

## Abstract

Wrijving is een altijd aanwezig obstakel dat energieverlies in mechanische onderdelen veroorzaakt. Om deze overlast te verlichten, hebben we experimenteel onderzoek gedaan naar een gloednieuw additief genaamd Polytron om de rol van dit additief in het minimaliseren van wrijving en slijtage te beoordelen. De slijtage, de volumeslijtage, de slijtagecoëfficiënt en de wrijvingscoëfficiënt van het aluminiumoppervlak werden gemeten bij kamertemperatuur met een pin-on-disk tribometer zonder en met 10% Polytron in Helix-olie. In de basisolie Helix werden waarden gevonden van respectievelijk  $70 \mu\text{m}$ ,  $1,28 \times 10^{-3} \text{mm}^3/\text{min}$ ,  $1,27 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{N}$  en  $0,012$ , die met de toevoeging van Polytron in de Helix-olie dienovereenkomstig werden verlaagd tot  $20 \mu\text{m}$ ,  $6,08 \times 10^{-5} \text{mm}^3/\text{min}$ ,  $4,22 \times 10^{-11} \text{m}^2/\text{N}$ , en  $0,004$ . Het experimentele oordeel wijst op een ionisch karakter van het additief in die zin dat het de kristalstructuur van het metaal impregneert, waardoor een harde oppervlaktelaag ontstaat die vervolgens de slijtage en de wrijving beperkt.

## 1. Inleiding

Wanneer en waar twee oppervlakken en/of twee delen tegen elkaar bewegen in de vorm van translatie, rotatie of oscillatie, wordt er een oppositie ondervonden. Deze tegengestelde of weerstandskracht tegen beweging wordt beschreven als wrijving. In feite is wrijving een altijd aanwezige ergernis en is de echte bron van energie en vermogensverlies in elke industrie en elke activiteit. Dit kan worden gerealiseerd in ons dagelijks leven en de verschillende industrieën zoals de auto-industrie, de luchtvaart, de landbouw, de scheepvaart, de elektronica en de telecommunicatie, en zelfs de zogenaamde cosmetische industrie, en de bewegingen van de menselijke gewrichten zijn niet vrijgesteld van deze plaag op een of andere manier. Het woord frictie is afgeleid van het Latijnse werkwoord *fricare*, wat wrijven betekent. Het is interessant om te weten dat het woord tribologie, dat in 1966 door het verslag-Jost werd geïntroduceerd, is afgeleid van het Griekse woord  $\tau\rho\iota\beta\omicron\sigma$  (*tribos*), wat ook wrijven betekent. Zoals in dit rapport wordt aangegeven, werd tribologie gedefinieerd als de wetenschap en technologie van op elkaar inwerkende oppervlakken in relatieve beweging. Toch zou een betere definitie van tribologie de wetenschap en technologie van smering, wrijving en slijtage van bewegende of stilstaande delen kunnen zijn [1, 2]. Zelfs als de term tribologie moeilijk te begrijpen is voor het grote publiek, heeft het ontstaan van

computerschijfstations, micro-apparaten en nanotechnologie de wrijvingswetenschap en tribologie naar de voorste positie gedreven. Nu moeten de ontwerpers het hoofd bieden aan de uitdaging om de wrijving van op elkaar inwerkende oppervlakken in relatieve beweging te beheersen op een grootte die veel te klein is om met het blote oog te kunnen zien. Dit is het Nano mechanische apparaat en het Nano-tribologische regime waarbij de ultieme bron van wrijving wordt ervaren als van der Waals kracht en Coulomb-kracht [3, 4, 5, 6, 7]. Naast de wrijving is een geassocieerd waarneembaar feit met de langdurige mechanische beweging of wrijving van de paringsoppervlakken het wrak van de oppervlakken en het genereren van warmte en druk in de omgeving die de levensduur van de mechanische onderdelen zeker zal bekorten. Deze score van de koppelingsoppervlakken wordt aangeduid als slijtage. Het cruciale punt is het minimaliseren van de hoeveelheid slijtage en wrijving die wordt geproduceerd bij elke mechanische bewerking om mogelijke mechanische defecten te voorkomen. Het is moeilijk om de slijtage van de oppervlakken en de opwekking van warmte en druk te stoppen; maar er zijn verschillende manieren om de effecten te minimaliseren, en één daarvan is smering [7]. Een smeermiddel is elke stof die in relatieve beweging tussen twee oppervlakken wordt geplaatst met als doel de wrijving en de slijtage tussen de oppervlakken te verminderen. Over het algemeen kunnen smeermiddelen vaste stoffen, vloeistoffen of gassen zijn; maar in ieder geval verminderen ze de negatieve invloed in de bewegende delen. Naast wrijvingsreductie voeren smeermiddelen ook warmte en slijtagedeeltjes af en kunnen ze dienen als middel om corrosie-inhibitoren en biociden te verspreiden. Smeerfilms moeten de druk tussen de tegenover elkaar liggende oppervlakken ondersteunen, ze scheiden en de glij- of rolweerstand in het raakvlak verminderen. Om de wrijving te verminderen, zijn de vloeibare smeermiddelen zo geformuleerd dat chemische soorten binnenin reageren met het oppervlak van de lichamen om smeerfilms te vormen. Deze chemische stof wordt als additief genoemd. De functie van het additief is het verschaffen van een glad oppervlak plus het verminderen van de hoeveelheid slijtage; dat wil zeggen dat ze naar verwachting antifractie- en antislijtage-eigenschappen hebben. Calciumsulfonaat veroorzaakt bijvoorbeeld de vorming van beschermende lagen op sterk belaste oppervlakken. Fosfor kan reageren met wrijvingshaarden op ijzerhoudende oppervlakken en zo slijtage en wrijving verminderen. Wrijvingsmodificatoren en antislijtage-additieven aan oliën zijn het onderwerp van uitgebreid onderzoek in oliemaatschappijen. De hoeveelheid van de bovengenoemde componenten en hun Nano-afmetingen kan, afhankelijk van de toepassing, variëren in het bereik van 1-20 wt% [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]. Op dezelfde manier is opgemerkt dat de variatie in wrijving en

