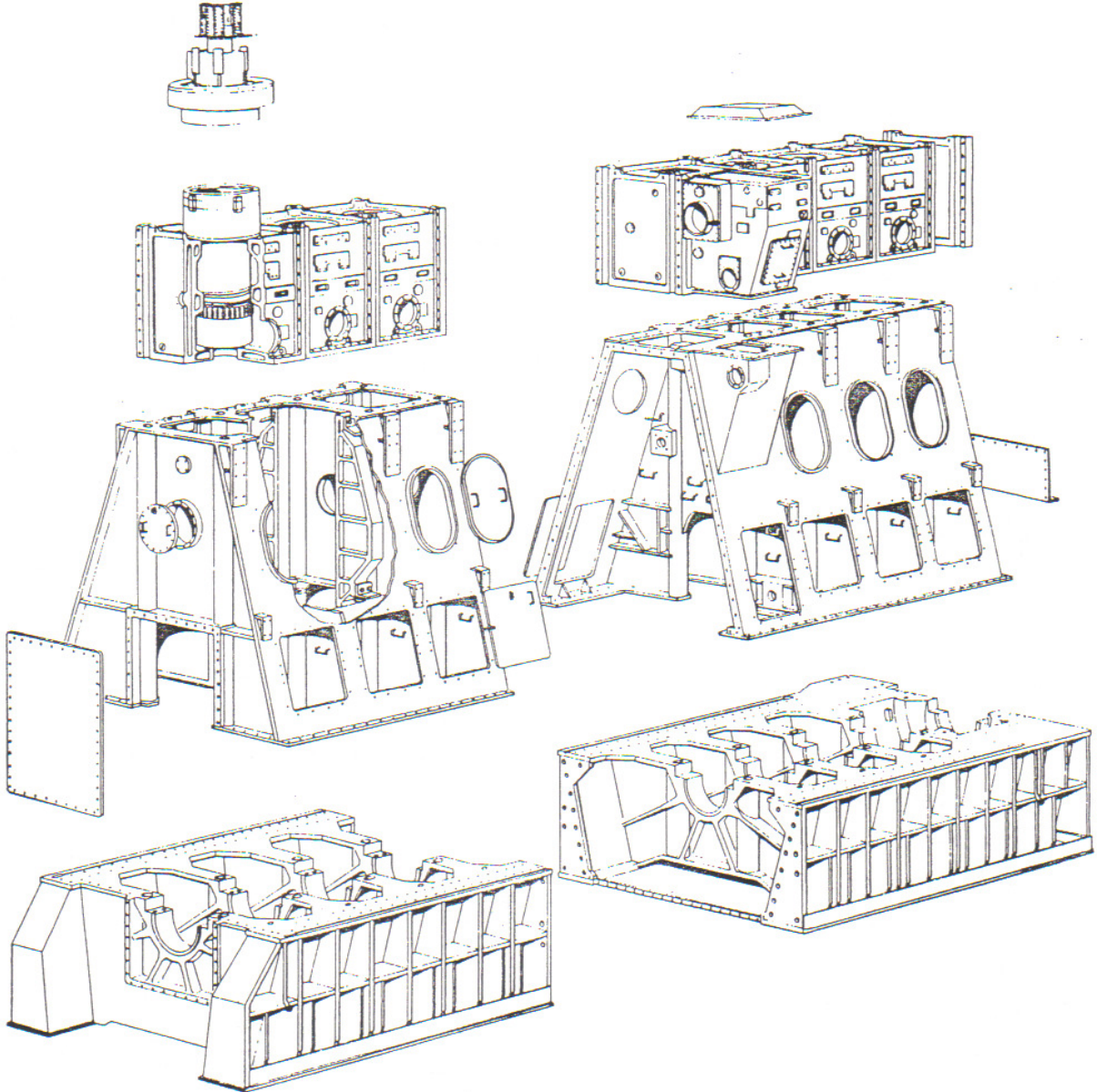


Hoofdstuk 5 Motorgestel en motordrijfwerk

1) Motorgestel



Bedplate -Frame Box -Cylinder Frame

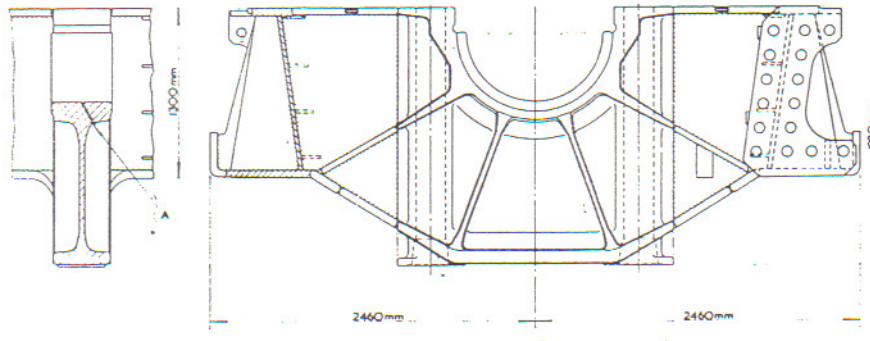
E1180-020

*Opbouw motorgestel (fundatie-krukkast-cilinderbalk)
BURMEISTER & WAIN 2-slag kruishoofdmotor.*

Het motorgestel bestaat uit de fundatie, de krukkast en de cilinderbalk. Bij de grote langzaamlopers zijn fundatie, krukkast en cilinderbalk afzonderlijke delen, die elk op zich kunnen opgebouwd zijn uit nog kleinere delen. Bij middelsnellopende en snellopende zijn krukkast en fundatie vaak samengevoegd tot één gietstuk.

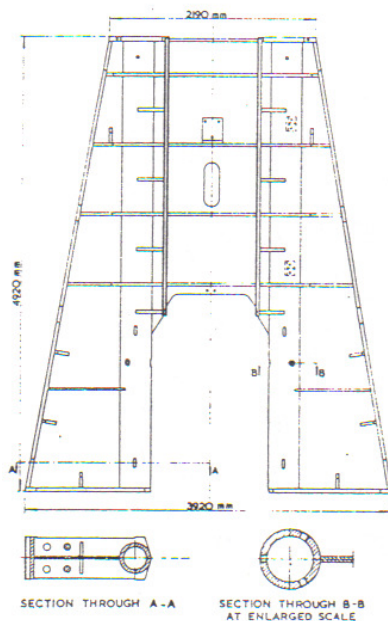
Motorfundatie is samen met scheepsfundatie voor een belangrijk deel verantwoordelijk voor de horizontale en verticale stijfheid van de motor.

Gezien de complexiteit van het motorblok wordt als fabricagemethode het gietproces gekozen. Het wordt daarom vervaardigd uit gemakkelijk gietbaar gietijzer of aluminiumlegering. Het voordeel van de laatste is dat de motor aanzienlijk lichter wordt doch minder stijf en sterk en dus minder bruikbaar voor dieselmotoren. Voor de middelsnellopers en snellopers wordt ook wel nodulair gietijzer gebruikt wat sterker is en beter bestand tegen wisselende spanning.



Fundatie 2-slag BURMEISTER & WAIN motor.

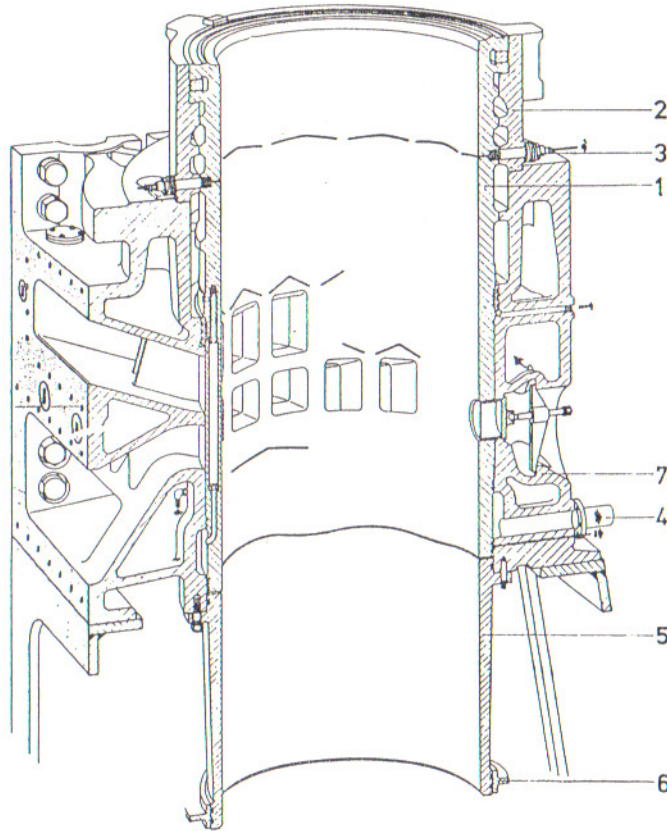
Het gedeelte tussen de kokerbalken ligt verzonken in de scheepsfundatie en dient voor het opvangen van de uit de drijfwerkklagers stromende smeeroilie.(natte carter)



Op de fundatie worden kolommen geplaatst die de cilinderbalk moeten dragen. Tegen de kolommen worden de leibanen aangebracht die het kruishoofd geleiden en de kruishoofddwarskrachten moeten opnemen.

