

Trillings- en geluidsanalyse op afsnijeenheden van een tandenborstelmachine

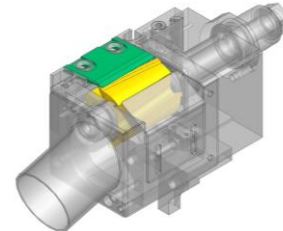
Student: Senne Catteeuw,

Promotoren: dhr. Bruno Boucherie, prof. dr. ir. Jeroen De Kooning

Begeleiders: dhr. Foeke Vanbecelaere, dhr. Mathijs Vandenbussche

In samenwerking met: Boucherie NV

Academiejaar 2023- 2024



Figuur 2: Snijeenheid

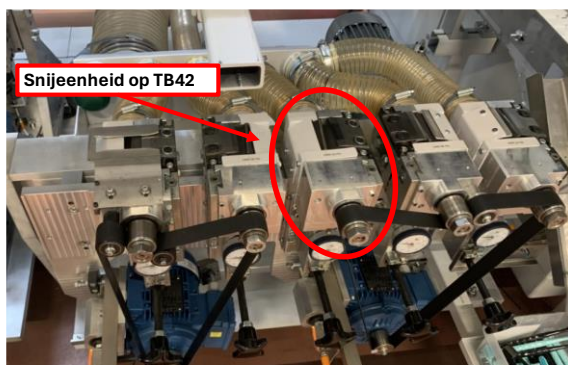
I. INLEIDING

A. Boucherie NV

Boucherie NV is een familiebedrijf dat zich specialiseert in het produceren van borstelmachines voor zowel huishoudelijke als persoonlijke gebruik.

B. Tandенborstelmachine TB42

De tandenborstelmachine TB42 is ontworpen voor het vervaardigen van handmatige tandenborstels. In Figuur 1 worden vijf snijeenheden voorgesteld, deze eenheden snijden de haren van een tandenborstel af.



Figuur 1: Snijeenheden TB42

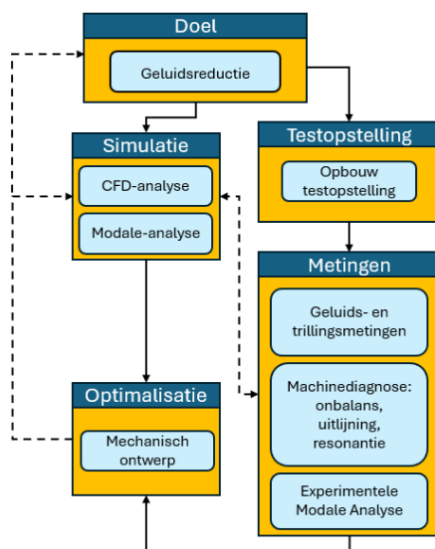
De belangrijkste componenten in de snijeenheid zijn een roterende stang met een stalen mes en een verstelbaar tegenmes, wat verantwoordelijk is voor het snijden van de haren. Figuur 2 toont de snijeenheid waarbij het stilstaande tegenmes in groen en het roterende mes in geel zijn gemarkeerd.

Na het afsnijden worden de haren via een afzuigstelsysteem uit de snijeenheid verwijderd. Dit betekent dat het roterende mes draait in een voortdurende luchtstroom, waarbij geluidshinder wordt gegenereerd. Het bedrijf Boucherie NV suggereert dat de combinatie van de afzuiging met de roterende messen mogelijk de oorzaak is van de optredende geluidshinder. Door de geluidshinder kan het gebruik van de machine leiden tot gehoorschade bij de operator na verloop van tijd. Bovendien is volgens het KB van België op 16 januari 2006 bepaald dat een operator maar voor een bepaalde tijdsduur mag worden blootgesteld aan specifiek lawaai in de werkomgeving [1].

