

VALIDATIE VAN ALUMINIUM LASSEN

Afstudeerscriptie

Auteur

Kevin Jägers
Krf.jagers@awl.nl
551634
Automotive Engineering
Hogeschool van Arnhem en Nijmegen

School

Hogeschool van Arnhem en Nijmegen
Postbus 2217
6802 CE Arnhem

Dr. ir. N.J. den Uijl
Nick.denuijl@han.nl
HAN Automotive Research

Bedrijf

AWL-Techniek Holding B.V.
Nobelstraat 37, 3846 CE Harderwijk

Ton Sol
T.sol@awl.nl
Senior las en proces engineer

Datum: 7 juni 2020
Versie: 1^e
Locatie: Harderwijk

Samenvatting

Dit onderzoek draait om het beantwoorden van de hoofdvraag: **“Hoe kan er een stabiel aluminium booglasproces ontwikkeld worden voor EN AW-5754 en EN AW-6082 legeringen, waarbij de start- en eindfase verminderd worden zonder kwaliteitsverlies te hebben?”**. Uit dit onderzoek is gebleken dat het mogelijk is om met de Fronius TPSi een stabiel aluminium proces te verkrijgen met de EN AW-5754 en de EN AW-6082 legeringen. Hierbij wordt voldaan aan de kwaliteitscriteria. De kwaliteitscriteria worden volgens de aluminium lasboog norm van Renault getoetst, zie Bijlage 6 Aluminium lasboog norm Renault.

Booglassen is een proces waarbij een elektrische lasboog tussen de elektrode en het te lassen materiaal gevormd wordt. Het lasbad wordt beschermd tegen oxidatie door het gebruik van 100% argon. Een booglasproces is stabiel als het een herhaalbaar proces is en het gehele traject volgens aansturing verloopt. Dit houdt in dat de lasboog niet te groot of te klein mag zijn, de toortsstand correct is ingesteld, de juiste voorloopsnelheid en draadsnelheid worden gebruikt.

De testen zijn uitgevoerd in een cel in het Fieldlab van AWL-Techniek Holding BV. AWL is een bedrijf dat gespecialiseerd is in het maken van geautomatiseerde productiesystemen, waar hechttechnieken van toepassing zijn.

De testopstelling is geschikt gemaakt voor aluminium lassen. Zo zijn de stalen geleiders vervangen voor plastic geleiders, hiermee wordt voorkomen dat het toevoegmateriaal vervuild raakt. Daarnaast zijn de contacttip, lasdraad, type gas en een magneetklep voor de gasaanvoer aangepast om aluminium te kunnen lassen. Er zijn vier lasprocesvarianten getest. De volgende lasprocesvarianten zijn vanwege de verschillende warmte inbreng gekozen:

- PMC Ripple drive
- PMC Mix drive
- PMC Universeel
- CMT Mix drive

PMC staat voor Pulse Multi Control en valt onder pulserend lassen. CMT staat voor koude materiaal overdracht en valt onder de koude varianten van kortsluitbooglassen.

De EN AW-5754 hoort bij de aluminium 5xxx groep en de EN AW-6082 bij de aluminium 6xxx groep. Er zijn kleine verschillen in het inbrandingsbeeld zichtbaar tussen de legeringen. De verschillen in het inbrandingsbeeld zijn dusdanig klein dat de testen niet op beide legeringen uitgevoerd hoeven te worden.

De startfase is de tijd dat de robot aan het begin stilstaat en de tijd dat de startstroom afgebouwd wordt naar de hoofdstroom. De robot moet verplicht stilstaan volgens AWL waardoor een vliegende start niet mogelijk is. De tijd van de startfase kan hierdoor niet verminderd worden.

Een eindfase is er om met een lagere stroom de eindkrater te vullen en warscheuren te voorkomen. De huidige S2-step die ontwikkeld is voor aluminium lassen is niet in staat om de eindfase in de beweging van de robot te beginnen. Dit geeft een te warme eindfase waardoor het moeilijker is om de eindkrater te vullen.

Summary

This research is about answering the following main question: **"How can a stable aluminum arc welding process be developed for the EN AW-5754 and EN AW-6082 alloys, where the start and end phases are reduced without loss of quality?"** This research has shown that it is possible to obtain a stable aluminum process with the Fronius TPSi welding source and with the EN AW-5754 and the EN AW-6082 alloys. The quality met the aluminum welding arc standard of Renault, see appendix 6.

