

De cilinderkop

Door Arno Koch

Inleiding

De effecten van de cilinderkop worden voor een groot deel onderschat. De cilinderkop draagt bij tot een goede loop van de motor. Bij een verkeerde vorm zal de motor geen vermogen leveren, warm of zelfs vast kunnen lopen. Is de vorm goed gekozen dan blijft de motor redelijk op temperatuur en zakt het vermogen niet in als de motor langere tijd op vol vermogen draait.

De cilinderkop is soms nog wel belangrijker is dan de poort timing van de cilinder. Bij het tunen van de motor moet de kop aangepast worden aan de nieuwe eisen.

De hoofd elementen van de cilinderkop zijn : vorm cilinderkop, de compressieverhouding en de maten van de squishrand (spleethoogte en bandbreedte).

Verbranding

De verbranding start met de reactie tussen de vonk en het mengsel, de ontbrandingsfase. Deze is in tijdsduur ongeveer constant en alleen afhankelijk van de mengselsamenstelling.

De verbrandingsduur is voornamelijk afhankelijk van de snelheid waarmee het vlamfront zich uitbreidt, de verbrandingssnelheid. De verbrandingssnelheid is afhankelijk van turbulentie, brandstof en mengselkwaliteit. Door deze factoren te beïnvloeden kan je de verbrandingssnelheid opvoeren. De laatste 2 factoren zou betekenen lagere octaan brandstof en/ of een minder vuil mengsel. Bij een normale verbranding bedraagt de verbrandingssnelheid ~20-40 m/s afhankelijk van het soort brandstof. Bij een optimale verbranding bedraagt de vlam snelheid ongeveer 30m/s. Als het mengsel zowel armer of rijker wordt gemaakt, zal de verbrandingssnelheid afnemen.

Gunstig voor een hoog rendement en dus hoog vermogen is een geringe verbrandingstijd, dus een hoge verbrandingssnelheid en een juiste timing van de ontsteking, het zwaartepunt van verbranding dient kort (ca 5-10°) na het BDP liggen. Een te vroege ontsteking verhoogt de wandtemperatuur en de mechanische verliezen (hoge topdruk). Een te late ontsteking leidt tot een ongunstig rendement en tot hoge(re) uitlaatgastemperaturen.

Het verloop van het vrijkomen van de warmte (de warmteafgifte) wordt vooral door de vorm van de verbrandingskamer en de plaats van de bougie bepaald. De juiste warmte afgifte wordt door het ontstekingstijdstip gewaarborgd met invloed van de volgende punten:

- de mengselsamenstelling (λ)
- afhankelijkheid van turbulentie en de motorparameters
- het even lang durende verbrandingsbegin
- octaan brandstof
- vervuiling mengsel

Verbrandingsverloop

De verbrandingssnelheid is bij ca 10 % luchtoverschot, dus met λ ongeveer 1,1 het grootst en bedraagt 20 ...40 m/s. Deze wordt door de reacties van het vlamfront, de mate van turbulentie en het temperatuursverloop in het nog niet verbrande mengselgedeelte bepaald.

De mate van turbulentie in de verbrandingskamer en vooral het vlamfront zelf kan o.a. door vormgeving van de verbrandingskamer en door gebruikmaking van de door de zuigerbeweging ontstane wegpersing worden beïnvloed. Het is echter ook mogelijk dat, door het voortschrijden van het vlamfront en de daarmee veroorzaakte drukstijging de turbulentie zelf opwekt. Zij is in ieder geval afhankelijk van de parameters compressieverhouding, aanzuigluchttemperatuur en toerental. De drukstijging tijdens de verbranding is ook maatgevend voor het temperatuurverloop in het nog niet verbrande deel van het gas, terwijl warmtegeleiding en –straling kunnen worden verwaarloosd.

Ontsteking

Het ontstekingsstelsel moet in staat zijn om het gecomprimeerde mengsel ook bij wisselende omstandigheden op het gewenste tijdstip betrouwbaar te onsteken. Door het plaatsen van de bougie in een gebied, waar het mengsel goed kan komen en met een goed mengsel kan de onsteking vooral bij arme mengsels en bij heel lage belastingen worden verbeterd. De vereiste vonkenergie hangt af van de gebruikte lucht-brandstofmengsels. Bij benzine-luchtmengsels is in het stochiometrisch gebied een vonkenergie van 0,2 mJ nodig. In tegenstelling hiermee hebben rijker en armere mengsels tot 3 mJ per vonk nodig.

Compressieverhouding

Voor een zo hoog mogelijk rendement (vermogen) moet de compressieverhouding in theorie zo hoog mogelijk zijn. Hieraan zitten een aantal mitsen en maren. Een hoge compressieverhouding geeft ook een hogere temperatuur van het aangezogen mengsel (veroorzaakt door de compressiewarmte), hogere drukken op het drijfwerk, wat meer slijtage geeft. Een verder nadeel is het rauwe lopen van de motor bij lage toerentallen en het moeilijke starten. Bovendien kan een te hoge compressieverhouding weer leiden tot vermogensverlies en resulteren in detoneren van de motor (zelfontbranding van het aangezogen mengsel). Dit kan leiden tot ernstige motorschade.

Een verbetering van het rendement bij deellast door een hogere compressie wordt door de detonerende verbranding bij vollast tegengehouden.

Weergave van de compressieverhouding

Er zijn twee methodes om de theoretische of statische compressieverhouding weer te geven. De eerste methode, de gecorrigeerde compressieverhouding (CCR), berekent de compressieverhouding vanaf het moment van sluiten van de uitlaatpoort. Methode twee, de geometrische of ongecorrigeerde, compressieverhouding (UCR), berekent deze vanaf het onderste dode punt.

Beide methodes zijn statisch en komen niet overeen met de werkelijkheid, omdat er geen rekening gehouden wordt met spoelverliezen en de werking van het uitlaatsysteem.

Drukstelling van de uitlaat

Een goed ontworpen uitlaat werkt als een soort turbo-compressor, waarbij de cilindervulling veel hoger wordt en de verbrandingsdruk hierdoor sterk toeneemt. Ondanks een acceptabele statische compressieverhouding kan er toch nog detonatie optreden.

Het is daarom niet altijd noodzakelijk of zelfs wenselijk de gecorrigeerde compressieverhouding te herstellen na het hoger maken van de uitlaatpoort. Het effect hierbij is namelijk dat de hogere uitlaatpoort de powerband en het motortoerental verhoogt, waarbij de trapping efficiency weer hoger wordt tot een gelijk niveau voordat de poort was verhoogd. Als de toename van de poorttiming nuttig en verstandig gekozen is, dan zal het werkelijke volume van de ingesloten mengsel toenemen bij het nu hogere toerental door het ram of milde turbocompressor effect van de uitlaatpijp. Het resultaat kan een veel hoger dynamisch ingesloten volume zijn over een nu smaller en hoger toerengebied. Dus de dynamische compressieverhouding over een smal hoog toerengebied kan toegenomen zijn hoewel de statistische gecorrigeerde compressie rekenkundig lager geworden is.

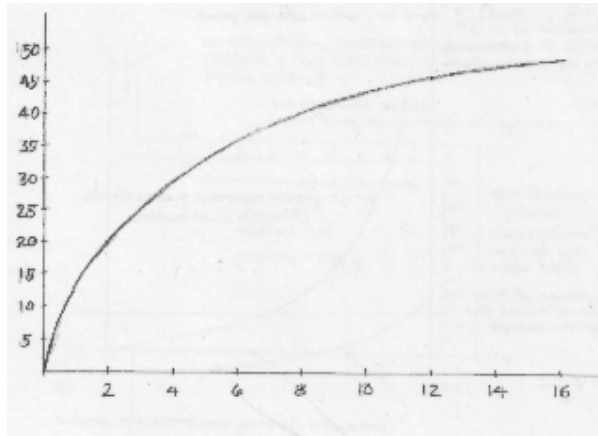
Dit betekent, dat bij b.v. een 8.5:1 CCR (als voorbeeld) veilig is bij een motor met een 180 uitlaattiming en top bij laten we zeggen bij 8.200 tpm...maar dit kan veel te hoog zijn om detonatie te voorkomen in dezelfde motor met een 205° uitlaattiming en een max van 10.500 tpm

Hierom passen veel tuners de geometrische compressieverhouding toe in plaats van de theoretisch juistere gecorrigeerde compressieverhouding.

Keuze compressieverhouding

De keuze van de juiste compressieverhouding is van groot belang. Het vermogen stijgt met de toename van de compressieverhouding, maar de toename wordt bij verder stijgende compressieverhouding steeds minder. De bovengrens wordt hierbij gevormd door detonatie. Bij toenemende compressie neemt het energieverlies (in de vorm van warmte) naar de zuiger en de verbrandingskamer toe.

Op een gegeven moment kan de efficiencywinst van een hogere compressie zelfs teniet gedaan worden door het warmteverlies. Een theoretische vermogenstoename van 6% door verhoging van de compressie geeft in de praktijk hooguit een vermogens toename van 1 – 2 % door warmte- en pompverliezen.



Theoretisch rendement als functie van de compressieverhouding

Met de juiste vorm van de verbrandingskamer kan je deze 1–2 % laten toenemen tot ongeveer 4-5 %. Maar uiteraard blijft ook hier gelden dat het vermogen inzakt, als de compressie te hoog is voor de tijdsduur van de maximale belasting. Dus ook hier geldt weer hoelang loopt de motor op vol vermogen dus wat is de toepassing?

