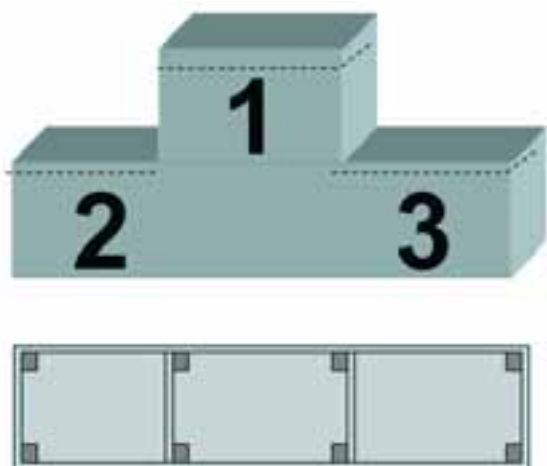


Spelen met

Tijdens de Precisiebeurs 2006 eind november in Veldhoven werd de tweejaarlijkse Rien Koster-prijs uitgereikt door de NVPT aan Piet van Rens. Bij die gelegenheid sprak Rien Koster uitgebreid over Van Rens' enthousiasme voor construeren in blik en over zijn generieke denkkader voor het oplossen, of beter nog voorkomen, van ontwerpproblemen. Hieronder een speelse beschouwing van de laureaat zelf.

• *Piet van Rens* •

Als 17-jarige toneelknecht bij een amateurtoneelvereniging was ik al gebiologeerd door de enorme sterkte en stijfheid die je met eenvoudig hardboard en panlatten kunt bereiken. Met als hoogtepunt de bewondering voor Bruynzeel-deuren die bleken te bestaan uit twee plaatjes hardboard op een soort papieren honingraat constructie. Later heb ik dat nog nageaapt door mijn fietskar een dubbelwandige triplexbodemplaten te geven. De ruimte tussen de triplexbodemplaten was opgevuld met een polyurethaanplaat rondom afgezet met een panlat. Zie Afbeelding 1 voor een ander voorbeeld.



Afbeelding 1. De structuur van panlatten en hardboard blijkt ruim bestand tegen drie winnende hardlopers. De top-plankjes zijn 18 mm dik.

Heel recent hoorde ik Aldert Verheus (Centrum voor Lichtgewicht Constructies TUD-TNO) tijdens de C&E-dagen (van het Mikrocentrum en de Constructeur) een presentatie houden over composietmaterialen, met als titel "Weight watchers". Hij vertelde enthousiast wat je met composieten en dus ook met (balsa)hout kunt in het kader van *E/p*. Het was een schok van herkenning.

Hystere-vrije puntlas

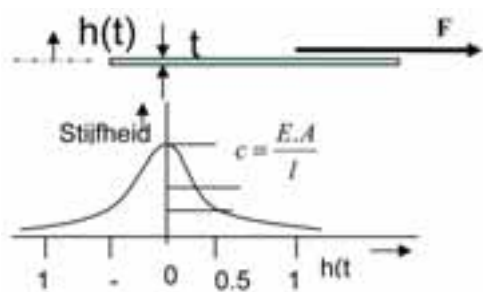
Tijdens mijn afstudeerwerk onder leiding van prof.ir. W. van der Hoek speelde het construeren in dunwandige structuren opnieuw. Het was een bijdrage aan de Hard X-ray Imaging Spectrometer, een soort schakelbare kleurencamera in het harde-röntgengebied. De afbeeldende collimator bestaat uit een dunwandige rechthoekige koker. In de koker zijn de optische componenten opgehangen met een nauwkeurigheid van ongeveer 1 mm. De 1 g doorbuiging van de koker blijkt al 4 mm te zijn. Dit werk leerde me dat puntlassen door de merkwaardige krimp vrijwel hysterevrij zijn. Dit komt omdat de platen vrij van elkaar komen te liggen, behalve op de puntlassen zelf; zie Afbeelding 2. Bij de elektroden zit een groter smeltbad dan tussen de plaatdelen. Hierdoor zit er lokaal aan de buitenkant meer krimp. Dat een puntlas goedkoop was, wist ik al.