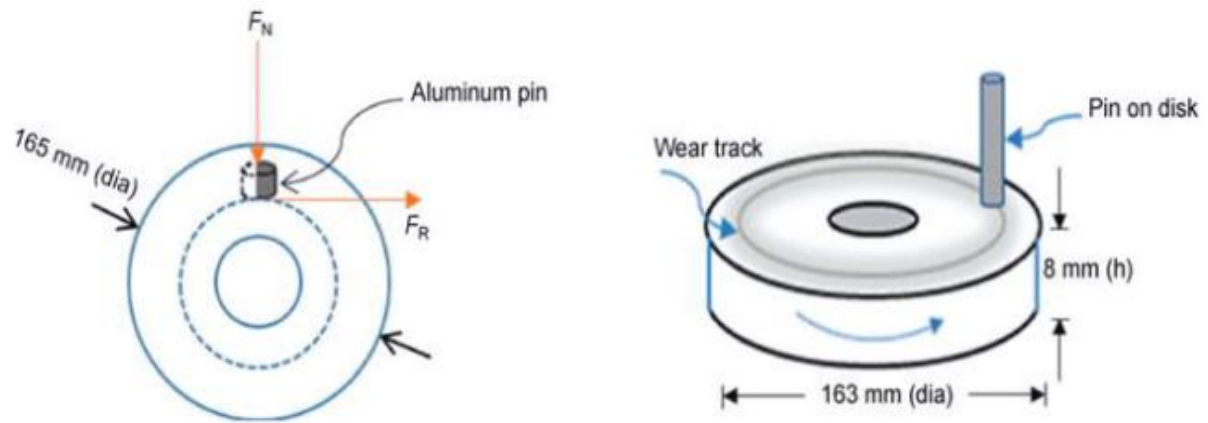
slijtage afhankelijk is van verschillende interfaciale omstandigheden. Er zijn een aantal studies in de literatuur die melden dat slijtage en wrijving voornamelijk veranderen met belasting, snelheid en/of temperatuur [16, 17, 18, 19, 20, 21, 22], oppervlakteruwheid [23, 24], materiaalsoort of paringscomponent, en andere omgevingsdynamica [25, 26, 27, 28, 29, 30]. Toch stelt een groep onderzoekers dat de wrijvings- en slijtagesnelheid variëren met de geometrie, de relatieve oppervlaktebewegingen, de oppervlakteruwheid van de wrijvingsoppervlakken, het type materiaal, de systeemstijfheid, de stick-slip, de smering, en de trillingen en/of het type additief, wat betekent dat slijtage en wrijving functies zijn van het specifieke tribosysteem [31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52]. Ook dan is in veel toepassingen het slijtagereductiemechanisme en de kwantitatieve analyse van de additieven niet goed bekend en is een grondige verkenning nog steeds onvermijdelijk. Uit een literatuuronderzoek blijkt dat er een eigenaardig en onontgonnen additief met de merknaam Polytron bestaat dat niet grondig is onderzocht door de tribologische gemeenschap.

Daarom is dit hoofdstuk gewijd aan een academisch onderzoek naar het Polytron additief. Polytron is een olieachtig vloeibaar mengsel van chemicaliën op basis van aardolie vermengd met oxidatieremmers en detergenten en gedraagt zich precies als een stabiel vet bij omgevingsdruk en -temperatuur in schril contrast met de conventionele smeermiddelen. Polytron additief is gebaseerd op aardolie en bevat dus geen vaste deeltjes; daarom is het compatibel met alle smeermiddelen die op de markt verkrijgbaar zijn, of het nu gaat om minerale, synthetische, plantaardige of dierlijke smeermiddelen. Polytron bestaat voor 80% uit para en 20% uit meta-Polytron. In dit hoofdstuk richten we ons op het metaalbehandelingsconcentraat (MTC) van Polytron dat een inherent ionisch/polair karakter heeft waardoor het wordt aangetrokken tot metalen oppervlakken en een duurzame gepolijste microscopische laag ontwikkelt door middel van een metallurgisch proces dat bestand is tegen slijtage, extreme druk en overmatige temperatuur.

## 2. Experimentele details

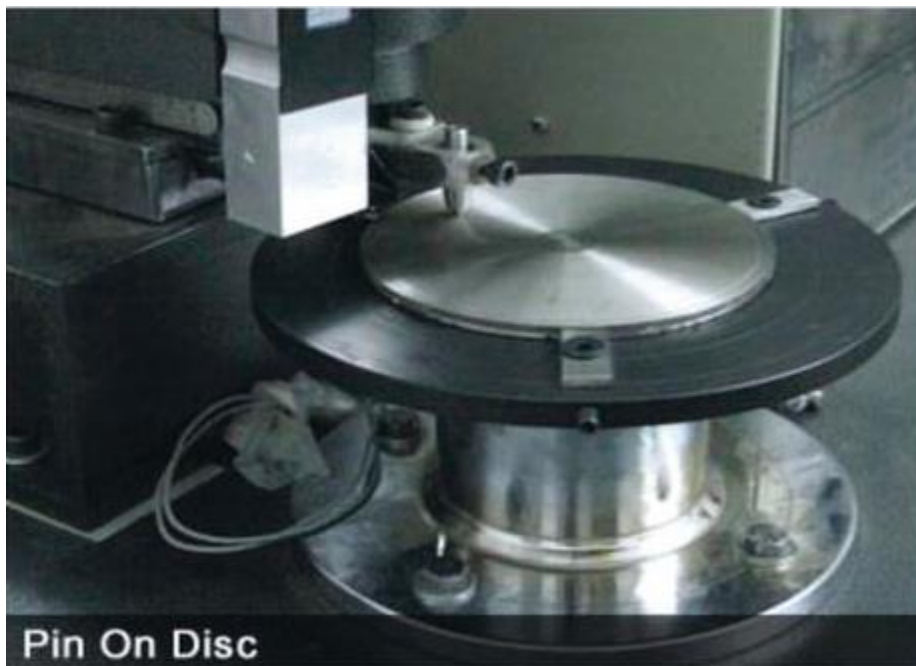
### 2.1 Tribometermachine

De slijtagetests werden uitgevoerd op een pin-on-disk tribotester (Ducom TR-20LE) slijtvastheidstestmachine. Figuur 1 geeft een schematische weergave van de pin en de schijf, terwijl figuur 2 het eigenlijke tribometerapparaat weergeeft.



