

Tandwielen draaien door

Elektrische voertuigaandrijving drijfveer voor verdere ontwikkeling

Eind september vond in München een 2,5-daags evenement over tandwielen plaats. Alle elektrische aandrijvingen ten spijt is het tandwiel nog lang niet aan het eind van zijn latijn. Integendeel zelfs: nieuwe applicaties, nieuwe kansen.

Ad Spijkers

Plaats van handeling was de Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebebau (FZG) van de TU München in Garching, aan de noordzijde van de Beierse hoofdstad. De organisatie was in handen van het VDI Wissensforum uit Düsseldorf en het FZG. De International Conference on Gears was in 2019 aan zijn achtste editie toe. Gezien de specifieke belangstelling voor bepaalde deelonderwerpen werd vier jaar geleden besloten om twee parallelcongressen te organiseren, die nu dus aan hun derde editie toe waren: de 'International Conference on High Performance Plastic Gears' en de 'International Conference on Gear Production'. De meer dan 500

tussen de VS en China en de Brexit wereldwijd voor onrust.

Tegelijkertijd heeft de tandwielindustrie te maken met ontwikkelingen als *additive manufacturing*, het *Internet of Things* en digitalisering. Die vormen ook een uitdaging: waar zullen ze ons brengen, wat kunnen we er mee? De grootste invloed op de tandwielmarkt heeft momenteel de elektrische voertuigaandrijving. De e-drive leidt tot nieuwe ontwikkelprogramma's, productielijnen, klanten, toepassingen en organisatiemodellen.

De wereld verandert, de markt verandert – de tandwielindustrie zal dus ook moeten veranderen. Op dit congres werd meer gesproken over *digital twins*, simulaties en aandrijfconcepten voor elektrische voertuigen dan over tandflankspeling. Duidelijk is in elk geval dat de wereld niet zonder tandwielen kan – ook de elektrische wielnaafaandrijving niet.

De wereld kan niet zonder tandwielen – ook de elektrische wielnaafaandrijving niet.

deelnemers uit 32 landen konden na de 'keynotes' in vijf parallelsessies kiezen uit 150 presentaties. Die we hier uiteraard niet allemaal gaan bespreken.

Trends

Er gebeurt veel in tandwielenland. De digitalisering rukt in snel tempo op en dat brengt veel mogelijkheden met zich mee. Niet alleen voor ontwerpers en engineers – ook voor productiebedrijven, machinebouwers en eindgebruikers. Behalve de technische vooruitgang zelf hebben politieke en maatschappelijke trends een sterke invloed op de huidige ontwikkelingen in de sector. Zo zorgen de handelsoorlog

Uitdagingen

Elektrische aandrijvingen namen eerst de rol van mechanische transmissies over, vervolgens de rol van hydrauliek en pneumatiek en nu vervangen ze steeds meer verbrandingsmotoren. Dit alles gebeurt in het kader van duurzaamheid en het verminderen van het energieverbruik van applicaties. Bij dat laatste is een belangrijke rol weggelegd voor het verminderen van de wrijving. Dit probleem kunnen individuele bedrijven niet in hun eentje oplossen. Daarom is 32 jaar geleden de Forschungsvereinigung Antriebstechnik (FVA) opgericht, met als doel tot non-competitief onderzoek naar aandrijfsystemen te komen. Oorspronkelijk telde de vereniging acht leden,



Het internationale tandwielencongres trok meer dan 500 deelnemers uit 32 landen.

inmiddels zijn het er 203.

De uitdagingen voor engineers van aandrijflijnen zitten niet alleen in de techniek zelf, ook in de oprukkende digitalisering. Digital twins vormen de basis voor allerlei toepassingen die het ontwerp, het energieverbruik en de duurzaamheid van tandwieloverbrengingen kunnen verbeteren. Dat begint bij simulaties van het mechanisch, trillings-tribologisch en thermisch gedrag en gaat via prototyping en het productieproces tot en met conditiebewaking in de praktijk. De vraag is hoever we vooruit en hoe diep we kunnen kijken? Kunnen we gedrag tot op moleculair niveau voorspellen en volgen? En heeft dat zin?

