

Tandwielover in eindige

Het ontwerp van een nieuwe actuator voor het verstellen van een autospiegel voorzag in een tweetandsaandrijving. Vanwege het onconventionele karakter van deze overbrenging werd besloten het ontwerp eerst te onderwerpen aan virtuele testen, die minder tijd en geld vergen dan fysieke testen. Mocht de uitkomst van de virtuele testen negatief zijn, dan zou er dus tijd en geld kunnen worden bespaard. En inderdaad bleek uit simulaties met de eindige-elementenmethode dat er onaanvaardbare spanningsconcentraties en stijfheidsverschillen in de constructie optreden.


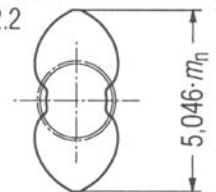
• **Stefan Brouwer en Edwin Lamers** •

M

MCi maakt voor zijn actuatoren gebruik van verschillende aandrijfsystemen, zoals Wolfrom planeetwielsystemen en wormwielaandrijvingen. Een heel bijzondere overbrenging is opgebouwd uit een klein tandwiel (het rondsel) met slechts twee tanden in ingrijping met een tandwiel met ongeveer twintig tanden. Het is een evolvente vertanding, zoals omschreven in ISO 53. Een letterlijke vertaling van deze norm naar een tweetandsrondsel zou leiden tot een ingrijpingscoëfficiënt kleiner dan 1. Dit betekent dat op bepaalde momenten geen van beide tanden van het rondsel in ingrijping is met het tegenlopend tandwiel, de eerste tand is als het ware ‘los’ vóór de tweede tand in ingrijping

komt. In principe zou dit de aandrijving onbruikbaar maken.

Om de ingrijpingscoëfficiënt te vergroten, zijn twee maatregelen genomen, zoals voorgesteld in [1]. In de eerste plaats is een ongebruikelijk grote tandhoek β van 25° gekozen. Dit is de hoek die de tand maakt met de as van het tandwiel. Daarnaast is gekozen voor een afwijkende tandkop- en tandvoethoogte (h_{aP} en h_{fP}), die ook nog verschillend zijn voor rondsel en tandwiel, namelijk tegengesteld, en een negatieve profielverschuiving (x_2) voor het tandwiel; zie Figuur 1. Dit alles wil zeggen dat een ander

2	2.1  $\alpha_n = 20^\circ, \beta = 25^\circ$	2.2  5,046 · m_n	2.3 $h_{aP1} = 0,481 m_n$ (0,431 m_n) $h_{fP1} = 1,1 m_n$ $x_1 = +0,947$ (+0,961)	2.4 $h_{aP2} = 1,1 m_n$ $h_{fP2} \geq 0,48 m_n$ $x_2 = -0,6$
---	---	---	---	---

Figuur 1. Tandvorm voor evolvoide vertanding met twee tanden [1].

brengring elementen

deel van de evolute die de tandflank vormt, wordt gebruikt dan ISO 53 voorschrijft. De drukhoek α is zoals gebruikelijk 20° . Een dergelijke vertanding wordt wel een evoluide vertanding genoemd; zie Figuur 1.

MCi gebruikt deze evoluide vertanding al in een deel van haar spiegelglasactuatoren. Reden van toepassing is dat ze de voordelen van een wormwieloverbrenging (grote overbrengingsverhouding) combineert met die van een tandwieloverbrenging (weinig wrijvingsverliezen). MCi heeft de toepassing voor spiegelglasactuatoren gepatenteerd. In een testopstelling is zelfs met succes een rondsel met slechts één tand toegepast. In de spiegelglasactuatoren zijn de beide tandwielen spuitgegoten, het rondsel in polyoxymethyleen (POM), het tandwiel in polybutyleenterephtalaat (PBTP).

Evoluide vertanding

Nu wil MCi onderzoeken of de evoluide vertanding ook in zijn vouwinstrumenten toepasbaar is. Voor deze toepassing is het rondsel ontworpen in staal, terwijl het grote tandwiel uit glasevuld polyamide (PA) zal bestaan. De belasting van met name het rondsel is naar verwachting aanzienlijk.

Omdat van de traditionele evolvente tandvorm wordt afgeweken, kunnen de gebruikelijke berekeningsmethoden zoals voorgeschreven in bijvoorbeeld DIN 3990 niet worden toegepast. In de evoluide aandrijving ontstaat ondanks een schuin aangebrachte vertanding toch een ongelijkmatige belastingdoorgifte welke zou kunnen zorgen voor extra slijtage. De mate van de wisseling in de belasting is nog niet eenduidig bepaald. Daarnaast ontstaan er grotere belastingen op de lagering. Met name het kleine lager van het rondsel wordt waarschijnlijk zwaar belast.

