

Definitie stijfheden nieuwe gatscharnier afwijkend

A. Visscher

In een artikel van P.C.J.N. Rosielle in Mikroniek (1991)4 [3], is een meer efficiënte vorm voor gatscharnieren geïntroduceerd, zie figuur 1. Het voordeel ten opzichte van de "klassieke vorm" is de veel kleinere ontwerp-ruimte bij vrijwel gelijke beweeglijkheid. Hiervan is dankbaar gebruik gemaakt bij de ontwikkeling van een lineaire piëzomotor (LPM) bij Philips Centrum voor Fabricage Technieken. Miniaturisatie was één van de doelstellingen bij het ontwerp dat elders in dit nummer is beschreven.

Om de stijfheden van het "efficiënte vorm" gatscharnier te voorspellen zijn toen nieuwe vuistregels gepresenteerd. De definitie van deze nieuwe vuistregels wijkt af van de bestaande definitie doordat alléén de vervorming van het *versmalde gedeelte* maatgevend wordt gesteld voor de ervaren stijfheid van het scharnier.

De vervorming van het basismateriaal naast het versmalde gedeelte is echter niet te verwaarlozen wanneer het scharnier op trek belast wordt. De nieuwe vuistregel geeft dan een te hoge trekstijfheid.

Uit een eindige elementen berekening blijkt de trekstijfheid een factor vier kleiner dan met de nieuwe vuistregel wordt berekend. De vorm van het scharnier ("efficiënt" of klassiek) blijkt daarbij nauwelijks van invloed op de stijfheid. De conclusie moet dan ook wel zijn dat de oorspronkelijke vuistregels (en definities [1]) nog steeds zeer goed bruikbaar zijn.

Definities en vuistregels

Eenvoudige vuistregels die stijfheden met acceptabele nauwkeurigheid (zeg plus of min 10 %) voorspellen zijn in het ontwerp stadium handig. Vuistregels voor gatscharnieren ontstaan door de resultaten van grote aantallen eindige elementen berekeningen met regres-

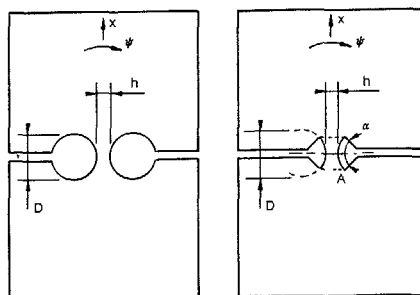
sieanalyse te bewerken (zie voor de klassieke vorm [1] en voor de "efficiënte vorm" [3]).

Numerieke afwijking

Om inzicht te verkrijgen in de materiaalvervorming is een eindige elementen berekening (e.e.b.) uitgevoerd aan een "efficiënte vorm" gatscharnier, zie figuur 2.

Uit symmetrieoverweging volstaat het slechts de helft (of zelfs een kwart) te modelleren. De trekstijfheid zal echter steeds op de gehele geometrie betrekken worden. De radius $D/2 = 0,3$ mm is over $2 \times 30^\circ$ aangebracht en gaat vervolgens over in een radius van 0,15 mm (behorend bij de draaddiameter van de draadvonkmachine). De geometrie wijkt daarmee iets af van figuur 1, maar voor de e.e.b. komt dit de kwaliteit van de elementenverdeling ten goede en worden spanningsconcentraties vermeden. In het symmetrievlak is het scharnier "ingeklemd" en op de linkerrand werkt een gelijkmatig over de knooppunten verdeelde trekkracht F_x . Het scharnier is aangebracht in een rechthoekige plaat met relatief grote uitwendige afmetingen (6x20 mm).

Door de trekstijfheid volgens de twee verschillende definities te bepalen kunnen de uitkomsten worden vergeleken: *Oorspronkelijke definitie trekstijfheid* [1]



Figuur 1. a) Klassiek gatscharnier: twee gebourde gaten en gezaagde gleuven waardoor een elastisch "scharnier" ontstaat. b) "Efficiënte vorm" gatscharnier, bijvoorbeeld met draadvonken te fabriceren. h damhoogte, D diameter, α hoek $\geq 60^\circ$, t plaatdikte, E elasticiteitsmodulus, c_{xx} trekstijfheid, k_{vv} rotatiestijfheid.