II. DOELSTELLINGEN

Het doel van dit eindwerk is het reduceren van de veroorzaakte geluidshinder door de snijeenheden. Allereerst is een onderzoek uitgevoerd op basis van simulaties. In de eerste simulatie, de CFD-analyse, wordt de luchtstroming binnenin de snijeenheid onderzocht. De tweede simulatie, de modale analyse, simuleert als resultaat de mogelijke eigenfrequenties van belangrijke componenten van de snijeenheid. Voor snelle experimentele validatie, is er een testopstelling ontwikkeld. De eerste metingen omvatten een algemene geluids- en trillingsmeting, die

vergeleken wordt met de norm ISO-20816-3 [2]. Daarnaast wordt een machinediagnose toegepast op de testopstelling, waardoor onbalans, uitlijning en resonantie gedetecteerd kunnen worden. Verder wordt een experimentele modale analyse uitgevoerd op een component in de snijeenheid waarvan wordt vermoed dat deze resoneert, met als doel een realistisch model te verkrijgen. Zonder een dergelijk model zouden de mogelijke optimalisaties onbetrouwbaar zijn. De resultaten van deze metingen, gecombineerd met de verkregen simulatieresultaten, bieden inzicht en mogelijkheden voor optimalisatie van de snijeenheid. Deze optimalisaties kunnen vervolgens worden gevalideerd door gebruik te maken van eerdere uitgevoerde simulaties. Figuur 3 illustreert de flowchart waarop dit eindwerk is gebaseerd.



Figuur 3: Flowchart eindwerk

III. RESULTATEN

A. Simulaties

1) CFD-analyse

De CFD-analyse is opgesplitst in twee methoden. In de ene methode wordt gebruik gemaakt van de eindige elementen methode, terwijl de andere methode de eindige volume methode toepast. Bij de eindige elementen methode is het niet mogelijk om een interne rotatie op te leggen, terwijl dit bij de eindige volume methode wel mogelijk is [3]. De resultaten van de eindige elementen methode tonen aan dat wanneer een afzuiging wordt toegepast, het interne volume wordt verdeeld in twee drukgebieden relatief

tegenover de omgevingsdruk. Het hoge drukgebied ontstaat bij de opening van het mes, terwijl er een laag drukgebied ontstaat binnenin het mes. Deze gebieden worden relatief ten opzichte van de aanwezige omgevingsdruk beoordeeld. De resultaten van de eindige volume methode tonen aan dat wanneer rotatie wordt toegepast in combinatie met afzuiging, turbulenties ontstaan. Deze turbulenties kunnen leiden tot instabiliteit of schade aan de snijeenheid. Door het roterende mes stromen de stroomlijnen voornamelijk in één richting binnenin de snijeenheid. Aan die zijde ontstaan zeer hoge snelheden en grote akoestische geluidsniveaus. Sommige stroomlijnen botsen vervolgens tegen de afschermkap richting de afzuiging, wat kan resulteren in trillingen in de afschermkap.

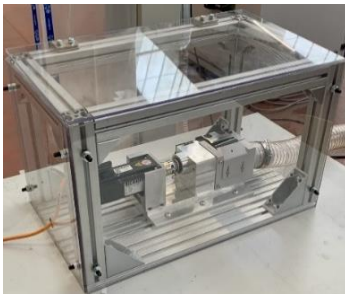
2) Modale-analyse

De simulatie modale analyse geeft als resultaat mogelijke modevormen, eigenfrequenties en damping van een systeem. Voor een ongedempt systeem, waarbij de damping gelijk is aan nul, is de eigenfrequentie afhankelijk van zowel de stijfheid als de massa van dat systeem. In dit onderzoek wordt de modale analyse voortgezet op het roterende mes, inclusief de stang, en de afschermkap van de snijeenheid. Hoewel het waar is dat de eigenschappen van de assemblage van primair belang zijn, kan het begrijpen van de modi van elk afzonderlijk onderdeel waardevolle inzichten leveren. De resultaten geven weer dat de optredende eigenfrequenties in de afschermkap aanzienlijk lager liggen dan die in het roterende mes. Hoewel een algemene regel stelt dat hogere frequenties minder belangrijke modevormen vertonen, zijn er uitzonderingen op deze regel. Voornamelijk bieden lagere eigenfrequenties de mogelijkheid tot eenvoudige excitatie, maar spelen andere factoren zoals damping en stijfheid ook een belangrijke rol. Bovendien is de simulatie niet volledig realistisch in de praktijk, maar met behulp van model fitting kan een beter resultaat worden verkregen.