Modellering

Om te begrijpen hoe de lagering van de overbrenging het beste ontworpen zou moeten worden, is inzicht in het gedrag van de overbrenging noodzakelijk. Dit inzicht kan op twee manieren worden verkregen: via uitvoerige, fysieke testen of via virtuele testen. Het bouwen van een fysieke testopstelling zou in deze fase van het onderzoek te veel

geld kosten. Daarom is Reden ingeschakeld. Reden heeft de tandwieloverbrenging gemodelleerd met behulp van de eindige-elementenmethode (EEM), waarmee het werkingsmechanisme van het product kan worden beschreven; zie Figuur 2.

Het model borgt kennis van het product en kan inzicht geven in:

- de wisseling in belasting die kan optreden door de bijzondere tandvorm,
- de effecten van alternatieve materiaalkeuzes op de performance,
- de effecten van speling.

In het model zijn de lagering van de twee tandwielen, het contact tussen de tanden inclusief de optredende wrijving, en de lagering van de tandwielen meegenomen; zie ook het detailaanzicht in Figuur 3. Het grote tandwiel heeft een uit-

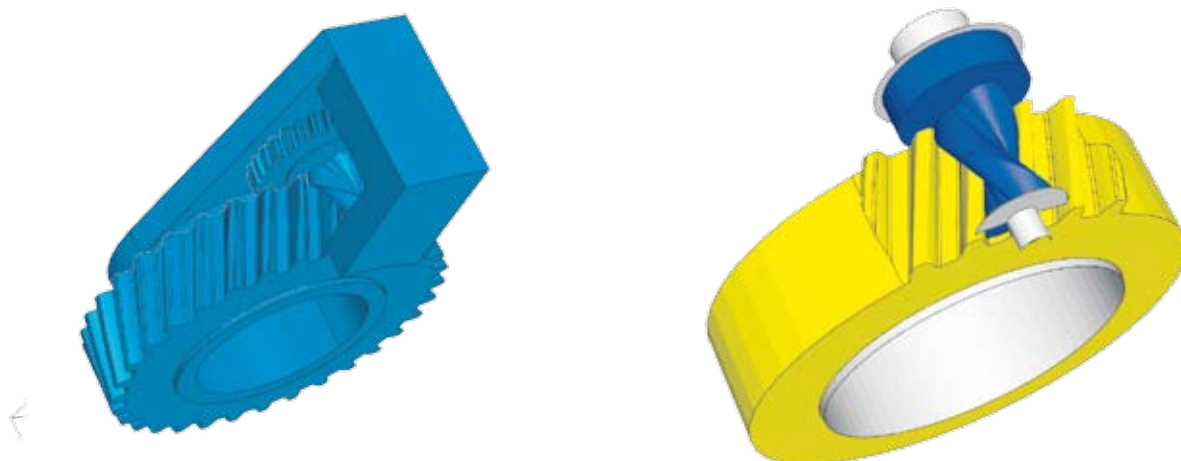
MCi en Reden

Het van oorsprong Nederlandse Mirror Controls international (MCi) is werkzaam in de automobielenindustrie. Het bedrijf, met Nederlandse vestiging in Montfoort, is wereldmarktleider op het gebied van het verstellen van autospiegels. Een eerste productgroep richt zich op het elektrisch verstellen van het spiegelglas vanuit het voertuig. Een tweede productgroep maakt het mogelijk de gehele spiegelkap naar een zogenaamde 'parkeerstand' tegen het voertuig te vouwen. MCi ontwikkelt en produceert wereldwijd actuatoren voor onder meer personenvoertuigen, vrachtwagens, en bussen.

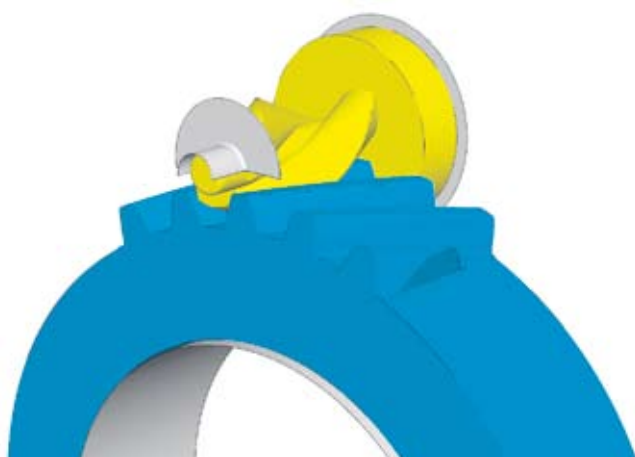
Ingenieursbureau Reden te Hengelo (Ov) is gespecialiseerd in het virtueel testen van componenten en producten. Door producten en processen in simulatiemodellen te vangen, kan Reden hun performance voorspellen. Door de simulatiemodellen vervolgens te valideren, en daarmee aan te tonen dat de simulatieresultaten valide zijn, kan men tot productoptimalisatie komen.

www.mirrorcontrols.com

www.reden.nl



Figuur 2. 3D CAD-geometrie (links) en EEM-model van de overbrenging.