*Kolom van
B & W motor*

2) Cilinderbalk met cilindervoering



- 1 - cilindervoering
- 2 - steunring
- 3 - smeernippel
- 4 - afvoer koelwater poortdammen
- 5 - verlengde cilindervoering
- 6 - pasring voor spoelkleppenkast
- 7 - cilinderbalk

Perspektiefdoorsnede cilinderbalk

met voering M.A.N. motor (KSZ)

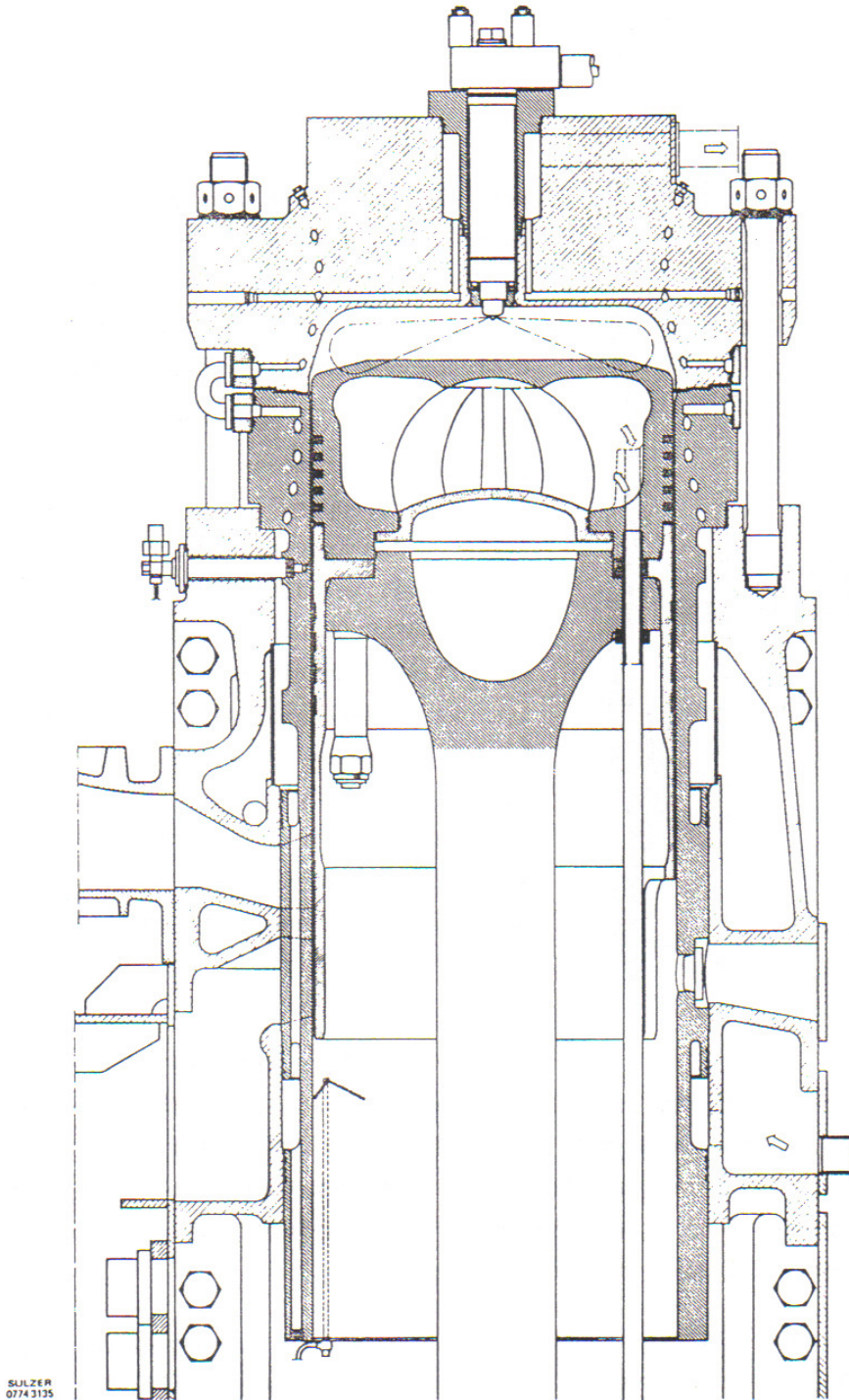
De cilinders worden mechanisch hoog belast. De hoge verbrandingstemperaturen veroorzaken bovendien een hoge thermische belasting en maken koeling noodzakelijk. Dus in het geval van scheepsmotoren worden natte cilindervoeringen gebruikt. Deze staan in direct contact met het koelmiddel, in dit geval zoet water.

Ten gevolge van dit koelen treden materiaalspanningen op die de cilinderwand kunnen vervormen.

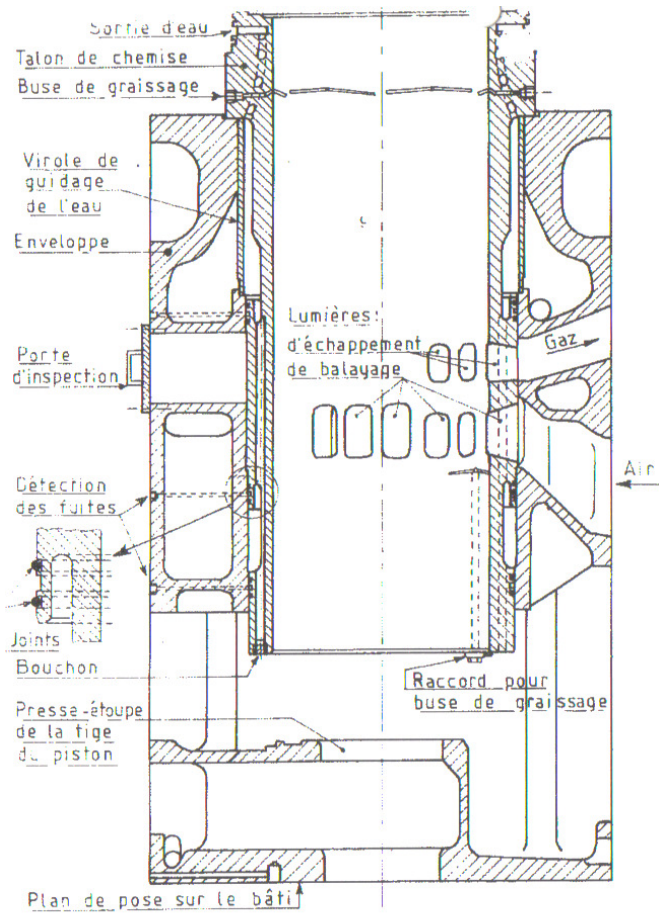
Men vervaardigt de cilindervoeringen uit slijtvast materiaal., meestal gelegeerd centrifugaal gegoten (zo verkrijgt men een hoge dichtheid van de structuur) perlitisch gietijzer met een hoog fosforgehalte (dit vergroot weerstand tegen slijtage). Om de loopeigenschappen te verbeteren voegt men vlokgrafiet toe. Het loopvlak van de cilinder

of de voering kan ook verchromd worden volgens een elektrolytisch procédé. Deze harde chroomlaag zorgt voor een langere levensduur.

Onderstaande figuur toont een cilinderbalk met deksel, voering en zuiger. Kenmerkend is de verhoogde en verdikte cilinderwand ter plaatse van de hoogste thermische en mechanische belasting.



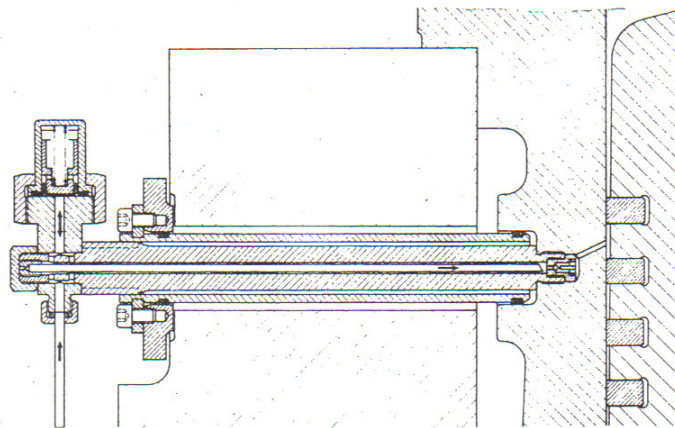
Dwarsdoorsnede cilinderbalk met deksel, voering en zuiger van 2-slag SULZER motor (RND-M)



Cilinder van een tweetaktmotor met uitlaatpoorten

CYLINDRE d'un MOTEUR 2 temps à lumières de balayage et d'échap^t
SULZER Type R.L.B

Om optimale bedrijfsomstandigheden te bekomen moet het cilinderloopvlak goed gesmeerd worden. Bij kleinere motoren kan men spatsmering toepassen maar bij grotere motoren of snellopers is dit niet meer mogelijk en is afzonderlijke cilindersmering noodzakelijk. Wanneer afzonderlijke cilindersmering nodig is voorziet men smeernippels op de omtrek van de cilinder waarlangs de smeerolie wordt toegevoerd.