Arc welding is a process in which an electric arc is formed between the electrode and the work piece. MIG welding is a fusion welding method. Argon gas protect the weld pool against oxidation. An arc welding process is stable if it is a repeatable process and the entire process is controlled. This means that the welding arc should not be too large or too small, a properly positioned torch, the correct wire feed speed and the wire speed has been set correctly.

The tests take place in the Fieldlab of AWL-Techniek Holding BV. AWL is a company that is specialized in making automated production systems, where bonding techniques are key.

The test setup needs a change, to be suitable for aluminum welding. For example, plastic guides have replaced the steel guides. This prevents the additive from becoming contaminated. In addition, the contact tip, welding wire, gas type and a solenoid valve for the gas supply have been adapted to be able to weld aluminum. Four welding process variants were tested. Because of the different heat input, the following welding processes are used:

- PMC Ripple drive
- PMC Mix drive
- PMC Universal
- CMT Mix drive

PMC is an abbreviation for Pulse Multi Control and belongs to pulsating welding. CMT is an abbreviation for Cold Material Transfer and belongs to the cold variants of short arc welding.

The EN AW-5754 belongs to the aluminum 5xxx group and the EN AW-6082 belongs to the aluminum 6xxx group. Small differences in the burn-in image are visible between the alloys. Because of the small difference between the alloys, the tests do not need to be performed on both alloys.

The starting phase is the time that the robot is stationary at the start and the time that the starting current is reduced to the main current. The robot must be stationary at the start of the weld according to AWL, so a flying start is not possible. A reduction in time is not possible.

An end phase is there to fill the end crater with a lower current and to prevent heat cracks. The current S2-step developed for aluminum welding is unable to begin the end phase in the robot's movement. The end of the weld is too hot, which makes it more difficult to fill the end of the weld.

Voorwoord

Geachte lezer,

Voor u ligt het eindverslag “Validatie van aluminium lassen”. In dit verslag is een praktijkgericht onderzoek weergegeven dat uitgevoerd is in het Fieldlab van AWL-Techniek Holding BV. Mijn naam is Kevin Jägers en heb dit onderzoek uitgevoerd ten behoeve van mijn afstudeerstage Automotive Engineering aan de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen.

Binnen dit onderzoek staat het ontwikkelen van een stabiel aluminium MIG-lasproces en het verminderen van de start- en eindfase zonder kwaliteitsverlies centraal. Voor het onderzoek is er gebruik gemaakt van twee aluminium legeringen, de EN AW-5754 en de EN AW-6082. Daarnaast zijn er een ABB-robot met zes assen, een Siegmund lastafel en een Fronius TPSi lasbron gebruikt.

Graag wil ik Ton S., Jan M., Frank R., Henry ten B. en alle andere werknemers van AWL bedanken voor de hulp en ondersteuning tijdens de afstudeerstage.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Harderwijk, 7 juni 2020.



Kevin Jägers

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	3
Summary	5
Voorwoord	7
Begrippenlijst.....	11
Figurenlijst	13
Tabellenlijst	15
Formulelijst.....	15
1. Inleiding	17
1.1 Probleemdefinitie.....	17
1.2 Opbouw verslag.....	17
2. Achtergrond.....	19
2.1 Projectinformatie	19
2.2 Beschrijving AWL.....	19
2.2.1 Hiërarchie AWL Nederland.....	20
2.3 Achtergrondinformatie.....	20
2.3.1 Lasnaadvormen	27
2.3.2 Kwaliteitsvoorschriften.....	27
2.3.3 Stabiel lasproces.....	29
3. Methode.....	31
4. Verschil tussen EN AW-5754 en EN AW-6082 legeringen.....	33
4.1 Resultaten aluminium legeringen	34
4.2 Discussie aluminium legeringen	34
5. Testen stabiel proces.....	37
5.1 Resultaat testen stabiel proces	39
5.2 Discussie stabiel proces.....	42
6. Startfase	47
6.1 Resultaten startfase	48
6.2 Discussie startfase	49
7. Eindfase	53
7.1 Resultaten eindfase.....	53
7.2 Discussie eindfase.....	54
Conclusies en aanbevelingen	57
Referenties	59
Bijlagen	61

Begrippenlijst

Hieronder volgt een begrippenlijst van termen die in het verslag voorkomen en waarbij enige omschrijving gewenst is.

