

Handleiding Stirlingmotor

Stirlingmotor

Robert Stirling (1790-1878) was een schotse dominee en uitvinder van de zeer efficiënte warmtemotor. In zijn tijd was de industriële revolutie volop gaande en veel arbeiders werkten met stoommachines. Omdat er nog geen goede kwaliteit plaatstaal beschikbaar was kwam het regelmatig voor dat een stoommachine ontplofte en het werk was dan ook gevaarlijk. Om de werkomstandigheden te verbeteren besloot Robert Stirling een al bestaand ontwerp voor een luchtmotor te verbeteren. Deze motor is veel minder gevaarlijk dan de toenmalige stoommachines. In 1816 vroeg hij patent aan op een heteluchtmotor met een regeneratieve heat exchanger (regeneratieve hitte uitwisselaar) die hij de Heat Economiser noemde.

De regenerator slaat warmte op als lucht van de warme naar het koude gedeelte van de motor gaat en geeft de warmte weer af als de afgekoelde lucht terug komt naar het warme gedeelte. Dit verbetert de efficiëntie van de motor. Dit idee is de verbetering van de luchtmotor waardoor de naam Stirling met dit type motor verbonden is geraakt.

In 1818 was zijn motor zo goed ontwikkeld dat deze toegepast kon worden om het water uit de mijnschacht bij Ayrshire te pompen.

Aan het begin van de twintigste eeuw waren er wereldwijd zo'n 250.000 stirlingmotoren die als tafelventilator, waterpomp of aandrijving van een klein apparaat ingezet werden. Ook huishoudens en kleine ambachtsbedrijven werden door deze motoren van mechanische energie voorzien. Aan de opmars van de Stirlingmotor kwam een eind toen de Otto-, Diesel- en elektromotor populair werden.

In onze tijd met groeiend milieubewustzijn en eindeloos stijgende aardolie prijzen is men de eenvoudige en stille Stirlingmotor aan het herontdekken. Er worden tegenwoordig talloze varianten uitgevonden die steeds zuiniger, stiller en trillingsarm zijn. De willekeur aan warmtebronnen, waaronder zonne-energie, waarop de motor kan lopen zorgen ervoor dat het een milieuvriendelijke motor kan zijn.

Enkele voorbeelden van hedendaags gebruik van de stirlingmotor zijn:

- Als zonne-energie centrale waarbij één kant van de hoofdcilinder in het brandpunt van een paraboolspiegel staat en zo verwarmt wordt door het zonlicht.
- Als energiecentrale van een ruimtezonde. Bij deze verbazingwekkende rol in de ruimtevaart wordt stroom opgewekt uit meegevoerde radioactieve energie met behulp van een Stirlingmotor.
- Als warmtepomp of koelaggregaat. Hierbij moet de motor extern aangedreven worden en zal het medium warmte van het warme naar het koude gedeelte vervoeren.

Werking

Bij dit bouw pakket zijn er twee metaalplaten die een temperatuurverschil overbrengen aan de lucht die door een verdringingszuiger heen en weer gepompt wordt.

Er is een boven en onder plaat. Door bijvoorbeeld de onder plaat te verwarmen zal er een temperatuurverschil ontstaan tussen de boven en onder plaat.

De lucht warmt op bij de warme plaat waardoor het uitzet en de arbeidszuiger omhoog duwt.

Terwijl dit gebeurd wordt de lucht nu door de verdringingszuiger naar de koude plaat geduwd waar deze afkoelt en krimpt, waardoor de arbeidszuiger zakt. Tegelijk duwt nu de verdringingszuiger de lucht weer naar de warme plaat waar het weer opwarmt en uitzet. Het vliegwiel zorgt ervoor dat de krukas steeds over het dode punt heen getrokken wordt. En zo krijgen we een cyclus.

Belangrijk vooraf

Voor de werking is het absoluut noodzakelijk dat de hoofdcilinder en de arbeidszuiger luchtdicht zijn. Ook moeten alle bewegende onderdelen moeiteloos kunnen bewegen.

Bij de instructies in deze handleiding wordt per stap goed aangegeven waarop gelet moet worden. Bij een aanstappen is wat geduld en precisie nodig. De beloning is een motortje wat zal werken op

alleen de energie van een hete kop koffie.

Tips vooraf

- 1) Om de kartonnen onderdelen uit de bouwplaten te halen kan een hobbymesje gebruikt worden voor het doorsnijden van de verbindingen waarmee de onderdelen vastzitten.
- 2) De bedrukte kant van de platen is de voorkant. Als in de tekst gesproken wordt over naar voren of naar achteren vouwen dan wordt bedoeld dat de bedrukte kant de voorkant is. De met ----- gemarkeerde lijnen vouwt u naar achteren, de met gemarkeerde lijnen vouwt u naar voren. Om het karton extra mooi langs de vouwlijnen te kunnen vouwen kan eerst met een stomp mes de vouwlijn iets ingedrukt worden. Gebruik niet een te scherp mes, want dan ga je door het karton heen en dat is niet de bedoeling.
- 3) De meeste kartonnen onderdelen moeten in of op elkaar gelijmd worden. De plakranden zijn in grijs aangegeven. Waar twee onderdelen op elkaar gelijmd moeten worden staat met een nummering [A1], [A2], [B1] enz. aangegeven welk onderdeel waarop gelijmd moet worden en aan de vorm van de plakranden is te zien hoe. Let hier goed op bij de bouw, dit wijst zich vanzelf.
- 4) Laat de onderdelen zo lang mogelijk in het karton zitten, zodat de delen niet verward en ook niet kwijt zullen raken.
- 5) Bekijk de foto's van de bouw en de instructietekeningen in de Duitse handleiding.
- 6) Lees voor het uitvoeren eerst de gehele stap goed door.

Benodigd heden

- 1) Een 2-componentenlijm. Bijvoorbeeld Bison Kombi Snel Packshot, dit is 2-componentenlijm die in twee aan elkaar gekoppelde spuitjes zit.
- 2) Ontvettingsmiddel, bijvoorbeeld spiritus
- 3) Een beetje dunne siliconenolie (naaimachine olie). Gebruik geen keukenolie!
- 4) Een stokje (tandenstoker of satéprikker) waarmee lijm en olie op de verschillende onderdelen aangebracht kan worden.
- 5) Een grote mok of een schaalpje met een diameter van ongeveer 10cm waarop tijdens de bouw de hoofdcilinder geplaatst kan worden.
- 6) Een geo-driehoek of een haakse hoek van iets anders.
- 7) Een dikke viltstift of iets anders wat rond is met een diameter van ongeveer 17mm. Dit is later nodig om de arbeidszuiger te kunnen maken.
- 8) Een klein spits tangetje.
- 9) Een paar knijpers, een potlood, elastiekje en wat dun naaigaren.

Inhoud

- 1) 4 karton platen, bedrukt en voorgestanst.
- 2) 1 Aluminium plaat diameter 126mm (bodem hoofdcilinder)
- 3) 1 Aluminium plaat 126mm bij 126mm met twee gaten (deksel van de hoofdcilinder)
- 4) 2 stroken transparant pvc met een dikte van 0,5mm en 18mm breed
- 5) 2 messing buisjes van 18mm lang (doorvoer van de verdringingszuiger en de vating van de arbeidszuiger)
- 6) 1 Siliconen slang 110mm lang (verbinding van zuigerstangen en ter fixatie van de aslagers)
- 7) 1 latex handschoen (latex afdichting van de arbeidszuiger).
- 8) 1 lichtgewicht schuimplastic schrijf 113mm x 8mm met een gat (dit is de verdringingszuiger).
- 9) 3 Veerstalen pennen 1mm diameter met aan het uiteinde een gebogen haakje (dit zijn de metalen delen van de zuigerstangen)
- 10) 1 Veerstalen pen van 1,5mm diameter 117mm lang met 2 krukken (dit is de krukas).
- 11) 4 grote ringen van hard PVC (krukas lagers en drijfstanlagers)
- 12) 8 kleine ringen van hard PVC (geleide ringen voor de lagers)

Zie ook foto 1

Stap 1 Breng een verticale potloodstreep aan op de grijze voorzijde van de beide midden delen van het vliegwiel [A1] en [A2] en ook op de onbedrukte achterkant van de buitendelen [A3] en [A4]. Haal hierna pas deze onderdelen uit het karton en verwijder de trapeziumvormige stukjes uit de vier schijven. De potloodstreepjes geven de looprichting van het karton aan. Het karton is in de looprichting meer flexibeler dan haaks daarop. De potloodstreepjes worden gebruikt om de delen van het vliegwiel zo op elkaar te lijmen dat dit het sterkste resultaat geeft.