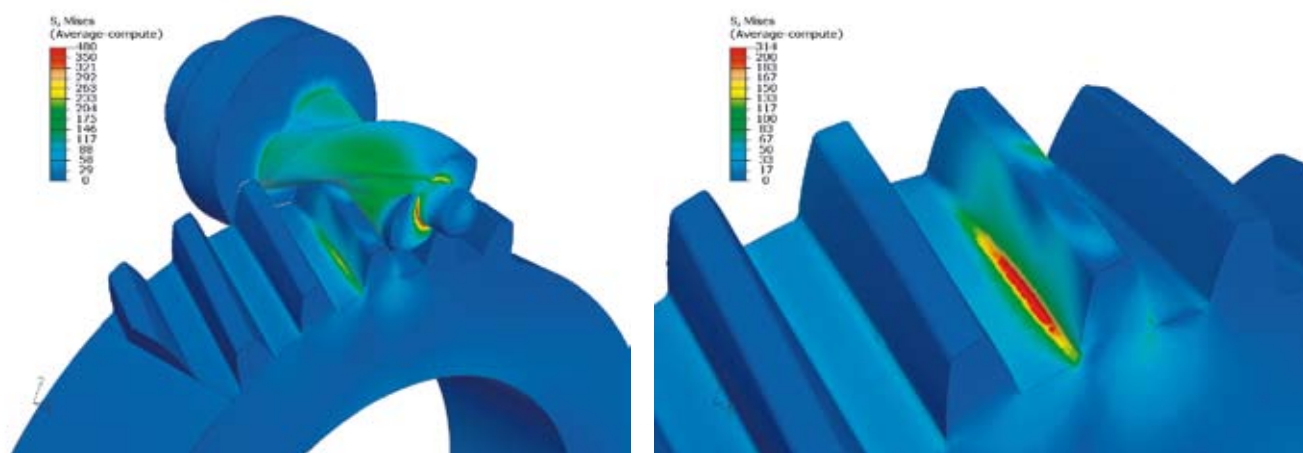
Figuur 3. Detailaanzicht van het rondsel

wendige diameter van 35 mm, terwijl de uitwendige diameter van de vertanding van het rondsel 5 mm is.

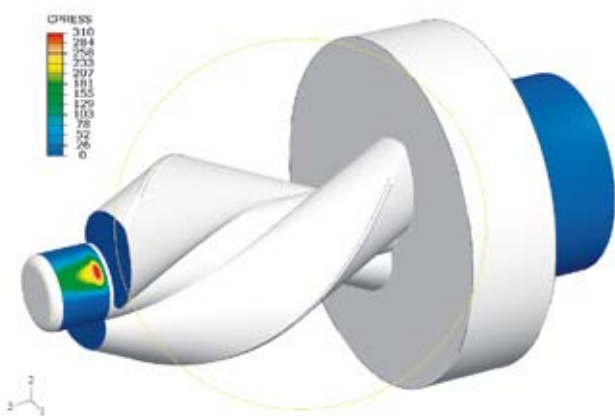
In de modellen wordt het rondsel aangedreven met een moment, het grote wiel wordt belast. De lageringen van het frame zijn rigide en gefixeerd. Niet meegenomen in de simulaties zijn de tanden op het grote tandwiel die niet in ingrijping komen en derhalve geen invloed geven op de spanningen in de tanden die wel in ingrijping komen. Er is uitgegaan van een Coulombs wrijvingsmodel; hierin is de wrijvingskracht de vermenigvuldiging van de wrijvingscoëfficiënt en de normaalkracht.

Resultaten

De spanningen die optreden in de overbrenging geven een maat voor de sterkte en marge in sterkte van de onderdelen. Duidelijk is te zien dat het rondsel, ondanks dat het in staal is uitgevoerd, zeer zwaar wordt belast. De voetspanning van de tand van het rondsel geeft grote spanningsconcentraties; zie Figuur 4. De spanningen in het grote tandwiel



Figuur 4. Spanningen in de overbrenging (MPa); rechts detailaanzicht van het tandwiel.