Figuur 1.

Schets van de pin-on-disk. De afmetingen van de pin waren 32mm l × 10mm dia en de afmetingen van de schijf waren 8mm l × 163mm dia.



Figuur 2.

Pin-on-disk tribotester machine.

In figuur 1 staat FN voor de normaalkracht die de belasting op de aluminium pin is, terwijl FR voor de weerstandskracht staat die wrijving veroorzaakt door het schuifcontact van de aluminium pin op de stalen schijf. In afbeelding 2 is de pen stevig bevestigd aan de penhouder en vervolgens verbonden met de roterende glijschijf met de gewenste belasting die gewoonlijk wordt uitgeoefend door middel van een katrolsysteem. Het smeermiddel wordt continu uit de machine gepompt. Om de contactgeometrie te vereenvoudigen, wordt een halfronde pen gebruikt die het schijfoppervlak aan het begin van het experiment direct raakt. Een hygrometer meet de relatieve vochtigheid van de lucht in de kamer, terwijl het toerental van de roterende as die de schijf ondersteunt wordt gemeten met behulp van een toerenteller. De variatie van de wrijvingscoëfficiënt met de wrijvingstijd wordt automatisch geregistreerd. Noodzakelijke informatie met betrekking tot de roestvrijstalen schijf en de aluminium pin wordt in de tabellen 1-3 weergegeven. De aluminium pin is in feite een legering van aluminium en silicium. Bovendien worden de gegevensbladen voor de Helix-olie en het Polytron-additief in de tabellen 4 en 5 weergegeven. De gegevens en basisinformatie met betrekking tot aluminiummetaal, stalen schijf, Helix-olie en Polytron zijn ontleend aan het onderzoekswerk van Ahmer et al. [53], John [54], en Ahmer et al. [55]. Uit Tabel 5 kan men raden dat Polytron in vloeibare toestand op de markt wordt gebracht en geelachtig van kleur is en, in tegenstelling tot andere vaste toevoegingen, reukloos is. Het vlampunt ligt voorbij 200°C terwijl het kookpunt verder ligt dan 300°C en het is nauwelijks oplosbaar in water.

<b>Component</b>	<b>Specification/weight percent</b>
Disk dimensions	165 mm (diameter) × 8 mm (height)
Counter bore	M5 holes from bottom × 4 nos.
Counter bore	M5 holes from top × 4 nos.
Holes	M4 tapped holes × 2 nos.
Chemical composition (weight percent)	
Carbon (C)	≤ 0.08%
Silicon (Si)	≤ 1.00%
Manganese (Mn)	≤ 2%
Phosphorous (P)	≤ 0.045%
Sulfur (S)	≤ 0.30%
Nickel (Ni)	≤ 8 - 10.5%
Chromium (Cr)	≤ 18.00- 20.00%

Tabel 1.

Specificatie en samenstelling van de roestvrij stalen schijf (SUS304) [53, 54, 55].

Composition	Min (weight percent)	Max (weight percent)
Silicon	0.4%	0.8%
Iron	—	0.7%
Copper	0.15%	0.15%
Manganese	—	0.15%
Magnesium	0.8%	1.2%
Chromium	0.04%	0.35%
Zinc	—	0.25%
Titanium	—	0.15%
Aluminum	95.85%	98.56%

Tabel 2.

Chemische samenstelling van de aluminium pin (A390) [53, 54, 55].

Property	Alloy	
	Aluminum pin A390	Steel disk SUS304
Density	2.72 g/cm <sup>3</sup>	8000 kg/m <sup>3</sup>
Hardness	112.65 VHN	88 HB
Tensile strength	250.00	520 MPa
Yield strength	—	240 MPa
Young's modulus	—	190 GPa
Poisson ratio	—	0.27–0.30

Tabel 3.

Mechanische eigenschappen van de aluminium pin en de stalen schijf [53, 54, 55].

Property	Method	Shell Helix Ultra
SAE viscosity grade		5W-40
Kinematic viscosity		
@40°C cSt	IP 71	81.1
@100°C cSt	IP 71	14.5
Viscosity index	IP 226	187
Density @15°C (kg/L)	IP 365	0.856
Flash point PMCC (°C)	IP 34	206
Pour point (°C)	IP 15	-39
HTHS viscosity @ 150°C (mPa s)		3.68

Tabel 4

Typische fysische eigenschappen van Shell Helix Ultra-olie (5W-40) [53, 54, 55].

Physical/chemical property	Remarks
State	Liquid
Color	Yellowish clear
Smell	Odorless
Specific gravity	60/60 $\approx$ 1.00
Boiling point range	>300°C
Flash point	>200°C
Viscosity @100°F	SUS 391
Viscosity @210°F	SUS 61
Water solubility (T = 20°C)	Low
Evaporation point	Higher than ether (>34.6°C)

Tabel 5.

Datasheet van Polytron [53, 54, 55].

## 2.2 Materialen en chemicaliën

Het experimentele werk werd uitgevoerd in het Tribologisch Laboratorium van de Universiti Kebangsaan Maleisië, UKM, bij omgevingstemperatuur (300K) en druk (760mmHG) en ongeveer 70% relatieve luchtvochtigheid. Helix-olie werd gekozen als representatieve basisolie voor het experiment en het merk 5W-40 werd geleverd door Shell Oils. Het additief was Polytron MTC, dat werd geleverd door de Maleisische Vereniging van Productiviteit. We gebruikten zachte aluminium-siliciumlegering A390 en roestvrij staal SUS304 als respectievelijk pin- en schijfmateriaal. Voor de basisolievoorraad en het 10% Polytron additief plus de basisolievoorraad werden aparte tests uitgevoerd. De runs werden telkens voor 240min uitgevoerd en de slijtagesnelheden van de pin werden vervolgens berekend op basis van het gemeten gewichtsverlies. De massa en het volume van de pin werden zowel voor als na het uitvoeren van het experiment gemeten en de dataset is weergegeven in de tabellen 6 en 7.