Stap 2 In het midden van de vliegwieldelen zitten kleine voorgestante rondjes waar later de krukas doorheen moet. Pak de krukas en duw daarmee de voorgestante rondjes er vanaf de achterkant uit.

Stap 3 Lijm nu beide midden delen van het vliegwiel [A1] en [A2] met de onbedrukte achterkant precies tegen elkaar. De potloodstrepen moeten in dezelfde richting wijzen, de looprichting van beide delen is dus gelijk. Nadat de lijm gedroogd is wordt hierop het buitendeel [A3] en het binnen deel [A4] gelijmd, beide met de strepen in dezelfde richting maar haaks op die van het binnendeel. Zorg ervoor dat de delen precies op elkaar aansluiten. Dit aandrukken en goed laten drogen (foto 2 en 3).

Stap 4 Neem [A5], [A6] en [A7] uit het karton en vouw langs de lijnen naar voren (zie ook afbeelding 2 Duitse handleiding). De twee vlak bij elkaar liggende parallel ingedrukte lijnen zijn eveneens vouwlijnen, deze worden ook naar voren gevouwen. De wigvormige plakstrookjes (met de zwarte lijn en de opgedrukte schroefjes) worden later op het vliegwiel gelijmd (foto 4). Van de andere plakstrookjes (die met de dubbele parallelle vouw) wordt telkens een plakstrookje op het tegenoverliggende corresponderende stukje van de ander geplakt. Hierdoor ontstaat uiteindelijk een ster met drie benen waaraan aan de onderkant de plakstrookjes (met de zwarte lijn en schroefjes) hangen. In het midden van de ster is, door de twee vlak bij elkaar liggende parallelle vouwlijnen, een kleine opening ontstaan waar de krukas in past (foto 4). Zorg ervoor dat de krukas er ook in past en het gat niet is opgevuld met lijm.

Stap 5 Steek het lange eind van de krukas vervolgens van onderaf in het centrum van de ster en maak zo het kanaal voor de as vrij. Trek de ashouder weer van de as af, steek de as nu van de bovenkant er doorheen en bestrijk de plakstroken aan de onderkant (met de met de zwarte lijn en schroefjes) met lijm. Steek nu het stuk van de krukas dat aan de onderkant uitsteekt in het centrum van het vliegwiel aan de kant waar de plakmarkeringen zitten. Schuif de ashouder nu tegen het vliegwiel en lijm het vast op de plakmarkeringen. Zorg ervoor dat de ashouder goed haaks op het vliegwiel komt zodat er later geen slag in komt als deze rond draait (foto 4). Trek daarna de krukas er weer uit.

Wand en bodem van de hoofdcilinder

Van de beide metalen plaatjes is de ronde de bodem van de hoofdcilinder. De andere plaat wordt het deksel. Door het fabricage proces kan het gebeuren dat de plaatjes aan één kant mooier zijn dan aan de andere. In dat geval kan je het zo monteren dat de minder mooie kant aan de binnenkant van de hoofdcilinder komt te zitten. De wand van de hoofdcilinder bestaat uit 2 stroken transparant PVC die met elkaar verbonden worden en een cirkel vormen. De wand wordt op de bodem gelijmd en hierbij gebruiken we het vliegwiel om de wand de ronde vorm te geven.

Stap 6 Neem, indien aanwezig, de beschermfolie van de beide aluminium platen. Ontvet en reinig met een beetje spiritus op een doek de beide metalen platen en de twee PVC stroken waarmee de cilinderwand gemaakt zal worden. Leg het vliegwiel precies in het midden op de lelijkste kant van de ronde bodemplaat. De bodemplaat steekt dan aan alle kanten ongeveer 3mm uit (foto 5). Trek met een dun potlood of balpen het contour van het vliegwiel over op de plaat zodat er een cirkel ontstaat (foto 6). Deze lijn wordt gebruikt om later de 2-componentenlijm exact aan te brengen.

Stap 7 Lijm het middendeel van de hoofdcilinderwand-verbinding [B2] in het midden op de achterkant van het buitendeel [B1] (foto 7). Lijm daarna op het middengedeelte het andere buitendeel [B3] (zie ook afbeelding 1 Duitse handleiding). Omdat het middendeel even hoog, maar één derde smaller dan het buitendeel is ontstaat er aan beide zijkanten een 6mm brede gleuf. Let er

op dat er geen lijm in deze gleuven komt. Doe hetzelfde met [B4],[B5] en [B6] die het andere verbindingstuk vormen.

Met deze verbindingstukken zullen later de PVC stroken aan elkaar vast gemaakt worden door ze vast te lijmen in de gleuven. Laat de verbindingstukken goed drogen.

Stap 8 Schuur met een schuurpapiertje de randjes van de kopse kanten (de uiteinden) van de PVC stroken licht op tot ongeveer 4mm uit de rand. Het opruwen van het kunststof geeft de lijm meer houvast (foto 9) als je de uiteinden vastlijmt in de verbindingstukken.

Bij de volgende twee stappen komt het er op aan om de cilinderwand zo groot te maken dat het nauwsluitend om het vliegwiel past, dat als tijdelijke mal fungeert.

Stap 9 Neem een van de verbindingstukken en doe wat lijm in beide gleufjes. Pak de twee PVC stroken en steek aan iedere kant één strook ongeveer 5 mm diep in de gleuf (foto 10). Wis voorzichtig eventuele overbodige lijm weg. Houd er wel rekening mee dat de wand luchtdicht moet worden. Het vierkante stukje karton verbindt nu de beide delen van de cilinderwand tot een ongeveer 37cm lange band. Lijm vervolgens aan één van de vrije uiteinden het andere verbindingstuk (foto 10) maar verbind het geheel nog niet tot een ring. **Er mag geen hoek ontstaan tussen de stroken, er moet één lange rechte strook ontstaan.** Leg de strook zo nodig tegen iets aan wat recht is (een liniaal) en fixeer met knijpers de verbindingstukken in die positie totdat de lijm goed droog is.

Stap 10 Leg het vliegwiel op uw werkblad en verbind vervolgens zonder lijm de beide einden van de hoofdcilinderwand tot een ring. Het moet zich strak om het vliegwiel sluiten. Indien noodzakelijk moet de PVC strook iets ingekort worden. Markeer hoe diep het einde van de cilinderwand in de gleuf ingevoerd moeten worden, zodat het vliegwiel er nauwsluitend in zit vastgeklemd. Haal het vliegwiel weg en lijm met behulp van de markering de cilinderwand tot een ring. Let er weer op dat er geen hoek ontstaat in de strook, dit kan door te kijken of de ring naadloos aansluit op de cilinderbodem. Fixeer weer met een knijper en laat dit goed drogen (foto 11).