Afbeelding 2. Puntlas trekt de platen los van elkaar tijdens de nakrimp

blik

Het laten aangrijpen van krachten in het plaatvlak bleek de uitdaging; immers bij een wanddikte van 2 mm is een kracht die 1 mm buiten het plaatvlak valt al goed voor een stijfheidsverlies van een factor zestien; zie Afbeelding 3. Het afstudeerwerk leverde enkele leuke plaatjes op voor het 'Duivels Prentenboek' van prof. Van der Hoek en later voor het boek 'Constructieprincipes voor het nauwkeurig bewegen en positioneren' van prof. M.P. Koster (ISBN 90-78249-01-3).



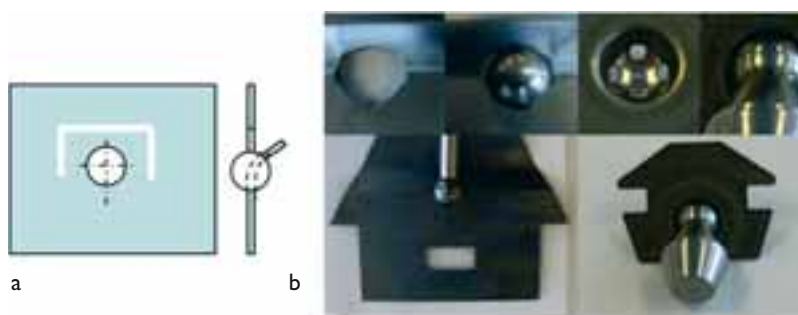
Afbeelding 3. Stijfheidsverlies is kwadratisch gevoelig voor de afstand tot het hart van de plaat.

Gesloten kokers

Het was ook tijdens mijn afstuderen een openbaring dat de hoeveelheid omsloten lucht in dunwandige constructies kwadratisch in de stijfheid zit. Mits alle zijden van de platen maar hun afschuifspanning kunnen doorgeven aan aangrenzende plaatdelen. Dit is natuurlijk het geval bij gesloten kokers. Bij een open structuur echter wordt de stijfheid bepaald door het volume materiaal in het kwadraat. Hiermee wordt vooral duidelijk dat het construeren uit dunne plaat, mits voldaan aan de regels zoals die door Koster zijn beschreven in zijn Constructieprincipes, enorme voordelen heeft voor het licht en stijf construeren.

Vrijheidsgraden

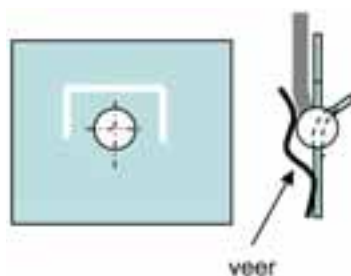
Behalve het construeren op stijfheid blijkt het construeren in dunne plaat ook nog veel voordelen te hebben op het gebied van het spelen met vrijheidsgraden. Bijvoorbeeld het opleggen van een kogel in een rond gat in een plaat kan eenvoudig door een rond gat te maken in een gedeeltelijk vrijgesneden stuk uit de plaat iets groter dan de kogeldiameter; zie Afbeelding 4a. Er ontstaat, omdat de kogel nagevoel dezelfde straal heeft als het gat, een puntcontact dat



Afbeelding 4.

(a) Een bijna-lijncontact exact in het hart van de plaat.
(b) Een voorbeeld uit de beeldbuis: Maskerophanging links uit plaat gesneden, rechts traditioneel diepgetrokken.

erg veel lijkt op een lijncontact. Door iets van de gatwand weg te vijlen, kan de richting waarin de kogel aanligt vrij worden gekozen. Bij beeldbuizen bleek het mogelijk om een zeer hoge belastbaarheid te realiseren; zie Afbeelding 4b. De belasting was zelfs ruim tien keer de belastbaarheid van een kogel met een twee keer grotere diameter in een nauwkeurig diepgetrokken hoedje (schuifplaatje). Omdat de kogel nu in het hart van de plaat komt te liggen kan de kogel ook veel moeilijker eruit springen bij een grote belasting dan het geval was bij een diepgetrokken schuifplaatje; zie Afbeelding 5.



Afbeelding 5. Oplegging van een kogel in een rond gat in een plaat. De veer houdt de kogel op z'n plaats.

Een contact tussen een nauwkeurige vorm en een kogel lijkt erg veel op drie puntcontacten; de positie van deze punten is niet goed gedefinieerd. Behalve oplegpunten is het eenvoudig om op een dergelijke manier ook scharnieren te construeren of eenvoudig losneembare verbindingen met heel hoge positiereproduceerbaarheid.

