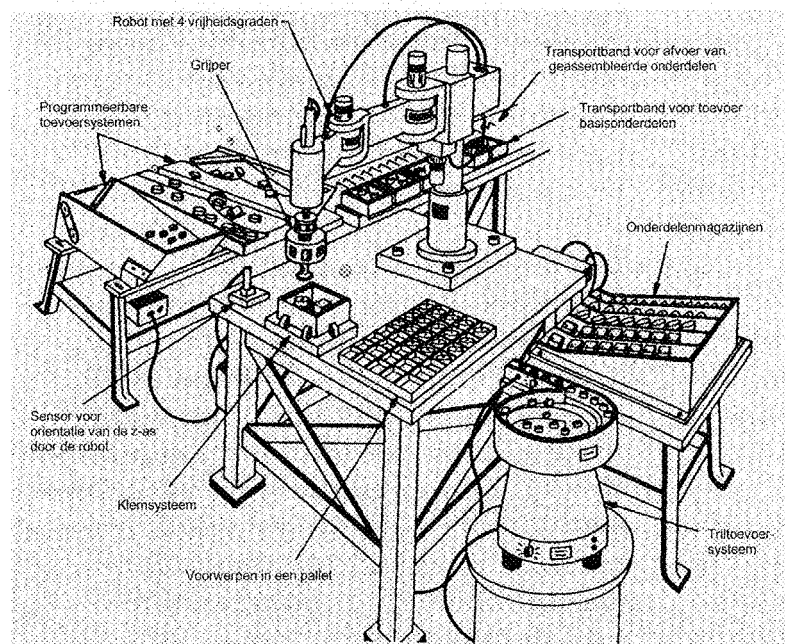


Grijper pakt voorwerpen met verschillende vormen

Ontwerp van een universele grijper

T. Lalkens Industriële assemblage bestaat voornamelijk uit het grijpen en plaatsen van producten (pick-and-place). Bij het na elkaar produceren van kleine series verschillende producten wordt steeds van gripper gewisseld, omdat de gripper niet in staat is zich aan te passen aan de vorm van het nieuwe product. Het wisselen van een gripper of het gebruik van een vingerwisselsysteem kost tijd. Daarom is een universele gripper ontwikkeld, die zich momentaan aanpast aan de vorm van het nieuwe product. Met deze nieuwe gripper kunnen reeksen willekeurige productvormen worden opgepakt en geassembleerd.



Figuur 1.

Voorbeeld van een assemblagecel [1].

Geautomatiseerde assemblage

Bedrijven worden door onder andere verkorting van de productlevenscyclus, een toenemende productdiversiteit, afnemende productkwantiteit, hogere loonkosten en toenemende internationale concurrentie steeds meer gedwongen om de productie te optimaliseren. Een manier om dit te realiseren is het flexibeler maken van assemblagesystemen. Een concept daarvoor is een assemblagecel waarin een programmeerbare manipulator (robot) op een centrale plaats tus-

sen de aan- en afvoerunits staat, die tevens de benodigde end-effectoren binnen zijn bereik heeft, zoals bijvoorbeeld grippers en bepaalde gereedschappen. Via de aanvoerunits worden de halffabrikaten aangeleverd en de gereede producten worden vervolgens via de afvoerunits weer afgevoerd. Op deze manier kunnen producten snel, flexibel en eventueel simultaan geassembleerd worden. Figuur 1 is een principetekening van een assemblagecel.

Deze systemen kunnen bijvoorbeeld nog verbeterd worden door de flexibiliteit van sommige end-effectoren flink te verbeteren. Dit geldt met name als ze productspecifiek zijn, hetgeen betekent dat bij productwisseling ook van end-effector gewisseld dient te worden. Dit kost tijd, ruimte en is relatief duur.

De industriële assemblage bestaat voornamelijk uit het grijpen en plaatsen van producten (pick-and-place). Daarvoor zijn de volgende grijpprincipes mogelijk: mechanisch, vacuüm, opblaasbaar, magnetisch of adhesief. Voor bepaalde producten blijkt een mechanische gripper de beste oplossing en daarvoor bestaan de volgende mogelijkheden [1]. Ze staan in een toenemende mate van flexibiliteit gerangschikt:

• Productspecifieke gripper

Een gripper die geschikt is voor één specifieke productvorm.