De maximale compressie verhouding hangt verder ook af van de te gebruiken brandstof. Zie onderstaande lijst.

Cil inhoud [cc]	85 octaan	Super 95 octaan	Super 98 octaan	100 Octaan, pomp	100/130 AvGas	115/145 AvGas
50-80	10.1 : 1	12.1 : 1	14.0 : 1	15.5 : 1	16.0 : 1	17.0 : 1
100-125				14.3 : 1	15.0 : 1	15.7 : 1
175				13.5 : 1	14.0 : 1	14.7 : 1
250				12.5 : 1	12.5 : 1	14.0 : 1
350				12.2 : 1	12.5 : 1	13.0 : 1
500				11.8 : 1	12.0 : 1	12.5 : 1

Dit zijn UCR-richtwaarden. Bij een watergekoelde motor kan je meestal een hogere compressie toepassen, omdat de motor beter en gelijkmatiger wordt gekoeld. Ook is de zuigeroppervlakte van belang en de vorm van de cilinderkop. Een grotere boring geeft meer problemen met detonatie dan een kleinere boring door de langere weg van het vlamfront.

Verder moet rekening gehouden worden met het feit, dat hoe hoger de compressieverhouding is, hoe minder energie er overblijft voor een goede werking van de expansieuitlaat. Er kan dus in bepaalde gevallen bewust een keus gemaakt worden in een wat lagere compressieverhouding om meer uitlaatwerking te krijgen voor hogere (over-) toerentallen. In het kort, detonatie beperkt de maximale compressie – of deze nu door de uitlaat of door de kop wordt gemaakt – Maar als je een grotere verbrandingskamer maakt, kan je meer brandstof verbranden.

Daarom is het beste om, in plaats van de compressie kamer kleiner te maken(om de compressieverhouding groter te maken), beter een dikkere pijp te monteren (om de optredende compressie te verhogen) met als resultaat dat er meer brandstof per cyclus wordt verbrand.

Ook hangt de keuze van de compressie af van welke onstekingstijdstip je wilt gebruiken. Veel compressie betekent een later onstekingstijdstip, waardoor de piekvan de ontbranding te laat komt en je dus niet het volle vermogen kan bereiken.

Squishrand

Het kwetsbaarste deel in een tweetaktmotor is de zuiger en met name de buitenste rand aan de kant van de uitlaatpoort(en). Dit is de heetste plek en ook het gebied waar detonatie begint. Dit is zichtbaar bij een vastloper, omdat daar de grootste schade ontstaat.

De squishrand is de rand aan de buitenkant van de cilinderkop dat min of meer vlak is, of nagenoeg gelijk is aan de hoek van de bovenkant van de zuiger. Deze squishrand heeft twee doelen.

- 1) Het zorgt voor vermenging van het brandstofmengsel, wanneer deze door de zuiger gecompriemd wordt. Dit helpt voor een homogener mengsel, dat sneller brandt met minder voorontsteking.
- 2) Wanneer de afmetingen goed gekozen zijn, zorgt de squishrand voor koeling van het mengsel en de eindgassen om detonatie te helpen voorkomen.

Het zorgen voor koeling van het mengsel is bij een tweetakt de belangrijkste eigenschap van de squishband.

Een bijkomend en specifiek tweetactprobleem is, dat als de zuigerkop heter wordt, de onderkant van de zuiger deze hitte naar het carter uitstraalt. De druk in het carter wordt zodanig verhoogd, dat als de inlaatpoort opent, de druk in het carter op dat moment hoger is dan die van het instromende mengsel. Hierdoor zal het carter niet volledig gevuld worden waardoor in de volgende spoelperiode de cilinder niet volledig gevuld zal worden. De motor ontwikkelt nu niet het vermogen dan wanneer de delen koeler zouden zijn.

Het gedeelte binnen het vierkante deel van Fig. 1 is het gebied is waar alle problemen betreffende warmte beginnen.

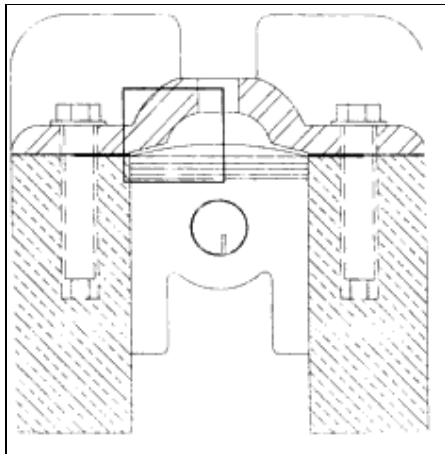


Fig. 1

Fig 2. is een vergroting van dit gebied. Aan de linkerkant van fig. 2 geeft het donkere gedeelte de 1 mm dikke koppakking weer. De rand net boven de pakking is 0,5 mm, de waarde van een standaard ongewijzigde kop. Bij elkaar opgeteld is dit 1,5 mm. Deze 1,5 mm wordt de zuiger/kop speling genoemd.

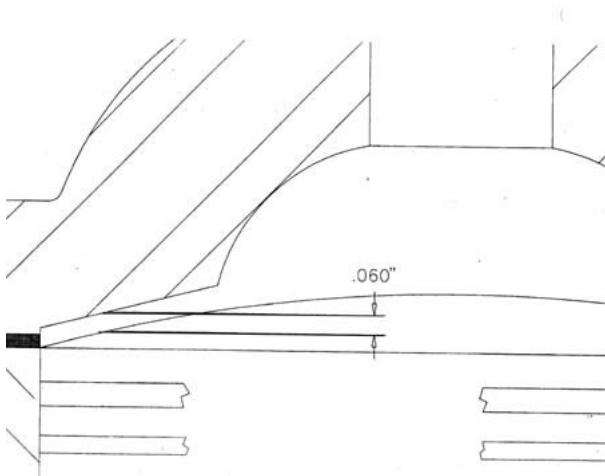


Fig 2

In fig 3 zie je een rand rond de verbrandingsruimte. Dit gearceerde gebied geeft alle delen van de kop, zuigerkop en cilinderwand weer, dat aan de hitte van de verbranding in het BDC wordt blootgesteld. Dit gebied wordt de "koelende grenslaag" genoemd. We hebben aan deze grenslaag een waarde van 1.000° F gegeven. Laten we voor de eenvoud stellen dat de brandstof bij een temperatuur van meer dan 1.000° F in problemen komt (detonatie).

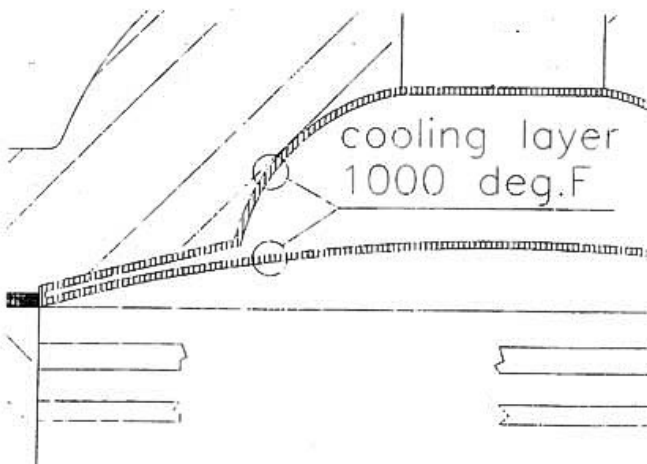


Fig 3.

Dit is niet de werkelijk optredende temperatuur, maar laten we voor het gemak ronde getallen aanhouden. In deze grenslaag komt het hete gas in aanraking met het koelere oppervlak van de kop, zuiger, enz. en wordt hierdoor gekoeld.

Deze laag is is normaal gesproken niet dikker dan 0,5 mm. Wanneer de zuiger een grenslaag heeft dat 0,5 mm dik is en die van de kop is ook 0,5 mm, dan is de ruimte tussen de twee gekoelde oppervlakken ook 0,5 mm dik. Deze ruimte wordt niet gekoeld door het grenslaageffect. Dit is het gebied waar de problemen met warmte ontstaan. De brandbare gassen helemaal aan de linker zijkant van dit gebied worden de "eindgassen" genoemd. Wanneer het mengsel in het centrale deel van de kop wordt ontstoken, gebeuren er verschillende dingen tegelijkertijd:

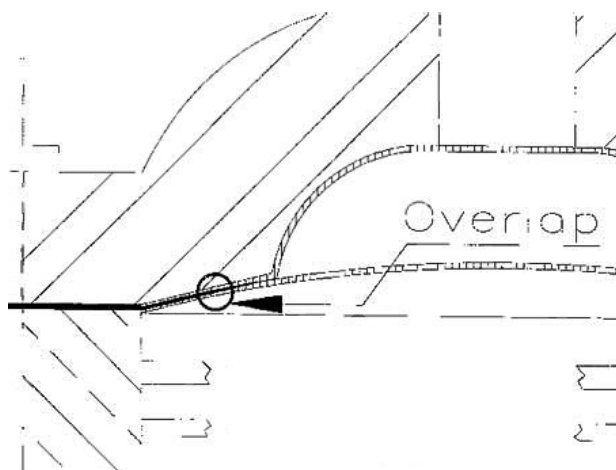
- 1) de vonk start de chemische reactie, de verbranding
- 2) de temperaturen en drukken stijgen snel
- 3) het vlamfront beweegt snel weg van de bougie.