Stap 11 Schuif het vliegwiel zo in de ring van de cilinderwand dat het klem zit. Indien nodig kunt u het met een extra stukje karton tussen de wand vastklemmen. Het moet iets boven het midden hangen en mag niet de boven of onderkant van de cilinderwand raken. Het vliegwiel geeft stevigheid en een ronde vorm aan de flexibele cilinderwand (foto 12 en 13). Het wordt pas in stap 15 verwijderd als de cilinderwand stevig aan de bodem vastgelijmd is.

Stap 12 De cilinderwand moet nu gelijmd worden op de ronde markering op de bodemplaat. De verbinding moet later luchtdicht zijn. Maak hiervoor genoeg 2-componentenlijm aan. Breng nu een dikke lijm rand over de lijn aan. Zet de cilinderwand met het vastgeklemd vliegwiel op de lijmrand en draai het een paar millimeter links- en rechtsom, zodat de lijm goed verdeeld wordt en een luchtdichte verbinding vormt. Kijk goed of er overal voldoende lijm zit. Vul eventuele gaten op door er van de buitenkant nog iets lijm op te doen. Druk het tijdens het drogen goed aan. Let er ook op of de cilinderwand niet verschoven is en er dus aan de rand overal evenveel van de bodemplaat uitsteekt.

Stap 13 Pak nu de het metalen deksel van de cilinder. Plak op de minst mooie kant een plakbandje over het kleine gaatje in het midden (foto 14). Leg nu het aluminium plaatje met het plakbandje naar beneden op het werkblad en steek één van de kleine messing buisjes in het gat (foto 15). Dit wordt de zuigerstangvoering van de verdringingszuiger.

Stap 14 Stip met een houtje (tandenstoker) een klein beetje 2-componentenlijm in de hoek tussen het messing buisje van de zuigerstangvoering en de cilinderdeksel. Draai, trek en duw het buisje een klein beetje zodat de lijm zich goed verdeelt. Door het plakbandje aan de onderkant zal het buisje precies aansluiten met de cilinderdeksel aan de onderkant. Het buisje moet onder een hoek van 90° uit de cilinderdeksel steken. Controleer of dit het geval is met de rechte hoek van bijvoorbeeld een geo-driehoek (foto 15), bekijk de hoek van alle kanten. Dit is van groot belang voor de goede werking van de motor. De verdringingszuiger zal tussen de bodem en deksel heen en weer gaan bewegen. Als de hoek niet 90° is zal de verdringingszuiger mogelijk tegen de bodem of het deksel komen en dit zal energie verlies tot gevolg hebben.

Stap 15 Verwijder na het drogen het vliegwiel uit de hoofdcilinder. Controleer nog een keer of de lijm tussen de cilinderwand en de bodem zowel aan de binnen als buitenkant een ononderbroken (luchtdichte) rand vormt en vul eventuele gaten voorzichtig met lijm.

Pak na het drogen het hoofdcilinderdeksel en verwijder het plakbandje. Steek voorzichtig één van de zuigerstangetjes en door het messing buisje en kijk of deze zich hier makkelijk door laat bewegen. Verwijder met het stangetje eventuele lijmresten.

Stap 16 Duw met het uiteinde van een zuigerstangetje de kleine kartonnen rondjes vanachter uit de schijven [C1] t/m [C10] en haal de schijven uit het karton. Lijm de schijfjes precies op elkaar tot een cilinder. Gebruik hierbij het zuigerstangetje. Schuif een schijfje op het zuigerstangetje en doe er dan wat lijm op en schuif het volgende schijfje er bovenop enz. Het zuigerstangetje moet later loodrecht uit deze cilinder steken. Haal de cilinder nu van het zuigerstangetje voordat deze er aan vast geplakt raakt.

Stap 17 In de schijfjes [C11] en [C12] zit een smal half gestanst gleufje vanuit het midden naar de rand. Snij dit randje uit deze schijfjes en haal de schijfjes uit het karton. Lijm nu de beide schijfjes op het de cilinder [C1] t/m [C10] zodat de gleufjes precies op elkaar liggen. Steek dan het zuigerstangetje zo in de cilinder dat het kleine haakje in de gleuf komt te liggen (zie ook afbeelding 3 Duitse handleiding). Lijm dan in het midden daarop de grotere bedrukte schijf [C13] waarbij het kleine gaatje in het midden genegeerd kan worden. Controleer nogmaals of de zuigerstang loodrecht uit de cilinder steekt (foto 16).

Stap 18 Schuif zonder lijm, vanaf de andere kant het schijfje [C14] over de zuigerstang en controleer hoe dik de cilinder is geworden ten opzichte van de schuimplastic schijf. De dikte kan door het lijmen variëren maar mag ongeveer 7 tot maximaal 7,5mm zijn. In ieder geval niet dikker dan de 8mm die de schuimplastic schijf dik is. Eventueel kan met een scherp mesje het laatste schijfje weer verwijderd worden. Lijm dan schijf [C14] vast, dit is nu de houder voor de schuimplastic schijf. Goed laten drogen.

Stap 19 Pak de schuimplastic schijf en doe deze nu om de houder. Het gat laat zich hiervoor voldoende uitrekken. De zuigerstang bevindt zich nu precies in het midden van de schuimplastic schijf. Controleer met de geo-driehoek of de stang loodrecht uit de schijf steekt.

Steek de zuigerstang met de verdringingszuiger nu in het messing buisje in het deksel van de hoofdcilinder zodat de verdringingszuiger tegen de onderkant van het deksel aansluit en geef dit vervolgens een beetje speling.

Door nu de zuigerstang te draaien kan je zien of de verdringingszuiger een slag heeft. Als dit zo is dan staat het messing buisje niet haaks op het deksel. Pas dit zo nodig aan, zodat er geen slag meer in zit (foto 17). Dit is belangrijk voor de werking van de motor.

Stap 20 Neem de verdringingszuiger weer uit het deksel. Lijm nu de houder vast aan de schuimplastic schijf door met een stokje wat lijm tussen de kartonnen schijfjes en de schuimplastic schijf te smeren.

Stap 21 Duw met het uiteinde van een zuigerstangetje de kleine kartonnen rondjes uit [D1] t/m [D12] en haal deze schijfjes daarna zelf uit het karton. Lijm de grote schijf [D1] op het deksel van de hoofdcilinder door het over het messing buisje te laten zakken (foto 18). Als het vanwege de tussen het buisje en het deksel aangebrachte 2-componentenlijm niet plat aansluit, moet het gat iets groter gemaakt worden. Lijm vervolgens daarbovenop de rest van de grotere ringen [D2] t/m [D8] en daarna de kleinere delen [D9] t/m [D12]. Er is nu een massieve cilinder ontstaan die de drijfstang stabiliseert. Kijk nogmaals of de verdringingszuiger geen slag heeft, zolang de lijm nog niet droog is zijn nog kleine aanpassingen mogelijk.

De arbeidscilinder

Op blad 3/4 zijn de onderdelen van de arbeidscilinder [E1] t/m [E6] te vinden. Omdat voor blad 4/4 dezelfde matrix wordt gebruikt treft u daarop dezelfde onderdelen aan die als reserve bewaard kunnen worden. De arbeidscilinder bestaat uit een kleine kartonnen cilinder [E2] + [E3] die op de grondplaat [E1] gemonteerd is. Aan de bovenkant zit een uitstekende rand [E4]. De arbeidscilinder

komt op het grote ronde gat in de hoofdcilinderdeksel. De arbeidszuiger bestaat uit een cilinder van kartonnen ringen [F1] t/m [F10] met een latex afdichting die van een vinger van de bijgeleverde latex handschoen wordt gemaakt. De zuiger wordt bovenop de latex afdichting gelijmd en de latex afdichting wordt om de arbeidscilinder gestroopt en afgebonden (foto 29 en 30). De sierrand [E5] en [E6] worden pas helemaal op het eind om de arbeidscilinder gelijmd. Zie ook afbeeldingen 4 en 6 in de Duitse handleiding.