Ontwerp van een universele grijper

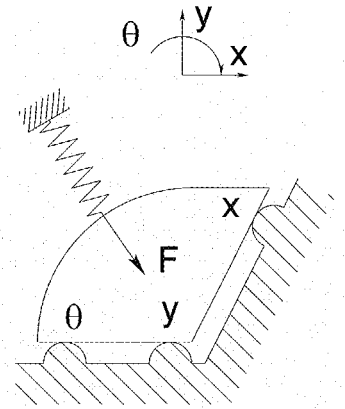
- **Multifunctionele grijper**
Een grijper met een aantal verschillende raakvlakken, zodat er een aantal verschillende productvormen mee gepakt kunnen worden.
- **Multigrijper**
Een 'revolver' met een aantal verschillende productspecifieke grippers, zodat er snel van grijper gewisseld kan worden.
- **Grijperwisselsysteem**
Een lokaal grijperwisselmagazijn met een aantal productspecifieke grippers binnen het bereik van de manipulator.
- **Vingerwisselsysteem**
Het aantal en type vingers kunnen op een speciale plaats binnen het bereik van de manipulator verwisseld worden.

Het vingerwisselsysteem heeft nog een aantal nadelen. Ten eerste is het systeem tamelijk complex zodat het relatief duur is, ten tweede vergt het instelstation kostbare ruimte binnen de cel, ten derde gaat tijdens overname van de vingers altijd enige nauwkeurigheid verloren, ten slotte kosten de twee handelingen om van product om te schakelen relatief veel tijd. Beter zou het zijn als men de beschikking heeft over een universele grijper die zelf willekeurige productvormen kan grijpen.

Hier wordt beschreven het ontwerp van een dergelijke universele grijper [2], waarmee kleine reeksen willekeurige dunne productvormen (zogenaamde 2½-dimensionale producten) snel kunnen worden gegrepen en nauwkeurig kunnen worden gepositioneerd. Met het gekozen ontwerp kan zeer snel en eenvoudig worden omgeschakeld naar een andere productreeks. Van het ontwerp is tevens een prototype gebouwd en beproefd [3]. De resultaten worden eveneens beschreven.

Methoden van inklemmen

Om de vrijheidsgraden van een willekeurige productvorm van een 2½-dimensionaal product



Figuur 2. Willekeurig product ingeklemd in een kinematisch bepaalde oplegging.

in het x,y -vlak nauwkeurig te positioneren kan gebruik worden gemaakt van de volgende twee principes: de kinematisch bepaalde oplegging en een verennest. Vanwege een aantal voordelen is het principe van het verennest gekozen als methode voor inklemmen van de producten. Dit zal verderop worden verduidelijkt.

Kinematisch bepaalde oplegging

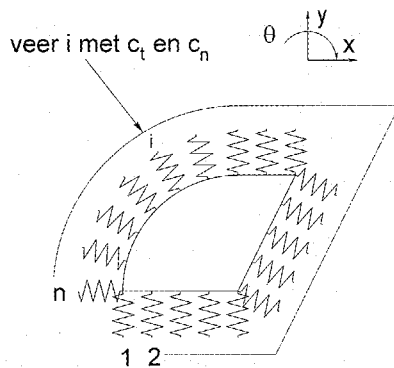
Het principe van inklemming van een willekeurig product op een kinematisch bepaalde oplegging staat in figuur 2 [4]. Het bestaat uit drie starre rolopleggingen en een drukkracht die ervoor zorgt dat het product goed aanligt tegen de opleggingen. De drukkracht zou bijvoorbeeld door een veer geleverd kunnen worden. Eén van de opleggingen legt de x -coördinaat vast, een andere de y -coördinaat en de derde legt de rotatie om de z -as (θ) vast.

De posities van de drie starre oplegvlakken zijn in principe productspecifiek. Zodoende kunnen ze voor een universele grijper niet uit één stuk star materiaal gefabriceerd worden. Een mogelijkheid om dit concept toe te passen is om de grijper zichzelf vooraf aan een nieuwe reeks producten te laten instellen. Bijvoorbeeld door drie onafhankelijk bewegende starre vingers tegen het eerste product (dat gefixeerd is op het werkvlak) aan te laten lopen en vervolgens die stand van de vingers te fixeren. Om het

product goed tegen de ingestelde opleggingen vast te houden, zou na deze instelling door een vierde vinger een drukkracht op het product uitgeoefend moeten worden. Dit zou bijvoorbeeld met een relatief slappe vinger kunnen die dan een relatief grote slag moet maken om de gewenste kracht te leveren. Door deze krachtleverende vinger een open- en dichtbeweging te laten maken (de grijpbeweging) zouden de vervolproducten van de reeks gegrepen kunnen worden.

