

Ontwerp van een spoel met aluminium wikkeldraad voor het remsysteem van voertuigen

Wouter JANSSENS

Promotoren: Pol Coudeville

Co-promotoren: Hans De Brauer

Masterproef ingediend tot het behalen van
de graad van master of Science in de
industriële wetenschappen:
elektromechanica elektromechanica

Academiejaar 2013 - 2014

MEDEDELING

Deze eindverhandeling was een examen. De tijdens de verdediging geformuleerde opmerkingen werden niet opgenomen.

WOORD VOORAF

Eerst en vooral zou ik graag mijn buitenpromotor Hans De Brauwer, Team Leader ATP (Advanced Technology Prototyping), willen bedanken voor de consequente opvolging vanaf het prille begin tot het afsluiten van dit zeer interessante project. Dankzij zijn grote kennis van de algemene gang van zaken binnen Tyco Electronics Oostkamp zijn er geen problemen onopgelost gebleven.

Ik zou ook uitdrukkelijk Frank Hiltrop willen bedanken, Advanced Quality Engineer, Product Engineer en eerste aanspreekpunt voor alle vragen die ik tijdens mijn stage had. Zijn bereidheid om op alle momenten te helpen, zijn doordachte manier van aanpakken en uitgebreide kennis van het onderwerp waren een grote troef voor deze thesis.

Ook dhr. Pol Coudeville vormde een onmisbare schakel in het geheel. Als binnenpromotor binnen Kulab leverde hij voor mij de nodige expertise om een thesisverslag op te bouwen. Verstaanbaar voor iedereen, gestructureerd en met gebruik van het vakantieverstand waren zijn kernwoorden om mij een thesis te laten schrijven waar ik trots op ben. Een tekst die louter bedrijfsliteratuur zou geweest zijn, werd bij deze omgezet naar een leesbaar geheel.

Alle collega's binnen de muren van TE, met name de Product Engineering, de mensen van het testlabo, de operatoren van de meetkamer en de dames van de monsterbouw: zeer hartelijk bedankt! Jullie bereidheid om met volle inzet mee te werken aan dit project is om trots op te zijn.

Ook wil ik mijn familie en vrienden dank betuigen. Voor hun steun, hun begrip en geduld.

Tot slot wens ik alle mensen te bedanken die mij op één of andere manier geholpen hebben bij de realisatie van mijn eindwerk.

Deze thesis was voor mij een zeer bijzondere en uitdagende kennismaking met het bedrijfsleven en alles wat erbij hoort. Alle mensen die ik ontmoet heb tijdens deze ervaring draag ik een warm hart toe.

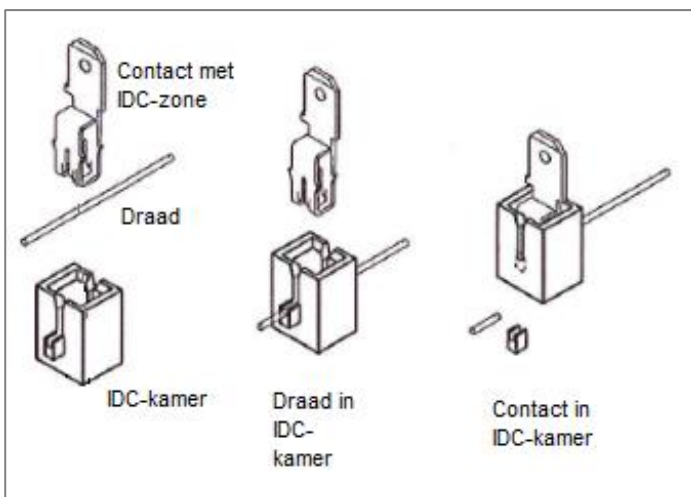
Bedankt.

SAMENVATTING

De concrete opdracht van deze thesis is het ontwerpen van een elektromagnetische spoel voor in de ABS-module van auto's die gewikkeld is met aluminium wikkeldraad. Voor TE Connectivity Oostkamp betekent dit een kostenbesparing tegenover de huidige spoelen gewikkeld met koperdraad. Ook voor het milieu en de consument is een gewichtsbesparing in de auto een goede zaak.

Aluminium beschikt niet altijd over de beste eigenschappen als elektrische geleider. Tijdens de jaren '70 werden in de Verenigde Staten aluminiumdraadgeleiders zonder voldoende kennis toegepast in de stroomvoorziening van huizen, met als gevolg risico's op brandgevaar door een slechte elektrische verbinding met elektrische componenten. Dankzij voldoende know-how van het materiaal en de IDC (Insulation Displacement Connection)-technologie is men echter in staat de voordelen van deze geleider ten volle te benutten.

Uit intern onderzoek binnen TE blijkt dat dunne aluminium geleiders duurzaam kunnen verbonden worden met behulp van IDC-technologie. Sinds de jaren '80 past men het ook toe in diverse elektrische toestellen voor consumenten.



Figuur 1: IDC-contact met een geleider (TE Connectivity, 2013)

Op voorhand werd een financiële analyse gemaakt van de kostprijs van de nieuwe spoel in vergelijking met de oude. Omdat er potentieel in zit, werd de thesis vervolgens voorgesteld.

De eisen die de automotive-industrie stelt aan zijn producten liggen op een heel wat hoger niveau dan bijvoorbeeld huishoudtoestellen. Daarom moet deze technologie, van aluminium wikkeldraad in combinatie met het IDC-systeem van TE Connectivity Oostkamp, Mag-Mate® genaamd, uitgebreid getest worden in de bestaande testfaciliteiten om te onderzoeken indien dergelijke systemen in de nabije toekomst kunnen gebruikt worden in auto's.

Deze thesis beschrijft ten eerste hoe omgegaan moet worden met aluminium als elektrische draadgeleider, de voor- en nadelen van het gebruik van aluminium t.o.v. koper en hoe men aluminium elektrisch kan verbinden.

Daarna wordt een bestaande ABS-spoel met koper wikkeldraad opnieuw gedesignd met aluminium wikkeldraad en gebeurt dit op basis van de internationaal aanwezige expertise binnen TE Connectivity. Van het nieuwe model worden ook varianten gemaakt om de invloed van diverse wijzigingen op het ontwerp te ontdekken. De nieuwe spoel wordt vervolgens ook effectief geproduceerd. Na een verificatie van het design worden de spoelen getest naar analogie van een testprogramma dat reeds werd opgesteld door de leverancier van de ABS (Anti-lock Bracking System)-modules aan de autobouwers. Tenslotte wordt er een oordeel gevormd indien aluminium wikkeldraad in combinatie met IDC-technologie effectief kan gebruikt worden.

Alle tests zijn succesvol afgerond, op basis van de voornaamste eis dat de totale DC (Direct Current)-weerstand over de spoel binnen tolerantie blijft. Verder worden nog alternatieve visuele inspecties uitgevoerd zoals X-rays om te zien of de connectie zich gedraagt zoals werd voorgeschreven. Na alle controles is men tot de conclusie gekomen dat alle spoelen nog functioneren volgens de eisen. Hierna wordt nagegaan welke van de verschillende versies van de geproduceerde spoelen het beste design heeft.

De resultaten van het testprogramma zijn positief. De verbindingstechniek is betrouwbaar genoeg om ze eventueel in de toekomst in te zetten in de auto-industrie.

ABSTRACT

De automotive-sector is een zeer competitieve sector voor de autobouwers en de toeleveranciers. Om concurrentieel te blijven wordt constant naar innovaties gezocht om de kostprijs van de producten te drukken. TE Connectivity Oostkamp stelde een thesisproject op om een spoel van een autoremsysteem te ontwikkelen met aluminium wikkeldraad i.p.v. met koper met als doel de kostprijs van een ABS-module te reduceren.

Door gebruik te maken van de IDC-technologie is men in staat om de aluminium wikkeldraad elektrisch te verbinden. Deze zorgt namelijk voor een connectie tussen de ABS-module en de spoeldraad dankzij een drukcontact. TE Connectivity heeft reeds lange tijd dergelijke drukcontacten in productie met de naam Mag-Mate®.

Het einddoel is de realisatie van een functionerende spoel met aluminium wikkeldraad die geschikt is voor gebruik in het remsysteem van voertuigen. Kan de gebruikte verbindingstechnologie voldoen aan de eisen die gesteld worden aan componenten die in de motoromgeving moeten functioneren?

Concreet wordt van start gegaan met het specificeren van de eisen waaraan de nieuwe spoel moet voldoen. Er wordt onderzoek verricht naar de theoretische achtergrond van aluminium en hoe men dit metaal kan verbinden. Hierna wordt een ontwerp gemaakt van de spoel en haar componenten. Deze spoel wordt dan ook geproduceerd. Tot slot wordt de nieuwe spoel getest naar de normen van de auto-industrie om te zien of deze voldoet aan de eisen.

Het eindresultaat van deze thesis is een functionerende spoel die voldoet aan de eisen van de klant en daarnaast ook goedkoper is. De combinatie van aluminium draad met Mag-Mate® technologie is betrouwbaar en er bestaat een mogelijkheid om deze te benutten in de toekomst.

INHOUDSOPGAVE

Mededeling	3
Woord vooraf	4
Samenvatting.....	5
Abstract.....	7
Lijst met figuren.....	15
Lijst met tabellen	21
Alfabetische lijst van gebruikte afkortingen en symbolen	23
Inleiding	24
TE Connectivity	26
1 <i>Geschiedenis.....</i>	26
2 <i>Algemene organisatie</i>	26
3 <i>Feiten.....</i>	27
4 <i>Tyco Electronics Belgium EC BVBA</i>	27
5 <i>ABS-modules EBC-450 en EBC-460.....</i>	28
Onderzoeksvraag	30
1 <i>Probleemstelling</i>	30
2 <i>Doelstelling.....</i>	30
3 <i>Methodologie.....</i>	30
Theoretische achtergrond	32
1 <i>ABS-remsysteem</i>	32
1.1 <i>Werking.....</i>	32
1.2 <i>EBC-460.....</i>	33
2 <i>Aluminium</i>	34
2.1 <i>Fysische en technische eigenschappen van aluminium</i>	35
2.2 <i>Vergelijking tussen aluminium en koper</i>	35
2.2.1 <i>Voordelen van aluminium t.o.v. koper</i>	36
2.2.2 <i>Nadelen van aluminium t.o.v. koper.....</i>	36
2.2.3 <i>Vergelijkende tabel</i>	37
2.3 <i>Aandachtspunten voor het ontwerpen met aluminium</i>	38
2.3.1 <i>Kruip</i>	38
2.3.2 <i>Galvanische corrosie</i>	38
2.3.3 <i>Treksterkte</i>	38
2.3.4 <i>Oxidatie</i>	39
3 <i>Galvanische corrosie</i>	39
3.1 <i>Vereisten voor galvanische corrosie.....</i>	39

3.1.1	Vershil in elektro potentiaal	39
3.1.2	Elektrische verbinding	40
3.1.3	Directe aanwezigheid van een elektrolyt.....	40
3.2	Invloed van de materiaaloppervlakte.....	40
3.3	Mechanisme	41
3.4	Ontwerpeisen om galvanische corrosie te vermijden.....	41
4	<i>Kruip van metalen</i>	41
4.1	Kruip algemeen.....	41
4.1.1	Theoretische beschouwingen en definities.....	41
4.1.2	Metaalroosterdefecten	42
4.1.3	Kruipproces	44
4.2	Kruip van puur aluminium	46
4.3	Algemene methoden om kruip te verminderen.....	47
4.4	Ontwerpfeatures om de negatieve invloed van kruip tegen te gaan.....	47
4.4.1	Kleinere compressieratio dan bij koper	47
4.4.2	Verend element.....	47
5	<i>Verbindingstechnieken</i>	48
5.1	Fusieverbindingen	48
5.1.1	Solderen	48
5.1.2	Brazeren	50
5.1.3	Lassen.....	50
5.2	Drukverbindingen	51
5.2.1	IDC-technologie.....	51
5.2.2	Mag-Mate®	52
Design	.....	60
1	<i>EBC-460 spoel</i>	60
1.1	Eigenschappen	61
1.2	Functionele afmetingen.....	61
2	<i>Spoeldraad</i>	62
2.1	Eisen.....	62
2.2	Geleidermateriaal : Aluminium EN AW1350a	62
2.2.1	Normering	62
2.2.2	Fysische en technische eigenschappen.....	63
2.2.3	Chemische samenstelling.....	63
2.3	Afmetingen	63
2.3.1	AWG-schaal	63
2.3.2	Berekening met Coil-calculator	64

2.4	Wikkelpatroon	64
2.4.1	Verschil tussen orthocyclisch en homogeen wikkelen.....	64
2.5	Isolatie	66
2.6	Draadspanning bij het wikkelen	66
2.6.1	Invloed van de draadspanning	66
2.6.2	Berekening van de draadspanning	67
2.7	Vergelijking tussen de oude en de nieuwe spoeldraad.....	68
3	<i>Mag-Mate®</i>	68
3.1	Gleufbreedte.....	69
3.1.1	Algemeen	69
3.1.2	Tabel met berekeningen van de compressieverhoudingen van de	69
	verschillende <i>Mag-Mates®</i>	69
3.1.3	Belang voor de verbinding	70
3.2	Hoogte van de draad in de <i>Mag-Mate®</i>	71
3.2.1	Algemeen	71
3.2.2	Invloed van de hoogte van de draad in de <i>Mag-Mate®</i>	71
3.3	Strain-relief feature	72
3.4	Platingmateriaal.....	74
4	<i>Bobijn</i>	74
4.1	Algemene afmetingen	75
4.2	Materiaal.....	75
4.3	Cavity	75
4.4	Draadbegeleiding.....	76
4.5	Vereisten voor matrijs	77
5	<i>3D-ontwerp</i>	77
6	<i>Technische tekening</i>	78
7	<i>Potting material</i>	80
7.1	Doel van het potting material.....	80
7.2	Eisen aan het potting material	80
7.3	<i>Nyogel® 760G</i>	80
7.4	Applicatie	81
8	<i>Poke-in tabs</i>	82
	Prototyping	84
1	<i>Prototype spoelen</i>	84
1.1	Eigenschappen.....	84
1.2	Doel.....	84

1.3	Technische tekening	84
1.4	Geproduceerde prototype spoel	86
1.5	Resultaten	86
1.5.1	Wikkelpatroon, draadintegriteit en vervorming van de bobijn	86
1.5.2	Totale DC-draadweerstand	86
2	<i>Kruipsimulatie</i>	87
2.1	Inleiding	88
2.2	Benodigde informatie	88
2.3	Bepalen initiële contactkracht tussen Mag-Mate® en aluminiumdraad	89
2.3.1	Doel	89
2.3.2	Werkwijze	89
2.3.3	Achtergrond	90
2.4	3D-modellen en materiaalparameters	91
2.5	Kruipparameters van zuiver aluminium	91
2.6	Verder verloop van de simulatie	91
3	<i>Tooling</i>	92
3.1	Matrijs van de bobijn	92
3.1.1	Proces van het bouwen van een matrijs	92
3.1.2	Matrijseigenschappen	93
3.1.3	Constructie	93
3.1.4	Assembly	98
3.1.5	Resultaat	100
3.2	Indruktool	100
3.2.1	Positionering van de Mag-Mates® in de cavities	100
3.2.2	Indruktool	101
4	<i>Productie van de afgewerkte spoelen</i>	103
4.1	Draadwikkeling	103
4.2	Mag-Mate® insertie	105
4.3	Poke-in insertie	106
4.4	Aanbrengen Nyogel®	106
4.5	Eindresultaat	107
5	<i>Mogelijke bouwwijzen en invloedsparameters</i>	107
5.1	Invloedsparameters	107
5.1.1	Draaddiepte	108
5.1.2	Gleufbreedte	108
5.1.3	Strain-relief Feature	108
5.1.4	Samenvatting van de invloedsparameters	109

5.2	Mogelijke bouwwijzen.....	109
6	<i>Geproduceerde spoelen</i>	110
7	<i>Verificatie van de geproduceerde eenheden</i>	112
7.1	Metingen van afmetingen en toleranties.....	112
7.2	Metingen van de draadweerstand	112
7.2.1	Tweepunts- en vierpuntsmetingen	113
7.3	Metingen van indrukdiepte	113
7.4	Lichtmicroscopbeelden.....	113
7.4.1	Voorbeelden.....	114
7.5	Schliffs.....	114
7.5.1	Wat zijn schliffs	114
7.5.2	Doel van schliffs.....	114
7.5.3	Procedure	115
7.5.4	Voorbeelden.....	116
7.6	X-rays	117
7.6.1	Inleiding.....	117
7.6.2	Voorbeelden.....	118
7.7	Magnetische inductie	119
8	<i>Voor- en nadelen van de nieuwe spoel t.o.v. de bestaande spoel</i>	120
8.1	Voordelen van de nieuwe spoel t.o.v. de bestaande spoel.....	120
8.2	Nadelen van de nieuwe spoel t.o.v. de bestaande spoel	120
	Testing	121
1	<i>Algemene controles</i>	121
1.1	Kostprijs van de spoelen	121
1.2	Gewicht van de spoelen	122
2	<i>Vorbereidingen</i>	122
2.1	Algemene voorbereidingen	122
2.2	Klempaten voor de vibratietest	122
2.2.1	Bevestigingsblok.....	122
2.2.2	Klempaten	123
2.2.3	Eigenschappen van de klempaten.....	127
2.2.4	Bouten	127
2.2.5	Assembly	128
3	<i>Testprogramma</i>	128
3.1	Vorbereiding	129
3.2	Testperiode.....	129
3.3	Niet-destructieve testen.....	129

3.3.1	Temperature Shock	129
3.3.2	High Temperature Durability Test.....	130
3.3.3	Temperature cycle.....	131
3.3.4	Random vibration.....	132
3.4	Tijdsduur van de testen volgens aantal werkdagen	133
3.5	Aantal testsamples tegelijkertijd per test.....	133
3.6	Eindtesten / destructieve testen	133
3.6.1	Treksterktetest	133
3.6.2	Wäckeltest / draadbewegingstest.....	135
3.7	Controles.....	139
3.7.1	Visuele Controle	139
3.7.2	Elektrische metingen.....	139
3.8	Testgroepen.....	140
3.9	Subgroepen / test-legs per testgroep.....	141
3.10	Overzicht.....	141
3.11	Testcyclus (uit te voeren voor alle testgroepen)	141
3.12	Waarop wordt niet getest ?.....	142
4	<i>Verloop van de testen</i>	<i>142</i>
5	<i>Testresultaten</i>	<i>143</i>
5.1	Subgroep A.....	143
5.2	Subgroep B.....	145
5.3	Subgroep C.....	147
5.4	Subgroep D	147
5.4.1	Hoogte van de spoeldraad in de Mag-Mate ®	149
5.4.2	Gleufbreedte van de Mag-Mate®	150
5.4.3	Strain-relief Feature of gewone IDC-zone.....	151
Evaluatie.....		152
1	<i>Kwaliteit van de verschillende processen.....</i>	<i>152</i>
1.1	Kwaliteit van de assemblage	152
1.2	Kwaliteit van de controles	152
1.3	Kwaliteit van de testen	152
1.4	Kwaliteit van de geproduceerde eenheden	153
2	<i>Beoordeling van de testresultaten</i>	<i>153</i>
2.1	Resultaten van de niet-destructieve testen	153
2.2	Resultaten van de destructieve testen.....	153
2.3	Toetsen van de theoretische beschouwingen aan de resultaten.....	154

3	<i>Realisatie van de doelstellingen</i>	154
3.1	Zijn de eisen overgenomen van EBC-460?	154
3.2	Is de kostprijs verminderd?	154
3.3	Is het gewicht gereduceerd?	154
4	<i>Besluit</i>	154
	Besluit	156
	Bijlagen	158
	Literatuurlijst	172

LIJST MET FIGUREN

Figuur 1: IDC-contact met een geleider (TE Connectivity, 2013)	5
Figuur 2: TE Connectivity logo (TE Connectivity, 2014).....	26
Figuur 3: Feiten en locaties van TE Connectivity (TE Connectivity, 2014).....	27
Figuur 4: ECU-module voorzien van 12 spoelen (TE Connectivity, 2012)	28
Figuur 5: HCU-module met achteraan ECU (TE Connectivity, 2012).....	29
Figuur 6: Verschillende stappen van het project.....	31
Figuur 7: ABS-remsysteem (TE Connectivity, 2012)	32
Figuur 8: ABS-remsysteem (Johnstone, 1993)	33
Figuur 9: EBC-460 ECU module met elektrische bekrachtigde spoelen (TE Connectivity, 2012).....	34
Figuur 10: Wereldproductie aluminium (Wikipedia, 2013).....	34
Figuur 11: Aluminium t.o.v. koper als geleidingsmateriaal (TE Connectivity, 2013).....	35
Figuur 12: Kostprijs van koper en aluminium (www.investing.com, 2014)	36
Figuur 13: Richtwaarden van de elektro-potentialen van de gebruikelijke metalen (TE Connectivity, 2008).....	38
Figuur 14: SCE referentie-elektrode (Wikipedia, 2013).....	40
Figuur 15: Trek-rek curves voor gelegeerd aluminium en staal	42
Figuur 16: KVG-rooster (Bonte, 2012)	43
Figuur 17: Beweging van vrije dislocaties (Bonte, 2012).....	43
Figuur 18: Vrije en niet-vrije dislocaties, op de zijkanten zijn er vrije dislocaties, hiertussen bevinden zich niet-vrije dislocaties	43
Figuur 19: Schroefdislocatie (Bonte, 2012)	44
Figuur 20: Volledig krimpproces (Chu, 2012)	45
Figuur 21: Invloed van spanning en temperatuur op het krimpproces (Fort & Ashby)	46
Figuur 22: Krimpcurve voor zuiver aluminium (S. Spigarelli, Department of Mechanics, University of Ancona, 1999).....	47
Figuur 23: Elektrolytic Series of tabel met elektrische potentialen van de metalen (Gickler, 2002).....	50

Figuur 24: Verbindingsproces van een IDC-contact (TE Connectivity, 2013)	51
Figuur 25: Mag-Mate contact.....	52
Figuur 26: Verbindingsproces van een draad d.m.v. een Mag-Mate [®] contact (TE Connectivity, 2013)	52
Figuur 27: Mag-Mate [®] in vooraanzicht en principeschets van de snijgeometrie die eerst de isolatie wegsnijdt alvorens een elektrisch contact kan gemaakt worden	53
Figuur 28: Overzicht van de onderdelen van de caviteit van een geassembleerde spoel met Mag-Mate [®]	53
Figuur 29: Indrukking van de Cu en Al-draden na verbinden met Mag-Mate [®] (Yusuke, 2012).....	54
Figuur 30: Positie van de spoeldraad in de Mag-Mate [®] (TE Connectivity, 2011)	55
Figuur 31: Principetekening van een strain-relief feature	56
Figuur 32: Gemiddelde weerstand van de terminals bij verschillende testen (TE Connectivity, 2011).	56
Figuur 33: Gemiddelde weerstand van de terminals bij verschillende testen (TE Connectivity, 2011).	57
Figuur 34: Invloed van de gleufbreedte bij een draaddiameter van 1 mm (Yusuke, 2012).....	58
Figuur 35: Invloed van de gleufbreedte op de contactkracht van de Mag-Mate [®] op de draad (Yusuke, 2012).....	59
Figuur 36: EBC-460 spoel zonder en met fluxring om de elektromagnetische stromen te bundelen en dus de inductie te versterken.....	60
Figuur 37: Wikkelpatroon van de EBC-460 spoel*	61
Figuur 38: Functionele afmetingen van de EBC-460 spoel.....	61
Figuur 39: Praktische wikkeldraad.....	64
Figuur 40: Orthocyclisch en homogeen wikkelschema	65
Figuur 41: Wikkelpatroon van de nieuwe aluminium spoel.....	65
Figuur 42: Mag-Mate [®] contact.....	68
Figuur 43: Verschillende gleufbreedtes van de Mag-Mates [®] (links heeft een kleinere gleufbreedte dan rechts).....	71
Figuur 44: Verschillende insertiedieptes van de wikkeldraad.....	72
Figuur 45: Oorspronkelijk design van de Mag-Mate [®] met twee elektrische connectiepunten.....	73
Figuur 46: Ontwerp met een strain-relief feature om de draad vast te klemmen op de isolatie in één van de vorken	74

Figuur 47: Algemene afmetingen van de nieuwe bobijn	75
Figuur 48: Cavities voor beide Mag-Mates® en beide draaduiteinden.....	76
Figuur 49: Rillenpatroon voor de eerste laag spoelwikkelingen (Ocket, 2011)	76
Figuur 50: Wikkelingen en draadbegeleiding van de bobijn met telkens linksboven de twee wikkelblokjes	77
Figuur 51: 3D-ontwerp van de bobijn.....	78
Figuur 52: Structuur van een polyalphaolefin (PAO) (ExxonMobil Chemical, 2009).....	81
Figuur 53: Applicatie van de Nyogel® 760G	82
Figuur 54: Figuren ter verduidelijking van de plaatsing van de gaten om de Nyogel® aan te brengen.	82
Figuur 55: Poke-in tabs voor in Mag-Mate® terminals (TE Connectivity, 2013)	83
Figuur 56: Prototype-spoel.....	86
Figuur 57: Weerstandsmetingen van de wikkeldraad van de prototype spoelen	87
Figuur 58: Contactkracht F op de spoeldraad (Tyco Electronics, 2010)	89
Figuur 59: Contactoppervlakte (Ac) van de spoeldraad (Tyco Electronics, 2010).....	89
Figuur 60: Theoretische kracht-indrukking beschouwing van de Mag-Mate® en de wikkeldraad	90
Figuur 61: Alternatieve methode om de indrukking van de wikkeldraad door de Mag-Mate® na te bootsen.....	91
Figuur 62: Bouwproces van de matrijs	92
Figuur 63: Cavity en core kanten	94
Figuur 64: Overzicht matrijsdelen i.f.v. het product	95
Figuur 65: Sprue en gate met afmetingen.....	96
Figuur 66: Positie en grootte van de ejector pins	96
Figuur 67: Analyse van de wanddikte van de bobijn.....	97
Figuur 68: Verwisselbaar deel in de kern	97
Figuur 69: Aanzicht vanuit de cavity op de core	98
Figuur 70: Insetstuk in de cavity voor de binnendiameter van de bobijn.....	98
Figuur 71: Schuiven om de ondersnijdingen op te vangen	99
Figuur 72: Volledige matrijsassemblage.....	99

Figuur 73: Geproduceerde bobijnen net na de eerste spuitgietingen	100
Figuur 74: Positie van de Mag-Mate® na het indrukken	101
Figuur 75: Indruktool met bobijn en een Mag-Mate®	102
Figuur 76: Indruktool in close-up zijaanzicht met bobijn	102
Figuur 77: Indruktool met spoel bevestigd op een manuele pers met tweehandsbediening	103
Figuur 78: Mechanisme om spoeldraad op de juiste wikkelspanning te houden.....	104
Figuur 79: Draadwikkelmachine met teller om aantal wikkelingen te tellen (TE Connectivity, 2012)	105
Figuur 80: Resultaat in bovenaanzicht van na het wikkelen van de bobijnen	105
Figuur 81: Pers/Knacker met daarop de indruktool en een spoel	106
Figuur 82: Nyogel® 760G (Nye Synthetic Lubricants, 2005).....	106
Figuur 83: Eindresultaat na de assemblage van de verschillende delen ; rood en geel zijn één geheel en zijn de wikkelingen van de spoeldraad, de Mag-Mates® zijn eveneens rood en de poke-ins zijn blauw	107
Figuur 84: De anvil bepaalt de draadhoogte, de wikkeldraad loopt in het vlak	108
Figuur 85: Figuur A is het originele model, figuur B bezit een strain-relief feature (TE Connectivity, 2013).....	109
Figuur 86: Overzicht van de verschillende gebruikte Mag-Mates®.....	110
Figuur 87: Overzicht van de verschillende gebruikte bobijnen	111
Figuur 88: Verschillende ontwerpparameters.....	112
Figuur 89: Links de tweepuntsmeting, rechts de vierpuntsmeting om weerstanden op te meten (Wikipedia, 2013)	113
Figuur 90: Microscopbeeld van een omgekeerde Mag-Mate® met de verbonden wikkeldraad	114
Figuur 91: Microscopbeeld van de wikkeldraad die ontdaan is van zijn isolatie door de verbinding met de Mag-Mate®	114
Figuur 92: Vlaktafel om schlijfs te vlakken (TE Connectivity, 2012).....	115
Figuur 93: Lichtmicroscop om schlijfs te bekijken (TE Connectivity, 2012)	115
Figuur 94: Volledige schliff	116
Figuur 95: Beschrijving van de snijvlakken van de schliff.....	116
Figuur 96: Close-up van een schliff (1) met de dwarsdoorsnede van de wikkeldraad.....	117

Figuur 97: Close-up van een schliff (2) met de dwarsdoorsnede van twee Mag-Mates®	117
Figuur 98: Toestel om X-rays mee te maken (TE Connectivity, 2012).....	118
Figuur 99: X-ray van het vooraanzicht van een Mag-Mate® in een caviteit met bijhorende spoeldraad	118
Figuur 100: Zij-aanzicht van een X-ray van een Mag-Mate® met bijhorende spoeldraad. De spoeldraad ligt tussen de vorken van de Mag-Mate®	119
Figuur 101: Magnetisatie van ijzer d.m.v. de polarisatie van de gebieden van Weiss.....	119
Figuur 102: Principeschets van de oude spoel en de nieuwe spoel met hun respectievelijke fluxringen	120
Figuur 103: Verdeling van de kostprijs van een ABS-module.....	121
Figuur 104: Bovenste klemplaat voor vibratietest	123
Figuur 105: Onderste klemplaat voor vibratietest	125
Figuur 106: Assembly van trilblok, klemplaten en vastgezette spoelen	128
Figuur 107: Thermoshock-kast (TE Connectivity, 2012).....	130
Figuur 108: Oven voor de temperature durability test (TE Connectivity, 2012).....	131
Figuur 109: Temperatuur-cyclus kast (TE Connectivity, 2012).....	131
Figuur 110: Shakertoestel met daarop een vibratieklemblok gemonteerd (TE Connectivity, 2012)...	132
Figuur 111: Treksterkte-meting.....	133
Figuur 112: Treksterkte-meting (Deutsches Institut für Normung e.V. , 1995).....	133
Figuur 113: Treksterkte meting	134
Figuur 114: Trekbank waarop de treksterketest wordt uitgevoerd (TE Connectivity, 2012)	134
Figuur 115: Draaicirkel met gemonteerde spoel.....	135
Figuur 116: Praktische opstelling van de Wäckeltest.....	137
Figuur 117: Draadbewegingstest (Deutsches Institut für Normung e.V. , 1995).....	138
Figuur 118: Micro-ohmmeter met mogelijkheid tot vierpuntsmeting (TE Connectivity, 2012)	139
Figuur 119: Theoretische vierdraadsmeting waaruit de contactweerstand wordt berekend	140
Figuur 120: Overzicht van de groepen waarin de geproduceerde spoelen onderverdeeld worden ...	141
Figuur 121: Schematische weergave van de testcycli van de verschillende test-legs of subgroepen .	142

Figuur 122: Weerstandswaarden van subgroep A	143
Figuur 123: Individuele weerstandswaarden van de testgroepen van subgroep A.....	144
Figuur 124: Weerstandswaarden van subgroep B	145
Figuur 125: Individuele weerstandswaarden en eigenschappen van de testgroepen van subgroep B	146
Figuur 126: Treksterkte-testresultaten van subgroep C.....	147
Figuur 127: Invloed van de draadhoogte op de verbindingsterkte	149
Figuur 128: Invloed van de gleufbreedte op de verbindingsterkte	150
Figuur 129: Invloed van een strain-relief feature op de verbindingsterkte	151
Figuur 130: Bedrijfsindeling Tyco Electronics Belgium EC BVBA (TE Connectivity, 2013).....	158
Figuur 131: Print-out van de verkregen gegevens uit de Coil-calculator (Ocket, 2011)	160
Figuur 132: Print-out van het wikkelpatroon volgens de coil-calculator (Ocket, 2011)	160
Figuur 133: Berekening van de compressieverhoudingen bij verschillende Mag-Mates® en verschillende draaddiameters deel 1	161
Figuur 134: Berekening van de compressieverhoudingen bij verschillende Mag-Mates® en verschillende draaddiameters deel 2	162
Figuur 135: Meetrapport van externe firma die spuitgietingen uitvoerde.....	163
Figuur 136: Resultaten van de interne meetopdracht van de uiteindelijke bobijnen	164
Figuur 137: Metingen van de insertiediepte van de Mag-Mates®	165
Figuur 138: Weerstandswaarden van subgroep A	166
Figuur 139: Weerstandswaarden van subgroep B	167
Figuur 140: Referentietabel van de geproduceerde spoelen.....	171

LIJST MET TABELLEN

Tabel 1: Fysische en technische eigenschappen van aluminium (Alu Menziken, 2004)	35
Tabel 2: Eigenschappen van aluminium en koper (Atlas Steels, 2010) (Elektrisola, 2010) (Wikipedia, 2013).....	37
Tabel 3: Verschillende soldeersels die geschikt zijn voor aluminium (Wikipedia, 2013)	49
Tabel 4: Verbreding [mm] van de gleuf na insertie van de Mag-Mate® (Yusuke, 2012)	58
Tabel 5: Eigenschappen van de EBC-460 spoel*	61
Tabel 6: EN-normering van aluminium.....	62
Tabel 7: Fysische en technische eigenschappen van EN AW-1350a (Atlas Steels, 2010)	63
Tabel 8: Chemische samenstelling van EN AW-1350a (Atlas Steels, 2010).....	63
Tabel 9: Wikkeleigenschappen van de nieuwe aluminium spoel.....	65
Tabel 10: Eigenschappen van het isolatiemateriaal (Elektrisola, 2010)	66
Tabel 11: Vergelijking tussen de oude en de nieuwe spoeldraad*	68
Tabel 12: Berekeningen van de compressieverhoudingen van de verschillende Mag-Mates® voor een Al-draad van 26,5 AWG	70
Tabel 13: Algemene afmetingen van de nieuwe bobijn.....	75
Tabel 14: Matrijseigenschappen	93
Tabel 15: Overzicht van de eigenschappen van de 180 geassembleerde spoelen.	111
Tabel 16: Gewichten van de nieuwe spoelen en de bestaande spoelen	122
Tabel 17: Minimale tijdsduur van de testen in aantal werkdagen	133
Tabel 18: Aantal testsamples dat tegelijkertijd wordt getest	133
Tabel 19: Verschillende testgroepen.....	140
Tabel 20: Test-legs per testgroep	141
Tabel 21: Tabelweergave van de volgorde van de testen in de testcycli van de verschillende test-legs	142
Tabel 22: Eigenschappen van de testgroepen van subgroep A.....	144
Tabel 23: Eigenschappen van de testgroepen van subgroep B.....	146

Tabel 24: Meetwaarden van de testgroepen van subgroep D.....	148
Tabel 25: Eigenschappen van de testgroepen van subgroep D	148
Tabel 26: Volledige tabel met elektro-potentialen (CalQlata, 2012).....	159

ALFABETISCHE LIJST VAN GEBRUIKTE AFKORTINGEN EN SYMBOLEN

a	Verhouding tussen draaddiameter en gleufbreedte van de Mag-Mate®
ABS	Anti-lock Braking System
Al	Aluminium
AWG	American Wire Gauge (bepaalt de diameter van de draad)
Bobijn	Bobijn (deel waarop een draad gewikkeld wordt)
Caviteit	Geometrie van de kunststof bobijn waarin eerst de draad wordt geplaatst en vervolgens de Mag-Mate®
CMM	Coördinatenmeetmachine
Cu	Koper
DC	Direct Current (gelijkstroom)
EBC-460	De spoel of het ABS-systeem waarop het ontwerp van de nieuwe spoel gebaseerd is
EBD	Electronic Brakeforce Distribution (systeem dat de remkracht verdeelt over de wielen)
ECU	Electrical Control Unit
HCU	Hydraulic Control Unit
IDC	Insulation Displacement Connection
IEC	International Electrotechnical Commission: commissie die normen ontwikkelt inzake veiligheid van elektrische apparatuur
In	Indium
k	Compressieverhouding, $k = 1-a$
KVG	Kubisch Vlak Gecenterd (metaalrooster)
Plating	Coating, laag op de oppervlakte van een structuur
SCE	Standard Calomel Electrode
SHE	Standard Hydrogen Electrode
RMS	Root-Mean-Square (kwadratische gemiddelde)
Sn	Tin
TE	Tyco Electronics

INLEIDING

Het eindwerk wordt uitgevoerd in samenwerking met en op locatie van Tyco Electronics Belgium EC BVBA te Oostkamp, West-Vlaanderen. Het bedrijf bezit een eigen productie-afdeling, en tevens een R&D/engineering-afdeling. Het is onderdeel van de TE Connectivity groep dat elektrische connectoren maakt. De vestiging te Oostkamp ontwerpt en bouwt ABS-modules voor auto's alsook elektrische connectoren voor de automotive-industrie.

De centrale vraag die deze thesis behandelt, is: Kan men op langere termijn gebruik maken van elektromagnetische spoelen voor auto's waarbij de wikkeldraad van aluminium is en waarbij de verbinding van de geleider met de rest van de module via Mag-Mate®-contacten gebeurt?

Waarom deze thesis?

- Indien het nieuwe ontwerp succesvol blijkt, kan dit een grote impact hebben voor het bedrijf en voor het milieu.
- Alle aspecten van een project, van opstart tot conclusie, komen aan bod en zijn daarmee een voorbeeldtype voor wat men later in het bedrijfsleven kan verwachten.
- Er wordt gewerkt met concrete doelstellingen en deadlines, het project verloopt dus zeer gestructureerd en men heeft overzicht over de situatie.
- De automotive-industrie is een boeiende, snel veranderende industrie die een grote impact heeft op het dagelijkse leven van iedereen en waarin innovatie zeer belangrijk is.

Wat is het belang van het project?

- Voor het bedrijf: men wil weten of in de toekomst rekening moet worden gehouden met Mag-Mate®-technologie gecombineerd met aluminium wikkeldraad. Daarbij is er mogelijk een kostenbesparing op langere termijn.
- Voor het milieu: het reduceren van het gewicht van voertuigen zorgt voor minder brandstofverbruik en een lagere uitstoot van schadelijke gassen.
- Voor maatschappij: hoe minder brandstofverbruik er is, hoe goedkoper voor de eindgebruiker.
- Voor mezelf: het is een eerste ervaring en belangrijke stap in het bedrijfsleven als ingenieur. Het is een leerproces van de belangrijkste grote stappen van een project.

Dit onderwerp behandelt het onderzoek, het ontwerp en het verwezenlijken van een spoel met aluminium wikkeldraad.

Het eindwerk start met een literatuurstudie over aluminium, haar eigenschappen, en hoe het materiaal kan verbonden worden. Deze studie dient als achtergrondinformatie om vervolgens te gebruiken bij het ontwerp van een nieuwe spoel dat gebaseerd is op een bestaande spoel. Dit gebeurt tijdens de design fase. Daarna worden de nodige voorbereidingen getroffen voor het maken van de nieuwe spoel en wordt ze geassembleerd in TE Oostkamp. Er worden ook enkele varianten gemaakt om de invloed van sommige ontwerpparameters uit te testen. Om uit te zoeken of de nieuwe spoel al dan niet geschikt is voor gebruik in auto's wordt er een testprogramma opgesteld op basis van de

eisen van bestaande spoelen. Dit testprogramma wordt in TE Oostkamp gedurende enkele weken uitgevoerd. Tijdens en na het testprogramma wordt gecontroleerd of de spoelen nog voldoen aan de vooraf opgestelde eisen. Na afloop van het testprogramma wordt geconcludeerd, op basis van de bekomen resultaten in verband met de betrouwbaarheid van de spoelen, of de opgegeven doelstellingen van de thesis bereikt zijn.

TE CONNECTIVITY

TE Connectivity Ltd. biedt oplossingen voor de verbinding en bescherming van elektrische componenten voor data en vermogens. Dit internationale bedrijf levert producten en diensten in meer dan 150 landen voor de automotive-industrie, datacommunicatie, consumer electronics en aerospace, defense and marine, medical, energy en lighting. De hoofdzetel is gevestigd in Zwitserland voor de corporate en in de VS voor de executive. In 2011 bedroeg de totale omzet 14,3 miljard USD.



Figuur 2: TE Connectivity logo (TE Connectivity, 2014)

Er werken ca. 90 000 werknemers, verspreid over 50 landen.

1 GESCHIEDENIS

TE Connectivity is ontstaan uit Tyco International. Op 29 juni 2007 splitste Tyco International op in Tyco Electronics Ltd. en Covidien. Op 10 maart 2011 veranderde Tyco Electronics haar naam naar TE Connectivity.

2 ALGEMENE ORGANISATIE

TE Connectivity biedt zijn diensten aan op vier grote markten (onderstaande cijfers dateren van 2011):

- Automotive (31 %)
- Broadband connectivity (26 %)
- Energy and Industrial (29 %)
- Consumer (14 %)

De verkoop volgens regio :

- EMEA (Europe, Middle-East and Africa) (35%)
- Amerika (32%)
- Azië (zonder China) (18%)
- China (15 %)

3 FEITEN



Figuur 3: Feiten en locaties van TE Connectivity (TE Connectivity, 2014)

4 TYCO ELECTRONICS BELGIUM EC BVBA

In 1961 wordt de Siemens plant in Oostkamp opgericht door Siemens AG. Daar is sinds 1977 de ontwikkeling van elektromechanische componenten geconcentreerd. Op dat moment werken er ongeveer 2500 mensen. In 1999 wordt de site overgekocht door Tyco Electronics, een subdivisie van Tyco International. De naam wordt veranderd naar Tyco Electronics Belgium EC NV. In 2007 wordt de naam gewijzigd in TE Connectivity, naar de specialiteit van het bedrijf, het maken van elektrische connectors.

“Wij zijn een klantgericht bedrijf dat totaaloplossingen (van idee tot realisatie) aanbiedt op basis van een unieke mix van competenties op het gebied van elektronische interfaces.” (Tyco Electronics, 2010)

Vandaag is Tyco Electronics Belgium EC BVBA een klantgericht bedrijf (van idee tot realisatie) door veel competentie op het gebied van elektronische interfaces. Er worden vooral elektromechanische componenten voor de automobielsector ontwikkeld en vervaardigd zoals airbagstekkers, ABS-modules, motorstekkers enz. De voornaamste klanten uit de automotive zijn BMW, VW, PSA, Mercedes, Jaguar, Porsche..., maar het bedrijf levert diensten aan voor bijna elke rondrijdende auto. Tien procent van de omzet bestaat uit componenten voor de communicatiebranche (o.a. GSM connectoren en computer toepassingen) voor Nokia, Siemens, Sony-Ericsson, Samsung e.d.

Tyco Electronics Belgium EC BVBA heeft enkele grote troeven in handen. De site in Oostkamp heeft zowel een productieplant als een eigen engineering afdeling. Zo kan het volledig proces van concept tot serieuropductie van dichtbij worden opgevolgd. Bovendien is ze een deel van TE Connectivity Ltd. waardoor ze kan rekenen op veel resources zoals kapitaal, infrastructuur en know-how.

Vandaag werken ongeveer 750 mensen in Oostkamp, waarvan 500 arbeiders en 250 bedienden. Er wordt een jaaromzet gegenereerd van USD 150 miljoen. De bedrijfsindeling vindt men op fig. 130.

5 ABS-MODULES EBC-450 EN EBC-460

De ABS-modules EBC-450 en EBC-460 zijn zogenaamde Advanced Braking Modules. Zij verzorgen alle gedragingen van de remmen bij variërende wegomstandigheden. Dus ook o.a. Electronic Stability Control, Adaptive Cruise Control en tractiecontrole.

Een ABS-module bestaat uit een ECU (Electronic Control Unit) en een HCU (Hydraulic Control Unit). De ECU wordt in Tyco Electronics Oostkamp gebouwd, de HCU wordt door het bedrijf TRW vervaardigd.

De ECU bevat de printplaat, de connector naar de computer van het voertuig en uiteraard de spoelen die elektrisch bekrachtigd worden om de kleppen van de HCU te bedienen. Op hun beurt bedienen deze kleppen de druk in de remleiding van het voertuig om aldus het weggedrag aan te passen.



Figuur 4: ECU-module voorzien van 12 spoelen (TE Connectivity, 2012)



Figuur 5: HCU-module met achteraan ECU (TE Connectivity, 2012)

In de overmolding lijn wordt de basismodule gespoten en de dichting via dispensing aangebracht. In de eindassemblage lijn worden de inductieve spoelen geproduceerd d.m.v. hoogsnelheidswikkelen en geïntegreerd in de basismodule via diverse technologieën (hotstaking, ultrasonic welding, resistance welding, ...).

Elke module is waterdicht en voorzien van 8 tot 12 inductieve spoelen. Indien nodig kan deze module samen met de inductieve spoelen aangepast worden aan de eisen van de klant. Van deze modules zijn aldus per automerk varianten beschikbaar.

Per jaar worden 1 200 000 onderdelen geproduceerd (Tyco Electronics, 2010).

ONDERZOEKSVRAAG

1 PROBLEEMSTELLING

Koper geldt als de standaard voor elektrische geleidingen. Omwille van de goede geleidbaarheid en goede mechanische en thermische eigenschappen wordt koper in de meeste inductieve systemen toegepast. De stijgende koperprijs, die bovendien sterk fluctueert, verplicht ontwerpers ertoe om steeds meer met alternatieve materialen, zoals aluminium, te werken. Bovendien worden steeds meer nieuwe technologieën op de markt gebracht die het gebruik van aluminiumgeleiders eenvoudiger maken. Zuiver aluminium heeft verschillende voordelen tegenover koper. Aluminium heeft een driemaal lagere dichtheid en ook de kostprijs ligt lager en is stabiel. De minpunten bij het gebruik van dit interessante metaal zijn echter de hogere specifieke weerstand en de slechtere mechanische, thermische en chemische eigenschappen. Toch is de uitdaging vooral een antwoord te vinden op de volgende vraag: hoe kan men aluminium efficiënt en betrouwbaar elektrisch verbinden met de andere metalen uit de ECU van een voertuig? Pas dan kan men immers het potentieel van dit metaal beginnen te benutten. Op voorwaarde natuurlijk dat men rekening houdt met enkele cruciale ontwerpvereisten van aluminium omdat die zwaar zullen doorwegen op het design van de spoel.

2 DOELSTELLING

Het einddoel van deze thesis is het ontwerpen en met succes testen van een spoel met aluminium wikkeldraad die geschikt is voor gebruik in het remsysteem van auto's. Het is niet de bedoeling om de ontwikkelde spoel in de bestaande ABS-module van een voertuig te integreren. Wel om te voldoen aan de eisen die gesteld worden aan componenten die in de motoromgeving moeten functioneren.

3 METHODOLOGIE

Het project start met de probleemstelling. Concreet definiëren van het doel en welke eisen daarbij worden gesteld. Ook worden eventuele moeilijkheden al aangeduid. Gaandeweg zullen extra eisen worden bepaald waaraan het ontwerp zal moeten voldoen.

De eerste stap is een literatuurstudie. Deze literatuurstudie zorgt voor de nodige theoretische achtergrond, nodig om een functioneel ontwerp met aluminium te maken. Deze informatie dient bovendien als basis om te bewijzen dat Mag-Mate®, de technologie is die moet toegepast worden om de spoeldraad elektrisch te verbinden met de ECU. Concreet is er als volgt te werk gegaan. Ten eerste wordt onderzoek gedaan naar de technische kant van aluminium en de specifieke metallurgische eigenschappen van dit materiaal. Vervolgens wordt nagegaan hoe dit metaal kan verbonden worden. Daarna wordt aluminium met koper vergeleken en worden de extra ontwerpvereisten bij het gebruik van aluminium gedefinieerd.

Eénmaal de grote lijnen uitgezet zijn om dit basisprobleem op te lossen, kan het design-proces starten. Alle componenten die tijdens de latere assemblage zullen gebruikt worden, worden op dit moment ontworpen. De eisen waaraan de nieuwe spoel concreet moet voldoen, voor gebruik in een motorcompartiment van een auto, worden gespecificeerd. In deze fase van het project wordt er frequent teruggekoppeld naar de in productie zijnde spoelen. Uiteindelijk wordt er toch gekozen voor een volledig nieuw ontwerp zodat over alle parameters opnieuw kan worden nagedacht. Omdat er

met technologie gewerkt wordt waarvan men in Oostkamp nog onvoldoende weet, is er kennis nodig van buitenlandse experts.

Daarna komt de prototyping. Daarin worden alle voorbereidingen getroffen voor de productie van de uiteindelijke spoel en wordt tenslotte de spoel ook werkelijk geproduceerd. Op voorhand worden prototype-spoelen in Oostkamp gemaakt om enkele essentiële parameters van het ontwerp vroegtijdig te kunnen testen. De bobijnen worden spuitgegoten door een externe firma. Ook de tooling (werkstukken) die nodig is om alle onderdelen van de spoel te verbinden wordt in dit stadium vervaardigd. Als alle componenten, en de kennis erover, samen worden gebracht, kan men beginnen met een kleinschalige productie. Dit is op basis van een vooraf opgesteld stappenplan. Tijdens het assembleren worden telkens een aantal parameters gewijzigd om de invloed van de onderzochte variabelen uit de literatuurstudie, te testen.

Het zwaartepunt van dit project zijn de testen. De gemaakte spoelen moeten tientallen jaren kunnen functioneren in de directe omgeving van de motor van een auto. Op basis van het testprogramma van voorgaande ECU-modules wordt een nieuw testprogramma uitgewerkt. Dit testprogramma, dat specifiek ontwikkeld is op basis van de veranderingen t.o.v. de voorgaande spoelen, zal gedurende enkele weken lopen in het testlabo. Na de testen worden meerdere controles uitgevoerd om fouten op te sporen. Er wordt meteen ook nagegaan of het gedrag in de praktijk overeenstemt met wat tijdens de literatuurstudie werd onderzocht. Dit gebeurt a.d.h.v. vergelijkende testen op de verschillende varianten van het ontworpen spoel.

Tijdens de evaluatie worden de testresultaten onderzocht en worden conclusies getrokken. Men concludeert of het ontwerp is geslaagd voor de testen. Hierbij wordt ook beslist welke parameters op welke manier men moet gebruiken om een duurzaam ontwerp te bekomen. De betrouwbaarheid van de gegevens uit de testen worden eveneens gecontroleerd a.d.h.v. de verschillende soorten controles. Op basis van alle beschikbare gegevens wordt tenslotte een eindoordeel over de technologie en de toekomst ervoor, in de automotive-industrie gegeven.



Figuur 6: Verschillende stappen van het project

THEORETISCHE ACHTERGROND

Het verslag van de belangrijkste bevindingen uit de literatuurstudie vormt de theoretische achtergrond. Eerst wordt een algemeen beeld geschetst van de achtergrond waarvan deze thesis een onderdeel is. Tijdens de literatuurstudie wordt onderzoek gedaan naar aluminium als elektrische geleider en de verschillen t.o.v. de bestaande kopergeleiders. Er wordt meteen ook onderzocht hoe de aluminiumgeleider elektrisch kan verbonden worden met de rest van de eenheid waarin de geleider, opgewonden op een spoel, zich bevindt. Eventuele problemen bij het gebruik van aluminium worden uitvoerig besproken.

1 ABS-REMSYSTEEM

Een ABS-remsysteem is een elektrohydraulisch veiligheidssysteem dat wordt gebruikt in voertuigen. Sinds de jaren '80 wordt het systeem toegepast in personenauto's en vandaag de dag is het verplicht voor alle nieuwe auto's binnen de EU. ABS staat voor Anti-lock Braking System en werd vroeger alleen gebruikt als antiblokkeersysteem bij het remmen, vandaag worden er veel meer verschillende functies in verwerkt zoals TCS (Traction Control System) of ESP (Electronic Stability Program).

1.1 WERKING

De werking van een ABS-systeem wordt hieronder uitgelegd a.d.h.v. een concreet voorbeeld:

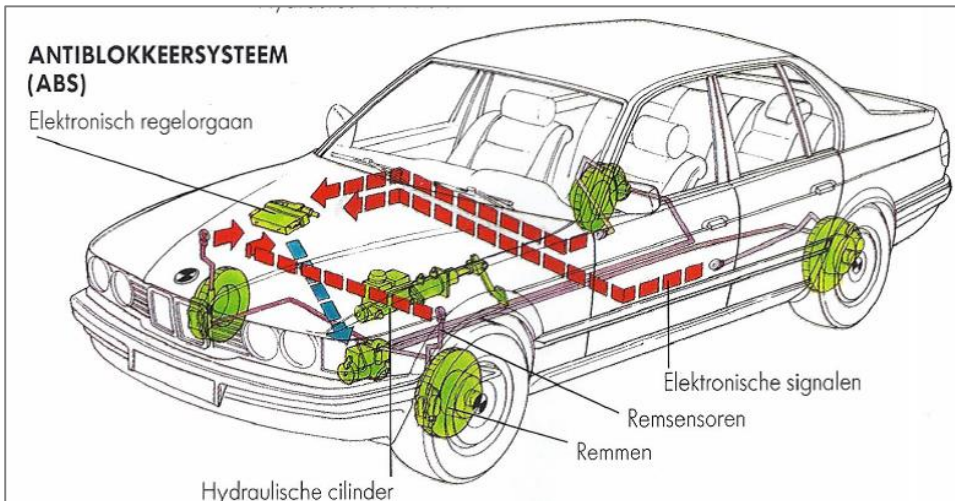


Figuur 7: ABS-remsysteem (TE Connectivity, 2012)

Een auto moet hard remmen op een nat wegdek. De bestuurder trapt de rem volledig in waardoor de (te) hoge remdruk op de remklauwen ervoor zorgt dat de wielen stoppen met draaien. Dit is een onveilige situatie omdat er geen solide contact meer is met de weg. Bovendien is de dynamische wrijvingscoëfficiënt tussen band en weg lager dan de statische wrijvingscoëfficiënt. De computer registreert dit via een resolver die ingebouwd is in elk wiel. Op dat moment stuurt de computer de ECU (Electronic Control Unit) aan, die voor elk wiel apart twee of meerdere spoelen bezit. Eén spoel is normaal bekrachtigd, de andere is normaal onbekrachtigd. Deze ECU, die geproduceerd en geassembleerd wordt in TE Oostkamp, zal via inductie d.m.v. de spoelen, hydraulische kleppen in de remleiding van de auto aansturen. Bij een brake-lock, zoals hierboven beschreven, zullen de normaal open spoelen (de kleppen gaan open / dicht) dichtgaan en de normaal gesloten spoelen opengaan, zodanig dat in het hydraulisch remcircuit de vloeistofdruk wordt afgebouwd. Deze drukvermindering opent de remklauwen waardoor het wiel weer gaat draaien en opnieuw grip krijgt op de weg.

Natuurlijk is het niet de bedoeling dat er een vermindering van remkracht optreedt waardoor de remafstand te groot wordt. Als de computer merkt dat het wiel opnieuw rolt zonder glijden, zal deze het proces omkeren. De onbekrachtigde spoel wordt opnieuw bekrachtigd en omgekeerd. Een pomp zal ervoor zorgen dat de remdruk opnieuw wordt opgebouwd, aangezien de bestuurder niet pompemd remt (dus zijn voet stilstaakt) en de druk van voorheen, niet opnieuw wordt opgebouwd. Het ABS-, ESP- e.d. systemen zijn tegenwoordig ingebouwd in alle productieauto's en vergroten dus de veiligheid op de weg en leiden tot een vermindering van het aantal ongevallen.

Het antiblokkeersysteem voert continu vier tot tien maal per seconde een controle uit. Met het systeem kan de remafstand tot 40 procent korter worden.



Figuur 8: ABS-remsysteem (Johnstone, 1993)

1.2 EBC-460

TE Connectivity Oostkamp produceert en assembleert de zogenaamde Advanced Braking Modules. Deze modules, gebruikt in personenwagens, dienen om o.a. EBD (Electronics Brakeforce Distribution, Cruise Control en ABS-systemen aan te sturen. Zij worden op hun beurt aangestuurd door de computer in de wagen. In de wielen van een auto is een rotorpositie-sensor ingebouwd die de positie van de wielen doorgeeft aan de computer. De computer registreert dit signaal van alle wielen en zal het weggedrag van de auto aanpassen bij onveilige situaties. De module die het weggedrag van de auto zal aanpassen is de ABS-module die bestaat uit een ECU en een HCU.

TE Oostkamp is verantwoordelijk voor de ECU en bouwt jaarlijks bijna een miljoen stuks voor de automotive-industrie. Vandaag lopen twee van deze modules in productie, namelijk de EBC-450 en EBC-460. Er worden ook veel varianten binnen deze modules gebruikt, al naargelang de eisen van de autofabrikant.