Stap 22 Maak de binnenwand van de arbeidscilinder [E2] gelijkmatig cilindrisch rond door het rond een dikke viltstift te wikkelen. De grijze plakstrook is de bovenkant. Maak ook een ronding in het verbindingsstuk voor de binnenwand [E3]. Laat de randen van de cilinderwand precies tegen elkaar aanstoten en lijm het verbindingsstuk er achter. Buig en druk de cilinderwand voorzichtig in de juiste vorm (foto 19).

Stap 23 Haal het schijfje uit de grondplaat van de arbeidscilinder [E1] en haal [E1] dan zelf uit het karton. Vouw de 14 naar binnen wijzende trapeziumvormige plakstroken sterk naar voren. Plaats voor de proef de binnenwand van de arbeidscilinder zo over de krans dat de plakrandjes zich binnenin de cilinder bevinden, waarbij de grijze plakmarkering op de cilinderbuitenkant boven ligt, dus niet bij de tandenkrans. Lijm de cilinderwand in deze positie met ruim voldoende lijm op de tandenkrans vast (foto 20). Om druk uit te oefenen bij het drogen kan de krans om iets heen geschoven worden (foto 22). De plakrand moet geheel luchtdicht worden. Gebruik daarom voldoende lijm en doe na het drogen voor de zekerheid nog wat lijm om de rand heen.

Stap 24 Maak [E4] gelijkmatig cilindrisch rond door het rond een dikke viltstift te wikkelen. Kijk of de rand goed om de cilinder aansluit op de plakmarkering. Het moet goed strak zitten en de uiteinden moeten tegen elkaar stoten, maak het eventueel op maat. Lijm het zo vast dat de naad van de [E2] tegenover de naad van [E4] komt te liggen. Lijm dus het middengedeelte van [E4] op de naad van [E2] (foto 23 en 24).

De arbeidszuiger

Stap 25 Pak de latex handschoen en knip nu gemeten vanaf de vingertop de wijsvinger af op een lengte van ongeveer 3,5 tot 4cm. Stroop de latexvinger over de top van een potlood of pen zodat de punt precies in het bovenste topje drukt (foto 25). Pak de latexvinger onder de punt zo beet dat deze als een klein knopje tussen je vingers tevoorschijn komt en verwijderd het potlood. Knip met een schaar precies zoveel latex af dat exact in het bovenste topje van de latexvinger een gaatje ontstaat van 4 tot 6mm in diameter (foto 26).

Uit de andere vingers en duim is altijd een vervanging te maken. De kartonnen ringen [F1] en [F3] van de arbeidszuiger worden straks op de binnen en buitenkant van de latexvinger gelijmd waardoor het gaatje gesloten moet worden.

Stap 26 Stroop de latexdichting over het vlakke, stompe uiteinde van een dikke viltstift of iets anders met een diameter van 17mm. Fixeer het door er een elastiekje omheen te doen. Span de latex afdichting tot op de top met het gaatje glad op het vlakke uiteinde van de stift (foto 26). Lijm het kartonnen schijfje [F1] er nu precies in het midden op, hierbij wordt het gaatje afgesloten. Het is belangrijk voor de flexibiliteit dat het schijfje precies op de top van de vingen vastgelijmd wordt. Er mag geen lijm onder de schijf uit lopen, aangezien dit later hard wordt en zo de flexibiliteit van de zuiger zal verminderen. Laat dit goed drogen.

Stap 27 Trek de latexdichting van de viltstift af, keer het binnenstebuiten en stroop het opnieuw over de viltstift. Het kartonnen schijfje [F1] zit nu aan de binnenkant. Lijm nu het schijfje [F3] precies bovenop de schijf [F1]. De schijven zijn nu niet alleen via het latex maar ook via het gaatje direct met elkaar verbonden.

Stap 28 Verwijder de kartonnen rondjes met behulp van de arbeidszuiger uit [F2], [F4], [F5], en als laatste [F6] en ook bij de kleinere schijven [F7] [F8] [F9] en als laatste [F10] (foto 27) en lijm ze in deze volgorde zo op elkaar zodat er een mooie cilinder ontstaat (zie ook afbeelding 5 Duitse handleiding). Test of het messing buisje door het gaatje in het midden kan. Je kunt ook het messing buisje gebruiken bij het op elkaar lijmen van deze schijven door ze er omheen te schuiven en de

schijven dan op elkaar te lijmen. Haal wel weer het messing buisje er uit voordat het erin vast geplakt raakt.

Stap 29 Snij een stukje van 16mm lang van de siliconen slang af en schuif het uiteinde ongeveer 5mm ver over het messing buisje. Het dient later als koppeling tussen de arbeidszuiger en de zuigerstang. Je maakt het jezelf hierbij gemakkelijk door eerst een zuigerstangetje door het messing buisje te steken en vervolgens het slangetje eerst over het stangetje en vervolgens pas over het messing buisje te schuiven. Neem daarna het zuigerstangetje weer weg. Lijm het buisje in de hiervoor gemaakte cilinder van [F2], [F4] t/m [F10] vast en lijm vervolgens de cilinder met buisje vast op de schijf [F3] die op de latexdichting zit (foto 28). Laat goed drogen.

Stap 30 Stroop de latex afdichting over de dikke rand van [E4] om de opening van de arbeidscilinder. Trek en schuif het latex aan alle kanten over de rand totdat de arbeidszuiger met het messing buisje precies in het midden van de arbeidscilinder staat en loodrecht omhoog wijst (foto 29). Het kartonblok van de arbeidszuiger moet daarbij tussen de 6 en 8mm boven de arbeidscilinder uitsteken. Wanneer je de arbeidscilinder indrukt, zinkt het zo'n beetje de gelijke afstand van 6-8mm in de cilinder. De slag bedraagt zodoende bij elkaar ongeveer 12 tot 16mm. Het mag niet minder dan 10mm zijn (zie ook afbeelding 6 Duitse handleiding). Als u de arbeidscilinder boven een liggende liniaal houdt en de arbeidszuiger in en uit beweegt, kunt u de slag precies bepalen en indien nodig corrigeren.

Test zorgvuldig of het kartonblokje met het messing buisje zich licht en zonder weerstand in en uit laat bewegen (zie ook afbeelding 7 Duitse handleiding). De arbeidszuiger moet precies in het midden van de latexafdichting zitten en moet aan alle kanten een gelijkmatige spanning hebben. Er mag zich geen ongelijkmatige bobbel vormen die de beweging van de zuiger bemoeilijkt. Dit laat zich meestal verraden door een ploppend geluid. Probeer in dat geval het vrij bewegende deel van de latexafdichting te verruimen en probeer het opnieuw. Houdt er rekening mee dat de slag niet minder dan 10mm mag bedragen. In dat geval moet de latexafdichting vernieuwd worden.

Stap 31 Wikkel onder de rand meerdere lagen dun naaigaren en knoop het vast. Dit is om de latexafdichting te fixeren en luchtdicht te sluiten (foto 29).

Stap 32 Lijm de grondplaat van de arbeidscilinder over het gat in het deksel van de hoofdcilinder. Gebruik voldoende lijm zodat er een luchtdichte verlijming ontstaat. Controleer ook vanaf de onderkant dat het naadloos aansluit en luchtdicht verlijmd is. Het is niet nodig en ook niet zinvol om de arbeidscilinder met 2-componentenlijm op de cilinderdeksel te lijmen (foto 30). Gewone hobby lijm biedt voldoende lijmkracht en heeft bovendien het voordeel dat de arbeidscilinder met een scherp mes naar behoefte ook weer kan worden verwijderd.