Verennest

Om de grijper volgens het verennestprincipe producten te laten grijpen zouden er zoveel mogelijk onafhankelijk instellende elastische vingers (veren) rondom het product moeten aangrijpen, die zo een verennest [4] kunnen vormen, zie figuur 3.



Figuur 3.
Willekeurig product
ingeklemd in een
verennest met
n veren.

In een verennest hebben alle veren bij voorkeur een identieke en relatief hoge stijfheid in de normaalrichting van de contour (c_n) met identieke lage tangentiële stijfheidscomponenten (c_t) rakend aan deze contour, waarbij $c_t \ll c_n$. Verder moeten alle veren onder een identieke voorspankracht zijn gebracht. Volgens dit concept worden de vrijheidsgraden door het elastische evenwicht nauwkeurig in het x,y-vlak vastgelegd.

De vorm van het verennest moet hetzelfde zijn als die van het product. Dit is voor de univer-

sele grijper als volgt gerealiseerd. Bij het eerste product van een nieuwe reeks zal de grijper zichzelf instellen door alle vingers vanuit een open grijperstand onafhankelijk naar binnen te laten bewegen. Indien het eerste product op het werkvlak is gefixeerd, kunnen de vingers tegen het product aanlopen met door de actuatoren voorgeschreven gelijke krachten. Als alle vingers rondom het product gepositioneerd zijn moet deze stand gefixeerd worden.

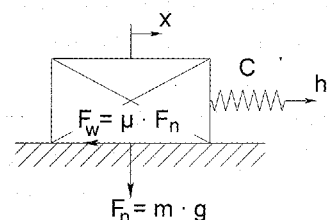
Door vervolgens bij het grijpen van de vervolproducten van de reeks alle vingers tegelijk slechts een kleine slag, bijvoorbeeld één millimeter, open en dicht te laten maken, kunnen deze producten zeer snel worden gegrepen en worden losgelaten. Daarbij hoeven de vervolproducten niet gefixeerd te zijn op het werkvlak. Ze zullen namelijk nauwkeurig worden gepositioneerd tijdens het grijpen, omdat zij het elastisch evenwicht opzoeken. Dit wordt in de volgende paragraaf nader verklaard.

Tijdens het instellen van de vingers zouden ze zich loodrecht op de contour van het product moeten richten. Een praktische realisatie konden wij hiervoor niet vinden. Vandaar dat in het gekozen concept de vingers radiaal naar binnen bewegen zonder zich loodrecht op het product te richten, zie figuur 5. Hierdoor wordt er wel een extra voorwaarde aan de grijper gesteld: de vingers moeten ongeveer loodrecht op het product aangrijpen. Namelijk bij niet loodrecht aangrijpen waarbij slip optreedt tussen vinger en product zal als gevolg van een 'wig-effect' de knijpkracht versterkt worden, hetgeen tot schade kan leiden van vinger of product. Als gevolg van de elastische tangentiële vervormingen (immers $c_t \ll c_n$) bestaat tevens het gevaar dat de grijper het product met de zeer kleine radiale slag tijdens het grijpen niet reproduceerbaar zal loslaten.

Voordelen van het verennest principe

Voor de universele grijper levert het concept van het verennest de volgende vier voordelen:

- Een hoge en identieke stijfheid in alle richtingen in het x,y -vlak. Voor de grijper is dit gunstig bij hoge versnellingen van de manipulator in dat vlak. Namelijk als het product stijf is ingeklemd zal de dynamische plaatsfout als gevolg van de versnellingskrachten gering zijn. Bij $c_t \ll c_n$ is deze stijfheid ongeveer: $c = \frac{1}{2} n \cdot c_n$, met n het aantal vingers.
- Per vinger is een relatief lage drukkracht nodig om middels wrijving ook de overige coördinaten van het product vast te leggen. De maximum drukkracht van een vinger (veer) op het product wordt bepaald door de toelaatbare contactspanning. Deze drukkrachten induceren wrijvingskrachten tussen vingers en product en die moeten de overige coördinaten vastleggen. Hoe meer vingers met de toelaatbare kracht op het product duwen, hoe hoger de totale wrijvingskracht en hoe hoger de versnellingen van de manipulator kunnen zijn in de verschillende richtingen.
- 'Gewogen zwaartepunt' bij een bepaalde oneffenheid op de contour van het product. Komt een vinger op een bepaalde oneffenheid van een vervolgproduct dan zal de positioneringsfout van het 'zwaartepunt' van het product slechts een fractie van die oneffenheid zijn, namelijk: de stijfheid van die vinger gedeeld door de totale stijfheid in het verennest maal de grootte van de oneffenheid.
- Zelfpositionering bij aangeleverde plaatsfouten van de vervolgproducten. Indien de vervolgproducten van een productenreeks niet gefixeerd zijn op het werkvlak en dientengevolge minder nauwkeurig worden aangeleverd met een bepaalde positiefout x , kunnen deze tijdens het grijpen toch relatief nauwkeurig worden gepositioneerd. De vingers zullen tijdens het grijpen namelijk de producten met een positiefout x proberen te positioneren naar de gewenste eindpositie h .