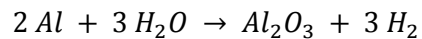
Figuur 9: EBC-460 ECU module met elektrische bekrachtigde spoelen (TE Connectivity, 2012)

2 ALUMINIUM

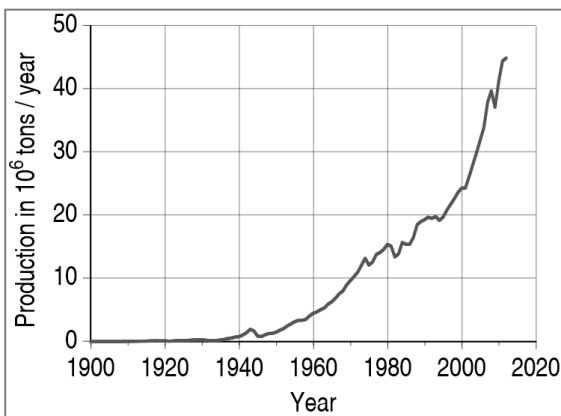
Wanneer hieronder over aluminium wordt gesproken, dan wordt hiermee zuiver aluminium bedoeld.

Aluminium is een chemisch element met symbool Al en atoomnummer 13. Het is een zilverwit zacht, ductiel metaal. Aluminium is chemisch zeer reactief en wordt daardoor als mineraal ontgonnen. Aluminium staat bekend om zijn lage dichtheid en de corrosiebestendigheid door een aluminiumoxidefilm aan het oppervlak. Het is niet magnetisch, niet giftig en gemakkelijk bewerkbaar. Daarnaast is aluminium een goede thermische en elektrische geleider.

Het oxidatieproces verloopt als volgt:



Aluminium bezit een KVG (Kubisch Vlak Gecenterd) -rooster en heeft daardoor een zeer goede plastische vervormbaarheid. De rek kan tot 45% bedragen alvorens breuk optreedt. Het is makkelijk verspaanbaar.



Figuur 10: Wereldproductie aluminium (Wikipedia, 2013)

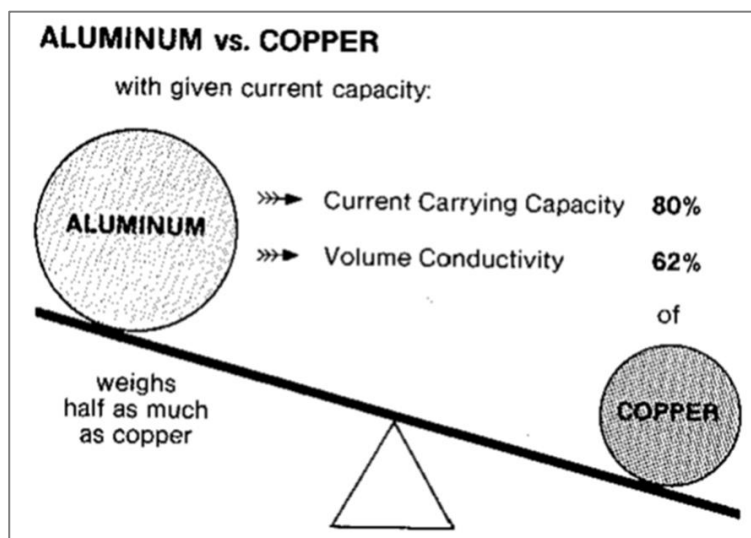
2.1 FYSISCHE EN TECHNISCHE EIGENSCHAPPEN VAN ALUMINIUM

Grootheid		Aluminium
Dichtheid	kg/m ³	2700
Smeltpunt	°C	660
Soortelijke weerstand	Ωmm ² /m	0,0278
Temperatuurscoëfficiënt voor weerstand	1/°C	0.00380
Treksterkte	N/mm ²	110
E-modulus	N/mm ²	70000
Thermische uitzettingscoëfficiënt	μm/mK	23,1
Thermische geleidbaarheid	W/mK	237
Elektrochemische potentiaal	V	+0.35

Tabel 1: Fysische en technische eigenschappen van aluminium (Alu Menziken, 2004)

2.2 VERGELIJKING TUSSEN ALUMINIUM EN KOPER

Aluminium heeft het onbetwistbare voordeel t.o.v. koper dat de dichtheid heel wat lager is. Koper daarentegen heeft een betere geleidbaarheid. In tegenstelling tot koper moet men bij aluminium nog met heel wat eigenschappen rekening houden.



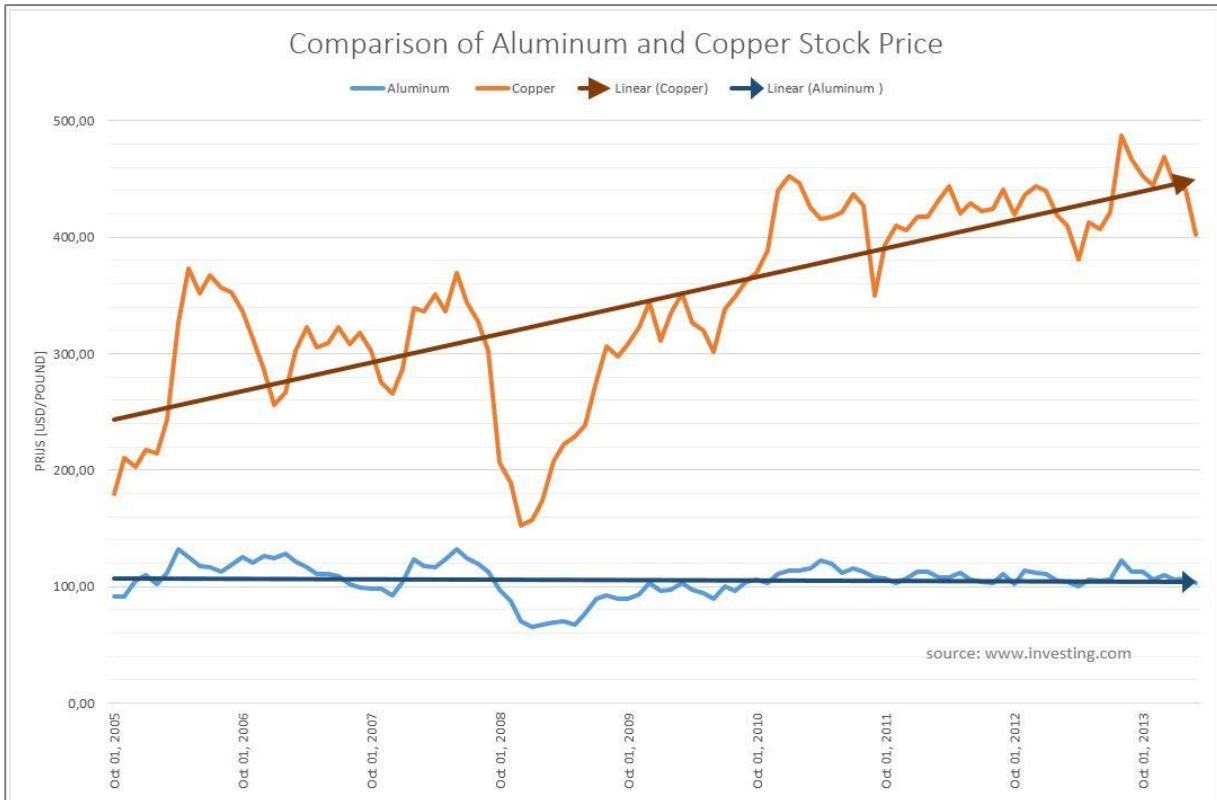
Figuur 11: Aluminium t.o.v. koper als geleidingsmateriaal (TE Connectivity, 2013)

Omdat aluminium een zeer lage dichtheid bezit, ondanks een slechtere geleidbaarheid dan koper, zal voor éénzelfde geleidbaarheid het gewicht nog steeds lager zijn.

2.2.1 VOORDELEN VAN ALUMINIUM T.O.V. KOPER

De grote voordelen van aluminium t.o.v. koper zijn de kostprijs en het gewicht.

- Een eerste voordeel is de kostprijs van het basismateriaal. Deze prijs, uitgedrukt in €/kg, is kleiner en stabielere dan die van koper. Aluminium is bijna vier keer goedkoper, en de prijs blijft vrij stabiel, in tegenstelling tot koper (zie onderstaande figuur).



Figuur 12: Kostprijs van koper en aluminium (www.investing.com, 2014)

- Een tweede voordeel is de lage dichtheid. Aluminium is minstens drie keer lichter dan koper voor éénzelfde volume.
- Een derde, minder gebruikt voordeel, is dat aluminium ook veel ductielere is dan koper. Dit uit zich onder andere in kleinere buigradii die nuttig zijn bij het wikkelen.

2.2.2 NADELEN VAN ALUMINIUM T.O.V. KOPER

Aluminium bezit anderzijds talrijke nadelen t.o.v. koper. Met deze en andere minder bekende eigenschappen zal in het ontwerp moeten worden rekening gehouden. Ze zorgen ervoor dat in vele takken van de industrie, koper nog steeds de voorkeur geniet. Aluminium is over het algemeen vrij moeilijk elektrisch te verbinden, is een slechtere geleider, is minder sterk en reactiever dan koper.

- Ten eerste is aluminium moeilijk elektrisch te verbinden met andere metalen. De conventionele fusieverbindingen zoals solderen of lassen zijn zonder vakkennis en grondig vooronderzoek onmogelijk. Vaak lopen de resultaten sterk uiteen of is het verbindingsproces onvoldoende controleerbaar om een stabiel proces te bekomen dat levensvatbaar is voor een

eventuele serieuropductie. Bijgevolg zullen alternatieve technieken aangewend moeten worden om dit metaal elektrisch te verbinden.

- Aluminium is een slechtere geleider dan koper. De elektrische weerstand is meer dan 60% groter. Hierdoor zal de doorsnede van de geleider met éézelfde correctiefactor moeten vergroten om éézelfde geleidbaarheid te verkrijgen. Aldus stijgen de afmetingen.
- Aluminium is een zwakker materiaal. De stijfheid bedraagt ongeveer 60% van die van koper en de treksterkte ongeveer de helft. Hierdoor mag het materiaal minder sterk belast worden dan koper.
- Aluminium is een zeer reactief materiaal. Het oxideert zeer snel aan de lucht. Hierdoor ontstaat een oxidelaag (aluminiumoxide) die zeer hard is en bovendien elektrisch isolerend werkt. Het aluminium elektrisch verbinden, zonder alvorens de oxidelaag te verwijderen, is dus onmogelijk.
- Aluminium is een vrij onedel metaal. In verhouding tot andere courante metalen heeft aluminium een lage elektropotentiaal. Dit is de oorzaak waardoor aluminium in contact met andere metalen onderhevig is aan galvanische corrosie. Deze corrosie tast het materiaal en zijn mechanische eigenschappen sterk aan en moet dus vermeden worden.
- Aluminium is veel sterker onderhevig aan kruip dan koper. Aluminium heeft als metaal een vrij lage smelttemperatuur. Dit zorgt ervoor dat bij temperaturen boven 100 °C al kruip optreedt. Dit fenomeen leidt tot plastische vervorming in het materiaal waardoor de stijfheid vermindert en de geometrie verandert onder belasting.

2.2.3 VERGELIJKENDE TABEL

Hieronder is een tabel bijgevoegd waarin de belangrijkste fysische en mechanische eigenschappen van aluminium en koper worden vergeleken.

		Al	Cu	% Al t.o.v. Cu
Dichtheid	kg/m ³	2700	8900	30 %
Smeltpunt	°C	660	1085	
Soortelijke weerstand	Ωmm ² /m	0,0278	0,0171	163 %
Temperatuurscoëfficiënt voor weerstand	1/°C	0.00380	0.00429	89 %
Treksterkte	N/mm ²	130	245	53 %
E-modulus	N/mm ²	70000	119000	59 %
Thermische uitzettingscoëfficiënt	µm/mK	23,1	16,6	139 %
Thermische geleidbaarheid	W/mK	237	391	61 %
Elektrochemische potentiaal	V	+0.35	-1.69	

Tabel 2: Eigenschappen van aluminium en koper (Atlas Steels, 2010) (Elektrisola, 2010) (Wikipedia, 2013)

2.3 AANDACHTSPUNTEN VOOR HET ONTWERPEN MET ALUMINIUM

In de automobiellndustrie wordt steeds meer gebruik gemaakt van aluminium ter vervanging van koper wegens de lagere materiaalkosten en het lagere gewicht. Een lagere materiaalkost is voor de producent van de halffabricaten en de eindproducent economisch zeer interessant terwijl een lager gewicht aan de eigenaar van de auto zowel economisch als ecologisch voordeel biedt. Denk hierbij aan het lagere brandstofverbruik in combinatie met minder CO₂-uitstoot of de grotere actieradius voor elektrische wagens.

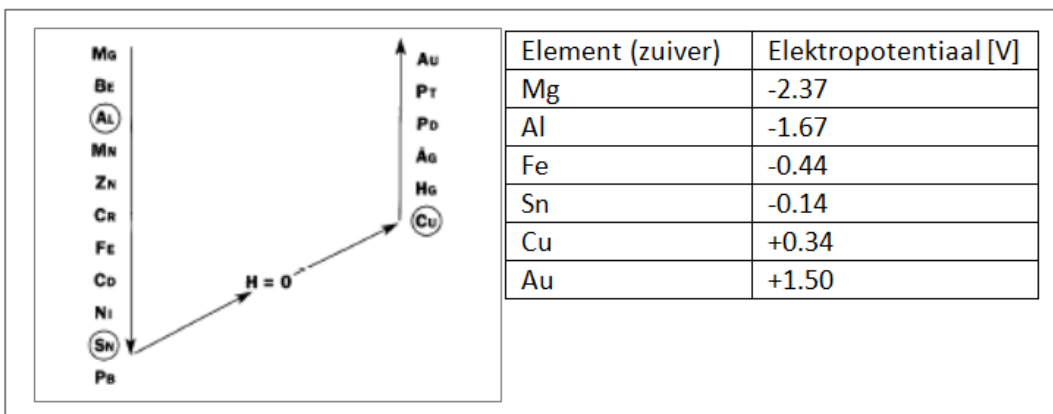
Het ontwerpen met aluminium brengt enkele belangrijke uitdagingen met zich mee, o.a. op het vlak van werktuigontwerp en op het vlak van elektrische verbindingen. Om een betrouwbare elektrische verbinding met aluminium te bewerkstelligen, moet achtereenvolgens aan de volgende vier eisen worden voldaan.

2.3.1 KRUIP

Aluminium vertoont al kruip bij veel lagere temperaturen dan koper. Het is onmogelijk om zodanig te ontwerpen dat er geen kruip optreedt. Kruip treedt bij belasting van het materiaal zowiezo op, maar men kan de levensduur van de verbinding sterk verlengen indien men de belasting tot een minimum reduceert. Bij het maken van een contact moet de geleider dus zo vastgezet worden dat er gedurende de volledige levensduur geen elektrische eigenschappen verloren gaan.

2.3.2 GALVANISCHE CORROSIE

Aluminium is een zeer onedel metaal. Bijgevolg ontstaat er bij de verbinding tussen aluminium en gebruikelijke andere metalen een groot potentiaalverschil. In aanwezigheid van vocht lost het aluminium contactpunt op. Er moeten dus maatregelen genomen worden om deze corrosie te vermijden. Dit kan door de omgeving van het metaal te beschermen.



Figuur 13: Richtwaarden van de elektro-potentiaal van de gebruikelijke metalen (TE Connectivity, 2008)

2.3.3 TREKSTERKTE

De treksterkte van aluminium bedraagt ongeveer de helft van die van koper. Dit heeft invloed op de krachten die het materiaal kan weerstaan. In ons geval is dit minder van belang omdat een aluminiumgeleider voor éézelfde elektrische geleidbaarheid toch een grotere doorsnede heeft dan koper.

2.3.4 OXIDATIE

Bij contact met lucht zal aluminium zeer snel oxideren. De oxidatielaag is een sterke isolator en moet, voor een voldoende geleidingsvermogen, weggenomen worden. Bovendien is deze onmogelijk via soldeerfluxen of door opwarmen te verwijderen. Ze moet daarom mechanisch verwijderd worden.

3 GALVANISCHE CORROSIE

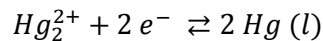
Galvanische corrosie is een lokaal mechanisme waarbij metalen worden gecorrodeerd, d.w.z. het ontnemen van atomen uit één component. Dit resulteert uiteindelijk in zichtbare corrosie en dus mechanische verzwakking van het metaal. Bij het ene metaal wordt er materiaal onttrokken, bij het andere metaal wordt er materiaal bijgevoegd.

3.1 VEREISTEN VOOR GALVANISCHE CORROSIE

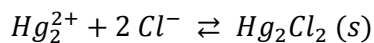
Alvorens galvanische corrosie optreedt tussen twee metalen moet aan drie voorwaarden gelijktijdig voldaan worden. Bij het ontbreken van één of meerdere van de drie onderstaande voorwaarden treedt er geen galvanische corrosie op.

3.1.1 VERSCHIL IN ELEKTROPOTENTIAAL

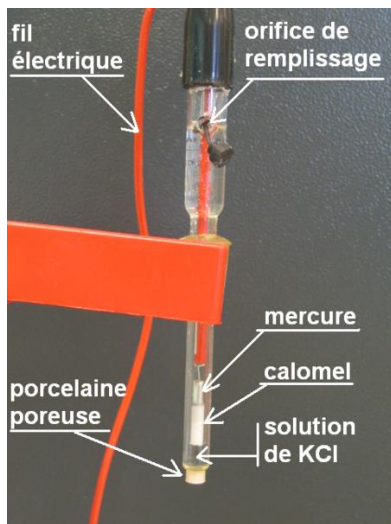
De elektro potentiaal van een metaal is een maat voor de edelheid. Ze wordt gemeten t.o.v. een standaard oplossing zoals de Standard Hydrogen Electrode (SHE) of de Saturated Calomel Electrode (SCE). Deze laatste is gebaseerd op de volgende redox-reactie:



In werkelijkheid wordt hiervoor een Hg-Cl oplossing gebruikt.



De redox-potentiaal is afhankelijk van de concentratie van het Cl-anion, maar aangezien de oplossing verzadigd is met KCl, ligt deze vast op $+4.684 \pm 0.020$ V bij 25 °C. Op die manier kan men de elektro potentiaal van een metaal meten t.o.v. een referentie en kan men volgende lijst opstellen die de galvanic of elektromotive series wordt genoemd. Metalen met een lage elektro potentiaal worden als onedel beschouwd, metalen met een hoge elektro potentiaal als edel. Opgelet: Tabel 26 in de bijlagen is bepaald t.o.v. de SHE met een absolute potentiaal van 4.44 V.



Figuur 14: SCE referentie-elektrode (Wikipedia, 2013)

Wanneer twee metalen in contact komen met elkaar onder de juiste omstandigheden, zal het metaal met de laagste elektro-potentiaal (anode) gecorrodeerd worden door degene met de hoogste elektro-potentiaal (kathode). Hoe hoger het potentiaalverschil tussen beide, hoe sterker de galvanische corrosie wordt. Een vuistregel stelt dat galvanische corrosie een probleem wordt vanaf een verschil van 200 mV.

3.1.2 ELEKTRISCHE VERBINDING

Een elektrische verbinding tussen twee metalen veronderstelt dat de metalen in nauw fysisch contact zijn met elkaar. Het is voldoende dat vb. beide metalen op elkaar rusten.

3.1.3 DIRECTE AANWEZIGHEID VAN EEN ELEKTROLYT

Een elektrolyt is een elektrisch geleidende vloeistof. Elke vloeistof die negatief geladen ionen bezit zoals zeewater, neergeslagen regen e.d. kan aldus de ionen uit de anode geleiden. Gedistilleerd water is geen elektrolyt. De geleidbaarheid speelt een rol bij de verspreiding van galvanische corrosie. Bij hoge geleidbaarheid (vb. zeewater) zal de galvanische corrosie van de anode verspreid worden over een grote oppervlakte. Bij lage geleidbaarheid ligt de corrosie geconcentreerd dicht bij het scheidingsoppervlak tussen beide metalen.

3.2 INVLOED VAN DE MATERIAALOPPERVERLAKTE

De oppervlakte van zowel anode als kathode heeft een sterke invloed op de hoeveelheid gecorrodeerd materiaal. Een kleine anode (vb. aluminium) verbonden met een relatief grote kathode (vb. koper) resulteert in een hoge stroom over een klein oppervlak waardoor ook de corrosiesnelheid sterk stijgt. Omgekeerd zal bij een groot anode-oppervlak in verhouding tot het kathode-oppervlak, het corrosie-verschijnsel verminderen, in die mate zelfs dat de galvanische corrosie geen probleem meer vormt.

Zoals hierboven reeds aangegeven is de aanwezigheid van een elektrolyt één van de noodzakelijke voorwaarden. Als bijvoorbeeld een aluminium-anode slechts op één kleine plaats nat is, zal de stroomdichtheid daar groot zijn met veel corrosie tot gevolg. "Only the wet area counts."

3.3 MECHANISME

De elektrolyt met de negatief geladen anionen trekt de positief geladen kationen (of moleculen) van de anode aan. Polaire H₂O-moleculen (één positief en één negatief einde) vormen een ideaal transport voor elektrisch geladen ionen. Vervolgens zullen, door het potentiaalverschil tussen beide elektroden (metalen), de kationen naar de kathode gevoerd worden. De kathode is immers negatief geladen en trekt positieve ionen aan. Eenmaal aangekomen bij de kathode vormen de ionen een beschermende laag. Hierdoor wordt de kathode ook wel het beschermde metaal genoemd en de anode het opgeofferde materiaal. Als er echter geen potentiaalverschil is tussen beide metalen, zullen beide gecorrodeerd worden. Een potentiaalverschil (niet te verwarren met een verschil in elektro potentiaal) kan in het algemeen enkel voorkomen als er een elektrolyt in de omgeving is.

3.4 ONTWERPEISEN OM GALVANISCHE CORROSIE TE VERMIJDEN

Omdat galvanische corrosie van aluminium een groot probleem vormt voor de betrouwbaarheid van elektrische verbindingen, zal men de omgeving van het aluminium hiertegen moeten beschermen. De oplossing is eenvoudig en gebaseerd op het wegnemen van één of meerdere van de drie voorgaande voorwaarden.

- Vermijden dat er verschillende metalen in één verbonden constructie gebruikt worden.
- Indien er geen elektrische verbinding nodig is, kan men een elektrische isolator (vb. rubber) tussen twee verschillende metalen plaatsen.
- Indien er toch een elektrische verbinding moet gemaakt worden tussen twee verschillende metalen, kan men de verbinding tussen beide isoleren van de elektrolytische omgeving. Dit kan o.a. door het waterdicht maken van de structuur rond de verbinding of tenminste een verminderde blootstelling aan weersomstandigheden.
- Indien galvanische corrosie toch onvermijdelijk is, kan men gebruik maken van de invloed van de verschillende oppervlakken: een groot anodisch oppervlak en klein kathodisch oppervlak. Als daarbij de indringing van een elektrolyt onafwendbaar is, kan men beter het volledig oppervlak nat maken met de elektrolyt. Ook het gebruik van minder sterk-polaire elektrolyten wordt aangeraden.

4 KRUIP VAN METALEN

Metalen zijn, boven een gespecificeerde temperatuur, onderhevig aan kruip. Vanaf dan treden er bij belasting, na verloop van tijd, plastische vervormingen op die de vorm en de sterkte verzwakken.

4.1 KRUIP ALGEMEEN

Hieronder worden de belangrijkste principes van kruip van een metaal uitgelegd.

4.1.1 THEORETISCHE BESCHOUWINGEN EN DEFINITIES

De spanning σ van een materiaal wordt gedefinieerd als de verhouding van de aangelegde kracht t.o.v. het oppervlak waarop deze kracht actief is:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

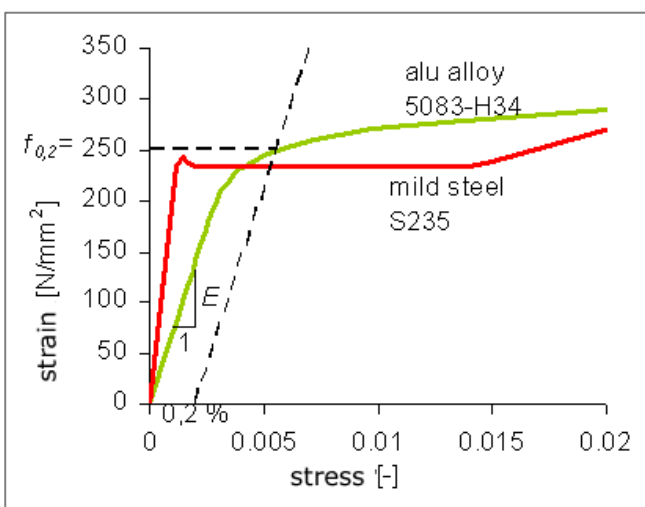
Met F = Aangelegde kracht en A de oppervlakte waarop de kracht actief is.

De rek ε van een materiaal is een maat voor de relatieve verlenging ervan:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}$$

Met l = de huidige lengte en l_0 de oorspronkelijke lengte en dus Δl de verlenging

Een materiaal wordt elastisch vervormd als, na het wegnemen van een aangelegde spanning, de rek opnieuw nul wordt en het materiaal zich terug in zijn begintoestand bevindt. Er is geen permanente vervorming. Bij een plastische vervorming treedt er blijvende vervorming op en wordt na het wegnemen van de aangelegde spanning, de rek niet opnieuw nul. Er is nu wel een permanente vervorming. De spanning op de grens tussen plastische en elastische vervorming is de vloeigrens. De vloeigrens ligt, voor zowel gelegeerd aluminium als voor S235 (normaal constructiestaal), rond de 235 N/mm². Zie onderstaande figuur.



Figuur 15: Trek-rek curves voor gelegeerd aluminium en staal

Voor elastische vervorming geldt (in de meeste gevallen):

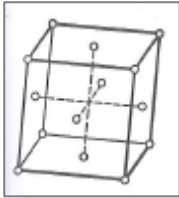
$$\sigma = E * \varepsilon$$

Met E = elasticiteitsmodulus of modulus van Young. ($E_{Al} = 70000 \text{ N/mm}^2$).

Aldus stijgt de spanning bij stijgende rek door vervormingsverstevinging.

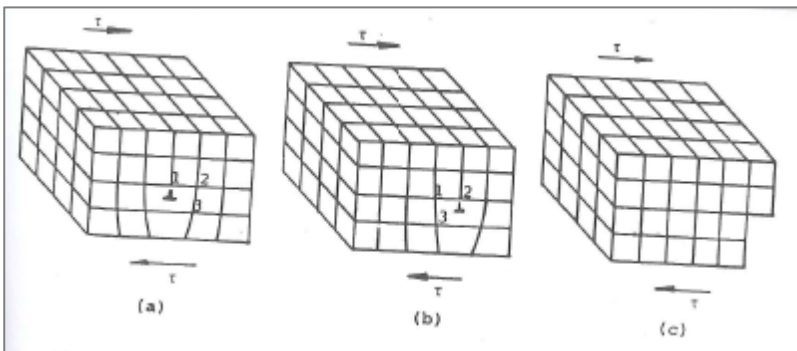
4.1.2 METAALROOSTERDEFECTEN

De metaal-atomen binnen het materiaal zijn geordend volgens metaalroosters of kristalstructuren. Aluminium bijvoorbeeld heeft een KVG-rooster zoals in onderstaande figuur te zien is. De aluminium-atomen zitten op de hoekpunten en in het midden van de zijvlakken van de kubus. Deze kubus is een eenheidscel. In werkelijkheid liggen er miljarden van deze kubussen naast elkaar. Men spreekt over een kristal indien alle roosters binnen het gebied in éénzelfde richting zijn georiënteerd. Een metaal bevat een zeer groot aantal van deze kristallen. Kristallen zijn gescheiden van elkaar door kristalranden.



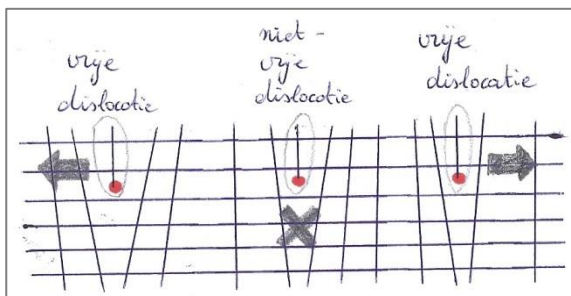
Figuur 16: KVG-rooster (Bonte, 2012)

In werkelijkheid is het kristalrooster niet perfect en bevat het een groot aantal roosterfouten. Deze roosterfouten of dislocaties zijn imperfecties van het hierboven opgegeven rooster. Ze zijn van zeer groot belang voor de mechanische eigenschappen van het metaal. De verschillende defecten kunnen voorkomen onder de vorm van puntdefecten (0-dimensionaal), lijndefecten (1D) en/of oppervlakte-defecten (2D). 3D-Defecten zijn legeringen die niet opgelost zijn in het basismateriaal en zijn hier van geen belang, aangezien de aluminium wikkeldraad wordt beschouwd als zuiver aluminium. Voorbeelden van lijndefecten zijn randdislocaties en schroefdislocaties. Bij een randdislocatie eindigt een kristalvlak binnen een kristal. Bij een schroefdislocatie zijn twee kristalvlakken volgens een dislocatielijn verschoven t.o.v. elkaar. Anderzijds kunnen dislocaties opgedeeld worden afhankelijk van hun beweegbaarheid. Vrije dislocaties (zie fig. 18) kunnen vrij bewegen in het metaalrooster en zorgen niet direct voor een stijgende spanning bij stijgende vervorming.



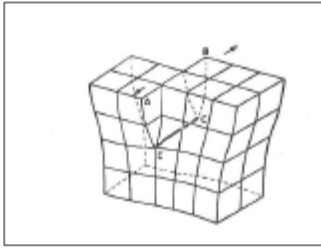
Figuur 17: Beweging van vrije dislocaties (Bonte, 2012)

Tijdens plastische vervorming bewegen de dislocaties door het metaalrooster met als gevolg een permanente vervorming. Niet-vrije dislocaties zijn vastgepind omdat ze tussen twee andere dislocaties zitten. Hierdoor zijn ze niet beweegbaar en stijgt de spanning bij vervorming.



Figuur 18: Vrije en niet-vrije dislocaties, op de zijkanten zijn er vrije dislocaties, hiertussen bevinden zich niet-vrije dislocaties

Door het extra vlak staat de ene kant van de dislocatie onder drukspanning terwijl er trekspanningen optreden aan de andere kant. Deze inwendige spanningen zorgen ervoor dat er ook grotere uitwendige spanningen nodig zijn om het materiaal te vervormen.



Figuur 19: Schroefdislocatie (Bonte, 2012)

Bij een schroefdislocatie zijn er geen trek- of drukspanningen, maar wel schuifspanningen.

Belangrijk is ook het principe van vervormingsversteving. Dit is het fenomeen dat de spanning, die nodig is om een metaal te vervormen, stijgt met toenemende vervorming. Ook de dislocatiedichtheid stijgt tijdens de plastische vervorming. Als de vervorming stijgt, neemt het aantal dislocaties toe en ook het aantal niet-vrije dislocaties. Hierdoor stijgen de inwendige spanningen en zal bij vervorming ook de uitwendige spanning stijgen.

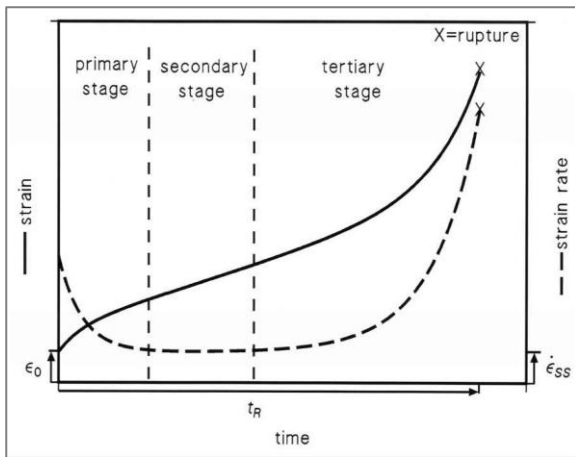
4.1.3 KRUIPROCES

Bij hoge temperatuur kunnen dislocaties, die door één of ander obstakel waren vastgelopen, terug in beweging komen door bepaalde mechanismen. Men stelt dat kruip optreedt bij temperaturen boven $0,3 - 0,5 T_m$ (met T_m = de smeltemperatuur in Kelvin).

Eén mechanisme is het klimmen van randdislocaties. Atomen die zich aan de onderzijde van het extra vlak bevinden, diffunderen naar vacatures (ruimtes met een kleinere atoomdichtheid) waardoor het extra randvlak opschuift naar boven en deze verder kan glijden in een hoger gelegen glijdingsvlak. Op die manier wordt een obstructie omzeilt. Een ander mechanisme is het kruisslippen van schroefdislocaties. De drijvende kracht achter beide processen is de diffusie van atomen via vacatures. Diffusie is een langzaam proces dat versneld wordt als de atomen heviger gaan trillen door hogere temperaturen. Dit plastisch deformatiemechanisme bij hogere temperatuur wordt **kruip** genoemd.

Kruip is dus een verschijnsel waarbij een onder spanning staand onderdeel zeer langzaam plastisch vervormt bij spanningen die lager gelegen zijn dan de vloeigrens. Kruip treedt op bij hogere temperaturen, afhankelijk van de smeltemperatuur van het materiaal.

Kruip wordt gemeten door een cilindrische proefstaaf, bij een nauwkeurige constante temperatuur, te onderwerpen aan een constante trekbelasting. In functie van de tijd zal volgende kruipcurve verkregen worden. Het volledige proces bestaat uit drie deelprocessen: Primaire kruip (transient creep) , secundaire kruip (steady state) en tertiaire kruip. Daarna volgt het scheuren van het materiaal.



Figuur 20: Volledig krimpproces (Chu, 2012)

Bij primaire krimp daalt initieel de vervormingssnelheid als gevolg van vervormingsversteving. Vervolgens wordt bij secundaire krimp de vervormingssnelheid constant door enerzijds de vervormingsversteving en anderzijds door annealing. Annealing is opwarming van het materiaal tot er een faseovergang optreedt (het metaalrooster klapt om). Daarna wordt er traag afgekoeld zodanig dat de energetisch meest zuinige configuratie wordt bereikt en er minder spanningen in het materiaal aanwezig zijn. Bij tertiaire krimp stijgt de vervormingssnelheid exponentieel door insnoering en vorming van holtes die de dwarsdoorsnede verkleinen. Op het einde van de derde periode scheurt het materiaal volledig af.

De krimp-curve kan wiskundig als volgt worden omschreven:

$$\epsilon = \epsilon_0 + \epsilon(\sigma, T, t)$$

Bij het aanleggen van een spanning zal het werkstuk ogenblikkelijk vervormen volgens een rek ϵ_0 . De rek t.g.v. krimp die daarna optreedt is afhankelijk van de aangelegde spanning, de temperatuur en de tijd. De krimpcurve kan wiskundig beschreven worden. Eén van de meest gebruikte is de volgende:

$$\epsilon = \epsilon_0 + \epsilon_p * \left(1 - e^{-t/t_p}\right) + \epsilon_{SS} * t + \epsilon_t * \left(e^{t/t_t} - 1\right)$$

Met:

ϵ_0 = De ogenblikkelijke vervorming bij het aanleggen van de last

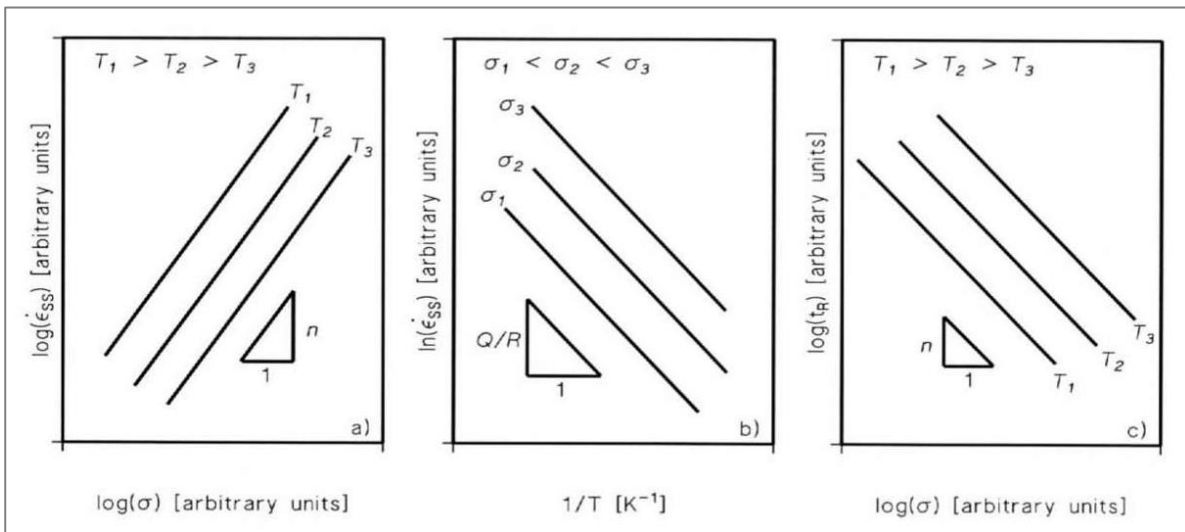
t = De tijd

ϵ_p, t_p = De rek en tijd tijdens het proces van primaire krimp, afhankelijk van de aangelegde spanning en de temperatuur

ϵ_{SS} = De rek tijdens secundaire krimp

ϵ_t, t_t = De rek en tijd tijdens het proces van tertiaire krimp, afhankelijk van de aangelegde spanning en de temperatuur

Onderstaande figuur toont de invloed van de spanning en de temperatuur op het kruipproces in de tijd. Hogere temperaturen zorgen voor een snellere vervorming van het materiaal. Hogere spanningen zorgen ook voor een snellere vervorming.



Figuur 21: Invloed van spanning en temperatuur op het kruipproces (Fort & Ashby)

4.2 KRUIP VAN PUUR ALUMINIUM

Zoals eerder vermeld, is de temperatuur waarbij kruip optreedt afhankelijk van de smeltemperatuur van het materiaal. Ontwerpers stellen dat kruip een bepalende factor wordt bij het design met aluminium vanaf ongeveer 231 °C of 54% van de absolute smeltemperatuur. Aluminium is één van de meest bestudeerde metalen met een KVG-rooster. Wegens de grote waarde voor engineering handelen de meeste onderzoeken enkel over secundaire steady state kruip.

$$\epsilon_{SS} * e^{Q/RT} = A' * \left(\frac{\sigma}{G}\right)^n$$

Met:

$Q = Q_0 = 142 \left[\frac{kJ}{mol}\right]$ = De energie nodig om het proces van diffusie in aluminium te starten

$R = 8,314 \left[\frac{J}{molK}\right]$ = De gasconstante

T [K] = De temperatuur van het materiaal

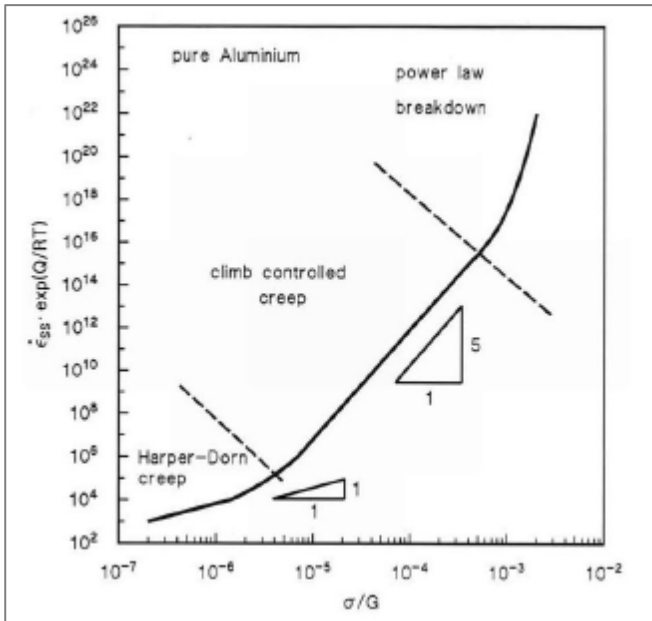
A' = Een materiaalconstante

σ = De aangelegde spanning

G = 26 [GPa] = De glijdingsmodulus van aluminium

n = Een constante afhankelijk van de aangelegde spanning.

Onderstaande figuur toont de specifieke kruipcurve voor zuiver aluminium.



Figuur 22: Kruipcurve voor zuiver aluminium (S. Spigarelli, Department of Mechanics, University of Ancona, 1999)

4.3 ALGEMENE METHODEN OM KRUIP TE VERMINDEREN

Aangezien kruip afhangt van de diffusiesnelheid van de atomen, heeft de verkleining ervan rechtstreeks een gunstig resultaat op de kruipsnelheid.

- Men kan voor een materiaal kiezen met een hoge smeltemperatuur.
- Men kan door warmtebehandelingen de korrelgrootte van het metaal vergroten waardoor diffusie via de korrelgrenzen langer duurt. Bovendien glijden de korrels ook minder over elkaar.
- Men kan ook partikels laten neerslaan op de korrelgrenzen die zorgen voor obstakels die het glijden van de korrels over elkaar verminderen.

4.4 ONTWERPFEATURES OM DE NEGATIEVE INVLOED VAN KRUIP TEGEN TE GAAN

Deze ontwerpfeatures zijn belangrijk bij het ontwerp van de spoel met een aluminium wikkeldraad.

4.4.1 KLEINERE COMPRESSIERATIO DAN BIJ KOPER

Een kleinere compressieratio houdt in dat de draad minder wordt ingedrukt door de Mag-Mate®. Concreet kiest men daarom voor een Mag-Mate® met een grotere gleufbreedte. Dit resulteert in een kleinere indrukkraft. Daardoor treedt er meteen minder plastische, maar vooral minder elastische vervorming op. Dus minder spanning algemeen en minder spanning op de dislocaties. Als de spanning op de dislocaties vermindert, zal het kruipfenomeen t.g.v. diffusie van dislocaties veel minder sterk aanwezig zijn. Hierdoor zal het materiaal minder kruip vertonen.

4.4.2 VEREND ELEMENT

Als de wikkeldraad, die reeds verbonden is met de Mag-Mate®, zal verdunnen door kruip, dan zal bij een statische (onbeweegbare) indrukkraft, de contactkracht verminderen. Als de beide benen van de Mag-Mate® de kruipbeweging van het aluminium kunnen volgen, kunnen zij bij een verkleinde

draaddikte wel nog hun kracht uitoefenen. In dat geval kiest men een Mag-Mate® met een vrij kleine gleufbreedte.

5 VERBINDINGSTECHNIKEN

Er zijn twee soorten manieren om twee metalen elektrisch met elkaar te verbinden: via fusie en via drukcontact. Bij fusie worden beide te verbinden metalen gesmolten of wordt hierbij nog een derde metaal gesmolten zoals bij solderen. Bij drukcontacten worden twee metalen simpelweg tegen elkaar geklemd. Het is vaak de bedoeling om via verhoogde druk een vergroot contactoppervlak te bekomen om de elektrische weerstand te verkleinen. Bovendien moet de uitgeoefende druk steeds groot genoeg blijven om luchtinsluitels en dus oxidevorming te vermijden.

5.1 FUSIEVERBINDINGEN

5.1.1 SOLDEREN

Inleiding

Alvorens gebruik te maken van drukcontacten zoals bij IDC-verbindingen wordt eerst nagegaan via een literatuurstudie of aluminium op industriële schaal kan gesoldeerd worden. Het solderen van aluminium heeft als voordeel dat de reeds bestaande productietechnieken voor de spoel met koper wikkeldraad eenvoudig kunnen omgevormd worden naar verbindingen voor aluminium.

Aluminium kan gesoldeerd worden, maar vereist wel een strenge controle van kritische procesparameters. Conventioneel solderen met tin of zink is onmogelijk wegens het grote verschil in elektrische potentiaal waardoor galvanische corrosie in de hand gewerkt wordt met de afbraak van aluminium tot gevolg.

Toch is het grootste probleem de vorming van aluminiumoxides. De oxidelaag rond het aluminium is moeilijk te verwijderen waardoor solderen onmogelijk wordt.

Een ander probleem is de relatief hoge temperatuur bij het solderen van aluminium (225 tot 490 °C). Dit is onder de smelttemperatuur van aluminium (661°C), maar boven de gloeitemperatuur of de annealing temperatuur (325 °C). Dit zorgt ervoor dat, al bij kleine overschrijdingen van deze laatste temperatuur, het metaalrooster vervormt en de eigenschappen zoals hardheid, ductiliteit en condities veroorzaakt door eerdere vervormingen zullen verstoord worden.

Omwille van de hoge eisen, de beperkte kennis over het onderwerp en het economische aspect voor een eventuele massaproductie, zal niet voor solderen gekozen worden.

Soldeersels

Aluminium kan met verschillende Sn_xZn_y - en Cd_xZn_y legeringen worden gesoldeerd, hieronder staan enkele van de meest gebruikte legeringen voorgesteld.

Legering	Soldeertemperatuur [°C]	Eigenschappen van de verbinding	Toepassingen
Sn₉₁Zn₁₉	199	Goede corrosiebestendigheid en goede treksterkte	Aluminiumdraad verbinden met koperen bussen of omgekeerd
Cd₇₀Zn₃₀	265-300	Goede corrosiebestendigheid en zeer goede treksterkte bij toepassingen met hoge vibraties en trekkrachten	Electronica, verlichting en elektrische producten
Cd₆₀Zn₄₀	265-316	Idem	Idem
Cd₇₈Zn₁₇Ag₅	249-316	Hoge treksterkte, goed bij hoge vibraties en trekkrachten	Toepassingen waar zeer vloeibaar soldeersel is gewenst
Sn₄₀Zn₂₇Cd₃₃	176-260		Ideaal om manueel te verbinden

Tabel 3: Verschillende soldeersels die geschikt zijn voor aluminium (Wikipedia, 2013)

Moelijkheden bij het solderen van aluminium voor massaproductie

- De vorming van aluminiumoxides. Door de hoge affiniteit van aluminium met zuurstof, wordt bij aanraking met de lucht zeer snel een dunne onzichtbare laag aluminium-oxiden op het oppervlak gevormd. Deze zorgen ervoor dat het soldeersel niet goed hecht aan het aluminium. De oxidatielaag moet dus eerst verwijderd worden. Hierna moet er zeer snel gesoldeerd worden om nieuwe aluminiumoxiden te vermijden. Het verwijderen kan bovendien niet chemisch of via de gangbare soldeerflux, zoals bij koper gebeuren, maar door abrasie of complexe sterke fluxen.
- De aanwezigheid van Zn in het soldeersel zorgt voor een afbraak van de verbinding in een vochtige omgeving. Tenzij de verbinding volledig waterdicht is, zal er geen duurzame verbinding tot stand komen.
- Het soldeersel zal geen capillaire werking uitoefenen in spleten van aluminium zoals ze dat doet in spleten van koper.
- De lage warmtegeleidingsweerstand zorgt ervoor dat de geproduceerde warmte snel verspreidt en hoge soldeertemperaturen nodig zijn van 288 tot 399 °C. Bovendien heeft aluminium een hoge warmteovergangswaarde waardoor het metaal moeilijk opwarmt via een externe bron om de aluminiumoxiden te vermijden.
- Aluminium is een vrij onedel metaal en zal door, het hoge potentiaalverschil met de meeste andere metalen, sterk onderhevig zijn aan galvanische corrosie.

Corroded end (anodic)
Magnesium.
Aluminum.
Duralumin.
Zinc.
Cadmium.
Iron.
Chromium iron (active).
Chromium-nickel-iron (active).
Soft solder.
Tin.
Lead.
Nickel.
Brasses.
Bronzes.
Monel.
Copper.
Chromium iron (passive).
Silver solder.
Silver.
Gold.
Platinum.
Protected end (cathodic)

Figuur 23: Electrolytic Series of tabel met elektrische potentialen van de metalen (Gickler, 2002)

- Solderen gebeurt over het algemeen bij temperaturen van 225 – 490 °C. Dit is beneden de smelttemperatuur van 660°C van aluminium maar boven de annealing-temperatuur. Het kan in korte tijd reeds annealed worden bij temperaturen vanaf 325-350 °C. Aldus ondergaat het aluminium een fase-transformatie waardoor de materiaaleigenschappen van voor het solderen verloren gaan. Spanningen in het materiaal ten gevolge van vervormingen en warmtebehandelingen worden aldus verstoord. Het materiaal kan bovendien kromtrekken. De hardheid en de oppervlakte kunnen wijzigen.
- Na het solderen van aluminium worden zeer uiteenlopende resultaten verkregen bij verschillende aluminiumlegeringen die allerlei warmtebehandelingen ondergingen.

5.1.2 BRAZEREN

Het proces van brazeren is gelijkaardig aan dit van solderen, maar gebeurt met een derde metaal met een hoger smeltpunt. Bijgevolg wordt de temperatuur van het aluminium nog hoger dan bij solderen, wat deze verbindingstechniek nog minder geschikt maakt.

5.1.3 LASSEN

Omdat bij lassen, anders dan bij solderen of brazeren, ook het werkstuk (aluminium) door de grote hitte smelt, treden zeer sterke structuurveranderingen op. Het is bijgevolg niet mogelijk om lassen bij zeer kleine producten toe te passen.

Bovendien smelt aluminium zeer snel. De las-unit moet dus enorm vlug kunnen reageren door de korte smeltweg.

- Als aluminium tegen een ander metaal wordt gesmolten, dan zal het aluminium, wegens het lage smeltpunt, mogelijks al weggesmolten zijn alvorens het tweede metaal begint te smelten.
- Door de hoge warmtegeleidbaarheid en het lage smeltpunt zal het aluminium zeer snel smelten en mogelijks te ver inbranden. Er is dus een zeer nauwkeurig en snel lasproces nodig.
- De grote warmte-overgangswaerstand zorgt ervoor dat het materiaal relatief lang moet verhit worden. Omdat men niet gepulseerd kan werken moet de lastoorts bijgevolg lang werken waardoor het materiaal dreigt te verbranden.

- Door de grote warmtegradiënten, wegens het kleine materiaaloppervlak, kunnen er warmtespanningen optreden en dus breuk. De intermetallieke verbinding is zeer bros.
- De mechanische eigenschappen van het materiaal worden veranderd door het smelten.
- Het aluminiumoppervlak moet vooraf ontdaan zijn van de oxidelaag en er moet onder beschermende atmosfeer gelast worden.
- De sterkte van aluminium en de grote thermische expansie kunnen zorgen voor breuken tijdens het stolproces. Deze 'cracks' zijn een gemakkelijk doelwit voor galvanische corrosie.
- Door het grote potentiaalverschil tussen aluminium en het verbindingsmetaal treedt galvanische corrosie op.

5.2 DRUKVERBINDINGEN

5.2.1 IDC-TECHNOLOGIE

IDC staat voor Insulation Displacement Connection en is een alternatieve technologie voor het solderen of lassen van de eindpunten van elektrische geleiders. Deze technologie is bijzonder geschikt om de kosten te drukken bij grote productieaantallen. TE Connectivity heeft reeds lange tijd het Mag-Mate® contact ontwikkeld voor gebruik in telecommunicatie en kleine inductieve systemen.

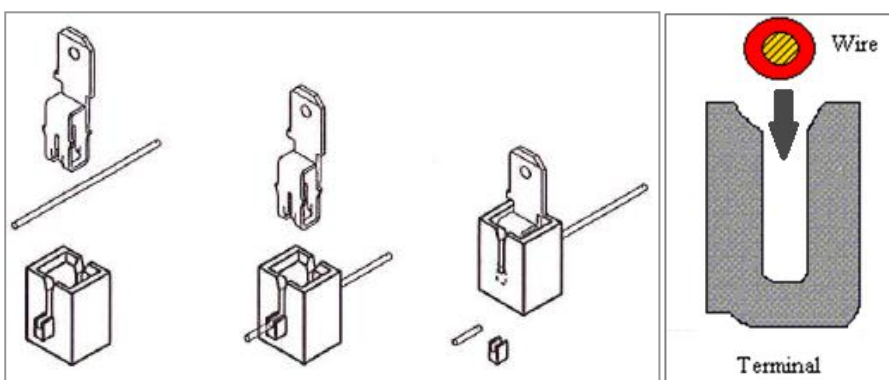
Doel

Het betrouwbaar elektrisch verbinden van een dunne geleider met de buitenwereld. Hiervoor is een connector (Mag-Mate®) en een interface vereist waarin de geleider kan verbonden worden met de connector. Deze connector wordt daarna via een andere verbindingstechniek verbonden met bijvoorbeeld een printplaat.

Principe

De verschillende stappen in het verbindingproces zijn:

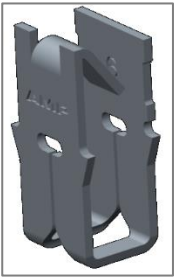
1. Vastzetten van de spoeldraad.
2. Isolatie van de spoeldraad verwijderen door de snijgeometrie van de Mag-Mate® onderaan de vork .
3. Elektrisch verbinden van de spoeldraad met de terminal door het drukken van de vork op de spoeldraad.
4. Het in acht houden van de krimp omdat de Mag-Mate® kan terugveren.



Figuur 24: Verbindingsproces van een IDC-contact (TE Connectivity, 2013)

5.2.2 MAG-MATE®

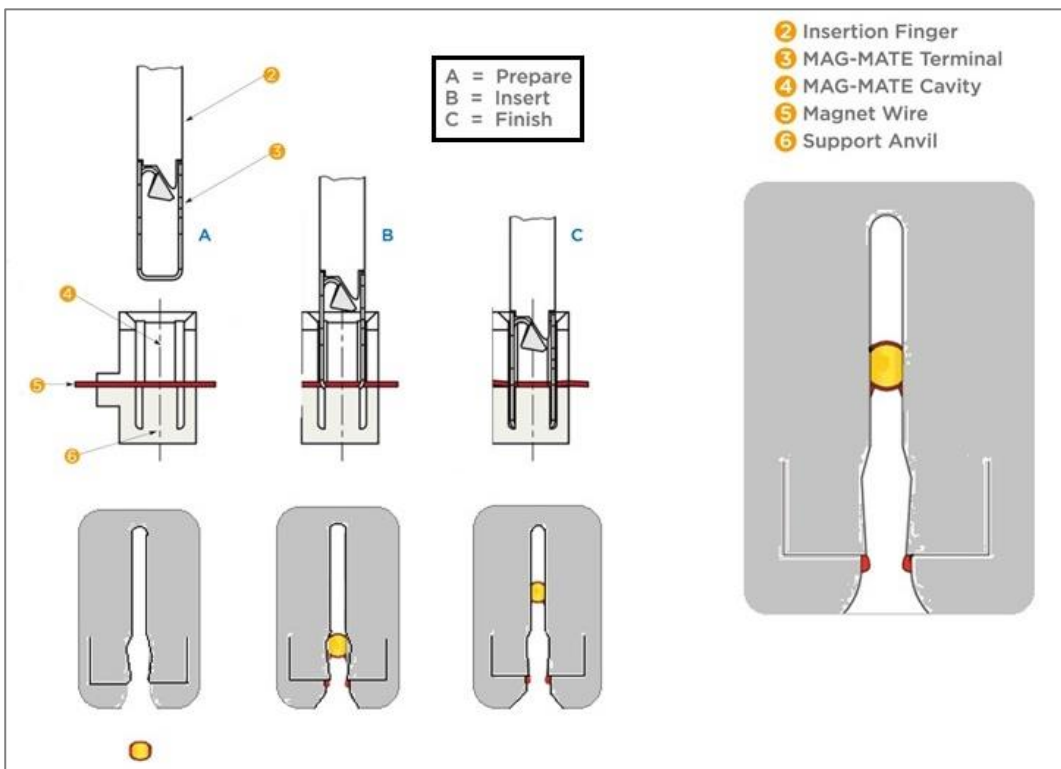
Mag-Mate® is de merknaam van een IDC-contact, ontwikkeld door TE Connectivity. Ze wordt reeds toegepast in de telecomsector en in huishoudelijke toestellen.