Poll

Een poll onder de aanwezigen leerde, dat de meeste aanwezigen wel met bepaalde aspecten bezig zijn. Dat begint met digitale modellen voor de topologie voor de aandrijflijn, met technieken als *multi-body systems* (MBS), *computational fluid dynamics* (CFD) en smering. Vervolgens gaat het via macrogeometrie van de tandwielen (productie, sterkte en *noise, vibration and harshness* (NVH)) tot microgeometrie van tandwielen (belastingverdeling, NVH). Ongeveer de helft van de respondenten houdt zich al bezig met TEHL (*thermo-elastic hydrodynamic lubrication contact*), maar nog slechts weinigen met tribochemie op atomair niveau. Desgevraagd liet de zaal weten, dat zich meer mensen met dat laatste onderwerp bezig zouden moeten houden. Voor 2030 verwachtten de aanwezigen overigens dat zich minder mensen met deze facetten van tandwielen bezig zullen houden. Kennelijk wordt voorzien dat tegen die tijd alle vereiste kennis is verworven en dat verdere optimalisatie niet meer mogelijk of nodig is.

Digitalisering

In auto's is 20% van het energieverlies te wijten aan wrijving, dus die moet worden aangepakt. Het verder ontwikkelen en het schoon houden van smeermidde-



len heeft in de loop der jaren al veel verbetering gebracht. Maar kunnen we hier nog meer bereiken? En hoe?

Modellering biedt hier uitkomst; engineers zouden middels kwantummechanische berekeningen nog stappen kunnen maken. Het probleem is alleen dat we dat met de huidige computertechnologie nog onvoldoende kunnen. Digital twins helpen al wel. Fysieke modellen, sensoren, conditiebewaking en op data gebaseerde modellen dragen allemaal hun steentje bij.

Ook in de productie zien we dat er vorderingen worden gemaakt. *Integrated Manufacturing Process Simulation* (IMPS) biedt mogelijkheden om efficiënter en met minder energie te produceren. Maar uiteindelijk moeten ingenieurs nog steeds beslissen hoeveel dieper ze in alle mechanismen willen duiken, tot uiteindelijk op atomair niveau.

Vier tegen zes

In het onderzoek naar tandwielen en alles wat zich daar omheen afspeelt, zijn er vier belangrijke onderwerpen: dynamiek, contactmechanica, tribologie, en materialen en productie. Maar een zestal andere onderwerpen zorgt voor de problemen: geluid, rendement, vermoeidheid door contact en door het buigen van tanden, slijtage en schuren. Voor analyse van deze laatste factoren zijn de eerste vier thema's noodzakelijk. Het meest voorkomende probleem bij tandwielen (*pitting*) is een multidisciplinair probleem.

Podiumdiscussie na afloop van de keynotes. Van links naar rechts prof. dr.-ing. Stahl (FZG, TU München), dr. Moras (Werkstoffmechanik IWM), dr.-ing. Grunau (Schaeffler Technologies, FVA) en prof. Kahraman (Ohio State University).

TECHNIEK

Tandwielen



Aan een versnellingsbak van een auto, een complex geheel met tandwielen, lagers, een koppeling, een distributieketting en olie, moet heel wat worden gerekend en getest – en gesimuleerd.

Er is nog veel onderzoekswerk te verrichten. Zo zijn de EHL-modellen niet ontwikkeld voor tandwielen maar voor tribologie. Tandwielen hebben niet-Hertzse contacten, hun parameters hebben niet altijd betrekking op contact en er is sprake van zowel contact-, rol- als glijnsnelheden. Als de tekortkomingen van de huidige EHL-modellen zijn overwonnen, kunnen we over casussen voor moleculaire tribologiemodellen gaan denken. Ook de methodologie voor het voorspellen van contactvermoeiing heeft haar tekortkomingen.