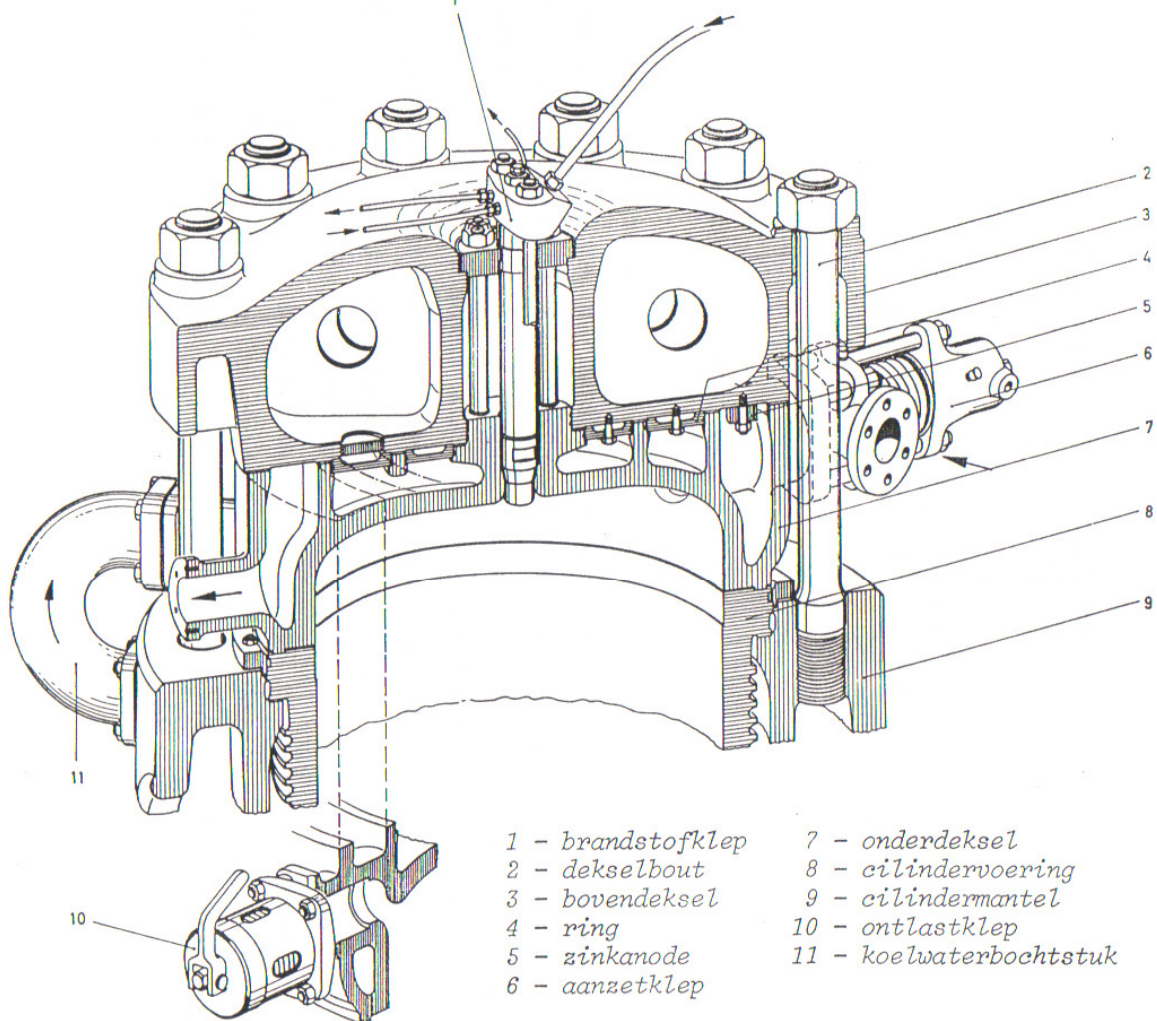
Cilindersmeernippel SULZER 2-slag motor (RND)

Aanbrengen van een terugslagklepje zo dicht mogelijk bij smeerpunt vermijdt terug blazen van verbrandingsgas in de nippel. Men ziet ook duidelijk de afdichtingsring om koelwaterlekage in smeerolie te voorkomen. Zo'n lek wordt onmiddellijk merkbaar.

3) Het cilinderdeksel

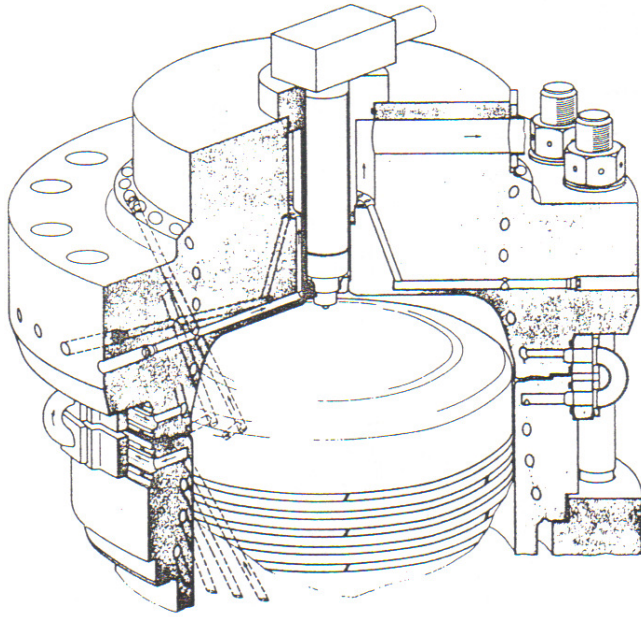
Het cilinderdeksel sluit de cilinder aan de bovenzijde gasdicht af. De vorm van het deksel aan de gaszijde bepaald tesamen met de vorm van de zuigerkroon de vorm van de verbrandingskamer. In het cilinderdeksel worden de voor de werking van de motor onmisbare organen opgenomen zoals in- en uitlaatkleppen, brandstofkleppen,

Meestal worden de deksels vervaardigd uit speciaal gietijzer of gietstaal en soms gelegeerd met molybdeen om de rekgrans te verhogen.



Cilinderdeksel M.A.N. (KZ)

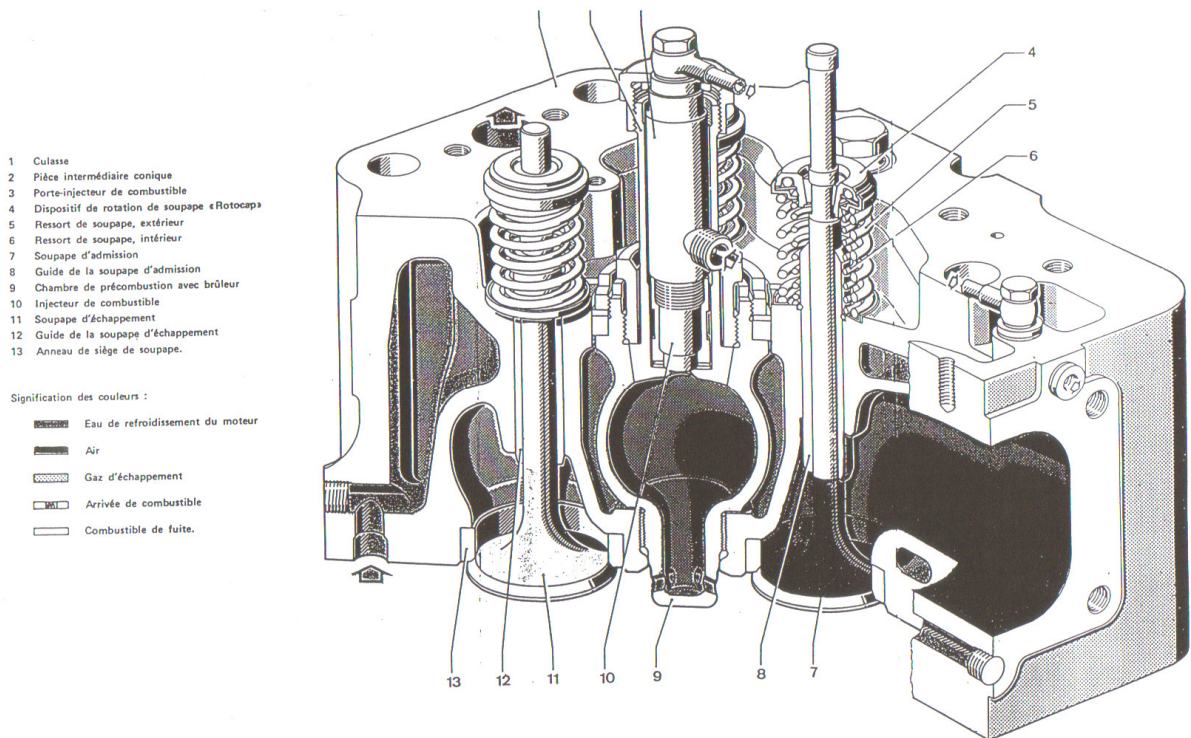
Bovenstaande figuur is een cilinderdeksel van een 2takmotor.



De nieuwste ontwikkeling in de konstruktie van cilinderdeksels is het gebruik van smeedstaal, terwijl de verhitte wanden worden gekoeld door middel van ingeboorde koelkanalen.

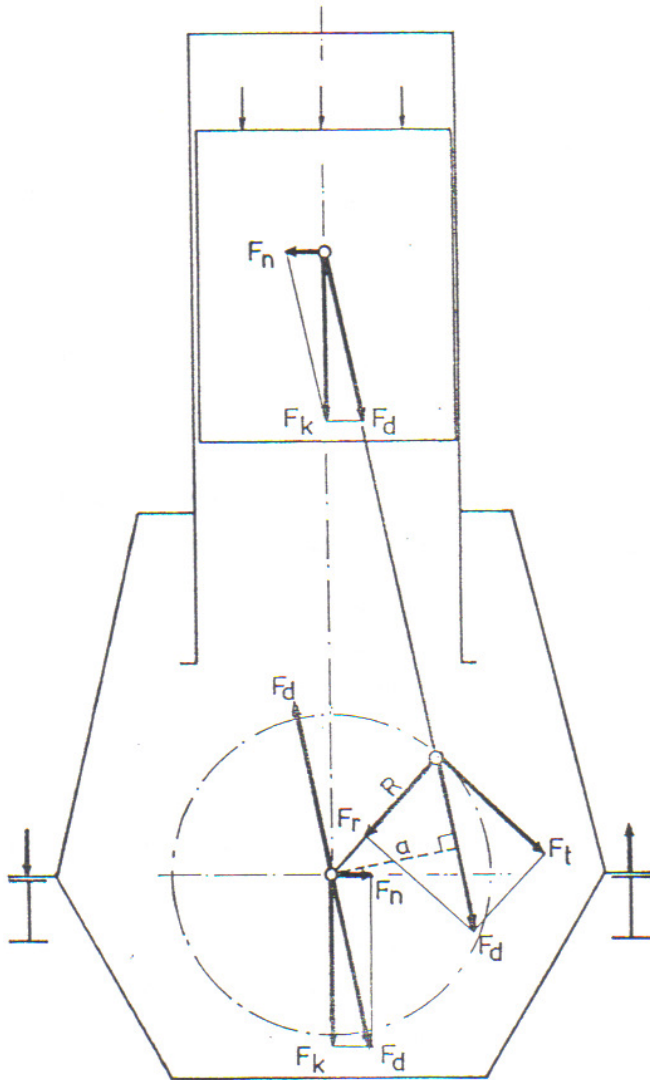
Perspektiefdoorsnede smeedstalen cilinderdeksel met z.g. "bore-cooling" (SULZER RND-M)

Hieronder het cilinderdeksel van een 4taktmotor, waar duidelijk kleppen te zien zijn.