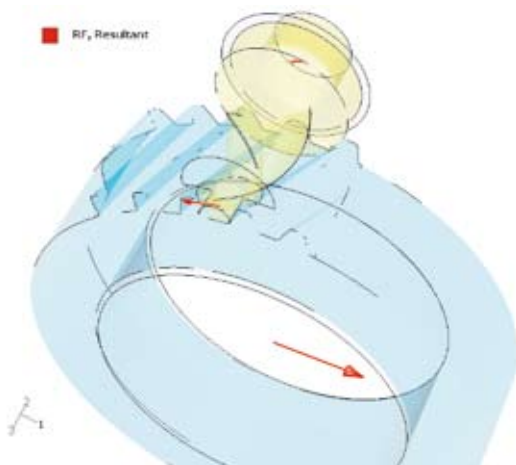


Figuur 5. Vlaktedruk op de lagerschalen (MPa).

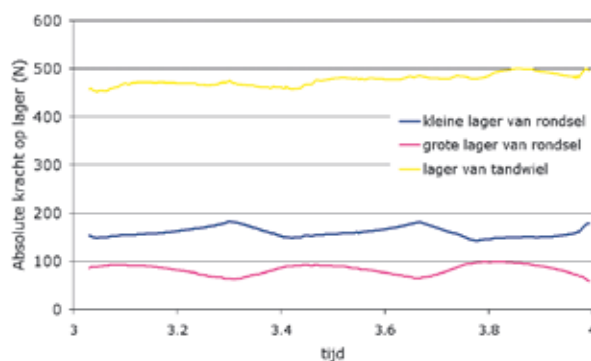
lopen ook op tot boven de acceptabele grenzen voor het gekozen PA-materiaal.

De vlaktedruk (Figuur 5) in de lagers is van grote invloed op de levensduur van de component. Hoe hoger de vlaktedruk, hoe meer wrijving en slijtage zal optreden. De exacte hoeveelheid slijtage wordt ook in hoge mate bepaald door smering tussen de onderdelen. De extreem hoge vlaktedruk (tot boven 300 MPa) wordt niet acceptabel geacht voor deze materiaalcombinatie.

De reactiekrachten op de lagering worden getoond in Figuur 6. Het blijkt dat het kleine lager van het rondsel zwaarder belast wordt dan het grote lager van het rondsel. Dit is de oorzaak van de te hoge vlaktedruk in dit lager. De krachten op de lagering van het tandwiel zijn weliswaar groter dan die op het rondsel, maar de optredende vlaktedruk is hier niet problematisch.



Figuur 6. Reactiekrachten op de lagerschalen. De lengte van de pijl geeft de grootte van de reactiekracht weer.



Figuur 7. Reactiekracht op de lagerschalen bij roterend rondsel. Eén rotatie duurt 0,7 s.

De reactiekrachten in de lagerschalen variëren periodiek in de tijd. In Figuur 7 is het verloop van de reactiekracht op de drie lagers weergegeven. De wisseling in reactiekracht wordt veroorzaakt door een wisselend aangrijppunt van de tanden van de overbrenging. Dit verloopt steeds van binnen naar buiten langs de tandflank. Hierdoor ontstaan stijfheidsverschillen in de overbrenging. De wisselende stijfheid kan vervolgens weer trillingen introduceren in het gehele systeem.

Conclusie

Uit de analyses is gebleken wat de performance van de overbrenging zal zijn. Het is duidelijk dat het huidige ontwerp de opgelegde belastingen niet lang zal kunnen doorstaan wegens de overschrijdingen in de toelaatbare spanningen in het ontwerp. Om een tweetandsaandrijving in vouwinstrumenten toe te passen, zal dus of het ontwerp moeten worden gewijzigd of de belasting verlaagd.

De virtuele testen hebben aangetoond dat het bestaande ontwerp niet gaat voldoen aan de afwijkende eisen en dat een redesign noodzakelijk is. De hiermee gemaakte kosten zijn aanzienlijk lager dan wanneer proefmodellen waren gemaakt voor het uitvoeren van 'echte' (fysieke) testen. Op basis van de opgezette modellen is besloten de tweetandsaandrijving vooralsnog niet in een nieuw ontwerp voor een vouwinstrument toe te passen.

Auteursnoot

Stefan Brouwer is hoofd van de afdeling Research bij MCI en Edwin Lamers is senior project engineer bij Reden.

Referentie

[1] Karlheinz Roth, "Zahnradtechnik. Evolventen-Sondervverzahnungen zur Getriebeverbesserung", Springer, 1998.