Eindmontage hoofdcilinder

Stap 33 Snij een stukje van 16mm lang van de siliconen slang af en schuif het tot halverwege over het messing buisje van de verdringingszuiger dat uit het midden van het hoofdcilinderdeksel steekt. Doe het zuigerstangetje vanaf onder door het messing buisje en schuif van bovenaf het slangetje eerst over het zuigerstangetje en daarna over het messing buisje. Verwijder daarna weer het zuigerstangetje (op foto 36 is het resultaat te zien).

Stap 34 Plaats een mok of bakje met een doorsnede van ongeveer 10cm op je werkblad. Leg het deksel van de hoofdcilinder er ondersteboven op (foto 31). De erop gelijmde arbeidscilinder en het messing buisje voor de verdringingszuiger hangen dan naar beneden in de mok. Schuif nu de verdringingszuiger met het stangetje in het messing buisje. De drijfstang laat zich er nu zo ver inschuiven tot het in het siliconen slangetje aan de andere kant van het buisje blijft steken. De schuimplastic schijf van de verdringingszuiger blijft daardoor ongeveer 14mm boven het cilinderdeksel staan. Plaats de bodem met de er op gelijmde cilinderwand ondersteboven over de verdringingszuiger en druk deze daarmee zover naar beneden totdat de rand van de cilinderwand het daaronder liggende deksel van de hoofdcilinder raakt (foto 31).

Dit alles wordt gedaan zodat de schuimplastic schijf straks niet per ongeluk vastgelijmd zal worden als de cilinderwand vastgeplakt wordt aan het deksel.

Stap 35 Draai de cilinderbodemp zo dat de kartonnen verbindingsstukken van de cilinderwand in de

door jouw gewenste richting wijzen, bijvoorbeeld naar de rondingen in het cilinderdeksel. Zorg ervoor dat de cilinderwand overal even ver van de rand van het deksel komt te zitten (foto 31). Het deksel is niet geheel cirkelvormig, maar bestaat uit een samenvoeging van een cirkel en een rechthoek met afmetingen van 126x126mm. Het heeft echter wel dezelfde buitenmaten en zijn rondingen stemmen overeen met de bodemplaat.

Overtuig jezelf ervan dat de schuimplastic verdringingszuiger binnenin aan alle kanten ongeveer evenveel afstand tot de cilinderwand heeft (ongeveer 3mm) en nergens de wand aanraakt. Doe dit door vanuit verschillende hoeken door de cilinderwand te kijken. Dit is belangrijk voor de werking van de motor. Maak dan een markeringslijn op het cilinderdeksel door met een potlood of pen de cilinderwand over te trekken. Haal de cilinderbodem er dan weer af.

Stap 36 We gaan nu het deksel aan de cilinderwand lijmen. Maak hiervoor weer voldoende 2-componentenlijm aan en breng een dikke rups lijm aan op de in de vorige stap gemaakte markeringslijn op het deksel. Let hierbij goed op dat er geen lijm op de schuimplastic verdringingszuiger komt! Als deze per ongeluk vastgeplakt wordt, kan de machine niet werken. Zet voorzichtig de cilinderbodem weer in de gewenste positie op het deksel, met de rand in het lijmspoor. Draai de bodem iets heen en weer zodat de lijm gelijkmatig verdeeld wordt. Controleer of er overal lijm zit zodat een luchtdichte verbinding ontstaat. Haal de cilinder er niet weer vanaf. Als ergens te weinig lijm zit, doe dan vanaf buiten wat lijm erbij. Kijk nogmaals of de cilinderwand goed staat en de verdringingszuiger overal ongeveer 3mm ruimte heeft naar de wand. De luchtdichtheid van de wand is een vereiste voor de werking van de motor. Verzwaar eventueel de cilinderbodem met een boek en laat de lijm goed drogen.

Na het drogen kunnen we een dichtheidstest doen. Neem hiervoor de bodem en het deksel van de hoofdcilinder tussen duim en wijsvinger en druk de plaatjes ergens in het midden iets naar elkaar toe. De druk van de ingesloten lucht neemt hierdoor toe en zal de arbeidszuiger naar boven duwen. Als alles goed dicht is zal de zuiger omhoog blijven staan zolang de platen naar elkaar toe gedrukt worden en pas bij het loslaten weer dalen. Als de arbeidszuiger niet omhoog gaat of bij aanhoudende druk vanzelf weer langzaam zakt, dan is er ergens een lek. Als er een lek zit, maak dit dan eerst dicht. Kijk daarbij goed naar alle lijmranden en of er geen lek bij de arbeidszuiger zit.

Stap 37 Schuif het siliconen slangetje van het messing buisje van de hoofdcilinder af maar zorg er wel voor dat de laatste 5mm van het slangetje wel op de zuigerstang van de verdringingszuiger blijft zitten. Je kunt nu de verdringingszuiger heen en weer bewegen in de cilinderbodem (als deze wel per ongeluk is vastgeplakt kijk dan bij de oplossingen voor problemen met weerstand aan het einde van deze handleiding). Het slangetje zal later dienen als verbinding naar de drijfstang die weer aan de krukas verbonden zal zijn (dit is goed te zien op foto 43).

Het slangetje wat op de arbeidszuiger zit moet op het messing buisje blijven zitten.

Eerste functioneringstest

Zet de hoofdcilinder op een kopje kokend water, wacht ca. 20 sec. tot het onderste plaatje verhit is en beweeg dan de verdringingszuiger aan de zuigerstang zoals het later door de krukas zal gebeuren op en neer. Lep wel op dat de onder plaat behoorlijk warm kan worden en door de damp nat kan worden en dan makkelijk kan gaan schuiven. Als alles dicht is beweegt de arbeidscilinder, zij het iets verlaat, in een gelijk ritme mee op en neer. Dit is ook meteen de gelegenheid om de souplesse van de arbeidszuiger nogmaals te testen. Als de arbeidszuiger gemakkelijk recht op en neer gaat, dan is deze goed. Als er een bobbel aan één kant ontstaat probeer dit dan aan te passen. Bij eventueel heel slecht functioneren kan de arbeidszuiger nu nog gemakkelijk vervangen worden. Maak dan weer een nieuwe zuiger uit een vinger van de latex handschoen en maak twee nieuwe schijfjes voor de binnen en buitenkant en herhaal de stappen van het maken van de arbeidszuiger. Overigens kan de arbeidszuiger altijd vervangen worden, maar is later niet meer zo toegankelijk als nu.

Standaard

Stap 38 Lijm de midden delen van de standaard [G1] en [G2] met de achterkanten op elkaar. Let

goed op dat de contouren precies op elkaar liggen. Indien nodig kan je de delen tijdens het drogen met een boek verzwaren om het goed vlak te laten worden.

Stap 39 De vouwlijnen van het middendeel van de standaard [G3] zijn met kleine sneetjes gemarkeerd. De vouw wordt netter als je de vouwlijnen met een bod mes iets indrukt (niet snijden). Vouw langs alle gegroefde lijnen naar voren. Bestrijk dan niet het standaard middendeel [G3] maar één van de kanten van het middendeel [G1 + G2] met lijm en plak het op de onbedrukte achterkant van het standaard binnendeel [G3]. Dit wordt gedaan omdat in [G1 + G2] uitsparingen zijn aangebracht. Daardoor ontstaan na het vastlijmen een halfronde en twee lange holle uitsparingen voor de aslager schijf van de krukas en de steekvoetjes van de aslagervatting. Daarin mag geen lijm lopen. Let weer op een goede aansluiting van de contouren (foto 32) (zie ook afbeelding 8 Duitse handleiding).

Stap 40 Groef ook de vouwlijnen van het buitendeel [G4] en vouw beide zijsteunen naar achteren. Bestrijk weer het middendeel [G1 + G2] met lijm en plak het passend op de onbedrukte achterkant van het buitendeel [G4].