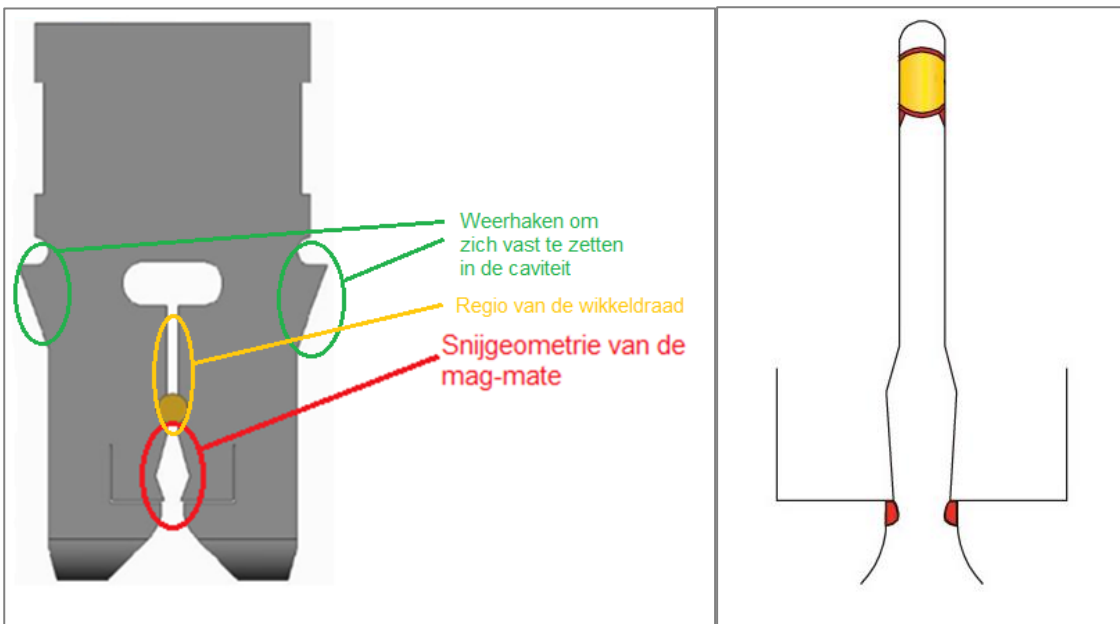
Figuur 25: Mag-Mate contact

Werking

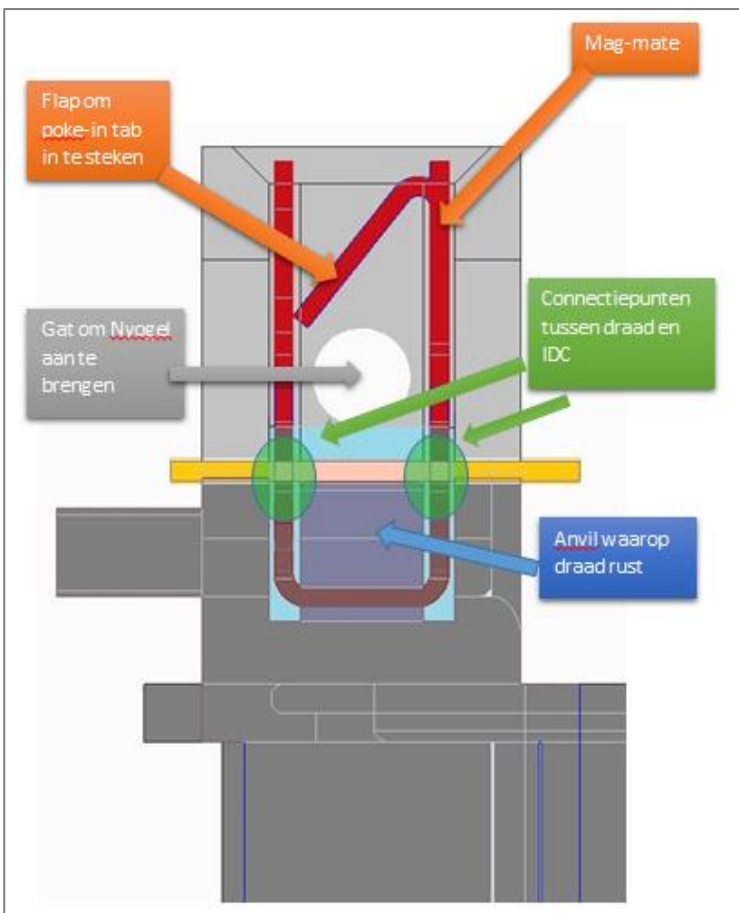
Het eindpunt van de geleider wordt (semi-)automatisch in een kunststof holte (caviteit) geplaatst. Binnenin de holte wordt de draad ondersteund door een verhoogd stuk kunststof (anvil). In de caviteit wordt de metalen (brons met laag tin erop) Mag-Mate® terminal, die elektrisch geleidend is en die één of twee IDC-slots bezit, geplaatst. Ze wordt vervolgens in de plastic holte geschoven. Scherpe randen aan de binnenkant van de IDC-slots verwijderen eerst de isolatie van de spoeldraad. Wanneer de terminal volledig is ingeschoven in de kunststof, zit de spoeldraad vastgeknepen tussen de IDC slots en vormt de terminal met de draad vier gasdichte contactpunten. De terminal oefent een constante druk uit op de draad waardoor men een betrouwbare langdurige verbinding krijgt. De Mag-Mate® kan bovendien niet gemakkelijk verwijderd worden door de weerhaken waarmee deze in de kunststof vast zit.



Figuur 26: Verbindingsproces van een draad d.m.v. een Mag-Mate® contact (TE Connectivity, 2013)



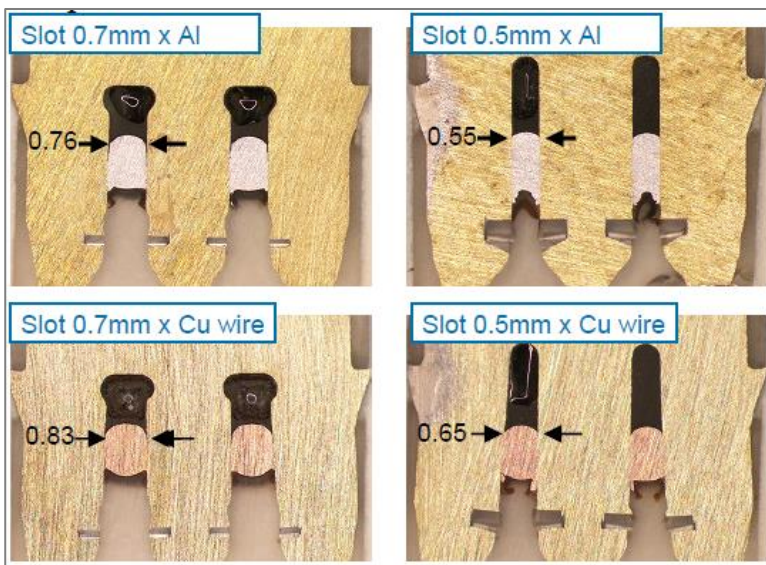
Figuur 27: Mag-Mate[®] in vooraanzicht en prinscheschets van de snijgeometrie die eerst de isolatie wegsnijdt alvorens een elektrisch contact kan gemaakt worden



Figuur 28: Overzicht van de onderdelen van de caviteit van een geassembleerde spoel met Mag-Mate[®]

Aanbevelingen bij het verbinden van aluminium spoeldraad

Aluminium heeft een veel grotere kruipgevoeligheid dan koper. Hierdoor vermindert de spanning tussen de verbinding veel sneller. Dit is te zien in de onderstaande figuur (Yusuke, 2012). De diameter van aluminium, in tegenstelling tot dat van koper, wordt veel kleiner na indrukking. Dit verlaagt de contactdruk tussen beide. Een oplossing is om aluminium spoeldraad te legeren met ijzer. Dit is omwille van de materiaalkost geen evidente optie. Met het Mag-Mate® systeem is het mogelijk om een duurzame langdurige verbinding tot stand te brengen met zuivere aluminium spoeldraad. Bij het ontwerp van een aluminium spoel met het IDC-contact moet men rekening houden met verschillende design- en materiaalfactoren. TE heeft hiervoor in het verleden enkele studies uitgevoerd en een succesvolle verbinding op lange termijn tot stand gebracht. De tests toonden aan dat het Mag-Mate® systeem zeer stabiel functioneerde zolang de ontwerpers rekening hielden met enkele voorwaarden.

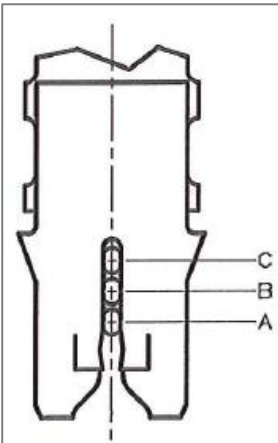


Figuur 29: Indrukking van de Cu en Al-draden na verbinden met Mag-Mate® (Yusuke, 2012)

De tests werden uitgevoerd om de invloed van onderstaande variabelen te kennen:

- Hoogte van de spoeldraad in de IDC-terminal
- Buigbaarheid van de connector
- Coatingmateriaal van de IDC-terminal
- Invloed van een Strain-relief Feature
- Verhouding van de gleufbreedte van de terminal tot de diameter van de spoeldraad

Hoogte van de spoeldraad in de IDC-terminal



Figuur 30: Positie van de spoeldraad in de Mag-Mate® (TE Connectivity, 2011)

Bovenstaande foto toont de doorsnedes van drie mogelijke draadhoogtes, die de wikkeldraad kan hebben, na het inserteren van de Mag-Mate® in de kunststof.

- Positie A is de beste en biedt de meeste veerkracht en de langste levensduur.
- Positie B is de standaard voor koper spoeldraad.
- Positie C biedt bijna geen veerkracht en heeft een zeer korte levensduur.

Buigbaarheid van de connector

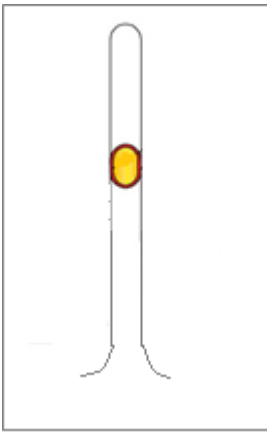
Indien de buigbaarheid van de connector (terminal) verhoogt (stijfheid verlaagt), verhoogt de elektrische weerstand. Men kiest dus voor een standaard connector.

Coatingmateriaal van de IDC-terminal

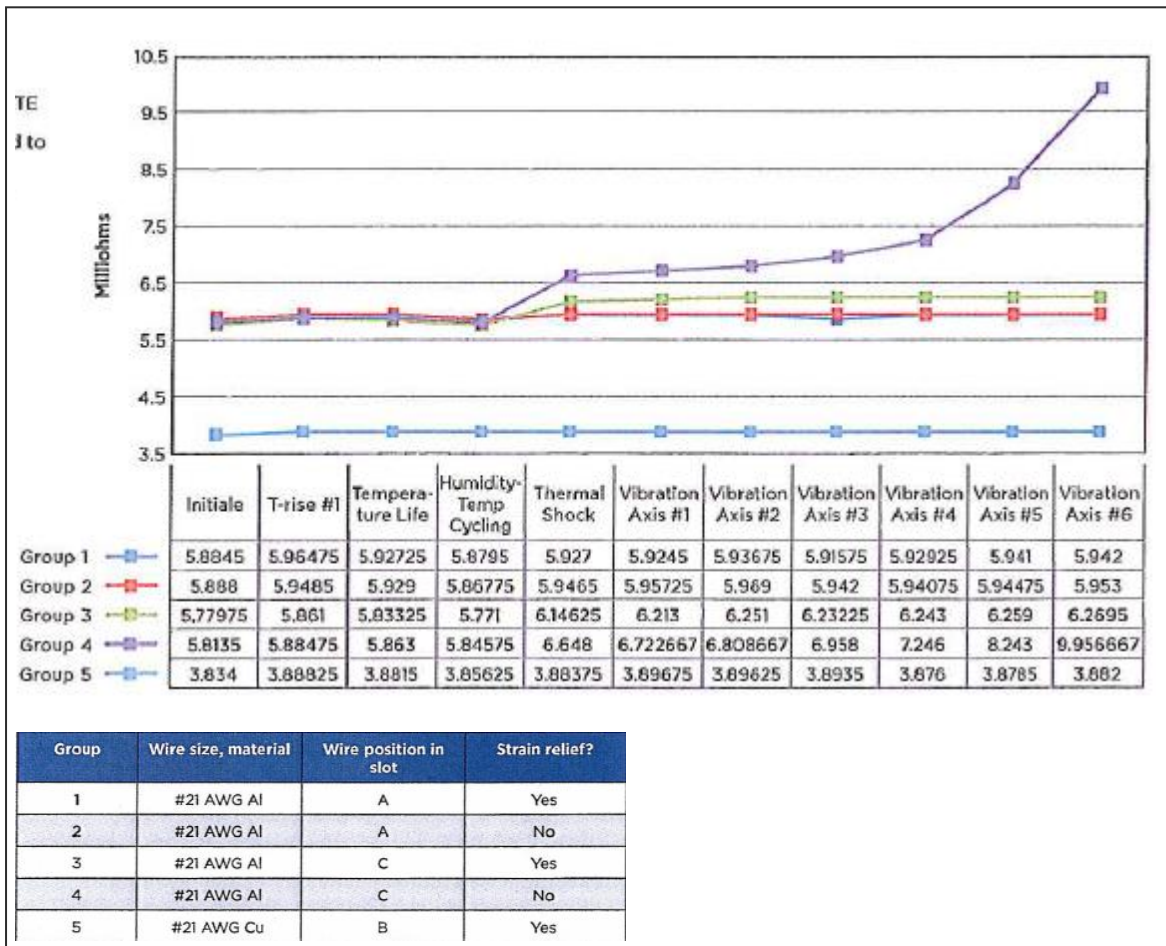
Tests wijzen uit dat de elektrische weerstand het laagst blijft bij gebruik van de standaard Mag-Mate® terminals met een Sn-coating. Een coating met In (Indium) verhindert de vorming van Al-oxides maar vergroot toch de elektrische weerstand.

Invloed van een strain-relief feature

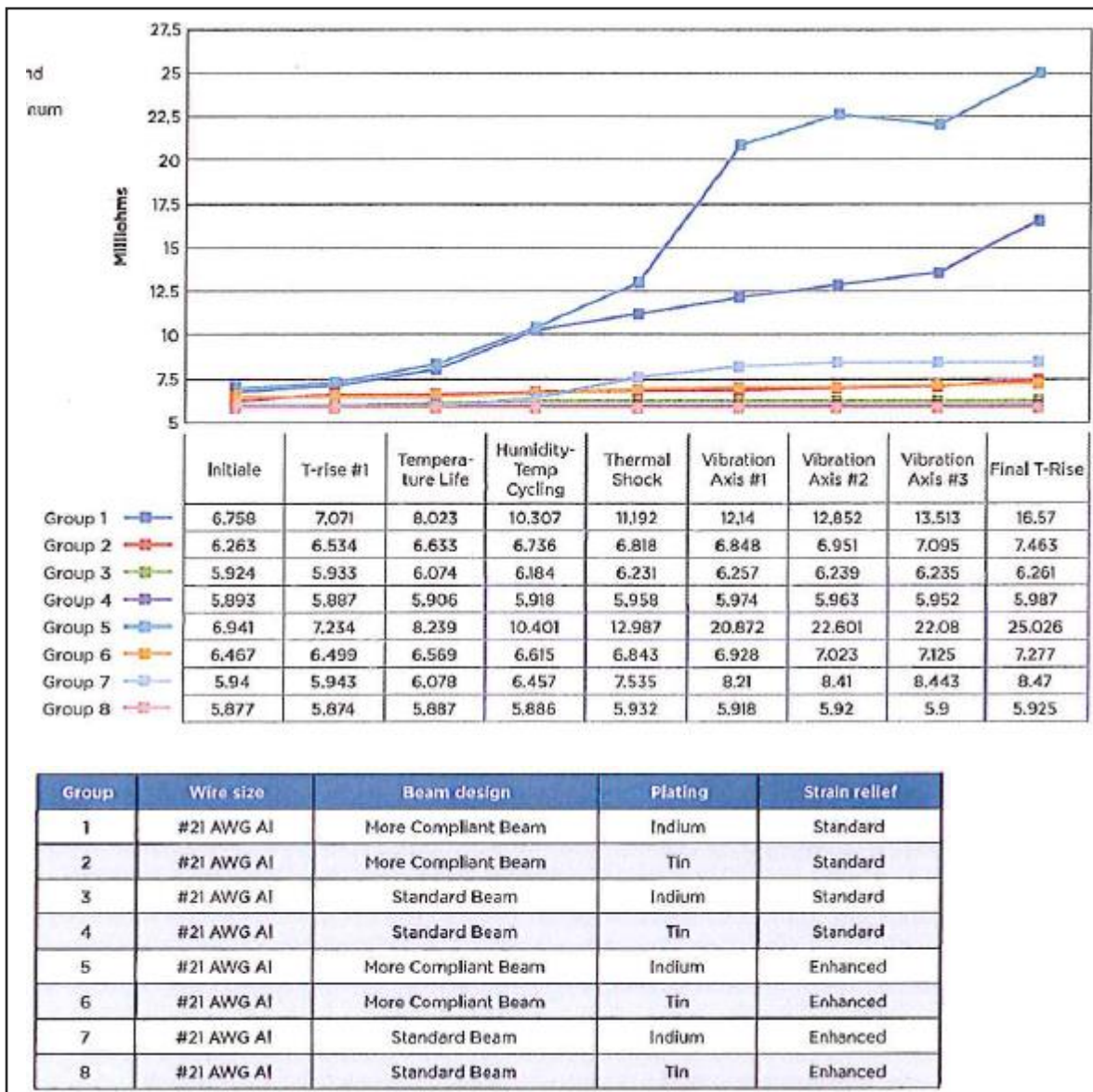
Indien de wikkeldraad onderhevig is aan uitwendige krachten, kan men de verbinding duurzamer maken door gebruik te maken van een Mag-Mate® met Strain-relief feature. In dit geval functioneert de ene vork nog steeds als IDC-contact terwijl de tweede vork een grotere gleuf heeft om de draad met de isolatie errond vast te klemmen. Deze klemming is duurzamer dan een tweede IDC-slot, bij toepassingen waar veel trillingen optreden zoals in auto's.



Figuur 31: Principetekening van een strain-relief feature



Figuur 32: Gemiddelde weerstand van de terminals bij verschillende testen (TE Connectivity, 2011)

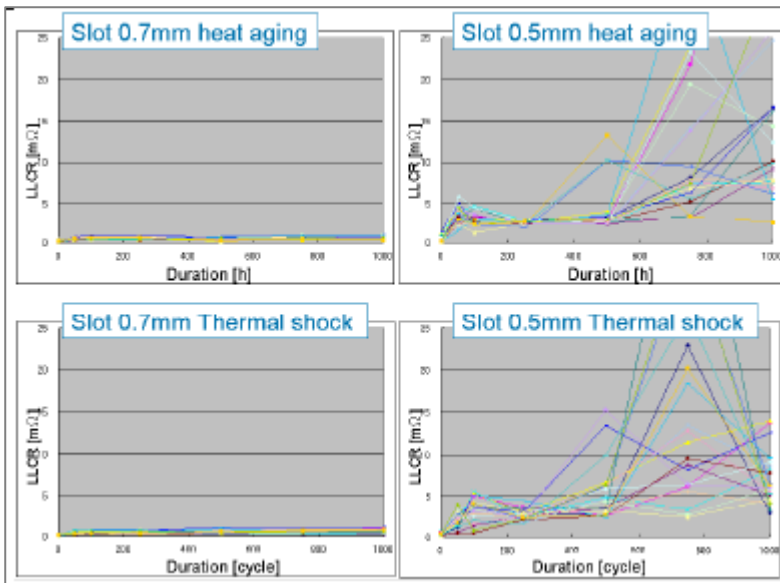


Figuur 33: Gemiddelde weerstand van de terminals bij verschillende testen (TE Connectivity, 2011)

Verhouding van de gleufbreedte van de terminal tot de diameter van de spoeldraad

Eerste vaststelling.

Bij een verhouding van de gleufbreedte van de terminal tot de diameter van de spoeldraad van ongeveer 0,5 steeg de elektrische weerstand exponentieel na een gesimuleerd verouderingsproces door warmte en thermische shock. Dit in tegenstelling tot een verhouding van 0,7 waarbij de weerstand bijna niet steeg.



Figuur 34: Invloed van de gleufbreedte bij een draaddiameter van 1 mm (Yusuke, 2012)

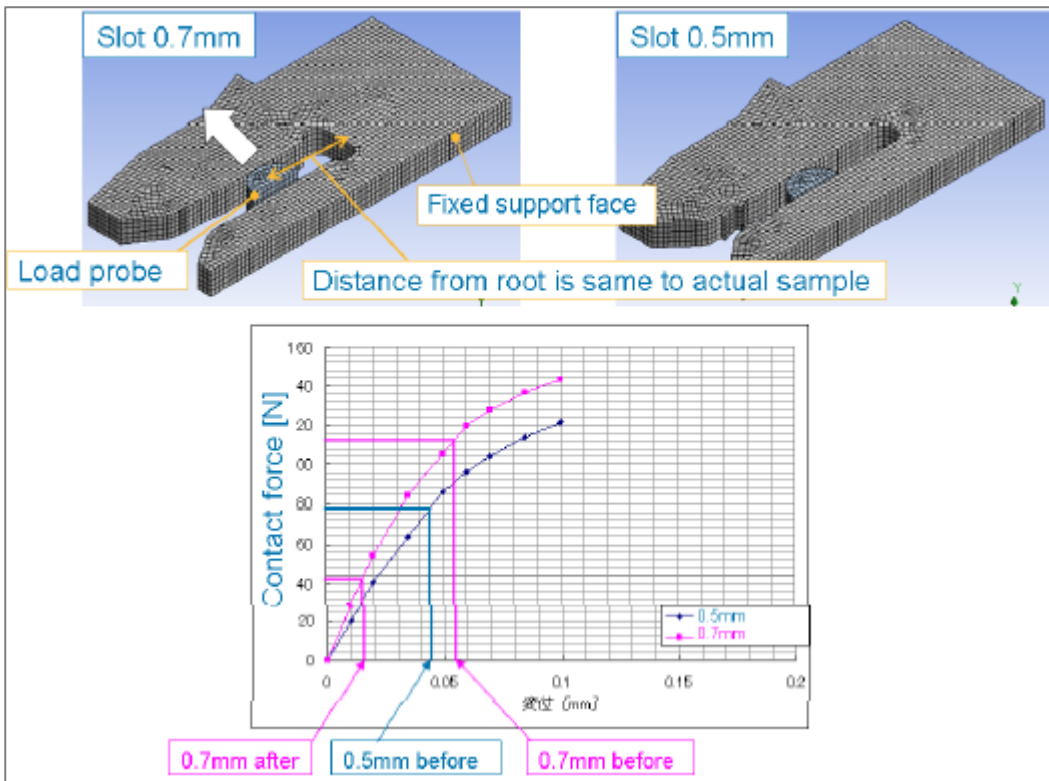
Tweede vaststelling.

Dit betreft de gleufbreedte na hitteveroudering en na thermische shock. Men ziet in onderstaande figuur dat na een thermische behandeling, de gleufbreedte, die oorspronkelijk werd vergroot door het contact met de draad, nu terug verkleind is. Bij een originele gleufbreedte van 0,7 mm is deze nog in kleine mate “uitgerokken”, maar bij een begingleufbreedte van 0,5 mm is de gleufbreedte na belasting opnieuw zoals in onbelaste toestand.

Sample	Test	before	After
Slot 0.7mm	Heat aging	0.061-0.064	0.017-0.021
	Thermal shock	0.059-0.061	0.016-0.025
Slot 0.5mm	Heat aging	0.045-0.051	0
	Thermal shock	0.045-0.050	0

Tabel 4: Verbreding [mm] van de gleuf na insertie van de Mag-Mate® (Yusuke, 2012)

Uit deze vaststelling, met name de rek van de IDC-terminal, leert men meer over de contactkracht tussen de terminal en de spoeldraad. Onderstaande figuur toont, dat bij een gleufbreedte van 0,7 mm, de contactkracht na thermische behandeling nog 40 N bedraagt. Bij een gleufbreedte van 0,5 mm is deze kracht nagenoeg volledig weggefallen.



Figuur 35: Invloed van de gleufbreedte op de contactkracht van de Mag-Mate[®] op de draad (Yusuke, 2012)

Aldus kan men besluiten dat, om kruipdeformatie tegen te gaan, de spoeldraad niet te veel mag ingedrukt worden. De ideale verhouding van de gleufbreedte tot de draaddiameter bedraagt 0,6-0,7.

DESIGN

Tijdens de design-fase worden alle componenten ontworpen, die in een later stadium zullen geassembleerd worden om tot een functionerende spoel te komen. Het design van de nieuwe spoel is een volledig nieuw ontwerp, gebaseerd op dat van een reeds bestaande spoel in productie, de EBC-460. Het is de bedoeling om de functie van de vorige spoel over te nemen. De nieuwe spoel zal voor éénzelfde elektrische weerstand grotere afmetingen hebben, maar tegelijkertijd ook een grotere inductie. Doordat in het designproces wordt gefocust op éénzelfde weerstand zal hij niet in de bestaande EBC-460 ABS-module kunnen ingebouwd worden. De grotere inductie biedt wel het voordeel dat de toekomstige geleider van de flux rond de spoel, een ijzeren fluxring, dunner kan gemaakt worden. Ook het aantal wikkelingen wordt overgenomen. Het design is niet meteen bedoeld voor seriereproductie, maar toch worden maatregelen genomen om de assemblage op langere termijn door machines te kunnen laten verlopen.

Eerst wordt het oorspronkelijke design van de EBC-460 spoel besproken. Daarna wordt in chronologische volgorde de aluminium spoeldraad besproken, de Mag-Mate[®] connectors, de bobijn, het potting material en tenslotte de poke-in tabs.

1 EBC-460 SPOEL

De EBC-460 spoel bevindt zich in de EBC-460 module. Ze bestaat uit een vezelversterkte kunststof bobijn met daarop een koperen wikkeldraad die gelast is aan Multi-Spring[®] contacten. De Multi-Spring[®] contacten dienen om contact te maken met de printplaat van de ECU door deze hierin te persen. Rond de spoel is er een ijzeren ring die dient om de flux (magnetische stroom) buiten de spoel te geleiden om een grotere magnetische inductie te bekomen.



Figuur 36: EBC-460 spoel zonder en met fluxring om de elektromagnetische stromen te bundelen en dus de inductie te versterken

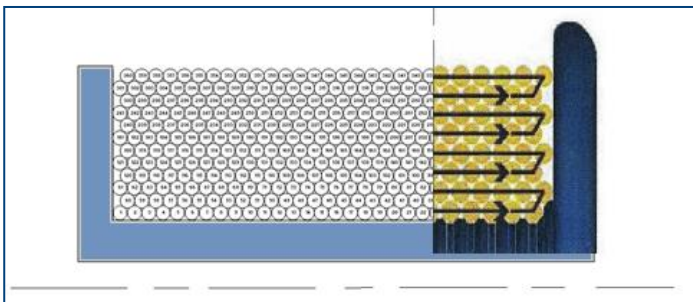
1.1 EIGENSCHAPPEN

De belangrijkste eigenschappen en het wikkelpatroon:

Design	Eigenschap*	Overgenomen in nieuwe spoel
Bobijn		X
Wikkeldraad		
Aantal wikkelingen		X
Aantal lagen		
Aantal wikkelingen per laag		
Wikkelpatroon		X
Totale weerstand		X
Verbinding met ECU		

* Bovenstaande en onderstaande gegevens zijn bedrijfsgeheim en zijn opzettelijk weggelaten

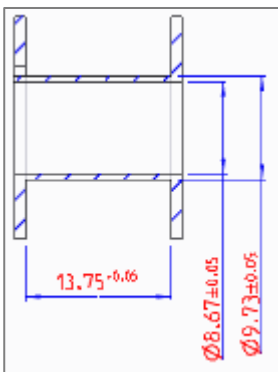
Tabel 5: Eigenschappen van de EBC-460 spoel*



Figuur 37: Wikkelpatroon van de EBC-460 spoel*

1.2 FUNCTIONELE AFMETINGEN

De functionele afmetingen zijn de afmetingen die worden overgenomen van de EBC-460. Deze bepalen of de spoel al dan niet zijn functie binnen de ECU kan uitvoeren.



Figuur 38: Functionele afmetingen van de EBC-460 spoel

Concreet gaat het hier over de binnendiameter. Deze is functioneel want de nieuwe spoel moet over dezelfde pin passen als de oude. De dikte van de kunststof waarop de wikkelingen liggen en de wikkelbreedte blijven dezelfde. De dikte van de kunststof moet groot genoeg zijn zodat de wikkeldraden, eenmaal de spoel gewikkeld is, de bobijn niet kapot drukken. Ook de wikkelbreedte is bepalend voor de hoogte van de wikkelingen die de pin omsluiten rondom de inwendige kern. Want de kern die geëxciteerd wordt moet de hydrauliekventielen aansturen.

2 SPOELDRAAD

De nieuwe spoeldraad zal gemaakt worden uit aluminium. Het aantal wikkelingen, 360, en de totale weerstand van de wikkeldraad zijn dezelfde als deze van de EBC-460. Elektrisola is de leverancier van de geïsoleerde draad.

2.1 EISEN

De nieuwe spoeldraad moet voldoen aan volgende eisen:

- Het geleidermateriaal mag enkel uit aluminium bestaan ; dus bijvoorbeeld geen aluminium met koperlaagje of dergelijke, om de kosten laag te houden.
- Het isolatiemateriaal blijft hetzelfde als bij de EBC-460 spoeldraad zodat de doorslagspanning en de temperatuur bestendigheid van de draad even groot blijft.
- De weerstand van een draaddoorsnede moet in elk geval kleiner zijn dan deze van de koperdraad van de EBC-460. De totale lengte van de aluminium wikkeldraad wordt namelijk groter door de grotere diameter.
- Het aantal wikkelingen bedraagt 360, zoals bij de EBC-460.
- De geïsoleerde spoeldraad moet goed wikkelbaar zijn zoals bij de EBC-460.

2.2 GELEIDERMATERIAAL : ALUMINIUM EN AW1350A

Het materiaal dat voor de spoeldraad wordt gekozen is Al volgens EN AW1350a. Dit is nagenoeg zuiver aluminium dat vaak wordt toegepast als elektrische geleider in inductieve systemen. Vaak wordt ook de naam E-Al (Electric Aluminium) gebruikt. Het massapercentage aluminium bedraagt ongeveer 99,5 %.

2.2.1 NORMERING

De normering van het aluminium is via de Europese norm. Dit is de EN AW-1350a.

EN	A	W	1	3	5	0	A
Europese norm	Aluminium	Gesmede legering	Legeringsgroep 1 = zuiver alu	Rangnummer (geen specifieke betekenis)			Temperatuursklasse

Tabel 6: EN-normering van aluminium

2.2.2 FYSISCHE EN TECHNISCHE EIGENSCHAPPEN

Net zoals zuiver aluminium heeft E-Al een goede elektrische en thermische geleidbaarheid. Bovendien is ze zeer goed koudvervormbaar.

EN AW-1350a			
Dichtheid	g/cm ³	2.71	
Elasticiteitsmodulus	kN/mm ²	69	
Lineaire thermische uitzettingscoëfficiënt	10 ⁻⁶ 1/K	23.6	20-100°C
Thermische geleidbaarheid	W/mk	225-235	
Specifieke elektrische geleidbaarheid	m/Ωmm ²	35.4-36.5	20°C
Specifieke elektrische weerstand	10 ⁻⁹ Ωm	28.2-27.4	20°C
Smelttemperatuur	°C	645-657	

Tabel 7: Fysische en technische eigenschappen van EN AW-1350a (Atlas Steels, 2010)

2.2.3 CHEMISCHE SAMENSTELLING

Massaprocent	Si	Fe	Cu	Mn	Cr	Ti + V	B	Andere
Maximum	0.1	0.4	0.05	0.01	0.01	0.02	0.05	0.03

Tabel 8: Chemische samenstelling van EN AW-1350a (Atlas Steels, 2010)

2.3 AFMETINGEN

De spoeldraad wordt bepaald op basis van de diameter van de geleider en de uitwendige diameter met de isolatie. De binnendiameter wordt veelal vertaald naar de AWG-schaal. Omdat de diameter van de draad niet eenvoudig kan berekend worden, zonder gebruik te maken van specifieke formules, wordt de Coil-calculator gebruikt. Dit is een Excel-werkblad gemaakt door dhr. Tom Ocket van TE Connectivity Oostkamp en wordt intern in TE gebruikt.

2.3.1 AWG-SCHAAL

De American Wire Gauge (AWG) is een code om de dikte van draden te standaardiseren. Elke AWG-waarde correspondeert met een metrische waarde in mm.

Berekening:

$$AWG = 18,2 - 8,62 * \ln(d) \quad \text{met } d \text{ [mm]}$$

$$d = 0,127 * 92^{\frac{(36-AWG)}{39}}$$

2.3.2 BEREKENING MET COIL-CALCULATOR

De Coil-Calculator is een Excel-sheet waarin, a.d.h.v. een aantal ingevoerde gegevens, de ontbrekende gegevens kunnen bekomen worden via een ingebouwde solver. In TE Connectivity Oostkamp wordt ze gebruikt voor de ontwikkeling van nieuwe spoelen voor ABS-modules en voor resolvers. Zo kan men a.d.h.v. de materiaalparameters en de nodige weerstand, het volledige wikkelpatroon bepalen, de totale draadlengte en de draadhoogte bepalen. Tenslotte wordt dit wikkelpatroon visueel voorgesteld.

Een print-out van het gebruikte programma vindt men in de figuren 131 en 132.

De belangrijkste resultaten zijn:

- Diameter van de geleider: 0.378 - 0.384 mm (26.5 AWG)
- Diameter met isolatie: 0.424 - 0.440 mm
- Elektrische weerstand: 0.2420 - 0.2505 Ohm/m



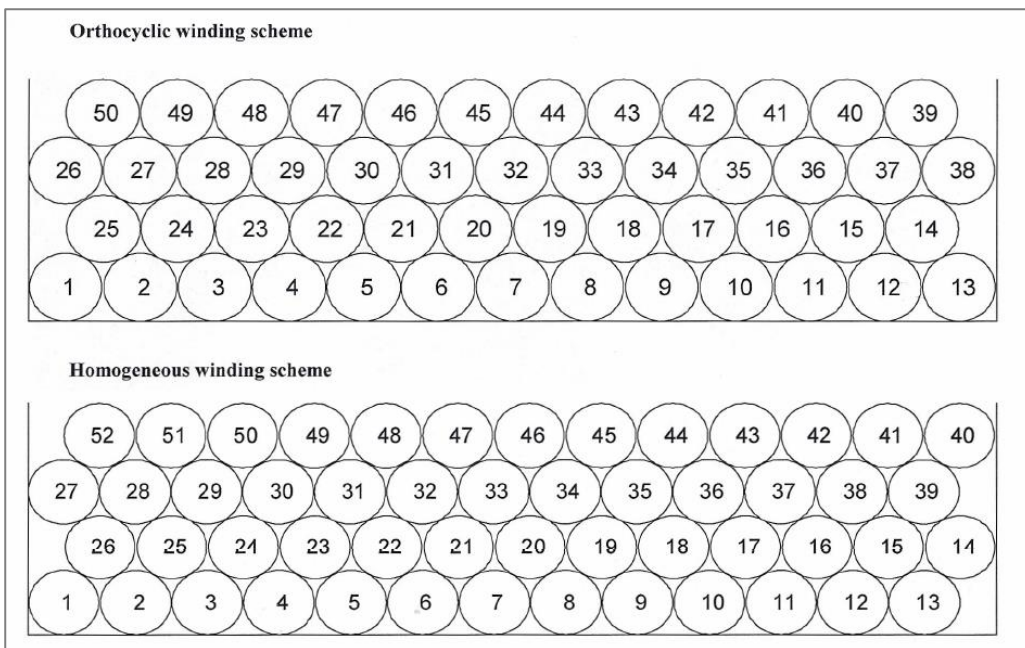
Figuur 39: Praktische wikkeldraad

2.4 WIKKELPATROON

Het wikkelpatroon is een resultaat van de coil-calculator en is enkel geldig onder ideale omstandigheden. In de praktijk kan ze, door afwijkende afmetingen van de bobijn en de wikkeldraad, licht verschillen.

2.4.1 VERSCHIL TUSSEN ORTHOCYCLISCH EN HOMOGEEN WIKKELEN

Spoeldraden kunnen op twee manieren gewikkeld worden op een bobijn: orthocyclisch en homogeen, hieronder staan beide manieren uitgelegd.

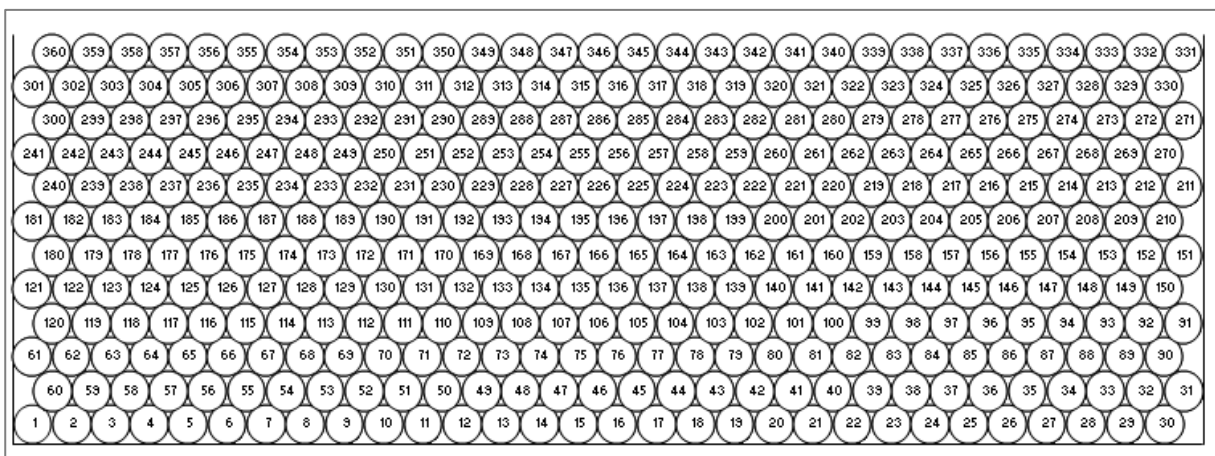


Figuur 40: Orthocyclisch en homogeen wikkelschema

Het voordeel van homogeen wikkelen is dat elke laag evenveel wikkelingen heeft. Het nadeel van homogeen wikkelen is dat er een iets grotere wikkelbreedte nodig is. Toch worden beiden in de praktijk toegepast.

Nieuwe spoel	
Nieuwe wikkeldraad	Aluminium
Aantal wikkelingen	360
Aantal lagen	12
Aantal wikkelingen per laag	30

Tabel 9: Wikkeleigenschappen van de nieuwe aluminium spoel



Figuur 41: Wikkelpatroon van de nieuwe aluminium spoel

2.5 ISOLATIE

De isolatie is dezelfde als voor de koper wikkeldraad. Het enige verschil tussen beide isolaties is de hechting van de isolatie op de geleidende draad. De naam van de isolatie is NEMA MW 35-A (Al) i.p.v. de oorspronkelijke NEMA MW 35-C (Cu). Het hechten van de isolatie aan de aluminium geleider is moeilijker dan aan de koper geleider.

Product-code	Al210
Product-name	Amidester210*
General Description	Theic-mod. Polyesterimide+ Polyamidimide
Grade	Grade 1*, thickness 0,0255 mm
IEC	IEC 60317-13
NEMA	MW35-A
Properties	Very high thermal properties and high mechanical resistance
Applications	Motors
AWG range	56-24

Tabel 10: Eigenschappen van het isolatiemateriaal (Elektrisola, 2010)

*210 = de temperatuursrange van de isolatie ; dit is de maximale temperatuur waarbij een heat shock nog mogelijk is zonder dat de isolatie doorslag geeft.

*Grade 1 = de dikte van de isolatie.
Isolaties bestaan in drie gradaties: grade 1, grade 2 en grade 3.
Grade 1 is de minst dikke isolatie.

Enkele belangrijke eigenschappen van de isolatie:

- Ze is goed wikkelbaar.
- De isolatie kan continu een hoge bedrijfstemperatuur aan.
- Ze heeft excellente diëlektrische eigenschappen.
- Ze kan overbelasting weerstaan.
- Ze heeft een goede weerstand tegen plotse intrusie van solventen.

2.6 DRAADSPANNING BIJ HET WIKKELEN

2.6.1 INVLOED VAN DE DRAADSPANNING

De draadspanning bij het wikkelen moet tussen bepaalde grenzen worden gehouden en is sterk afhankelijk van de treksterkte van het gebruikte materiaal.

- De wikkelspanning mag niet te laag zijn, omdat de wikkelingen anders niet goed op elkaar aansluiten waardoor men tijdens het wikkelp proces moeilijkheden kan ondervinden. Het wikkelpatroon kan in gevaar komen als de draadhoogte te groot wordt.
- De wikkelspanning mag niet te hoog zijn omdat de wikkeldraad niet te veel mag uitrekken waardoor de diameter van de geleider zou verminderen. Dit zou leiden tot een verhoogde elektrische weerstand. Bovendien zou de inwendige diameter van de bobijn te sterk krimpen waardoor de spoel mogelijks niet meer rond de pin past.

2.6.2 BEREKENING VAN DE DRAADSPANNING

De draadspanning tijdens het wikkelen is afhankelijk van de treksterkte van de draad. Normaal gezien is deze wikkelspanning bepaald door de verdeler van de wikkeldraad. De spoelen worden gewikkeld met een kracht berekend volgens onderstaande methode.

Koper

- Diameter van de geleider: 26,5 AWG
- Treksterkte R_m 2.45E+08 N/m²
- Wikkelspanning 800 cN

Aluminium

- Diameter van de geleider 26,5 AWG
- Treksterkte R_m 1,30E+08 N/m²
- Wikkelspanning ?? cN

Berekening:

$$F = F_0 * (\sigma/\sigma_0) = 800 * (1,3/2,45) = 425 \text{ cN}$$

Volgens de leverancier van de wikkeldraad kan men voor de wikkelspanning van aluminium, ofwel 45%, ofwel 60% van de wikkelspanning van koper gebruiken. In dit project wordt 53 % gebruikt.

2.7 VERGELIJKING TUSSEN DE OUDE EN DE NIEUWE SPOELDRAAD

De onderstaande vergelijkende tabel is een overzicht van de spoeldraad en het wikkelpatroon van de nieuwe en de EBC-460 spoel. Ze is vooral van belang bij het bepalen van de kostprijs.

Spoeldraad	Eenheid	Aluminium				Koper EBC460			
		Min.	Nom.	Max.	Gemeten	Min.	Nom.	Max.	Gemeten
Diameter bare wire	mm								
	AWG								
Diameter isolated wire	mm								
Draadweerstand	Ω/m								
Totale draadweerstand*	Ω								
Wikkelpatroon									
Aantal windingen									
Aantal windingen per laag									
Aantal lagen									
Bobijn width*	mm								
Height of windings*	mm								
Totaal gewicht draad*	g								
Draadlengte*	m								
Isolatie									
	*	Theoretische gegevens (Coil calculator)							
		Gemeten waarden							

Tabel 11: Vergelijking tussen de oude en de nieuwe spoeldraad*

* Bovenstaande gegevens zijn bedrijfsgeheim en zijn opzettelijk weggelaten

3 MAG-MATE®

De Mag-Mate® bepaalt op welke manier de draad gecontacteerd wordt. Ze bepaalt hoeveel de draad wordt ingesneden en hoe ze wordt vastgehouden. De Mag-Mate® is de ontbrekende schakel bij het tot stand brengen van een verbinding van de aluminium wikkeldraad met de ECU. Ze bezit dus twee connecties, namelijk met de spoeldraad en met de printplaat van de ECU. De Mag-Mates® die voor dit project gebruikt worden, hebben geen rechtstreekse verbinding met de ECU, maar zijn uitgerust met geometrie-features die op termijn wel zo'n verbinding mogelijk maken. Andere Mag-Mates® kunnen meteen met de ECU worden verbonden.



Figuur 42: Mag-Mate® contact

3.1 GLEUFBREEDTE

Als de Mag-Mate® in de caviteit wordt geschoven, wordt de lak van de spoeldraad afgesneden. De gleufbreedte van de Mag-Mate® bepaalt dus hoe ver de spoeldraad wordt ingesneden.

3.1.1 ALGEMEEN

Definities van de begrippen die gebruikt worden:

D = de diameter van de geleider (zonder isolatie)

$D - \Delta D$ = de gleufbreedte van de Mag – Mate®

ΔD is dus de verkleining van diameter van de geleider

Definitie van de compressieverhouding k (compression ratio):

$$k = \frac{\Delta D}{D} = \frac{D - (D - \Delta D)}{D}$$

Hoe groter de compressieverhouding, hoe meer de draad wordt ingesneden door de Mag-Mate®. Hoe kleiner, hoe meer de draad zijn originele diameter behoudt.

De verhouding van de gleufbreedte tot de draaddiameter a is afhankelijk van k :

$$a = \frac{D - \Delta D}{D} = 1 - k$$

3.1.2 TABEL MET BEREKENINGEN VAN DE COMPRESSIEVERHOUDINGEN VAN DE VERSCHILLENDE MAG-MATES®

Onderstaande tabel geeft de compressieratios weer van verschillende Mag-Mate® contacten in combinatie met een spoeldraad van 26,5 AWG. De weergegeven Mag-Mate® contacten worden volgens experts het meest aanbevolen en zijn dé kandidaten om achteraf testen op uit te voeren. Deze compressieratios zijn belangrijk voor de betrouwbaarheid van de verbinding. Onderaan de tabel staan de ideale compressieratios bepaald door onderzoekers.

Calculation of the compression ratios and slot width / wire diameter ratios						
k = compression ratio = $\Delta D / D$ (zie TEC 202-21)						
D = diameter naked wire						
D - ΔD = width of the fork of the mag-mate						
Mag-mate used:		62429			62935	
Fork width:		0,006 inch min	0,007 inch max		0,01 inch min	0,011 inch max
	D-deltaD	0,1524 mm	0,1778 mm	D-deltaD	0,254 mm	0,2794 mm
Aluminium wire range for mag-mate:		28 - 25 AWG			24 - 22 AWG	
Case						
	wire	26,5 AWG		wire	26,5 AWG	
	D	0,38 mm		D	0,38 mm	
$k = (D - (D - \Delta D)) / D$	k	0,599	0,532	k	0,332	0,265
		59,9 %	53,2 %		33,2 %	26,5 %
slot width / wire diameter	a	0,40	0,47	a	0,67	0,74
Mag-mate used:						
		1217368			63789	
Fork width:		0,009 inch min	0,01 inch max		0,01 inch min	0,011 inch max
	D-deltaD	0,2286 mm	0,254 mm	D-deltaD	0,254 mm	0,2794 mm
Aluminium wire range for mag-mate:		28-25 AWG			24-22 AWG	
Case						
	wire	26,5 AWG		wire	26,5 AWG	
	D	0,38 mm		D	0,38 mm	
$k = (D - (D - \Delta D)) / D$	k	0,398	0,332	k	0,599	0,532
		39,8 %	33,2 %		59,9 %	53,2 %
slot width / wire diameter	a	0,60	0,67	a	0,67	0,74
Ontwerpeisen:		Yusuke Okada	TEC 202-21: IDC Design Standard			
k		0,3 - 0,4	0,3			
a		0,6 - 0,7	0,7			
Verband tss k en a	k = 1 - a					

Tabel 12: Berekeningen van de compressieverhoudingen van de verschillende Mag-Mates® voor een Al-draad van 26,5 AWG

3.1.3 BELANG VOOR DE VERBINDING

De gleufbreedte van de Mag-Mate®, en de daaraan verbonden compressieverhouding zijn van groot belang voor de betrouwbaarheid van de verbinding.

Waarom is een hoge compressieverhouding goed:

- Er is een grote kracht tussen Mag-Mate® en draad ; dus een stevige fysische en elektrische verbinding.
- Er is een groot contactoppervlak tussen Mag-Mate® en draad ; dus een lage elektrische weerstand.

Waarom is een lage compressieverhouding goed:

- De wikkeldraad wordt minder ingesneden; er is dus minder risico op het doorsnijden van de draad bij insertie. De draadsterkte blijft beter behouden als ook de doorsnede beter behouden blijft.

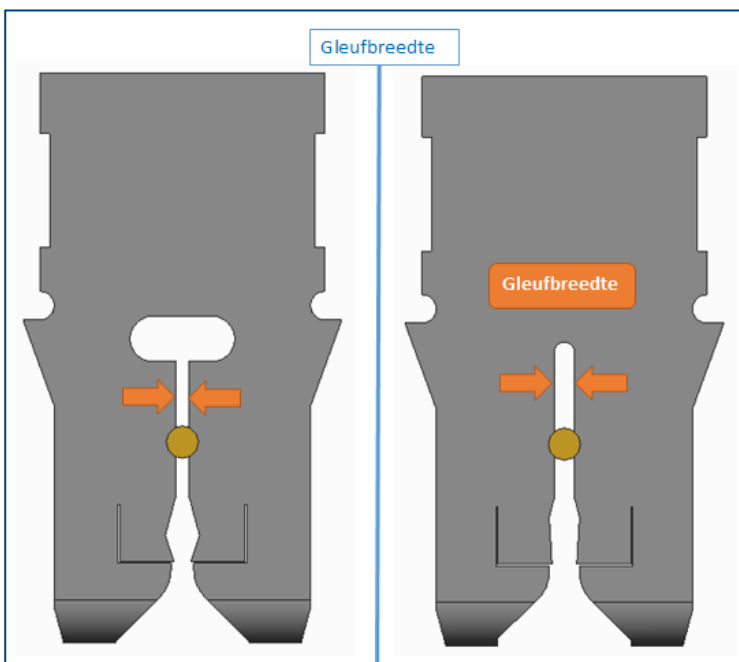
- Bij een lagere contactkracht tussen Mag-Mate® en wikkeldraad treedt er, op langere termijn, minder kruip op.

Er wordt een compromis gevormd tussen een goed elektrisch contact en een goede betrouwbaarheid op langere termijn.

Bij ontwerpen met koper wikkeldraad wordt gekozen voor een hogere compressieverhouding omdat:

- Koper minder is onderhevig aan kruip door de hogere smeltemperatuur.
- Koper een hogere treksterkte heeft dan aluminium en minder risico loopt op draadbreek bij éézelfde belasting van de wikkeldraad.

Voor aluminium wordt een lagere compressieverhouding gekozen. In onderstaande figuur heeft de linkse Mag-Mate® een compressieverhouding die ideaal is voor koper. De rechtse Mag-Mate® is meer geschikt voor aluminium.



Figuur 43: Verschillende gleufbreedtes van de Mag-Mates® (links heeft een kleinere gleufbreedte dan rechts)

3.2 HOOGTE VAN DE DRAAD IN DE MAG-MATE®

3.2.1 ALGEMEEN

De hoogte van de draad in de Mag-Mate® is belangrijk zelfs als ze zich binnen de gepaste geometrie bevindt. De geometrie van de Mag-Mate® blijft constant over een grote lengte, maar de kracht die de draad ondervindt, eenmaal deze is vastgezet, is mede bepalend voor de kwaliteit van de verbinding. Deze kracht is sterk afhankelijk van de draadhoogte in de Mag-Mate®.

3.2.2 INVLOED VAN DE HOOGTE VAN DE DRAAD IN DE MAG-MATE®

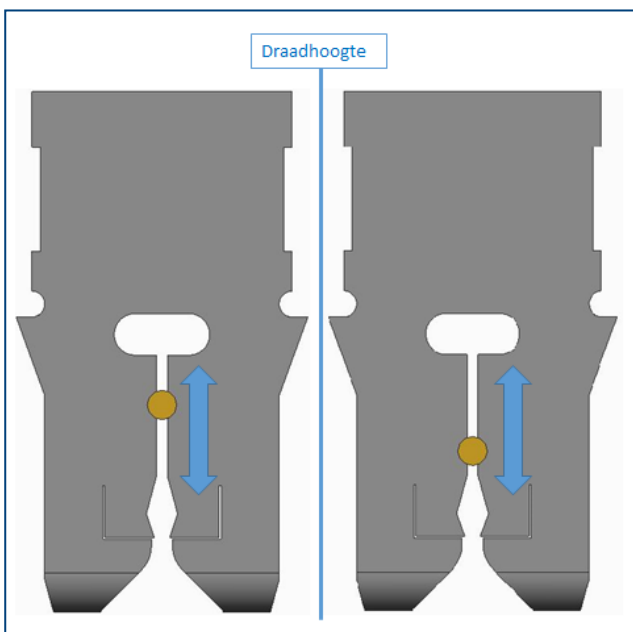
De Mag-Mate®- geometrie van de vork fungeert als een schaar. Het draaipunt bevindt zich bovenaan de sleuf. De beide benen kunnen als het ware rond het draaipunt roteren. De weerhaken, op de zijkant van de Mag-Mate® ter hoogte van de bovenkant van de sleuf, kunnen de schaar meer of minder toeduwen. De geometrie van de caviteit die op de weerhaken duwt, is dus zeer belangrijk om

een goede verbinding te bekomen. Indien de draad zich dicht bij het draaipunt bevindt, is de kracht op de draad zeer groot omdat de momentsafstand vrij klein is. Indien de draad verder van het draaipunt ligt, is de momentsafstand groter en de indrukingskracht kleiner. Hierdoor wordt de draad minder belast en het veereffect van de Mag-Mate® benen verbeterd. Dit effect wordt springback-capability genoemd. Hoe dicht bij het draaipunt, hoe statischer de inklemming, hoe verder van het draaipunt, hoe meer de inklemming neigt naar een veer.

Een verlaagde draadhoogte van ongeveer 0,5 mm heeft ook nadelen. De hoekstand van de vork heeft een grotere invloed op de gleufbreedte bij verlaagde draadhoogte (verder van het draaipunt) dan wanneer de draad op normale hoogte, waar de gleufwijdte in functie van de hoekstand minder varieert, geplaatst wordt.

Het is aangeraden om aan de aluminium wikkeldraad een lagere draadhoogte te geven dan de koper variant. Koper heeft namelijk een hogere weerstand tegen indrukking en een hogere treksterkte waardoor de verbinding steviger blijft.

De hoogte van de draad in de Mag-Mate® is wel belangrijk voor de verbinding maar wordt niet bepaald door de Mag-Mate®. De draad rust immers, voor het indrukken van de Mag-Mate®, op een kunststof verhoogje die men een anvil noemt. De Mag-Mate® wordt steeds tot op éénzelfde diepte t.o.v. de bobijngeometrie in de caviteit gedrukt. Indien men dus de draadhoogte wil veranderen, moet men de hoogte van de kunststof anvil aanpassen.



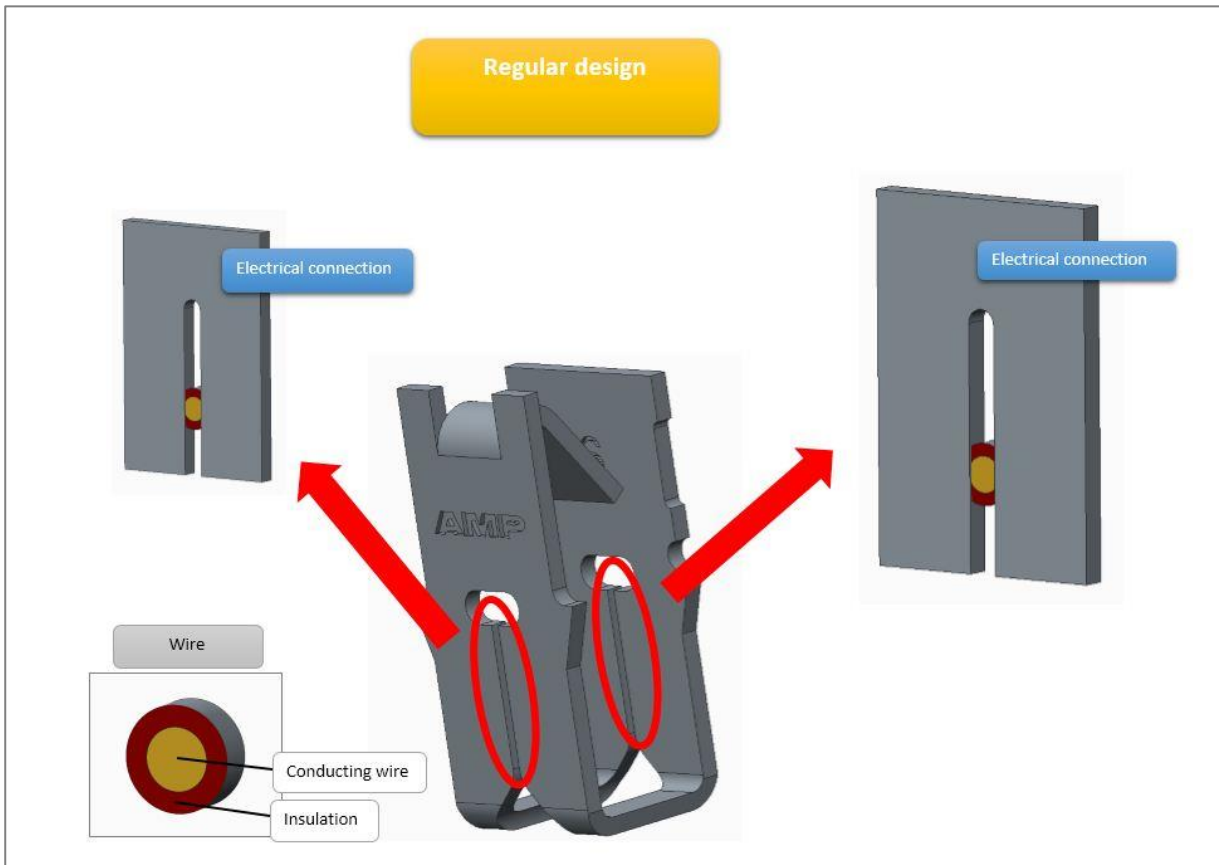
Figuur 44: Verschillende insertiedieptes van de wikkeldraad

3.3 STRAIN-RELIEF FEATURE

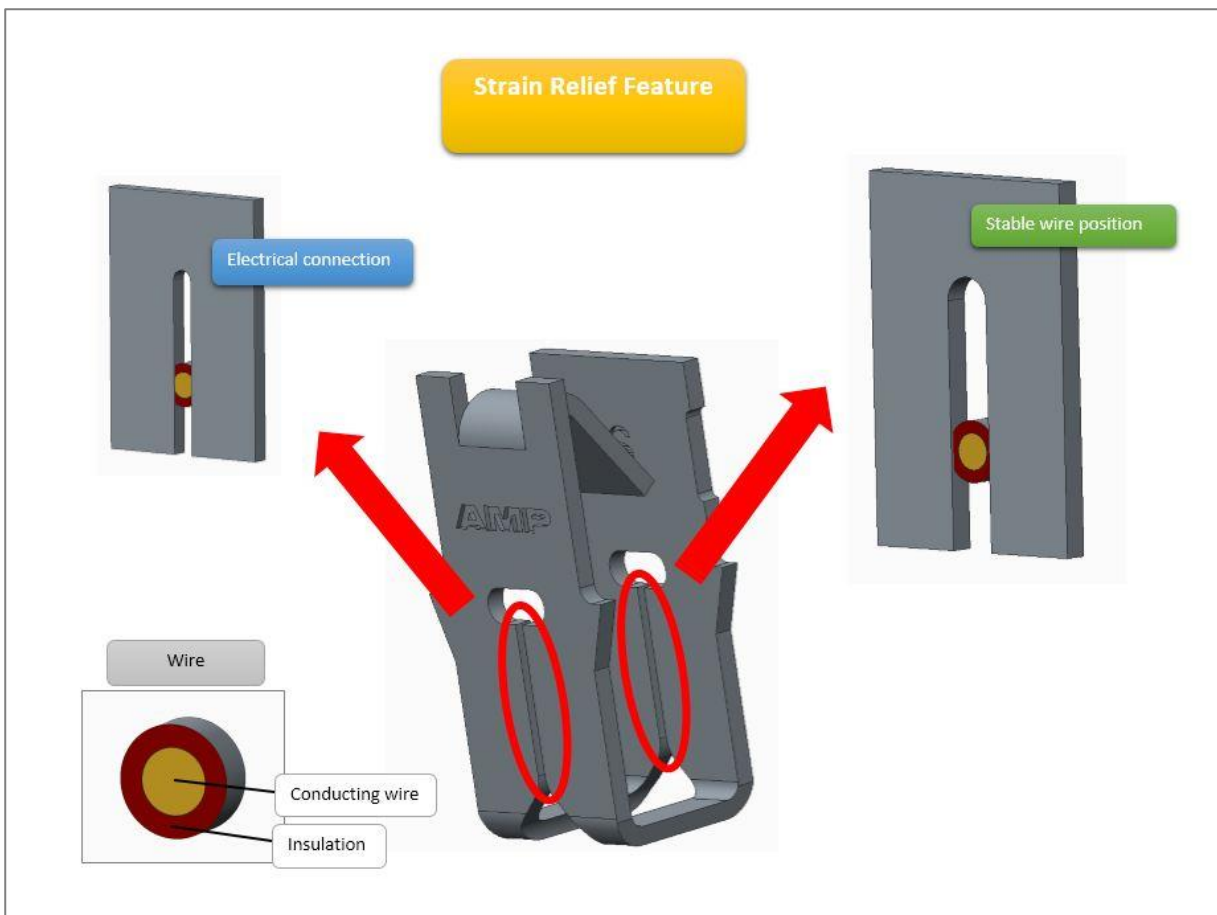
De meeste Mag-Mates® zijn uitgevoerd met twee vorken die de draad doorsnijden. Voor toepassingen waarin veel vibratie voorkomt, zoals in de auto-industrie, worden Mag-Mates® gebruikt met een strain-relief feature.