Als het flammfront naar het gebied van de eindgassen toe beweegt, stijgt de druk snel, ondanks dat de zuiger al naar beneden gaat. Op een gegeven moment zijn de drukken en temperaturen zo hoog, dat de eindgassen uit zichzelf ontbranden. Dit staat bekend als detonatie. Als de eindgassen op deze

manier ontbranden, stijgt de druk in dit gebied gigantisch, wat tot zuigerbeschadiging leidt, schade door overbelasting aan het small en big end naaldlager en andere minder prettige zaken. Detonatie kan onhoorbaar zijn ten opzichte van andere geluiden van de motor, waardoor zonder enige waarschuwing de zuiger oververhit raakt en schade kan optreden.

Als je er van uit gaat dat de onsteking op een redelijk tijdstip staat en het octaangetal van de brandstof voldoende is voor de motor, is het verkleinen van de zuiger/kop speling tot 0,8 mm een van de weinige mogelijkheden om detonatie te voorkomen. Op deze manier overlappen de koelende grenslagen elkaar en de eindgassen in dit probleemgebied worden tot een temperatuur beneden het zelfontbrandings punt verlaagd. Hierbij wordt de zuigerkop niet langer extreem verhit en wordt de temperatuur van het mengsel in het carter lager, waardoor hier minder drukverhoging ontstaat en het carter meer gevuld met als resultaat dat het vermogen gaat omhoog en langer stand houdt.

Terug naar fig 3, de grenslagen zijn beide 0,5 mm en de ruimte tussen deze lagen is ook 0,5 mm is. Als je de rand van 0,5 mm weghaalt, gaat de zuiger/kop speling naar 1 mm.



Overlapping van de grenslagen

Je kan zien dat de twee grenslagen elkaar nu overlappen. Zo hoort een squishrand er uit te zien. Het mengsel, dat aan het zuiger- en kopoppervlak kleeft, blijft beneden het zelfontbrandingspunt en het mengsel wordt hier vandaan teruggeperst naar het centrum van de kamer waar het met het overige mengsel een turbulent, snelbrandend mengsel vormt. Hierdoor wordt neiging tot detonatie verminderd, en zal de onderkant van de zuiger zal minder warmte het carter in stralen.

Hoe klein de kop/zuiger speling mag zijn, hangt af van de speling van de krukaslagers, small- en big-end, de warmte uitzetting en de elasticiteit van zuiger en drijfstaang. Is deze speling te klein dan zal de zuiger de kop raken en zal na korte tijd het drijfwerk de geest geven

In de onderstaande tabel vindt je richtwaarden voor de minimale zuiger/kop speling:

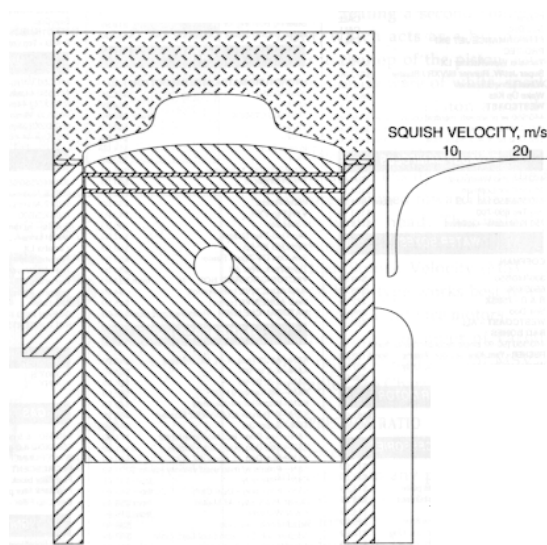
cilinderinhoud	zuiger/kop speling
50 - 80 cc	0.5 - 0.7mm
100 - 125 cc	0.6 - 0.8mm
175 - 250 cc	0.8 - 1.0mm
300 - 500 cc	0.9 - 1.2mm

Maximale squish snelheid (Maximum Squish Velocity, MSV)

De squishrand zorgt niet alleen voor het koel houden van de zuigerrand, maar wekt ook wervelingen op, die zorgen voor een homogeen, turbulent en daardoor een snel verbrandend mengsel. Een hogere verbrandingssnelheid geeft meer en sneller druk op de zuiger, waardoor je meer vermogen krijgt.

De maximale squish snelheid is een maat voor deze wervelingen of turbulentie. MSV (de maximale squish snelheid in meters per seconde) is de maximale snelheid waarmee het mengsel uit de squishrand wordt geperst, wanneer de zuiger het BDP bereikt.

Bijzonder is, dat de ontsteking plaats vindt voor het BDP en de verbranding dus al begonnen is, terwijl vers, koel mengsel nog uit de squishrand het reeds brandende mengsel ingeperst wordt. De MSV mag daarom nooit hoger liggen dan de verbrandingssnelheid. Zodra de MSV n.l. een hogere snelheid heeft dan de verbrandingssnelheid, dooft het vlamfront. De verbranding stopt nu, maar de compressie blijft oplopen. Het mengsel, dat anders verbrandt, hoopt zich nu op en detoneert ineens onder de stijgende druk.



Grafische weergave van de MSV ten opzichte van de slag van de zuiger

MSV is met name afhankelijk van de afmetingen van de squishrand, de zuiger/kop speling en het motortoerental. De MSV moet dus passen bij het doel waarvoor de motor wordt gebruikt.

De afmetingen van de squishrand wordt uitgedrukt in de Squish Area Ratio (squish oppervlak verhouding). Dit is de verhouding tussen de oppervlakte van de squishrand en het oppervlak van de boring uitgedrukt in procenten.

In het onderzoek "*The Effect of Intake Flow Modelling On Flame Front Shape and Its Displacement in Cylindrical Combustion Chambers*" wordt een verdeling gemaakt in verschillende Squish Area Ratios: onvoldoende squish, squish overheersend en optimaal. Het onderzoek toont aan dat 23% Squish Area Ratio onvoldoende is, terwijl een 63% Squish Area Ratio een squish overheersende verbranding geeft. De beste waarde voor een optimale verbranding blijkt te liggen in het gebied van 44% tot 54% Squish Area Ratio.

Deze resultaten zijn alleen van toepassing bij verbrandingsruimtes zonder kleppen (zoals een tweetact). Wanneer de verbrandingsruimte kleppen heeft, overheerst de tumble effect van het mengsel. Door de inlaatkleppen veroorzaakte tumble verdwijnt het squish effect volledig (dus voor een viertact geeft een willekeurige squish tussen 20 en 60% geen wijziging in verbranding)

Het oppervlak van de cilinderkop dient zo glad mogelijk te zijn, de turbulentie in de cilinderkop wordt vooral bepaald door de vorm en de MSV. Als je de cilinderkop glad maakt, heb je minder warmteverlies hebt en dus meer rendement.

Factoren, die MSV verlagen	Factoren, die MSV verhogen
Lager toerental Kleinere squish area ratio Hogere uitlaatpoort Grotere boring Kortere slag Langere drijfstang Grotere zuiger/kop speling Hogere compressie	Hoger toerental Grotere squish area ratio Lagere uitlaatpoort Kleinere boring Langere slag Kortere drijfstang Kleinere zuiger/kop speling Lagere compressie

Effect te lage MSV	Effect te hoge MSV
Rauw lopen in lage tot midden toeren gebied	Mogelijk detonatie, zuigerschade

Als de MSV de juiste waarde heeft, blijft de motor ongeveer 10 – 15 gr. C koeler. Tot slot MSV wordt met een computerprogramma berekend. Zie de betreffende paragraaf.

Vorm van de squishrand

Voor wegracers en karts pas je de squishrand exact af met de zuigerkop. Voor off-road motoren kan je de squish wat wijder uitlopen richting de verbrandingskamer.

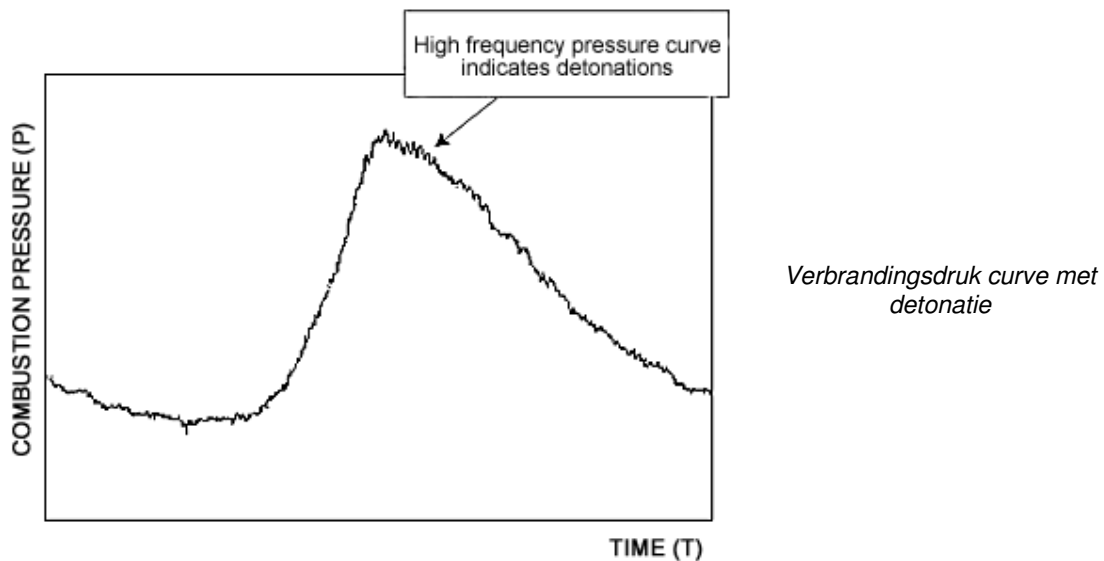
Een squishrand met een hoek van 2-3° t.o.v. de zuiger is minder gevoelig voor detonatie, maar een vlakke squishrand geeft meer vermogen, omdat de MSV hoger is en meer turbulentie geeft, waardoor je een hogere compressie kan toepassen

Detonatie

De term detonatie, ook wel pingelen genoemd, wordt in het algemeen gedefinieerd als een vlamfront met een ultrasone snelheid, vergezeld door een schokgolf. Bij tweetacten worden alle hoge snelheidsverbranding, die los van de normale ontsteking plaats vindt, detonatie genoemd, dus ook zelfontbranding door heatspots, gevormd door koolresten, en zelfontbranding van gecomprimeerde eindgassen.