Stap 41 Lijm als laatste beide zijsteunen van binnen- en buitendeel samen, zodat ze na droging haaks op de standaard staan en de contouren weer netjes op elkaar liggen (foto 33 en 34).

Stap 42 Bouw op gelijke wijze de tweede standaard uit de delen [G5], [G6], [G7] en [G8]. Ja kan nu je naam op het eigendomsplaatje zetten.

Beugelgreep en montage standaard

De beugelgreep wordt gebruikt om de standaard op de juiste manier op het cilinderdeksel te lijmen, daarom wordt deze nu eerst gemaakt.

Stap 43 Lijm de midden delen [H1] en [H2] met de achterkanten op elkaar en dan op elke zijde één van de buitendelen [H3] en [H4]. Zorg ook weer dat de contouren mooi aansluiten (foto 35).

De gleufjes aan beide zijden zijn precies 2mm breed en worden later precies in de inspringende gleuf van de aslager houder gelijkmd.

Stap 44 Zet de beide standaards zo neer dat ze met de zijsteunen naar elkaar wijzen en steek provisorisch en zonder lijm de beugelgreep met de gleuf van bovenaf in het midden van de beide halfronde inkepingen (foto 36). Hierdoor hebben de standaards aan de bovenkant precies de afstand ten opzichte van elkaar die ze later nodig hebben. Zet dit nu zonder lijm op het deksel van de hoofdcilinder. Aan de kant van de arbeidscilinder moet de afstand tussen de rand van het aluminium plaatje en de buitenzijde van de standaard precies 10mm bedragen en aan de andere kant 31mm (foto 36 en 37) zie ook plaatje 9 in de Duitse handleiding. De afstand is hier groter omdat dit de kant van het vliegwiel is. Zorg ervoor dat de standaard met het naamplaatje aan de andere kant zit (foto 46). De zijden lopen tekens parallel aan de zijkant van het deksel. Zorg ervoor dat de beugelgreep precies in het midden over de arbeidscilinder ligt.

Met een potlood of pen kan je voor het lijmen hulplijnen op het deksel zetten, gebruik hierbij een liniaal en bekijk afbeelding 9 uit de Duitse handleiding voor de juiste maten. Ook hierbij is hobby lijm goed genoeg. Om de lijmverbinding meer houvast te geven kan het metaal op de plaatsen van de lijmranden iets opgeschuurd worden. Lijm het geheel in die positie vast. Goed laten drogen.

Aslagers en zuigerstangen

Het aslager voor beide zuigers (afbeelding 10 Duitse handleiding) bestaat uit 4 lagen karton. In de beide middelste lagen wordt een lagerschijf en een zuigerstang gelijkmd. De zeer dicht bij elkaar liggende stans lijnen van het gleufje waarin de zuigerstang met het haakje gelijkmd moet worden zijn alleen aangestanst en moeten nog met een hobbymesje doorgesneden worden.

Stap 45 Verwijder de 20mm grote schijfjes uit de ronde kop en verwijder het dunne randje uit de hals van de beide midden delen [J1] en [J2]. Verwijder uit de buitendelen [J3] en [J4] de iets kleinere kartonnen schijfjes (foto 38). Lijm op de onbedrukte achterkant van buitendeel [J3] eerst het ene middendeel en dan daarop de andere. Bestrijk de ronde verdiepte cirkel die in die kop ontstaan is met lijm en leg er een van de 4 hard PVC aslagers in. Lijm één van de twee overgebleven zuigerstangen zo in het smalle gleufje dat de haak van het stangetje in het hoekje aan

het eind van het gleufje ligt (zie afbeelding 10 Duitse handleiding). Lijm daarna het tweede buitendeel [J4] er op (foto 39). Zorg er voor dat er geen lijm op het nu nog zichtbare deel van de plastic schijf zit.

Stap 46 Ga net zo te werk met de delen van de aslager van de verdringingszuiger [K1] t/m [K4]

Aslagervatting krukas

De vattingen van de krukaslagers hebben aan de bovenkant een uitsparing die precies in de beugelhandgreep past. In het midden hebben ze een halfronde gleuf net als in de bovenkant van de staanders en aan de onderkant twee langwerpige afgeronde steekvoeten van twee lagen karton. Daarmee worden ze later in de staanders verankerd. In de gleuven en op de steekvoeten mag geen lijm komen.

Stap 47 Lijm het middendeel van de aslagerhouder [L1] en [L2] met de rugzijden tegen elkaar. Smeer dan op één kant lijm, maar alleen op het grijs gemarkeerde stuk, niet op de witte steekvoeten. Lijm daarop het binnendeel van de aslagerhouder [L3]. Doe dan lijm op de andere kant en plak daar het buitendeel [L4] op. Er mag daarbij geen lijm in de ontstane halfronde gleuf komen (foto 40).

Stap 48 Ga net zo te werk met de delen van de andere aslagerhouder [L5] t/m [L8].

Stap 49 Controleer na het drogen of de steekvoeten van de vattingen goed in de gleuven van de staanders passen (het eindresultaat is goed te zien op foto 46). Het design van de binnen en buitenzijde van de aslager vattingen komt overeen met die van de staanders.

Krukas

Stap 50 Snij 8 gelijke stukjes siliconen slang van 5mm lengte af en leg de volgende onderdelen klaar: De overgebleven 2 aslagerschijven, de 8 kleine voeringschijven, de drijfstangaslagers met aangebouwde drijfstanen en de krukas. De krukas heeft twee rechthoekige krukken van 22mm lengte en 4mm breedte die in een hoek van 90° ten opzichte van elkaar staan. De as heeft twee uiteinden van ongelijke lengten: 45mm en 22mm.

De aslagerschijven en de aslagers van de beide drijfstanen worden allemaal op de volgende wijze op de krukas gemonteerd (zie ook afbeelding 11 Duitse handleiding): In het midden zit de grote aslagerschijf, aan beide kanten daarvan komt een klein voeringschijfje en daarbuiten komt een stukje siliconen slang.

Deze montage groep van **slang>voeringschijf>aslagerschijf<voeringschijf< slang** maakt het mogelijk om de positie van een lager op elke gewenste positie van de krukas te fixeren. Als de motor draait zullen de voeringschijven los meelopen en zullen voorkomen dat de aslagerschijf in aanraking komt met de siliconenslangetjes en daardoor afgeremd zou worden.

Stap 51 Schuif een willekeurig stukje slang over het korte gedeelte van de krukas, langs 2 bochten tot in de eerste kruk. Schuif dan steeds vanaf dezelfde kant: een klein voeringschijfje, daarna de arbeidszuiger drijfstang (dit is de langste van de twee drijfstanen) en dan weer een voeringschijfje en als laatste weer een stukje slang op de krukas (zie ook afbeelding 11 Duitse handleiding). Schuif deze montage groep in het midden van de kruk en zorg ervoor dat de onderdelen losjes tegen elkaar aan zitten zodat de aslagerschijf goed kan draaien (foto 42).

Stap 52 Breng vanaf de lange zijde van de krukas in de andere kruk een soortgelijke montage groep aan echter nu met de iets kleinere verdringingszuiger drijfstang in het midden. Zorg er weer voor dat de groep netjes bij elkaar zit, maar wel dat de drijfstang goed kan draaien.

Stap 53 Breng aan beide zijden van de krukas nu een soortgelijke montagegroep met in het midden de overgebleven aslagerschijven. Aan de korte kant van de krukas steekt de as maar een klein stukje uit. Aan de lange zijde van de krukas wordt de montagegroep zo ver naar binnen geschoven dat de aslagerschijf op een afstand van ongeveer 83mm komt van de aslagerschijf aan de korte zijde (foto 42).