"We definiëren c_{xx} als het quotiënt van de trekbelasting en de *extra verlenging* die de constructie ondergaat na het boren van de gaten en het zagen van de sleuven. Dat wil zeggen, c_{xx} slaat alleen op het scharnierelement:"

$$c_{xx} = 0,48\sqrt{(h/D)}. \quad (1)$$

Nieuwe definitie trekstijfheid [3]

"De trekstijfheid c_{MA} is gedefinieerd als de verhouding tussen de trekkracht en de verlenging van *het versmalde deel* MA van het scharnier", zie figuur 1.

$$c_{MA} = [0,039 + (1,862/\alpha + 0,7)(h/D)] E. \quad (2)$$

In de nieuwe definitie [3] wordt de trekstijfheid slechts betrokken op het versmalde gedeelte MA. De stijfheid hiervan is het quotiënt van de trekkracht F_x en tweede keer de door de e.e.b. berekende verplaatsing u_{xA} tussen de punten M en A:

$$c_{MA}^{(e.e.b.)} = 7,2 \cdot 10^5 \text{ N/mm}. \quad (3a)$$

Toepassing van de nieuwe vuistregel (2) geeft een nauwkeurige voorspelling:

$$c_{MA}^{(\text{nieuwe vuistr})} = 7,3 \cdot 10^5 \text{ N/mm}. \quad (3b)$$

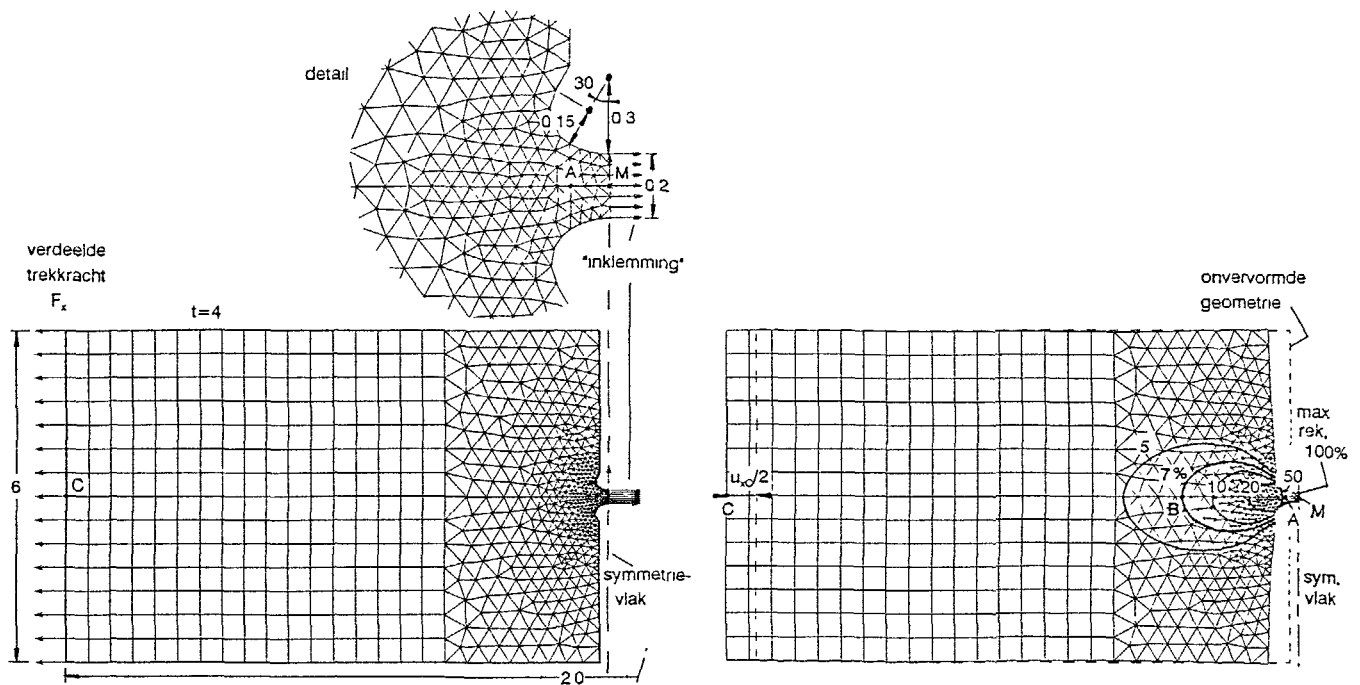
In de oorspronkelijke definitie [1] wordt ook *alle* vervorming buiten het versmalde gedeelte in rekening gebracht. In deze beschouwing staat de gezochte scharnierstijfheid c_{xx} als het ware in serie met de stijfheid van de oorspronkelijke plaat. Met behulp van de e.e.b. kan dan worden afgeleid:

$$c_{xx}^{(e.e.b.)} = 1,8 \cdot 10^5 \text{ N/mm}. \quad (4a)$$

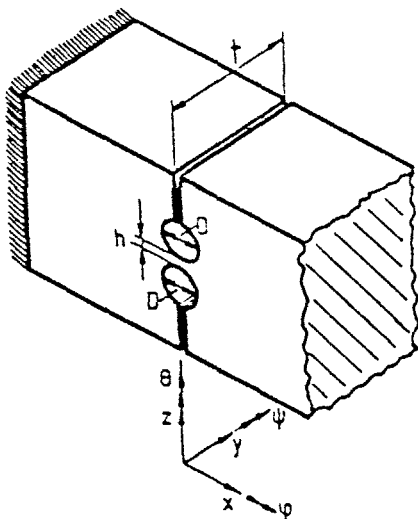
Het scharnier is dus een factor vier minder stijf dan de nieuwe vuistregel suggereert. De vervorming van het basismateriaal blijkt dus niet verwaarloosd te kunnen worden.