Bij een tweetact, die ongelode benzine gebruikt, komt er nog een ander probleem naar voren. Bij zeer hoge toerentallen komen bij bepaalde tweetacten hete restgassen tot ontbranding doordat het uitlaatgas een temperatuur van 500°C kan bereiken, terwijl het zelfontbrandingspunt van benzine ongeveer 300°C is

In het algemeen kunnen deze vormen van detonatie goed gemeten worden door een druksensor, omdat ze verschijnen in de vorm van hoge frequenties boven 10 kHz boven op de drukkromme. De daadwerkelijke frequentie is afhankelijk van de diameter van de cilinderboring. Diagram 2 laat een verbrandingsdruk kromme zien, die een detonatieperiode omvat.



Gevolgen voor de motor

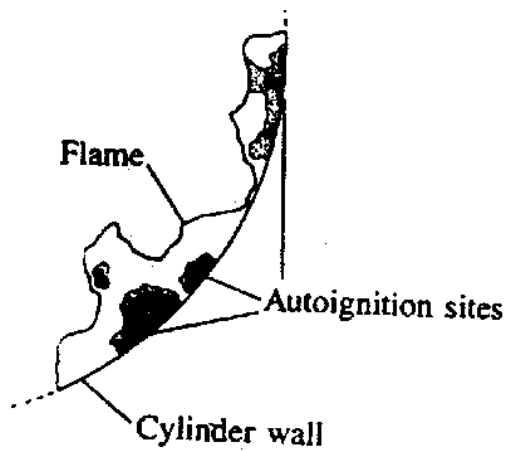
Wanneer detonatie plaats vindt, doorbreekt de hoge snelheidsvlam de beschermende lage temperatuur grenslaag, die het oppervlak van de verbrandingsruimte afdekt en veroorzaakt hiermee erosie. Aangenomen wordt, dat deze uitbarstingen deeltjes van het oppervlaktemateriaal van de zuiger wegblaast.

Detonatie en pre-ignition zijn zeer ongewenst omdat dit leidt tot overbelasting (thermisch en mechanisch) en zelfs tot breuk van zuiger, drijfstang of cilinderkop. Detonatie is te herkennen aan een metaalachtig geluid uit de cilinder, alsof iemand met een hamertje tegen de binnenkant van de cilinder tikt.

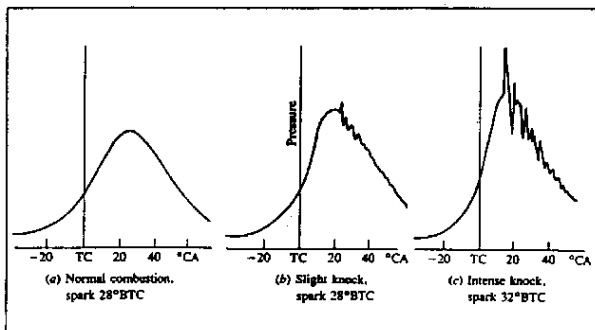
Het blijkt dat het hoogste motorvermogen wordt verkregen met een verbrandingsvorm, waarbij detonatie op een licht en gecontroleerd niveau plaats vindt. Ondanks al deze problemen is het daarom gebruikelijk om racemotoren zodanig af te stellen, dat de motor in dit verbrandingstype terecht kan komen.



door detonatie beschadigde zuiger



Het detoneren ontstaat meestal aan de rand van de zuiger (o.a. door een verkeerde squish)



Drukkrommes met geen, weinig en ernstige detonatie

Detonatie van de motor kan niet alleen veroorzaakt worden door een te hoge compressie verhouding, maar een te hoge MSV kan ook leiden tot pingelen.

Om detonatie te verhinderen, kan je brandstof met een hoger octaangetal gebruiken, maar dit vertraagt de verbrandingstijd. Een andere manier is om de ontstekingsstijdstip later te zetten. Dit vertraagt ook de verbrandingstijd, maar in mindere mate (5 gr. Verlating geeft slechts 1 % verlies)

Het risico van detonerende verbranding kan door brandstoftoevoegingen of door het gebruik van een rijk mengsel (extra inwendige koeling) worden verminderd. De tegenwoordig gebruikte maatregel om het onstekingsstijdstip te verschuiven om een detonerende verbranding te vermijden is vooral bij hooggecomprimeerde motoren niet geheel vrij van problemen, omdat er naast een afname van de gemiddelde effectieve druk ook extreem hoge uitlaatgastemperaturen bereikt worden.

Detonatie treedt op voor of na het toerental van het maximum vermogen (als het max. vermogen bij 12500 tpm ligt, kan detonatie optreden tussen 12.250 en 12.750 tpm). Detonatie komt zelden voor buiten dit toerengebied.

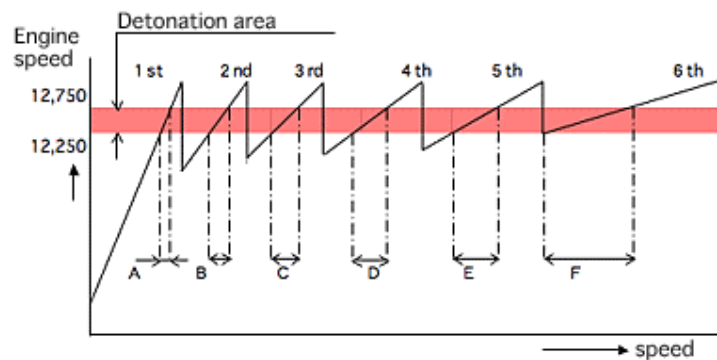


fig. Detonation area

Zoals je kan zien, is de acceleratie in de 5e en 6e versnelling lager dan de 1e en 2e versnelling. Daarom zal in de 1e en 2e versnelling het toerental minder langdurig in het detonatie gebied terecht komen. Op circuits met meer acceleratie en deceleratie zal daarom minder detonatie gevaar zijn, dan op circuits waarop veel volgas in de 5e en 6e gereden wordt.

Veelvuldig gebruik van de lagere versnellingen en toerentallen van 12.750 tpm en hoger door versnellingskeuzes beperken de neiging tot detonatie. Ook zal een gerichte manier van rijden resulteren in minder detonatie gerelateerd aan deelstand van het gashandle

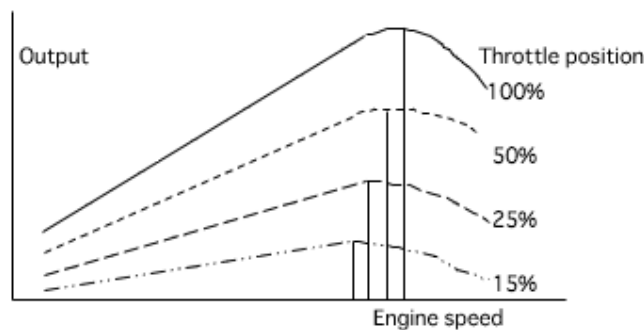


fig. Detonation area

In de vermogensgrafieken hierboven, kan je zien dat het toerental van het topvermogen varieert met de stand het gashandel. Daarom zal het toereengebied, waarin detonatie kan voorkomen ook variëren met de stand van het gashandel. Hierdoor kan bij het dichtdraaien van het gas vanuit volgas bij 11.000 tpm plotseling detonatie plaatsvinden

Anti detonatie regelingen

Regelingen kunnen gesplitst worden in actieve regelsystemen (Yamaha) waarbij het motormanagement systeem de detonatie beheerst en registratiesystemen (Honda) waar zelf de afstelling aangepast dient te worden aan de hand van de gemeten aantal detonatiemomenten.

Regelsystemen

Als detonatie boven een bepaald niveau stijgt, wordt de gestuurde powerjet op de carburateur voor een langere tijdsduur geopend zodat de lucht/brandstof verhouding naar rijker gecorrigeerd wordt. Als de maximale openingsduur bereikt is, wordt de ontsteking gecorrigeerd(verlatingshoek) Als de detonatie beneden een bepaald niveau is gekomen, worden de openingstijd en het ontstekingstijdstip weer teruggeregeld naar de oorspronkelijke waarden. De lucht/brandstof verhouding wordt eerst gecorrigeerd en dan pas de ontstekingstijdstip correctie, omdat de lucht/brandstof verhouding relatief minder invloed heeft op het motorvermogen, terwijl correctie van het ontstekingstijdstip een snellere responsie geeft en dus een sneller verlies van vermogen veroorzaakt

Meetsystemen

Veel rijders monteren detonatietellers op hun machine om informatie over de juiste afstelling te krijgen. Zowel de RS125 als de RS 250 dienen een detonatiewaardes te hebben van 1 à 2 per kilometer. B.v., bij het Suzuka circuit met een lengte van ongeveer 6 km, zal de maatstaf voor de detonatieteller op 12 tellingen per ronde liggen.