Stap 54 Plaats nu de beide aslagerschijven in de ronde gleuf die zich boven in de staanders bevinden (foto 43). Controleer of alle aslagerschijven werkelijk vrij kunnen draaien en de aslagers van de arbeids- en verdringingszuiger precies boven hun corresponderende messing buisje staan. Stel de montagegroep zo nodig bij.

Stap 55 Til de aslagerschijven van de krukas nog eenmaal uit de standaard. Voordat ze opnieuw geplaatst worden moeten de drijfstangen gekoppeld worden aan de arbeidszuiger en de verdringingszuiger.

De drijfstang van de arbeidszuiger moet in het siliconen slangetje geschoven worden en dan verder in het messing buisje zodat het aansluit op de latexstomp die daarin de bodem vormt. Draai de drijfstang voorzichtig een klein beetje heen en weer en duw hem naar beneden. Het messing buisje kan hierbij het beste vastgehouden worden met een tangetje. Probeer te voorkomen dat de latexafdichting verschuift of verdraait.

De drijfstang voor de verdringingszuiger moet zo diep in het slangetje gestoken worden dat er nog 5mm ruimte overblijft tussen de beide uiteinden van de stangetjes. De schuimplastic schijf moet straks in de cilinder bij iedere slag een klein beetje ruimte overhouden naar de deksel en de bodem. Als de schijf niet helemaal parallel zit aan het deksel dan kan dit iets uitgericht worden door de verdringingszuiger iets te verdraaien ten opzichte van de drijfstang.

Plaats vervolgens de krukas weer in de houders van de standaard.

Stap 56 Schuif nu de steekvoeten van de aslager houders in de daarvoor bestemde sleuven in de standaard. De bovenste helft van de aslagerschijven wordt daarbij in de aslager houder opgenomen, wat zorgt voor een stevige constructie. Het design bepaald welke kant aan de buitenkant komt. Het is niet noodzakelijk en ook niet handig om de steekvoeten vast te lijmen.

Montage beugelgreep en vliegwiel

Stap 57 Schuif de beugelgreep op de proef met de gleufjes helemaal in de gleufjes van de aslagerhouders. Lijm het vervolgens in die positie vast.

Stap 58 Breng een beetje lijm aan in het gaatje van de ster op het vliegwiel en schuif het vliegwiel met de ster eerst op het vrije uiteinde van de krukas (foto 44 en 46). Als het vliegwiel niet goed wil blijven zitten kan het ook vast gezet worden met een klein stukje van het overgebleven siliconen slangetje.

Fijnafstelling en eerste proefloop

Wees geduldig! Zoals bij iedere motor is ook bij deze stirlingmotor de fijnafstelling de sleutel tot een probleemloze loop. Als de motor niet direct bij de eerste poging loopt is dat geen schande. Het kostte Robert Stirling jaren voordat hij zijn eerste motor kon demonstreren.

Stap 59 Draai de krukas met behulp van het vliegwiel langzaam rond. De totale slag van de beide krukken bij een volledige omwenteling van de krukas bedraagt 8mm (4mm naar boven en 4mm naar beneden). Controleer of de lengte van de drijfstang van de arbeidszuiger klopt en pas dit indien noodzakelijk aan. De arbeidszuiger moet de gehele op- en neergaande beweging van de krukas wrijvingsloos kunnen volgen, zonder dat de latex afdichting zich in het onderste of bovenste punt spant. Anders wordt de beweging van de krukas afgeremd. Het latex moet echter ook geen uitstulpingen vormen die tegengesteld aan de beweging is en klapt als de arbeidszuiger er voorbij gaat. Neem de tijd om de optimale positie van de arbeidszuiger te vinden. Dit is de hoogte of diepte boven of in de arbeidscilinder die de minste weerstand veroorzaakt. Indien noodzakelijk moet u ook nog een keer de latex afdichting rechtekken en zijn vrije beweegbaarheid vergroten of verkleinen. Ga tot slot na of het aslager aan de krukas zich niet verdraait heeft en goed haaks op de as staat.

Stap 60 Ook bij de verdringingszuiger bedraagt de slag 4mm naar boven en 4mm naar beneden. De schuimplastic schijf van de verdringingszuiger zelf heeft een hoogte van 8mm, daarmee bedraagt de ruimte voor de beweging in totaal 16mm (8+4+4) en dat is 2mm minder dan de hoogte van de hoofdcilinder. In het ideale geval raakt de schuimplastic schijf in de hoogste en laagste stand de aluminium plaatjes niet aan. De kartonnen houder in het midden van de verdringingszuiger mag echter in geen geval de bodem of het deksel van de hoofdcilinder raken. Dat zou tot een enorme afremming leiden. De afstand van de beide stangeinden in het siliconen slangetje moet daarom zo ingesteld worden dat de verdringingszuiger gedurende een volledige omwenteling van de krukas niet tegen het deksel en ook niet tegen de bodem van de hoofdcilinder botst.

Draai het vliegwiel heel voorzichtig en met gevoel. Zo kan je voelen of de verdringingszuiger in

zijn hoogste of laagste positie nog weerstand ondervind. Controleer ook of je de verdringingszuiger in zijn hoogste en laagste positie iets kan verdraaien en meebewegen als je de aslager heen en weer beweegt. Dat is een teken dat er in deze positie nog altijd een kleine afstand is tot het aluminium. Let er ook op dat het siliconen slangetje niet te laag zit, het mag bij het op en neergaan niet tegen het messing buisje aankomen.

Stap 61 Breng met een houtje (vb tandenstoker) een klein druppeltje olie aan in de ruimte tussen de drijfstaaf van de verdringingszuiger en het messing buisje om het geheel op deze manier luchtdicht te maken. Om de weerstand te reduceren moet ook een beetje olie aangebracht worden op die delen (aslagertjes) die wrijving veroorzaken met de krukas.

Test nog een keer of de beide aslagers precies boven de arbeidszuiger en verdringingszuiger zitten en niet verdraait zijn (dus of ze nog vanzelf haaks op de krukas zitten). Kijk ook of de aslagers een fractie van een millimeter heen en weer kunnen bewegen en dus weinig weerstand hebben bij het draaien.

Waarschuwing

Kinderen mogen alleen onder toezicht van een volwassene de Stirlingmotor in gebruik nemen! Ook al is de inhoud van een kop koffie niet erg groot het is genoeg om onaangename verbrandingen te veroorzaken.

Stap 62 Vul een grote mok met kokend water tot net (5mm) onder de rand en zet de motor er bovenop. Let er op dat de onder plaat door verdamping van het water nat zal worden en hierdoor zou kunnen verschuiven (soort aquaplaning). Ook kan de onder plaat een licht vacuüm vormen met de mok. Wees bedacht op deze verschijnselen. De onder plaat zal heet worden, pas daar dus mee op! Wacht een halve minuut tot de bodem van de hoofdcilinder goed warm is geworden en geef het vliegwiel een zetje naar rechts en daarna naar links. Je merkt dan dat naar links draaien makkelijker gaat. Dit komt omdat het drukverschil nu ontstaat door een warme onder plaat en een koude boven plaat. Je kunt ook de onderkant in plaats van opwarmen sterk afkoelen, dan zal de motor juist rechtsom willen draaien. De lucht zet dan namelijk uit als het tegen de bovenplaat aan komt. Als de motor bij het zetje naar links nog niet is gaan draaien kan nog even gewacht worden en probeer het dan opnieuw. Als alles goed is afgesteld zal de motor dan gaan draaien, steeds sneller tot de maximale snelheid is bereikt die geldt voor het temperatuurverschil tussen de bodem en het deksel. Daarna zal de snelheid geleidelijk afnemen.