Test variable	Assessed value
<b>Before the wear run</b>	
Material of the wear disk	Stainless steel S304
Diameter of the wear disk	80 mm
Mass of the pin	6.4480 g
Length of the pin	32.00 mm
<b>During the wear run</b>	
Speed of the wear disk	500 rpm
Time allocated	240 min $\approx$ 14,400 s
Sliding speed	2.09 m/s
Sliding distance	30.163 km $\approx$ 30,163.2 m
<b>After the wear run</b>	
Mass of the pin	6.4470 g
Length of the Pin	31.981 mm



Tabel 6.

Geregistreerde gegevens van de slijtagetest voor helixbasisolie (5W-40).

Test variable	Assessed value
<b>Before the wear run</b>	
Quantity of Helix plus Polytron	2000 mL
Load	196.2 N
Material of the pin	Al—Si alloy A390
Pin diameter	10.00 mm
Length of the pin	32.00 mm
Material of the wear disk	Stainless steel SUS 304
Diameter of the wear disk	80 mm
<b>During the wear run</b>	
Speed of the wear disk	500 rpm
Time allocated	240 min $\approx$ 14,400 s
Sliding speed	2.09 m/s
Sliding distance	30.163 km $\approx$ 30163.2 m
<b>After the wear run</b>	
Mass of the pin	6.4472 g
Length of the pin	31.996 mm

Tabel 7.

Geregistreerde gegevens van de slijtagetest voor de Helix-olie plus 10% Polytron.

### 2.3 Procedure en berekeningen

In het experiment werd een aluminium pin met een diameter van 10 mm tegen de stalen schijf geschoven. De toegepaste belasting was 20,0 kg. In eerste instantie werd 100% Helix-olie gebruikt en het volume in de gegradueerde cilinder was 2000 ml. In het tweede geval werd

90% Helix-olie met een volume van 1800 ml gemengd met 10% polytronadditief, wat neerkomt op een volume van 200 ml Polytron. Voor het uitvoeren van de test werd de schijf volledig bedekt met het smeermiddel door een constante stroomsnelheid van het smeermiddel op bijna 0,5 ml/min te houden. Het slijtvolume werd berekend aan de hand van de diameter van het slijt litteken dat door de pen wordt gegenereerd. Typische slijtage versus tijdscurves werden verkregen met behulp van MatLab software en werden polynomiaal aangebracht om de datatrend te bepalen.

Het slijtageproces wordt in het algemeen gekwantificeerd aan de hand van de slijtagesnelheid. De slijtagesnelheid wordt gedefinieerd als het volume of de massa van het verwijderde materiaal per tijdseenheid of per glijafstand. Om de buitengewone bijdrage van het Polytron-additief in het helix-smeermiddel te bepalen, hebben we drie belangrijke tribologische parameters berekend, namelijk de massa slijtage snelheid, de volume slijtage snelheid en de slijtagecoëfficiënt. De bepalende vergelijkingen voor deze parameters worden gespecificeerd door Eqs. (1-3) zoals hieronder beschreven [56].

$$\text{Mass wear rate} = m/tE1$$

$$\text{Volume wear rate} = V/tE2$$

$$\text{Wear coefficient}(k) = (V \times H) / (N \times S)E3$$

Eq. (3) is de beroemde Archard-vergelijking van de tribologie...

De wrijvingscoëfficiënt  $\mu$  is te verkrijgen uit de experimenteel verkregen gegevens. De populaire definiërende uitdrukking voor de wrijvingscoëfficiënt is zoals beschreven door Eq. (4).

$$\mu = FR/NE4$$

In de bovenstaande vergelijkingen staat de variabele m voor de versleten massa van de aluminium pin, t staat voor de tijdsspanne van de proefrun, V verwijst naar het versleten volume van de pin die het slijtagevolume wordt genoemd, H wijst op de hardheid van de schuifpin, FR is de tangentiële weerstandskracht tussen de pin en de schijf en wordt genoemd als wrijvingskracht, N is de normale belasting, en S is de schuifafstand op de schijf. Opgemerkt moet worden dat de wrijvingscoëfficiënt  $\mu$  een handige manier is om de weerstand tegen relatieve beweging tussen de oppervlakken te karakteriseren, maar het is geen materiaaleigenschap en het is ook geen fysieke constante. Het effect van het Polytron-additief

op verschillende tribologische parameters in het experiment en de berekende waarden van de bovengenoemde vergelijkingen zijn opgenomen in tabel 8.