Een strain-relief feature is een extra eigenschap die een Mag-Mate® kan bezitten. In tegenstelling tot twee vorken met een snijgeometrie en IDC-zone is er bij een Mag-Mate® met strain-relief feature op één van de twee vorken geen snijgeometrie aanwezig en is de gleufbreedte breder uitgevoerd.

Door deze feature wordt de wikkeldraad, bij toepassingen waar veel vibratie aanwezig is, beter vast gehouden. Dit kan omdat de draad ter hoogte van de strain-relief niet ingesneden, maar geklemd wordt tussen zijn isolatie. Er wordt dus geen elektrisch contact gemaakt. In plaats van een tweede verzwakking van de draad, behoudt de draad op die plaats zijn sterkte. Krachten volgens de as van de draad kunnen dus worden opgevangen door de strain-relief feature i.p.v. meteen de verzwakte doorsnede ter hoogte van de IDC te gaan belasten.



Figuur 45: Oorspronkelijk design van de Mag-Mate® met twee elektrische connectiepunten



Figuur 46: Ontwerp met een strain-relief feature om de draad vast te klemmen op de isolatie in één van de vorken

3.4 PLATINGMATERIAAL

De plating van de Mag-Mate® is een dun laagje dat bovenop het standaardmateriaal brons is aangebracht. Dit dient als extra bescherming tegen het milieu waarin de connector zich bevindt.

Mag-Mates® kunnen uitgevoerd worden met twee soorten plating, namelijk een Sn-plating of een In-plating. Sn-plating wordt standaard gebruikt. In-plating zou kunnen gebruikt worden omdat ze het ontstaan van aluminiumoxides sterk vermindert. Maar door haar hogere contactweerstand wordt ze in de praktijk niet toegepast. Er wordt dus gekozen voor een Sn-plating.

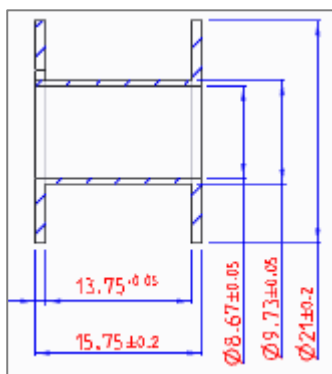
4 BOBIJN

De bobijn is het kunststof cilindertje waarrond de spoeldraad wordt gewikkeld en dat plaats biedt aan de connectoren die de spoeldraden verbinden. Het dient ook om de draad van de caviteit naar de wikkelkamer en omgekeerd te begeleiden.

De bobijn bevat ten eerste een wikkelkamer waarop de spoeldraden worden gewikkeld, extra features om de draad te begeleiden en tenslotte 2 caviteiten om het uiteinde van de wikkeldraad en de mag-mates® in te plaatsen. In deze laatste wordt de elektrische verbinding gemaakt naar de rest van de module.

4.1 ALGEMENE AFMETINGEN

Hieronder staat een figuur en een tabel met de algemene afmetingen die de nieuwe kunststof bobijn zeker moet bezitten. Deze geometrieën bepalen of de spoel later voor een gelijkaardige ABS-module kan gebruikt worden.



Figuur 47: Algemene afmetingen van de nieuwe bobijn

Afmeting	Maat [mm]
Binnendiameter	8.67
Wikkelbreedte	13,75
Totale hoogte	24,95
Buitendiameter	21

Tabel 13: Algemene afmetingen van de nieuwe bobijn

4.2 MATERIAAL

Het materiaal van de bobijn is dezelfde als deze van de bestaande bobijn, namelijk PPA (Polyphthalamide). Ze is vezelversterkt en bevat extra toegevoegde additieven die brandvertragend werken.

De volledige benaming is: XXXXXXXXXX *

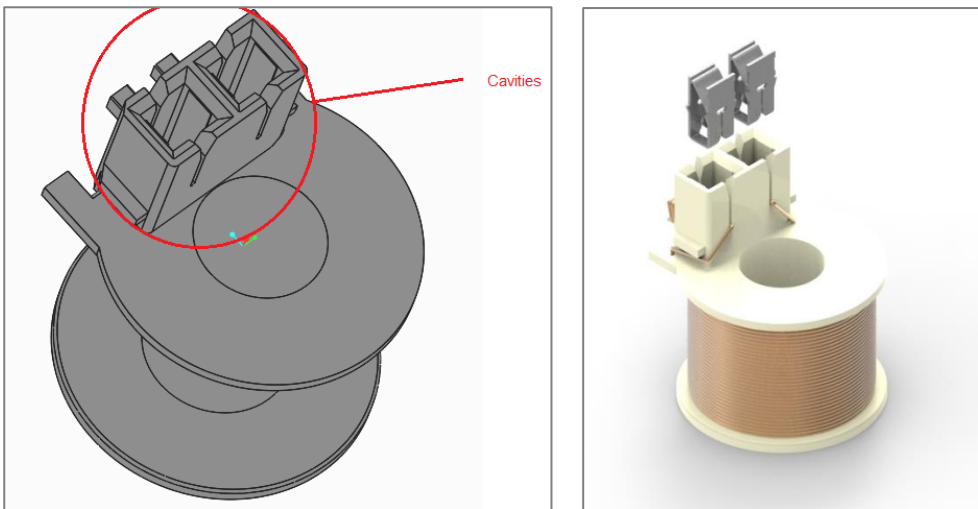
(GFXX betekent dat het om glasvezelversterkt materiaal gaat)

* Bovenstaande gegevens zijn bedrijfsgeheim en zijn opzettelijk weggelaten

4.3 CAVITY

De cavity is een fysisch onderdeel van de kunststof bobijn. Hij dient om de draad en de Mag-Mate® correct te positioneren. Op die manier ligt de draad op de juiste hoogte in de Mag-Mate® en is de Mag-Mate® verankerd in de bobijn.

De twee uiteinden van de spoeldraad komen toe in een holte of cavity waarin nadien twee Mag-Mates® worden geplaatst. De Mag-Mates® zijn voorzien van weerhaken zodat zij na het connecteren niet meer los kunnen komen uit de holtes. In de caviteiten worden de elektrische connectiepunten gevormd om de spoeldraad te verbinden met een elektronisch circuit.

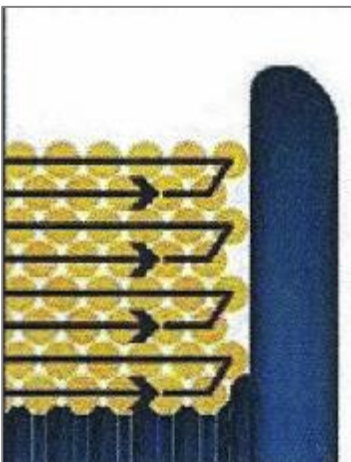


Figuur 48: Cavities voor beide Mag-Mates® en beide draaduiteinden

4.4 DRAADBEGELEIDING

De draadbegeleiding bestaat uit de extra features, die de bobijn heeft, om de positionering van de draad gemakkelijker en betrouwbaarder te maken.

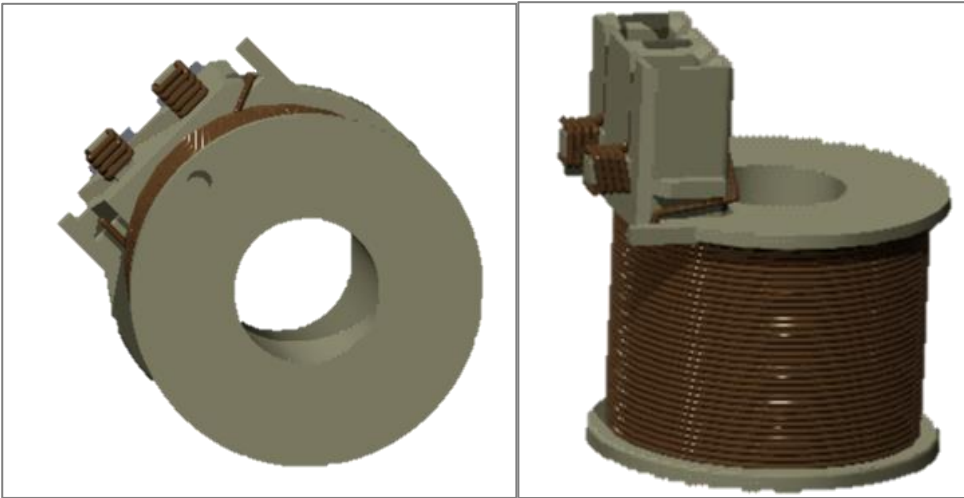
Een eerste vorm van draadbegeleiding is een rillenpatroon. Spoelen die in productie gaan, hebben een bobijn die voorzien is van een rillenpatroon. Dit zijn gleuven waarin de draden van de eerste laag wikkelingen passen om zeker te zijn dat het vooropgestelde wikkelpatroon wordt gevolgd. Het ontworpen model bezit deze niet.



Figuur 49: Rillenpatroon voor de eerste laag spoelwikkelingen (Ocket, 2011)

De begeleiding van de draad begint bij de omwikkeling van het wikkelblokje vooraan de spoel. Deze dient om de draad vast te houden, op spanning te brengen en een correcte wikkelspanning te bekomen. Daarna wordt de draad van bovenop de caviteit tussen beide gleuven geperst. De gleufbreedtes zijn kleiner dan de buitenste draaddiameter, maar zijn groot genoeg om de draadisolatie niet te beschadigen. De draad wordt tot beneden de gleuven geduwd zodat ze bovenop het blokje (anvil) komt te liggen. Dit blokje zal de draad tegenhouden bij het inschuiven van de Mag-Mate®. Op de zijkant van elke caviteit is een balkje kunststof voorzien om de draad achter te leggen. De draad wordt daarna over de flens in een speciale uitkammering geplaatst zodanig dat er voldoende

ruimte is om het wikkelpatroon te volgen. Na het wikkelen wordt ze opnieuw langs de flens begeleid rond de caviteit en door de sleuven, om aan te leggen aan het tweede wikkelblokje vooraan.



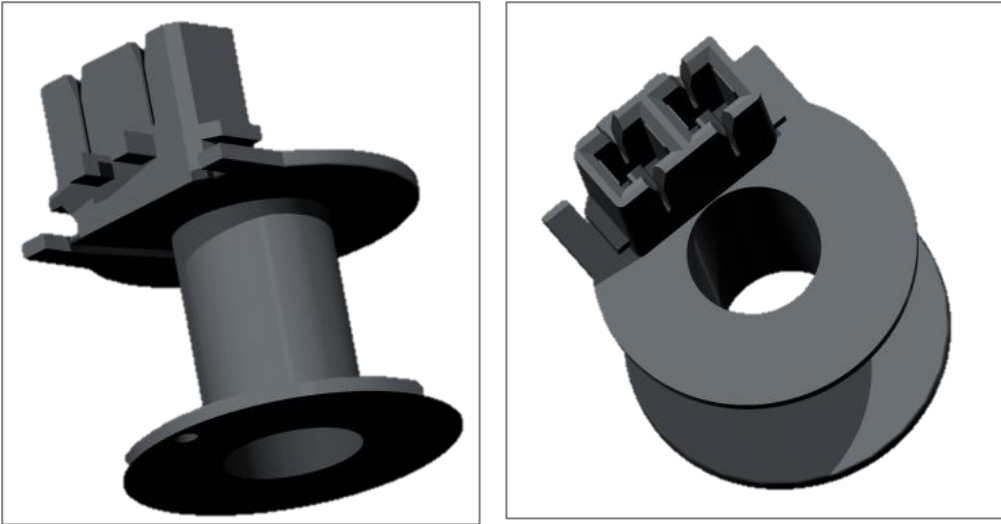
Figuur 50: Wikkelingen en draadbegeleiding van de bobijn met telkens linksboven de twee wikkelblokjes

4.5 VEREISTEN VOOR MATRIJS

De bobijn is zo eenvoudig mogelijk uitgevoerd om de kostprijs van de matrijs te drukken. Door de flenzen zijn er ondersnijdingen en dus zijn er schuiven nodig. Bovendien is er een verwisselbaar inzetstuk in de kern nodig om de hoogte van de anvil van de bobijn te kunnen veranderen tijdens de productie. Wat de kosten wel enigszins drukt is het feit dat de bobijn geen rillenpatroon heeft. Een rillenpatroon wordt voornamelijk gefabriceerd door gebruik te maken van vonkverspaning.

5 3D-ONTWERP

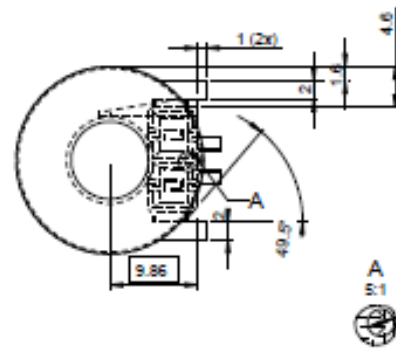
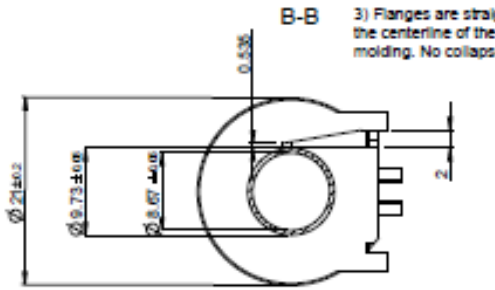
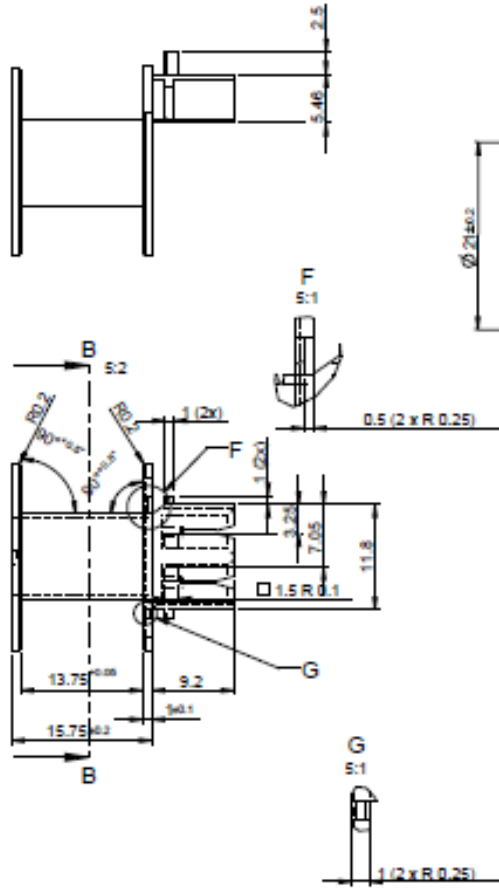
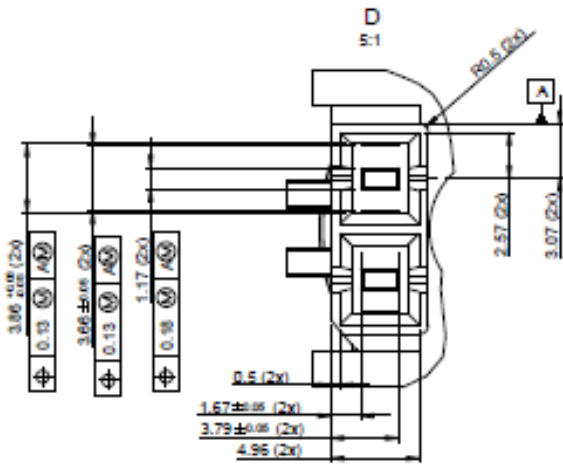
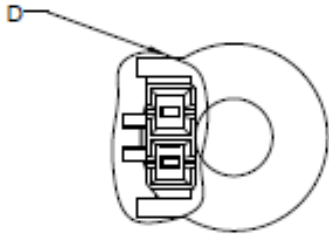
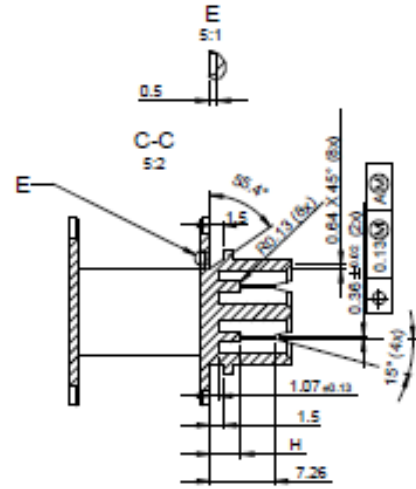
Onderstaande figuur toont twee aanzichten van het 3D-model van de bobijn, gemaakt met het tekenpakket Creo® Parametric van PTC.



Figuur 51: 3D-ontwerp van de bobijn

6 TECHNISCHE TEKENING

Hierna volgt de technische tekening van het ontwerp.



- Notes
- 1) Toi Din 7167 (Envelope principle). Length: DIN 16901-130. Angle, Form and Position: DIN ISO 2768-mH.
 - 2) Material: PPA GF33 Amodel AS-4133 HS according TE specification 100-1392. Regrind: 0% allowed.
 - 3) Flanges are straight and perpendicular to the centerline of the winding chamber after molding. No collapse or undercut allowed.

NAME	DIMENSION H (mm)	COLOR
J13-4950-BOBBIN-HIGH	3.85 ± 0.05	Black
J13-4950_BOBBIN_LOW	3.45 ± 0.05	Nature

REV	DESCRIPTION	DATE	BY	CHK
3	Colors added	18NOV2014	WJ	FH
2	color column in table added	07JAN2014	FH	FH
1		10DEC2013	WJ	FH

UNIT	CONVERSION
mm	0.0125
mm	0.025
mm	0.05
mm	0.1
mm	0.2
mm	0.5
mm	1
mm	2
mm	5
mm	10
mm	20
mm	50
mm	100
mm	200
mm	500
mm	1000

DATE	DESIGNED BY	DATE	DESIGNED BY	DATE	DESIGNED BY
26NOV2013	Wouter Janssens	26NOV2013	Frank Hilrop		

TE TE Connectivity
 MATERIAL: see note 2
 FINISH: -
 PART: -
 TITLE: PROTOTYPE BOBBIN FOR IDC WITH AL WIRE
 SCALE: 1:1
 DRAWING NO: J13-4950_BOBBIN
 SHEET: 1 OF 1
 TOTAL SHEETS: 3



7 POTTING MATERIAL

Potting material is het vulmateriaal om elektrische contacteringen te beschermen. Vaak is het een gelatine-achtige substantie die bescherming biedt tegen schokken en schadelijke reagentia uit de omgeving. Het opgieten van de elektrische connecties wordt 'potting' genoemd.

7.1 DOEL VAN HET POTTING MATERIAL

Het potting material moet de elektrische connecties beschermen tussen de Mag-Mates® en de spoeldraad. Specifiek, bij elektrische connecties met aluminium, moet ze beschermen tegen galvanische corrosie. Ze moet de connectie dus afschermen van zuurstof uit de omgeving.

7.2 EISEN AAN HET POTTING MATERIAL

- Het potting material mag niet elektrisch geleidend zijn om geen kortsluiting te veroorzaken tussen aangrenzende contacteringen.
- Ze moet voldoende visceus zijn om niet uit de caviteit te lopen bij schokken.
- Ze moet voldoende lopend zijn om aangebracht te kunnen worden op alle geometrieën teneinde alle elektrische connecties te beschermen.
- Ze moet thermisch stabiel blijven tussen -40 °C en +135 °C.
- Ze mag niet doordringbaar zijn door lucht of water

7.3 NYOGEL® 760G

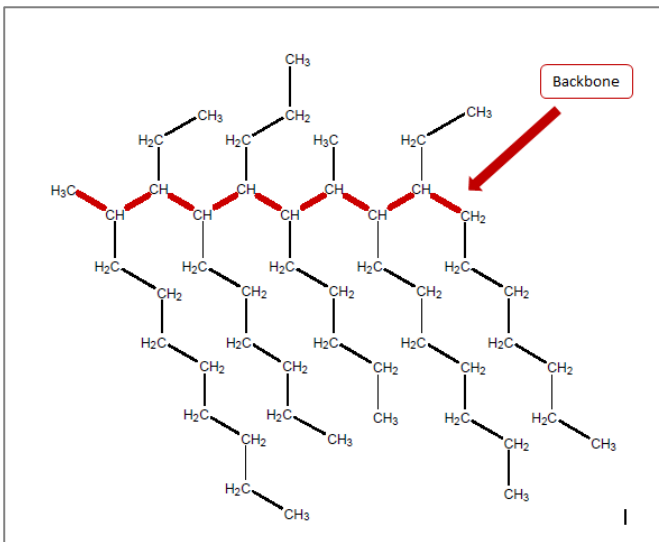
Nyogel® 760G is een smeer- en isoleervet voor elektrische contacteringen. De fabrikant is Nye Lubricant, Inc.

Het vet heeft een structuur gebaseerd op die van een polyalphaolefin (PAO), verrijkt met bepaalde additieven zoals antioxidanten, smeermiddelen en andere modifiers zoals silica-verdikkingsmiddelen en een UV-tracer.

Het vet beschermt uitstekend tegen oxidatie. De maximale gebruikstemperatuur is 135 °C.

Het olefin heeft een backbone van koolstofatomen die afwisselend verbonden zijn met een enkele en een dubbele binding. (... C-C=C-C=C ...)

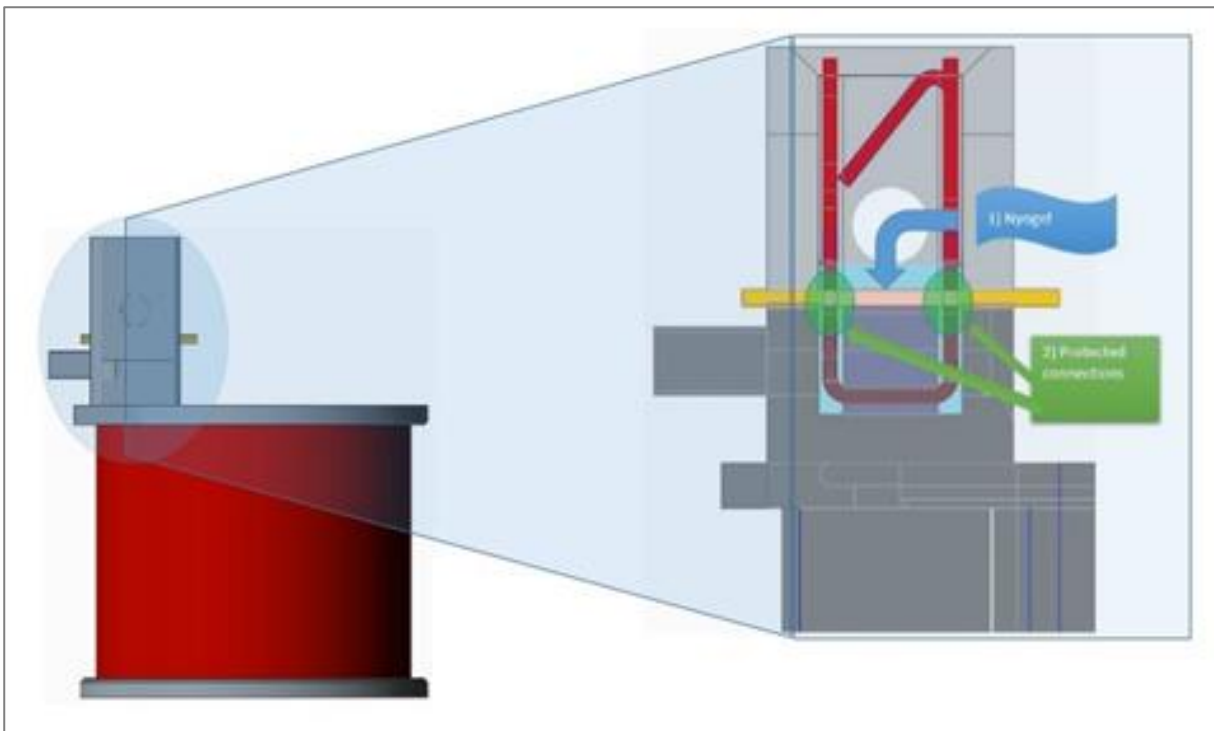
De volgende figuur geeft de structuur weer:



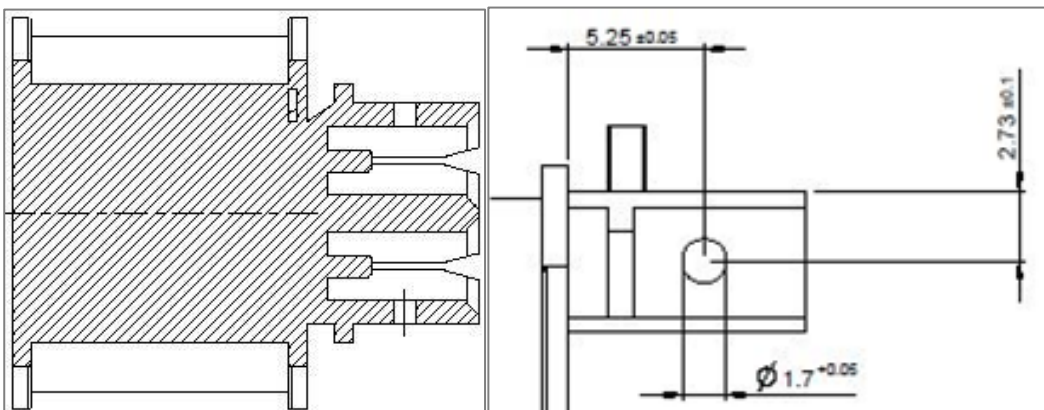
Figuur 52: Structuur van een polyalphaolefin (PAO) (ExxonMobil Chemical, 2009)

7.4 APPLICATIE

De Nyogel[®] wordt aangebracht met een spuit met buitendiameter 1,6 mm. Het product wordt ingespoten op de zijkant van elke cavity. Deze welbepaalde diameter biedt het voordeel dat het product voldoende snel in de ruimte kan gespoten worden, zonder een te groot gat in de kunststof te moeten maken, waardoor het er nadien terug zou uitlopen. De inspuiting vindt plaats na de insertie van de Mag-Mate[®] in de caviteit, dus wanneer de spoeldraad al verbonden is met de connector. De holte, net boven de geleider, is vrij goed gesloten waardoor de gel onder lichte druk kan ingespoten worden zodanig dat alle spleten worden gevuld. De gaten, waardoor de Nyogel[®] wordt aangebracht, zijn pas na het spuitgieten gemaakt.



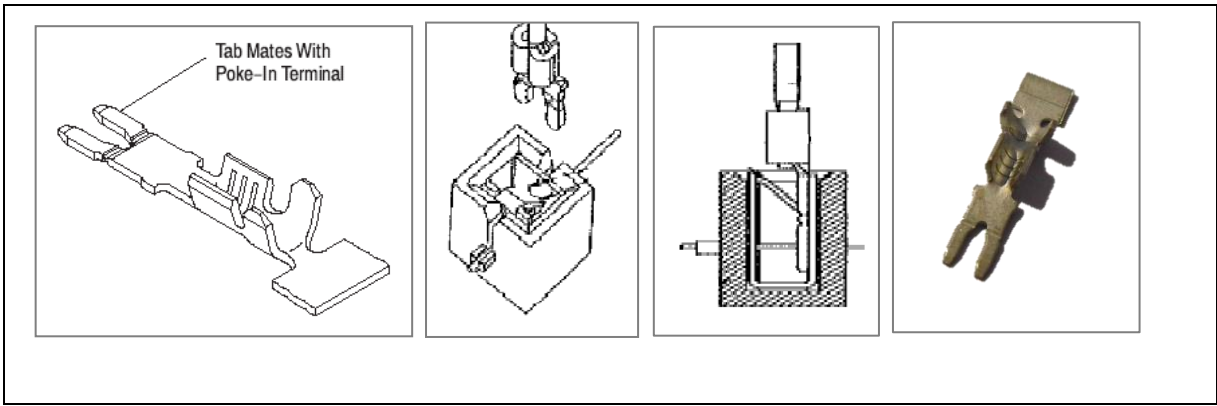
Figuur 53: Applicatie van de Nyogel® 760G



Figuur 54: Figuren ter verduidelijking van de plaatsing van de gaten om de Nyogel® aan te brengen

8 POKE-IN TABS

Poke-in tabs zijn metalen connectors die verbonden worden met de Mag-Mate® contacten die reeds verbonden zijn met de aluminium draad. De tabs verbinden de spoel met andere interfaces zoals een printplaat, een andere elektrische draad enz. Ze worden van bovenaf in de Mag-Mate® geschoven. De Mag-Mates® zijn speciaal uitgerust met een flap die fungeert als weerhaak vanaf het moment dat de poke-ins zijn ingeschoven. De flap is aldus een verend element dat bij insertie, de poke-in doorlaat, maar bij het uittrekken, de poke-in vasthoudt doordat ze duwt op een klein gleufje in de poke-in.



Figuur 55: Poke-in tabs voor in Mag-Mate® terminals (TE Connectivity, 2013)

PROTOTYPING

Prototyping omvat alles wat de productie van de spoelen betreft. Tijdens de prototyping worden o.a. de simulaties uitgevoerd. In dit hoofdstuk wordt dieper ingegaan op prototype spoelen, de bobijnen en de werkstukken om de volledige spoel te assembleren. Er wordt ook aandacht besteed aan het assemblageproces en de uitgevoerde controles.

1 PROTOTYPE SPOELLEN

Alvorens meteen nieuwe bobijnen te spuitgieten, wordt eerst gecontroleerd of het wikkelpatroon wel klopt in de praktijk, of de draad wel voldoende buigzaam is om gewikkeld te worden en of de totale weerstand van de wikkelingen overeenkomt met wat berekend is. Deze controles gebeuren op prototype spoelen. In TE Oostkamp zijn prototype bobijnen gefabriceerd m.b.v. een freesmachine. Ze worden nadien gewikkeld volgens het vooropgestelde programma. Er worden 10 prototype-spoelen geassembleerd.

1.1 EIGENSCHAPPEN

De prototype spoel is een vereenvoudigd model van de vooropgestelde spoel en dient enkel om de wikkelingen te testen. De prototype-bobijn is een eenvoudige versie van de uiteindelijke bobijn en bezit geen caviteit en features om de draad te begeleiden. De wikkeldraad en het wikkelpatroon blijven identiek aan deze van de vooropgestelde spoel. Omdat de wikkeldraad niet gecontacteerd is, wordt de isolatie aan de beide uiteinden van de draad weggesneden en daar vertind. Dit is geen goede manier om de wikkeldraad te verbinden aangezien het proces slechts na vele pogingen lukte en dus in productie voorlopig onmogelijk is.

1.2 DOEL

De prototype spoelen dienen om de wikkelingen van de later te produceren spoel te controleren. Ze geven een getrouw beeld van het latere wikkelpatroon, de integriteit van de wikkeldraad, de vervormingen van de bobijn (door de krachten van de wikkelingen) en de totale elektrische weerstand van de draad. Na de assemblage van deze spoelen wordt de wikkelkamer grondig bestudeerd. Daarnaast wordt ook de DC-weerstand van de spoel opgemeten met een micro-ohmmeter.

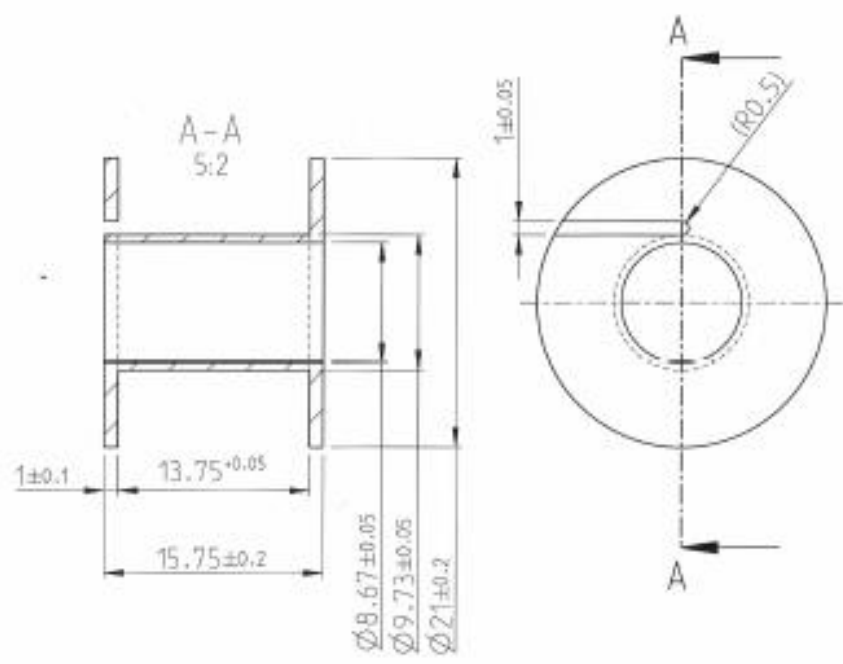
1.3 TECHNISCHE TEKENING

De werkstuktekening van de prototype bobijn is hieronder bijgevoegd.

ALL INFORMATION CONTAINED HEREIN IS UNCLASSIFIED EXCEPT WHERE SHOWN OTHERWISE AND AFFILIATES LTD. IT MAY NOT BE DISCLOSED TO ANYONE OTHER THAN THE PERSONNEL WITHOUT AUTHORIZATION FROM TE Connectivity.

DRWG NO
PROTOTYPE3

USED ON



lost

A. Weiss



DRW		290112013		CHK	-	APPD	-
W. Janssens		(244)		-	-	HT	TE
DIMENSIONS:				MATERIAL		POLYIMIDE (PI)	
(mm)				TOLERANCES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED		TE Connectivity	
SURFACE TEXTURE				0 µm		±	
✓				1 µm		±0.5	
				2 µm		±0.13	
				3 µm		±0.075	
				4 µm		±0.050	
				ANGLES		45°	
SCALE		SIZE/FMT		DRAWING NO		SHEET	
1:1		A4		PROTOTYPE3		1 of 1	
						REV	
						A	

THIS DRAWING IS A CONTROLLED DOCUMENT.

1.4 GEPRODUCEERDE PROTOTYPE SPOEL

De geproduceerde prototype spoel is voorzien van plakband op de buitenste wikkelingen om ze samen te houden, omdat de wikkeldraad niet wordt vastgezet aan de uiteinden van de draad.



Figuur 56: Prototype-spoel

1.5 RESULTATEN

1.5.1 WIKKELPATTERN, DRAADINTEGRITEIT EN VERVORMING VAN DE BOBIJN

Omdat het aanbrengen van een rillenpatroon door draadvonken vrij duur is, wordt het niet toegepast op de prototype spoelen. Het gevolg is dat het vooropgestelde wikkelpatroon niet exact wordt gevolgd en er sommige lagen meer of minder wikkelingen tellen. Hierdoor is de laatste laag bijna altijd onvolledig i.p.v. homogeen gevuld. Men noemt dit fenomeen 'wildwikkeling' omdat de wikkeldraden verspreid liggen over de volledige breedte i.p.v. mooi naast elkaar. Vaak is dit nefast voor de stevigheid van het wikkelpatroon, maar hier is dit slechts een esthetisch probleem.

Om de vervorming van de bobijn te bepalen wordt de binnendiameter opnieuw opgemeten na het wikkelen. Ook de flenzen worden gecontroleerd op eventuele vervormingen. Er wordt nagekeken of de draad overal nog in orde is. Dit is nodig omdat de diameter van de nieuwe draad ruimer is dan deze van de bestaande koperdraad en de buigradius, alvorens er breuk optreedt, dan ook groter is.

De resultaten van deze controles zijn acceptabel: de flenzen zijn niet verbogen alsook de binnendiameters van de bobijnen zijn na het wikkelen nog binnen tolerantie om er later een kern in te plaatsen. De draad blijft bovendien overal in tact wat erop wijst dat de draad geschikt is om te worden gewikkeld.

1.5.2 TOTALE DC-DRAADWEERSTAND

De totale draadweerstand wordt bij alle prototype spoelen met een DC micro-ohmmeter gemeten. De opgegeven tolerantie bedraagt $4,06 \pm 0,20 \Omega$ bij 20°C . De resultaten van de weerstandsmetingen zijn

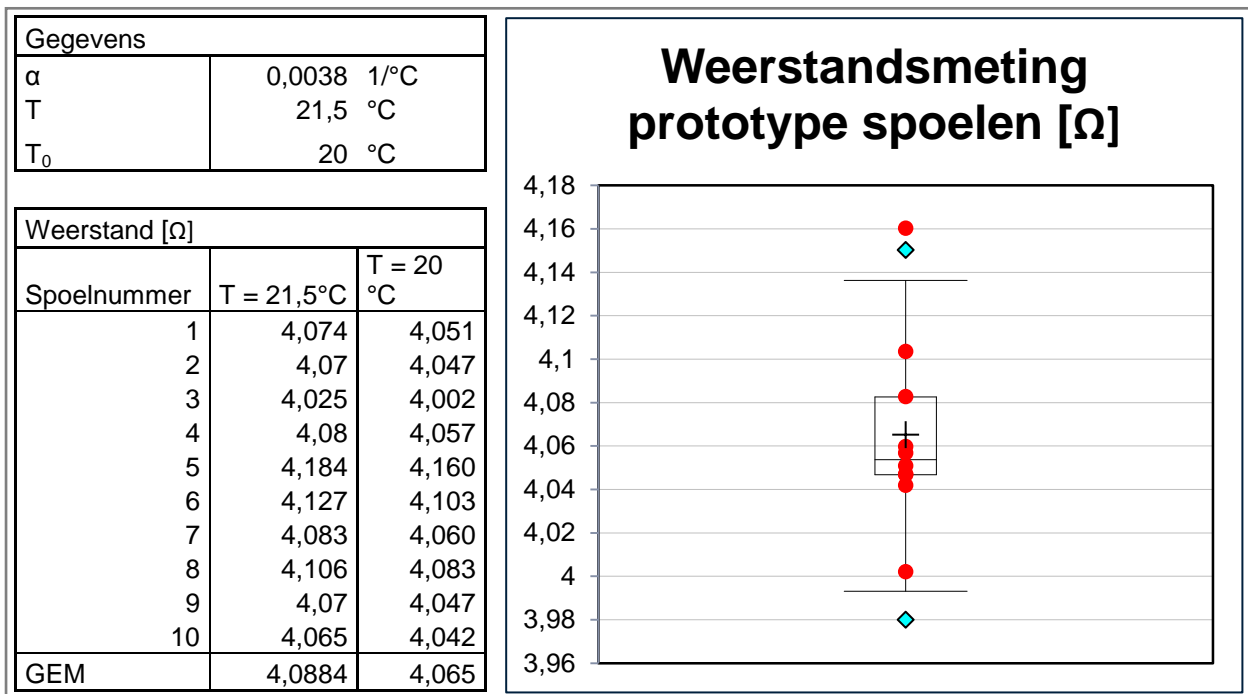
hieronder weergegeven. De rechtse grafiek toont de boxplot met de uiterste grenzen van het interval. Er is één uitschieter, namelijk 4,16 Ω. Deze waarde komt niet voor in een productieproces met een groot aantal eenheden.

De weerstand bij een bepaalde temperatuur wordt als volgt bepaald:

$$R_T = R_{T_0} * (1 + \alpha * (T - T_0))$$

Met:

- R_T = de weerstand bij temperatuur T [Ω]
- R_{T_0} = de weerstand bij temperatuur T_0 [Ω]
- α = de temperatuurscoëfficiënt van de weerstand [1/°C]



Figuur 57: Weerstandsmetingen van de wikkeldraad van de prototype spoelen

Uit de resultaten blijkt dat alle spoelen een draadweerstand hebben binnen tolerantie. Nu ook deze resultaten positief zijn, kan men beginnen met de fabricage van de uiteindelijke spoelen.

2 KRUIPSIMULATIE

Tijdens de prototyping fase word ook gestart met een kruipsimulatie. Metalen zijn onderhevig aan kruip waardoor zij structuurveranderingen ondergaan die het materiaal verzwakken.

2.1 INLEIDING

De geïsoleerde spoeldraad is verbonden met een Mag-Mate® contact. De vork houdt de wikkeldraad op zijn plaats en zorgt voor een fysieke verbinding die tegelijk de elektrische verbinding is. De betrouwbaarheid van deze verbinding is sterk afhankelijk van de contactkracht tussen de Mag-Mate® en de draad.

Als de contactkracht tussen de Mag-Mate® en de draad te laag wordt, kan de elektrische verbinding verloren gaan waardoor het product faalt. Er komt een luchtspleet tussen beide materialen met een hoge elektrische weerstand. Kruip van de aluminiumdraad kan de contactkracht gevoelig verlagen.

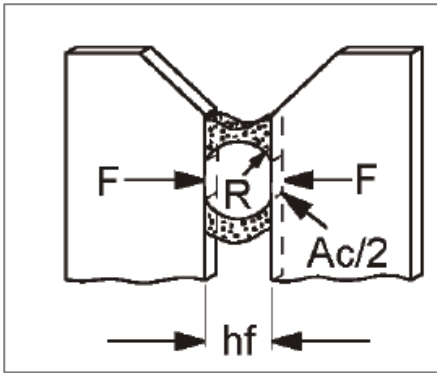
Zuiver aluminium heeft een lage smelttemperatuur. Bij bedrijfstemperaturen van het motorcompartiment treedt al kruip op. Kruip zorgt ervoor dat de draad, verbonden met de Mag-Mate®, vervormd wordt. Hierdoor verlaagt de contactkracht tussen het contact en de wikkeldraad.

Een simulatie van het gedrag van de wikkeldraad is nuttig om op voorhand te weten of de verbinding betrouwbaar blijft. De verkregen informatie is louter theoretisch. Enkel praktische testen kunnen uitsluitsel geven. Een simulatie van het gedrag wordt evenwel in de toekomst steeds belangrijker. Het gebruik van aluminium in de auto-industrie stijgt, en het testen van prototypes is duurder dan computersimulaties.

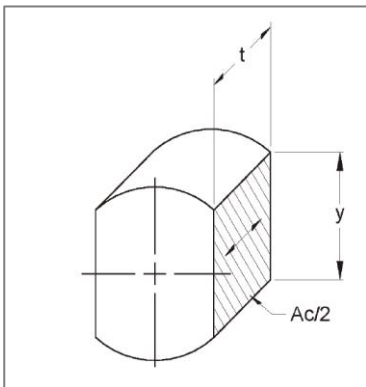
2.2 BENODIGDE INFORMATIE

Er moet een eindige-elementen simulatie uitgevoerd worden op zuiver aluminium. Dit vereist een vereenvoudigd model in een eindig-elementenpakket zoals Ansys® of Siemens® NX. De vereenvoudigingen zijn ideale voorstellingen van de geometrieën van de Mag-Mate® en de wikkeldraad zonder isolatie of plating. Het opbouwen van dit model gebeurt met de hulp van buitenlandse experts van TE Connectivity. De resultaten van de simulatie zullen de contactkracht en de contactoppervlakte van de Mag-Mate® op de draad in functie van de tijd voorstellen.

Een dergelijke simulatie is niet eenvoudig. Men heeft heel wat informatie en know-how nodig alvorens men correcte resultaten bekomt. Een eerste vereiste is de begintoestand van de draad bepalen onmiddellijk na connectie met de Mag-Mate®. Hiervoor zijn twee mogelijkheden: ofwel simuleert men de insertie van de Mag-Mate®, ofwel vertrekt men van een begintoestand die de werkelijkheid zo goed mogelijk nabootst. Een tweede vereiste zijn 3D-modellen van de werkstukken en hun materiaalparameters. Voor aluminium heeft men praktische kruipwaarden of parameters nodig die men kan invoegen in de formules van de zogenaamde 'creep power laws'. Met deze informatie kunnen experts een werkend model opbouwen.



Figuur 58: Contactkracht F op de spoeldraad (Tyco Electronics, 2010)



Figuur 59: Contactoppervlakte (Ac) van de spoeldraad (Tyco Electronics, 2010)

2.3 BEPALEN INITIËLE CONTACTKRACHT TUSSEN MAG-MATE® EN ALUMINIUMDRAAD

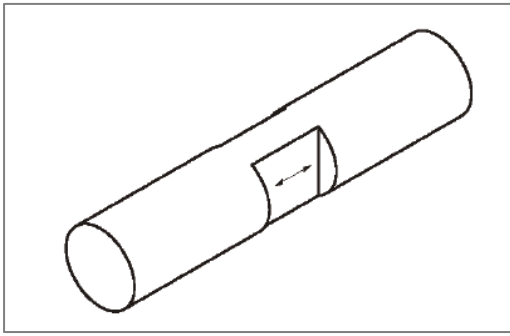
Omdat het simuleren van het inserteren van de Mag-Mate® vrij omslachtig en onnauwkeurig gebeurt, wordt geopteerd om de begincontactkracht en de beginindrukking op de Mag-Mate® op voorhand experimenteel te bepalen.

2.3.1 DOEL

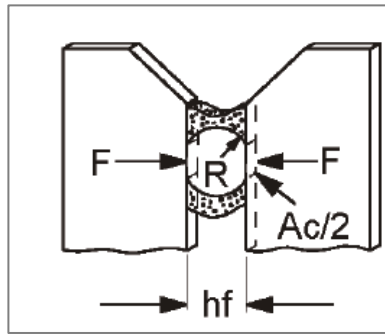
Het doel is het bepalen van de contactkracht op de aluminiumdraad, net na insertie van de Mag-Mate® in de caviteit. De contactkracht wordt dan als parameter ingegeven in Ansys® of een dergelijk simulatiepakket om een kruipsimulatie te maken m.b.v. de eindige elementen methodes.

2.3.2 WERKWIJZE

- De Mag-Mate® wordt verbonden met de wikkeldraad.
- Er wordt een schliff (doorsnede) gemaakt loodrecht op de draad waar deze ingesneden wordt.
- Vervolgens meet men de indrukking (resterende diameter hf) van de draad op.
- Een nieuwe losse draad, ontdaan van zijn isolatie, wordt ingeduwd met een geometrie die gelijkaardig is aan deze van de benen van de vork van de Mag-Mate®.
- De draad wordt ingedrukt terwijl men de diameter meet. Dit totdat ze overeenkomt met de diameter zoals deze op de schliff werd opgemeten.
- De kracht die nodig is om deze indrukking te verwezenlijken is gelijk aan de initiële contactkracht.



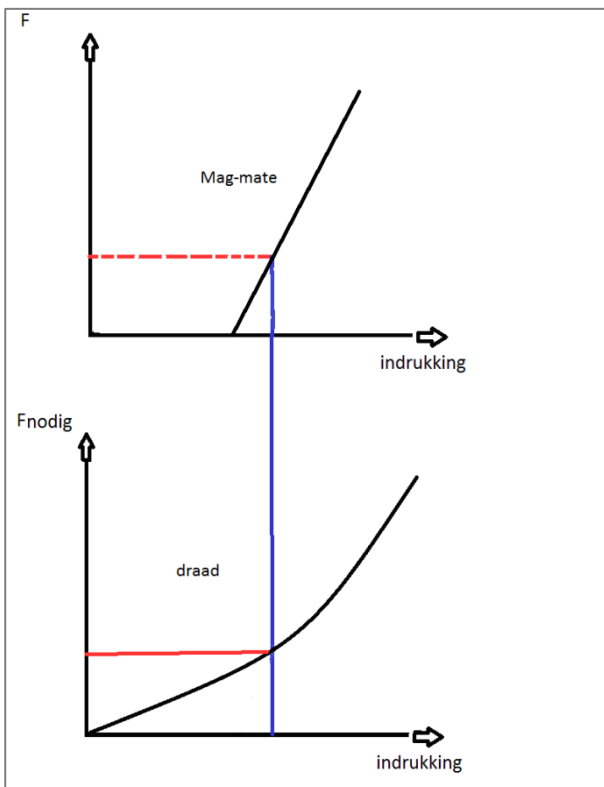
Figuur 59: Vervormde spoeldraad (1)
(TE Connectivity, 2013)



Figuur 60: Vervormde spoeldraad (2)
(TE Connectivity, 2013)

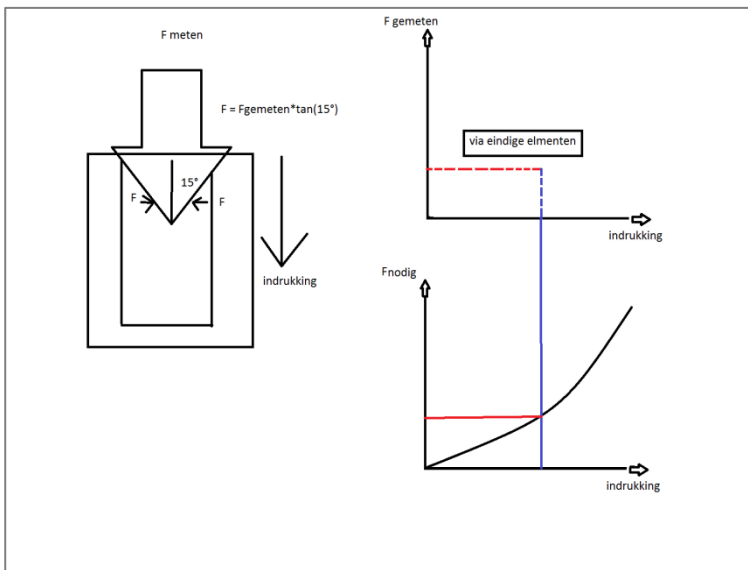
2.3.3 ACHTERGROND

Men meet de indrukking van de draad in de Mag-Mate® op en realiseert diezelfde indrukking op de draad met een werkstuk waarvan men de indrukkraft kan opmeten. De kracht die nodig is om de Mag-Mate® een bepaalde indrukking (lees: gleufbreedte) te geven is niet dezelfde als de reactiekracht van de draad, omdat de Mag-Mate® door zijn vork een verend element is. Het volstaat dus niet om enkel de Mag-Mate® tot een bepaalde gleufbreedte te vervormen, omdat de draad een bepaalde reactiekracht uitoefent.



Figuur 60: Theoretische kracht-indrukking beschouwing van de Mag-Mate® en de wikkeldraad

Een andere mogelijkheid is om een werkstuk van gehard metaal, met een halve tophoek van 15° , in de plastic caviteit te drukken. Men meet hiervan de verticale kracht. Dankzij driehoeksmmeetkunde berekent men de horizontale kracht die op het werkstuk, en dus op de Mag-Mate[®] zal komen. Vervolgens legt men deze kracht aan op de Mag-Mate[®] en wordt gecontroleerd of de gleufbreedte een klein beetje kleiner is dan de resterende doorsnede van de draad. De draad oefent namelijk ook een reactiekracht uit op de Mag-Mate[®]. Door de kracht op de Mag-Mate[®] vervolgens te verlagen tot ze éézelfde gleufbreedte heeft als de werkelijkheid, kan men het verschil van beide krachten aannemen als de reactiekracht van de draad op de Mag-Mate[®] en dus de initiële contactkracht. Een deel van deze procedure kan eventueel ook overgenomen worden door een eindige-elementen pakket.



Figuur G1: Alternatieve methode om de indrukking van de wikkeldraad door de Mag-Mate[®] na te bootsen

2.4 3D-MODELLEN EN MATERIAALPARAMETERS

De 3D-modellen van de Mag-Mates[®] zijn volledig uitgewerkt volgens de tekeningen. Ook de andere modellen zijn beschikbaar. De materiaalparameters zullen de gangbare fysische eigenschappen zijn van brons en aluminium.

2.5 KRUIPPARAMETERS VAN ZUIVER ALUMINIUM

De praktische of theoretische kruipgegevens van zuiver aluminium ontbreken nog. Er is navraag gedaan bij de experts en bij de leverancier van het aluminium, maar momenteel is er geen bruikbare informatie ter beschikking.

2.6 VERDER VERLOOP VAN DE SIMULATIE

Het onderdeel van het project rond de simulatie van kruip van de aluminium wikkeldraad werd vroegtijdig stilgelegd. Er is onvoldoende informatie om een correcte simulatie te doen. Een simulatie met koper zou op termijn wel mogelijk zijn dankzij de expertise van Duitse collega's die hiermee reeds ervaring hebben. Toch is simulatie slechts een bijzaak. Enkel de testen uitgevoerd op spoelen bepalen de betrouwbaarheid. Een simulatie is een louter theoretisch model.

3.1.2 MATRIJSEIGENSCHAPPEN

De onderstaande tabel toont de matrijseigenschappen. De waarden zijn kenmerken voor een prototypematrijs.

Onderdeel	Eigenschap
Productmateriaal	PPA GF33 (Polyphthalamide)
Krimp	0,4 %
Productafmetingen	21 x 22.86 x 24.95 mm
Core materiaal	GS 1.2344 (HRC 52-54)
Cavity materiaal	GS 1.2344 (HRC 52-54)
Caviteiten	1 x 1
Matrijstype	2 platenmatrijs
Sprue type	Cool Sprue
Gate type	Side Gate
Machine tonnage	80 T
Matrijsgrootte	230 x 230 mm
Matrijsgewicht	110 kg

Tabel 14: Matrijseigenschappen

De matrijs kan minimaal 200 000 spuitgietingen voltooien, voor de meeste prototype-matrijzen is dit eerder uitzonderlijk hoog.