4) Motordrijfwerk

Kruk drijfstangmechanisme: dynamische studie



Drijfwerkkrachten in motor

- F_k - kracht in zuigerpen of kruishoofd
- F_n - normaalkracht tegen cilinderwand of leibaan
- F_d - drijfstangkracht
- F_t - tangenciaalkracht op kruk
- F_r - radiaalkracht op kruk

In het motordrijfwerk komen krachten voor van verschillende oorsprong:

Gaskrachten : Op de zuiger werkt de gasdruk die gedurende het arbeidsproces voortdurend van grootte verandert. De door de gasdruk veroorzaakte gaskracht is de oorzaak van de door de motor te leveren arbeid.

Traagheidskrachten : Op de onderdelen van het motordrijfwerk werken traagheidskrachten die zijn te verdelen in :

- oscillerende krachten werkende op de op-en neergaande delen
- roterende krachten werkende op roterende delen

Zwaartekracht

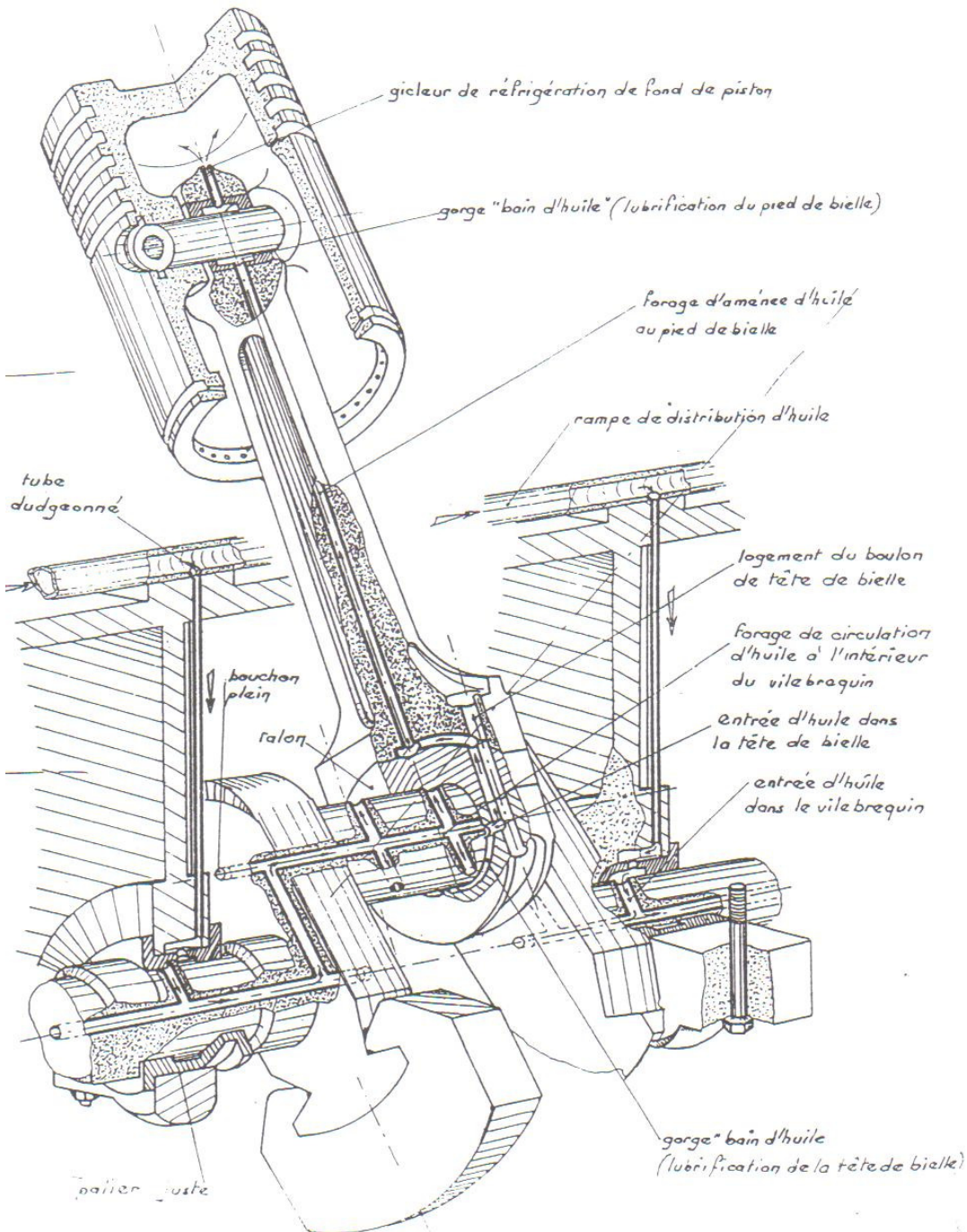
De bovenstaande tekening geeft het krachtenspel in het motordrijfwerk voor een bepaalde krukstand.

Op de kruishoofd werkt de gasdruk, traagheid en zwaartekracht en dit wordt weergegeven in de resultante F_k . Deze resultante wordt ontbonden in drijfstangkracht F_d en normaalkracht F_n .

De drijfstangkracht wordt nu op zijn drager verschoven tot de krukas en daar verder ontbonden in een tangentiële component F_t en een radiale kracht F_r . De tangentiële component zorgt voor de rotatie van de krukas via een koppel $T_d = F_t \cdot R = F_d \cdot a$. T_d noemt men het draaimoment van de krukas.

Opmerking : De kracht F_n heeft ook een moment t.o.v. het krukascentrum en zal trachten de motor op zijn fundatie te doen kantelen.(kantelmoment)

De onderdelen van het drijfwerk zijn de zuigers, zuigerstang en kruishoofd, drijfstang en krukas. Bij trunkzuigers wordt het drijfwerk gevormd door zuigers met zuigerpen, drijfstang en krukas.



Running-gears

Attelages

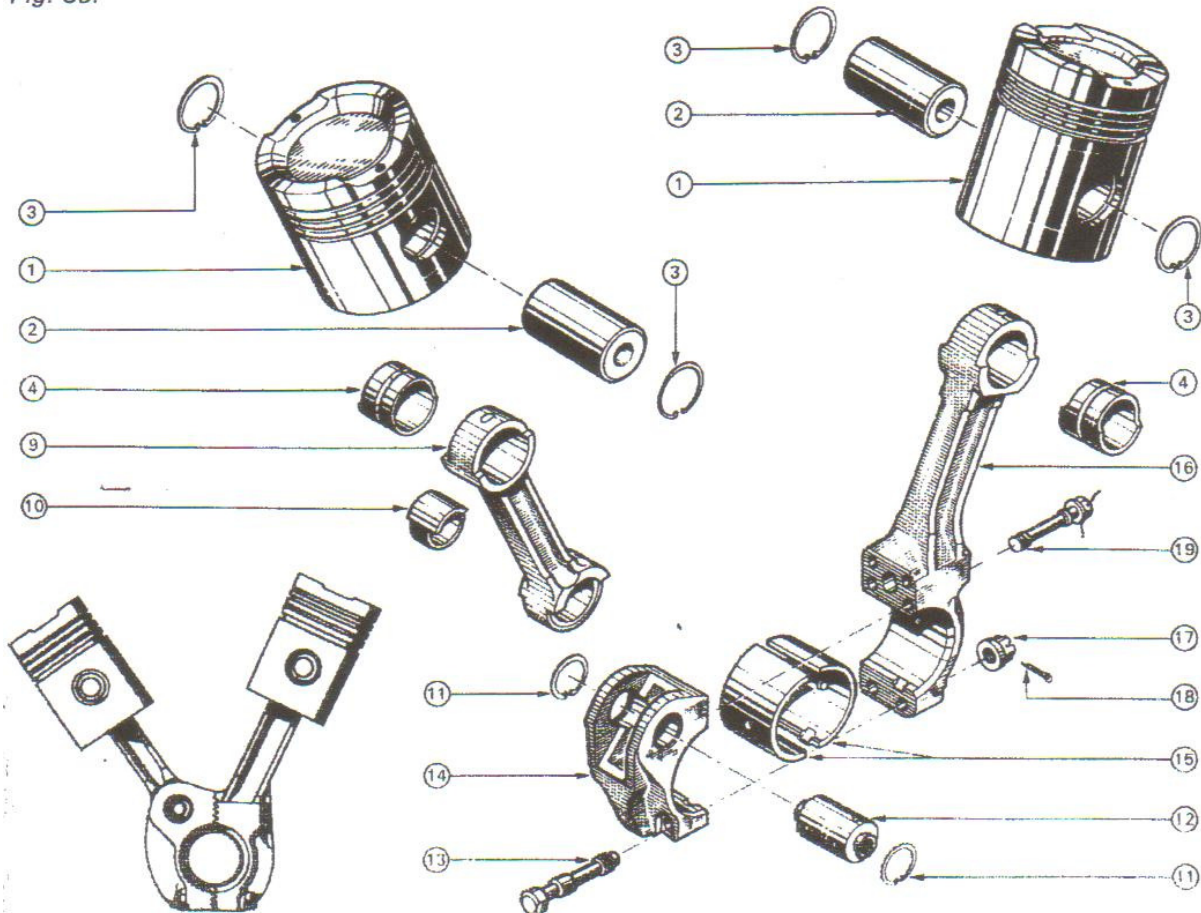
Running-gear of a high-speed
four-stroke Vee-type engine

Attelage d'un moteur rapide à quatre temps,
en V

- ① *piston*, piston; *piston head*, *piston crown*, *piston top*, tête de piston; *piston skirt*, *piston trunk*, jupe, fourreau (*du piston*); *piston ring belt*, zone de segmentation.
- ② *piston pin*, *gudgeon pin*, axe de piston.
- ③ *snap ring*, *circlips*, circlips.