Figuur 4.
Model voor zelf-
positionering.

Daarbij zal dus het product over het werkvlak geduwd worden. Het model in figuur 4 geeft dit weer.

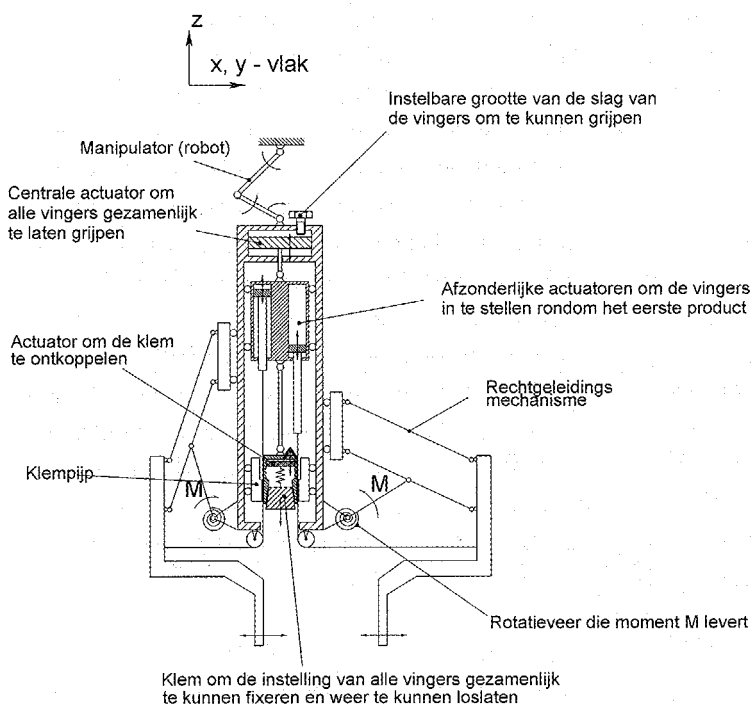
De resterende plaatsfout wordt veelal uitgedrukt in het begrip virtuele speling (s_v). In het model is c de gezamenlijke stijfheid van alle vingers evenwijdig aan het werkvlak. Zolang het voorwerp op het werkvlak ligt zorgt het evenwicht tussen de wrijvingskracht F_w en de voorspankracht $c(h - x)$ voor een virtuele speling van $s_v = 2 \mu \cdot m \cdot g / c$.

Wordt het voorwerp vervolgens door de grijper van het werkvlak opgetild dan valt de wrijvingskracht F_w weg. De voor de hand liggende gedachte is nu dat de stijfheid c zich volkomen ontspant en dat de positiefout $h - x = 0$ wordt. Men moet zich echter realiseren dat de vingers die door de positiefout $h - x$ in hoofdzaak radiaal gespannen waren nu een nieuw evenwicht zoeken met de zich al slijpend tangentieel spannende vingers. Het nieuwe evenwicht ligt daardoor dus niet op $h - x = 0$. Het verschil is wederom virtuele speling en is voor deze situatie gelijk aan $SV = 2,3m \cdot \mu \cdot \Delta_r$ [4]. Hierin is m de wrijvingscoëfficiënt en $\Delta_r = f_n / c_n$ is de radiale indrukking van een vinger om daarmee de gewenste voorspankracht (f_n) te realiseren. De helft van deze virtuele speling ($\frac{1}{2} s_v$) is de uiteindelijke maximale resterende plaatsfout na het grijpen en oppakken van het product. Deze is dus kleiner naar mate de voorspankracht (f_n) kleiner is en de stijfheidscomponent in de normaalrichting (c_n) groter is.