3.1.3 CONSTRUCTIE

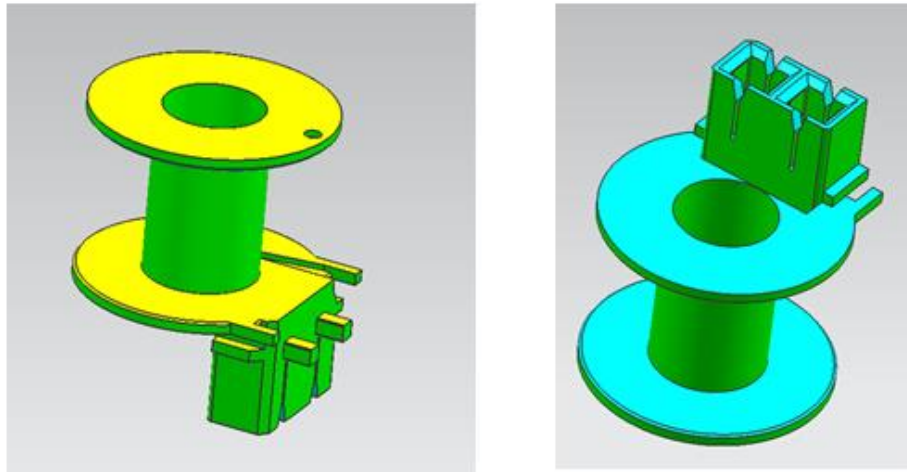
De constructie van de matrijs wordt getoond a.d.h.v. 3D-beelden.

Parting line (P/L)

De eerstvolgende figuur toont de positionering van de bobijn t.o.v. de cavity en de core van de matrijs.

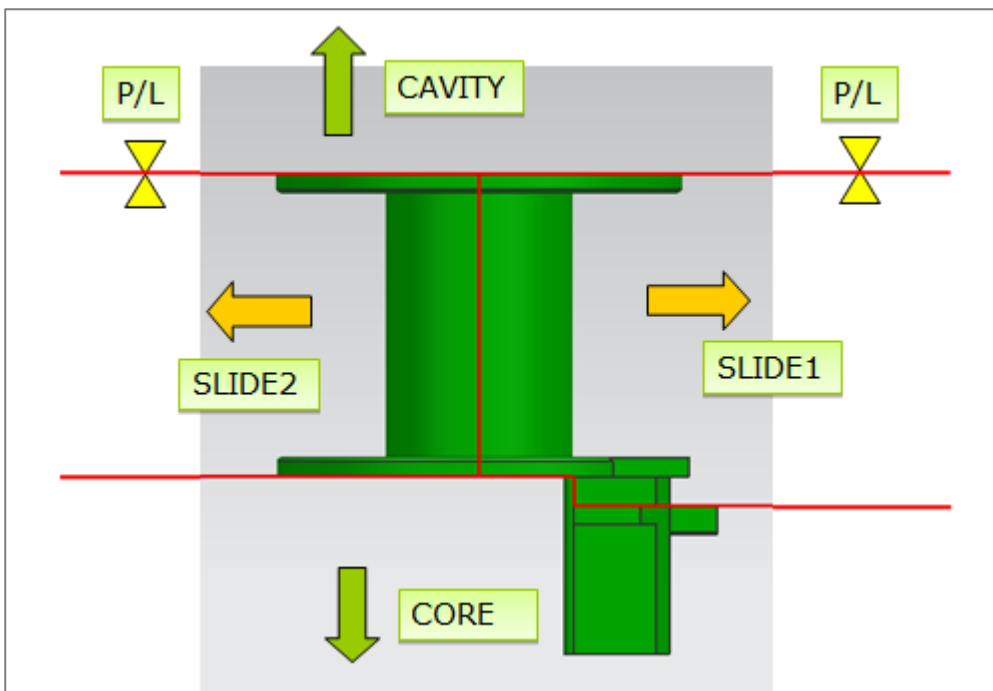
Diagram #02 Parting Line

Yellow	Cavity face
Cyan	Core face
Green	Vertical face
Pink	Undercut face
Red	Parting line
Purple	Slider line



Figuur 63: Cavity en core kanten

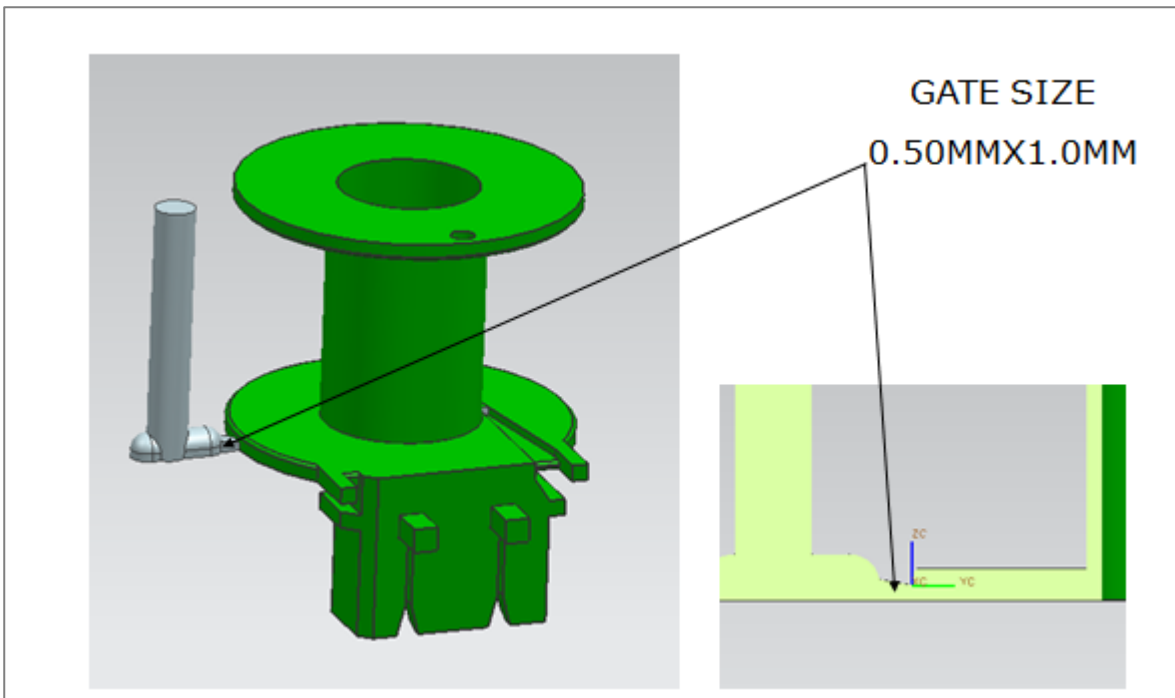
De core van de matrijs zorgt voor de cavities van de bobijn. Door de ondersnijdingen, zijn schuiven nodig die in de losse kant van de matrijs zitten. De parting line (P/L) ligt aan de onderkant van de bobijn.



Figuur 64: Overzicht matrijsdelen i.f.v. het product

Aanspuiting: Sprue en gate

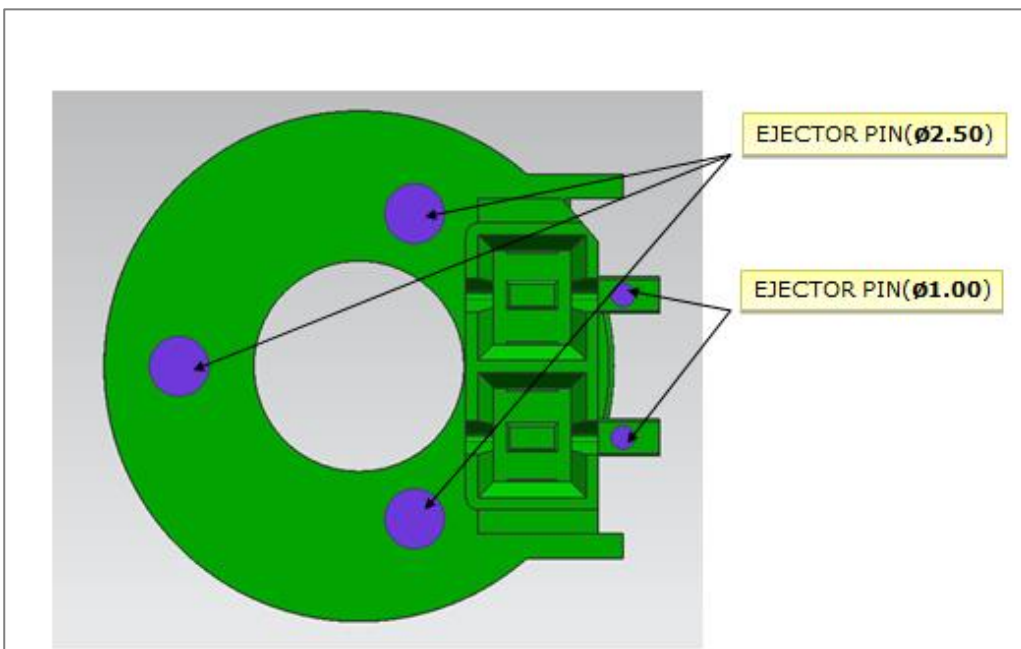
De sprue is een cold sprue en wordt bij elke spuitgieting samen met het product uitgeworpen. Dit in tegenstelling tot hotrunners voor hoogwaardige serieproductie. De gate is kleiner dan de sprue zodanig dat eventuele cold slugs (koudeproppen van kunststof die sneller afgekoeld zijn omdat ze in contact kwamen met de koude matrijswand en die achteraf isolerend werken zodanig dat de rest van de kunststof vloeibaar blijft) niet in het werkstuk terechtkomen. Een kleine gate is ook voordelig zodat de markering die achterblijft na het ontvormen kleiner is. Een nadeel van een kleine gate is een vrij grote drukval bij het inspuiten.



Figuur 65: Sprue en gate met afmetingen

Ejector Pins

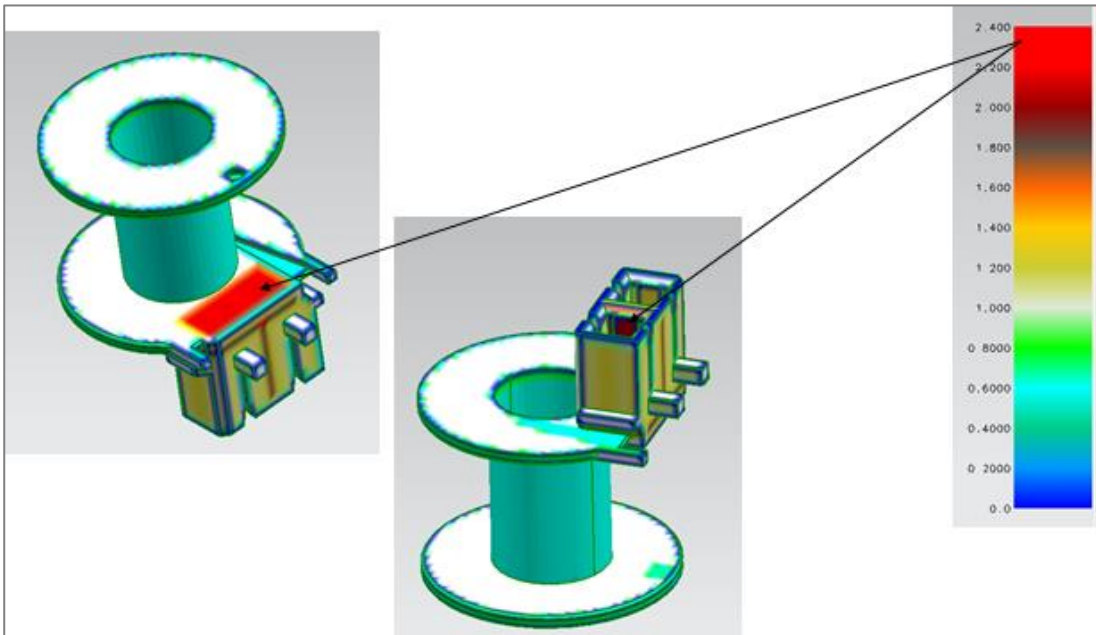
De ejector pins (uitstootpennen) bevinden zich in de core-zijde (losse matrijsplaat). Er zijn vijf uitstootpennen om de vlaktedruk bij het uitstoten zoveel mogelijk te beperken teneinde het spuitgegoten materiaal zo weinig mogelijk te vervormen. Ze is bij het uitstoten nog niet volledig afgekoeld en dus nog niet volledig stijf. Daarenboven zijn de uitstootpennen over een zo groot mogelijke oppervlakte verspreid om het product stabiel te houden bij het uitstoten.



Figuur 66: Positie en grootte van de ejector pins

Thickness analysis

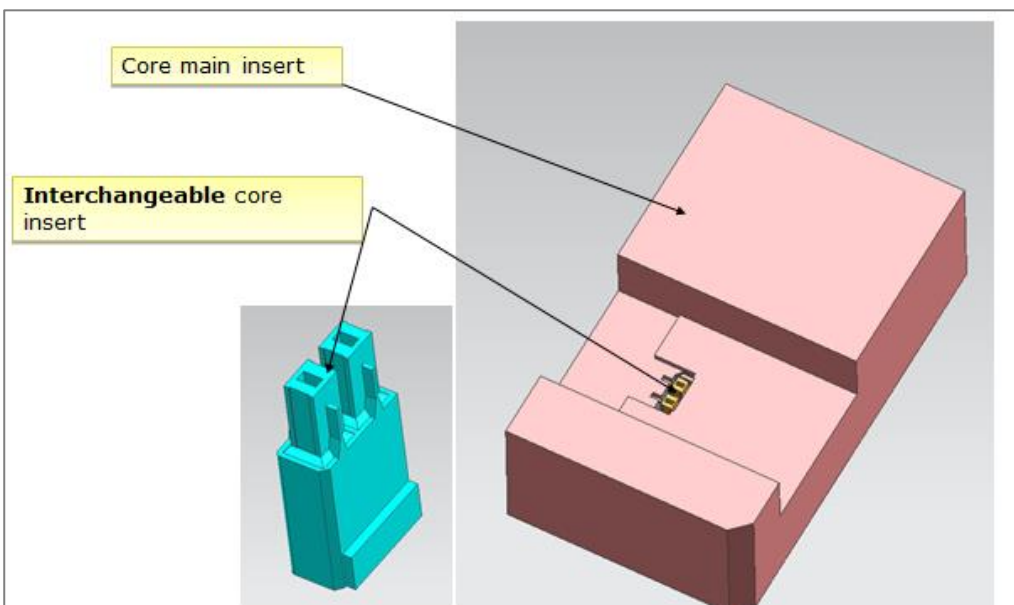
Een analyse van de wanddikte van het product is nodig om een mooi vloeifront van de kunststof te bekomen. Onderstaande figuur toont de wanddikte in mm.



Figuur 67: Analyse van de wanddikte van de bobijn

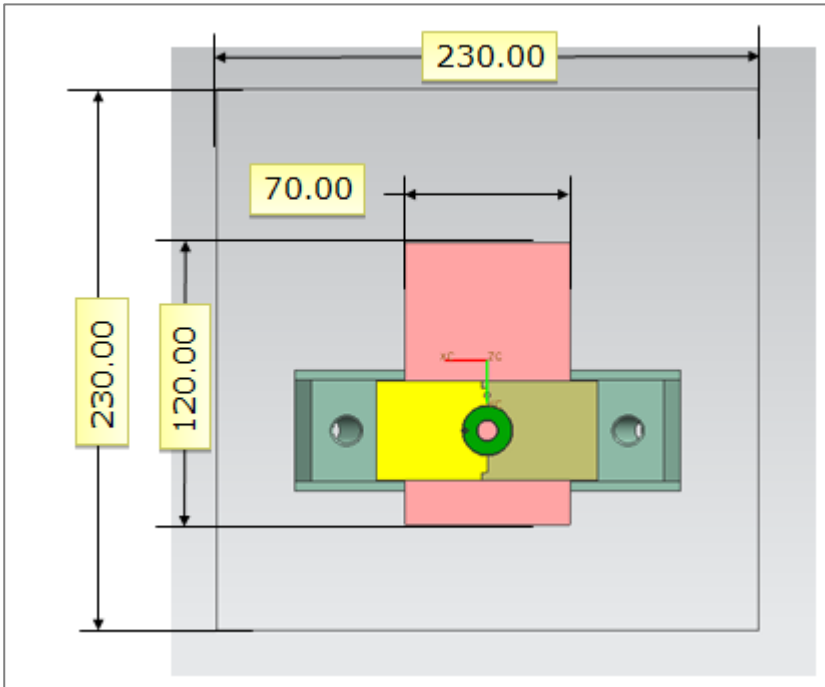
Interchangeable core insert

De interchangeable core insert is een verwisselbaar inzetstuk in de losse matrijshelft. Omdat er gewerkt wordt met twee verschillende bobijn-designs, om de kostprijs te drukken, wordt enkel het veranderende deel verwisseld. Deze inserts vormen de binnenkant van de cavities van de bobijn. Er zijn twee inserts om de hoogte van de anvil, waarop de draad rust, te veranderen.



Figuur 68: Verwisselbaar deel in de kern

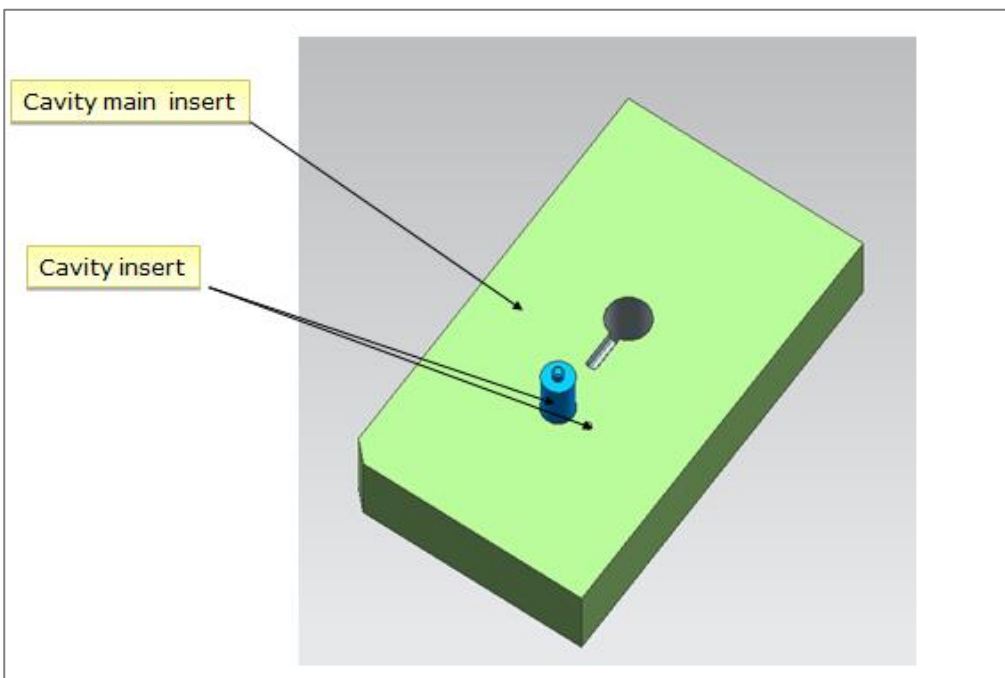
3.1.4 ASSEMBLY



Figuur 69: Aanzicht vanuit de cavity op de core

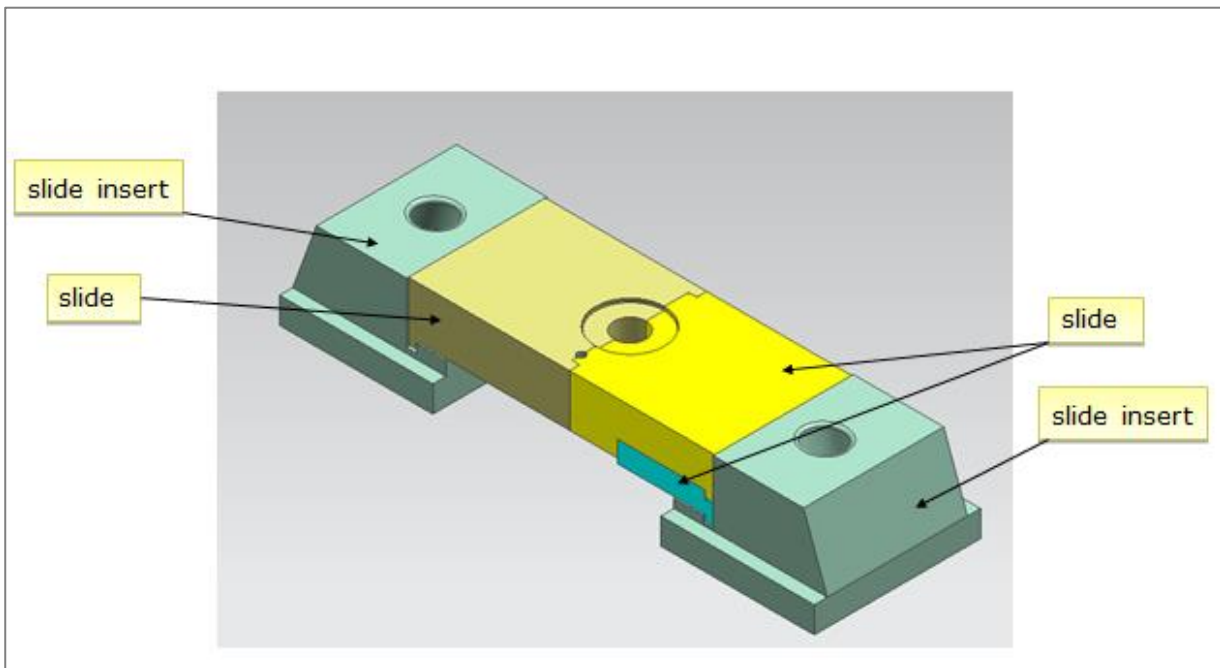
Cavity insert

Net zoals de core beschikt ook de cavity over een insert. Daarin zit de doorn die de binnendiameter van de bobijn is.

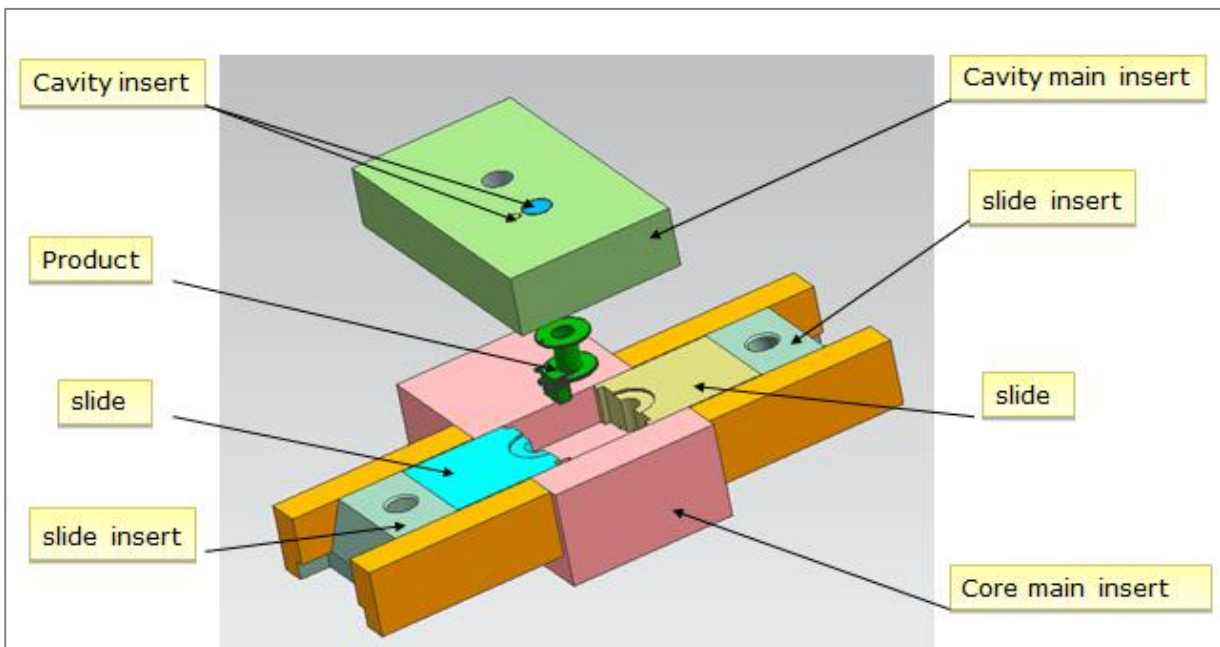


Figuur 70: Insertiestuk in de cavity voor de binnendiameter van de bobijn

De cavity insert is een hulpstukje om te plaatsen in de vaste matrijshelft om de kostprijs te drukken. Omdat de bobijn een binnendiameter heeft, is er een doorn nodig waarrond kan gespoten worden. Deze doorn wordt apart gemaakt zodat men de bewerkingen bij het construeren op kleinere aparte delen kan doen.



Figuur 71: Schuiven om de ondersnijdingen op te vangen



Figuur 72: Volledige matrijzassembly

3.1.5 RESULTAAT

Door de matrijsbouwer zijn er 200 bobijnen spuitgegoten, 100 witte en 100 zwarte. Deze bobijnen verschillen enkel van elkaar wat betreft de caviteit. Zoals voorgesteld door de experts, wordt voor de zwarte bobijn, de anvil waarop de draad ligt, op de normale hoogte geplaatst. De witte bobijn heeft een iets lagere anvil waardoor de draad lager in de vork van de Mag-Mate® komt. Deze opstelling is beter voor aluminium wikkeldraad.



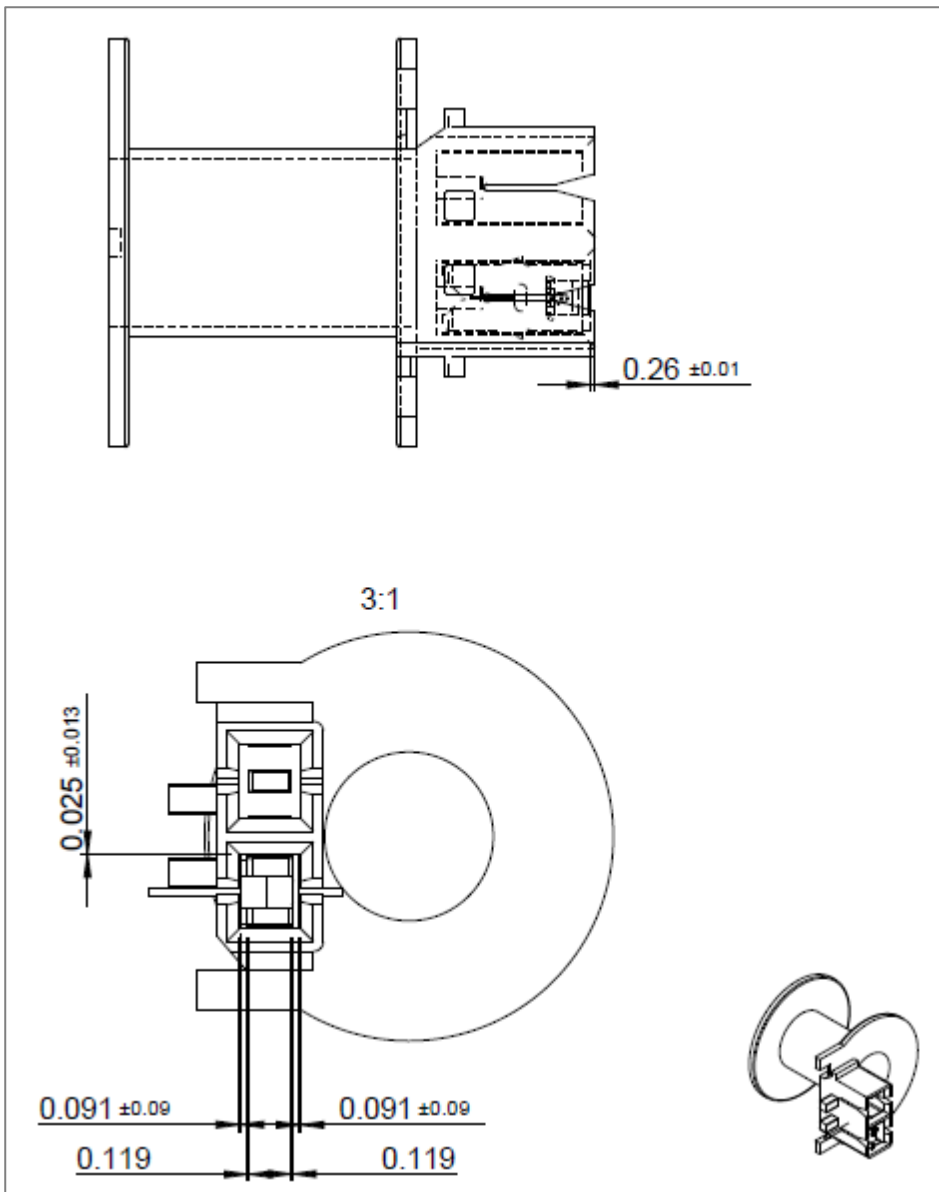
Figuur 73: Geproduceerde bobijnen net na de eerste spuitgietingen

3.2 INDRUKTOOL

De indruktool is het werkstuk dat door een operator wordt gebruikt, in combinatie met een manuele pers, om de Mag-Mates® op de juiste plaats in de caviteit te krijgen. Door een pers in combinatie met het werkstuk te gebruiken wordt een betrouwbaar, gecontroleerd proces gecreëerd.

3.2.1 POSITIONERING VAN DE MAG-MATES® IN DE CAVITIES

De positionering van de Mag-Mates® t.o.v. de cavities is zeer belangrijk omdat de indrukdiepte bepaalt of het werkstuk voldoet aan de opgegeven toleranties. De positie van de draad wordt vastgelegd door de cavity zelf, en kan na insertie in de cavity niet meer veranderen. De draad zit immers vast tussen de twee sleuven van de cavity en rust op de 'anvil'. De anvil is een verhoging van de kunststof in het midden van de holte. De indrukdiepte van de Mag-Mate® (de maat $0,26\pm 0,01$) is dus bepalend voor de hoogte van de draad in de connector en voor de betrouwbaarheid .

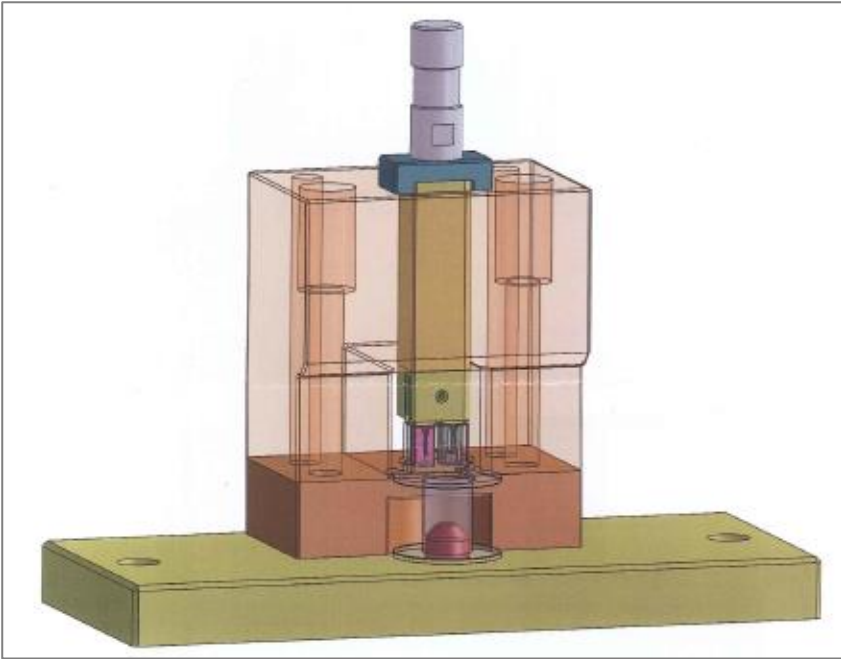


Figuur 74: Positie van de Mag-Mate® na het indrukken

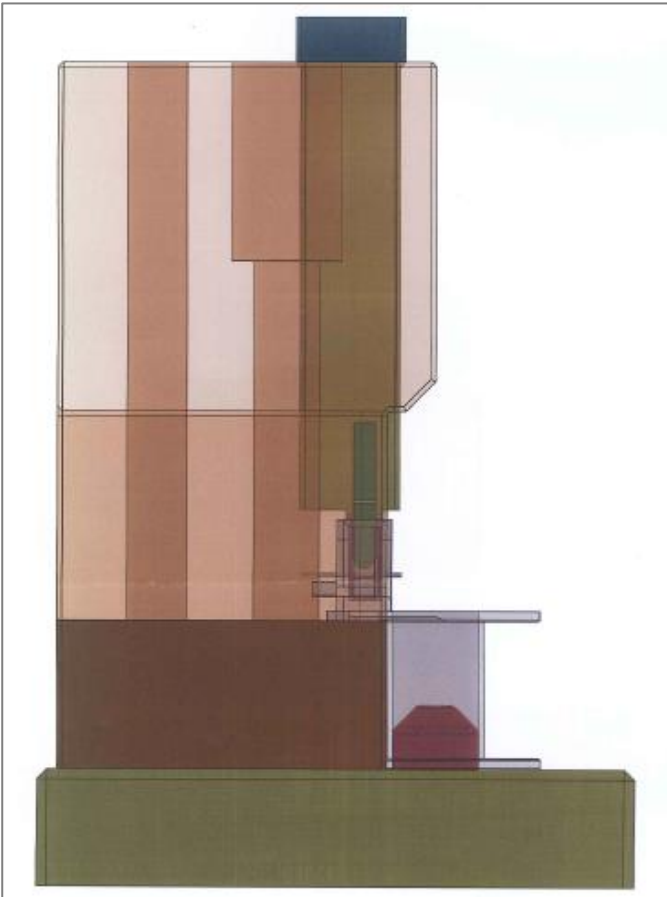
3.2.2 INDRUKTOOL

De indruktool is een constructie van metaal dat bevestigd wordt aan een knacker of pers die met de hand wordt bediend. Nadat de Mag-Mates® bovenop de caviteiten rusten, wordt de pers ter hoogte van de Mag-Mates® gebracht. Daarna worden ze ingedrukt totdat de indruktool tegen een aanslag komt die overeenkomt met de ideale insertiehoogte in de caviteit, dus in het midden van de tolerantiezone.

De indruktool wordt achteraf nog aangepast met een extra uitsnijding zodat de spoeldraad, die vanuit de wikkelkamer naar de caviteit vertrekt, niet zou beschadigd worden bij het plaatsen van de spoel op de tool.



Figuur 75: Indruktool met bobijn en een Mag-Mate®



Figuur 76: Indruktool in close-up zijaanzicht met bobijn



Figuur 77: Indruktool met spoel bevestigd op een manuele pers met tweehandsbediening

4 PRODUCTIE VAN DE AFGEWERKTE SPOELEN

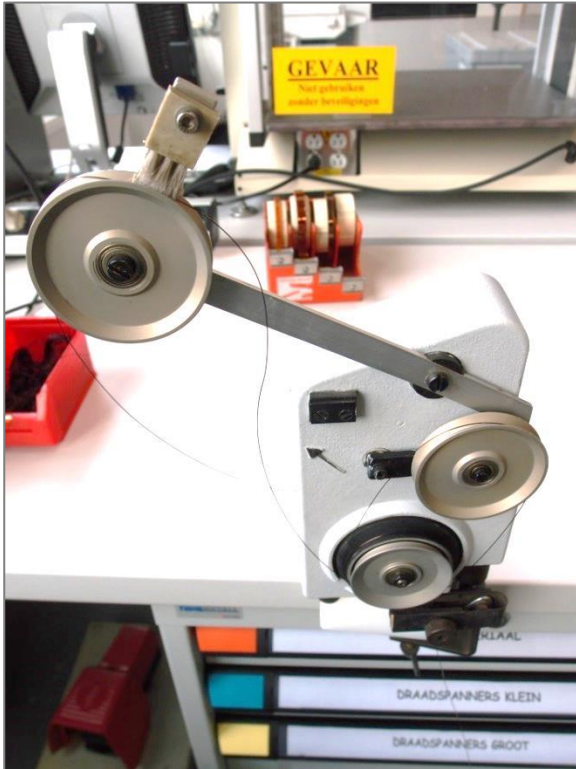
De productie van de afgewerkte spoelen moet nauwgezet gebeuren a.d.h.v. een vooropgesteld stappenplan. Het stappenplan moet de assemblage zo betrouwbaar mogelijk maken en geen ruimte laten voor interpretatie. Het is bovendien essentieel voor een eventuele massaproductie om slechts een zeer kleine spreiding te hebben op de resultaten.

4.1 DRAADWIKKELING

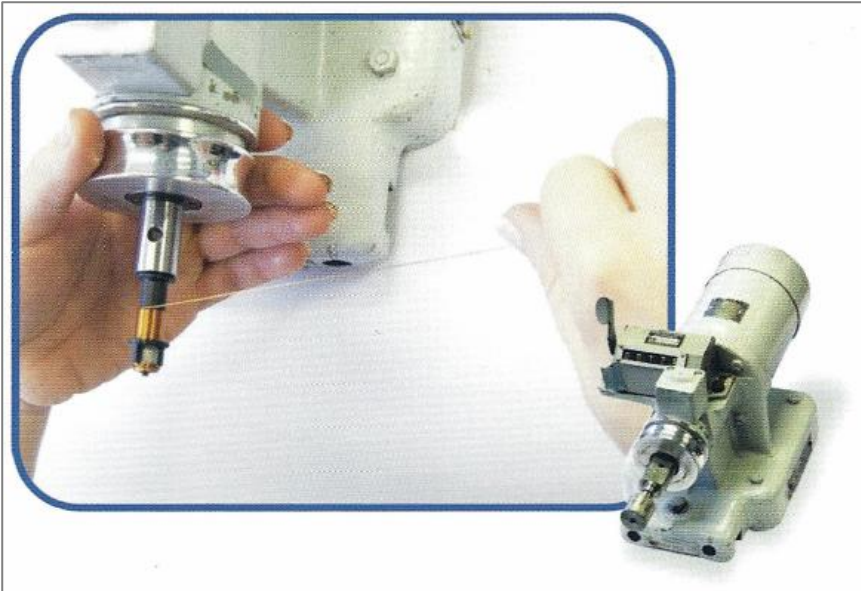
Het wikkelen van de draad op de bobijn gebeurt als volgt:

- De bobijn wordt op een wikkeldoorn gestoken. Hierdoor is ze vast verbonden met de wikkelmachine en is geen speling mogelijk tijdens het roteren.
- De wikkeldraad wordt vier keer rond het eerste wikkelblokje gewonden.
- Daarna wordt de wikkeldraad opgespannen via een draadspanningsmechanisme.
- De draad wordt nu boven de eerste caviteit geplaatst en omlaag geduwd via de sleuven met behulp van een kunststof stiftje. Ze moet rusten op de anvil en onderaan de sleuven.
- Vervolgens wordt de draad rond de caviteit gedraaid en over de bobijnflens geplaatst, om via een uitsparing de binnendiameter van de wikkelkamer te bereiken.

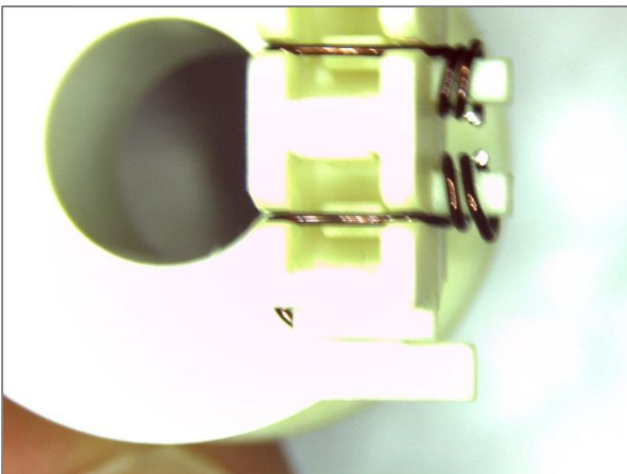
- De spoeldraad wordt 360 keer, volgens een homogeen wikkelpatroon, in 12 lagen van 30 wikkelingen gelegd.
- Na 360 volledige wikkelingen wordt de draad opnieuw over de flens gelegd en rond de tweede caviteit gedraaid.
- De draad wordt op dezelfde manier in de tweede caviteit geplaatst.
- Ten slotte wordt de spoeldraad een viertal keer rond het tweede wikkelblokje gewikkeld en afgesneden.



Figuur 78: Mechanisme om spoeldraad op de juiste wikkelspanning te houden



Figuur 79: Draadwikkelmachine met teller om aantal wikkelingen te tellen (TE Connectivity, 2012)



Figuur 80: Resultaat in bovenaanzicht van na het wikkelen van de bobijnen

4.2 MAG-MATE® INSERTIE

De Mag-Mates® zijn het resultaat van een ponsproces en worden hierdoor geleverd aan band. Ze worden eerst losgesneden volgens de 'Die Feed'. Dit is de afstand tussen twee opeenvolgend Mag-Mates®. Nadien worden ze op maat geknipt volgens de specificaties die vermeld staan op de producttekeningen.

Per spoel worden twee Mag-Mates® manueel los in de cavities geplaatst. De spoel wordt op een vaste plaat gezet (een onderdeel van de indrukttool) rondom een pin waarvan de buitendiameter gelijk is aan de binnendiameter van de spoel. Hierdoor staat de spoel vast.

Daarna wordt met een 'Knacker' of een pers met tweehandsbediening, het indrukttooltje naar beneden geschoven. Dit tot de Mag-Mates® volledig in de kunststof cavities gedrukt zijn tot op een

voorgestelde diepte. De kracht waarmee de pers op de spoel drukt, kan bij een niet-gewikkelde spoel de flens mogelijk doen afbreken, maar bij een gewikkelde spoel vangen de wikkelingen deze kracht op.



Figuur 81: Pers/Knacker met daarop de indruktool en een spoel

4.3 POKE-IN INSERTIE

Na de insertie van beide Mag-Mates[®] worden de poke-ins met de hand in de Mag-Mates[®] geschoven. Ze worden vastgeklit aan de flap van de Mag-Mate[®].

4.4 AANBRENGEN NYOGEL[®]

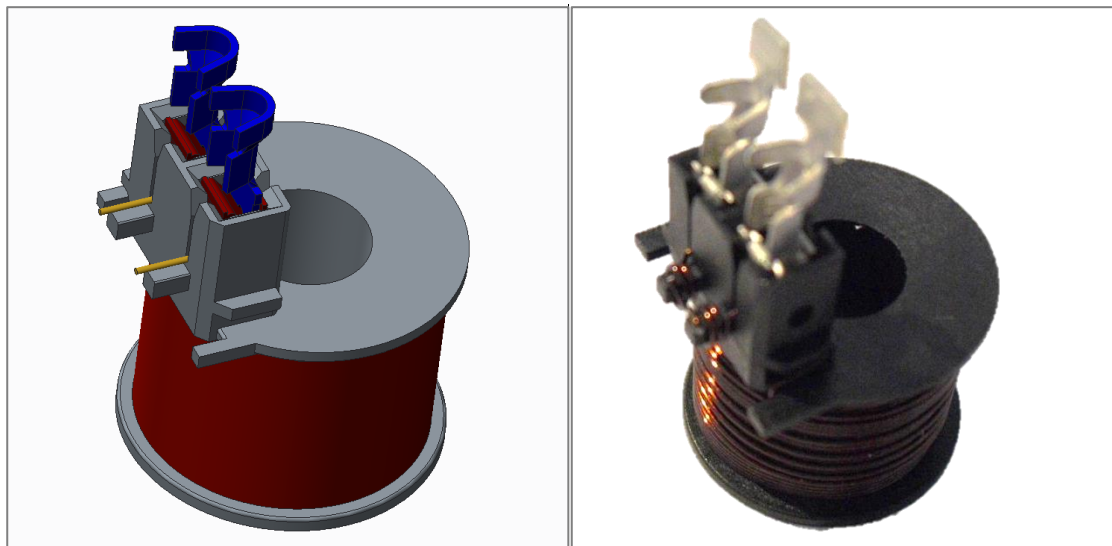
De Nyogel[®] wordt met een spuit, met daarop een naald met buitendiameter 1,6 mm, aangebracht. De holte wordt gevuld tot er gel bovenaan de Mag-Mate[®] uit komt. Op die manier weet men dat de beide connectoren omhuld zijn met het vet.



Figuur 82: Nyogel[®] 760G (Nye Synthetic Lubricants, 2005)

4.5 EINDRESULTAAT

Het eindresultaat is een gewikkelde spoel waarbij de beide einden van de spoeldraad verbonden zijn via Mag-Mates®. De Mag-Mates® kunnen via poke-ins met verschillende apparaten verbonden worden.



Figuur 83: Eindresultaat na de assemblage van de verschillende delen ; rood en geel zijn één geheel en zijn de wikkelingen van de spoeldraad, de Mag-Mates® zijn eveneens rood en de poke-ins zijn blauw

5 MOGELIJKE BOUWWIJZEN EN INVLOEDSPARAMETERS

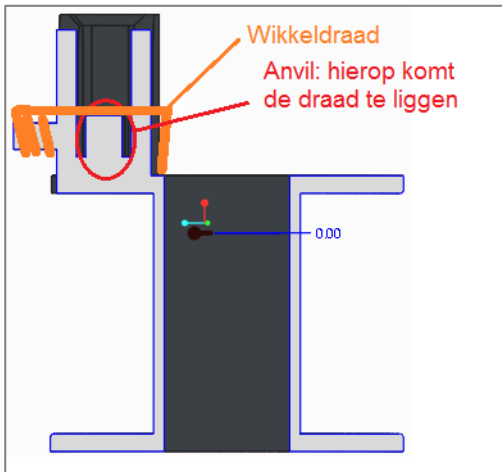
De parameters zoals gleufbreedte, draadhoogte en strain-relief feature wijzigen i.f.v. de Mag-Mate® of de bobijn. Door deze parameters telkens te wijzigen worden meerdere designs bekomen. Om de invloeden van de verschillende parameters na te gaan, is het nuttig om verschillende varianten van één design te testen.

5.1 INVLOEDSPARAMETERS

De invloedsparameters zijn eigenschappen van het spoeldesign die invloed kunnen hebben op de elektrische contactering van de spoeldraad. Er zijn veel meer invloedsparameters dan hieronder beschreven, omdat van vele de invloed al bekend is op basis van eerdere onderzoeken. Van deze gekende parameters worden reeds diegene met de beste eigenschappen gebruikt. Sommige parameters zijn afhankelijk van de bobijn, andere zijn afhankelijk van de Mag-Mate®. Omdat er met een beperkte serie spuitgegoten bobijnen wordt gewerkt, zijn er maar drie invloedsparameters die gewijzigd worden. Elke parameter wordt op twee manieren gewijzigd. Dit levert $2 \times 3 = 6$ bouw mogelijkheden op.

5.1.1 DRAADDIEPTE

De draaddiepte van de wikkeldraad in de Mag-Mate® kan veranderd worden door een wijziging in de caviteit, dus in de bobijn zelf. Daar is het de anvil, een kunststof stuk dat de draad ondersteunt, die bepaalt hoe hoog de draad ligt. De Mag-Mate® komt steeds even diep in de caviteit omdat de voornaamste geometrieën niet veranderen. In de kern van de matrijs zit een verwisselbaar inzetstuk die de geometrie binnenin de caviteit bepaalt. Het resultaat zijn twee verschillende bobijnen met twee verschillende kleuren. Een witte bobijn met een verlaagde draadhoogte (lagere anvil) en een zwarte bobijn met een normale draadhoogte. De zwarte bobijn heeft een caviteit met een geometrie die volgens de oorspronkelijke designers werd opgelegd, terwijl de witte bobijn een design is dat meer geschikt is voor aluminium en zelf werd ontworpen.



Figuur 84: De anvil bepaalt de draadhoogte, de wikkeldraad loopt in het vlak

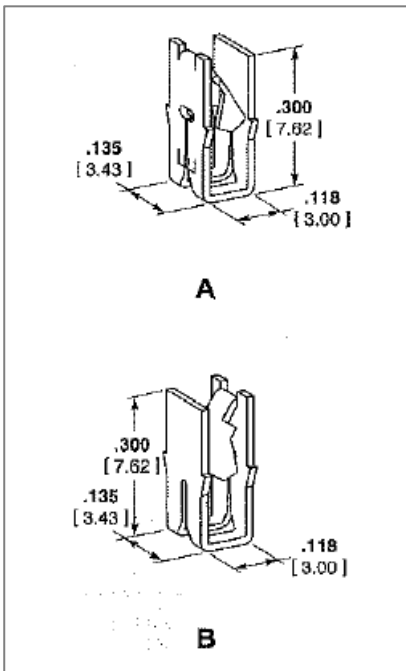
5.1.2 GLEUFBREEDTE

De gleufbreedte is afhankelijk van de Mag-Mate®. De Mag-Mates® zijn oorspronkelijk gemaakt om koperdraad te verbinden. Er zijn verschillende Mag-Mates® ontwikkeld met verschillende gleufbreedtes die elk optimaal zijn om een bepaalde range van draaddiameters te verbinden. Deze technologie is men later ook beginnen toepassen op aluminiumdraad. Eénzelfde Mag-Mate® kan niet voor éénzelfde diameter van aluminiumdraad en koperdraad worden toegepast. Voor elke Mag-Mate® worden nieuwe draaddiameterranges opgesteld op basis van de ideale compressieratio's die zijn gevonden uit tests. Volgens de laatste informatie zijn deze nieuwe gedefinieerde ranges niet optimaal geschikt voor de beschreven aluminiumdraad. Daarom is het nuttig om de invloed van de gleufbreedte verder te onderzoeken.

5.1.3 STRAIN-RELIEF FEATURE

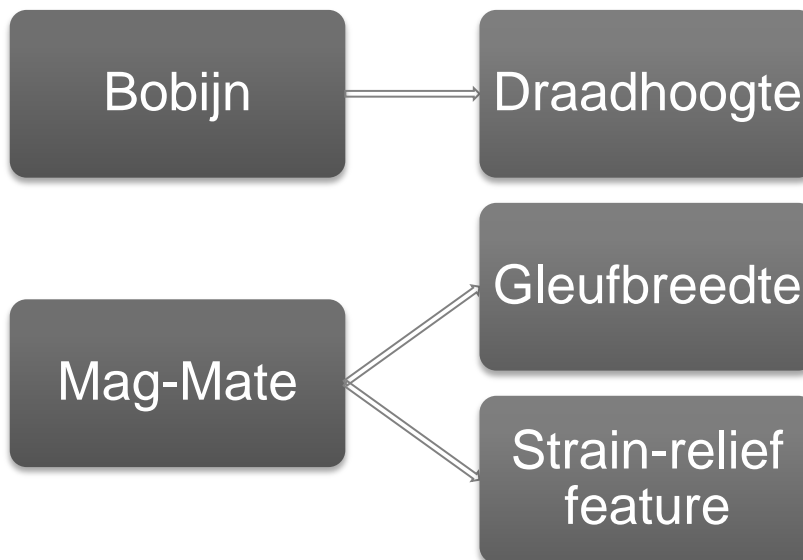
Ook de strain-relief feature is louter afhankelijk van de Mag-Mate®. Een strain-relief feature is een aanpassing van de geometrie van één van de vorken t.o.v. het oorspronkelijk design. De niet-aangepaste vork blijft zijn IDC-functie behouden. De aangepaste vork heeft een bredere sleufbreedte zonder een effectieve snijgeometrie, zodat de draad vastgeklemd wordt op zijn isolatie. De draad zit hierdoor stevig vast zodat bij eventuele trillingen, de elektrische connectie van de andere vork gevrijwaard blijft van grote krachten op de draad. In de volgende figuur is duidelijk te zien dat de vork

met de strain-relief feature zeer eenvoudig is uitgevoerd (fig. B), terwijl het originele model een speciale snijgeometrie heeft (fig. A).



Figuur 85: Figuur A is het originele model, figuur B bezit een strain-relief feature (TE Connectivity, 2013)

5.1.4 SAMENVATTING VAN DE INVLOEDSPARAMETERS



5.2 MOGELIJKE BOUWWIJZEN

De samenvatting van de invloedsparameters toont drie verschillende variabelen. Elke parameter kan op twee verschillende manieren worden gebruikt, waardoor er 6 bouwwijzen ontstaan. Men kan twee verschillende bobijnen combineren met drie verschillende Mag-Mates®.

6 GEPRODUCEERDE SPOELEN

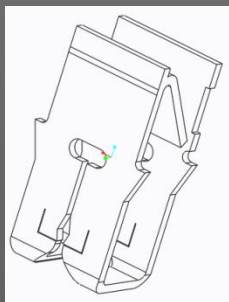
Door de matrijsbouwer worden 200 bobijnen spuitgegoten, 100 zwarte en 100 witte. Na assemblage worden ze onderverdeeld in groepen van 30 spoelen volgens de 6 bouwwijzen. Deze bouwwijzen, later testgroepen, worden achteraf nog eens onderverdeeld in subgroepen. De subgroepen binnen elke testgroep ondergaan verschillende series van testen.

Eén parameter is afhankelijk van de bobijn, en twee van de Mag-Mate®. Daarom wordt met drie verschillende Mag-Mates® gewerkt en twee verschillende bobijnen.

Mag-Mates

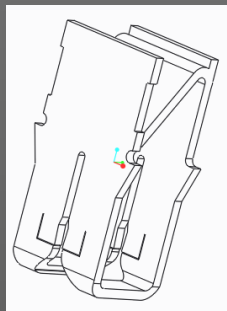
62429-1

- Normale gleufbreedte
- Geen Strain-relief feature



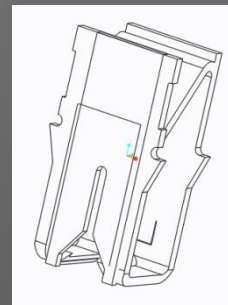
62935-1

- Bredere gleufbreedte
- Geen Strain-relief feature



63789-1

- Bredere gleufbreedte
- Strain-relief feature



Figuur 86: Overzicht van de verschillende gebruikte Mag-Mates®

Bobijnen

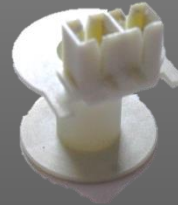
Zwart

- Normale draadhoogte



Wit

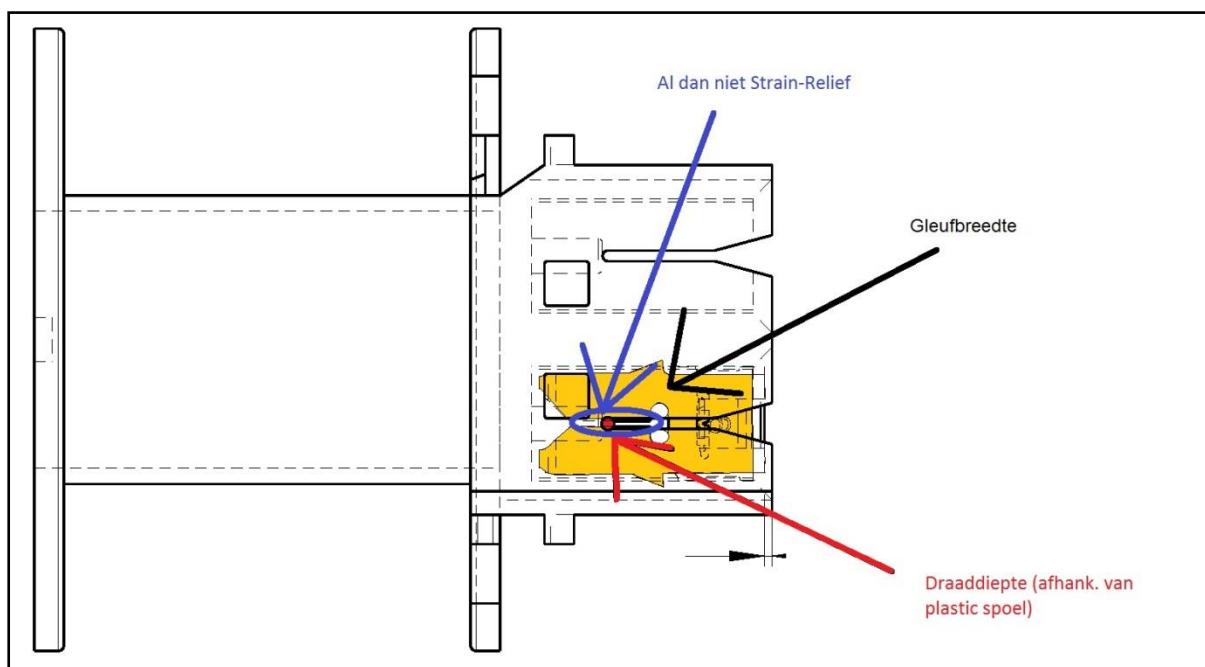
- Verlaagde draadhoogte



Figuur 87: Overzicht van de verschillende gebruikte bobijnen

	1	2	3	4	5	6
Bobijn	Zwart	Wit	Zwart	Wit	Zwart	Wit
Draadhoogte	Normaal	Laag	Normaal	Laag	Normaal	Laag
Aantal spoelen	30	30	30	30	30	30
Mag-Mate	62429-1	62429-1	62935-1	62935-1	63789-1	63789-1
Gleufbreedte	Normaal	Normaal	Breed	Breed	Breed	Breed
Strain-relief Feature	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja	Ja

Tabel 15: Overzicht van de eigenschappen van de 180 geassembleerde spoelen.