Detonatie tellen bij vol open gebied neigt te leiden naar schade, maar detonatie tellen bij deellast zal leiden tot minder schade. Overeenkomstig moet je je eigen richtlijn vinden, omdat het aantal counts verschillen per rijder en per baanlay-out

Zelfs een rijke afstelling kan tot detonatie leiden door de volgende redenen:

Als beschadigde zuigers en koppen worden geconstateerd bij motor onderhoud:

- Hoge secundaire compressie
- Ontstekingstijdstip te vroeg
- Uitlaten of dempers zijn vervangen, vervormd of hebben deuken
- Motor zuigt valse lucht aan
- Brandstofleidingen of brandstof terugslagkleppen zijn vervuild
- Oude brandstof gebruikt
- JET NEEDLE, SLOW JET, of PWJ, anders dan de hoofdsproeier zijn te klein
- Te vroeg sluiten van de powerjet

Geen motorschade, maar er worden te veel detonatietellingen geconstateerd:

- Foutief aanhaalmoment van de sensor
- Sensor of teller pikt vibratie op
- Sensorkabel pikt elektische ruis op
- Niet aangesloten sensorkabel
- Gebrek aan teller voltage
- Al eerder beschadigde zuigers of koppen gebruikt

De motor is beschadigd, maar er is geen telling van detonatie geweest:

- Aanhaalmoment sensor lager als gespecificeerd
- defecte sensor/ teller

- niet aangesloten steker of binnen gedrongen water
defecte carborateur (controleer bewegingsvrijheid vlotter)

Zoals eerder genoemd, kan detonatie zowel in het naaldgebied (bij deelgas) als bij volgas optreden. Je moet daarom controleren waar de waarden verkregen van de teller optreden. Aanbevolen wordt een of twee detonatietellingen per kilometer in het meest gebruikte gebied.

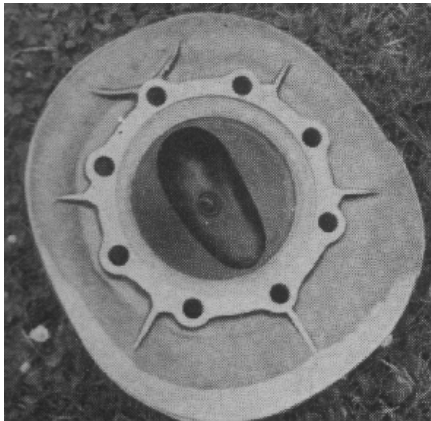
Cilinderkop uitvoeringen

De vorm van de zuigerbodem en het oppervlak aan de binnenzijde van de cilinderkop bepalen samen de vorm van de verbrandingskamer.

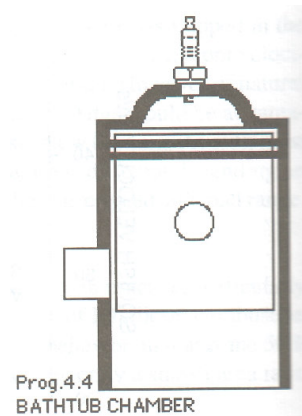
Bathtub kop

Met de bathtub vorm krijg je meer vermogen onderin, maar de motor verliest toptoeeren. Ten opzichte van een vlakke vorm, heeft de bathtub vorm een kortere verbrandingstijd.

Als je een bath tub model maakt is het mogelijk dat de motor bij de zelfde compressie verhouding en toerental dat de detonatie minder wordt. De reden is niet helemaal duidelijk maar het zou kunnen door het model dat de kop beter gekoeld wordt.



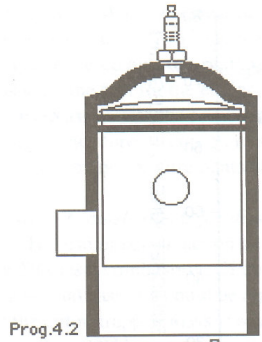
praktisch voorbeeld bathtub kop



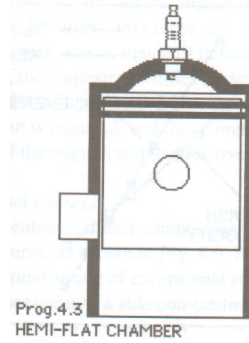
bathtub kop

Halfbolvormige kop,

De halfbolvormige kop wordt op dit moment het meeste toegepast. Toch is deze kop niet optimaal, omdat de verbrandingsbron (de bougie) niet in het centrum van de bol is. De bolvormige kop minimaliseert de verbrandingstijd, maar de bougie is bovenin de bol waar het smal is, waardoor het vlamfront verder moet lopen.



Hemisferische kop

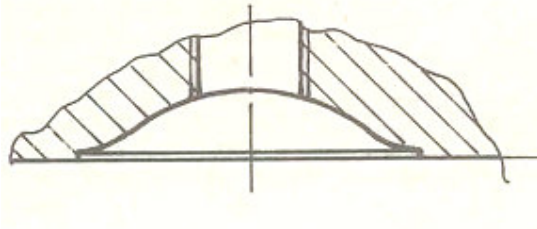


Hemisferische vlakke kop

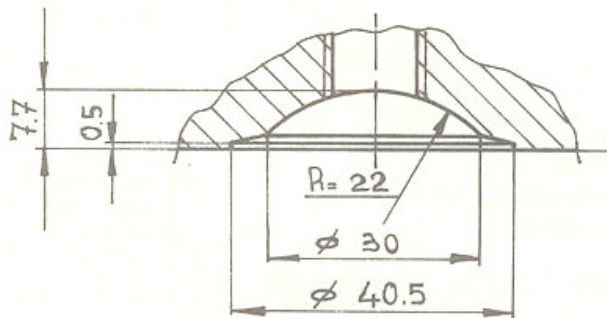
Ook is deze kop niet per definitie de beste vorm voor de verbrandingskamer. Het samengeperste turbulente mengsel neigt er naar om horizontaal uit de (vlakke voor meer vermogen) squishrand te schieten. Dit betekent een hoog vermogen ontwerp met een vlakke squishrand niet goed zal werken met een hemi-kop(waar veel van het mengsel zich nabij de top van de verbrandingskamer).

De enige werkelijke wenselijke eigenschap dat de hemi-kop heeft, dat het de warmte overdracht naar het metaal minimaliseert en de meeste warmte in de verbrandingsgassen houdt... dus is theoretisch meer vermogen beschikbaar- maar alleen als je deze zonder detonatie kan krijgen.

Varianten hemi-sfeer

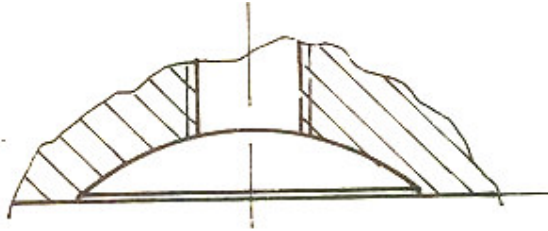


De probleemloze cilinderkop. Hij geeft redelijk vermogen en is niet te kritisch. Voor topprestaties minder geschikt.



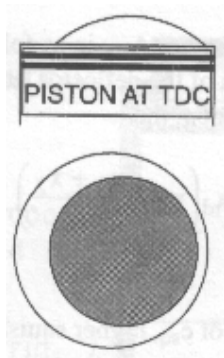
Kopvorm met anti-detonatiespleet ofwel squishzone. De gassen worden van de kanten naar het midden geperst. Daardoor stijgt de temperatuur en wervelt het gas (onder andere) Veel gebruikt. Maten zijn voor 50 cc

Voor de 50 cc staan een aantal maten in de tekening vermeld. Dat de maat niet 40 maar 40,5 mm is. Ook dit is een veiligheidsmaatregel, vooral de 50 cc met zijn L-veer komt erg hoog in de cilinder. Als nu de kop exact 40 mm is, zal bij het minste of geringste ook de zuigerveer de kop raken. Als er bovenaan de cilinder geen radius is en de kop wordt met pasbussen zuiver in het midden gemonteerd, kan de maat exact aangehouden worden.