TABEL 1 BEGRIPPENLIJST

	<i>Omschrijving</i>
Contacttip	Zorgt voor het overbrengen van de lasstroom naar de lasdraad.
Extrusie	Het materiaal vervormen door het door een matrijs heen te halen. Waarbij het materiaal de negatieve vorm van de matrijs aanneemt.
Fieldlab	Onderzoeks- en opleidingsafdeling van AWL.
Gebrek aan fusie	Onvoldoende menging van basismateriaal met toevoegmateriaal.
Insluitsels	Ongewenst ingesloten materiaal in de las, zoals bijvoorbeeld oxide. (Wittel, Muhs, Jannasch, & Voßiek, 2013, p. Tabel 6.2)
Keelhoogte	Dikte van de lasnaad.
Kneedlegering	Een legering die door vervormingstechnieken de uiteindelijke vorm verkrijgt, een kneedlegering bestaat uit verschillende legeringselementen.
Koudverstevinging	Het verstevigen van het materiaal op kamertemperatuur.
Lasboog	Ontstaat als er stroom door een niet geleidend medium gaat. Wordt ook wel een vlamboog of plasma boog genoemd.
Lasprocesvariant	Type aansturing van de hoofdstroom en type proces.
Neersmelt	De hoeveelheid afgesmolten materiaal van de lasdraad wat in het lasbad terecht komt.
Rekristallisatie temperatuur	De temperatuur waarop de vervormde korrels terug groeien naar originele grote.
S2-step	Trigger modus van de Fronius TPSi lasbron. Omvat een procentuele verhoging van de hoofdstroom in de startfase en een procentuele verlaging van de hoofdstroom in de eindfase.
Siegmund	Merk lastafel met bijbehorende bevestigingsmaterialen.
Spetervorming	Spetters die van de las afkomen en het product kunnen beschadigen.
Sproeihoogte	Is een lasboog met fijne materiaaldruppels en een hoge warmte inbreng.
Teachen	Het positioneren van de toorts ten opzicht van de te lassen delen.