Prototypes uit papier

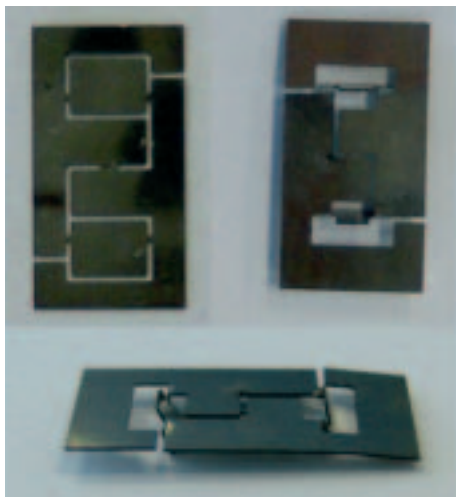
Een heel ander aangenaam bijverschijnsel van construeren uit dunne plaat is dat het de mogelijkheid biedt om prototypes te maken uit papier of dun karton. Visitekaartjes zijn daarvoor uitermate geschikt. Een aardige bijzonderheid is



a



b



c

Afbeelding 6. Gatscharnier (links) en rechtgeleidingsmechanisme.

(a) Schematisch.

(b) Uit papier geknipt (rechts is materiaal in het hart weggeknipt).

(c) Een voorbeeld voor een test met laser-adjustment. De dunne dammetjes in het midden worden beurtelings met een laser beschoten waardoor ze beurtelings trek en druk opbouwen. W. Hoving, M.P. Koster e.a. bereikten daarmee heel leuke justeringen in het micrometergebied.

Onder het rechtgeleidingsmechanisme in ander aanzicht.

dat als u een model geknipt uit een visitekaartje achterlaat, er een veel grotere kans is dat het kaartje nog een tijdje bewaard blijft dan wanneer het onbeschadigd op de het bureau van de klant achterblijft. Ik nodig u uit om als oefening een rechtgeleidingsmechanisme te knippen. Het mechanisme heeft dezelfde functie als het in Afbeelding 6 eraanst staande mechanisme met de vertrouwde gatscharnieren. De robuustheid is echter aanmerkelijk beter.

Cosinus-verkorting

Bij gatscharnieren is de doorsnede van de scharnieren in één richting dun omdat het in plaat is en in de andere richting omdat deze moet kunnen bewegen. In het geval van een vouwwerkje is de doorsnede alleen dun in de plaatrichting en daardoor wordt deze veel minder kwetsbaar. Deze vouwtechniek biedt de mogelijkheid om eenvoudige mechanismen te maken uit plaatdelen. Ook brengt een spriet gemaakt uit een gevouwen bladveer een aantal verrassende voordelen met zich mee. Ze geeft minder problemen met het inklemmen dan een dun draadje. Het uitbuigen van een omgezette bladveer heeft niet de schijnbare cosinus-verkorting van een draadveer die uitbuigt.

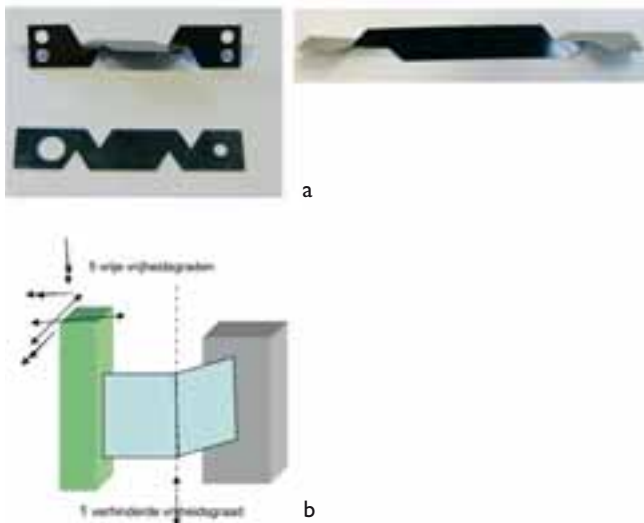
Sprieten

Bij het statisch bepaald construeren wordt een vrijheidsgraad vaak vastgelegd door het toepassen van een spriet, spaak of iets verwants. De in Afbeelding 7 getoonde, uit plaat geknipte onderdelen bieden vaak minder problemen met monteren en hebben een betere stijfheidsverhouding op trek en druk versus buiging. Een uit plaat gevouwen spriet heeft niet het nadeel van een aantal gatscharnieren dat de sterkte helemaal verdwijnt uit de plaat. Zie ook de visitekaartjes. Uiteraard zijn verstijvingen tegen uitknikken mogelijk door randjes om te zetten.