Concept van de grijper

Het concept van figuur 5 is bedacht voor het werkingsprincipe van de universele grijper [2] zoals hiervoor is beschreven. Bij het eerste product moet de grijper zichzelf eerst vanuit de volledige open stand instellen en vervolgens die instelling fixeren. Door bij de vervolgproducten alle vingers gezamenlijk een hele kleine slag

open en dicht te laten maken, kunnen deze producten zeer snel worden gegrepen waarbij ze eveneens zeer nauwkeurig worden gepositioneerd. Aan het einde van een productreeks en het begin van een volgende reeks moet de grijper eerst weer in de volledige open stand worden gebracht, waarna dit beschreven werkingsprincipe zich kan herhalen.



Figuur 5. Concept voor de universele grijper met daarin zowel een vinger in de geopende stand alsook in de gesloten stand weergegeven.

De manipulator (bijvoorbeeld een robot) is in de figuur zeer schematisch weergegeven aangezien deze hier niet relevant is.

Rechtgeleidingsmechanisme

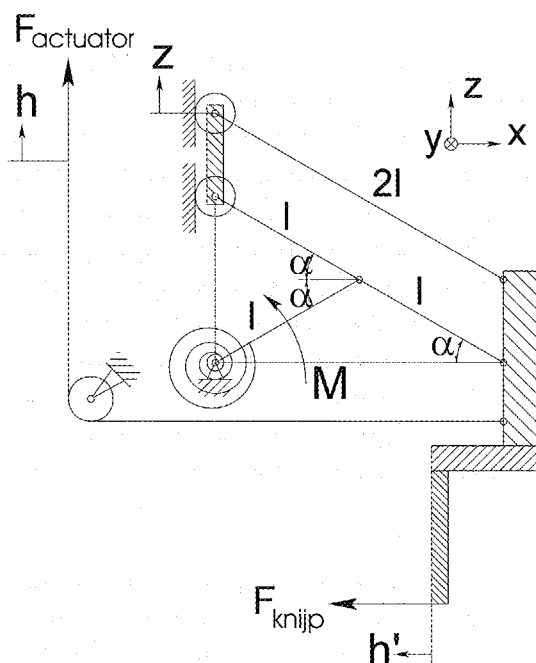
Als geleidingsmechanisme voor de vingers is gekozen voor een rechtgeleiding volgens figuur 6. Op deze manier kunnen de vingers een relatief grote slag maken terwijl ze evenwijdig aan het werkvlak bewegen.

De toegepaste rechtgeleiding is gebaseerd op een speciaal geval van de elliptische beweging [4]. Een bepaald stangenmechanisme wordt hierbij met behulp van een lineaire rechtgeleiding langs het frame geleid, waarbij dan het uiteinde van het mechanisme in de ruimte eveneens een rechtgeleiding beschrijft. Door het mechanisme in parallelvorm uit te voeren maken de vingers een translerende rechte beweging in de ruimte. Door dit gekozen mechanisme is de grijper smal bij kleine producten en breed bij grotere producten. Echter, de grijper is hierdoor wel relatief hoog.

Tussen de beweging van de verticale rechtgeleiding en de horizontale verplaatsing in de ruimte is de verhouding afhankelijk van de stand van het mechanisme, zie figuur 6 $i = dh'/dz = -\tan \alpha$, en is helaas verre van constant.

Zou tijdens het grijpen de vingers centraal worden aangedreven via de verticale rechtgeleiding, dan zouden de vingers die in willekeurige posities kunnen staan verschillende krachten opgelegd krijgen. Omdat tijdens het instellen van het verennest op elke vinger een gelijke belasting is gewenst, is er gekozen voor een aandrijving die rechtstreeks op de vingers is aangebracht.

Namelijk om de beweging van het mechanisme voor te schrijven kan gebruik worden gemaakt van een actuator die met behulp van een draad aan het uiteinde van mechanisme wordt verbonden. Op deze manier is de overbrenging onafhankelijk van de stand van het mechanisme: $i = dh'/dh = 1$ en kan de actuator op een willekeurige positie worden geplaatst. Het zal in de volgende paragraaf blijken dat de plaats van al deze actuatoren centraal in het frame zeer gunstig is. Dit betekent dat de draad vanaf het mechanisme tot aan de actuator moet worden omgeleid middels een rol. Omdat met deze draad, in werkelijkheid een staalband, geen duwkracht kan worden geleverd, moet het mechanisme continu onder een voorspankracht worden gehouden, bijvoorbeeld door een veerkracht.