Figurenlijst

<i>Figuur 1 Langskrimp (Wittel, Muhs, Jannasch, & Voßiek, 2013, p. 119)</i>	<i>20</i>
<i>Figuur 2 Dwarskrimp (Wittel, Muhs, Jannasch, & Voßiek, 2013, p. 119).....</i>	<i>20</i>
<i>Figuur 3 Hoekverdraaiing door krimp (Wittel, Muhs, Jannasch, & Voßiek, 2013, p. 119)</i>	<i>21</i>
<i>Figuur 4 Schematische voorstelling MIG-lassen (Kals, et al., 2012, p. 231)</i>	<i>21</i>
<i>Figuur 5 Aansturing PMC Mix drive (Fronius, 2019, p. 125).....</i>	<i>22</i>
<i>Figuur 6 Schematische ligging werkgebied (Stoop, et al., 2010, p. 42).....</i>	<i>23</i>
<i>Figuur 7 Reinigende werking stekend of slepend lassen (Weitzer)</i>	<i>26</i>
<i>Figuur 8 Verschillende lasnaadvormen binnenhoeklas. 1) theoretisch wortelpunt, 2) krachtlijn en a) keelhoogte (Wittel, Muhs, Jannasch, & Voßiek, 2013, p. 128)</i>	<i>27</i>
<i>Figuur 9 Voorbeeld overlappende las</i>	<i>27</i>
<i>Figuur 10 Bruikbare lengte voor macro onderzoek (Renault, 2008)</i>	<i>28</i>
<i>Figuur 11 Korte booglengte (Venterink, 2014)</i>	<i>29</i>
<i>Figuur 12 Grote booglengte (Venterink, 2014).....</i>	<i>30</i>
<i>Figuur 13 Testopstelling Fieldlab AWL.....</i>	<i>31</i>
<i>Figuur 14 Macro EN AW-5754 PMC Ripple drive 4+4 millimeter</i>	<i>35</i>
<i>Figuur 15 Macro EN AW-6082 PMC Ripple drive 4+4 millimeter</i>	<i>35</i>
<i>Figuur 16 Tegenhouden lasbad oxidehuid EN AW-6082.....</i>	<i>36</i>
<i>Figuur 17 Opstelling overlappende las.....</i>	<i>38</i>
<i>Figuur 18 Opstelling binnenhoeklas</i>	<i>38</i>
<i>Figuur 19 Beoordelingsgrafiek minimale snelheid overlappende las</i>	<i>40</i>
<i>Figuur 20 Beoordelingsgrafiek maximale snelheid overlappende las</i>	<i>40</i>
<i>Figuur 21 Beoordelingsgrafiek minimale snelheid binnenhoeklas</i>	<i>41</i>
<i>Figuur 22 Beoordelingsgrafiek maximale snelheid binnenhoeklas</i>	<i>41</i>
<i>Figuur 23 Hoog- en laagvermogen tijd correctie PMC Ripple drive.....</i>	<i>42</i>
<i>Figuur 24 Prikken van de lasdraad in het lasbad visueel zichtbaar</i>	<i>43</i>
<i>Figuur 25 Aanpassen toortsstand voor een kleiner lasbad</i>	<i>43</i>
<i>Figuur 26 Booglente correctie</i>	<i>44</i>
<i>Figuur 27 Scheurindicatie overlappende las PMC Ripple drive</i>	<i>44</i>
<i>Figuur 28 Holle ruimte ontstaan door krimp van het materiaal</i>	<i>45</i>
<i>Figuur 29 Aanpassing toortsstand waardoor er minder krimp is.....</i>	<i>46</i>
<i>Figuur 30 Dwarsdoornede las voor inbranding startfase PMC Ripple drive</i>	<i>48</i>
<i>Figuur 31 Dwarsdoornede las voor inbranding startfase PMC Universeel</i>	<i>48</i>
<i>Figuur 32 Verschil start booglengte correctie (rode lijnen zijn voor het positioneren van de camera) .</i>	<i>49</i>
<i>Figuur 33 Slope 1 te korte tijd en juiste tijd</i>	<i>50</i>
<i>Figuur 34 Verschil in tijd Slope 1.....</i>	<i>51</i>
<i>Figuur 35 Verbuigen lasdraad PMC Universeel, gemaakt met een lascamera</i>	<i>52</i>
<i>Figuur 36 Dwarsdoornede las voor inbranding eindfase PMC Ripple drive</i>	<i>53</i>
<i>Figuur 37 Dwarsdoornede las voor inbranding eindfase PMC Universeel</i>	<i>54</i>
<i>Figuur 38 Onvoldoende gevulde eindkrater</i>	<i>55</i>
<i>Figuur 39 Warmtescheur ter hoogte van de eindkrater vier millimeter plaat</i>	<i>55</i>
<i>Figuur 40 SLB-verklaring afstuderen.....</i>	<i>62</i>
<i>Figuur 41 Aansturing hoofdstroom door Fronius TPSi.....</i>	<i>69</i>
<i>Figuur 42 Aansturing PMC Mix drive (Fronius, 2019)</i>	<i>69</i>
<i>Figuur 43 QFD.....</i>	<i>76</i>
<i>Figuur 44 Mindmap.....</i>	<i>77</i>
<i>Figuur 45 Product decompositiestructuur.....</i>	<i>78</i>
<i>Figuur 46 Werk decompositiestructuur.....</i>	<i>79</i>
<i>Figuur 47 Organisatie Breakdown Structuur</i>	<i>81</i>
<i>Figuur 48 Ghanttchart.....</i>	<i>89</i>
<i>Figuur 49 GOKIT-diagram</i>	<i>93</i>
<i>Figuur 50 Mindmap.....</i>	<i>95</i>
<i>Figuur 51 Ghanttchart in weken</i>	<i>96</i>

