechts van de gestippelde lijn.

Het verschil in oppervlakte tussen de twee lijnen

- Dit is een maat voor het compressie verlies en dus het co mpr ess i e verlies.

- De arbeid is $s.w. \text{ lucht} \cdot \Delta T$

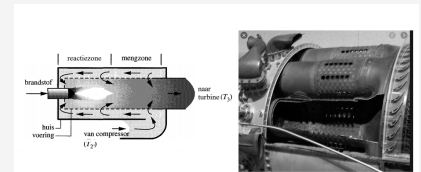
Compressie (cont)

- Het compressie rendement wordt

Het compressorrendement

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

Verbrandingskamer



Verbrandingskamer

Deze bevat:

- **De liner** Een dun wandige veel vulde liner n stroomt.

- De compressie lijn volgt dus niet de isothermen die in het diagram te zien zijn.



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.

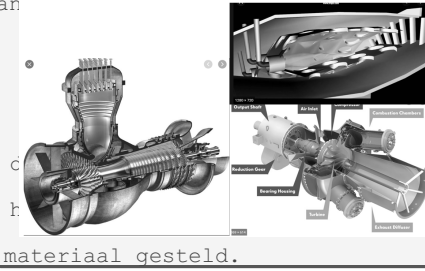
- De turbine een iets lagere drukke rholingen

2 zones

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

- **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 bovenaf in de verbrandingskamer in moet stromen.

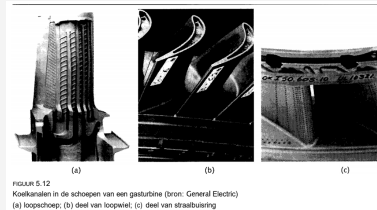
- **De ringvormige** De verbrandingsruimte is omringeld door de compressor. Het is een ringvormige ruimte die de compressor omringt.

verbrandingsruimte

- **De zogenaamde** Een cilindervormige verbrandingsruimte.

- **Cans** Een mengzone 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.
- Analooft met een leiwielt van de stroom.

Na elk loopwiel volgt een leiwiel of straalbuisring.

Turbinebladen

- Dit zijn holle turbinebladen.

Koeling

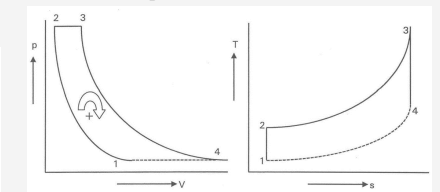
Het koelproces wordt daartoe uitgevoerd door de turbinebladen te koelen.

Om te voorkomen dat de turbinebladen oververhott worden, worden ze met een speciale koeling voorzien.

Rendement

- Voordeel uit zo hoog mogelijke inbrenging in de verbrandingsruimte, waarbij de efficiëntie wordt verbeterd.

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 -Adiabatische compressie
Compressie

Grote volumes worden in zeer korte tijd gecompimereerd, geen tijd voor warmte uitwisseling met

2-3 Warmte toevoer

Er wordt warmte toegevoerd bij een constante druk. In het echt

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

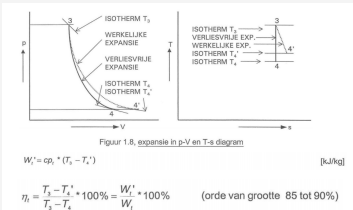
-De lijn is gestippeld, omdat het medium niet wordt teruggevoerd en via de uitlaat verdwijnt.

4-1 Uitlaat

Voordeel is dat hierdoor in het echt een constant koppel wordt getuurd

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 warmte uitwisseling met de verbrandingskamer. De expansie gaat zeer snel.

Tijdens De druk en temp. dalen naar de werkelijke uitlaattemp. T4. In het echt

de De druk en temp. dalen naar de werkelijke uitlaattemp. T4. In het echt

Expansie van de turbine

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

atuur T3

Werkelijke Expansie

-Deze lijn ligt door de wrijvings verliezen

-Turbine uitlaattemp. T4 is lager dan de theoretische uitlaattemp. T4'

-De thermische energie wordt gedeeltelijk verloren gegaan door de wrijvings verliezen

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 Hierdoor vindt er weinig of geen warmte uitwisseling met de verbrandingskamer. De expansie gaat zeer snel.

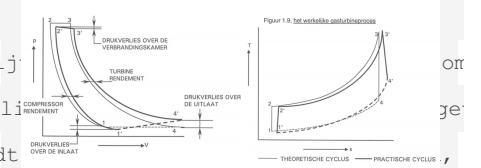
Tijdens De druk en temp. dalen naar de werkelijke uitlaattemp. T4. In het echt

de De druk en temp. dalen naar de werkelijke uitlaattemp. T4. In het echt

Expansie van de turbine

inlaat het medium niet wordt teruggevoerd 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:
	Mechanische Verliezen	er maat.
Bij het verstoken van zware brandstoffen dient er derhalve vaker (boroscoop)inspecties worden toegepast, waardoor de GT dan buiten bedrijf is.	Deze treden op in bv. de aslaging	Te hoog rendement
	<u>De verliezen nemen toen zodra je in ons geval gebruik maakt van een powerturbine.</u>	Wanneer dit het geval is dan dient:
Verliezen		- 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 (bevat is een verdamper pin gsk oeler gebruikt om de inlaattemp. te vermogen)
- Inlaat temp. van de turbine, zo hoog mogelijk (T_3)
- Deze wordt in realiteit begrenst door wat de turbine kan aanpakken (1250 grC). Daarom is lucht koeling zo belangrijk
- Eindcompressie temp., zo laag mogelijk (T_2')
- Daarom is het compressorendement belangrijk, nl bij gelijke drukverhouding produceert een compressor.

Diagram met rend spec arbeid en drukverhouding

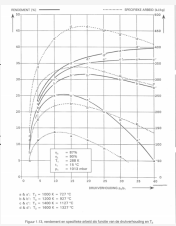


Diagram is rendement (lijntje) en de specifieke arbeid (stippelijntje) afgezet tegen de drukverhouding van de turbine, voor verschillende turbine inlaattemperaturen. Hoge turbine inlaattemp T_3 gunstig voor:

- 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

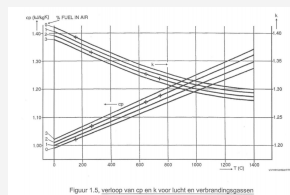
$$P = \dot{m}_g \cdot W \quad [\text{kW}]$$

Hierin is:

- \dot{m}_g = massastroom lucht of gassen [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, us $W_t - W_c$.

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 c_p , 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 $P_1 V_1^k = P_2 V_2^k$.