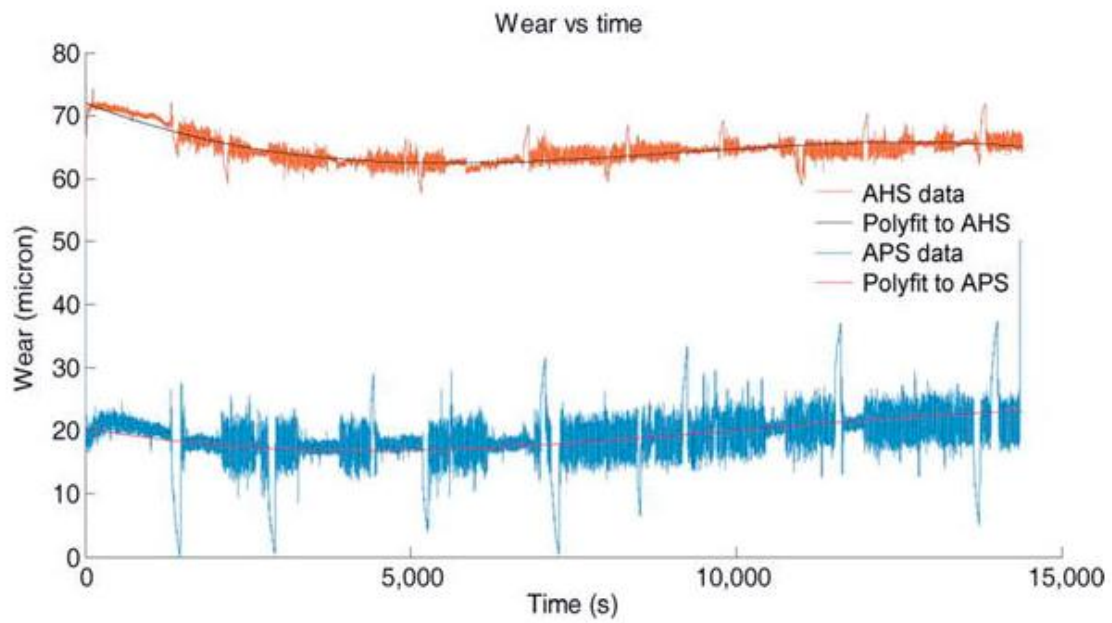
Parameter	Helix base oil (100%)	Helix oil (90%) plus Polytron (10%)
Wear	70 $\mu\text{m}$	20 $\mu\text{m}$
Mass wear rate	$3.33 \times 10^{-3} \text{ mg / min}$	$8.33 \times 10^{-4} \text{ mg / min}$
Volume wear rate	$1.28 \times 10^{-3} \text{ mm}^3 / \text{min}$	$6.08 \times 10^{-5} \text{ mm}^3 / \text{min}$
Coefficient of friction	0.012	0.004
Wear coefficient (k)	—	$4.22 \times 10^{-11} \text{ m}^2 / \text{N}$
Total mass loss	0.7992 mg	0.1992 mg
Total volume loss	0.3079 $\text{mm}^3$	0.01459 $\text{mm}^3$

Tabel 8.

Berekende tribologische parameters voor de aluminium pin.

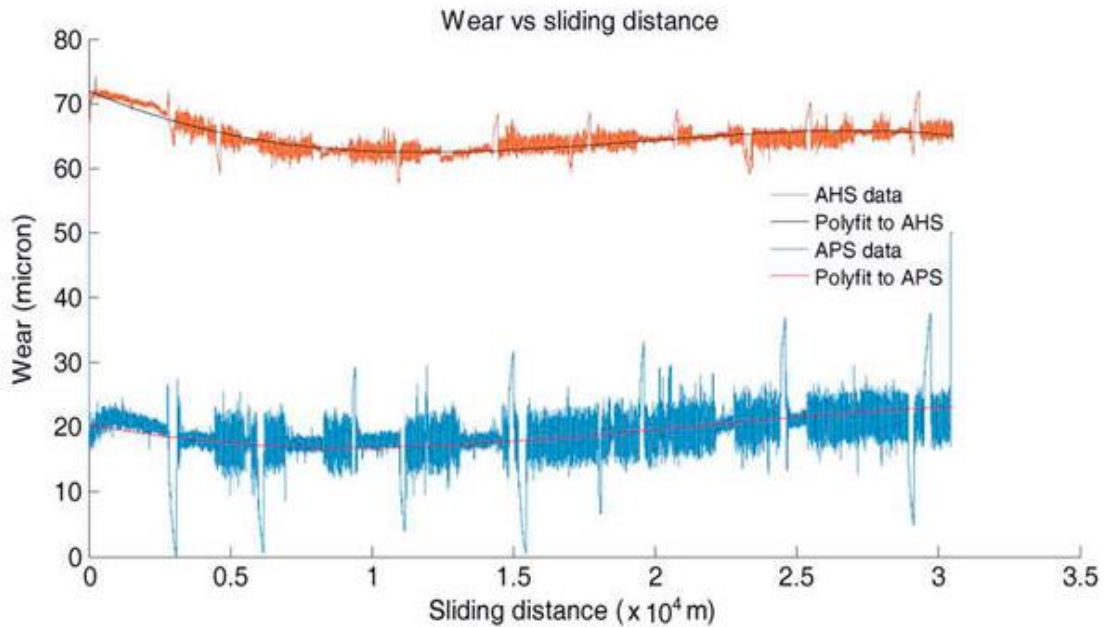
### 3. 3. Resultaten en discussie

De experimenteel verkregen gegevens en hun polynomiale pasvorm voor het slijtagegedrag van de aluminium metalen pin worden weergegeven in Figuren 3 en 4 voor twee verschillende configuraties waarin het experiment is uitgevoerd. De aangenomen testconfiguraties in het experiment waren: aluminium pin versus Helix olie-op-staal schijf, gelabeld als AHS-configuratie, en aluminium pin versus 10% Polytron plus 90% Helix olie-op-staal schijf, die in de komende discussie zal worden aangeduid als de APS-configuratie.



Figuur 3.

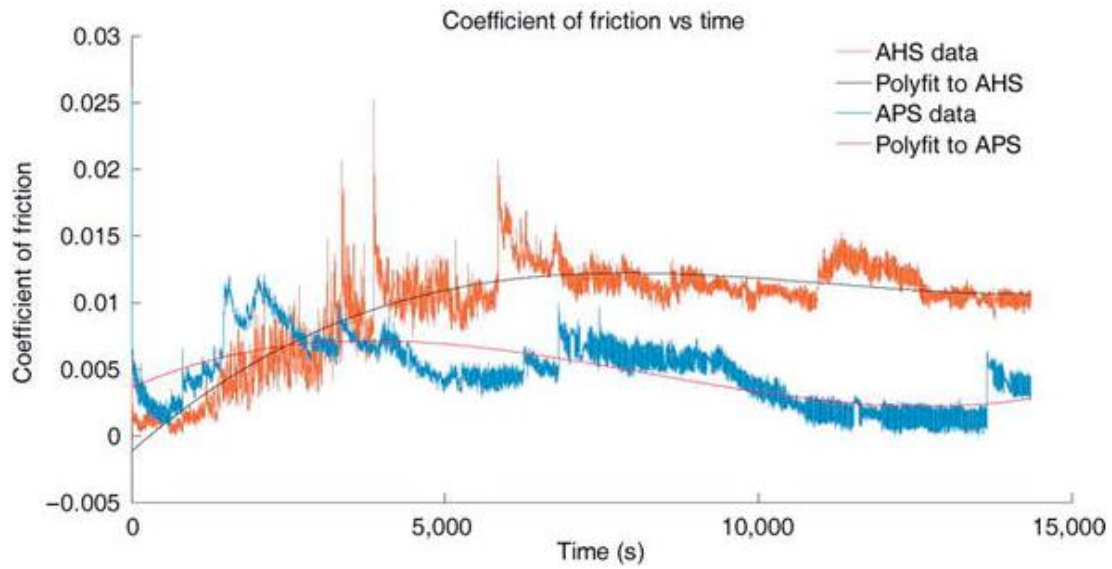
Grafiek van de slijtage van de aluminium pin ten opzichte van de tijd in de AHS- en APS-configuraties. De tijd voor het experiment was 240 min.