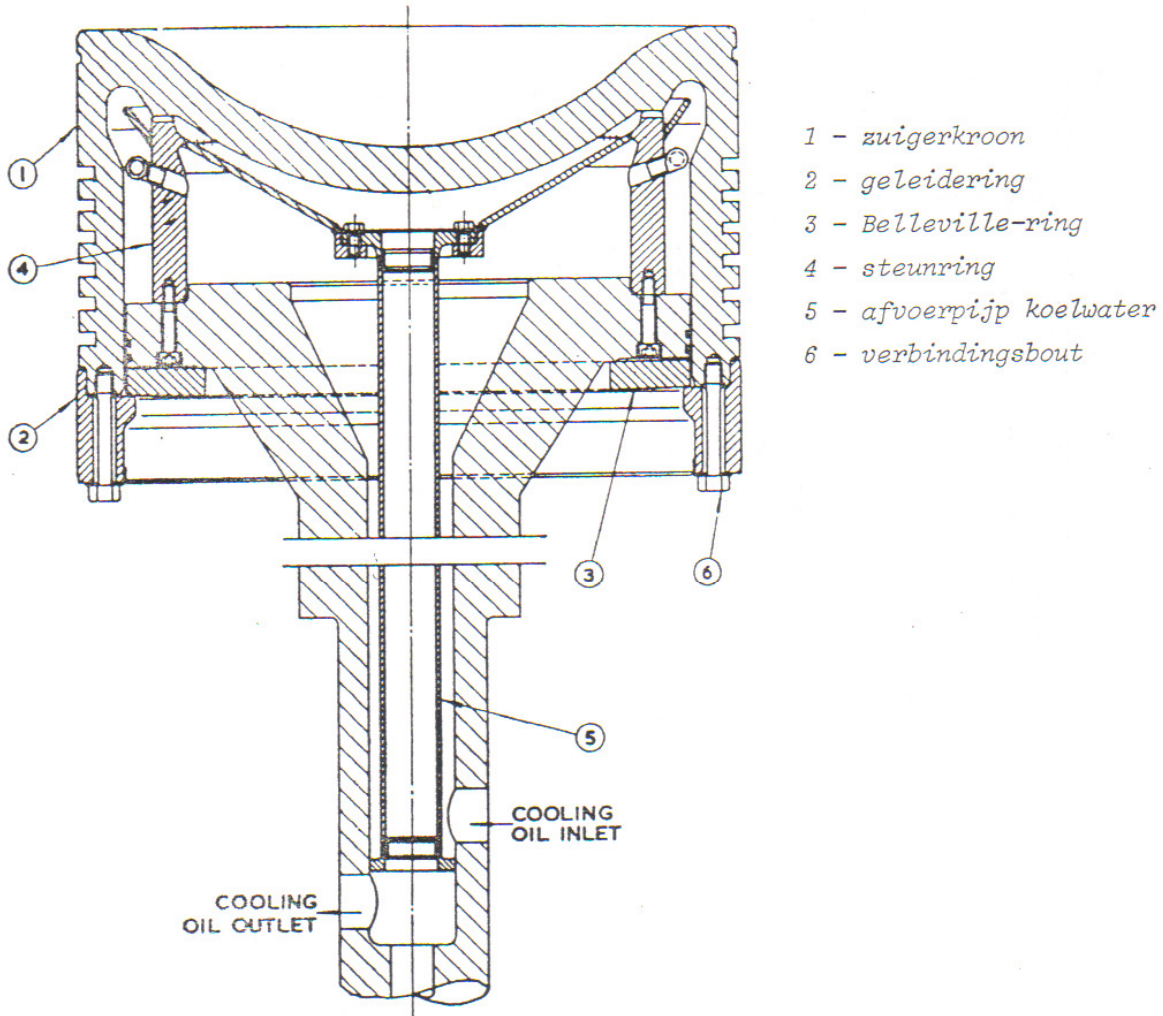
- ④ *top end bearing bush*, douille de pied de bielle.
- ⑨ *short connecting-rod* (articulated to bearing cap), *bielle* (*articulée sur le chapeau de tête de bielle*).
- ⑩ *short rod bottom end bush*, douille de tête de bielle.
- ⑪ *snap ring*, *circlips*, circlips.
- ⑫ *short rod bottom end pin*, axe de tête de bielle.
- ⑬ *assembly bolts*, boulons de fixation.
- ⑭ *bottom end bearing cap*, *bottom end bearing keep*, chapeau de tête de bielle.
- ⑮ *bottom end bearing shells*, coussinets de tête de bielle.
- ⑯ *connecting-rod*, bielle.
- ⑰ *nut*, écrou.
- ⑱ *split pin*, goupille.
- ⑲ *assembly screw with lockwire*, vis de fixation freinée.

Fig. 89.



a) de zuiger

De zuigers zijn zowel thermisch als mechanisch zeer zwaar belast. Er moeten grote krachten door worden overgebracht en door de verhitting van de zuigerkroon kunnen grote warmtespanningen ontstaan. Bij deze zware belasting moet de zuiger afdichtend tegen gasdrukken van meer dan 10MPa in de cilinder kunnen bewegen, de afdichting wordt met behulp van zuigerveren verkregen. Kleinere zuigers zijn soms uit één stuk gegoten, grotere of zwaarder belaste zuigers kunnen zijn opgebouwd uit twee of meer gedeelten.

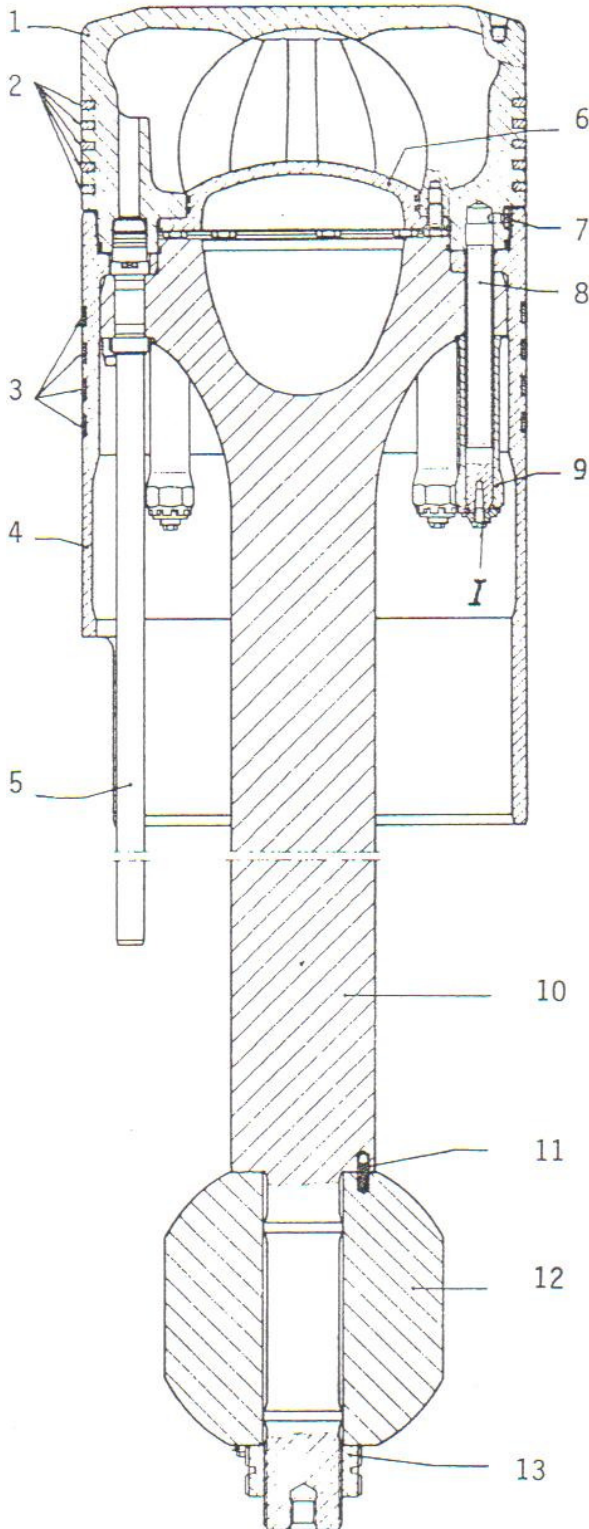


Zuiger 2-slag B & W kruishoofdmotor (KGF)

De zuigerkroon : Deze neemt de gaskracht op en draagt ze over op de zuigerpen of zuigerstang. Materiaal is smeedstaal of gietstaal, soms beschermd met een hardoxyde bescherm laag. De kroon bevat de zuigerveren en is meestal gekoeld. Een deel van de verbrandingskamer is in de zuigerkop verwerkt dus de vorm is van enorm belang.

De geleidering : De zuigerkroon mag niet tegen de cilinderwand dragen omdat de kroon sterk onderhevig is aan thermische vervorming. Daarom is onder de kroon een geleidering of – mantel met grotere diameter aangebracht en deze ring draagt tegen de cilinderwand.

Het zuigerhemd : Dit gedeelte is alleen aanwezig bij 2takt motoren met poortspoeling wanneer in de bovenste stand van de zuiger de poorten moeten gesloten blijven.



- 1 - zuigerkroon
- 2 - zuigerveren
- 3 - loopringen
- 4 - zuigerhemd
- 5 - telescooppijp koelwater
- 6 - deksel
- 7 - borgbout
- 8 - verbindingsbout
- 9 - verhoogde moer
- 10 - zuigerstang
- 11 - borgpen
- 12 - kruishoofd
- 13 - zuigerstangmoer

*Zuiger met stang van
2-slag SULZER kruishoofdmotor (RND-M)*

De gaskracht wordt bij trunkzuigermotoren overgebracht via **de zuigerpen** op de drijfstang. De pen wordt daarom zwaar belast op buiging en moet dus zo stijf mogelijk worden uitgevoerd om vervorming te voorkomen. Het materiaal van de pen is meestal hardbaar koolstofstaal.