Figuur 6.
Rechtgeleiding volgens een speciaal geval van de elliptische beweging.

Voor de geleverde kracht aan de vingertip moet deze veerkracht wel van de actuatorkracht worden afgetrokken. Vandaar dat deze veerkracht zo laag en constant mogelijk moet zijn over de gehele slag. Vanwege beperkte constructieruimte bleek een rotatieveer de juiste keuze te zijn.

Instellen en fixeren

De actuatoren waarmee de instelling van de grijper gerealiseerd kan worden bestaan uit afzonderlijke lineaire actuatoren, in dit geval uit dubbelwerkende luchtcilinders. Door deze actuatoren vanuit de open stand onafhankelijk aan te sturen, zullen de vingers afzonderlijk naar binnen bewegen, totdat ze tegen het eerste gefixeerde product botsen. Ze blijven daar dan tegen aan duwen met de door de actuator voorgeschreven kracht. Als op deze manier alle vingers tegen het product duwen, kan deze stand gefixeerd worden door centraal in de grijper de draden (staalbanden) gezamenlijk vast te klemmen. Dit kan met behulp van één actuator, ook een luchtcilinder, die een conus bedient en waarmee alle staalbanden gezamenlijk worden geklemd tegen de binnenkant van de klempijp, zie figuur 5. Een energiezuinige methode is die

waarbij een veerkracht een constant benodigde klemkracht verzorgt en de actuator slechts nodig is om de klem te ontspannen tegen de veerkracht in. Zolang de klemming wordt gehandhaafd is de grijper aangepast aan het product.

Grijpen met variabel instelbare slag grootte

De klempijp, waarin alle staalbanden zijn vastgeklemd, kan in het frame op en neer bewegen. Dit geldt ook voor het huis waarin de actuatoren voor de instelling zijn ondergebracht. Deze twee onderdelen zijn onderling met een spriet gekoppeld. Door nu met één centrale actuator, die uiteindelijk ook als dubbelwerkende luchtcilinder is gekozen, het gehele aan elkaar gekoppelde binnenstuk in het frame een kleine slag (bijvoorbeeld 1 mm) op en neer te bewegen, zullen de geklemde vingers gezamenlijk een radiale beweging maken: grijpen en loslaten van producten. Met een schroef is de slag grootte van de grijpslag nog eenvoudig variabel instelbaar gemaakt en is uiteindelijk zo gekozen dat de slag grootte gevarieerd kan worden van nul tot maximaal drie millimeter.

Gedurende het instellen van de grijper moet de actuator voor het grijpen in de 'gesloten stand' (onderste positie) staan. Nadat de instelling voltooid is en de staalbanden gefixeerd zijn moet de actuator voor het grijpen in de 'open stand' (bovenste positie) worden gebracht om zo het product los te laten. Met de kleine open/dichtslag van de grijp-actuator kunnen vervolgens de vervolgproducten snel worden gegrepen en gepositioneerd.

Grijper terugbrengen in de open stand

Het ligt reeds in het concept vast om de vingers weer in de open stand te kunnen brengen. Immers de torsieveren zorgen voor een constante radiaal naar buiten gerichte kracht over de gehele slag. In principe hoeft men slechts de fixering weg te nemen en de vingers zullen naar buiten transleren. De snelheid kan daarbij eventueel

Ontwerp van een universele gripper

geregeld worden met behulp van een tegenwerkende kracht die geleverd kan worden door de (dubbelwerkende) lineaire actuatoren voor zowel het instellen als het grijpen. In werkelijkheid met smoorventielen in de lucht toe- of afvoer.