Invloed scharniervorm

Het "efficiënte vorm" scharnier kan, vanwege het extra aanwezige materiaal, wat trekstijver zijn dan het klassieke scharnier met dezelfde h en D. Een tweede e.e.b. is daarom uitgevoerd aan een model waarbij het klassieke scharnier is aangebracht in dezelfde basisplaat. De hieruit op dezelfde wijze (volgens de oorspronkelijke definitie) afge-



Figuur 2. Berekeningsresultaat van een eindige elementen berekening aan een (in de LPM toegepast) "efficiënte vorm" gatscharnier. Scharnierafmetingen: $D = 0,6$ mm, $h = 0,2$ mm, $t = 4$ mm, $\alpha = 60^\circ$. Materiaal (staal): $E = 2,1 \cdot 10^5$ N/mm².



Figuur 3. Vuistregels voor stijfheden van gatscharnieren met zowel klassieke als "efficiënte vorm" [2,3].

Realistische gebied: ca. $0,01 < h/D < ca. 0,36$.
Bij "efficiënte vorm" scharnier (zie fig. 2): $\alpha \geq 60^\circ$.

Rotatiestijfheid

$$k_{\psi\psi} = 0,093Et^2\sqrt{(h/D)}$$

Maximaal optredende buigspanning,

inclusief kerfwerking

$$\sigma_{\psi\psi} = 0,58 \psi E \sqrt{(h/D)}$$

Trekstijfheid

$$c_{xx} = 0,48Et\sqrt{(h/D)}$$

Afschuifstijfheid

$$c_{zz} = 0,56Et/(1,2 + D/h)\sqrt{(h/D)}$$

Buigstijfheid uit het vlak van de plaat

$$k_{\theta\theta} = c_{xx}t^2/12$$

Torsiestijfheid

$$k_{\phi\phi} = c_{zz}t^2/12$$

leide trekstijfheid blijkt slechts 2% lager dan de uitkomst (4a).

$$c_{xx}(\text{eeb}) = 1,74 \cdot 10^5 \text{ N/mm.}$$

De invloed van de hoek α op de trekstijfheid is dus verwaarloosbaar. Dit betekent tevens dat de oorspronkelijke vuistregel [1], die was afgeleid voor de klassieke vorm, óók gehanteerd mag worden voor het voorspellen van de trekstijfheid van de "efficiënte" vorm. Deze vuistregel geeft:

$$c_{xx}(\text{oorspr. vuistr}) = 2,3 \cdot 10^5 \text{ N/mm.} \quad (4b)$$

De oorspronkelijke vuistregel geeft een nog 28 % te hoge, maar toch bruikbare indicatie, van de trekstijfheid.

In ieder geval is de voor de trekstijfheid wezenlijke materiaal vervorming meegenomen.

Beïnvloed gebied

De rekverdeling achter het versmalde gedeelte wordt gekenmerkt door ballonvormige lijnen van constante rek, zie figuur 2. De grootste rek in het symmetrievlak (versmalde deel) wordt op 100 % gesteld. Als grens is het 7 % rekniveau gehanteerd. Over dit gebied, dus tussen de punten M en B, geeft de e.e.b.:

$$c_{xx} = c_{MB}(\text{eeb}) = 2,0 \cdot 10^5 \text{ N/mm.} \quad (4c)$$

Deze waarde komt juist goed in de buurt van de voorspelde stijfheid (4b).

Dit gebied is ten opzichte van de scharnierafmetingen zo klein dat er in de praktijk geen materiaal zal worden uitgesneden.

Conclusie

Een vuistregel voor de trekstijfheid van een gatscharnier moet een uitspraak doen over de totale stijfheid van het scharnier. Zoals in de oorspronkelijke definitie werd beoogd kan de vervorming in het basismateriaal daarbij niet verwaarloosd worden. De vorm van het scharnier (mits $\alpha \geq 60^\circ$) is nauwelijks van invloed op de trekstijfheid. Daarom geven de oorspronkelijke vuistregels, voor zowel de "klassieke vorm" als de "efficiënte vorm", nog steeds goed bruikbare voorspellingen, zie figuur 3.

Literatuur

- [1] W. van der Hoek, Des Duivels Prentenboek, DDP 64, vroeger TUE-dictaat nr 4007
- [2] M.P. Koster, Constructieprincipes, TUT-dictaat nr 113136
- [3] P.C.J.N. Rostelle, Gatscharnieren, Mikroniek 31(1991)4, p 104-108

De auteur ir. A. Visscher is werkzaam bij Philips, Centre For Manufacturing Technology (CFT) te Eindhoven.