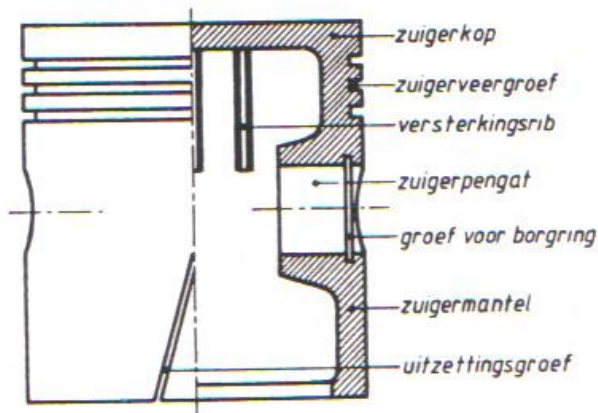
Bij kruishoofdmotoren is de zuigerkroon meestal direkt met de zuigerstang verbonden. Hoewel deze zuigers geen zijdelingse krachten hoeven op te nemen, is een geleidingsring toch noodzakelijk om de zuigerkroon vrij van de cilinderwand te houden.

De **loopringen** zijn gemaakt van loodbrons of grijs gietijzer met een aluminium- brons coating.

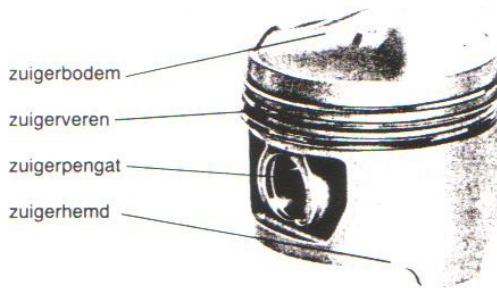
Materiaalkeuze zuiger :

- geringe dichtheid om traagheidskrachten te beperken
- hoge warmtegeleidingscoëfficiënt om temperaturen laag te houden
- goede sterkteeigenschappen bij hoge temperatuur om hoge weerstand tegen vervorming en vermoeiingsbreuken te verzekeren
- gunstig slijtagegedrag bij hoge temperaturen
- lage uitzettingscoëfficiënt, liefst gelijk aan cilindermateriaal

Dus is lichtmetaal aangewezen voor de fabricage van zuigers, en aluminium koper legeringen voldoen aan de eisen. Tegenwoordig echter hebben aluminium siliciumlegeringen de overhand gekregen. Omdat de uitzettingscoëfficiënt van lichtmetaal groter is dan van gietijzer of staal, moet de speling van de zuigerkroon in de cilinder in koude toestand groter zijn. Bovendien wanneer in de motor zware brandstof wordt verstoekt, zal bij lage motorbelasting wanneer de zuigers relatief koud zijn, zich in de grote spelingsruimte tussen de lichtmetalen zuiger en de cilinderwand verbrandingsresten verzamelen, waardoor de kans op vastbakken van de zuigerveren en zelfs vastlopen wordt vergroot. Het lichtmetaal is in vergelijking met het gietijzer waarvan de veren zijn vervaardigd, vrij zacht. Daarom zullen vooral de zwaarbelaste bovenste veersponningen snel inslaan en slijten. Door het ingieten van gietijzeren veerdragers in het bovenste deel van de lichtmetalen zuiger wordt deze snelle slijtage voorkomen.

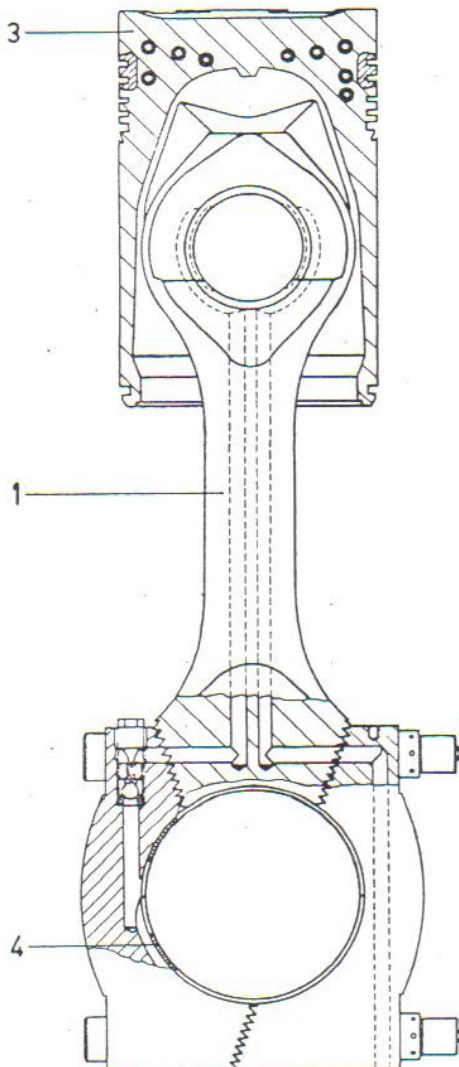


Belangrijkste onderdelen van de zuiger.



De zuiger zal ook gekoeld en gesmeerd worden. Dit koelmiddel wordt via de drijfstang naar de zuiger verpompt.

Figuur: Gekoelde lichtmetalen zuiger



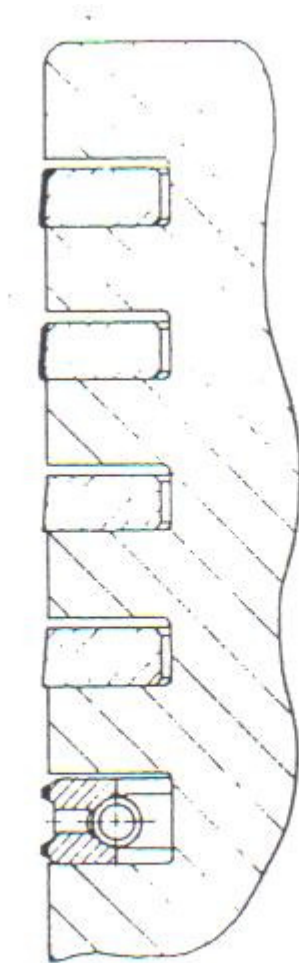
De olie wordt door de doorboorde zuigerstang naar de ringvormige ruimte achter de zuigerveren gevoerd, en vandaar door enkele radiale kanalen naar de centrale koelruimte. De in de stang gerolde afvoerpijp is naar boven verlengd, zodat de zuiger voor een deel met olie gevuld blijft. Hierdoor ontstaat een goede klotskoeling.

De laatste nieuwe trend is echter het gebruik van bore-cooling, dus het gebruik van geboorde koelkanalen dicht langs het verhitte oppervlak. Soms kan dit aanleiding geven tot problemen zodat de constructeur loodrecht op het wandoppervlak staande koelboringen aanbrengt. Dit noemt men honinggraatkoeling. (MAN,Sulzer)

Tot slot moeten we ook zien dat de zuiger in de cilinder afgedicht wordt. Hiertoe wordt gebruik gemaakt van zuigerveren. Deze veren zijn opgenomen in groeven in de zuigerkroon, per zuiger worden 4 tot 7 veren boven elkaar aangebracht. Vooral de bovenste veer is

thermisch en mechanisch zeer zwaar belast. Deze veer staat onder een pulserende druk (tot 130bar) en een temperatuur tot 1300°C. De zuigerveren hebben een rechthoekige doorsnede en de hoogte is wat kleiner dan de breedte om kantelen in de sponning tegen te gaan. Het materiaal moet goede loopeigenschappen hebben en daarom wordt meestal fijnkorrelig perlitisch gietijzer met vlokgrafiet gebruikt. Om een goede passing te bekomen tussen veer en cilinder moet de motor ingelopen worden. De veren hebben een zeker gaslekkage omdat zo het drukverschil over het ganse veerslot wordt verdeeld. De onderste veer echter zal echter wel gasdicht gekozen worden.

Als laatste is er dan de olieschraapveer die tot taak heeft het teveel aan olie van het loopvlak af te strijken en over het loopvlak te verdelen.



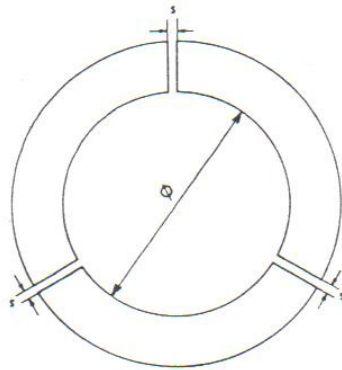
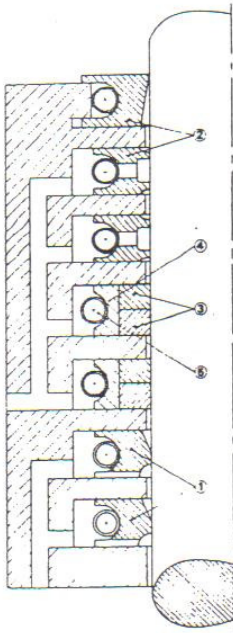
De veren met als onderste duidelijk de olieschraapveer. De bedrijfsduur van deze veren moet aanzienlijk verhoogd worden. Daarom wordt een chroomlaag of een Cr-Mo-carbide laag aangebracht op de loopvlakken.

*Zuigerveerpakket
4-slag motor*

b) de zuigerstang

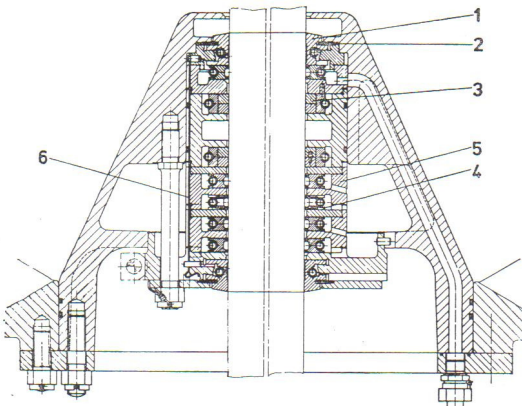
De grote gaskrachten die op de zuiger werken worden bij kruishoofdmotoren via de zuigerstang overgebracht op het kruishoofd. Zuigerstangen worden gewoonlijk gemaakt van staal. De in het normaal bedrijf optredende spanningen zijn niet echt hoog tenzij men vastloopt ten gevolge van vreten.