Realisatie prototype universele gripper

Enige specificaties waaraan het gerealiseerde prototype van de gripper moest voldoen:

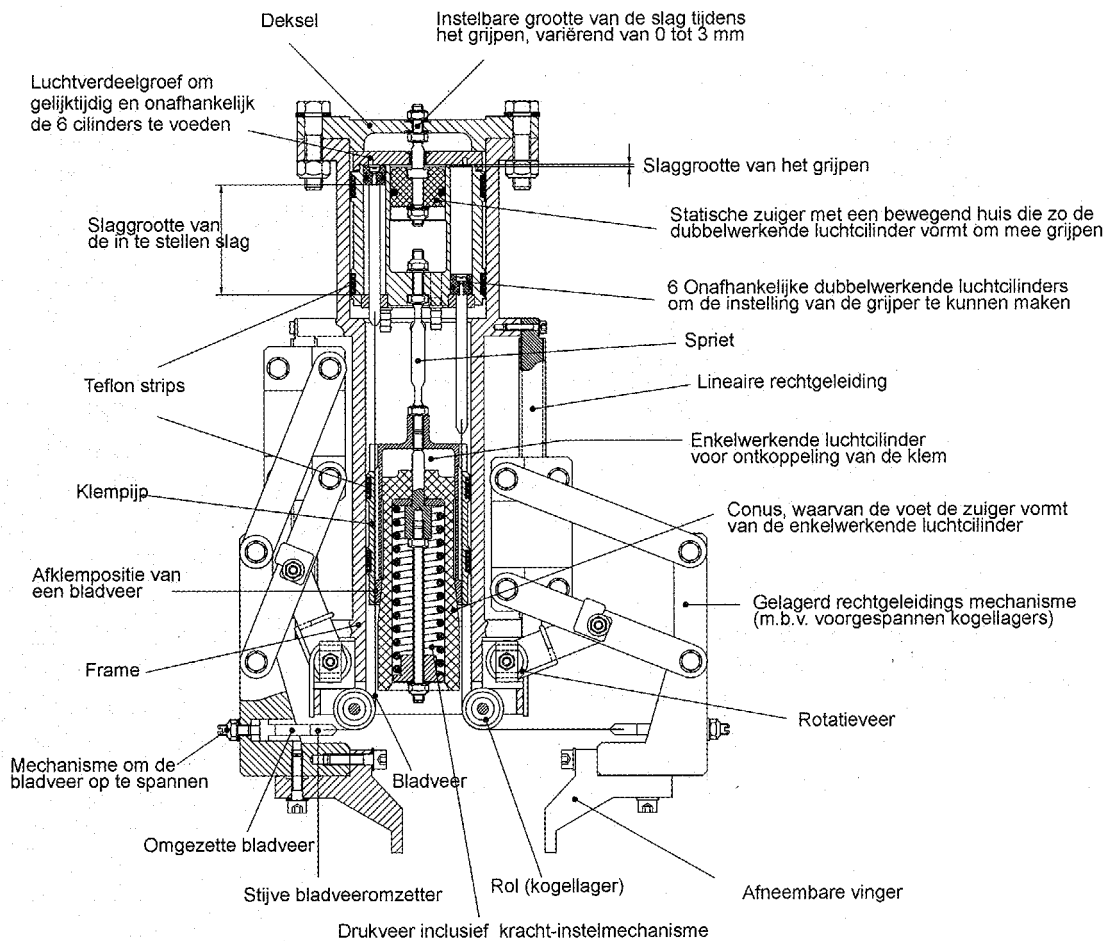
- Productcontouren moeten binnen een 'raamwerk' van 100 x 100 mm passen, waarbij de productmassa maximaal een ½ kg is met een minimum productdikte van 1½ mm.
- Plaatsingsnauwkeurigheid maximaal 100 micrometer.
- Maximum drukkracht per vinger 25 N.
- Maximum versnelling tijdens het verplaatsen 20 m/s² in alle richtingen.

De vertaalslag van het concept van figuur 5 naar een concreet product staat in figuur 6. De rech-

ter vinger staat daarbij in de meest open stand en de linker vinger in de meest dichte stand getekend. Het maximum aantal vingers bleek vanwege de beperkte constructieruimte uiteindelijk zes te zijn, onder gelijke hoeken over de omtrek verdeeld. Het prototype zou uiteindelijk willekeurige productvormen met een maximum doorsnede van 115 mm en een minimum doorsnede van 15 mm moeten kunnen grijpen. Enige voorwaarde daarbij is dat elke vinger ongeveer loodrecht op het product aangrijpt.