Figuur 88: Verschillende ontwerpparameters

7 VERIFICATIE VAN DE GEPRODUCEERDE EENHEDEN

De geproduceerde spoelen worden gecontroleerd op het juiste en nauwkeurige verloop van de assemblage. Ook worden de verschillende componenten geëvalueerd, teneinde een gedetailleerd beeld te krijgen van het volledige verbindingsproces.

7.1 METINGEN VAN AFMETINGEN EN TOLERANTIES

De spuitgegoten bobijnen, zijn reeds met een CMM in het betreffende bedrijf gecontroleerd. Er wordt in het meetlabo van TE Oostkamp een tweede controle uitgevoerd op de juiste dimensionering.

De controles die door het meetlabo uitgevoerd worden, omvatten enkel de functionele afmetingen. Ze worden opgemeten a.d.h.v. een aangepaste producttekening. (meetresultaten: zie fig. 134)

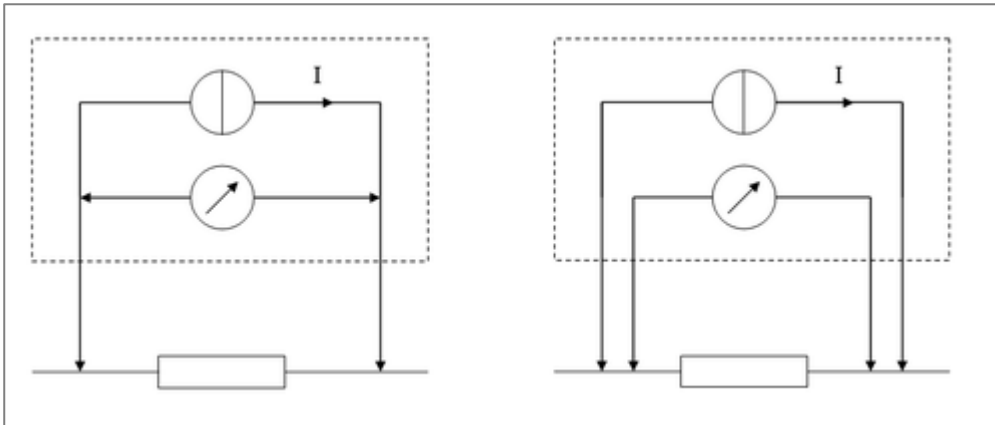
7.2 METINGEN VAN DE DRAADWEERSTAND

Na assemblage wordt de DC-weerstand, ter hoogte van de poke-ins, van de volledige wikkeldraad opgemeten.

Een eenvoudige tweepuntsmeting is een eerste en snelle methode. Voor meer nauwkeurige weerstandswaarden wordt een vierpuntsmeting gedaan. Beide worden hieronder uitgelegd. Een vierpuntsmeting heeft als voordeel dat de weerstand van de meetprobes niet wordt meegemeten.

Bij nauwkeurige metingen worden de spoelen bovendien eerst 18u geacclimatiseerd in de meetkamer samen met het meettoestel. De temperatuur van de geleiders benadert dan de omgevingstemperatuur. Voor eventuele omrekeningen moet de temperatuur van de geleiders namelijk gekend zijn.

7.2.1 TWEEPUNTS- EN VIERPUNTSMETINGEN



Figuur 89: Links de tweepuntsmeting, rechts de vierpuntsmeting om weerstanden op te meten (Wikipedia, 2013)

Bij zeer kleine weerstanden beïnvloedt de overgangsweerstand van de klemmen sterk het eindresultaat. Een meetklem die op een te meten weerstand wordt geplaatst, zorgt voor een extra weerstand van enkele honderden milliohms. De fout op de meting kan bij kleine weerstanden dus aanzienlijk zijn. Om dit op te lossen kan men een vierpuntsmeting doen. De ohmmeter beschikt hiervoor over vier meetklemmen i.p.v. twee. Twee ervan dienen om een stroom door de weerstand te sturen, de andere twee om de spanning op te meten. Bij een tweepuntsmeting wordt ook de weerstand opgemeten van de meetklemmen. Er ontstaat immers een spanning over deze stroomvoerende klemmen omdat hun weerstand niet nul is. Bij een vierpuntsmeting wordt deze extra spanning niet meegemeten.

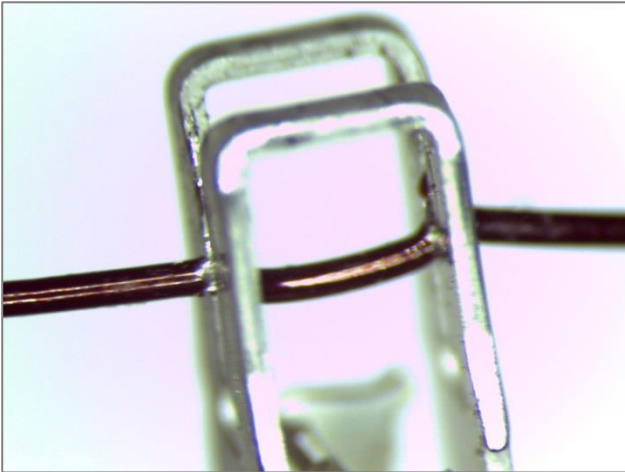
7.3 METINGEN VAN INDRUKDIEPTE

De indrukdieptes van de Mag-Mates[®] worden na het indrukken gemeten met een hoogteklokje. De referentie is hiervoor de bovenkant van de caviteit. Telkens wordt geverifieerd indien deze waarden binnen de tolerantie liggen. De resultaten vindt men in de bijlagen op fig. 135.

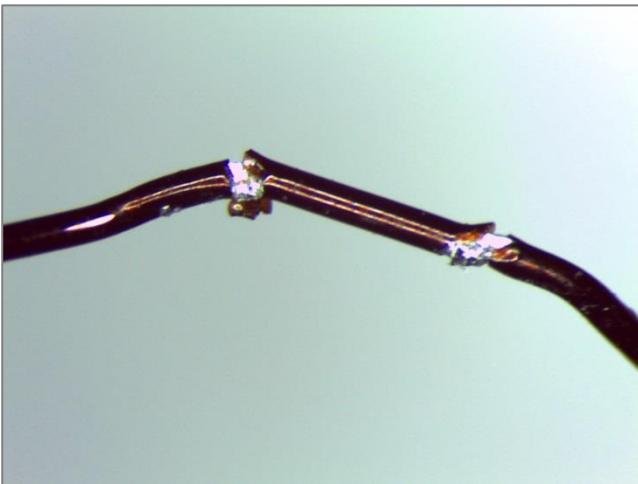
7.4 LICHTMICROSCOOPBEELDEN

Met een lichtmicroscop kan een optische controle worden gedaan, zonder het werkstuk daarbij te beschadigen. Door de caviteit aan te passen kan men de reeds verbonden Mag-Mate[®] er opnieuw uithalen. Op die manier worden unieke beelden verkregen die het principe van een IDC-verbinding duidelijker maken.

7.4.1 VOORBEELDEN



Figuur 90: Microscopiebeeld van een omgekeerde Mag-Mate® met de verbonden wikkeldraad



Figuur 91: Microscopiebeeld van de wikkeldraad die ontdaan is van zijn isolatie door de verbinding met de Mag-Mate®

7.5 SCHLIFFS

7.5.1 WAT ZIJN SCHLIFFS

Schliffs zijn het resultaat van een bewerkingsprocedure op werkstukken die men nauwkeurig in doorsnede wil bekijken.

7.5.2 DOEL VAN SCHLIFFS

Het doel van schliffs is een nauwkeurig beeld leveren van de doorsnede van solide werkstukken. Dit beeld wordt genomen a.d.h.v. aangepaste lichtmicroscopen.

7.5.3 PROCEDURE

Een werkstuk schlijfen / een schliff maken gebeurt als volgt:

- Het te schlijfen stuk wordt in een potje gelegd.
- Het werkstuk wordt overgoten, met een speciaal hars dat alle poriën bedekt, totdat het potje gevuld is.
- Vervolgens laat men het hars een aantal uur uitharden.
- Na het uitharden wordt het werkstuk, dat nu omgeven is door het vaste hars, uit het potje gehaald. Het volledige stuk wordt afgesneden op de plaats waar men de doorsnede wenst te bekijken.
- Deze doorsnede wordt nog op schuurtafels gevlakt, zodat een helder beeld wordt bekomen dat kan bekeken worden onder een aangepaste lichtmicroscop.



Figuur 92: Vlaktafel om schliffs te vlakken (TE Connectivity, 2012)

De vlakken kan men tot op zeer precieze afmetingen afsnijden. In onderstaande afbeeldingen is de dunne spoeldraad en de Mag-Mate[®] dwars doorgesneden.

Na het schlijfen kan men de schliff onder een speciale lichtmicroscop leggen (de lichtbron komt uit de richting van de lens) om nauwkeurige beelden te maken met een aangesloten digitale camera.



Figuur 93: Lichtmicroscop om schliffs te bekijken (TE Connectivity, 2012)

Schliffs kunnen niet toegepast worden indien er bijvoorbeeld een vet of ander liquide middel aanwezig is in het werkstuk. Deze substantie zal niet verdrongen worden door het product waarmee

men opgiet. De aanwezige stof zal na het afsnijden van de vlakken uit het vlak lopen waardoor men geen vlak beeld meer krijgt. Bovendien is hierdoor het opgegoten werkstuk ook niet meer stabiel.

Van elk soort spoel wordt zeker één schliff gemaakt met doorsnedes langs en loodrecht op de draadas.

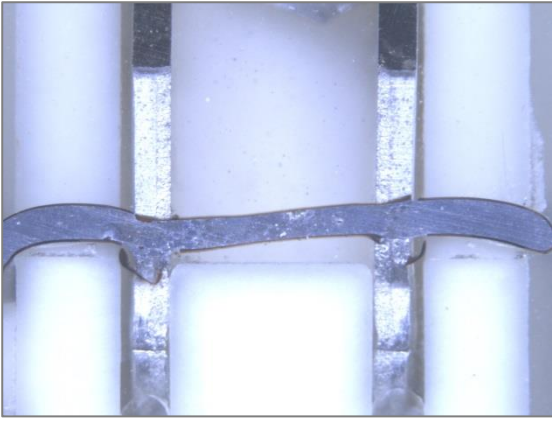
7.5.4 VOORBEELDEN



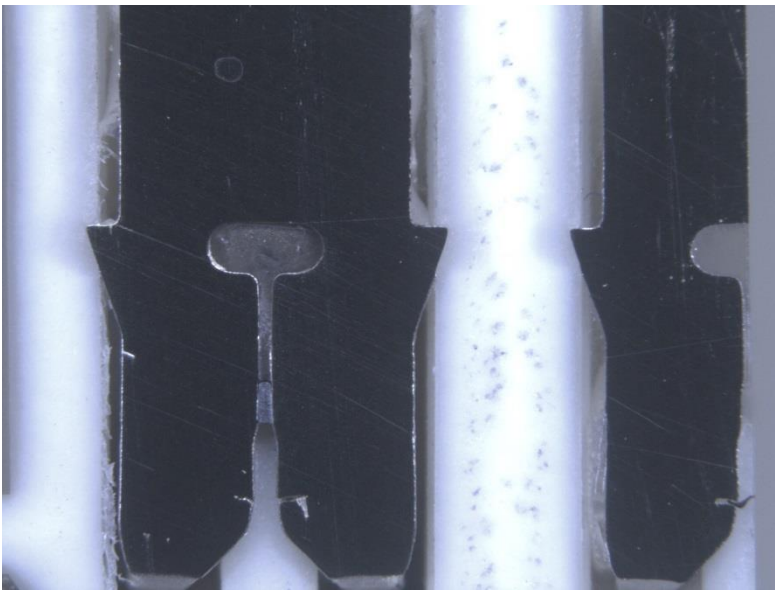
Figuur 94: Volledige schliff



Figuur 95: Beschrijving van de snijvlakken van de schliff



Figuur 96: Close-up van een schliff (1) met de dwarsdoorsnede van de wikkeldraad



Figuur 97: Close-up van een schliff (2) met de dwarsdoorsnede van twee Mag-Mates®

7.6 X-RAYS

7.6.1 INLEIDING

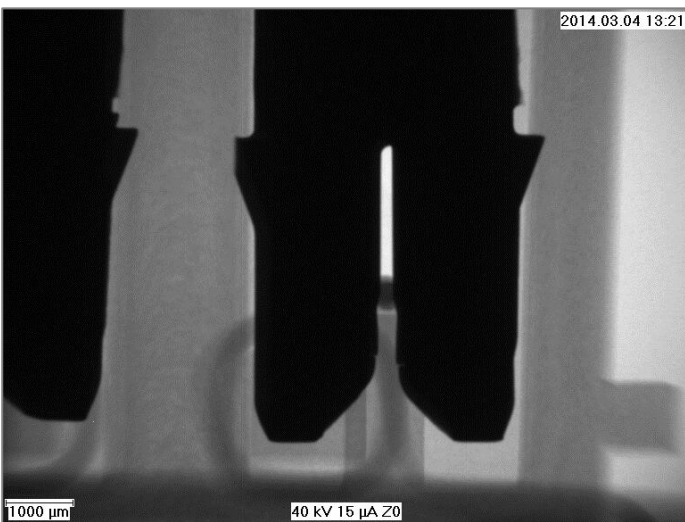
Bij röntgenfotografie kan men met behulp van röntgenstralen een object analyseren. Er hoeft geen rekening gehouden te worden met wat zichtbaar is met het blote oog. Het grote voordeel is dat de doorgang van röntgenstralen sterk afhankelijk is van de dichtheid van het object.

X-rays kunnen gebruikt worden, als een niet-destructieve methode, om binnenin bepaalde objecten te kijken. Deze techniek wordt vooral toegepast om de positie van de draad in de Mag-Mate® en de positie van de Mag-Mate® te verifiëren.

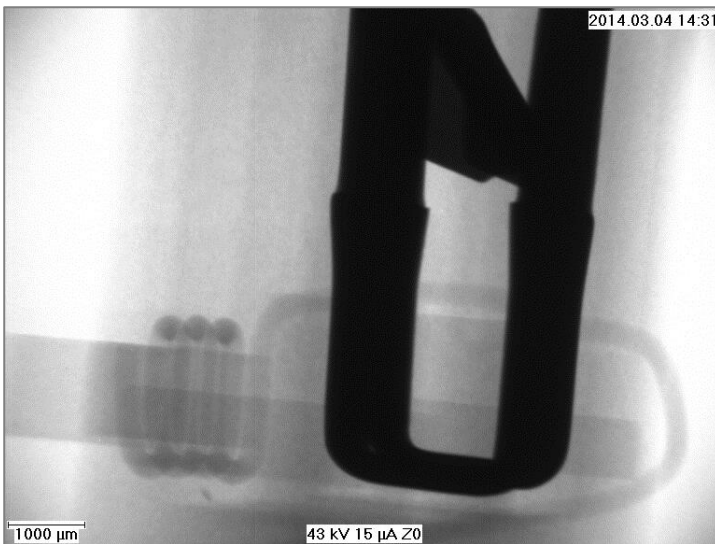


Figuur 98: Toestel om X-rays mee te maken (TE Connectivity, 2012)

7.6.2 VOORBEELDEN



Figuur 99: X-ray van het vooraanzicht van een Mag-Mate® in een caviteit met bijhorende spoeldraad

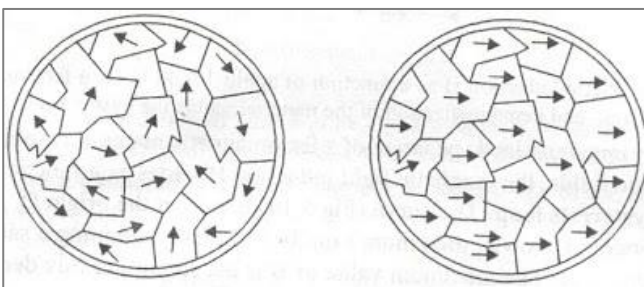


Figuur 100: Zij-aanzicht van een X-ray van een Mag-Mate® met bijhorende spoeldraad. De spoeldraad ligt tussen de vorken van de Mag-Mate®

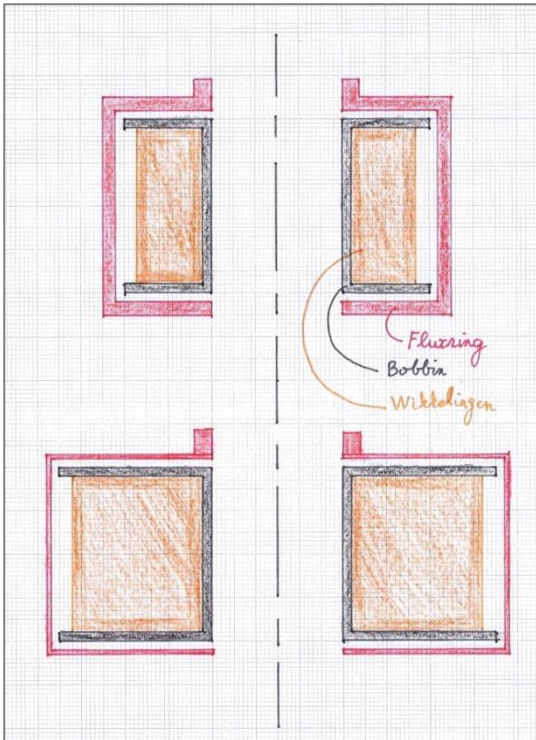
7.7 MAGNETISCHE INDUCTIE

Voor elektromagnetische spoelen is naast de spoelweerstand ook de magnetische inductie van belang. Deze inductie bepaalt de kracht waarmee de spoel een magnetische geleider kan aantrekken of afstoten. Voor dit project is de magnetische inductie van ondergeschikt belang. Een spoel die wordt toegepast in inductieve systemen is bijna altijd voorzien van een fluxring. Dit is een ijzeren geometrie die rond de bobijn zit en dient om de flux (magnetische stroom) te geleiden. Door deze ijzeren ring wordt de magnetische inductie groter. Het ontwerp van de fluxring en de inductiviteit valt buiten dit project.

Het toekomstige ontwerp van de fluxring ligt al voor een deel vast. Opdat de spoel een even sterke magnetisatiekracht zou krijgen als de voorgaande, moet de magnetische inductie dezelfde blijven. De magnetische flux die door de spoel stroomt blijft hierbij ook hetzelfde. De fluxring die de magnetische stroom bundelt, moet dus in dezelfde mate verzadigd kunnen blijven. M.a.w. moet eenzelfde hoeveelheid gebieden van Weiss gepolariseerd blijven. Zie hiervoor de onderstaande figuur. Als het materiaal van de fluxring hetzelfde blijft, dan moet de gemagnetiseerde massa eveneens hetzelfde blijven. De nieuwe fluxring zal aldus grotere afmetingen hebben dan de vorige, maar een dunnere wanddikte hebben en éénzelfde massa. Een bijkomend voordeel is bovendien dat de nieuwe wikkeldraad tot op grotere diameter werd gewikkeld dan de voorgaande, hierdoor is de inductie groter en kan in de toekomst zelfs geopteerd worden voor een lichtere fluxring.



Figuur 101: Magnetisatie van ijzer d.m.v. de polarisatie van de gebieden van Weiss



Figuur 102: Principeschets van de oude spoel en de nieuwe spoel met hun respectievelijke fluxringen

8 VOOR- EN NADELEN VAN DE NIEUWE SPOEL T.O.V. DE BESTAANDE SPOEL

De nieuwe geproduceerde spoel heeft enkele uitgesproken voordelen t.o.v. de bestaande spoel. Het grootste nadeel is haar grotere afmeting.

8.1 VOORDELEN VAN DE NIEUWE SPOEL T.O.V. DE BESTAANDE SPOEL

- Het eerste voordeel is de kostprijs t.o.v. de EBC-460 spoel. Door aluminium wikkeldraad te gebruiken i.p.v. koper wikkeldraad wordt de kostprijs lager en bovendien stabiel.
- Het tweede voordeel is het gewicht. Dit is vooral een voordeel voor de eindgebruikers (autorijders) en het milieu.
- Tot slot moet de wikkeldraad niet meer aan de contacten worden gelast, dit vraagt namelijk veel controle en energie.

8.2 NADELEN VAN DE NIEUWE SPOEL T.O.V. DE BESTAANDE SPOEL

- Het nadeel van de nieuwe spoel is de grotere geometrie. Een slechtere geleider betekent een vergroting van de doorsnede van het materiaal. Hierdoor zal de radius van de spoel vergroten als de wikkelbreedte constant blijft. De spoel is breder dan zijn voorganger. Daardoor zouden de ABS-modules moeten aangepast worden of zou de inductie van de spoel met zijn fluxring moeten verkleinen om in de ABS-modules te passen.

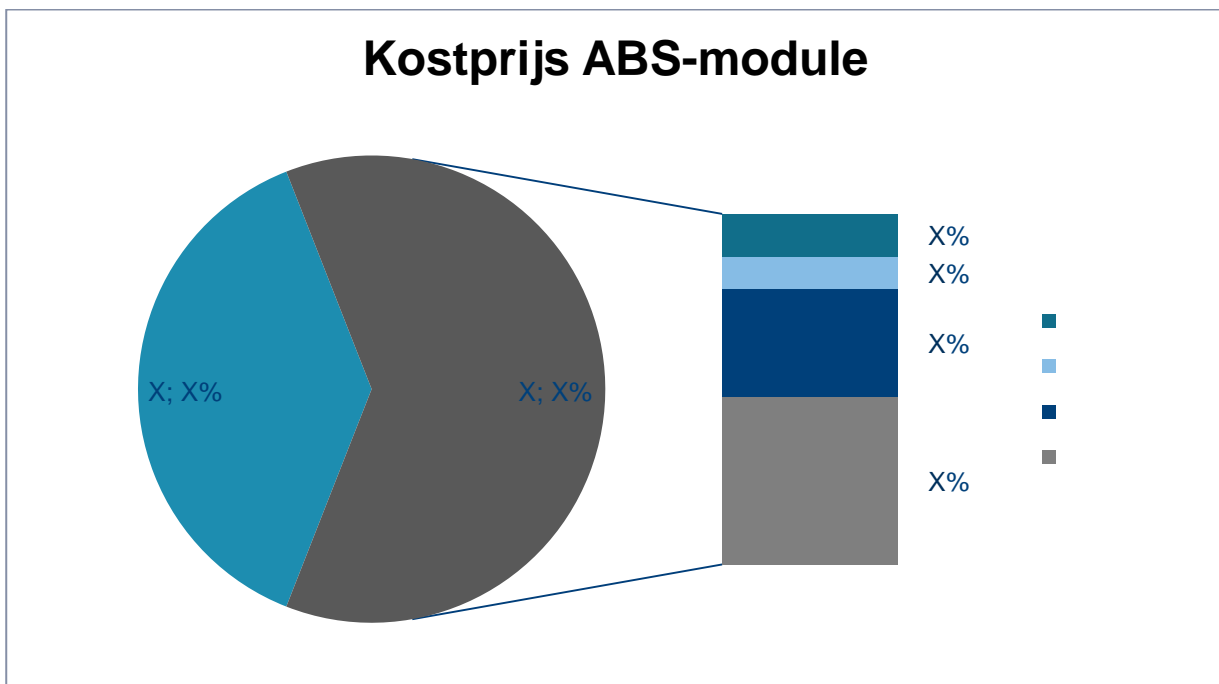
TESTING

Het hoofdstuk testing behandelt de controles en tests die de nieuw geproduceerde spoelen ondergaan. Ten eerste worden de algemene controles uitgevoerd met betrekking tot de kostprijs en het gewicht. Vervolgens wordt er een testprogramma opgesteld om de spoelen te controleren op hun betrouwbaarheid. Ze moeten immers tientallen jaren in het motorcompartiment van een auto kunnen functioneren. Alle uitgevoerde tests en de controles van de spoelfunctie komen aan bod. Tot slot wordt een vergelijkende test uitgevoerd om de verschillende ontwerpen van de spoelen te vergelijken.

1 ALGEMENE CONTROLES

1.1 KOSTPRIJS VAN DE SPOELEN

Het doel is de kostprijs van de ABS-module te reduceren. Onderstaande figuur geeft meer uitleg over waar er kan bespaard worden op de kostprijs.



Figuur 103: Verdeling van de kostprijs van een ABS-module

De kostprijs van een ABS-module bestaat voor X uit deze van de spoelen. De spoeldraad kost X % van de module.

Berekeningen tonen aan dat ongeveer X euro (X eurocent) kan bespaard per wikkeldraad. Dit is een initiële kostprijsraming. De besparing wordt groter bij een eventuele massaproductie.

* Bovenstaande gegevens zijn bedrijfsgeheim en zijn opzettelijk weggelaten

1.2 GEWICHT VAN DE SPOELN

Onderdeel [g]	Nieuwe spoel	EBC460
Bobijn	1,651	0,852
Wikkeldraad	5,432	6,912
Poke-in	0,581	
Fluxring		7,537
Totaal zonder poke-in of fluxring	7,435	7,764
Totaal	8,017	15,301

Tabel 16: Gewichten van de nieuwe spoelen en de bestaande spoelen

Aangezien de poke-in geen deel uitmaakt van de spoel wordt deze weggelaten uit de berekening van de gewichtsbesparing. Ook een eventuele fluxring wordt niet meegeteld. Er wordt per spoel ongeveer 0,329 g bespaard. Voor een volledige ABS-module met gemiddeld 10 spoelen komt dit neer op 3,29g.

2 VOORBEREIDINGEN

De voorbereidingen voor het testprogramma bestaan uit algemene voorbereidingen en het maken van werkstukken om de spoelen te monteren op de testopstellingen.

2.1 ALGEMENE VOORBEREIDINGEN

De algemene voorbereidingen omtrent de productie en identificatie van de spoelen wordt in hoofdstuk 3.1 beschreven.

2.2 KLEMLATEN VOOR DE VIBRATIETEST

De vibratietest is een test waarbij de spoelen op een trilapparaat worden gemonteerd en vervolgens gedurende enkele uren in alle richtingen vibreren. De spoelen moeten zeer goed vastzitten zodat ze de trilling goed volgen. De stijfheid van de bevestigingsstukken, waarmee de spoelen op de bevestigingsblok worden vastgezet, moet zeer groot zijn. De bevestigingsstukken (in dit geval klemplaten) worden zelf getekend om vervolgens intern vervaardigd te worden. Het geheel wordt met bouten vastgezet.

2.2.1 BEVESTIGINGSBLOK

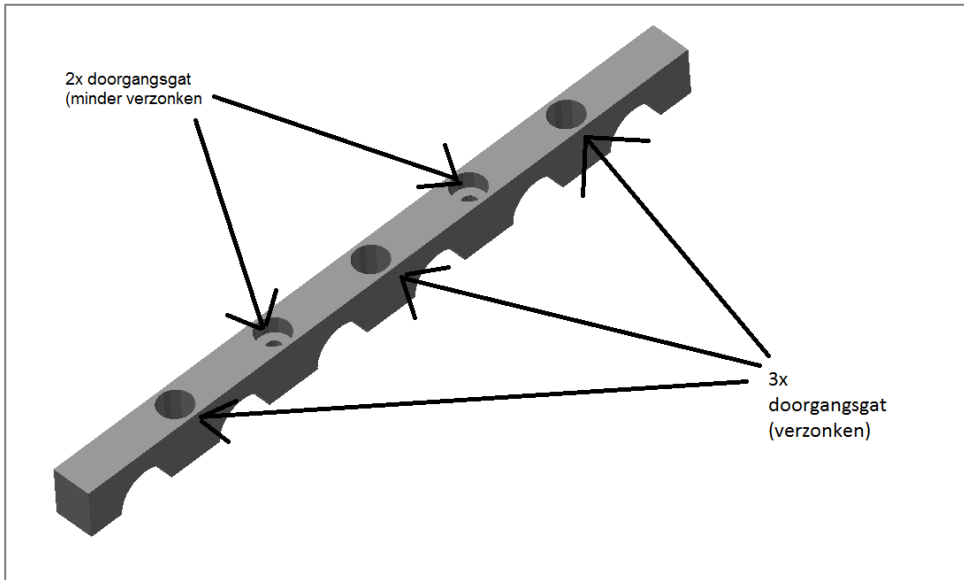
Het bevestigingsblok dat gemonteerd is op het vibratie-element, is een kubus voorzien van een gatenpatroon met schroefdraad. Hieronder staan de eigenschappen vermeld.

- Materiaal: aluminium
- Afmetingen: 200x200x200 mm
- Voorzien van een gatenpatroon met schroefdraad
 - Grootte: M6.
 - Patroon: 25x25 mm symmetrisch.
 - Het gatenpatroon is aangebracht op 3 vlakken van de kubus.

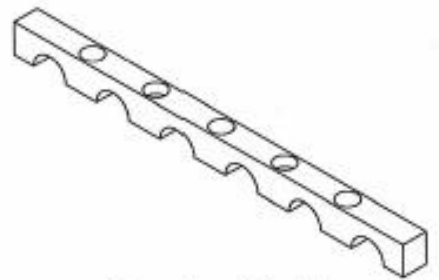
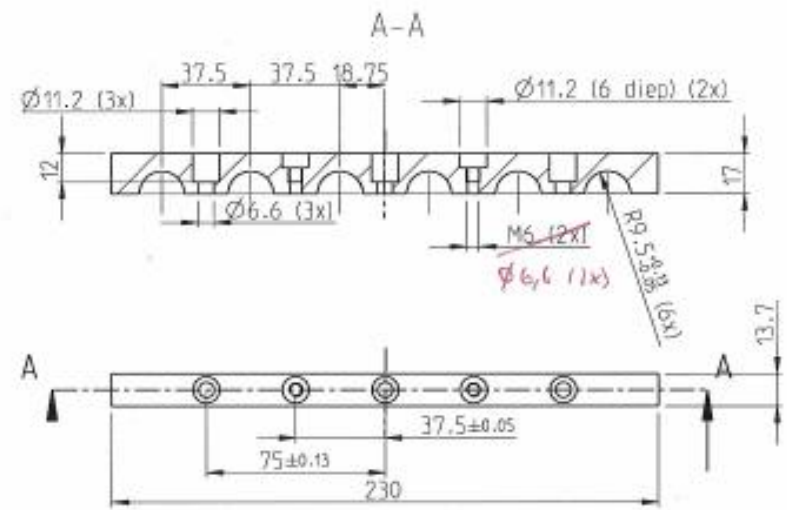
2.2.2 KLEMPLATEN

De klemplaten bestaan uit een bovenste en een onderste klemplaat. De onderste klemplaat wordt tegen het bevestigingsblok gemonteerd. Vervolgens worden hierin de spoelen geplaatst en tenslotte vastgeklemd door de bovenste vibratieklemplaat aan te brengen.

Bovenste klemplaat



Figuur 104: Bovenste klemplaat voor vibratietest



Te maken: 12 stck

THIS INFORMATION IS CONFIDENTIAL AND PROPRIETARY TO TEO
 CUSTOMER CONSTRUCTION AND THE MANUFACTURING ORGANIZATION.
 THIS INFORMATION IS NOT TO BE DISCLOSED TO ANYONE
 WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF TEO.
 AUTOMATICALLY GENERATED BY TEO.

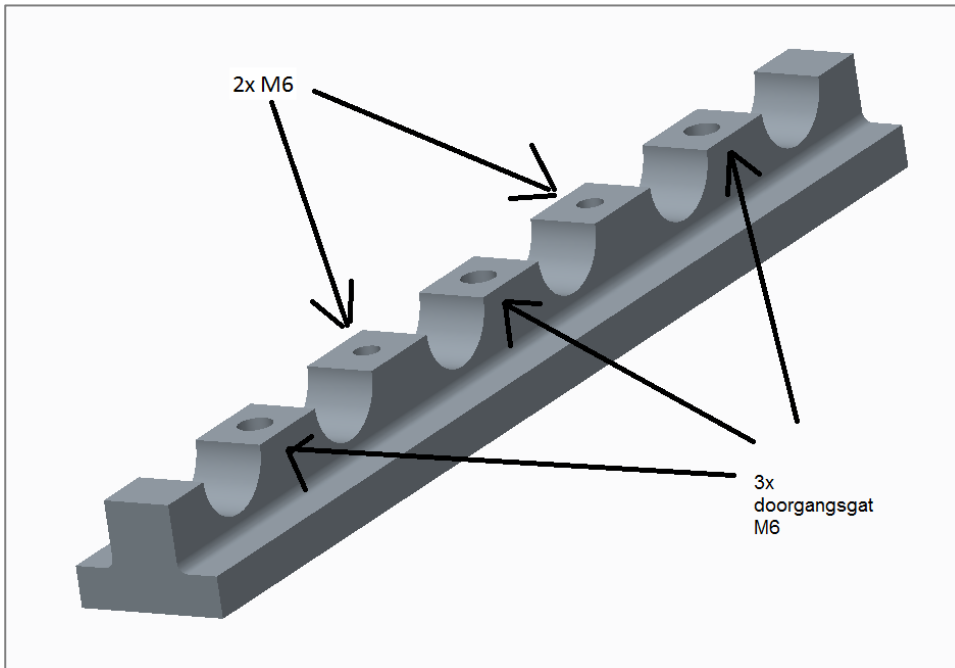
LTN	REVISION RECORD	DATE	OWN	APVD

DIMENSIONS:	TOLERANCES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
mm	0 PLC ϕ
	1 PLC ± 0.5
ANGLE: Y	2 PLC ± 0.13
SURFACE TEXTURE:	3 PLC ± 0.013
	4 PLC ± 0.0021

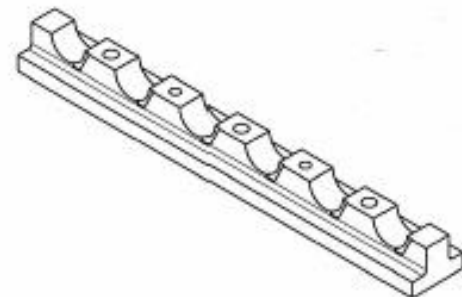
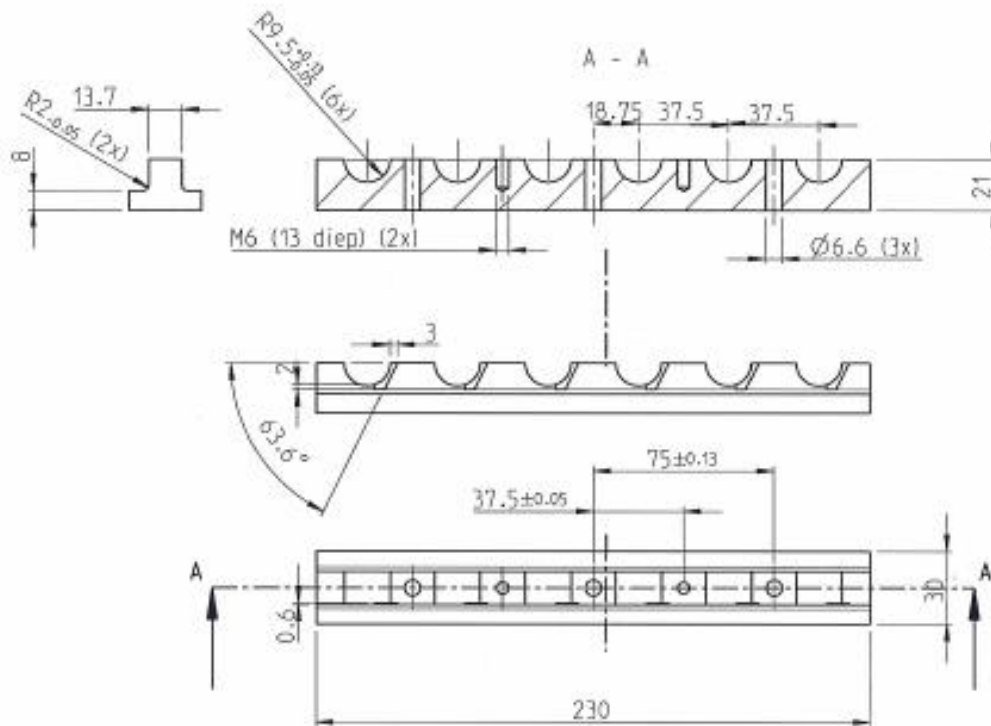
OWN	19FEB2014	MATERIAL	Aluminium	HEAT TREAT	-
ENR	Wouter Janssens				
APVD	-	TE Connectivity			
NAME	-				
SCALE	1:2	SIZE	A3	DRAWING NO	KLEMPLAAT_BOVENHELF
		SHEET	1	OF	1
		REV			A

Onderste klemplaat

In de onderste klemplaat is er een extra uitsnijding voorzien zodat de wikkeldraad niet beschadigd wordt bij het plaatsen van de spoelen in de klemplaat.



Figuur 105: Onderste klemplaat voor vibratietest



THIS INFORMATION IS CONFIDENTIAL AND PROPRIETARY TO TUD. ELECTRONICS CORPORATION AND ITS MEMBERS. UNAUTHORIZED REPRODUCTION OR DISTRIBUTION IS STRICTLY PROHIBITED. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION OR DISTRIBUTION FROM TUD ELECTRONICS CORPORATION IS PROHIBITED.

DATE	BY	APPROVED	REVISION

DIMENSIONS:		TOLERANCES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:	
mm		0 PLC	±
		1 PLC	±0.5
		2 PLC	±0.13
		3 PLC	±0.075
		4 PLC	±0.025

ANGLES:	Y
SURFACE TEXTURE:	√

DWG	19-FEB-2014	MATERIAL	-	HEAT TREAT	-
DRW	Wouter Janssens				
CHK	-				
APVD	-				
NAME	-				

		SCALE	1:2	SIZE	A3	DRAWING NO	KLEMPLAAT_ONDERHELFT	SHEET	1	OF	1	REV	A

2.2.3 EIGENSCHAPPEN VAN DE KLEMLATEN

Hieronder worden de eigenschappen van de klemplaten opgelijst.

- Er zijn in totaal 12 volledige klemplaten geproduceerd, 4 per richting op de kubus.
- Elke klemplaat is 2-delig, er zijn dus 24 stukken in totaal.
- De algemene afmetingen bedragen 30x38x230 mm.
- Er zijn per klemplaat 6 plaatsen voorzien om spoelen te monteren.
- Per klemplaat zijn vijf gaten voorzien om alles te verbinden met bouten.
 - 3 doorgangsgaten voor M6 om de volledige klemplaat aan het klemblok vast te houden.
 - 2 voorzien van schroefdraad om de klemplaat zelf tesamen te houden zodat men de volledige klemplaat met spoelen ertussen gemakkelijk kan verplaatsen.
 - Alle gaten zijn sterk verzonken om de boutlengte zo kort mogelijk te houden.
- Door de grote versnellingen die zullen optreden is er een flens voorzien voor meer stijfheid.

2.2.4 BOUTEN

De klemplaten worden verbonden met bouten, en zo ook vastgemaakt aan het klemblok. De bouten worden zo kort mogelijk gehouden om de constructie zo stijf mogelijk te maken. De rek en dus verlenging bij een bepaalde kracht op de bout is evenredig met de lengte van de bout. Een kortere boutlengte vermindert ook de nood om bouten te kiezen met een grote sterkteklasse en dus hogere kostprijs.

De verlenging van de bouten wordt bepaald door onderstaande formule:

$$\Delta L = \frac{F * L}{E * A}$$

Met $\Delta L = L - L_0$ = de verlenging van de bout

L = de oorspronkelijke lengte van de bout

F = de aangelegde kracht [N]

E = de elasticiteitsmodulus [N/mm²]

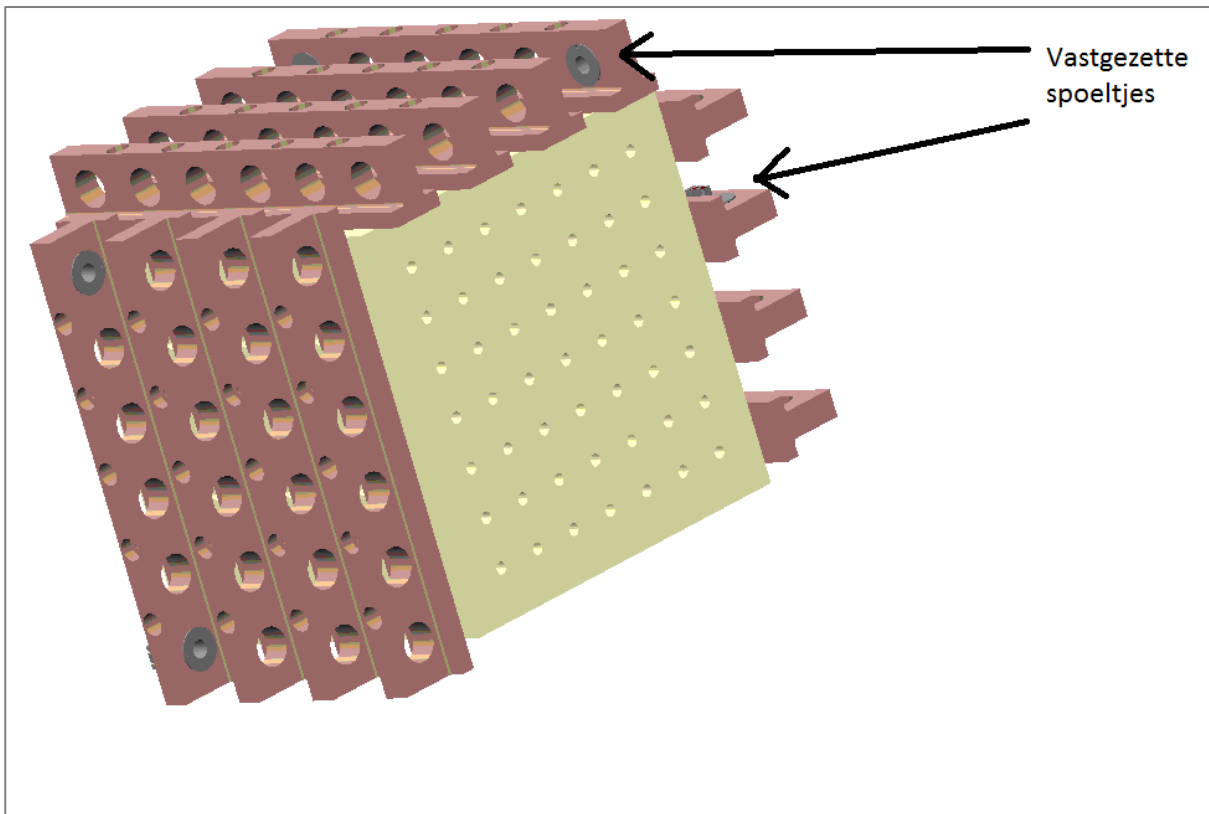
A = de oppervlakte van de doorsnede van de bout [mm²]

De bouten voldoen aan volgende eigenschappen:

- Schroefdraad M6.
- Per klemplaat zijn er 5 bouten (dus 60 bouten in totaal)
 - 2 van lengte 20 mm
 - M6 x 20 NBN 644 – 8.8 (24 in totaal)
 - 3 van lengte 45 mm
 - M6 x 45 NBN 644 – 8.8 (36 in totaal).

2.2.5 ASSEMBLY

Een 3D-beeld van de assembly met het bevestigingsblok, klemplaten en vastgezette spoelen wordt hieronder weergegeven. Aangezien het trilapparaat slechts in één richting kan vibreren, en de spoelen volgens drie loodrechte assen moeten vibreren, wordt telkens één derde van het totale aantal spoelen op een klemvlak gemonteerd. Na een trillingsperiode, worden de klemplaten met de spoelen gemonteerd in de andere richtingen.



Figuur 106: Assembly van trilblok, klemplaten en vastgezette spoelen

3 TESTPROGRAMMA

Het testprogramma omvat alles wat de operatoren van het testlabo moeten weten om de spoelen te testen. Na het testprogramma kan men een oordeel vellen of de spoelen voldoen aan de eisen van de klant. Het programma bevat o.a. de voorbereiding, de testperiode, de testen en hun eigenschappen, welke spoelen er getest worden en hoe de spoelen gecontroleerd worden. De testen die uitgevoerd worden, zijn gebaseerd op deze van de EBC-460.

Er worden zowel destructieve als niet-destructieve testen uitgevoerd. De niet-destructieve testen dienen om de bedrijfsomstandigheden te simuleren. De destructieve testen om te zien welke belasting de verbinding aankan en om een rangschikking te maken tussen de verschillende varianten van de spoelen.

3.1 VOORBEREIDING

De voorbereiding bestaat erin dat alle spoelen op voorhand volledig worden geassembleerd volgens de vooropgestelde instructies en voorzien zijn van markeringen om elke spoel apart te kunnen traceren. Ook worden alle hulpstukken (klemplaten en montagestukken) reeds geproduceerd.

3.2 TESTPERIODE

- De voorbereidingen van het testprogramma beginnen op 10 maart 2014.
- De laatste spoelen worden getest uiterlijk op 5 mei 2014.

3.3 NIET-DESTRUCTIEVE TESTEN

De niet-destructieve testen simuleren de werkomgeving van de spoelen. Ze geven een beeld van de belasting die de spoelen in het motorcompartiment ondergaan. Als de spoelen deze belastingen aankunnen, is de kans zeer groot dat deze in de praktijk ook gedurende tientallen jaren blijven functioneren.

Vaak worden testen met elektrische componenten uitgevoerd onder continue monitoring. Ze moeten zonder enige storingen kunnen werken ofwel wordt de maximale belasting bepaald. De hierna beschreven testen worden niet uitgevoerd onder continue monitoring. De totale weerstand van de spoelen wordt niet continu opgemeten door een dataloggingsprogramma. Dit omwille van drie redenen: ten eerste betekent dit extra werk, ten tweede kunnen niet alle spoelen tegelijk worden getest en tenslotte biedt continue monitoring geen grote meerwaarde. De spoelen moeten namelijk zowiezo de volledige testperiode blijven functioneren.

De meeste testen worden ook ondergaan door referentie-spoelen. Dit zijn de originele EBC-460 spoelen, die ook achteraf gecontroleerd worden op basis van hun totale elektrische weerstand.

De spoelen zijn tijdens hun levensduur onderhevig aan twee soorten belastingen, namelijk een thermische belasting en een versnellingsbelasting. De spoelen worden niet chemisch belast aangezien ze in de praktijk in een waterdichte ECU-behuizing zitten.

Er worden vier verschillende testen uitgevoerd, onderverdeeld in twee soorten, namelijk temperatuurtesten en vibratietesten. Deze testen zijn gebaseerd op normen uit de autowereld. Zo is er volgens norm vastgelegd dat een auto met motorcompartimenttemperaturen tussen -40°C en +135°C moet kunnen rijden. Alle componenten moeten ook kunnen weerstaan aan een bepaalde vibratiecyclus.

3.3.1 TEMPERATURE SHOCK

Een temperature shock-test moet de situatie simuleren waarbij een auto met warme motor plots in een koude plas water rijdt, waarbij het water op de ABS-module spat. In het bedrijf wordt deze test gesimuleerd in speciale thermoshock kasten. Dit zijn installaties met bovenaan een oven en onderaan een diepvries. Beide worden op een constante temperatuur gehouden. Tussen de twee compartimenten is een isolerende plaat voorzien waarop de spoelen rusten. De plaat is beweegbaar opgesteld en kan in een korte tijd wisselen tussen de oven en de diepvries. De spoelen ondergaan een groot aantal cycli in deze kasten. Een cyclus wordt gezien als de som van de periode op hoge temperatuur, de periode op lage temperatuur, en de twee korte overgangen tussen beide. De

verblijftijd bij een bepaalde temperatuur is afhankelijk van de warmtecapaciteit en de warmteovergangswaarde van de spoelen. Bij een grote capaciteit en weerstand wordt deze tijd verlengd, zodat de temperatuur van de spoelen in de buurt komt van de temperatuur van de kamers. Het verschil in temperatuur tussen de spoelen en de oven of diepvries mag na een bepaalde verblijftijd niet meer bedragen dan een aantal graden.

De testspecificaties van deze test zijn als volgt:

- Verblijftijd op hoge temperatuur: 20 min.
- Verblijftijd op lage temperatuur: 20 min.
- Temperatuur van de diepvries: -40 °C.
- Temperatuur van de oven: +135 °C.
- Aantal cycli: 500.
- Totale tijd: 400 u = 17 dagen.



Figuur 107: Thermoshock-kast (TE Connectivity, 2012)

3.3.2 HIGH TEMPERATURE DURABILITY TEST

De high temperature durability test simuleert het verouderingsproces van materialen. Veroudering is een proces waarbij in materialen zoals kunststoffen of metalen, na lange tijd veranderingen optreden in structuur en eigenschappen. En dit onder invloed van warmte. Deze processen komen pas tot uiting na verschillende jaren op gematigde temperaturen. Door de spoelen te onderwerpen aan een constante hoge temperatuur, versnelt men het verouderingsproces. Zo probeert men de problemen, gepaard gaande met veroudering, uit te vergroten om ze vroegtijdig zichtbaar te maken. Aluminium is sterk onderhevig aan kruip ; door de hogere temperatuur wordt dit proces gestimuleerd. De spoelen worden dus gedurende lange tijd in een oven blootgesteld aan een hoge constante temperatuur.

De testspecificaties zijn als volgt:

- Temperatuur van de oven: +135°C.

- Totale tijd op verhoogde temperatuur: 5d = 120u.



Figuur 108: Oven voor de temperature durability test (TE Connectivity, 2012)

3.3.3 TEMPERATURE CYCLE

De temperature cycle test simuleert de omstandigheden waarbij een auto in een koude omgeving wordt gestart, de motor opwarmt tot maximale temperatuur, en vervolgens terug wordt afgezet om opnieuw af te koelen. Deze test weerspiegelt dus de dagelijkse cyclus van de temperatuur van het motorcompartiment. De testen worden uitgevoerd in gecombineerde installaties met een oven en een diepvriezer. De spoelen worden in één van de twee compartimenten of kasten geplaatst en verhuizen na een paar uur op een traag tempo naar de andere kast. Behalve dat de kasten anders zijn en de verblijftijden en overgangstijden trager verlopen dan bij de thermoshock test, is er weinig verschil tussen deze testen.

- Verblijftijd op hoge temperatuur: 3u.
- Verblijftijd op lage temperatuur: 3u.
- Tijdsduur van een overgang: 2u.
- Totale tijd van een cyclus: 10u.
- Temperatuur van de diepvries: -40 °C.
- Temperatuur van de oven: +135 °C.
- Totaal aantal cycli: 20.
- Totale tijd: 9d = 200u.



Figuur 109: Temperatuur-cyclus kast (TE Connectivity, 2012)

3.3.4 RANDOM VIBRATION

De random vibration test simuleert het trillingspatroon dat alle componenten in het motorcompartiment ondergaan wanneer het voertuig zo sterk mogelijk belast wordt op trillingen.

De trillingen uitgevoerd in het testlabo simuleren een levensduur van 100 000 km.

De spoelen worden ingeklemd in vibratieklemplaten en op een vibratieblok bevestigd. Deze vibratieblok is verbonden met een lineaire actuator die gestuurd wordt door een microcontroller. Via een grafische interface kan men instellen volgens welk patroon men wil trillen en welke versnellingen men wil bereiken. In sommige gevallen worden de vibrerende eenheden tegelijkertijd onderworpen aan een bepaald temperatuurprofiel. Dit is hier niet het geval.

Belangrijk is dat geprobeerd wordt om zoveel mogelijk spoelen per keer te laten vibreren om de arbeidsuren tot een minimum te herleiden. De spoelen moeten volgens 3 loodrechte assen telkens enkele uren trillen.

Specificaties van de test:

- Vibratieprofiel: random vibration
- Gemiddelde versnelling: 2,84 G RMS
- Vibratierichtingen: volgens 3 loodrechte assen (x-as, y-as en z-as)
- Tijdsduur per as: 8u
- Totale tijd: 5 werkdagen



Figuur 110: Shakertoestel met daarop een vibratieklemblok gemonteerd (TE Connectivity, 2012)

3.4 TIJDSDUUR VAN DE TESTEN VOLGENS AANTAL WERKDAGEN

De tijdsduur van de testen is belangrijk om een praktische werkregeling te kunnen opstellen voor de testingenieurs.

Test	Minimum [werkdagen]
Thermo Shock	17
High Temperature Durability test	5
Temperature Cycle	9
Random Vibration	5

Tabel 17: Minimale tijdsduur van de testen in aantal werkdagen

3.5 AANTAL TESTSAMPLES TEGELIJKERTIJD PER TEST

Het aantal testsamples dat tegelijkertijd wordt getest, wordt op voorhand bepaald. Dit is om na te gaan of alles in één keer kan getest worden met de huidige capaciteit van de machines

Test	Aantal testsamples
Thermo shock	$10 \cdot 6 + 4 = 64$
Temperatuur cycle	$10 \cdot 6 + 4 = 64$
High Temperature Durability test	$10 \cdot 6 + 4 = 64$
Random vibration	$10 \cdot 6 = 60$

Tabel 18: Aantal testsamples dat tegelijkertijd wordt getest

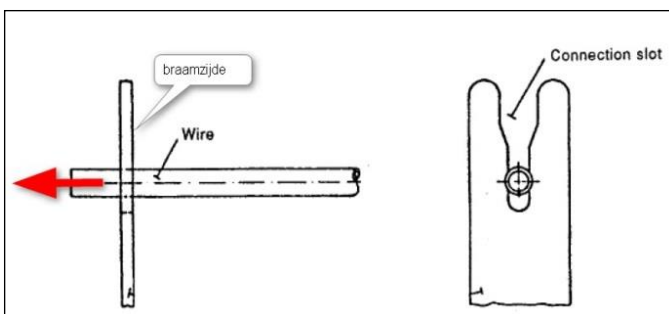
3.6 EINDTESTEN / DESTRUCTIEVE TESTEN

De destructieve testen worden uitgevoerd met als doel de kwaliteit van de fysische verbinding te testen. Ze tonen de verschillen tussen de diverse bouwwijzen. Er worden twee testen besproken: een treksterktetest en een wäckeltest.

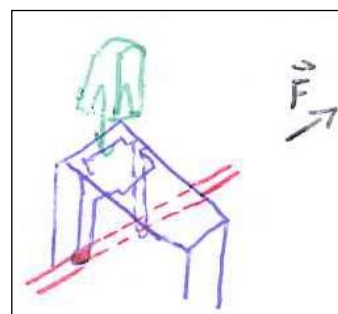
3.6.1 TREKSTERKTETEST

Doel van de test

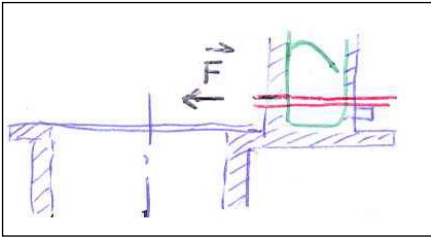
De test wordt uitgevoerd om te bepalen hoe sterk de draad verbonden is met de Mag-Mate® bij een nagenoeg statische axiale kracht. Er wordt vastgesteld bij welke kracht op de draad, uiteindelijk draadbreek optreedt. De resultaten van deze test zijn afhankelijk van de soort Mag-Mate®. Niet elke Mag-Mate® heeft éénzelfde gleufbreedte en de doorsnede van de draad is het kleinst ter hoogte van deze gleuf. Als de treksterktetest steeds dezelfde resultaten oplevert, dan wordt de opgemeten treksterkte gebruikt in de wäckeltest.



Figuur 112: Treksterkte-meting (Deutsches Institut für Normung e.V. , 1995)



Figuur 111: Treksterkte-meting



Figuur 113: Treksterkte meting

Verloop van de test

- Een niet gewikkelde draad wordt geplaatst in de cavity en verbonden met een Mag-Mate®.
- Vervolgens wordt de spoel opgespannen in de klemmen van de trekbank zodat de draad belast wordt in de axiale richting.
- Met de trekbank wordt de draad uit de Mag-Mate® in de cavity getrokken. De treksnelheid wordt laag gehouden om een statische situatie na te bootsen.
- Er wordt enkel getrokken in de richting van de vork met de IDC-zone, en niet in deze met een mogelijke strain-relief zone.
- Tenslotte wordt de kracht gemeten bij het uittrekken en wordt deze in grafiek gezet in functie van de trek lengte.



Figuur 114: Trekbank waarop de treksterktetest wordt uitgevoerd (TE Connectivity, 2012)

3.6.2 WÄCKELTEST / DRAADBEWEGINGSTEST

Doel van de test

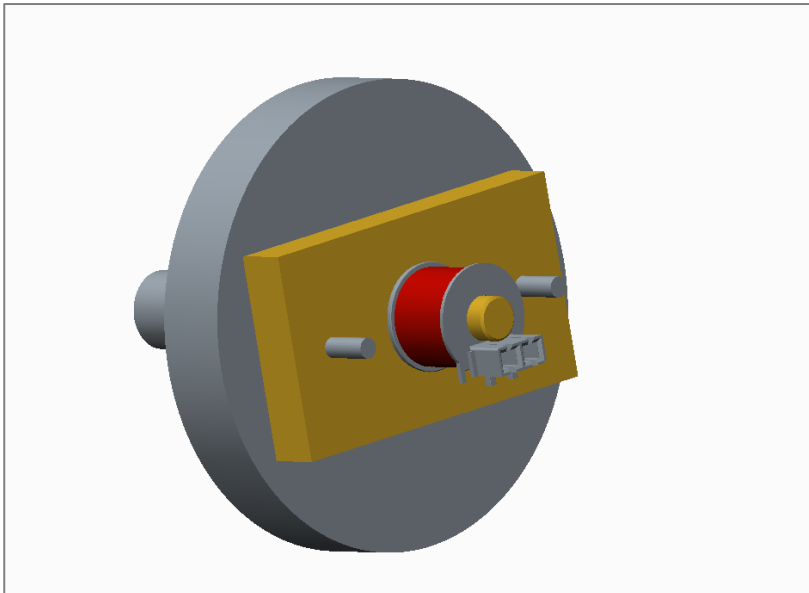
Deze test wordt gebruikt om na te gaan welke bouwwijze, van Mag-Mate® in combinatie met bobijn, de beste klemming van de draad voorziet. Indien de overgangsweerstand tussen de spoeldraad en de Mag-Mate® voldoende klein is, betekent dit dat de draad voldoende hard vastgeklemd is voor een goede elektrische connectie. De dynamische fysieke connectie tussen de wikkeldraad en de Mag-Mate® werd nog niet opgemeten. De resultaten van de test kunnen uitsluitend gebruikt worden om te vergelijken tussen de verschillende testgroepen.