In alle grote 2takt kruishoofdmotoren wordt brandstof verstoekt met een hoog zwavelgehalte en andere verontreinigingen. Wanneer deze verbrandingsprodukten die zwavelverbindingen bevatten terecht komen in de krukast kan dit aanleiding geven tot verzuring van de systeemsmeerolie, en daardoor tot ernstige corrosie van drijfwerkonderdelen en lagermateriaal. Daarom wordt bij alle kruishoofdmotoren de cilinderruimte van de krukast afgesloten door middel van een zuigerstangpakkingbus.



*Schematische opbouw
zuigerstangpakkingbus*

- 1) afstrijkring voor verbrandingsprodukten
- 2) verende diafragmaring
- 3) afdichtingsring
- 4) afstrijkringen voor krukcastsmeerolie
- 5) ringkamer
- 6) montageklemmen



Zuigerstangpakkingbus M. A. N. (type KSZ-A)

c) de zuigerpen

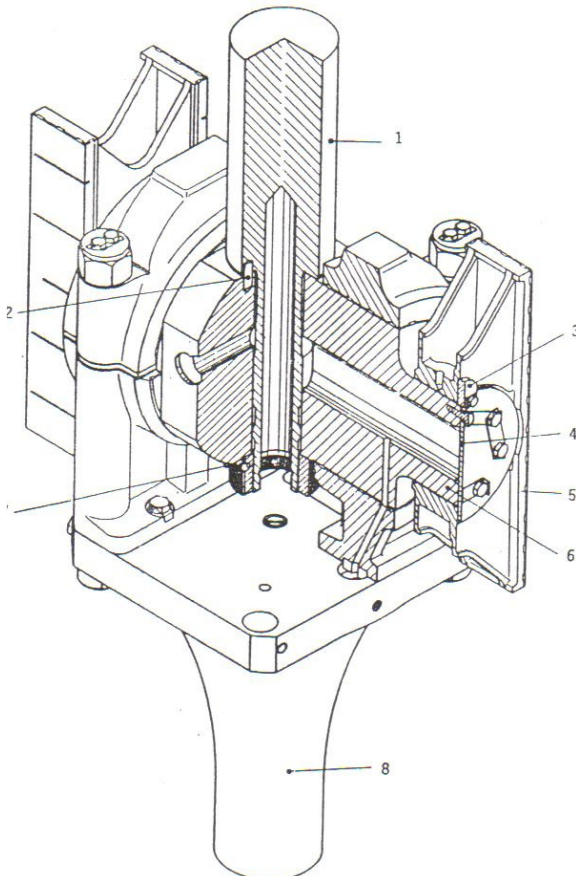
Trunkzuigers worden meestal met de drijfstang verbonden door middel van een in de zuiger opgenomen pen. Het bovenste drijfstanglager is mechanisch gezien het meest belaste van de 4takt trunkzuigermotor. Deze belasting wordt opgevangen door het lager van slijtvast en vermoeiingssterk loodbrons te vervaardigen., de zuigerpenen worden gehard en geslepen. De pen zit in een naaf en deze naaf moet massief worden uitgevoerd om vermoeiingsscheuren te voorkomen. Men zal dan een aantal extra maatregelen treffen zoals goede maatgeving, materiaal is eutektisch Al-Si legering en gerichte koeling.

d) het kruishoofd

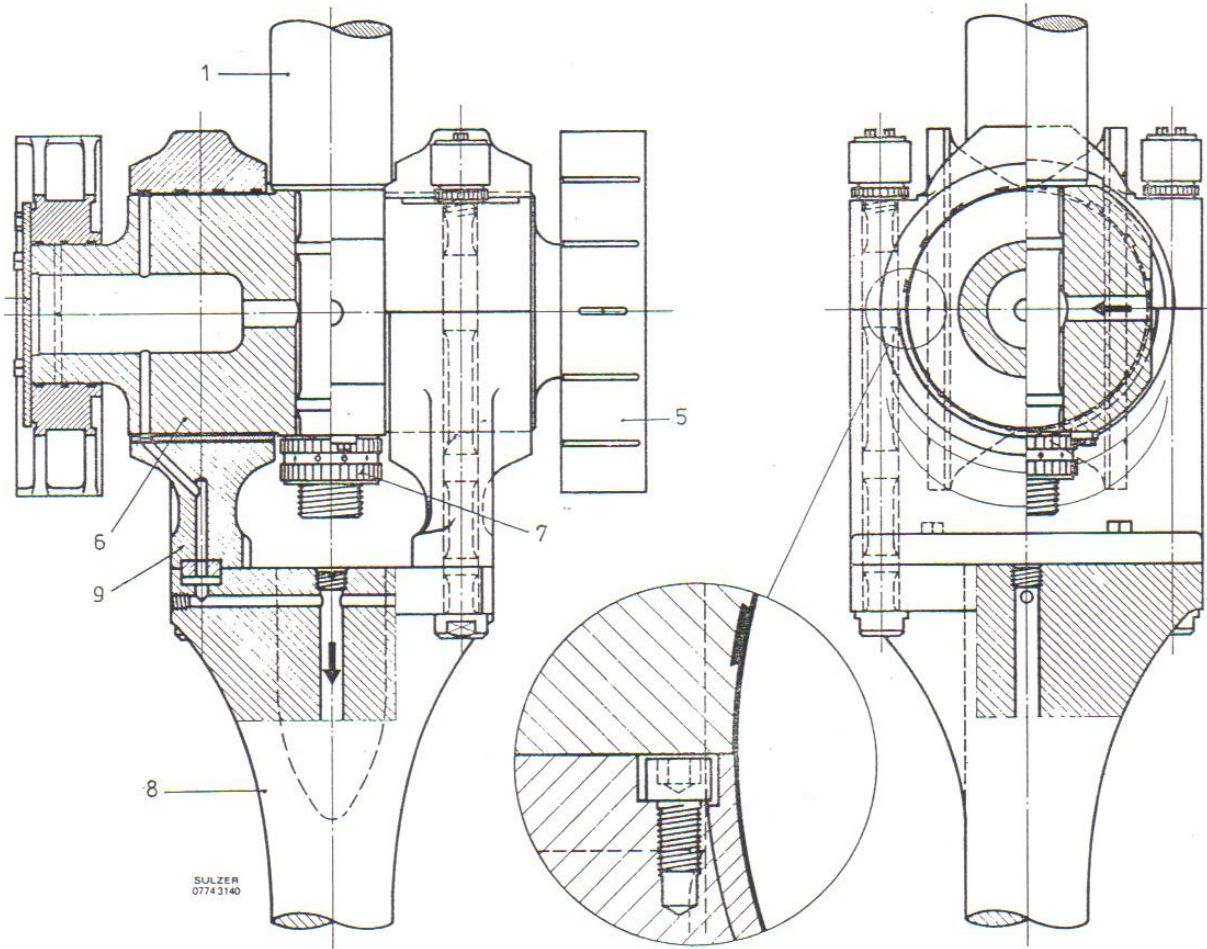
De grote langzaamlopers zijn zonder uitzondering uitgevoerd met kruishoofden. Daardoor kunnen zijdelingse krachten die in het drijfwerk ontstaan door de leibaan worden opgenomen, en de zuigers worden niet meer tegen de cilinderwand gedrukt zoals bij trunkzuigers. Door de toenemende verbrandingsdrukken heeft men problemen ondervonden met de smering door de schommelende beweging tussen kruispen en lagers. Een onderbroken film wordt moeilijk weer hersteld omdat bij 2takt er geen arbeidsloze omwenteling bestaat, en snelle slijtage is hiervan het gevolg.

Hiertoe werden er verschillende maatregelen genomen zoals:

- Vergroting dragende oppervlakken
- Vergroting draagkracht metaal door gebruik van lagermateriaal met hogere vermoeiingssterkte
- Herstel smeerfilm na elke omwenteling
- Vergroting van de relatieve snelheid van de pen t.o.v. lagers ter verkrijging van hydrodynamische smering



Kruishoofd SULZER motor in perspectief (zie ook 5.36.)



Kruishoofd van SULZER 2-slag motor (RND-M)

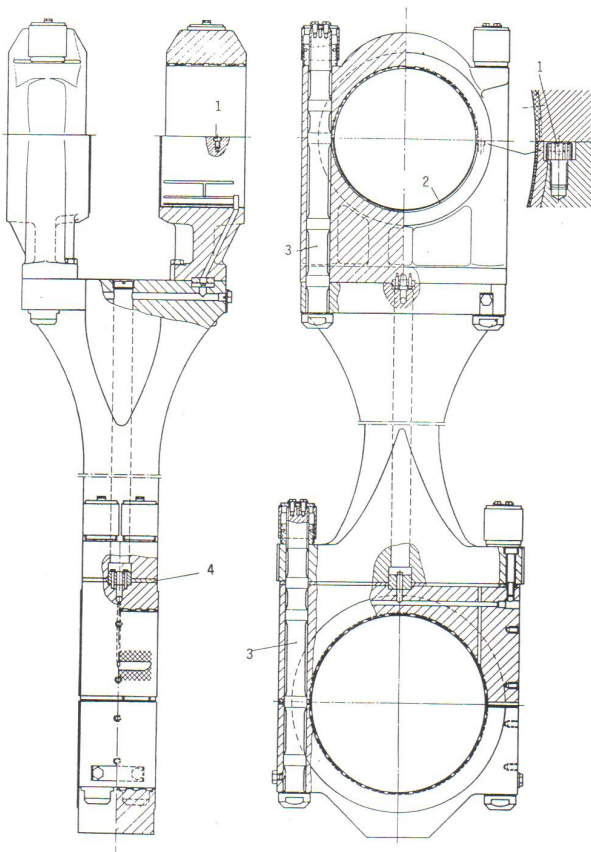
- 1 - zuigerstang
- 2 - borgpen
- 3 - borgplaat
- 4 - deksel