Figuur 4.

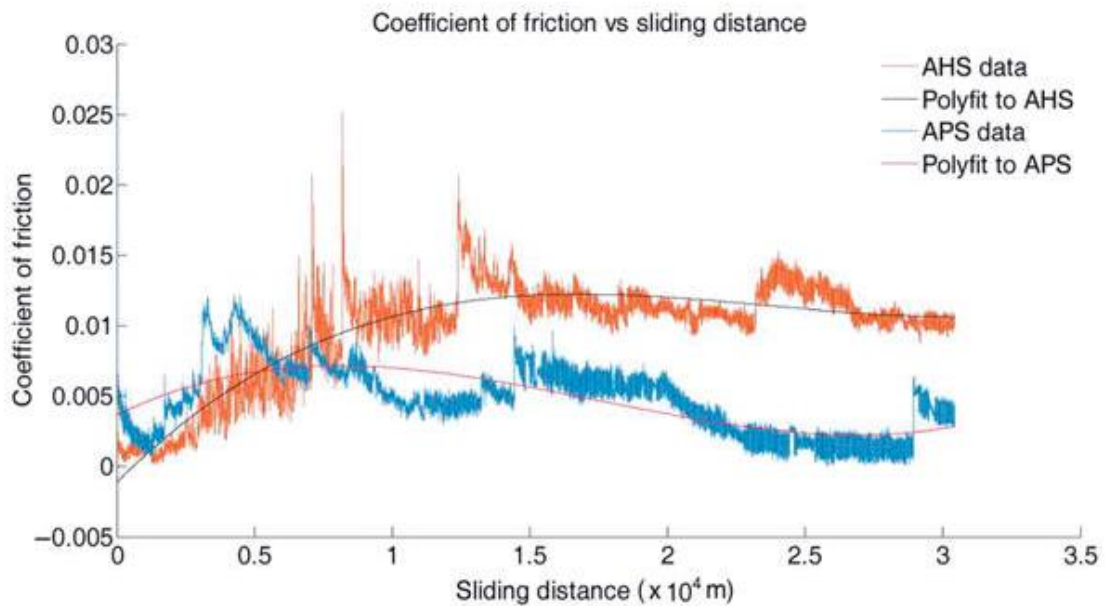
Grafiek van de slijtage van aluminium vs. schuifafstand in de AHS- en APS-configuratie. De schuifafstand voor het experiment was 30.163 km.

Figuur 3 en 4 tonen de plot van het slijtagepatroon van de aluminium pin met het verstrijken van de tijd en vervolgens de schuifafstand op de stalen schijf van het experiment in kwestie. De rode lijn geeft de slijtage in de AHS-configuratie weer, terwijl de blauwe lijn de slijtage in de APS-configuratie symboliseert. Uit deze plot blijkt duidelijk dat het Polytron additief de slijtage van het tribosysteem, bestaande uit een aluminium pin op een stalen schijf met een oliefilm van 10% Polytron en 90% Helix, uitstekend laat verlopen. Het toont aan dat de slijtage in de AHS-configuratie begint bij 70micron en vervolgens stabiliseert op ongeveer 65micron, maar in de APS-configuratie blijft de slijtage op bijna 20micron. Dan, voor dezelfde twee configuraties en onder dezelfde experimentele omstandigheden, is de evolutie van de wrijvingscoëfficiënt  $\mu$  met betrekking tot de tijdsspanne en de glijafstand uitgezet zoals weergegeven in Figuren 5 en 6.



Figuur 5.

Evolutie van de COF met de tijd in de AHS en APS configuratie. De experimentele tijd was 240 min.



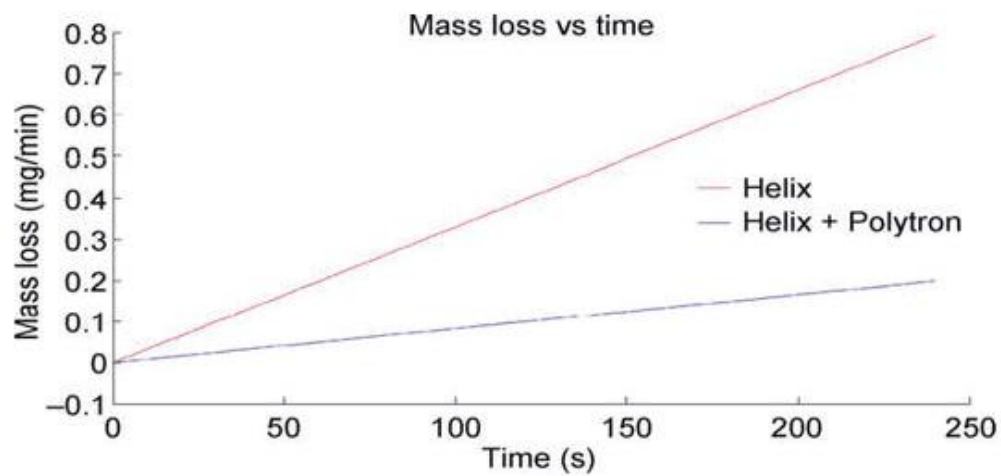
Figuur 6.