Aangepaste tribologiemodellen

De huidige tandwielproblemen zijn multidisciplinair en vereisen digitale methoden die verschillende disciplines combineren. De tribologie van tandwielen beïnvloedt de betrouwbaarheid van de methoden om de problemen te simuleren. Er zijn nog steeds grote verschillen tussen conventionele tribologische benaderingen en de omstandigheden bij het contact van tandwielen. Er is behoefte aan aangepaste tribologiemodellen voor tandwielen, die vervolgens moeten worden gekoppeld aan studies over moleculaire tribologie. Benadering op nanoschaal is ook nodig voor het voorspellen van contactmoeiing. Het implementeren van nanoschaaleffecten in de huidige methoden zonder nauwkeurige koppelingen tussen de disciplines tot stand te brengen, zal mislukken.

Probleem met modellen

Smeermiddelen vormen een grenslaag bij bewegingen onder belasting. Er zijn niet veel betrouwbare modellen die materialen en oppervlakken relateren aan falen. Ook zijn geen goede meettechnieken beschikbaar. De grote vraag is wat er allemaal gebeurt op atomaire schaal. De kwantummechanica zegt wel wat over krachten tussen atomen, maar de techniek om dat te kunnen staven heeft zijn beperkingen. We kunnen op atomair niveau diverse krachten onderscheiden. Belangrijk zijn de niet-che-



Een door *pitting* aangetast tandwiel, na een experiment aan de Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebebau van de TU München in Garching.

mische krachten, waarbij onderzoekers via reactieve moleculaire dynamica naar non-reactieve moleculaire dynamica gaan. De beperkingen zijn de lengteschaal, de tijdschaal en de overdraagbaarheid van klassieke methoden. Het probleem met modellen is niet om ze te maken en er aan te rekenen, maar ze te begrijpen. Vervolgens kunnen we kijken naar eenvoudige chemische krachten. We praten dan over turboplastische, ofwel oppervlaktevouwten in metalen. Bij complexe chemische krachten praten we over *superflow* wrijving van diamantachtige koolstofcoatings. Er wordt veel aan onderzoek gedaan, maar dat stuit op veel tijdgerelateerde problemen. De kunst voor de wetenschap is om informatie over de schaalgrootte heen te brengen (atomair - moleculair - micro - macro). Uit de poll bleek al dat maar weinig aanwezig op atomair niveau bezig zijn. Verbazingwekkend is dit niet; het vergt veel specialistische kennis en de bestaande modellen hebben de nodige tekortkomingen. Wel wordt er steeds meer in detail en micro- en nanoschaal onderzocht. Simulaties zullen steeds beter worden en daardoor zullen steeds minder mensen nodig zijn.

Uitdaging

Mechanici zullen moeten leren om te gaan met nanometermodellen. Maar vooral moet worden gewerkt aan de moeilijke communicatie tussen chemici en mechanici. Onderzoekers en studenten krijgen wel steeds betere tools tot hun beschikking. Dertig jaar geleden waren eindige elementen nog onbekend. De huidige ontwikkelingen gaan ook steeds sneller. Daarom is interdisciplinaire samenwerking steeds harder nodig. Maar studenten worden zelden multidisciplinair opgeleid. Tegelijkertijd zullen specialisten steeds dieper gaan, weg van interdisciplinaire samenwerking. Bij grote instituten zoals het Fraunhofer lukt deze vorm van samenwerking vrij goed omdat daar die specialisten beschikbaar zijn. Maar ook daar is het een uitdaging. •



Onder meer voor elektrische voertuigen wordt veel onderzoek verricht naar verdere verbetering van planetaire overbrengingen. Ze nemen naar verhouding weinig ruimte in, zijn licht en daarom ideaal voor wielaandrijving.