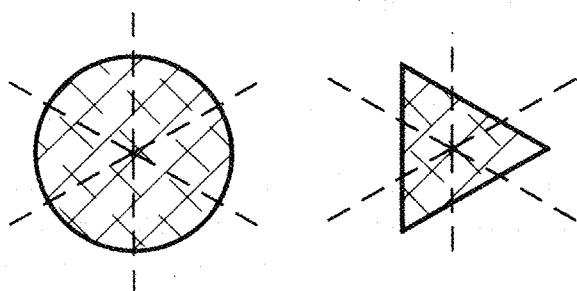
Prestaties

De prestaties van de universele gripper zijn experimenteel bepaald [3]. Een voorwerp werd aangeboden, magnetisch bevestigd op een nominale plaats in het x-y-vlak. Vervolgens liet men de gripper zich aan dit voorwerp aanpassen. Daarna werd de magnetische verbinding tussen



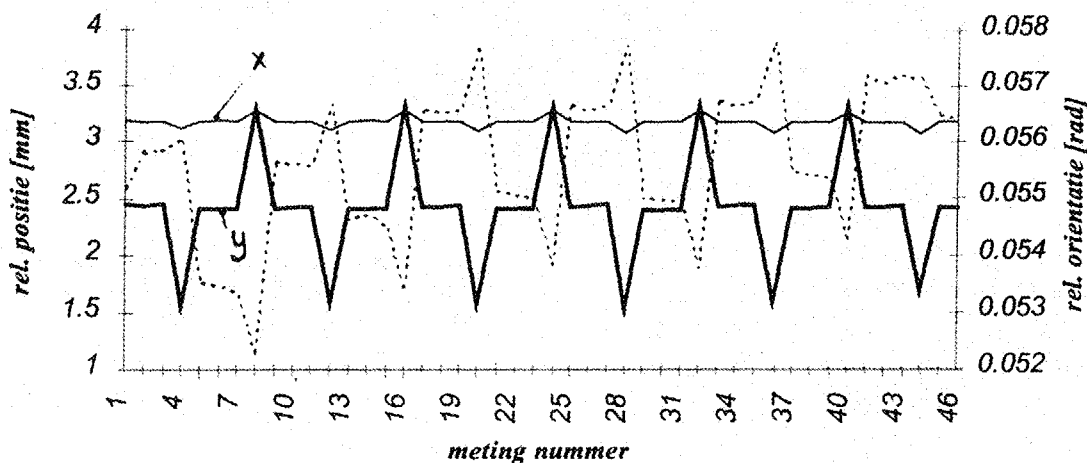
Figuur 7. De gerealiseerde universele gripper met daarin zowel een vinger in de geopende stand alsook in de gesloten stand.

het voorwerp en het montagevlak verbroken. Ten slotte werd de gripper in de z-richting (loodrecht op het x-y-vlak) spelingsvrij opgetild en wederom neergezet waarna het voorwerp werd losgelaten. De mate waarin het grijpen en weer loslaten tot een reproduceerbare plaats van het voorwerp leidt kwam tot uiting in het plaats- en hoekverschil voor en na deze operatie. Deze proef werd uitgevoerd met de voorwerpen van figuur 8 [3].



Figuur 8.
Proefvoorwerpen.

Deze proeven werden herhaald waarbij de voorwerpen van te voren circa 1 mm buiten hun nominale plaats waren gebracht om zo te onderzoeken in welke mate de gripper in staat is een voorwerp te corrigeren, dat in een foute positie wordt aangeboden. Figuur 9 toont de resultaten [3].



Figuur 9.
Plaatsingsnauwkeurigheid van de universele gripper.

Men ziet dat bij de eerste grijpoperatie na het aanbrengen van een y-verschuiving het voorwerp over 1 mm nagenoeg terug is op de plaats waar de gripper het aantrof voordat de verschuiving werd aangebracht. De gemiddelde, resterende plaatsfouten bedragen in de y-richting 16 micrometer en in de x-richting 5 micrometer. Voor veel assemblagetaken zoals die in de industrie van consumentenproducten voorkomen is deze nauwkeurigheid ruim voldoende.

Verantwoording

Dit werk werd verricht als afstudeerproject aan de Universiteit Twente, leerstoel Mechatronica, onder leiding van prof. dr. ir. M.P. Koster.

Literatuur

- [1] Rampersad, H.K., Integraal en simultaan ontwerpen; ontwerpmodellen en gereedschappen voor het succesvol concipiëren van robotassemblagesystemen, Lemma B.v., Utrecht, 1993.
- [2] Lalkens, T., Het ontwerp van een universele gripper, Universiteit Twente, WA-560, 1997.
- [3] Tuyp, S., Het testen van een universele gripper, Universiteit Twente, WA-610, 1998.
- [4] Koster, M.P., Constructieprincipes, ISBN 9036511356, Twente University Press, 1998.