Vorbereiding

Eerst wordt de norm van de test overlopen. Daarna wordt het werkstuk gemaakt dat zal gebruikt worden om de test uit te voeren. Hiervoor moet er enkel nog een kunststof opzetstuk gefreesd worden. Vervolgens wordt er bekeken hoe de test kan uitgevoerd worden op een zo economisch mogelijke manier. Er wordt gewerkt met caviteiten die worden uitgehold zodat de Mag-Mate® na het testen er opnieuw kan worden uitgehaald en de bobijn hergebruikt kan worden. Op die manier wordt het aantal bobijnen dat nodig is voor de test tot twee gereduceerd. Ook wordt het gewicht bepaald dat aan de wikkeldraad wordt gehangen. Dit is een deel van het gewicht dat men moet aanleggen tijdens de treksterktetest om de draad in de connectiepunten te doen breken.

Tijdens de treksterktetest bedraagt de kracht gemiddeld tien Newton alvorens er draadbreek optreedt. Dit is een statische test. Omdat de verbinding nu dynamisch wordt getest, gebruikt men slechts een deel van die kracht. Er wordt gekozen voor een gewicht van 205g, of 2 N. Dit is ongeveer 20 % van het statische gewicht. Deze waarde werd gekozen op basis van experimenteel onderzoek.

Er wordt een opzetstuk uit kunststof gefreesd, die de spoel verbindt met de draaicirkel. Deze draaicirkel is reeds een onderdeel van een bestaande testopstelling.



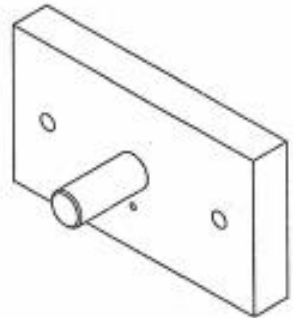
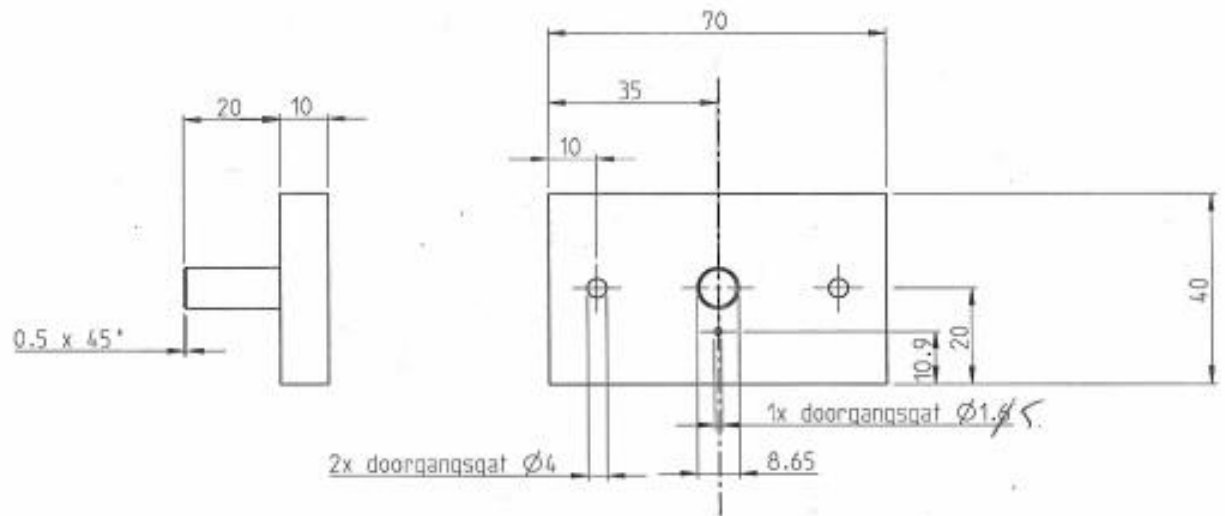
Figuur 115: Draaicirkel met gemonteerde spoel

1x

USED ON -

DWG NO
MAGMATE_INSPPANNING

IN A CONTROLLED DRAWING



THIS INFORMATION IS CONFIDENTIAL AND PROPRIETARY TO THE ELECTRICAL EQUIPMENT AND IS NOT TO BE DISCLOSED TO ANY OTHER PARTY WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF TE CONNECTIVITY FROM TE Connectivity (www.te.com).

LOT	REVISION RECORD	DATE	DWG	APVD

DIMENSIONS:		TOLERANCES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:	
Ø	IT11	0 PLC	±
1 PLC	±0.5	1 PLC	±0.15
2 PLC	±0.13	2 PLC	±0.013
3 PLC	±0.013	3 PLC	±0.0013
4 PLC	±0.0013	4 PLC	±0.00013
ANGLES:		SURFACE TEXTURE	
T		√	

DWG	Wouter Janssens	DATE	11APR2014	MATERIAL	Kunststof	HEAT TREAT	-
CHK	-	-		 TE Connectivity	-		
APVD	-	-			SCALE	1:2	SIZE	A3
NAME		-		DRAWING NO	MAGMATE_INSPPANNING	SHEET	1 of 1
-		-		REV	A	-	

3306-1 (3/13)

8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1

Praktische proefopstelling



Figuur 116: Praktische opstelling van de Wäckeltest

Bovenstaande figuur toont de praktische opstelling. Aan de verste cilinder wordt met de hand gedraaid zodanig dat de draad onder een andere hoek komt te staan t.o.v. het Mag-Mate[®] contact.

Verloop van de test

Eerst wordt de bobijn op het opzetstuk gemonteerd en geborgd zodat ze niet kan verdraaien of verschuiven. Daarna wordt een stuk wikkeldraad vastgemaakt aan een op voorhand bepaald gewicht. De draad met het gewicht wordt in de caviteit geplaatst en de Mag-Mate[®] wordt in de caviteit gestoken om de elektrische connectie te vormen. Daarna wordt manueel de opstelling met het opzetstuk telkens geroteerd van -45° tot $+45^\circ$ aan een laag tempo zodat het gewicht niet gaat slingeren. Dit vormt een dynamische belasting op de doorsnede van de draad die geconnecteerd is met de Mag-Mate[®]. Na een aantal keer draaien breekt de draad. Het aantal verdraaiingen is een maat voor de dynamische fysieke sterkte van de verbinding.

Theoretische test volgens de norm

De onderstaande gegevens zijn genomen uit de norm DIN EN 60352-3.

12.2.2 Bewegung des Drahtes

Zweck dieser Prüfung ist es, das Verhalten einer zugänglichen ID-Verbindung gegenüber der mechanischen Beanspruchung durch eine in vorgeschriebener Weise ausgeführte Bewegung des angeschlossenen Drahtes beurteilen zu können. Der Prüfling besteht aus einer ID-Klemme mit einem eingedrückten Draht (siehe Bild 7).

Falls erforderlich, kann die Klemme vom Bauteil abgetrennt werden, vorausgesetzt, die ID-Verbindung wird dadurch nicht beeinflusst.

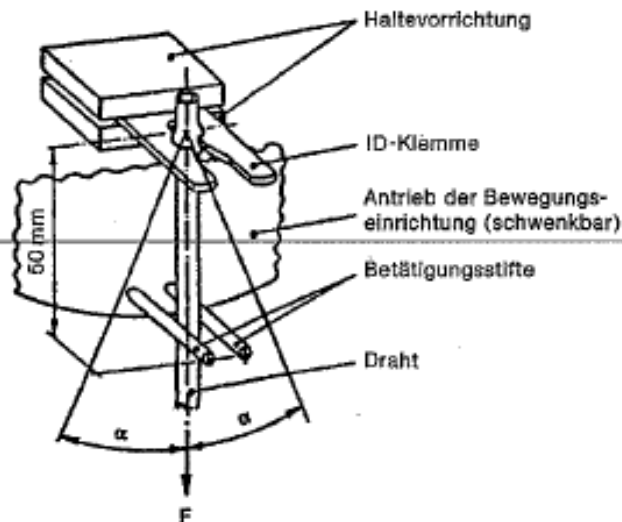


Bild 7: Prüfanordnung, Bewegung des Drahtes

Der Prüfling ist sicher zu befestigen in einer Lage, in der der Draht in Richtung seiner Längsachse im Verbindungsschlitz hängt, wie Bild 7 zeigt. Eine Axialkraft F greift am freien Ende des Drahtes an, um ihn gerade zu halten. Der Wert dieser Kraft beträgt 5 bis 10% der Bruchfestigkeit des Drahtes. .

Der Draht wird dann in beiden Richtungen von der Senkrechten ausgelenkt, was 1 Prüfzyklus entspricht. Falls in der Bauartspezifikation nicht anders festgelegt, beträgt der Auslenkwinkel α 30°. Andere empfohlene Auslenkwinkel für Bauartspezifikationen sind 60° und 90°.

Die Bewegung des Drahtes ist mit Hilfe einer geeigneten Vorrichtung auszuführen, z. B. wie in Bild 7 dargestellt.

Kontaktstörungen sind während der Bewegungsprüfung zu überwachen in Übereinstimmung mit Prüfung 2e; Kontaktstörungen der IEC 512-2.

Falls in der Bauartspezifikation nicht anders festgelegt, beträgt der Grenzwert für die Dauer von Kontaktstörungen 10 ms.

Die Anzahl der Zyklen beträgt 10, falls in der Bauartspezifikation nicht anders festgelegt.

Nach der Prüfung darf die Klemme nicht beschädigt und der Leiter nicht gebrochen sein.

Figuur 117: Draadbewegungstest (Deutsches Institut für Normung e.V. , 1995)

3.7 CONTROLES

3.7.1 VISUELE CONTROLE

Er zijn twee soorten visuele controles. Ten eerste een korte visuele controle vooraf en na elke test. Deze visuele controle is zeer algemeen. Er wordt gekeken of de Mag-Mates[®] nog in de behuizing zitten en de draden nog fysisch verbonden zijn met de Mag-Mate[®]. Verder is er nog een grondigere eindcontrole, er worden schiffs gemaakt van de spoelen, microscoopbeelden en x-rays. Hierbij wordt de overgang tussen spoeldraad en Mag-Mate[®] gecontroleerd op afwijkingen zoals corrosie, scheuren, veroudering en de positie van de spoeldraad in de Mag-Mate[®].

3.7.2 ELEKTRISCHE METINGEN

Er worden twee elektrische metingen per spoel uitgevoerd. De totale spoelweerstand wordt opgemeten om te bepalen indien de DC-weerstand binnen de toleranties ligt. Vervolgens wordt met behulp van spoelen met maar één wikkeling, de contactweerstand van de wikkeldraad naar de Mag-Mate[®] opgemeten.

Totale spoelweerstand

De weerstand van de volledige wikkeldraad inclusief de contactweerstand van de Mag-Mates[®] wordt in dit geval opgemeten. Na acclimatisatie van de spoelen wordt met een micro-ohmmeter de weerstand gemeten op de poke-ins van de spoel. Telkens wordt een vierpuntsmeting uitgevoerd.



Figuur 118: Micro-ohmmeter met mogelijkheid tot vierpuntsmeting (TE Connectivity, 2012)

Contactweerstand

Per spoel wordt ook de contactweerstand opgemeten. Dit is de weerstand van een zeer kort stukje draad dat verbonden is met twee Mag-Mates[®]. Er wordt dus als het ware een oneindig korte spoel opgemeten zodanig dat enkel de dubbele overgangswaerstand van Mag-Mate[®] naar draad gemeten wordt.

$$R_{\text{contact}} = R_{\text{tot}} - R_{\text{wikkelingen}}$$

Met: R_{contact} = 2x de contactweerstand tussen Mag-Mate[®] en spoeldraad.

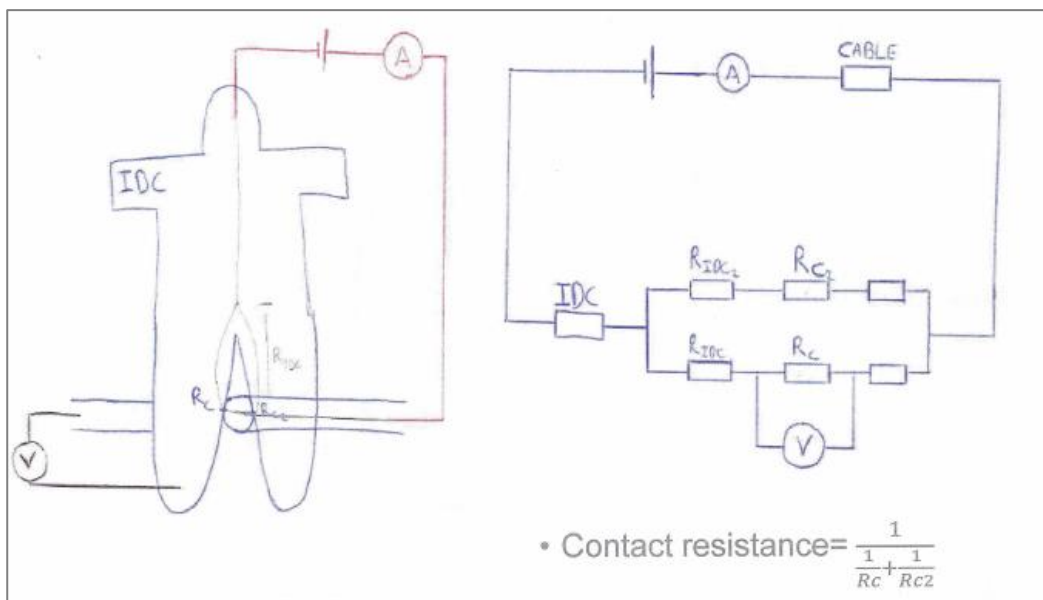
R_{tot} = De totale opgemeten weerstand.

$R_{\text{wikkelingen}}$ = De weerstand ontstaan door de draadlengte.

Steeds wordt R_{tot} opgemeten, dus door $R_{\text{wikkelingen}}$ oneindig klein te maken meet men enkel R_{contact} op.

Dit wordt verwezenlijkt door voor elke testgroep, spoelen te wikkelen met maar één wikkeling en deze vervolgens met een micro-ohmmeter op te meten. Dit gebeurt na acclimatisatie van de spoelen.

De meetwaarden verschillen zeer weinig van elkaar. Het is hierdoor onmogelijk om te weten welk spoelen de kleinste elektrische contactweerstand hebben.



Figuur 119: Theoretische vierdraadsmeting waaruit de contactweerstand wordt berekend

3.8 TESTGROEPEN

De testgroepen omvatten de verschillende mogelijke bouwcombinaties en een referentiegroep met spoelen van de EBC-460.

	1	2	3	4	5	6	EBC-460
Bobijn	Zwart	Wit	Zwart	Wit	Zwart	Wit	
Draadhoogte	Normaal	Laag	Normaal	Laag	Normaal	Laag	
Aantal samples	26	26	26	26	26	26	8
Mag-Mate®	62429-1	62429-1	62935-1	62935-1	63789-1	63789-1	
Gleufbreedte	Normaal	Normaal	Breed	Breed	Breed	Breed	
Strain-relief Feature	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja	Ja	

Tabel 19: Verschillende testgroepen

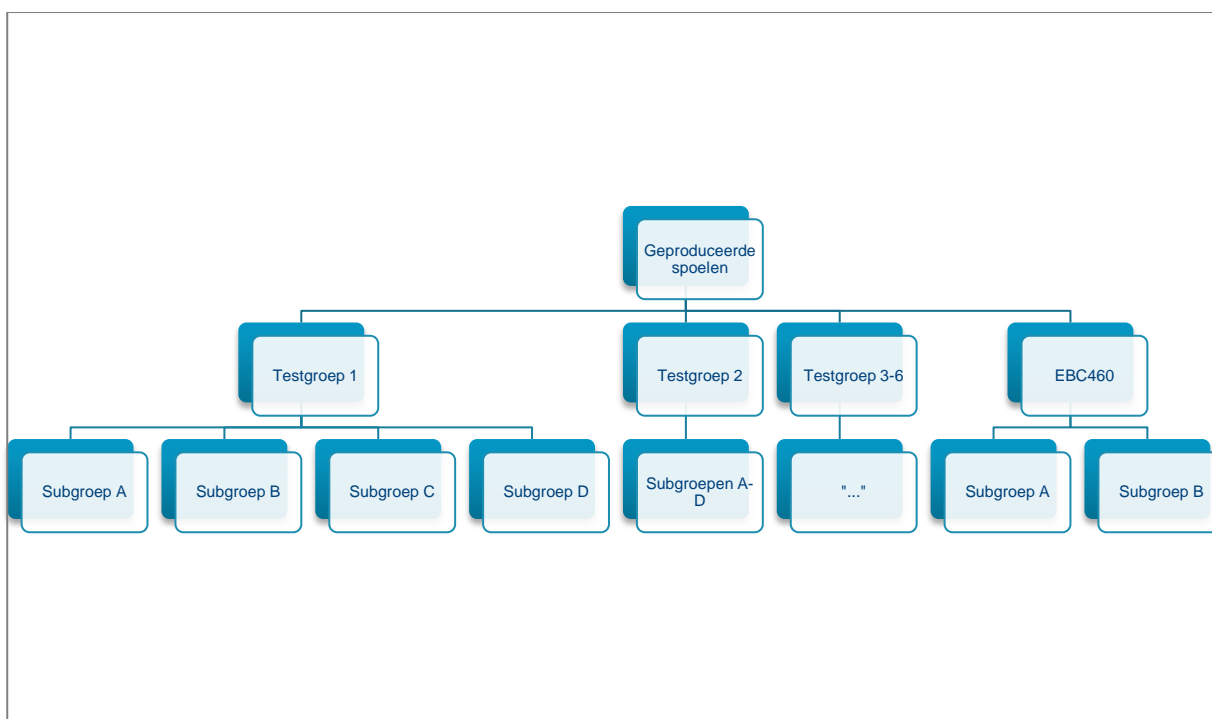
3.9 SUBGROEPEN / TEST-LEGS PER TESTGROEP

Elke testgroep bezit 4 subgroepen (met uitzondering van de EBC-460). Deze subgroepen bepalen welke spoelen welke testcycli ondergaan.

	A	B	C	D	Totaal
Aantal samples	10	10	3	3	26
Nyogel	Ja	Nee	Nee	Nee	
Extra referentiesamples EBC-460	4	4	-	-	8

Tabel 20: Test-legs per testgroep

3.10 OVERZICHT



Figuur 120: Overzicht van de groepen waarin de geproduceerde spoelen onderverdeeld worden

3.11 TESTCYCLUS (UIT TE VOEREN VOOR ALLE TESTGROEPEN)

Dit beschrijft de testen en controles die elke spoel ondergaat, en in welke volgorde deze verlopen. De testcyclus wordt opgebouwd uit bestaande testcycli die voorgaande spoelen reeds doorlopen hebben.

Test	Test-leg	A	B	C	D
VOLGORDE	Samples	10	10	3	3
Controle					
Visual Examination		1,4,7,10	1,4		
Electrical resistance		2,5,8,11	2,5		
Testen					
Random Vibration Test		9			
High Temperature Durability Test			3		
Temperature Cycle Test		6			
Thermo Shock		3			
Destructieve testen					
Treksterkte				1	
Wäckeltest					1
Schliff		12	6		
<i>Totale duur [dagen]</i>		31	5	0,5	0,5

Tabel 21: Tabelweergave van de volgorde van de testen in de testcycli van de verschillende test-legs

Subgroep	Testvolgorde							
A	Controle	Thermo Shock	Controle	Temp cycle	Controle	Random Vibration	Controle	Schliff*
B	Controle	Temp Durability	Controle	Schliff*				
C	Treksterkte*							
D	Wäckeltest*							
Volgorde	1	2	3	4	5	6	7	8

Figuur 121: Schematische weergave van de testcycli van de verschillende test-legs of subgroepen

*op de EBC460 spoelen worden geen destructieve testen gedaan

3.12 WAAROP WORDT NIET GETEST ?

Er wordt niet getest op de aantasting van de spoelen door chemische, corrosieve stoffen of zout. De spoelen zitten in een waterdichte ECU die reeds getest werd op deze eigenschap.

4 VERLOOP VAN DE TESTEN

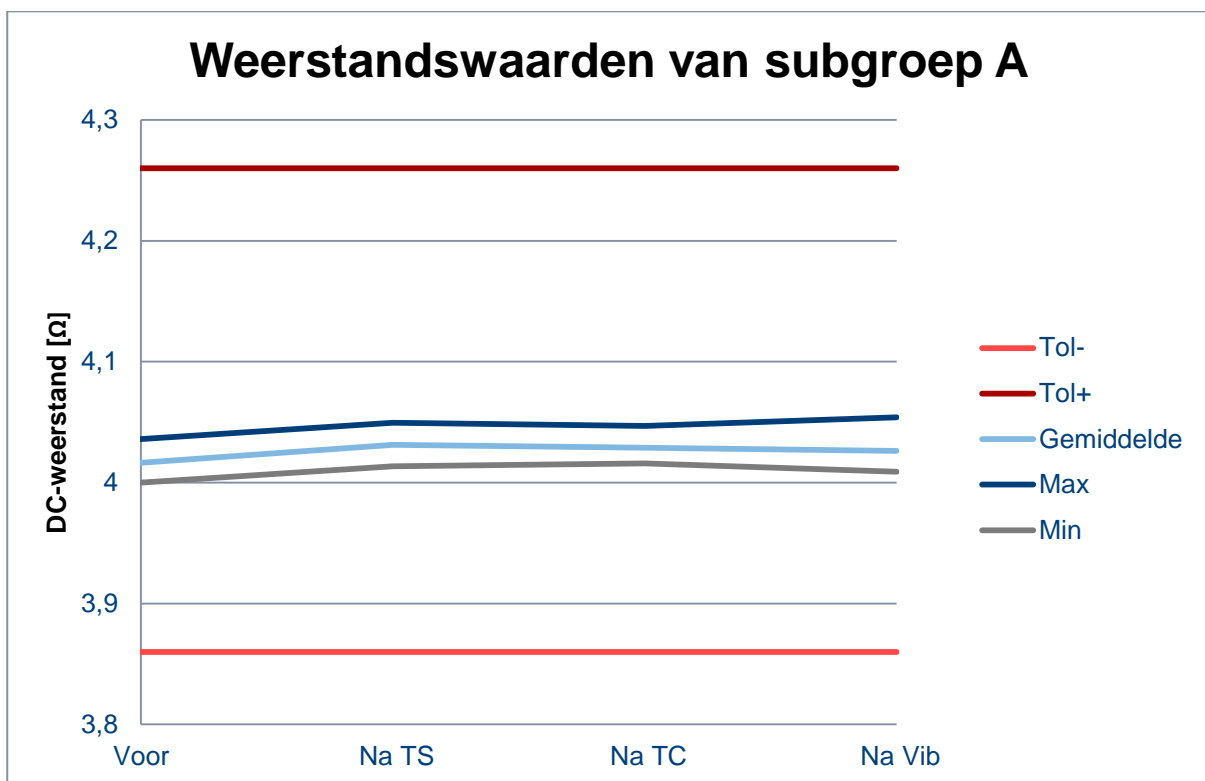
De testen zijn volgens plan verlopen. Subgroep A werd niet geschliff. Subgroep A heeft caviteiten waarin Nyogel® werd ingespoten. Hierdoor werd het schlijfen onmogelijk. Wel werd een schliff genomen van spoelen die geen testen ondergingen.

Nadat testgroep A en B alle testen hebben overlopen was er geen enkele uitval, d.w.z. dat de totale weerstand van alle spoelen steeds binnen tolerantie bleef. Omdat de verschillende testgroepen bijna altijd éézelfde elektrische DC-weerstand hebben, wordt er gecontroleerd of de verbindingen onderling van elkaar verschillen wat betreft de fysische sterkte. Daarom worden achtereenvolgens een treksterktetest en een wäckeltest gedaan.

5 TESTRESULTATEN

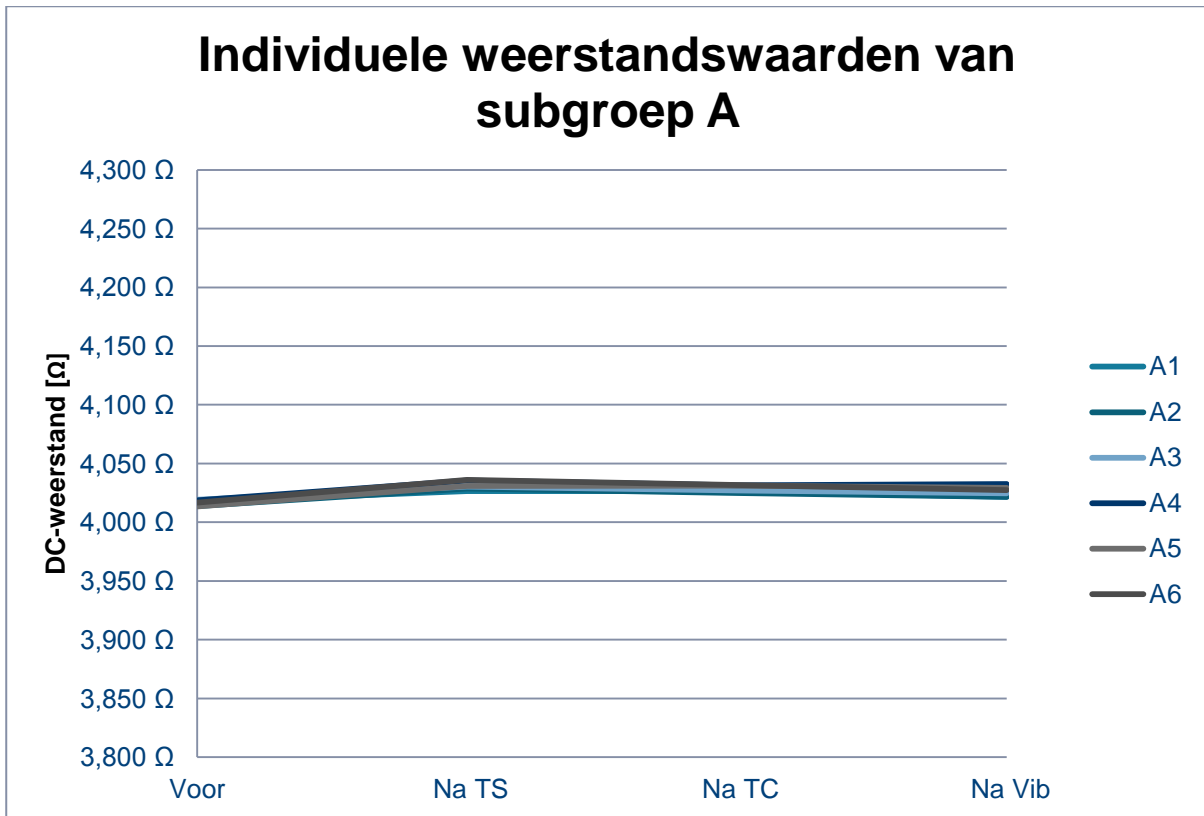
5.1 SUBGROEP A

Subgroep A onderging achtereenvolgens drie verschillende testen. Eerst werd een thermo-shock test, daarna een cyclische temperatuurtest en tenslotte een vibratietest gedaan. Voor alle testen en na elke test werd de totale DC-weerstand opgemeten. De onderstaande weerstandswaarden zijn bij een omgevingstemperatuur van 21 °C gemeten.



Figuur 122: Weerstandswaarden van subgroep A

Men ziet onmiddellijk dat de gemeten weerstandswaarden ruimschoots binnen de toleranties liggen. Ook de spreiding op de gegevens is zeer klein. Dit wijst erop dat dit een gecontroleerd correct proces is. De mogelijks lichte schommelingen die men ziet in de resultaten zijn hoogstwaarschijnlijk te wijten aan het meetproces dat een bepaalde onzekerheid met zich meebrengt.



Figuur 123: Individuele weerstandswaarden van de testgroepen van subgroep A

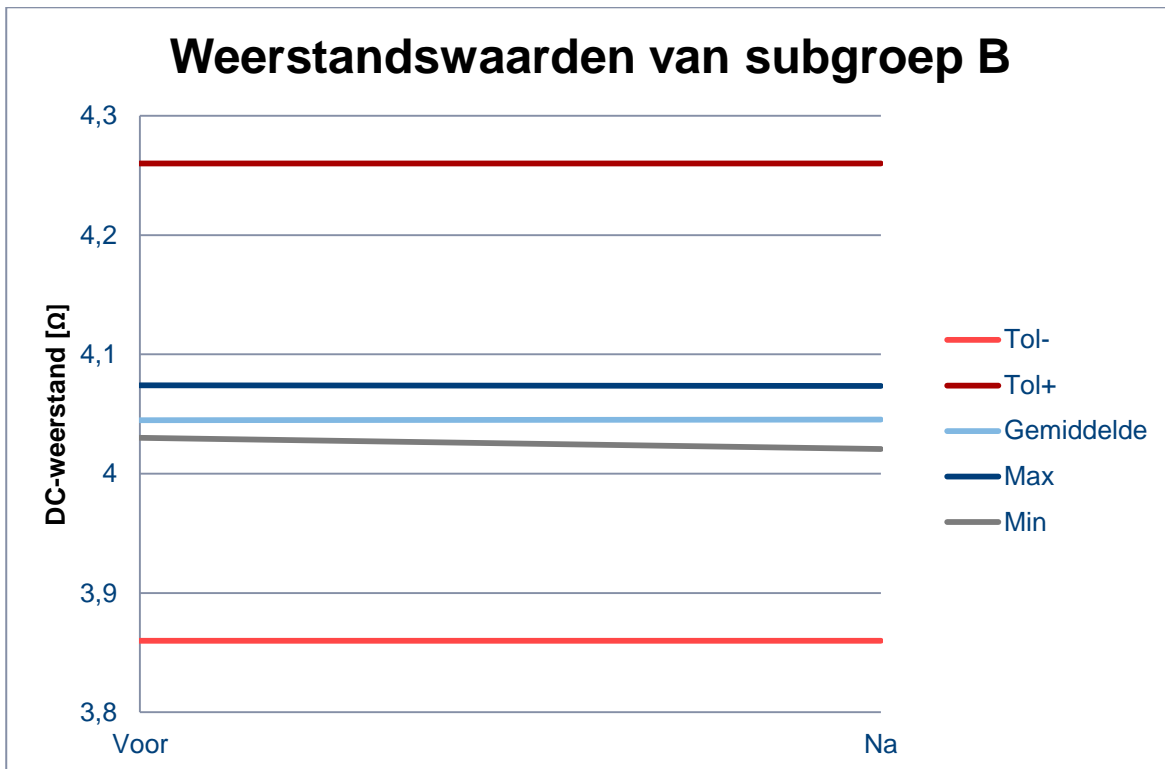
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Bobijn	Zwart	Wit	Zwart	Wit	Zwart	Wit
Draadhoogte	Normaal	Laag	Normaal	Laag	Normaal	Laag
Aantal samples	10	10	10	10	10	10
Mag-Mate®	62429-1	62429-1	62935-1	62935-1	63789-1	63789-1
Gleufbreedte	Normaal	Normaal	Breed	Breed	Breed	Breed
Strain-relief Feature	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja	Ja

Tabel 22: Eigenschappen van de testgroepen van subgroep A

Wat blijkt is dat de weerstandswaarden van de verschillende spoelen zeer dicht bij elkaar liggen. Na de thermoshock is er een significante weerstandsstijging. Deze stijging kan te wijten zijn aan een onvoldoende acclimatisatie na de test. Een temperatuurstijging van 4 °C is genoeg voor een weerstandsverandering van 0,015 Ω. De opeenvolgende waarden liggen zo dicht bij elkaar en de invloed van de omstandigheden zoals de nauwkeurigheid van de micro-ohmmeter, temperatuur van de spoelen, de operator enz. is vrij groot. Hierdoor kan men uit de bovenstaande figuur geen besluiten trekken behalve dat de weerstandswaarden vrij dicht bij elkaar blijven.

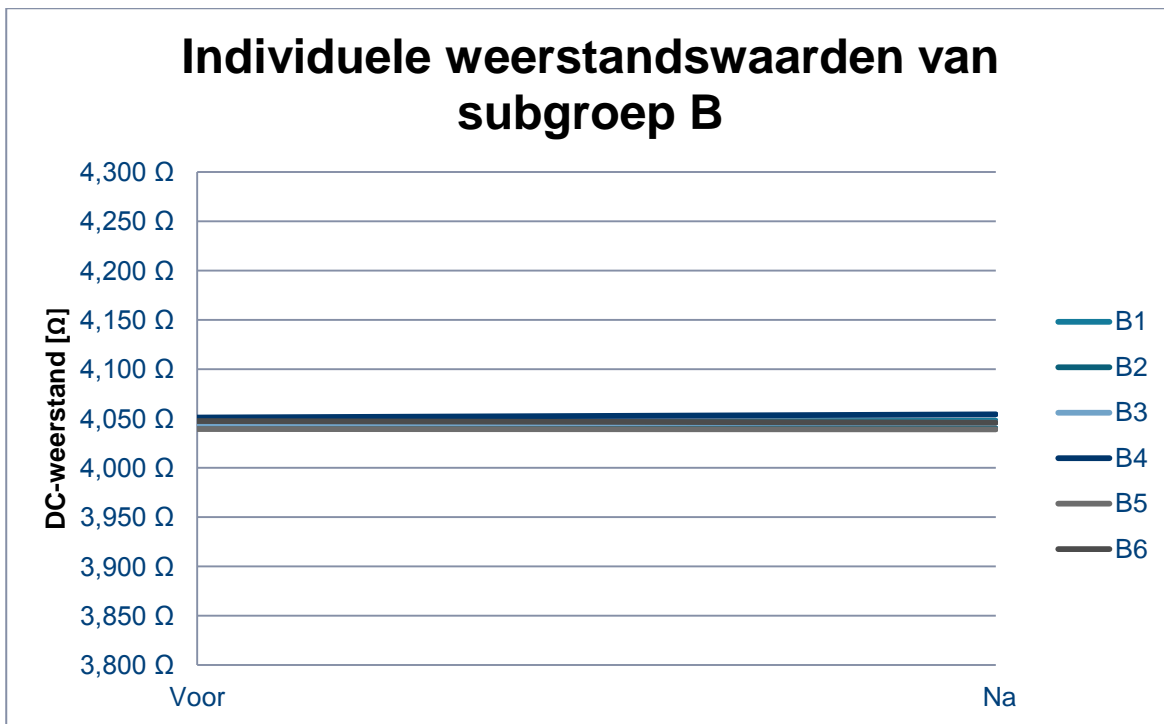
5.2 SUBGROEP B

Subgroep B onderging een High Temperature Durability test. Voor en na de test werd telkens de totale DC-weerstand opgemeten. De onderstaande waarden zijn bij een omgevingstemperatuur van 22,3 °C genomen.



Figuur 124: Weerstandswaarden van subgroep B

Men kan opnieuw zien dat de weerstandswaarden weinig variëren en in het midden van de tolerantie liggen. De spreiding op het proces is bovendien opnieuw klein. Dit duidt erop dat het assemblageproces van de spoelen beheerst en correct is.



Figuur 125: Individuele weerstandswaarden en eigenschappen van de testgroepen van subgroep B

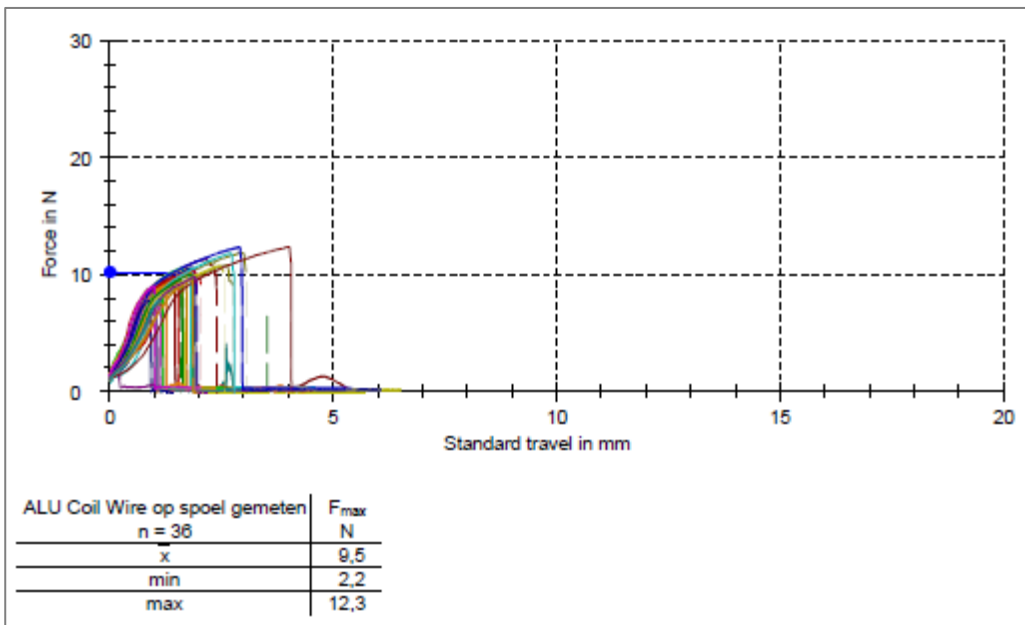
	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Bobijn	Zwart	Wit	Zwart	Wit	Zwart	Wit
Draadhoogte	Normaal	Laag	Normaal	Laag	Normaal	Laag
Aantal samples	10	10	10	10	10	10
Mag-Mate®	62429-1	62429-1	62935-1	62935-1	63789-1	63789-1
Gleufbreedte	Normaal	Normaal	Breed	Breed	Breed	Breed
Strain-relief Feature	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja	Ja

Tabel 23: Eigenschappen van de testgroepen van subgroep B

Bij deze figuur verwijzen we naar de figuur met de individuele weerstandswaarden van subgroep A. Opnieuw is de spreiding van de weerstanden tussen de verschillende spoelen zeer klein. Omdat de invloed van externe factoren dermate groot is, is het onmogelijk om besluiten te trekken uit bovenstaande figuur.

5.3 SUBGROEP C

Subgroep C onderging een treksterkte-test, de grafiek met resultaten is hieronder gegeven.



Figuur 126: Treksterkte-testresultaten van subgroep C

De meeste spoeldraden hebben een treksterkte van ongeveer 10 N wanneer ze gecontacteerd zijn. Wat opvalt is dat bij verschillende snijgeometrieën van de Mag-Mates®, de treksterkte bijna onveranderd blijft. Deze test is dus geen goede indicator om verschillen te ontdekken hoe goed de fysieke connectie tussen de wikkeldraad en de Mag-Mate® is. Let wel op dat er hier enkel getest is in de richting van de vork waarop de IDC-zone zich bevindt. Er is dus nooit rechtstreeks een strain-relief zone getest.

Deze gemiddelde waarde van de treksterkte kan achteraf worden gebruikt om het gewicht te bepalen dat gebruikt wordt in de wäckeltest.

5.4 SUBGROEP D

Subgroep D onderging een Wäckeltest, de testresultaten zijn hieronder beschreven.

De eerste zes testgroepen zijn dezelfde als deze hierboven beschreven. Testgroep 7 komt overeen met testgroep 5 en testgroep 8 met testgroep 6. Er is één belangrijk verschil, namelijk dat bij testgroep 7 en 8, de kant van de vork met de strain-relief feature aan de kant zit van de belasting.

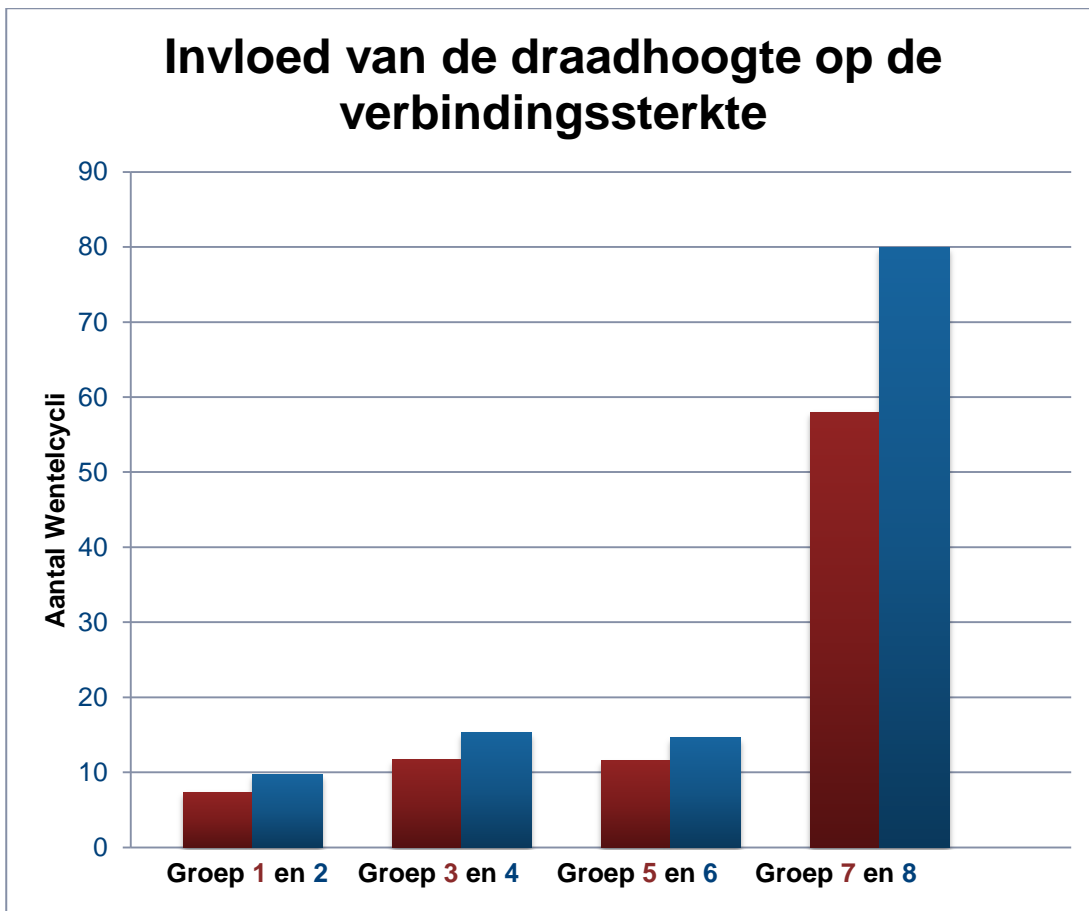
Meting / testgroep	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
1	7,7	7,8	11,6	12,7	11,9	14,3	58	> 65
2	6,8	10,2	10,4	19	10,8	14,5		
3	7,6	12	10,6	15	10,6	15		
4	7,4	7,6	13,4	14,6	12,9			
5		10,5	12,7	14,7				
6		10,6		16,2				
GEMIDDELDE	7,38	9,78	11,74	15,37	11,55	14,60	58,00	> 65

Tabel 24: Meetwaarden van de testgroepen van subgroep D

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
Bobijn	Zwart	Wit	Zwart	Wit	Zwart	Wit	Zwart	Wit
Draadhoogte	Normaal	Laag	Normaal	Laag	Normaal	Laag	Normaal	Laag
Aantal samples	4	6	5	6	4	3	1	1
Mag-Mate®	62429-1	62429-1	62935-1	62935-1	63789-1	63789-1	63789-1	63789-1
Gleufbreedte	Normaal	Normaal	Breed	Breed	Breed	Breed	n.v.t.	n.v.t.
Strain-relief Feature	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja	Ja

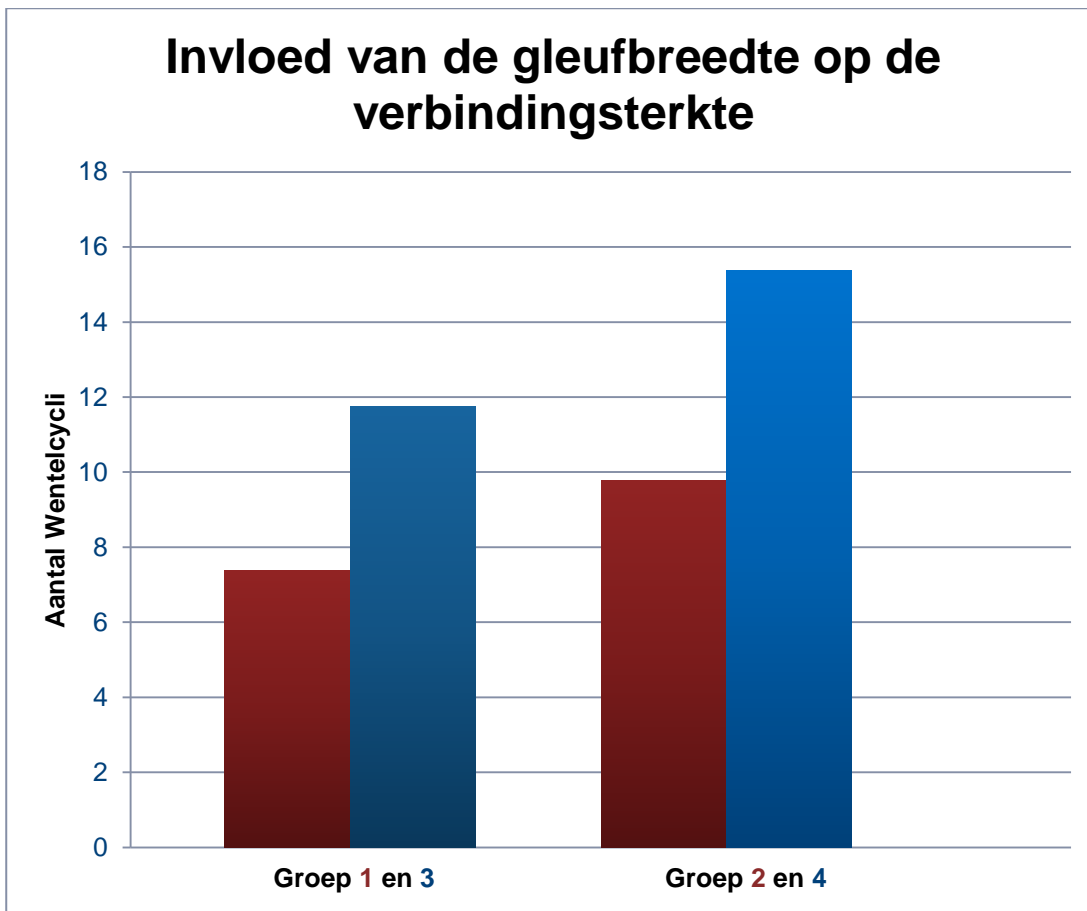
Tabel 25: Eigenschappen van de testgroepen van subgroep D

Bovenstaande gegevens zijn zeer belangrijk en zeggen iets over de dynamische fysieke sterkte van de verschillende ontwerpen. Hieronder worden de verschillende ontwerpparameters met elkaar vergeleken.



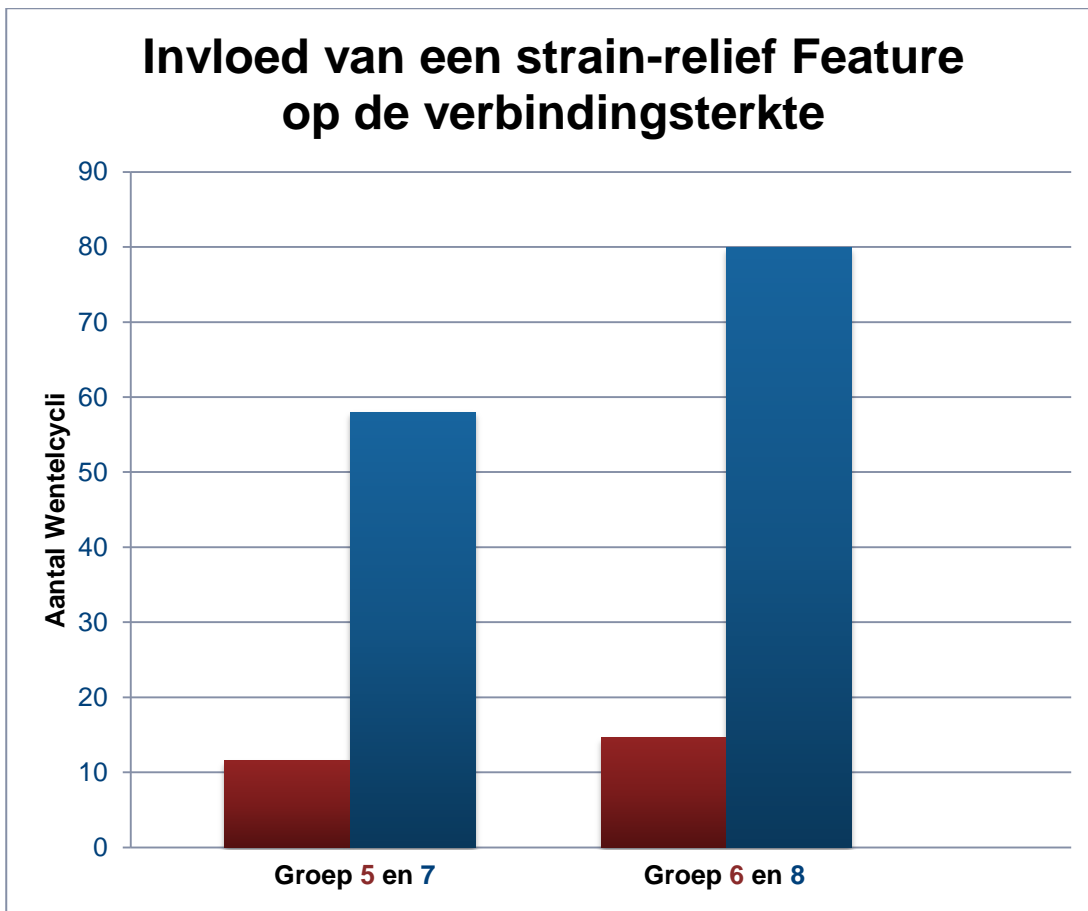
Figuur 127: Invloed van de draadhoogte op de verbindingsterkte

Telkens werd er gewisseld tussen een normale draadhoogte en een verlaagde draadhoogte. De normale draadhoogte is het meest geschikt voor de verbinding van koper wikkeldraad. Door een aanpassing van de caviteiten van de bobijn bekomt men een fysisch sterkere verbinding. Dit is omdat de draad lager in de gleuf van de Mag-Mate® zit en hierdoor de vering door de Mag-Mate® groter is. De rode groepen (oneven getallen) hebben een normale draadhoogte, de blauwe een lagere draadhoogte.



Figuur 128: Invloed van de gleufbreedte op de verbindingsterkte

Een grotere gleufbreedte van de Mag-Mate® heeft duidelijk een positieve invloed op de sterkte van de fysieke verbinding tussen wikkeldraad en Mag-Mate®. De groepen uit de rode kolommen hebben een normale gleufbreedte die geschikt is voor de verbinding van koper spoeldraad. De groepen van de blauwe kolommen hebben gleufbreedtes die optimaal zijn voor aluminium spoeldraad. Een grotere gleufbreedte zorgt voor een grotere resterende doorsnede na contactering. Dit enkel op voorwaarde dat er voldoende kracht overblijft om een duurzame elektrische verbinding te kunnen behouden.



Figuur 129: Invloed van een strain-relief feature op de verbindingsterkte

De rode kolommen tonen de resultaten wanneer er aan de draad getrokken wordt aan de kant van de Mag-Mate® met de IDC-zone en dus zonder strain-relief feature. Bij de blauwe kolommen wordt aan de kant van de Mag-Mate® getrokken met de strain-relief feature. Zoals men ziet is deze kant mechanisch veel beter bestand tegen wisselende fysische belasting. Men zou opteren voor een Mag-Mate® met een strain-relief feature, maar men moet opletten dat men slechts een verhoogde belasting kan opnemen in één enkele richting. Bij het bepalen van de richting van de Mag-Mate® moet men hier aan denken.

EVALUATIE

Tijdens de evaluatie worden de resultaten uit de testen beoordeeld alsook hun betrouwbaarheid. Er wordt ook nagegaan indien de vooropgestelde doelen bereikt zijn.

1 KWALITEIT VAN DE VERSCHILLENDE PROCESSEN

Door de gegevens uit de testen en controles samen te leggen kan men conclusies trekken over het productieproces, het controleproces, het testproces en over de kwaliteit van de geproduceerde spoelen.

1.1 KWALITEIT VAN DE ASSEMBLAGE

Het manuele assemblageproces om van de verschillende onderdelen tot een functionerende spoel te komen, kan beschouwd worden als een nauwkeurig en betrouwbaar proces. Er is geen ruimte voor interpretatie. Dit kan men besluiten uit de talrijke controles die zijn uitgevoerd tijdens en na de assemblage m.b.v. optische en elektrische metingen. De theoretische waarden worden sterk benaderd. Voor eventuele latere geautomatiseerde serieproductie is dit een groot voordeel.

1.2 KWALITEIT VAN DE CONTROLES

Om de kwaliteit van het controleproces te bepalen, wordt een onderscheid gemaakt tussen optische en elektrische controles.

Het optische controleproces, bestaande uit visuele, microscoop-, x-ray-, en schlijffcontroles, is een vrij compleet proces dat een zeer goed beeld biedt van de eigenlijke toestand van de spoelen. Dankzij deze controles kan men nagaan indien de geometrieën en verbindingen in de praktijk voldoende overeenkomen met de theorie. De controle van de geometrische aspecten van de spoel en zijn verbinding is volledig, nauwkeurig en betrouwbaar.

De elektrische controles zijn de vierpuntsmetingen m.b.v. een micro-ohmmeter. Dit proces is geschikt om de spoelen op basis van hun weerstandswaarde goed of af te keuren. Voor meer nauwkeurige metingen, om de invloed van de verschillende soorten bobijnen of Mag-Mates® of de invloed van de testen op de weerstandswaarden te meten, is een diepgaander gecontroleerd proces nodig. Ten eerste moet men voldoende acclimatisatietijd voorzien voor de spoelen en het meettoestel. Men kan vervolgens ook de invloed van de operator weglaten door slechts door één operator de metingen te laten uitvoeren.

1.3 KWALITEIT VAN DE TESTEN

De testen bestaan uit twee onderdelen, namelijk de simulatietesten (niet-destructief) en de destructieve testen.

De kwaliteit van de niet-destructieve testen is in orde. Het uitgevoerde testprogramma is immers een afgeleide van het testprogramma dat eerder werd opgesteld door de klant. Alle testen zijn vlot verlopen volgens de normen. De informatie verkregen uit de testen is dus representatief.

De destructieve testen zijn minder kwalitatief omdat ze enkel nuttig zijn als vergelijkende testen. Er wordt hier niet gewerkt volgens bepaalde normen, maar wel volgens de inzichten van de makers van de testen. Niettegenstaande bieden ze even waardevolle inzichten als de simulatietesten en kan de gebruikte testmethode in de toekomst eventueel gestandaardiseerd worden binnen het bedrijf.

1.4 KWALITEIT VAN DE GEPRODUCEERDE EENHEDEN

De kwaliteit van de geproduceerde eenheden is afhankelijk van de drie bovenstaande kwaliteiten, namelijk het productieproces, het controleproces en het testproces. Aangezien deze alle drie in orde zijn, is de kwaliteit van de geproduceerde eenheden gewaarborgd.

2 BEOORDELING VAN DE TESTRESULTATEN

2.1 RESULTATEN VAN DE NIET-DESTRUCTIEVE TESTEN

De niet-destructieve testen zijn belangrijk om de elektrische eigenschappen van de spoelen te bepalen en om te oordelen of ze voldoen aan de eisen van de klant. Deze testen zijn genormeerd.

De resultaten zijn zeer goed. Alle 120 spoelen voldoen aan de normen. De totale DC-weerstand ligt steeds binnen de toleranties die de klant opstelde. Met name de spreiding op de weerstandswaarden is dermate klein. Het spreidingsinterval van een zeer groot aantal spoelen zal nog steeds nauwgezet binnen de toleranties blijven met als gevolg zo goed als geen uitval.

De resultaten van de niet-destructieve testen leveren geen valabele informatie op i.v.m. de verschillen in weerstandswaarde tussen de ontwerpen. Omdat deze waarden zo dicht bij elkaar liggen, kan besloten worden, dat op basis van hun elektrische eigenschappen, alle ontwerpen even goed scoren.