Evolutie van COF met schuifafstand in de AHS en APS configuratie. De schuifafstand voor het experiment was 30.161 km.

Uit de grafiek van de figuren 5 en 6 blijkt dat in het AHS-formaat de beginwaarde van de wrijvingscoëfficiënt bijna nul is en bijna lineair toeneemt tot een waarde van 0,012 in een tijdsspanne van 100min wrijving, waarna de COF op deze waarde stabiel staat. De lage waarde van  $\mu$  in het beginstadium van wrijven is waarschijnlijk te wijten aan de aanwezigheid van een laagje vreemd materiaal op het schijfoppervlak dat kan worden veroorzaakt door wat vocht of oxide van het aluminiummetaal omdat het gemakkelijk oxideert in de lucht. Omgekeerd begint de wrijvingscoëfficiënt in de APS-opstelling bij een waarde van 0,005 en neemt daarna verder af tot vrijwel 0,004. Het is herkenbaar dat Polytron de slijtage van de aluminium pin aanzienlijk vermindert en men kan voorspellen dat de verhouding in de APS-configuratie effectief meer dan 30% is in vergelijking met de AHS-configuratie. Ondanks het feit dat in ons experiment de normaalkracht en de glijafstand zeer grote waarden hadden in verschil met andere experimentatoren, had de geëvolueerde wrijvingscoëfficiënt toch een verwaarloosbaar kleine waarde toen schamele 10% Polytron werd toegevoegd aan 90% helix, wat op zijn beurt de positieve bijdrage van het Polytron aan de wrijvingsminimalisatie onderschreef. Deze bevindingen in ons tribologisch experiment met Polytron additief in Helix olie zijn significant superieur in vergelijking met de bevindingen van andere onderzoekers zoals Nuruzzaman en Chowdhury [57], Bhushan en Kulkarni [58], en Le en Lin [59].

Om het effect van Polytron additief verder te verduidelijken, hebben we de massa- en volumeverliezen van de aluminium pin met betrekking tot de tijd en de schuifafstand onderzocht en zijn er afzonderlijke grafieken getekend voor zowel de AHS- als de APS-configuraties. De vergelijkingsgrafieken voor de massaverliezen zijn in de figuren 7 en 8 weergegeven, terwijl de vergelijkingsgrafieken voor de volumeverliezen in de figuren 9 en 10 zijn geïllustreerd. Een diepgaand onderzoek van alle cijfers toont aan dat zowel het massaverlies als het volumeverlies niet alleen met Helix-olie kan worden gecontroleerd; het zal eerder de contactvlakken in korte tijd beschadigen, terwijl slechts een schaarse toevoeging van 10% van Polytron de massa en het volumeverlies tot bijna nul niveau reduceert. Dit is een

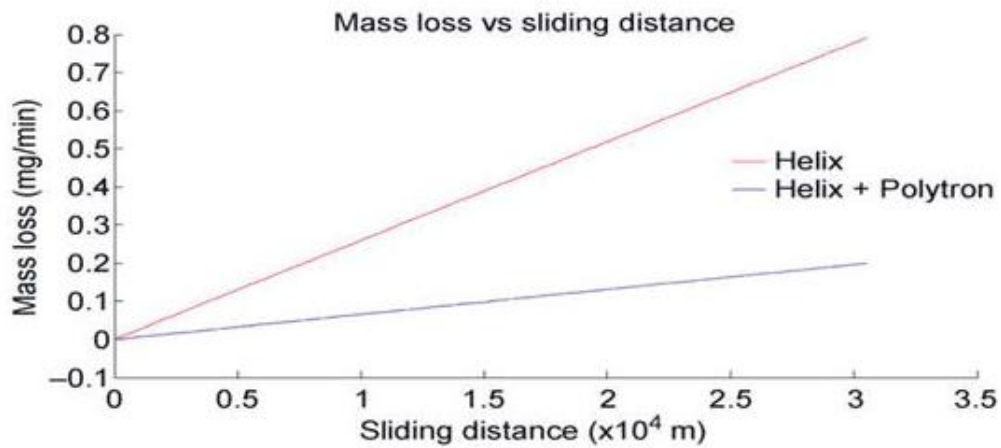
enorme verandering en is zichtbaar met het blote oog en identificeert direct het opperste antifractie- en anti slijtage vermogen van het Polytron-additief. Deze waarneming met de toevoeging van Polytron additief is vrij afwijkend van de hoge slijtageresultaten van onderzoekers zoals Suarez et al. [60] die het populaire ZDDP additief in de minerale olievoorraad bestudeerden.



Figuur 7.

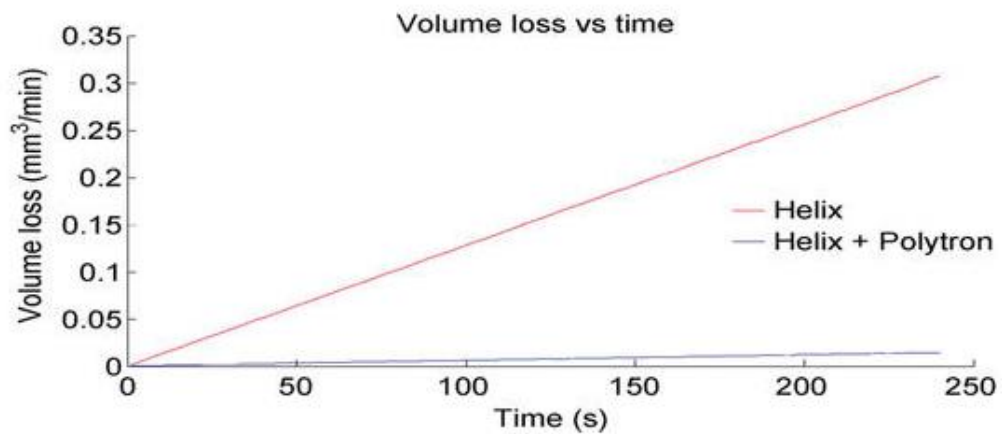
Grafiek van het massaverlies van de aluminium pin ten opzichte van de tijd voor de AHS- en APS-configuratie. De tijd van het experiment was 240 min.