Als de motor loopt

Van harte gefeliciteerd! Als de afstelling goed is zou de motor ongeveer 20 minuten moeten lopen. Als je tevreden bent kan je verder gaan met stap 63 en de buitenwand van de arbeidscilinder maken. Als je de looptijd wilt verlengen kan je door verdere fijnafstelling een draaitijd van meer dan een uur bereiken! Hiervoor is echter wel een heel goede bouw van de motor vereis. In dat geval kan je beter nog even wachten met stap 63 en eerste de voorgaande stappen en mogelijkheden nog eens goed bekijken.

Indien de motor niet direct loopt kijk dan verderop in de tekst. Daar worden aanwijzingen gegeven.

Stap 63 Maak de buitenwand van de arbeidscilinder [E5] en het verbindingsstuk [E6] rond door het om een dikke viltstift te rollen. Let daarbij op hoe [E6] straks op [E5] gelijmd moet worden. Lijm het verbindingsstuk [E6] voor de helft op het ene uiteinde van de buitenwand precies zoveel dat de grijze lijmmarkering bedekt is. Laat dit dan drogen. Leg het geheel dan om de arbeidscilinder en lijm het verbindingsstuk nu op het andere einde van de cilinderwand. De cilinderwand mag iets speling hebben zodat het gemakkelijk te verwijderen is, mocht dit later nodig zijn. Het wordt om die reden dan ook niet aan de arbeidscilinder vastgelijmd. Het verbergt alleen de latexafdichting voor het oog (foto 47). Je kan ook voor de symmetrie [E7] op de buitenwand plakken op de tegenoverliggende kant van [E6].

Tips om de looptijd te verlengen

- 1) Neem een grotere mok en verwarm de mok voor.
- 2) Plaats de motor op een isoleerkan met veel inhoud en een grote opening.
- 3) Plaats de motor op een theelichtje. Voorzichtig! Niet oververhitten!!
- 4) Neem 2 waxinelichtjes en haal de kaarsjes uit de blikken hulsjes. Doe in de hulsjes ijsklontjes en zet deze op de bovenplaat tussen de staanders. Zet het geheel daarna weer op een grote mok heet water. Dit vergroot het temperatuurverschil tussen de bodem plaat en het deksel en verlengt de looptijd.

Andere kant om

Plaats de motor op een koudebron, bijvoorbeeld een diepgevroren koelblok van een koeltas, wacht even tot het temperatuurverschil groot genoeg is en geef nu een duwtje naar rechts.

Als de motor niet loopt

Neem er de tijd voor om in alle rust de mogelijke storingen door te nemen. Er komen over het algemeen maar twee soorten oorzaken voor.

Eerste soort: Lekkage

Doe weer de test met het naar elkaar toe drukken van de bodem en het deksel. Als de arbeidszuiger zakt dan is er mogelijk lekkage.

- 1) Is er ergens een lekkage bij de lijmmaad van de hoofdcilinder? Kijk, eventueel met een loupe, of er in de lijmrands tussen de cilinderwand en het deksel en de bodem een lek te zien is. Een lek kun je ook constateren door je lippen dicht bij de verdachte plaats te houden en de deksel en bodem naar elkaar te drukken, als er een lek zit voel je een luchtstroompje. Als dit zo is, maak dit dan dicht met 2-componentenlijm. Je kunt ook stukjes waar je over twijfelt voor de zekerheid met wat meer lijm afdichten.
- 2) Is de rand tussen de arbeidscilinder en zijn grondplaat lek? Een speldenprik is al te veel! Omdat de verbinding met de binnenkant hier verloopt via een krans van trapeziumvormige plakstrokkjes kan er tussen twee van die tanden nog een gaatje in de afdichting bestaan. Als dit zo is, maak dit dan dicht met 2-componentenlijm. Je kunt ook stukjes waar je over twijfelt voor de zekerheid met wat meer lijm afdichten.
- 3) Is de verlijming van de arbeidscilinder op het deksel lek? Dit is erg onwaarschijnlijk, maar niet ondenkbaar. Je kunt van buitenaf wat lijm aanbrengen, maar dat ziet er niet zo netjes uit. Je kunt de arbeidscilinder ook loshalen van het deksel en opnieuw er op lijmen. Om er goed bij te kunnen kan je een standaard verwijderen.
- 4) Is er een lekkage tussen de arbeidscilinder en de latexafdichting? Zo ja, bind de latex dichting beter af en let er ook op dat er geen lucht langs het naadje in het karton kan ontsnappen.
- 5) Ontbreekt misschien nog het druppeltje olie dat de ruimte tussen de drijfstang van de verdringingszuiger en het messing buisje moet afdichten? Zo ja, dan alsnog aanbrengen.
- 6) Wanneer dit alles niet helpt en er zich nog ergens een lek verstopt kan je op de volgende manier het lek opsporen. Haal de staanders los en duw het siliconen slangetje van de drijfstang van de verdringingszuiger naar beneden tot het een stukje over de messing buis zit. Hierdoor wordt dit luchtdicht afgesloten. Trek de arbeidszuiger geheel naar boven. Bestrijk dan met een penseel de verdacht plaatsen met een zeepoplossing en beweeg de arbeidszuiger dan op en neer totdat de lekkage zich verraad door belletjes. Als je het karton weer snel droog maakt ontstaat er geen schade.

Eerste soort: Wrijvingsweerstand

- 1) Moet de arbeidszuiger teveel arbeidsweerstand overwinnen gedurende het op en neer bewegen? Indien ja: Schuif de latexafdichting naar boven of naar beneden en probeer uit waar de arbeidszuiger het soepelste loopt: dieper in de cilinder of hoger er bovenuit, met

- meer of minder vrij hangende latex. Indien noodzakelijk de latexafdichting vernieuwen.
- 2) Bevinden er zich op het vrij bewegende deel van de latexafdichting lijmresten die de latex verhard hebben? Zo, ja: Latexafdichting vernieuwen.
 - 3) Steekt het stangetje van de drijfstang van de arbeidszuiger te diep of te ondiep in de arbeidszuiger zodat het zich niet vrij op en neer kan bewegen? Zo ja: dit aanpassen.
 - 4) Staat het aslager van de arbeidszuiger schuin ten opzichte van de krukas (de krukas moet loodrecht door de aslager steken)? Zo ja: verdraai de stand van het stangetje in overeenstemming met de hoek.
 - 5) Kleeft of klemt de verdringingszuiger (de schuimplastic schijf) in de hoofdcilinder? Zo ja: Hier helpt maar één oplossing: neem de arbeidszuiger geheel los en probeer door de opening van de arbeidscilinder de verdringingszuiger vrij te maken.
 - 6) Zijn de drijfstangen van de cilinders verwisseld? Ter herinnering: de langste drijfstang is die van de arbeidscilinder.
 - 7) Zit het silicone slangetje te diep op de drijfstang van de verdringingszuiger zodat het bij het draaien van de motor tegen het messing buisje botst? Zo ja: corrigeren.
 - 8) Is de gezamenlijke lengte van door het siliconen slangetje verbonden staafjes van de verdringingszuiger te kort (de zuiger komt tegen de bovenkant aan)? Of te lang (de zuiger komt tegen de onderkant aan). Zo ja: Stel de lengte goed in.
 - 9) Ontstaat er bij één of meer van de aslagers aan de krukas te veel wrijving? Zo ja: verschuif de kleine siliconen slangetjes zodat alle lagers voldoende speling hebben. Alle lagers van de krukas moeten geolied zijn.
 - 10) Staan de zuigerstangen misschien niet precies boven de corresponderende cilinder? Zo ja: verschuif de stangen op de krukas totdat deze goed staan.

Heeft u voor ons tips of heeft u op- of aanmerkingen over deze handleiding, dan horen wij dit graag. U kunt ons mailen op info@wetenschapwinkel.nl Wij zullen met uw feedback rekening houden.

Veel plezier met uw zelfgemaakte Stirlingmotor!