Zo op het oog de simpelste kopconstructie,. Hij werd toch toegepast in snelle machines, maar kon daarbij voor detonatieproblemen zorgen. Ook hier kan met plaats van de bougie gewerkt worden

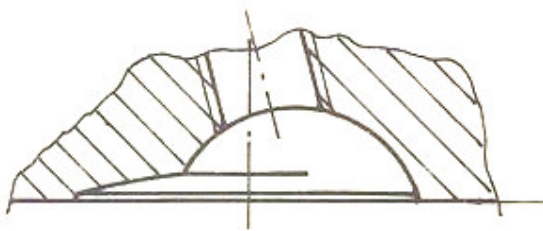
Kop met offset



deels offset



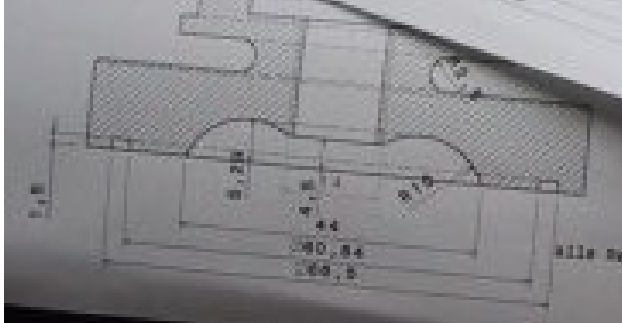
volledige off-set



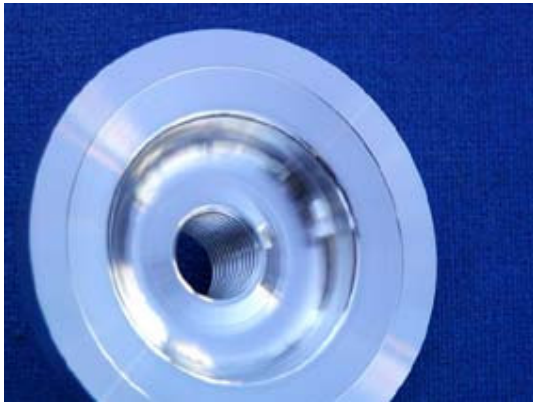
De "jockeypet" kop is een variant op de kop met squishrand. Hij heeft wat minpunten, maar voldoet doorgaans goed

Torroidale cilinderkop

De laatste ontwikkeling is de z.g. torroidale cilinderkop. Het doel van dit ontwerp is om de bougie zo veel mogelijk midden in de halve bol van de verbrandingskamer te plaatsen voor een zo snel en volledig mogelijke verbranding.



Een op de Honda RS geïnspireerd ontwerp voor een 250 cc Aprilia



Honda JHA kop met een torroidale vorm. Je ziet hier duidelijk dat de bougie een stukje naar binnen steekt in de verbrandingskamer voor een snellere verbranding

Meten is weten

Voordat je maar iets verandert, is het belangrijk om de uitgangssituatie te weten. Dit doe je met onderstaande meetmethodes

Meten compressieverhouding

Het belangrijk om de juiste meetmethode toe te passen om de compressieverhouding op te meten.

De compressieverhouding meten met compressiemeter is een erg onzuivere meting, omdat de gemeten waarde voornamelijk afhankelijk is van de conditie van cilinder, zuiger, zuigerveren en dichting.

Het beste is om de compressieverhouding te bepalen via berekening. Hier bepaal je door middel van meten wat het volume van de verbrandingsruimte is en reken je met dit volume de compressieverhouding uit.

De inhoud van de verbrandingsruimte wordt gemeten door de cilinder met gemonteerde cilinderkop waterpas op te stellen met de zuiger in het b.d.p. en deze d.m.v een maatbeker of een injectiespuit te vullen met dunne olie:

1. Smeer de buitenrand van de zuiger in met vet.
2. breng met behulp van een meetklok de zuiger in het BDP
3. Vloeistof nauwkeurig doseren tot de bovenste rand van het bougiegat met b.v. een injectiespuit
4. Trek van het totale volume 2-2,5 cc af als compensatie voor het bougiegat.

Bij een vlakke zuiger kan je het volume van de verbandingsruimte ook met een losse kop bepalen. Plaats de bougie en leg een vlak stuk acryl of glas met twee gaatjes op de kop. (Eén gat voor doseren, de andere voor de ontluchting. Gebruik vet als afdichting langs de pakkingrand. Dan vul je de de verbrandingskamer druppelsgewijs met een doseersysteem. Tel het volume van de squishruimte op bij het totale volume. Houdt rekening houden met de deck hoogte(hoogte tussen zuigerkop in de bovenste stand en de bovenkant van de cilinder).



Volumemeting van een losse kop

Bij een torriodale cilinderkop is het niet mogelijk om de compressieverhouding bij een gemonteerde kop met vloeistof te bepalen, omdat de bougie op een eilandje deels naar binnensteek en er hierdoor lucht in de kop blijft zitten. Hierdoor ontstaat een foute meting. Meet de inhoud van de losse kop en samen met de gemeten bolling van de zuiger en deckhoogte kan je het volume van de verbrandingskamer berekenen.

Als meetvloeistof adviseert Honda transmissieolie+kerosine (petroleum) in een 50-50% verhouding.

Nu het volume van de verbrandingsruimte V_c bekend is kunnen we samen met de waarden van boring en slag de compressieverhouding berekenen.

$$\epsilon = \frac{V_s + V_c}{V_c} = \frac{\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S + V_c}{V_c}$$

Hierin is:

ϵ de compressieverhouding

V_s het slagvolume in [cm³]

V_c de gemeten verbrandingskamer-inhoud in [cm³]

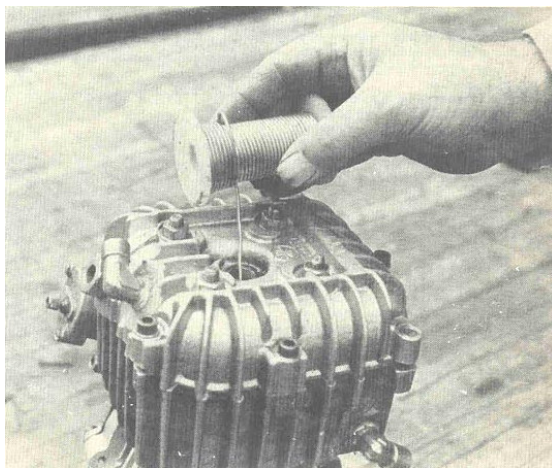
D de boring in [cm]

S de slag in [cm].

Metten zuiger/kop speling

De eenvoudigste manier om de zuiger/kop speling te meten is met behulp van een dun draadje soldeertin van ca 1,5 mm dikte. Met gemonteerde cilinder kop en zuiger steken we het draadje door het bougiegat tot de zijkant tot aan de cilinderwand. De zijkant is beter dan de voor- en achterzijde omdat de zuiger aan de zijkant de minste neiging heeft om te kantelen. Met een sleutel draaien we nu de krukas rond, waardoor het draadje geplet wordt. Met behulp van een schuifmaat kunnen we nu de dikte hiervan opmeten en dus de afstand tussen zuiger en kop vaststellen.

Om te controleren of de zuiger/kop speling overall even groot is, kan je de speling het beste op de vier hoeken bij de tapeinden meten. Dit kan het beste in een keer. Leg vier eindjes van 15 mm soldeer op de zuiger en houdt ze op hun plaats met een beetje vet. Draai de zuiger ca 10 mm van het BDP naar beneden, monteer de kop en draai de krukas door het BDP heen. Hierbij voel je enige weerstand. Demonteer de kop weer en meet de dikte van het geplette soldeer. Als er grote verschillen zijn, is de kop niet goed bewerkt of niet goed gecentreerd. Zie dan *bewerkingen* voor een praktische oplossing.



De zuiger/kop speling kan bij gemonteerde motor met een stukje soldeerdraad gemeten worden

Ontwerpen van de cilinderkop

Begin met het bepalen van de gewenste MSV. De maximale snelheid hangt af van het type kop welke je gebruikt. Voor een centrale verbrandingskamer is 30 m/s ongeveer het maximum, voordat onafhankelijk van de compressie verhouding detonatie optreedt.

Als je een motor wilt hebben welke snel in toeren moet klimmen maar niet ver in toeren hoeft door te lopen na het punt waar het maximum vermogen wordt afgegeven, b.v. voor supercross, dan kun je kiezen voor een waarde van ongeveer 28M/s. Bij een kop voor motorcross kies je een MSV van zo'n 25 m/s. Moet de motor goed doorlopen (overrev) b.v. een racemotor, dan moet je voor een MSV kiezen van rond de 15-25 M/s.

De MSV wordt met een computerprogramma uitgerekend.

Let op: Reken de MSV uit voor het toerental waar de motor zijn maximale vermogen afgeeft.

Aangezien de zuiger/ kop speling slechts binnen nauwe grenzen te variëren is, bepalen voornamelijk de MSV en het toerental de breedte van de squishrand. De breedte van de squishrand geeft samen met de te gebruiken brandstof (lees octaangetal) de grens aan voor de maximaal toelaatbare compressieverhouding. Een bredere squishrand maakt de verbrandingsruimte dieper, wat niet goed is voor gebruik voor hoge toerentallen.

Een veel voorkomende fout is dat men vaak een verkeerde combinatie kiest voor de compressie verhouding in combinatie met de zuiger/kop speling en breedte van de squishrand.

In het algemeen is een cilinderkop met een kleine diameter en diepe verbrandingsruimte, een brede squishrand (60% van de oppervlak van de boring en een compressie verhoudingen van 9:1 CCR is bijzonder geschikt voor vermogen bij laag tot midden toerengebied. Echter, een goede compressie verhouding geeft in het midden toerengebied wel een goed koppel, maar veroorzaakt bij hogere toerentallen detonatie.

Een cilinderkop met een brede ondiepe kamer en een smalle squishrand (35-45 % van het oppervlak van de boring) en een compressieverhouding van 8:1 CCR is ideaal voor vermogen bij hoge toerentallen.