B. Metingen

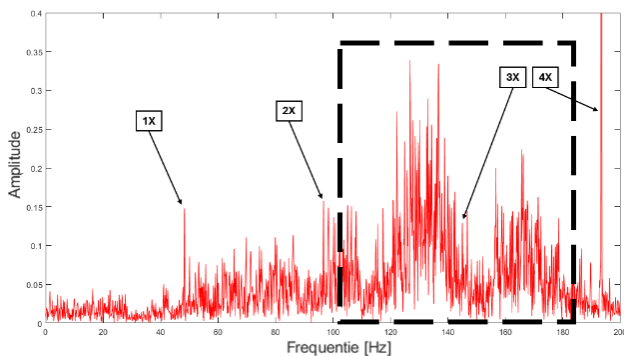
De testopstelling, voorgesteld in Figuur 4, bestaat uit één snijeenheid die wordt aangestuurd met een motor, met een nominaal koppel 0,8 Nm, op een constant toerental van 2900 rpm. Daarnaast

wordt een zuiginstallatie aan de testopstelling toegevoegd om hetzelfde effect te bereiken.



Figuur 4: Testopstelling

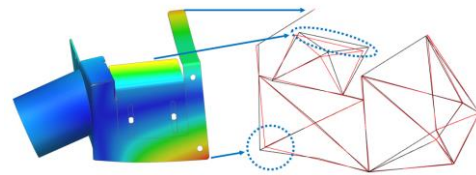
Op de testopstelling zijn diverse experimenten uitgevoerd om een grondige analyse te verkrijgen van mogelijke oorzaken van geluidsproductie. De resultaten van het eerste experiment tonen een geluidsniveau van ongeveer 87 dB(A), gemeten met behulp van een dB-meter. Een tweede meting met een microfoon wijst uit dat het geproduceerde geluid zich voornamelijk onder de 200 Hz bevindt. Figuur 5 illustreert dit geluid met de daar bijhorende optredende harmonischen.



Figuur 5: Opgemeten geluid

Voor verdere analyse is eerst een diagnose gesteld van de machine om een inzicht te verkrijgen in de werking van de testopstelling. Deze diagnose omvat metingen van onbalans, uitlijning en resonantie. De resultaten wijzen op een uitlijnfout, wat mogelijks ook kan leiden tot onbalans in de testopstelling. Bovendien wordt geconcludeerd dat de afschermkap trillingen en resonanties veroorzaakt in de testopstelling, zoals in de frequentiecomponent van 125 Hz. Ten slotte is een experimentele modale analyse uitgevoerd op de afschermkap, waardoor een identificatie van de modale parameters mogelijk is. Uit deze parameters blijkt dat verschillende eigenfrequenties en modevormen voortkomen onder de frequentie van 200 Hz. Figuur 6 stelt een

gesimuleerde en praktische modevorm voor uit de experimentele modale analyse.



Figuur 6: Experimentele modale analyse

C. Optimalisatie

De optimalisatie van de afschermkap richt zich op het verplaatsen van de eigenfrequenties naar een hoger frequentiegebied. Deze verschuiving kan worden bereikt door aanpassingen te doen aan de modale parameters van de afschermkap. Zo kan door middel van het toevoegen van extra stijfheid aan het model de niet gewenste modevormen worden aangepast.

IV. BESLUIT

In dit eindwerk wordt geconcludeerd dat ontstane geluidsproductie niet wordt veroorzaakt door het roterende mes in combinatie met de afzuiging, maar eerder door de afschermkap in combinatie met de afzuiging. Diverse onderzoeksresultaten bevestigen dit fenomeen. Echter is de nieuw ontwikkelde afschermkap gebaseerd op simulaties en niet geverifieerd in de praktijk. Bovendien kan het onderzoek naar experimentele modale analyse verder worden uitgebreid om zo een nog realistischer model te ontwikkelen, met als doel een verbeterde optimalisatie te bekomen.

V. REFERENTIES

- [1] Koninklijk besluit, „koninklijk-besluit-van-16-januari-2006,” etaamb.openjustice, [Online]. Available: https://etaamb.openjustice.be/nl/koninklijk-besluit-van-16-januari-2006_n2005012770. [Geopend 05 12 2023].
- [2] ISO 20816-3, "Measurement and evaluation of machine vibration", 2022.
- [3] E. Fontes, „fem-vs-fvm,” comsol, [Online]. Available: <https://www.comsol.com/blogs/fem-vs-fvm/>. [Geopend 04 05 2024].