2.2 RESULTATEN VAN DE DESTRUCTIEVE TESTEN

Er worden destructieve testen uitgevoerd op de spoelen om de onderlinge verschillen tussen de ontwerpen te ontdekken. Deze testen zijn niet genormeerd, maar afgeleid van bestaande. De verkregen informatie is enkel nuttig binnen TE.

De resultaten van de destructieve testen zijn vrij significant. Vooral de wäckeltest levert uiteenlopende waarden op bij verschillende ontwerpen. Op basis van deze resultaten kan men achterhalen welke designfeatures het beste zijn. Er worden telkens twee ontwerpen getest die in één feature verschillen van elkaar. Deze gegevens hebben enkel betrekking op de dynamische fysieke sterkte van de verbinding tussen de aluminiumdraad en Mag-Mate®.

De resultaten bevestigen de volgende stellingen:

- **Draadhoogte:** Hoe lager de wikkeldraad in de vork van de Mag-Mate® is geplaatst, hoe sterker de fysieke connectie tussen beide. Dit is hoogstwaarschijnlijk te wijten aan het grotere veereffect op de lagere punten van de vork.
- **Gleufbreedte:** Hoe breder de vork van de Mag-Mate®, hoe sterker de fysieke connectie tussen de Mag-Mate® en de spoeldraad. Hoe breder de vork, hoe kleiner de insnijding van de draad, en hoe groter de resterende diameter.

- **Strain-relief feature:** Een Mag-Mate[®], uitgerust met een strain-relief feature, kan zeer goed krachten volgens de draadas opvangen. Het nadeel is dat dit enkel werkt voor krachten aan de kant met de strain-relief feature, en niet aan de kant met de IDC-feature.

2.3 TOETSEN VAN DE THEORETISCHE BESCHOUWINGEN AAN DE RESULTATEN

Tijdens de literatuurstudie werd de invloed van de verschillende parameters onderzocht. Volgens bronnen zijn ze zeer belangrijk voor de elektrische connectie tussen Mag-Mate[®] en geleider. Wat blijkt uit de niet-destructieve testen is dat de invloed van de parameters zeer gering is en bijgevolg niet belangrijk voor de spoel om zijn functie uit te oefenen. Voor de fysieke connectie zijn ze wel belangrijk en werden de hypothesen ook bevestigd tijdens de wäckeltest. Toch moet men opletten met het wijzigen ervan voor de elektrische verbinding. De elektrische verbinding blijft de belangrijkste eis.

3 REALISATIE VAN DE DOELSTELLINGEN

Het hoofdstuk evaluatie wordt afgesloten met de vraag of de doelstellingen, die in het begin zijn opgesteld, werden volbracht. De drie doelstellingen zijn: de functie van de vorige spoel overnemen, de kostprijs verminderen en het gewicht reduceren.

3.1 ZIJN DE EISEN OVERGENOMEN VAN EBC-460?

Ten eerste is de betrouwbaarheid van de nieuwe spoel bewezen. Ze heeft een gelijkaardig testprogramma doorlopen. Hierbij werd de DC-weerstand veelvuldig gecontroleerd en lag deze steeds binnen de toleranties van de vorige spoel. De Mag-Mate[®] kan daarnaast gemakkelijk geconnecteerd worden met de rest van de ABS-module. De spoel kan nog niet meteen worden ingebouwd in de ABS-module door zijn grotere afmetingen. Dit was geen vooropgestelde eis. Omdat er ook nog geen fluxring is ontworpen voor de nieuwe spoel is de inductie voorlopig nog niet van belang.

3.2 IS DE KOSTPRIJS VERMINDERD?

De kostprijs van de spoel is gereduceerd. Ze bedraagt ongeveer X eurocent per spoel. Dit is een veronderstelling, het prijsvoordeel is mogelijks hoger bij serieproductie. Andere elementen die de prijs ook nog positief kunnen beïnvloeden zijn dat er geen nood meer is om te lassen en het assemblageproces bovendien zeer eenvoudig is en dus gemakkelijk te controleren.

3.3 IS HET GEWICHT GEREDUCEERD?

Het gewicht is in zeer beperkte mate gereduceerd, maar toch voordelig voor de eindgebruiker (autobestuurder) en het milieu. Het gewicht van de spoel is 0,33g lichter dan het originele model.

4 BESLUIT

Tot slot worden de belangrijkste conclusies nogmaals vermeld.

Men besluit dat de assemblage, testcycli en controles allen betrouwbare processen zijn. De spoelen zijn geslaagd voor de testen en voldoen aan de door de klant vooropgestelde normen. Verder onderzoek wijst uit dat het veranderen van enkele ontwerpparameters een grote invloed heeft op de fysieke sterkte van de verbinding, maar niet op de elektrische verbinding. Tot slot kan de nieuwe

spoel de functie van de oude spoel overnemen, op voorwaarde dat de geometrie van ofwel de ABS-module ofwel de nieuwe spoel wordt aangepast. Dankzij het gebruik van aluminium wordt een kostprijsreductie verwezenlijkt.

BESLUIT

De opdracht van het eindwerk was het ontwerpen van een elektromagnetische spoel met aluminium wikkeldraad voor in de ABS-module van een auto. Stap voor stap werd een functionele spoel ontwikkeld, getest en goedgekeurd.

De eigenschappen van aluminium werden onderzocht. De belangrijkste verschillen tussen aluminium en de bestaande koper wikkeldraad werden in kaart gebracht. Aluminium is in vergelijking met koper een zwakker materiaal en een slechtere geleider, maar de kostprijs van het basismateriaal is lager alsook het totale gewicht. Verder moest er bij het ontwerpen rekening gehouden worden met kruip en galvanische corrosie. Het grootste probleem was echter dat men het moeilijk elektrisch kon verbinden volgens de traditionele methoden, namelijk het solderen of lassen. IDC-technologie, dat functioneert d.m.v. een klemverbinding tussen het contact en de wikkeldraad bood hiervoor een oplossing. TE Connectivity ontwikkelde hiervoor reeds een eigen product, namelijk de Mag-Mate®. Deze technologie werd al gebruikt in andere toepassingen buiten de automotive-industrie. Na enig onderzoek werd besloten dat de Mag-Mate® technologie de meest betrouwbare oplossing was voor dit project.

Vervolgens werd een spoel ontworpen op basis van een model dat reeds in het bedrijf geproduceerd wordt. Het nieuwe design was gebaseerd op de eigenschappen van deze spoel zodanig dat de nieuwe spoel de functie ervan kon overnemen. De bovenvermelde eigenschappen van aluminium beïnvloedden de combinatie van de wikkeldraad en de Mag-Mate connector. Van het nieuwe ontwerp werden ook varianten gemaakt waarbij gewerkt werd met alternatieve bobijnen en Mag-Mates®. Dit om de invloeden van bepaalde ontwerpparameters, die tijdens de literatuurstudie onderzocht werden, later in het testprogramma te kunnen verifiëren.

In een volgende fase werden de nodige voorbereidingen getroffen voor de assemblage van de losse onderdelen tot een functionerende spoel. Er werd een matrix gebouwd om de bobijnen te spuitgieten en de wikkeldraad en connectoren werden aangekocht. De spoel werd met speciaal daarvoor gemaakte hulpmiddelen geassembleerd volgens een opgestelde procedure. Tijdens en na de montage werden de spoelen uitvoerig gecontroleerd op basis van de theorie. Het resultaat hiervan was een 200-tal spoelen die werden gemaakt volgens een stabiel en nauwkeurig productieproces.

Daarna werden de gemaakte spoelen uitgebreid getest. Op basis van de eisen van de klant werd een evaluatieprogramma ontworpen. Hiervoor werden er verschillende testen opgesteld volgens de normen. De geproduceerde spoelen werden opgesplitst in verschillende testgroepen die verschillende testcycli ondergingen. Het merendeel werd getest op betrouwbaarheid. Ook werd de praktijk getoetst aan de theorie. Tijdens en na het testen werd deze groep uitvoerig optisch en elektrisch gescreend op eventuele fouten. Een andere groep spoelen onderging alternatieve testen om de invloed van de verschillende ontwerpparameters op de verbinding tussen wikkeldraad en Mag-Mate® na te gaan.

De testresultaten waren zeer gunstig wat betreft de betrouwbaarheid. Alle spoelen slaagden namelijk voor alle testen. Hoewel de spoelen nog niet meteen kunnen ingebouwd worden in de bestaande

module door hun grotere afmetingen, zijn er wel aanpassingen mogelijk aan het ontwerp om een latere serieproductie haalbaar te maken. De resultaten van de tweede groep spoelen, die alternatieve testen onderging, waren eveneens positief. Ze toonden aan dat bepaalde ontwerpfeatures de doorslag gaven tot een succesvol ontwerp met Mag-Mate® in combinatie met een aluminium wikkeldraad.

Naast de functionele eisen van de spoelen, gebaseerd op deze in productie, was er ook de voorwaarde dat deze goedkoper zouden zijn. Door gebruik te maken van een aluminium wikkeldraad is men wel degelijk tot een kostprijsreductie gekomen. Ook het gewicht van de spoel is lager, wat mooi meegenomen is voor de autobestuurder en het milieu.

Tot slot kan deze thesis twee belangrijke vragen beantwoorden:

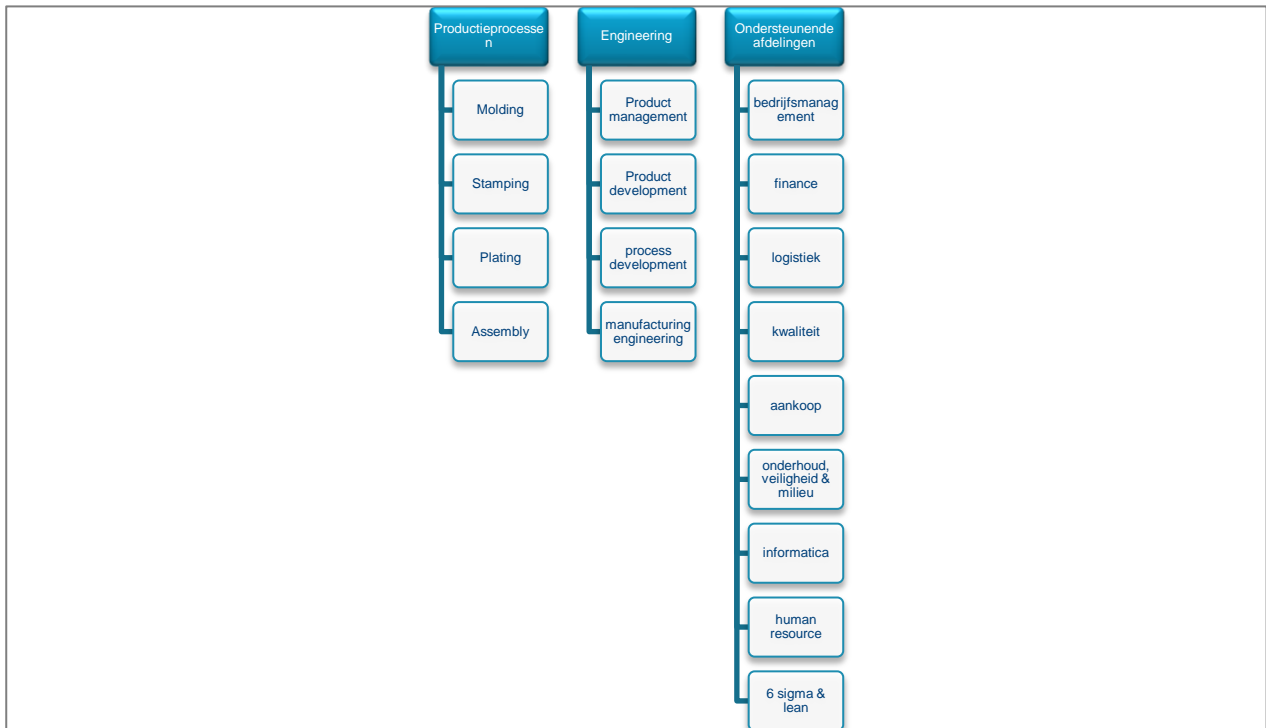
Kan de Mag-Mate®-technologie in combinatie met een aluminium wikkeldraad in de toekomst gebruikt worden in de auto-industrie?

Ja, de betrouwbaarheid werd immers bewezen.

Kan vervolgens de spoel in de bestaande ABS-module gebruikt worden?

Ja, mits aanpassingen ten gevolge van de grotere geometrie.

BIJLAGEN



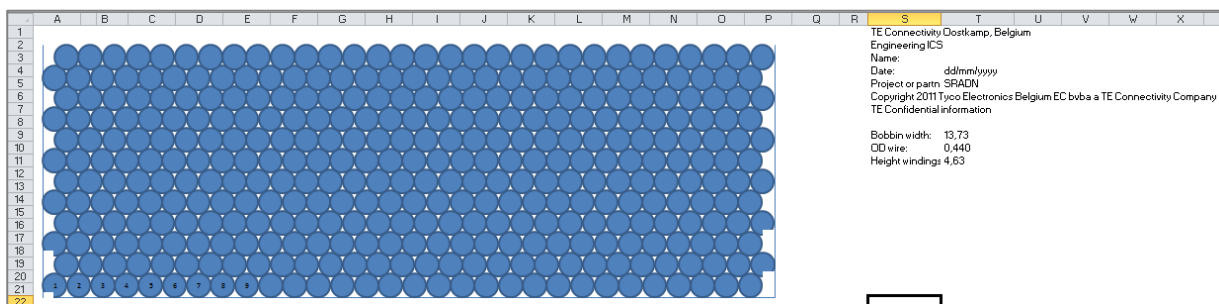
Figuur 130: Bedrijfsindeling Tyco Electronics Belgium EC BVBA (TE Connectivity, 2013)

Element	Electrode Potential (Volts)
Lithium	-3.04
Rubidium	-2.92
Potassium	-2.92
Calcium	-2.87
Barium	-2.80
Sodium	-2.71
Magnesium	-2.37
Beryllium	-1.85
Aluminum	-1.67
Manganese	-1.19
Zinc	-0.76
Chromium	-0.74
Tungsten	-0.58
Iron	-0.44
Cadmium	-0.40
Cobalt	-0.28
Nickel	-0.24
Tin	-0.14
Lead	-0.13
Hydrogen	+0.00
Antimony	+0.10
Copper	+0.34
Iodine	+0.54
Silver	+0.80
Mercury	+0.85
Bromine	+1.07
Platinum	+1.20
Chlorine	+1.36
Gold	+1.50
Fluorine	+2.87

Tabel 26: Volledige tabel met elektropotentiaalen (CalQlata, 2012)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
2		Bobbin	Nomina	Min	Max		- Tol	+ Tol				
3		Bobbin diameter (mm)	3,73	3,68	3,78		-0,05	0,05				
6		Bobbin width (mm)	13,75	13,73	13,78		-0,03	0,025				
7		Rill pattern	---									
8		Wire										
9		Wire type	WAVESE2									
10		Wire diameter Cu (mm)	0,381	0,378	0,384		-0	0,003				
11		Wire grade	Grade 1 Grade 2 Grade 3									
12		Outer diameter wire	0,432	0,424	0,44		-0,01	0,008				
13		Wire resistance (Ohm/m)	0,246	0,242	0,251		-0	0,005				
14		Mass density wire (m/gr)	0,364	---	---		---	---				
15		Wire length (m)	16,15	16,00	16,30		-0,15	0,152				
16		Wire weight (gr)	16,750	16,593	16,908		-0,16	0,157				
17		Winding										
18		Number of windings	360									
19		Winding type	homogeneous									
20		Spacing between wires	0,010	0,010	0,010							
21		Windings on first layer	30	30	30							
22		Remaining free space on 1th lay	7%	0%	15%							
23		Windings on second layer	30	30	30							
24		Remaining free space on 2nd la	10%	2%	17%							
25		Number of layers	12	12	12							
26		Windings on last layer	30	30	30							
27		Remaining space on last layer	0	0	0							
28		Height of winding (mm)	4,55	4,46	4,63							
29		Outside diam(+X) winding (mm)	18,82	18,61	19,04		-0,22	0,22				
30		Height at wire crossing	5,18	5,09	5,28							
31		Outside diam(+X) at wire cross	20,10	19,86	20,34							
35		Electrical										
52		DC resistance (Ohm at 20°C)	4,05	3,94	4,16		-2,7%	2,8%				
53		at 20°C	4,05	3,94	4,16		-2,7%	2,8%	4,06	-3,0%	2,5%	
54		at min temp (-40°C)	3,10	3,01	3,18		-2,7%	2,8%				
55		at max temp (150°C)	6,12	5,96	6,29		-2,7%	2,8%				
64												
65		Conditions										
66		Temperature (°C)	20	-40	150							
68												
69		TE Connectivity Oostkamp, Belgium										
70		Engineering ICS										
71		Version 1.4 (TO 29MAR2011)										
72		Name:										
73		Date:	dd/mm/yyyy									
74		Project or partnumber:	SRADN									
75												
76		Copyright 2011 Tyco Electronics Belgium EC bvba a TE Connectivity Company										
77		TE Confidential information										

Figuur 131: Print-out van de verkregen gegevens uit de Coil-calculator (Ocket, 2011)



Figuur 132: Print-out van het wikkelpatroon volgens de coil-calculator (Ocket, 2011)

Calculation of the compression ratios and slot width / wire diameter ratios						
k = compression ratio = $\Delta D / D$ (zie TEC 202-21)						
D = diameter naked wire						
D - ΔD = width of the fork of the mag-mate						
Mag-mate used:	62429			62935		
Fork width:	0,006 inch min		0,007 inch max		0,01 inch min	
	0,1524 mm		0,1778 mm		0,254 mm	
Aluminium wire range for mag-mate:	28 - 25 AWG				24 - 22 AWG	
Case 1						
wire	28 AWG				24 AWG	
D	0,319 mm				0,508 mm	
k = $(D - (D - \Delta D)) / D$	k	0,522	0,443	k	0,700	0,650
		52,2 %	44,3 %		70,0 %	65,0 %
slot width / wire diameter	a	0,48	0,56	a	0,50	0,55
Case 2						
wire	25 AWG				22 AWG	
D	0,453 mm				0,643 mm	
k = $(D - (D - \Delta D)) / D$	k	0,664	0,608	k	0,763	0,723
		66,4 %	60,8 %		76,3 %	72,3 %
slot width / wire diameter	a	0,34	0,39	a	0,40	0,43
Case 3						
wire	26,5 AWG				26,5 AWG	
D	0,38 mm				0,38 mm	
k = $(D - (D - \Delta D)) / D$	k	0,599	0,532	k	0,332	0,265
		59,9 %	53,2 %		33,2 %	26,5 %
slot width / wire diameter	a	0,40	0,47	a	0,67	0,74

Figuur 133: Berekening van de compressieverhoudingen bij verschillende Mag-Mates® en verschillende draaddiameters deel 1

Mag-mate used:	1217368				63789			
Fork width:	D-deltaD	0,009 inch min 0,2286 mm	0,01 inch max 0,254 mm	D-deltaD	0,01 inch min 0,254 mm	0,011 inch max 0,2794 mm		
Aluminium wire range for mag-mate:		28-25 AWG			24-22 AWG			
Case 1	wire	28 AWG		wire	24 AWG			
	D	0,319 mm		D	0,508 mm			
$k = (D - (D - \text{delta}D)) / D$	k	0,522 52,2 %	0,443 44,3 %	k	0,700 70,0 %	0,650 65,0 %		
slot width / wire diameter	a	0,72	0,80	a	0,50	0,55		
Case 2	wire	25 AWG		wire	22 AWG			
	D	0,453 mm		D	0,643 mm			
$k = (D - (D - \text{delta}D)) / D$	k	0,664 66,4 %	0,608 60,8 %	k	0,763 76,3 %	0,723 72,3 %		
slot width / wire diameter	a	0,50	0,56	a	0,40	0,43		
Case 3	wire	26,5 AWG		wire	26,5 AWG			
	D	0,38 mm		D	0,38 mm			
$k = (D - (D - \text{delta}D)) / D$	k	0,398 39,8 %	0,332 33,2 %	k	0,599 59,9 %	0,532 53,2 %		
slot width / wire diameter	a	0,60	0,67	a	0,67	0,74		
Ontwerpeisen:	Yusuke Okada		TEC 202-21: IDC Design Standard					
k	0,3 - 0,4		0,3					
a	0,6 - 0,7		0,7					
Verband tss k en a	k = 1 - a							

Figuur 134: Berekening van de compressieverhoudingen bij verschillende Mag-Mates® en verschillende draad diameters deel 2

J13-4950-BOBBIN-High Measurement Report

Part Name:	PROTOTYPE BOBBIN FOR IDC WITH AL WIRE	Date:	12/Feb/14
Part Number:	J13-4950-BOBBIN-High Rev 2	Measured By:	吳碧蓮
Material:	PPA AS-4133HS GF33% Black	Checked By:	吳碧蓮
Cavity Number:	1*	Approved By:	吳碧蓮

Specs					Verdict			
Dim#	Nominal	+Tol	-Tol	Inspection Method	Measured Value (M)	Measured	OK	NG
1	0,5	0,05	0,05	DHG	0,474		↓	
2	2-	0,36	0,02	0,02	CMM	0,373		↓
		0,36	0,02	0,02	CMM	0,367		↓
3		1,07	0,13	0,13	CMM	1,032		↓
4		1,50	0,05	0,05	CMM	1,550		↓
5		3,85	0,05	0,05	CMM	3,831		↓
6		7,26	0,10	0,10	CMM	7,203		↓
7	2-	3,07	0,05	0,05	CMM	3,120		↓
		3,07	0,05	0,05	CMM	3,024		↓
8	2-	2,47	0,05	0,05	CMM	2,520		↓
		2,47	0,05	0,05	CMM	2,431		↓
9	2-	3,86	0,08	0,05	CP	3,90		↓
		3,86	0,08	0,05	CP	3,89		↓
10	2-	3,66	0,05	0,05	CP	3,71		↓
		3,66	0,05	0,05	CP	3,70		↓
11	2-	4,96	0,10	0,10	CMM	4,916		↓
		4,96	0,10	0,10	CMM	4,874		↓
12	2-	3,79	0,05	0,05	CMM	3,791		↓
		3,79	0,05	0,05	CMM	3,749		↓
13	2-	1,67	0,05	0,05	CMM	1,717		↓
		1,67	0,05	0,05	CMM	1,645		↓
14	2-	0,5	0,05	0,05	CMM	0,465		↓
		0,5	0,05	0,05	CMM	0,489		↓
15		1,0	0,05	0,05	CP	0,99		↓
16		11,8	0,15	0,15	CP	11,79		↓
17		9,2	0,15	0,15	DHG	9,190		↓
18		15,75	0,20	0,20	CP	15,86		↓

19		13,75	0,05	0,05	CP	13,73		↓
20		1	0,10	0,10	CP	0,98		↓
21	2-	1	0,05	0,05	CP	0,96		↓
		1	0,05	0,05	CP	0,95		↓
22	2-	1	0,05	0,05	DHG	0,961		↓
		1	0,05	0,05	DHG	0,976		↓
23	2-	0,50	0,05	0,05	CP	0,47		↓
		0,50	0,05	0,05	CP	0,48		↓
24		5,46	0,10	0,10	CP	5,48		↓
25		2,50	0,05	0,05	DHG	2,539		↓
26		21,00	0,20	0,20	CP	21,00		↓
27		9,73	0,05	0,05	CP	9,70		↓
28		8,67	0,05	0,05	CP	8,67		↓
29		0,535	0,05	0,05	CMM	0,560		↓
30		2	0,05	0,05	CMM	2,033		↓
31	2-	1,0	0,05	0,05	CMM	1,045		↓
		1,0	0,05	0,05	CMM	1,038		↓
32		1,6	0,05	0,05	CMM	1,550		↓
33		4,6	0,05	0,05	CMM	4,630		↓
34		9,86	0,15	0,15	CMM	9,788		↓
35		2,0	0,05	0,05	CP	1,99		↓
36		1,5	0,05	0,05	PG	1,480		↓
37	2-	1,17	0,05	0,05	CMM	1,153		↓
		1,17	0,05	0,05	CMM	1,131		↓
38		2,0	0,05	0,05	CP	1,98		↓
39		7,05	0,15	0,15	CMM	6,930		↓
40		3,25	0,10	0,10	CMM	3,343		↓

Equipment:
 CMM: Coordinate Measuring Machine CP: Caliper DHG: Digital Height Gauge M: Micrometer
 PP: Profile Projector RG: Radius Gauge V: Visual Inspection PG: pin gauges TG: Thickness gauge

Figuur 135: Meetrapport van externe firma die spuitgietingen uitvoerde

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1		TE Part Number*		TE Tool Num	TE Report #									
2		J13-4950 Rev. 3		0	0									
3							Actual	Actual	Actual	Actual	Devia-	Devia-	Devia-	Devia-
4	Position No.	Description	Minval	Max	MSL Total	LSL Total	%10 1	%10 2	Zwart 1	Zwart 2	%10 1	%10 2	Zwart 1	Zwart 2
6														
22	5-1	AK Kamer voor Afw E	3,850	==	0,000	-0,050	3,350	3,370	3,345	3,350	0,010	0,030	0,005	0,010
23	5-2	zakker	3,850	==	0,000	-0,050	3,065	3,085	3,065	3,070	.....	.....	.....	.....
24	6													
25	5-1	AK Kamer voor Afw F	3,650	==	0,050	-0,050	3,250	3,270	3,255	3,260	0,050	0,060	0,045	0,050
26	5-2	zakker	3,650	==	0,050	-0,050	3,630	3,700	3,675	3,675	.....	.....	.....	.....
27	7													
28	7-1	D7 Kamer voor Deurs Afw G	0,350	==	0,020	-0,020	0,300	0,375	0,360	0,365	.....	.....	.....	.....
29	7-2	Osder	0,350	==	0,020	-0,020	0,375	0,370	0,365	0,365	.....	.....	.....	.....
30	7-3	Rubber Deurs	0,350	==	0,020	-0,020	0,350	0,340	3,330	3,325	.....	.....	-0,010	-0,015
31	7-4	Osder	0,350	==	0,020	-0,020	0,355	0,370	0,340	0,350	.....	.....	.....	.....
32	8													
33	8-1	DK Kamer voor Afw H	0,530	==	0,050	-0,050	0,500	0,525	0,520	0,515	.....	.....	.....	.....
34	8-2	zakker	0,530	==	0,050	-0,050	0,400	0,405	0,500	0,515	.....	.....	.....	.....
35	9													
36	9-1	D7 Kamer voor Assil Afw I	2,300	==	0,050	-0,050	2,305	2,300	.....	.....	.....	.....	.....	.....
37	9-2	zakker	2,300	==	0,050	-0,050	2,355	2,340	.....	.....	.....	.....	.....	.....
38	9-3	D7 Kamer voor Glas Afw I	2,300	==	0,050	-0,050	2,440	2,430	.....	.....	0,010	.....	.....	.....
39	9-4	zakker	2,300	==	0,050	-0,050	2,425	2,430	.....	.....	.....	.....	.....	.....
40	10													
41	10-1	D7 Kamer voor Assil Afw I	2,700	==	0,050	-0,050	.....	2,700	2,700	.....	.....	.....	.....	.....
42	10-2	zakker	2,700	==	0,050	-0,050	.....	2,700	2,775	.....	.....	.....	.....	.....
43	10-3	D7 Kamer voor Glas Afw I	2,300	==	0,050	-0,050	.....	2,440	2,425	.....	0,010	.....	.....	.....
44	10-4	zakker	2,300	==	0,050	-0,050	.....	2,410	2,385	.....	.....	.....	.....	.....
45	11													
46	11-1	AK Kamer voor Afw K	2,120	==	0,050	-0,050	2,140	2,135	2,145	2,150	.....	.....	.....	.....
47	11-2	zakker	2,120	==	0,050	-0,050	2,130	2,125	2,115	2,115	.....	.....	.....	.....
48	12													
49	12-1	AK Kamer voor Afw K	1,170	==	0,050	-0,050	1,140	1,135	1,130	1,135	.....	.....	.....	.....
50	12-2	zakker	1,170	==	0,050	-0,050	1,150	1,140	1,145	1,145	.....	.....	.....	.....
51														
52														

Figuur 136: Resultaten van de interne meetopdracht van de uiteindelijke bobijnen

Meting insertiediepte mag-mate

Naam ~~Hilde + Terdi~~ WJ
 Datum 14/3/14
 Spoelnummer ~~2A~~ 2A

OK

Meetplaats	Meetwaarde	Min	Max
1	0,01	-0,256	0,244
2	0,01	-0,256	0,244
3	-0,23	-0,51	-0,01
4	-0,23	-0,51	-0,01
5	0,01	-0,256	0,244
6	0,02	-0,256	0,244
7	-0,27	-0,51	-0,01
8	-0,25	-0,51	-0,01

Naam Wouter Janssens
 Datum 14/3/14
 Spoelnummer ~~2A~~ 2A

OK

Meetplaats	Meetwaarde	Min	Max
1	0,12	-0,256	0,244
2	0,11	-0,256	0,244
3	-0,27	-0,51	-0,01
4	-0,26	-0,51	-0,01
5	0,03	-0,256	0,244
6	0,02	-0,256	0,244
7	-0,26	-0,51	-0,01
8	-0,27	-0,51	-0,01

Naam Wouter Janssen
 Datum 14/3/14
 Spoelnummer 3A

OK

Meetplaats	Meetwaarde	Min	Max
1	0,05	-0,256	0,244
2	0,04	-0,256	0,244
3	-0,25	-0,51	-0,01
4	-0,26	-0,51	-0,01
5	0,05	-0,256	0,244
6	0,06	-0,256	0,244
7	-0,25	-0,51	-0,01
8	-0,25	-0,51	-0,01

Figuur 137: Metingen van de insertiediepte van de Mag-Mates®

testphase:	P2											
bewerker:	Wouter V.C.											
datum:	10/4/2014											
Deel:	T _{max} : 22,2°C											
1ste meting		A1	A2	A3	A4	A5	A6		welded coil			
t=21C	Sample1	4,012 Ω	4,009 Ω	4,018 Ω	4,021 Ω	4,011 Ω	4,019 Ω		1	4,0760 Ω		
	2	4,020 Ω	4,011 Ω	4,020 Ω	4,017 Ω	4,011 Ω	4,011 Ω		2	4,0800 Ω		
	3	4,013 Ω	4,033 Ω	4,019 Ω	4,014 Ω	4,022 Ω	4,015 Ω		3	4,0740 Ω		
	4	4,018 Ω	4,016 Ω	4,036 Ω	4,013 Ω	4,013 Ω	4,011 Ω		4	4,0870 Ω		
	5	4,023 Ω	4,008 Ω	4,023 Ω	4,017 Ω	4,013 Ω	4,019 Ω					
	6	4,009 Ω	4,008 Ω	4,019 Ω	4,019 Ω	4,000 Ω	4,021 Ω					
	7	4,016 Ω	4,012 Ω	4,003 Ω	4,018 Ω	4,021 Ω	4,013 Ω					
	8	4,020 Ω	4,015 Ω	4,016 Ω	4,022 Ω	4,013 Ω	4,022 Ω					
	9	4,026 Ω	4,013 Ω	4,019 Ω	4,019 Ω	4,018 Ω	4,016 Ω					
	10	4,018 Ω	4,011 Ω	4,020 Ω	4,026 Ω	4,012 Ω	4,021 Ω					
		Tol.: 0.288 ± 0.014 Ω										
		Min.: 4,0090 Ω	4,0080 Ω	4,0030 Ω	4,0130 Ω	4,0000 Ω	4,0110 Ω					
		Max.: 4,0260 Ω	4,0330 Ω	4,0360 Ω	4,0260 Ω	4,0220 Ω	4,0220 Ω					
		Gem.: 4,0175 Ω	4,0136 Ω	4,0193 Ω	4,0186 Ω	4,0134 Ω	4,0168 Ω					
		w1	w2	w3	w4	w5	w6					
		0,0164 Ω	0,0162 Ω	0,0166 Ω	0,0165 Ω	0,0184 Ω	0,0180 Ω					
Deel:	T _{max} : 21C											
Na Thermoshock		A1	A2	A3	A4	A5	A6		welded coil			
	Sample1	4,0169 Ω	4,0248 Ω	4,0344 Ω	4,0443 Ω	4,0395 Ω	4,0468 Ω		1	4,0836 Ω		
	2	4,0266 Ω	4,0280 Ω	4,0290 Ω	4,0401 Ω	4,0338 Ω	4,0335 Ω		2	4,0852 Ω		
	3	4,0214 Ω	4,0495 Ω	4,0271 Ω	4,0318 Ω	4,0410 Ω	4,0333 Ω		3	4,0764 Ω		
	4	4,0234 Ω	4,0297 Ω	4,0439 Ω	4,0287 Ω	4,0322 Ω	4,0298 Ω		4	4,0795 Ω		
	5	4,0383 Ω	4,0225 Ω	4,0319 Ω	4,0315 Ω	4,0309 Ω	4,0401 Ω					
	6	4,0196 Ω	4,0242 Ω	4,0338 Ω	4,0334 Ω	4,0136 Ω	4,0401 Ω					
	7	4,0251 Ω	4,0289 Ω	4,0143 Ω	4,0327 Ω	4,0362 Ω	4,0297 Ω					
	8	4,0296 Ω	4,0317 Ω	4,0294 Ω	4,0377 Ω	4,0275 Ω	4,0356 Ω					
	9	4,0368 Ω	4,0264 Ω	4,0305 Ω	4,0354 Ω	4,0301 Ω	4,0323 Ω					
	10	4,0272 Ω	4,0226 Ω	4,0297 Ω	4,0393 Ω	4,0254 Ω	4,0382 Ω					
		Tol.: 0.288 ± 0.014 Ω										
		Min.: 4,0169 Ω	4,0225 Ω	4,0143 Ω	4,0287 Ω	4,0136 Ω	4,0297 Ω					
		Max.: 4,0383 Ω	4,0495 Ω	4,0439 Ω	4,0443 Ω	4,0410 Ω	4,0468 Ω					
		Gem.: 4,0265 Ω	4,0288 Ω	4,0304 Ω	4,0355 Ω	4,0310 Ω	4,0359 Ω					
		w1	w2	w3	w4	w5	w6					
		0,0215 Ω	0,0159 Ω	0,0169 Ω	0,0194 Ω	0,0196 Ω	0,0181 Ω					

Deel:	T _{max} : 21C										
Na Temp cycle		A1	A2	A3	A4	A5	A6		welded coil		
	Sample1	4,020 Ω	4,020 Ω	4,023 Ω	4,034 Ω	4,034 Ω	4,029 Ω		1	4,089 Ω	
	2	4,026 Ω	4,022 Ω	4,024 Ω	4,033 Ω	4,030 Ω	4,030 Ω		2	4,084 Ω	
	3	4,019 Ω	4,047 Ω	4,024 Ω	4,027 Ω	4,042 Ω	4,033 Ω		3	4,083 Ω	
	4	4,025 Ω	4,026 Ω	4,041 Ω	4,025 Ω	4,032 Ω	4,023 Ω		4	4,084 Ω	
	5	4,036 Ω	4,021 Ω	4,026 Ω	4,032 Ω	4,037 Ω	4,042 Ω				
	6	4,018 Ω	4,020 Ω	4,029 Ω	4,031 Ω	4,016 Ω	4,028 Ω				
	7	4,028 Ω	4,026 Ω	4,020 Ω	4,030 Ω	4,037 Ω	4,032 Ω				
	8	4,028 Ω	4,026 Ω	4,029 Ω	4,036 Ω	4,028 Ω	4,037 Ω				
	9	4,038 Ω	4,022 Ω	4,027 Ω	4,029 Ω	4,032 Ω	4,028 Ω				
	10	4,028 Ω	4,019 Ω	4,028 Ω	4,037 Ω	4,023 Ω	4,035 Ω				
		Tol.: 0.288 ± 0.014 Ω									
		Min.: 4,018 Ω	4,019 Ω	4,020 Ω	4,025 Ω	4,016 Ω	4,023 Ω				
		Max.: 4,038 Ω	4,047 Ω	4,041 Ω	4,037 Ω	4,042 Ω	4,042 Ω				
		Gem.: 4,027 Ω	4,025 Ω	4,027 Ω	4,031 Ω	4,031 Ω	4,032 Ω				
		w1	w2	w3	w4	w5	w6				
		0,0198 Ω	0,0159 Ω	0,0174 Ω	0,0174 Ω	0,0197 Ω	0,0185 Ω				
Deel:	T _{max} : 21C										
Na Vibration		A1	A2	A3	A4	A5	A6				
	Sample1	4,018 Ω	4,018 Ω	4,024 Ω	4,037 Ω	4,030 Ω	4,031 Ω				
	2	4,021 Ω	4,022 Ω	4,022 Ω	4,032 Ω	4,025 Ω	4,024 Ω				
	3	4,016 Ω	4,040 Ω	4,028 Ω	4,026 Ω	4,035 Ω	4,023 Ω				
	4	4,022 Ω	4,025 Ω	4,039 Ω	4,025 Ω	4,028 Ω	4,029 Ω				
	5	4,033 Ω	4,014 Ω	4,028 Ω	4,033 Ω	4,029 Ω	4,030 Ω				
	6	4,013 Ω	4,019 Ω	4,022 Ω	4,032 Ω	4,009 Ω	4,029 Ω				
	7	4,023 Ω	4,018 Ω	4,010 Ω	4,034 Ω	4,054 Ω	4,022 Ω				
	8	4,025 Ω	4,023 Ω	4,025 Ω	4,038 Ω	4,032 Ω	4,030 Ω				
	9	4,027 Ω	4,019 Ω	4,023 Ω	4,033 Ω	4,026 Ω	4,024 Ω				
	10	4,018 Ω	4,019 Ω	4,025 Ω	4,034 Ω	4,025 Ω	4,032 Ω				
		Tol.: 0.288 ± 0.014 Ω									
		Min.: 4,013 Ω	4,014 Ω	4,010 Ω	4,025 Ω	4,009 Ω	4,022 Ω				
		Max.: 4,033 Ω	4,040 Ω	4,039 Ω	4,038 Ω	4,054 Ω	4,032 Ω				
		Gem.: 4,022 Ω	4,022 Ω	4,025 Ω	4,032 Ω	4,029 Ω	4,027 Ω				
		w1	w2	w3	w4	w5	w6				
		0,0198 Ω	0,0159 Ω	0,0174 Ω	0,0174 Ω	0,0197 Ω	0,0185 Ω				

Figuur 138: Weerstandswaarden van subgroep A

	testphase:	P2					
	bewerker:	Vouter V.C.					
	datum:	#####					
	Deel:	omg: 22,3°C					
1ste meting		B1	B2	B3	B4	B5	B6
	Sample 1	4,0400 Ω	4,0450 Ω	4,0380 Ω	4,0440 Ω	4,0390 Ω	4,0440 Ω
	2	4,0390 Ω	4,0380 Ω	4,0470 Ω	4,0740 Ω	4,0380 Ω	4,0510 Ω
	3	4,0440 Ω	4,0390 Ω	4,0430 Ω	4,0520 Ω	4,0440 Ω	4,0430 Ω
	4	4,0470 Ω	4,0460 Ω	4,0430 Ω	4,0470 Ω	4,0320 Ω	4,0480 Ω
	5	4,0430 Ω	4,0480 Ω	4,0460 Ω	4,0450 Ω	4,0360 Ω	4,0480 Ω
	6	4,0450 Ω	4,0450 Ω	4,0380 Ω	4,0520 Ω	4,0490 Ω	4,0490 Ω
	7	4,0490 Ω	4,0320 Ω	4,0430 Ω	4,0540 Ω	4,0300 Ω	4,0460 Ω
	8	4,0690 Ω	4,0350 Ω	4,0470 Ω	4,0520 Ω	4,0500 Ω	4,0490 Ω
	9	4,0410 Ω	4,0480 Ω	4,0560 Ω	4,0540 Ω	4,0370 Ω	4,0460 Ω
	10	4,0320 Ω	4,0440 Ω	4,0460 Ω	4,0370 Ω	4,0390 Ω	4,0500 Ω
		Tol.: 0,288 ± 0,014 Ω					
		Min.: 4,0320 Ω	4,0320 Ω	4,0380 Ω	4,0370 Ω	4,0300 Ω	4,0430 Ω
		Max.: 4,0690 Ω	4,0480 Ω	4,0560 Ω	4,0740 Ω	4,0500 Ω	4,0510 Ω
		Gem.: 4,0449 Ω	4,0420 Ω	4,0447 Ω	4,0511 Ω	4,0394 Ω	4,0474 Ω
Na oven		B1	B2	B3	B4	B5	B6
	Sample 1	4,0510	4,0434	4,0341	4,0513	4,0517	4,0394
	2	4,0393	4,0401	4,0436	4,0736	4,0206	4,0501
	3	4,0496	4,0337	4,0438	4,0542	4,0456	4,0391
	4	4,0505	4,0386	4,0442	4,0499	4,0345	4,0451
	5	4,0483	4,0494	4,0572	4,0544	4,0369	4,0461
	6	4,0471	4,0443	4,0445	4,0547	4,0458	4,0485
	7	4,0614	4,0298	4,0477	4,0538	4,0302	4,0448
	8	4,0596	4,0323	4,0488	4,0449	4,0515	4,0456
	9	4,0402	4,0425	4,0552	4,0651	4,0368	4,0456
	10	4,0297	4,0444	4,0392	4,0398	4,0372	4,0529
		Tol.: 0,288 ± 0,014 Ω					
		Min.: 4,0297 Ω	4,0298 Ω	4,0341 Ω	4,0398 Ω	4,0206 Ω	4,0391 Ω
		Max.: 4,0614 Ω	4,0494 Ω	4,0572 Ω	4,0736 Ω	4,0517 Ω	4,0529 Ω
		Gem.: 4,0477 Ω	4,0399 Ω	4,0458 Ω	4,0542 Ω	4,0391 Ω	4,0457 Ω

Figuur 139: Weerstandswaarden van subgroep B

Spoelnummer			Spoelkleur		Contact			Nyogel 760G	Test									
Soort	Groep	Sample	Zwart	Wit	62429-1	62935-1	63789-1	Ja	Visual examination	Electrical Resistance	Thermo Shock	Temperature Cycle	Random Vibration	High Temperature Durability	Treksterkte	Wikkelrest	Schijf	
1	A	1	X		X			X	X	X	X	X	X					
		2	X		X			X	X	X	X	X	X					
		3	X		X			X	X	X	X	X	X					
		4	X		X			X	X	X	X	X	X					
		5	X		X			X	X	X	X	X	X					
		6	X		X			X	X	X	X	X	X					
		7	X		X			X	X	X	X	X	X					
		8	X		X			X	X	X	X	X	X					
		9	X		X			X	X	X	X	X	X					
		10	X		X			X	X	X	X	X	X					
	B	1	X		X				X	X	X			X				
		2	X		X				X	X	X			X				
		3	X		X				X	X	X			X				
		4	X		X				X	X	X			X				
		5	X		X				X	X	X			X				
		6	X		X				X	X	X			X				
		7	X		X				X	X	X			X				
		8	X		X				X	X	X			X				
		9	X		X				X	X	X			X				
		10	X		X				X	X	X			X				
	C	1	X		X										X			
		2	X		X										X			
		3	X		X										X			
	D	1	X		X											X		
		2	X		X											X		
		3	X		X											X		
	2	A	1	X	X	X			X	X	X	X	X	X				
			2	X	X	X			X	X	X	X	X	X				
			3	X	X	X			X	X	X	X	X	X				
			4	X	X	X			X	X	X	X	X	X				
5			X	X	X			X	X	X	X	X	X					
6			X	X	X			X	X	X	X	X	X					
7			X	X	X			X	X	X	X	X	X					
8			X	X	X			X	X	X	X	X	X					
9			X	X	X			X	X	X	X	X	X					
10			X	X	X			X	X	X	X	X	X					
B		1	X	X	X				X	X	X			X				
		2	X	X	X				X	X	X			X				
		3	X	X	X				X	X	X			X				
		4	X	X	X				X	X	X			X				
		5	X	X	X				X	X	X			X				
		6	X	X	X				X	X	X			X				
		7	X	X	X				X	X	X			X				
		8	X	X	X				X	X	X			X				
		9	X	X	X				X	X	X			X				
		10	X	X	X				X	X	X			X				
C		1	X	X	X										X			
		2	X	X	X										X			
		3	X	X	X										X			
D		1	X	X	X											X		
		2	X	X	X											X		
		3	X	X	X											X		

Spoelnummer			Spoelkleur		Contact			Nyogel 760G	Test								
Soort	Groep	Sample	Zwart	Wit	62429-1	62935-1	63789-1	Ja	Visual examination	Electrical Resistance	Thermo Shock	Temperature Cycle	Random Vibration	High Temperature Durability	Treksterkte	Wickeltest	Schlijf
3	A	1	X		X			X	X	X	X	X	X				
		2	X		X			X	X	X	X	X	X				
		3	X		X				X	X	X	X	X				
		4	X		X				X	X	X	X	X				
		5	X		X				X	X	X	X	X				
		6	X		X				X	X	X	X	X				
		7	X		X				X	X	X	X	X				
		8	X		X				X	X	X	X	X				
		9	X		X				X	X	X	X	X				
		10	X		X				X	X	X	X	X				
3	B	1	X		X				X	X				X			
		2	X		X				X	X				X			
		3	X		X					X				X			
		4	X		X					X				X			
		5	X		X					X				X			
		6	X		X					X				X			
		7	X		X					X				X			
		8	X		X					X				X			
		9	X		X					X				X			
		10	X		X					X				X			
3	C	1	X		X										X		
		2	X		X									X			
		3	X		X									X			
3	D	1	X		X											X	
		2	X		X											X	
		3	X		X											X	
4	A	1	X		X			X	X	X	X	X	X				
		2	X		X			X	X	X	X	X	X				
		3	X		X				X	X	X	X	X				
		4	X		X				X	X	X	X	X				
		5	X		X				X	X	X	X	X				
		6	X		X				X	X	X	X	X				
		7	X		X				X	X	X	X	X				
		8	X		X				X	X	X	X	X				
		9	X		X				X	X	X	X	X				
		10	X		X				X	X	X	X	X				
4	B	1	X		X				X	X				X			
		2	X		X				X	X				X			
		3	X		X					X				X			
		4	X		X					X				X			
		5	X		X					X				X			
		6	X		X					X				X			
		7	X		X					X				X			
		8	X		X					X				X			
		9	X		X					X				X			
		10	X		X					X				X			
4	C	1	X		X										X		
		2	X		X									X			
		3	X		X									X			
4	D	1	X		X											X	
		2	X		X											X	
		3	X		X											X	

Spoelnummer			Spoelkleur		Contact			Nyogel 760G	Test								
Soort	Groep	Sample	Zwart	Wit	62429-1	62935-1	63789-1	Ja	Visual examination	Electrical Resistance	Thermo Shock	Temperature Cycle	Random Vibration	High Temperature Durability	Treksterkte	Wickeltest	Schliff
5	A	1	X				X	X	X	X	X	X	X	X			
		2	X					X	X	X	X	X	X	X			
		3	X						X	X	X	X	X	X			
		4	X						X	X	X	X	X	X			
		5	X						X	X	X	X	X	X			
		6	X						X	X	X	X	X	X			
		7	X						X	X	X	X	X	X			
		8	X						X	X	X	X	X	X			
		9	X						X	X	X	X	X	X			
		10	X						X	X	X	X	X	X			
	B	1	X					X	X	X	X				X		
		2	X					X	X	X	X				X		
		3	X					X	X	X	X				X		
4		X					X	X	X	X				X			
C	1	X					X	X							X		
	2	X					X	X							X		
	3	X					X	X							X		
	3	X					X	X							X		
D	1	X					X	X							X		
	2	X					X	X							X		
	3	X					X	X							X		
6	A	1	X				X	X	X	X	X	X	X				
		2	X					X	X	X	X	X	X				
		3	X						X	X	X	X	X				
		4	X						X	X	X	X	X				
		5	X						X	X	X	X	X				
		6	X						X	X	X	X	X				
		7	X						X	X	X	X	X				
		8	X						X	X	X	X	X				
		9	X						X	X	X	X	X				
		10	X						X	X	X	X	X				
	B	1	X					X	X	X	X				X		
		2	X					X	X	X	X				X		
		3	X					X	X	X	X				X		
4		X					X	X	X	X				X			
C	1	X					X	X							X		
	2	X					X	X							X		
	3	X					X	X							X		
	3	X					X	X							X		
D	1	X					X	X							X		
	2	X					X	X							X		
	3	X					X	X							X		

Spoelnummer		Spoelkleur		Contact			Nyogel 760G	Test											
Soort	Groep	Sample	Zwart	Wit	62429-1	62935-1	63789-1	Ja	Visual examination	Electrical Resistance	Thermo Shock	Temperature Cycle	Random Vibration	High Temperature Durability	Treksterkte	Wäckeltest	Schliff		
S (Schliff)	S	1	X		X														
		2		X	X													X	
		3	X				X											X	
		4		X			X												X
		5	X					X											X
		6		X				X											X
één wikkeling	W	1	X		X				X	X	X	X	X						
		2		X	X				X	X	X	X	X						
		3	X				X			X	X	X	X						
		4		X			X			X	X	X	X						
		5	X					X		X	X	X	X						
		6		X				X		X	X	X	X						

Figuur 140: Referentietabel van de geproduceerde spoelen

LITERATUURLIJST

- AGA. (2011, November 8). *Aluminium Welding Miniguide*. Opgehaald van AGA:
http://www.aga.com/international/weg/lg/aga/like35agacom.nsf/docbyalias/brochures_catalogues
- AGA. (2012, November 3). *Facts about Aluminium Welding*. Opgehaald van AGA:
http://www.aga.com/international/weg/lg/aga/like35agacom.nsf/docbyalias/brochures_catalogues
- Alu Menziken. (2004). *Extrusion dokumente*. Opgehaald van Alu Menziken : http://www.alu-menziken.com/fileadmin/user_upload/alu-menziken/dokumente/Extrusion/Knetlegierungskatalog.pdf
- AMP . (1992). *Reliability Assesment of Terminated Aluminium Wire*. Harrisburg, PA: AMP Incorporated.
- AMP. (1980). *AMP Mag-Mate Interconnect System Handbook*. Harrisburg: AMP Incorporated.
- Atlas Steels. (2010, Augustus). *Atlas Tech Note no. 7*. Opgehaald van Atlas Steels Australia:
<http://www.atlassteels.com.au/site/pages/atlas-technical-notes.php>
- Bonte, H. (2012). *Materialenleer II-Metalen*. Oostende: KHBO.
- CalQlata. (2012). *Galvanic Corrosion Calculations (nobility)*. Opgehaald van The CalQlata Suite:
<http://www.calqlata.com/productpages/00012-help.html>
- Chu, T.-J. (2012, Mei 5). *Creep deformation in materials*. Opgehaald van Illinois Institute of Technology: <https://iit.edu/arc/workshops/pdfs/materialsCreep.pdf>
- Desai, J., & And, H. (1984). Electrical Resistivity of Aluminium and Manganese. *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 13(4), 1131-1172.
- Deutsches Institut für Normung e.V. . (1995). *DIN EN 60352-3*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Elektrisola. (2010). *Aluminium wire*. Opgehaald van Elektrisola :
<http://www.elektrisola.com/conductor-materials/aluminum-copper-clad-aluminum/aluminum.html>
- Elektrisola. (2010). *Aluminium wire*. Opgehaald van Elektrisola:
http://www.elektrisola.com/fileadmin/webdata/english/Downloads/Resistance_ALW.pdf
- ExxonMobil Chemical. (2009). *Polyalphaolefins*. Opgehaald van ExxonMobil Chemical:
http://utsrus.com/documents/seminary_doklady/exxon_mobil_pao.pdf

- Fort, H. J., & Ashby, M. F. (sd). *Deformation mechanisms and maps*. Opgehaald van Deformation-Mechanism maps: <http://thayer.dartmouth.edu/defmech/>
- Gickler, A. (2002). *Aluminum Soldering - A New Look*. Princeton, IA.
- Heinrichs, R. (1992). *Reliability Assessment of Terminated Aluminium Magnet Wire*. Opgehaald van Tyco Electronics US Techpapers: zie e-mail
- Johnstone, H. (1993). *Transport te land en te water*. Brussel: Artis-Historia.
- KHBO. (s.d.). *APA in Word 2007*. *APA in Word 2007*. KHBO.
- Montgomery, D. (1997). *Design and analysis of experiments*. Westford: John Wiley & sons.
- NE-Metalle. (2008, Oktober). *Normen, Richtlinien, Hinweise*. Opgehaald van Cochius: http://www.cochius.de/media/PDF/Cochius_Normen-Richtlinien-Hinweise.pdf
- Nollet, D. (2013). *Testopdracht 13332040 IDC Contact Comparison*. Oostkamp: Tyco Electronics Belgium EC BVBA.
- Nye Synthetic Lubricants. (2005). *Synthetic Lubes Protect Electrical Connections*. Chester: NewgateSimms.
- Ocket, T. (2011). *Coil Calculator to accurately calculate and optimize coil design for actuators and ring antennas*. Oostkamp: TE Connectivity.
- Rhoads, J. L. (2008, Juni 17). *Basic Explanation of Creep Processes*. Opgehaald van UC Berkeley Department of Nuclear Engineering: <http://www.nuc.berkeley.edu/thyd/ne161/jlrhoads/creep.html>
- S. Spigarelli, Department of Mechanics, University of Ancona. (1999). *TALAT Lecture 1253: Creep of Aluminium and Aluminium Alloys*. Opgehaald van European Aluminium Association: <http://www.alueurope.eu/talat/1000/1200.htm>
- TE Connectivity. (2008). *Contact Systems for the Automotive Market RoHS*. Opgehaald van TE Connectivity: <http://marcom.de.tycoelectronics.com/germany/pages/literature/pdf>
- TE Connectivity. (2011). *Applying MAG-MATE Insulation Displacement Connection (IDC) Technology to Aluminium Magnet Wire Applications*. Darmstadt: Tyco Electronics Corporation.
- TE Connectivity. (2012). *Engineering Competence Centre Oostkamp*. Oostkamp: Tyco Electronics.
- TE Connectivity. (2013). *IDC Magnet Wire Terminals*. TE.
- TE Connectivity. (2013). *Mag-mate Series 300 terminals*. Berwyn, PA: TE Connectivity.
- TE Connectivity. (2013). *Magnet Wire Connector Solutions*. United States: TE Connectivity.
- TE Connectivity. (2014). Opgehaald van TE Connectivity Ltd. : www.te.com/en/home/html

- TE Connectivity Automotive. (2012). *Zuverlässige elektrische Kontaktierung auf Dauer. Aluminium-Litzenleiter sicher kontaktieren*. Bernsheim: Tyco Electronics AMP GmbH.
- TE Connectivity Oostkamp. (2014). *Concept ABS coil with IDC contact*. Oostkamp : Tyco Electronics Belgium EC BVBA.
- The Engineering Toolbox. (2013, Oktober 11). *Electrode Potential and Galvanic Corrosion*. Opgehaald van The Engineering Toolbox: http://www.engineeringtoolbox.com/electrode-potential-d_482.html
- Tyco Electronics. (2009). *Insulation Displacement Crimp (IDC) Design Standard*. Harrisburg, PA: Tyco Electronics.
- Tyco Electronics. (2010, April 21). Design Guide Bobbin. Harrisburg, PA, USA.
- Tyco Electronics. (2010). *Handleidingboekje bezoekers*. Oostkamp: Tyco Electronics.
- Tyco Electronics Shanghai Co. (2013). *Magnet Wire Aluminum Wire Termination*. Shanghai: TE Connectivity Ltd.
- US Bureau of Reclamation . (2000, Augustus). *Electrical Connections for Power Circuits*. Opgehaald van Bureau of Reclamation: www.usbr.gov/power/data/fist/fist3_3/vol3-3.pdf
- Wikipedia. (2013, Oktober 25). *Aluminium*. Opgehaald van Wikipedia: <http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium>
- Wikipedia. (2013, Oktober 25). *Copper*. Opgehaald van Wikipedia: <http://en.wikipedia.org/wiki/Copper>
- Wikipedia. (2013, Augustus 31). *Creep (deformation)*. Opgehaald van Wikipedia: [http://en.wikipedia.org/wiki/Creep_\(deformation\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Creep_(deformation))
- Wikipedia. (2013, Maart 8). *Ohmmeter*. Opgehaald van Wikipedia: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Ohmmeter>
- Wikipedia. (2013, Maart 14). *Saturated Calomel Electrode*. Opgehaald van Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Saturated_calomel_electrode
- Wikipedia. (2013, Oktober 22). *Solder Alloys*. Opgehaald van Wikipedia: <http://en.wikipedia.org/wiki/Solder>
- Yusuke, O. (2012). *Study for Aluminium wire connection with MAGMATE*. Fukuoka: Tyco Electronics.

FACULTEIT INDUSTRIELE INGENIEURSWETENSCHAPPEN
CAMPUS OOSTENDE (@Kulab)
Zeedijk 101
8400 OOSTENDE, België
tel. + 32 59 56 90 00
iiw.kulab.oostende@kuleuven.be
www.iw.kuleuven.be



LID VAN **ASSOCIATIE
KU LEUVEN**