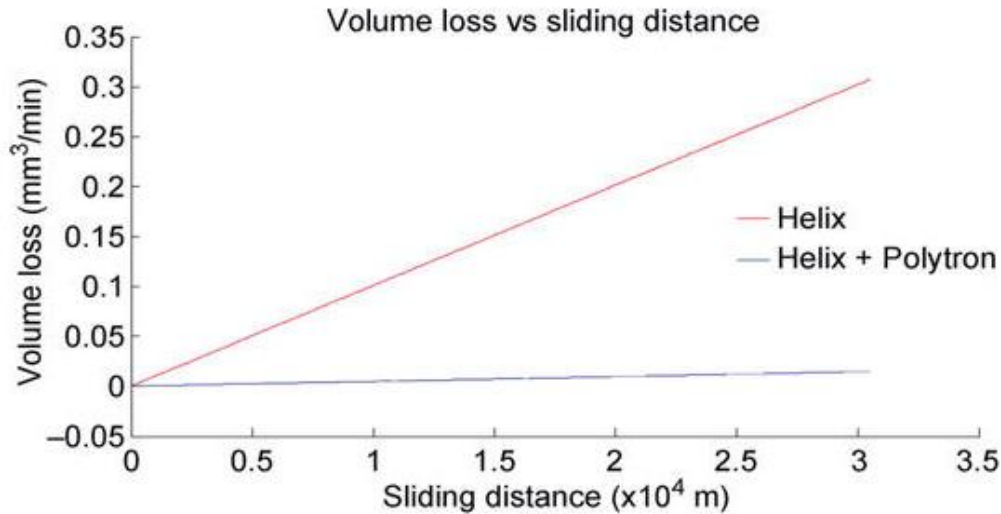
Figuur 8.

Experimentele grafiek van het massaverlies van de aluminium pin versus de schuifafstand in de AHS en APS configuratie. De schuifafstand voor het experiment was 30.161 km.



Figuur 9

Grafiek van het volumeverlies van de aluminium pin ten opzichte van de tijd in de AHS- en APS-configuratie. De tijd voor het experiment was 240 min.



Figuur 10.

Grafiek van het volumeverlies van aluminium ten opzichte van de tijd in de AHS- en APS-configuratie. De schuifafstand voor het experiment was 30.161 km.

In dezelfde geest zijn de tribologische parameters in ons onderzoekswerk veel beter dan die van Anand et al. [61] die fosforion-ionische vloeibare additieven in dieselmotor smeermiddelen gebruikten. Meer nog, de experimentele voorspellingen in ons onderzoek naar slijtage en wrijvingsvermindering zijn zelfs veel beter dan de bevindingen van Chen et al. [62] en Su et al. [63] die Nano-additieven gebruikten in verschillende smeringsmedia. Met een voordeel, tonen de berekende waarden van massa- en volumeverliezen van de aluminiumspeld aan dat polytronadditief de massaslijtagesnelheid met een orde van grootte vermindert terwijl de volumeslijtagesnelheid van aluminium met twee orde van grootte wordt vermindert en deze resultaten in volgorde slechts een nominale waarde voor de slijtagecoëfficiënt opleveren zoals kan worden opgemerkt van Tabel 8. Deze uitstekende prestatie identificeert dat Polytron het vermogen had om door te dringen in de metaalkristalstructuur van aluminium en vervolgens te hechten aan het metaaloppervlak als een onbreekbare oppervlaktelaag die de slijtage van het aluminiumoppervlak verminderde en bijgevolg de wrijving tussen de wrijvingsoppervlakken van aluminium en staal beperkte.

#### 4. 4. Conclusies

De slijtage van het aluminium metaaloppervlak in de Helix-basisolie was ongeveer 70  $\mu\text{m}$ . De toevoeging van 10% Polytron additief verminderde de slijtage tot 20  $\mu\text{m}$ , wat neerkomt op een overmaat van 2/3 vermindering in de slijtage van het metaal.

De massaslijtage van de aluminium pin in de Helix-basisolie was  $3,3 \times 10^{-3}$  mg/min, die in het Helix- plus Polytron-mengsel met een orde van grootte afnam, waardoor een waarde van  $8,33 \times 10^{-4}$  mg/min werd bereikt.

De massaslijtage van de aluminium pin in de Helix-basisolie was  $1,28 \times 10^{-3}$  mm<sup>3</sup>/min en daalde met twee orden van grootte in het Helix plus Polytron-mengsel door een waarde van  $6,08 \times 10^{-5}$  mm<sup>3</sup>/min aan te nemen.

De waarde van de wrijvingscoëfficiënt in de Helix-olie werd geschat op 0,012, wat neerkwam op een extreem lage waarde van 0,004 in de combinatie van 10% polytronadditief en 90% Helix-olie.

Polytron blijkt door zijn polaire aard een effectief anti slijtage additief te zijn in de Helix-basisolie en kan daardoor intrinsiek de wrijving in mechanische processen met orden van grootte verminderen en daarmee de levensduur van mechanische onderdelen verlengen en op zijn beurt bijdragen aan een aanzienlijke brandstof- en oliebesparing.

#### Erkenningen

De auteurs zijn verplicht aan de directie van de Universiti Kebangsaan Malaysia voor het leveren van laboratoriumfaciliteiten en zijn vooral de coöperatieve technische staf van het tribologielaboratorium dankbaar. S. M. H. Ahmer en L. S. Jan betalen speciale dank aan Dr. Mohamed Ahmed Siddig van de Al-Neelain Universiteit, Soedan, en Dr. Siti Fazlili Abdullah van de Universiti Tenaga Nasional, Maleisië, voor hun waardevolle suggesties.

#### Belangenverstremgeling

De auteurs verklaren dat er geen sprake is van belangenverstremgeling met betrekking tot de publicatie van dit document.