Voorbeelden

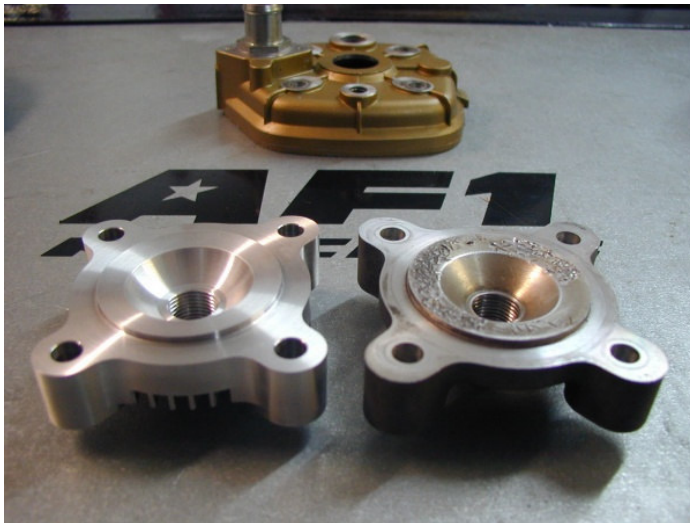
Als voorbeeld voor verbetering van een standaard cilinderkop gaan we uit van een 125cc motor. Deze heeft een compressie verhouding van 15:1, dit houdt in dat de gecomprimeerde volume ongeveer 8.8cc is. Deze motor komt van de fabriek met een squish hoogte van 1.7mm. Dit houdt in dat ongeveer 1.94cc (is de inhoud van de squish rand) niet eerder zal ontbranden dan na TDC. In percentage is dit $1.94 / (8.8 - 1.94) * 100 = 28.2\%$.

Als hier de squish hoogte wordt verandert van 1.7mm naar 0.8mm wordt de inhoud van de squish rand 0.92cc. In percentage is dit $0.92 / (8.8 - 0.92) * 100 = 11.7\%$. Nu zou men zeggen dat je hier een vermogens winst kunt halen van $28.2 - 11.7 = 16.5\%$. In de praktijk zie je op de testbank een stijging van 5 tot 6%. Ook hier geldt weer het warmteverhaal, dat verantwoordelijk is voor de verliezen.

Als je een wegracer bouwt, heb je een smalle squishrand nodig van ongeveer 42 tot 44%. De zuiger/kop speling is ongeveer 0,9 tot 1,1 mm. Bij een 50 cc racer voor 98 octaan brandstof, boring 40 mm slag 39,3 mm is 42% een goede waarde voor de squishrand, voor zuiger/ kop speling 0,8 mm en een compressie van UCR 16:1. Dit geeft een goede overrev en geen detonatie. Squishrand is exact parallel aan de zuigerkop.

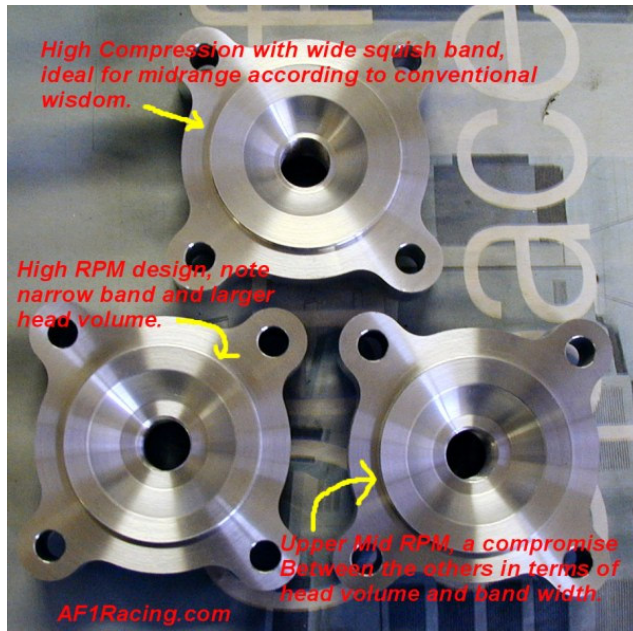


Voorbeeld van een cilinderkop met losse binnenkop (VMH). Voordelen zijn de makkelijkere en goedkopere fabricage van verschillende binnenkoppen



Hier zie je de resultaten van een te laag octaangetal (RON 94) met een te kleine kop/zuiger speling(0,49 mm)

De diepe waterkoelribben zijn aangebracht om de warmte af te voeren, gebruikelijk bij tweetacten met veel vermogen en hoge toerentallen(70 cc, 19 pk)



Verschillende ontwerpen voor een 70 cc-kop. Elke kop is bedoeld voor een specifiek toerental.

De kop met de brede squishrand en kleine inhoud is voor een kort circuit (voor meer koppel) en de kop met de smalle squishrand en groot volume is lange circuits en een hoog toerental van 14.000 tpm. De koppen zijn gebruikt voor testdoeleinden.

compressie voorbeelden

Kreidler

Std. Super Breitwand:

- comp.verh. 11.3:1 UCR
- uitlaattiming 172 graden
- volume verb. kamer 4.9cc
- eff. comp verh. 7.1:1 CCR

12 pk Super Breitwand:

- comp.verh. 13:1 UCR
- uitlaattiming 186 graden
- volume verb. kamer 4.2cc
- eff. comp verh. 7.4:1 CCR

Van Veen watergekoeld

- comp.verh. 15:1 UCR
- uitlaattiming 198 graden
- volume verb. kamer 3.6cc
- eff. comp verh. 7.7:1 CCR

Bewerkingen

Om de compressieverhouding te verhogen en de kop/zuiger speling te verkleinen kan je beter de bovenkant van de cilinder afvlakken, of maak een O-ring groef in de bovenkant van de cilinder, waarmee je ook de koppakking kwijt raakt.

Cilinderkop centreren

Bij metingen van de zuiger/kop speling op vier hoeken, kan het zijn dat er grote afwijkingen te meten zijn. Dit kan veroorzaakt worden doordat de kop door te grote speling op de tapeinden niet goed gecentreerd wordt boven de cilinder. Dit kan je oplossen door een centreringshulpstuk te maken, waarmee je de bougiegat in de kop t.o.v. de cilinder kan centreren. De holle inbusschroeven kan je voor fijnafstelling ten opzichte van de boring gebruiken.

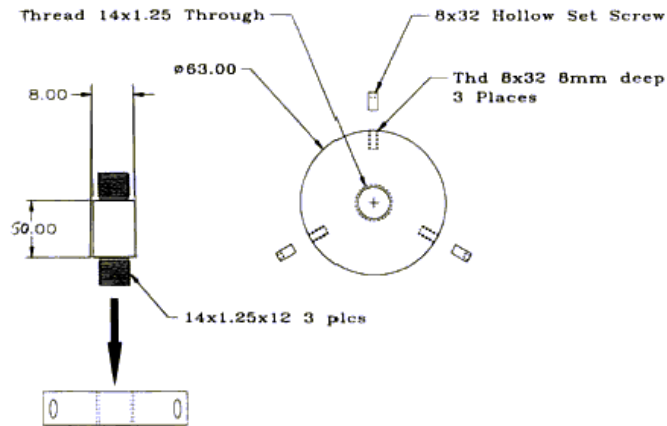


Fig 6. Cilinderkop centreer hulpstuk

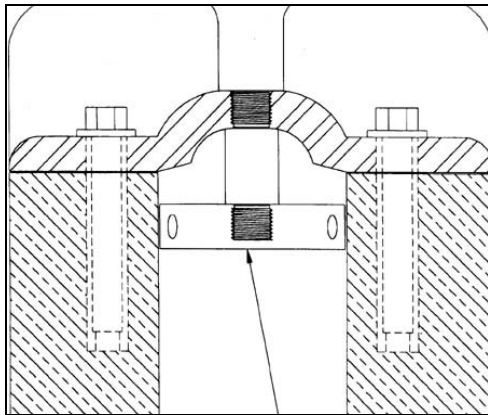


Fig 6.

Als je de kop gecentreerd hebt, kan je twee gaten boren in een massief deel van de kop en cilinder om paspennen te kunnen aanbrengen.