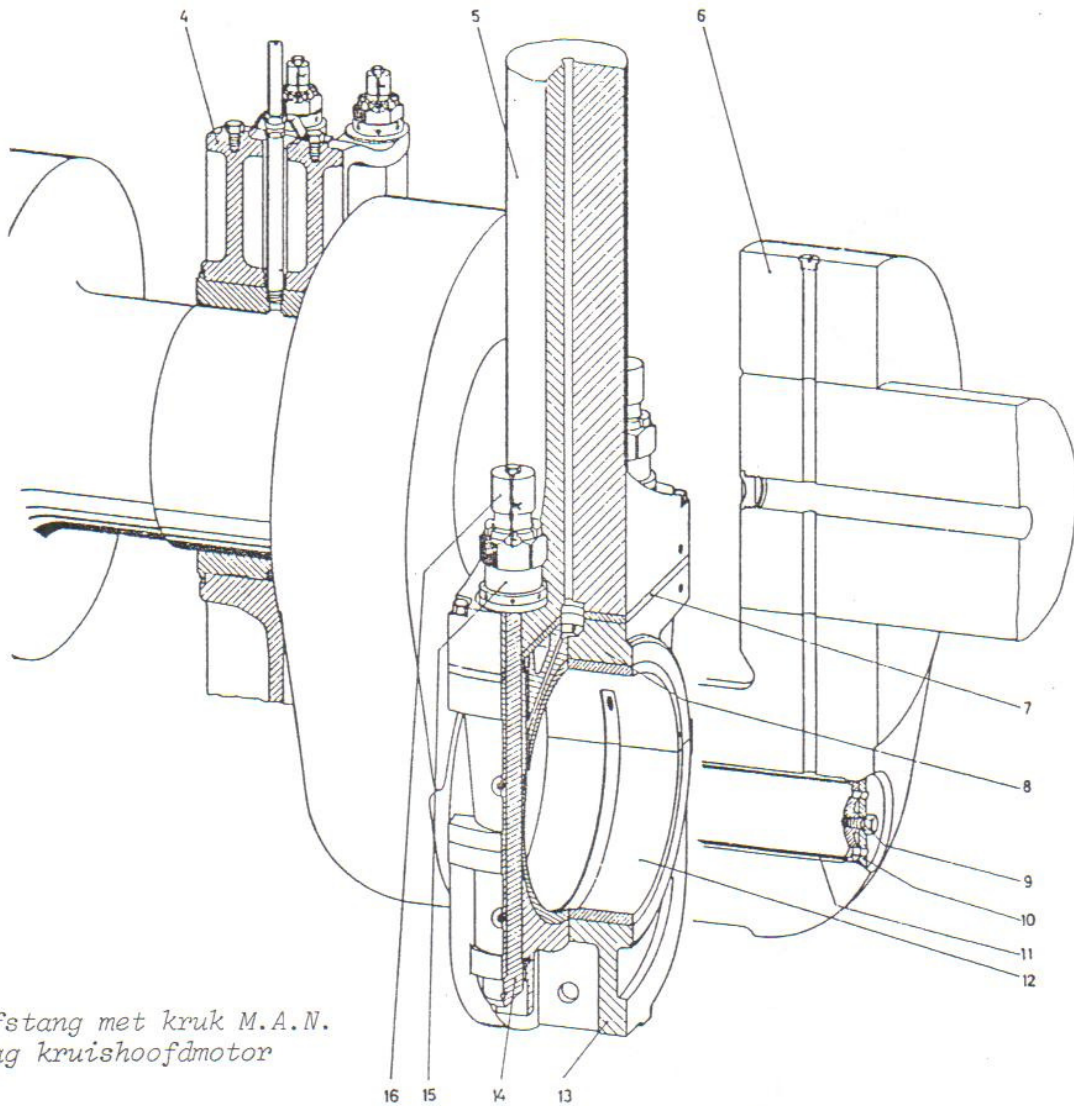
- 5 - leislof
- 6 - pen voor leislof
- 7 - moer
- 8 - drijfstang

e) de drijfstang

De kracht in het kruishoofd wordt via een drijfstang overgebracht naar een krukpen. De drijfstang wordt dan voornamelijk op knik en druk belast, maar ten gevolge van de traagheidskrachten ontstaat ook een buigingsbelasting, en bij 4takt motoren op sommige momenten een trekbelasting. De drijfstang omvat twee lagers, de onderste de krukpen en de bovenste de zuigerpen. De lagermaterialen zijn meestal uit zacht materiaal vervaardigd om zo abrasieve deeltjes te kunnen inbedden zodat deze geen schade kunnen veroorzaken en de lagering is dan ook zelfsmerend.

Drijfstang van 2-slag kruishoofd motor (SULZER)





*Drijfstang met kruk M.A.N.
2-slag kruishoofdmotor*

- 4 - hoofdaslagerkap
- 5 - drijfstang
- 6 - krukvang
- 7 - vulplaat
- 8 - bovenkrukpenlager
- 9 - bout voor afsluitdeksel
- 10 - afsluitdeksel
- 11 - huls
- 12 - onderkrukpenmetaal
- 13 - onderkrukpenlager
- 14 - krukpenlagerbout
- 15 - moer
- 16 - beschermkap

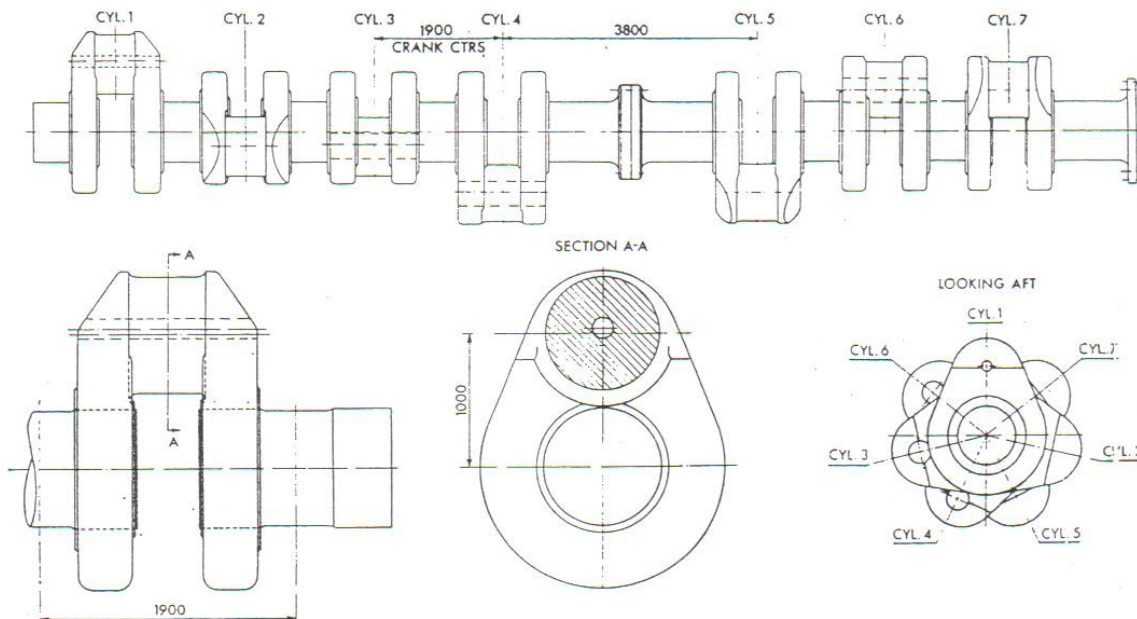
f) de krukas

Het belangrijkste en verreweg het duurste onderdeel van het motordrijfwerk is de krukas. Als er schade is zijn de kosten in regel zeer hoog omdat de motor geheel of nagenoeg geheel moet gedemonteerd worden. Het ontwerp van een krukas is niet eenvoudig door het complexe geheel van belastingen die erop aangrijpen. Er ontstaan buig- en wringspanningen in normale belasting welke aanzienlijk kunnen vergroot worden indien de as niet correct werd uitgelijnd. Er kunnen drie soorten trillingen worden onderscheiden :

- Buigingstrillingen : geëxciteerd door bepaalde harmonischen in de radiale componenten van de drijfslagactie
- Torsietrilling : afkomstig van de tangentiële componenten
- Axiale trilling : afkomstig uit samenspel van beide vorige

Om de torsietrilling te nivelleren gebruikt men soms een trillingsdemper geplaatst op het vrije uiteinde waar een buik van resonantietrillingen optreedt.

Het materiaal voor de assen van langzaamlopende 2takt kruishoofdmotoren is meestal ongelegeerd koolstofstaal, zowel gesmeed als gegoten. (perlitisch nodulair gietijzer) De assen van middelsnellopende en snellopende worden meestal vervaardigd uit chroom-nikkel of chroom-molybdeen staal. Door dit veredelen worden bewerkingsspanningen geneutraliseerd. De loopvlakken en krukpenen worden gehard waardoor de slijtvastheid wordt verhoogd. Dit harden kan verlopen volgens twee procédés: vlamharden of inductieharden. Men gaat ook de oppervlakken zeer nauwkeurig en fijn afwerken (slijpen, honen, lappen) om kerfwerking te vermijden. De grotere assen worden niet uit één stuk gemaakt maar worden door middel van krimpverbindingen opgebouwd. Soms worden in de as doorboringen aangebracht om gewicht te besparen en olie te transporteren.



Krukas voor 7-cilinder 2-slag kruishoofdmotor van B & W.

De krukas rust in hoofdaslagers die in de fundatie zijn opgenomen. De ashalzen worden ondersteund door lagerschalen die voorzien zijn van een laag witmetaal. Tussen de lagerschalen is een vulling aangebracht om lagerspeling te kunnen bijstellen.