In geval van een omgezette bladveer is uiteraard de gevoeligheid voor cosinus-verkorting veel minder. Het verdient wel aanbeveling om bij grotere uitwijkingen de plaatdelen te controleren op uitknikken. Ook kan de stijfheid erg inzakken bij grotere uitwijkingen

Spanningen

De belastingen in plaatdelen van goed ontworpen kokers leiden meestal tot schuifspanningen. Ten opzichte van buigen of pellen zorgen die afschuifkrachten er voor dat spanningen zich zo netjes mogelijk verdelen over de plaat. Bij pellen zal de spanning zich juist in een klein gebied con-



Afbeelding 7. Sprietten.
 (a) Met cosinus-verkorting.
 (b) Zonder cosinus-verkorting

centreren. Eenieder die wel eens veel haast had bij het plakken van zijn fietsband kent dit afpellen en zijn voortschrijdend hoge spanningsfront. Dit kan samen met of door kerfwerkingen tot sterkteproblemen leiden. Bij afschuifkrachten speelt dit juist veel minder. Moeder natuur is zeer behulpzaam bij de kracht-spanningsverdeling

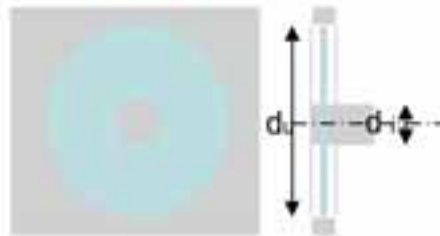
Waarschuwingen

Een van de voordelen van het denken in plaat is dat er een heel groot verschil in stijfheid is tussen richtingen in het plaatvlak en loodrecht daarop. Dit voordeel is ook meteen een valkuil. De stijfheden in het vlak zijn lineair met het formaat in eerste orde en lineair met de plaatdikte. De buigingen uit het vlak gaan met de derde macht van de dikte en vaak ook met de grootte van de plaat. Voor kleine producten blijken de buigstijfheden vaak geen ordes meer te verschillen van de stijfheid in het vlak. Bij kleine onderdelen helpt het vaak als je een schets op schaal bekijkt. Ziet de plaatdikte er dan nog steeds 'dun' uit, dan gelden de plaatregels nog wel.

Stijfheid

Als je een plaat met iets verbindt, geldt eigenlijk altijd dat er minimaal twee punten van de plaat gelast of geschroefd moeten worden. Eén laserlas of puntlas of één bout legt

geen momenten vast en de plaat kan nog roteren rond het verbindingspunt. In zijn algemeenheid zullen bouten en lassen in paren voorkomen. Uiteraard kan met lijm wel een groter oppervlak worden bestreken en kunnen daarmee dus over een groter oppervlak afschuifkrachten en momenten worden doorgegeven.



Afbeelding 8. Ronde verbinding in een eindig grote plaat.

De torsiestijfheid van een ronde verbinding in een eindig grote plaat (zie Afbeelding 8) is:

$$k = \pi \frac{Gd_i^2 t}{1 - (d_i/d_w)^2}$$

Als $d_i \ll d_w$:

$$k = \pi Gd_i^2 t$$

Met twee puntlassen wordt deze torsiestijfheid al gauw een orde hoger. Immers de afstand is altijd enkele malen de lasdiameter en de afstand tussen de lassen zit kwadratisch in de torsiestijfheid.

Tot slot

Het werken met plaat voelt als het spelen met blik. Het is aangenaam licht en het vermoeit niet. Zelfs de scherpe kantjes leveren mooie en leerzame littekens.

Auteursnoot

Piet van Rens is Chief Technical Optimist bij Vision Dynamics in Eindhoven. Hij kreeg eind 2006 op de Precisiebeurs de Rien Koster-prijs van de NVPT uitgereikt.

Informatie

www.visiondynamics.nl