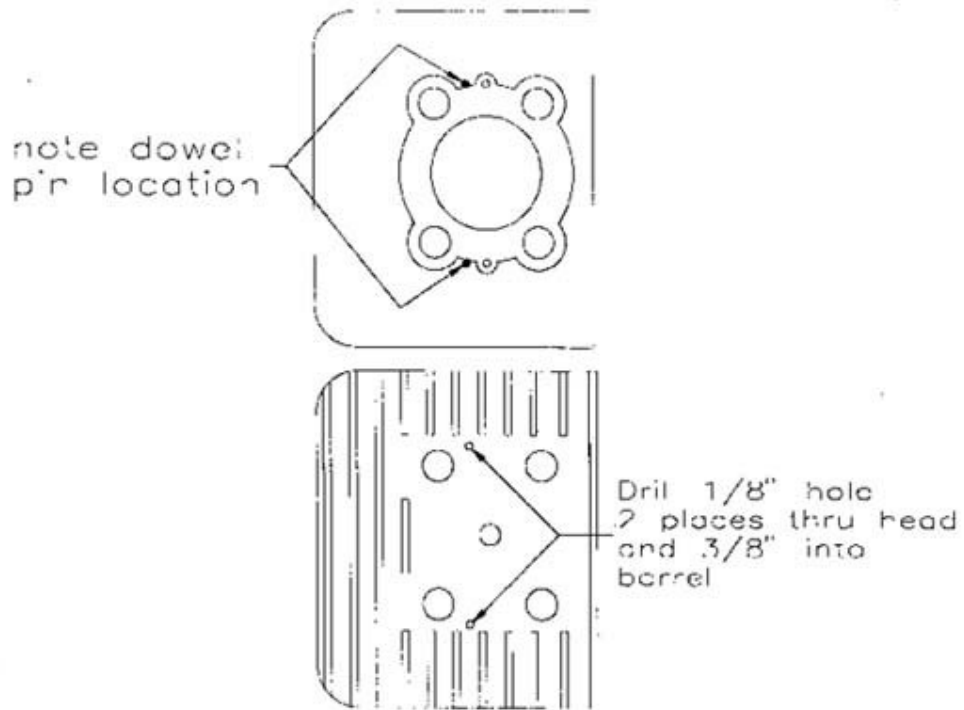


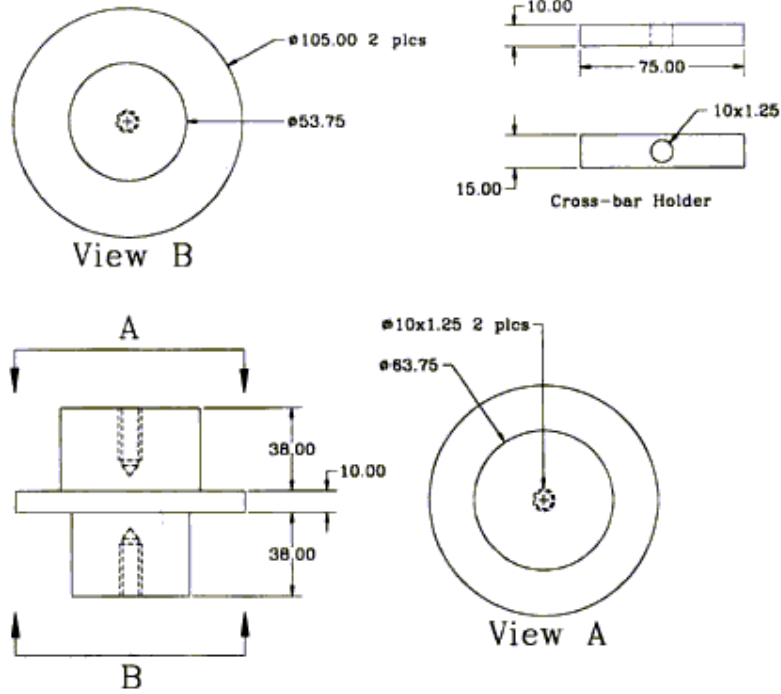
Fig 5

Je hoeft geen zorgen te maken over exacte maten, grotere afwijkingen zorgen er voor dat de kop alleen bij die cilinder past en je dus altijd de juiste kop bij de cilinder zult gebruiken.

O-ringen

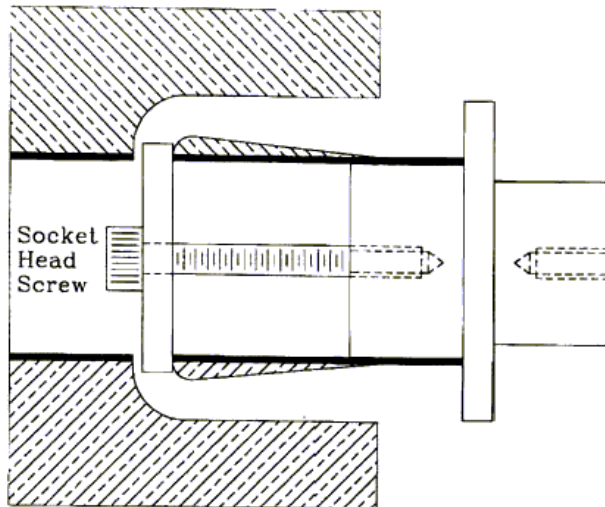
O-ringen van silicone rubber kunnen uitstekend dienst doen als dichting bij watergekoelde cilinderskoppen, maar ze houden ook stand bij luchtgekoelde koppen.

Een hulpstuk zoals in fig 8 houdt de cilinder haaks genoeg om op een draaibank bewerkt te worden voor een O-ring groef



Hulpstuk voor bewerking van de cilinder in een draaibank

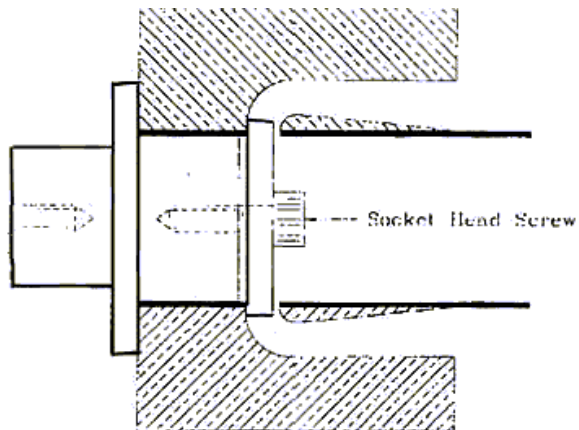
De passing van het hulpstuk moet zo klein mogelijk zijn, terwijl de andere kant voor een andere boring pas gemaakt kan worden. Het middelste deel vangt de cilinder op, als een brug in de spoelpoorten wordt geschoven en met een inbusbout de cilinder vastzet. Fig 9 laat zien hoe het hulpstuk er uitziet met een cilinder erop gezet en klaar is om een O-ring aan de bovenzijde van de cilinder te draaien.



Opstelling om een groef voor een O-ring in de bovenkant van de cilinder te draaien.

Het hulpstuk kan ook aan de bovenkant van de cilinder gezet worden om de onderzijde vlak te draaien waardoor de bovenzijde nauwkeurig vlak loopt als de O-ring groef wordt aangebracht. Ook kan je het vlak van de voetpakking opknappen als deze beschadigd is. Het opboren van de cilinder zal hiermee beter verlopen, omdat de voet van de cilinder als referentievlak wordt gebruikt.

Fig 10 laat zien hoe het hulpstuk er uit ziet als deze wordt toegepast om de voet van de cilinder of onderkant van de cilinderwand te vlakken.



Opstelling om de de onderzijde van de cilinder te bewerken.

Met een O-ring heb je geen koppakking meer nodig en zal de zuiger/kop speling kleiner zijn geworden.

De eventuele centrering die eerst door de koppakking werd gedaan, kan worden overgenomen worden door paspennen.

Voor het beste resultaat, moet je iedere motor beschouwen als een op zich zelf staande unit vanwege de fabricage toleranties. Houdt in gedachten dat ieder onderdeel een +/- tolerantie heeft. Bijvoorbeeld, drijfstangen kunnen 0,2 mm afwijken, zuigers 0,3 mm, cilinders 0,1 mm, enz. Combineer een paar van deze en plotseling is de verbrandingskamer beïnvloed door een verknoeiide squish waarden en en verpeste timing.

Computerprogramma's

Je kunt de MSV uitrekenen met b.v. het programma **prog4.1** van prof Blaire. Als je een programma gebruikt moet je de MSV waarde uitrekenen op het punt (toerental) waar het maximum vermogen ligt.

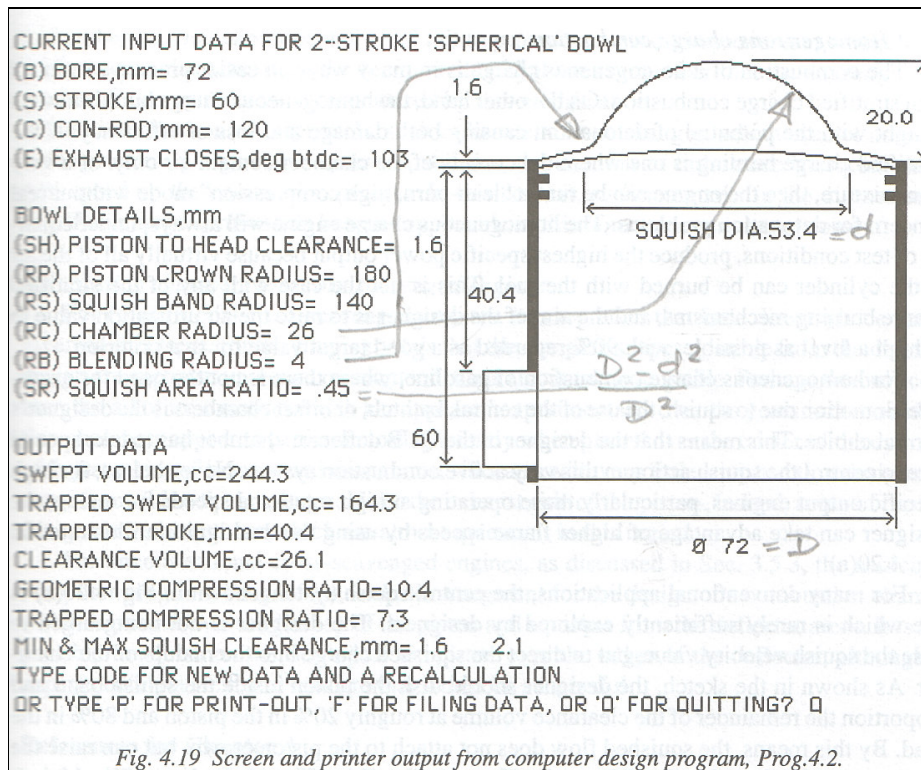


Fig. 4.19 Screen and printer output from computer design program, Prog.4.2.

Interessant is, dat het blijkt dat een radius aan de rand van de squishrand hetzelfde effect op detonatie geeft als het onder een hoek plaatsen van de squishrand. Met andere woorden: een vlakke squishrand kan zich gedragen als een met een hoek door de hoek tussen de overgang van de rand en de verbrandingsruimte af te ronden.