<i>Figuur 52 Hiërarchie AWL-Nederland (AWL, 2011 - 2020).....</i>	<i>100</i>
<i>Figuur 53 EN AW-5754 certificaat.....</i>	<i>101</i>
<i>Figuur 54 EN AW-6082 certificaat.....</i>	<i>102</i>
<i>Figuur 55 Lasdraad EN AW-4043</i>	<i>102</i>
<i>Figuur 56 Argon certificaat</i>	<i>103</i>
<i>Figuur 57 Kwaliteitscriteria i-naad las (Renault, 2008).....</i>	<i>104</i>
<i>Figuur 58 Kwaliteitscriteria overlappende las (Renault, 2008).....</i>	<i>104</i>
<i>Figuur 59 Kwaliteitscriteria binnenhoeklas (Renault, 2008)</i>	<i>105</i>
<i>Figuur 60 Fronius TPS 500i (AWL, 2011 - 2020).....</i>	<i>106</i>
<i>Figuur 61 Fronius SB 60i R (AWL, 2011 - 2020).....</i>	<i>106</i>
<i>Figuur 62 ABB-robot.....</i>	<i>107</i>
<i>Figuur 63 Trigger mode S2-step.....</i>	<i>109</i>
<i>Figuur 64 Penetratie stabilisator Fronius (Fronius, 2019, p. 117)</i>	<i>110</i>
<i>Figuur 65 Booglengte stabilisator Fronius (Fronius, 2019, p. 119)</i>	<i>110</i>
<i>Figuur 66 Macro's schoonmaakttest</i>	<i>114</i>

Tabellenlijst

Tabel 1 Begrippenlijst.....	11
Tabel 2 Legeringsgroepen (Stoop, et al., 2010, p. hfstk 3) (Marchal, et al., 2004, p. 2 en 3).....	24
Tabel 3 Temper aluminium (William D. Callister, 2011, p. 408).....	24
Tabel 4 Chemische samenstellingen legeringen volgens Bijlage 5 Certificaten gebruikte materialen .	25
Tabel 5 Overzicht treksterkte en 0,2%-rekgrens volgens Bijlage 5 Certificaten gebruikte materialen .	26
Tabel 6 Gradaties kwaliteitsniveaus lassen (Renault, 2008)	28
Tabel 7 Posities uitnemen macro onderzoek (Renault, 2008)	28
Tabel 8 Resultaten verschil aluminium legeringen.....	34
Tabel 9 Ideale parameters startfase PMC Ripple drive plaatdikte twee millimeter	48
Tabel 10 Ideale parameters startfase PMC Universeel plaatdikte twee millimeter	48
Tabel 11 Ideale parameters eindfase PMC Ripple drive plaatdikte twee millimeter	53
Tabel 12 Ideale parameters eindfase PMC Universeel plaatdikte twee millimeter	54
Tabel 13 Contact gegevens betrokkenen onderzoek.....	81
Tabel 14 RACI-model (Riepma, Hedeman, & Aken, 2010).....	82
Tabel 15 Interne risico's	84
Tabel 16 Impact tijd te kort	84
Tabel 17 Impact afstudeerder langdurig ziek	84
Tabel 18 Impact miscommunicatie	85
Tabel 19 Externe risico's	85
Tabel 20 Impact verhuur cel Fieldlab AWL	85
Tabel 21 Impact laboratorium over gepland	86
Tabel 22 Impact storing testopstelling	86
Tabel 23 Impact materiaal niet leverbaar	86
Tabel 24 Impact sluiting fieldlab	87
Tabel 25 Impact niet nakomen afspraken	87
Tabel 26 Impact corona virus	87
Tabel 27 Risicomatrix (Riepma, Hedeman, & Aken, 2010).....	88
Tabel 28 Uitleg Ghanttchart.....	90
Tabel 29 Kwaliteitscriteria lassen (Renault, 2008)	105
Tabel 30 Keuzetabel schoonmaakproef.....	114
Tabel 31 Beoordelingstabel macro onderzoek.....	116
Tabel 32 Resultaat overlappende las PMC Ripple drive.....	117
Tabel 33 Resultaat overlappende las PMC Mix drive	117
Tabel 34 Resultaat overlappende las PMC Universeel.....	118
Tabel 35 Resultaat overlappende las CMT Mix drive	118
Tabel 36 Resultaat binnenhoeklas PMC Ripple drive	119
Tabel 37 Resultaat binnenhoeklas PMC Mix drive.....	119
Tabel 38 Resultaat binnenhoeklas PMC Universeel.....	120
Tabel 39 Resultaat binnenhoeklas CMT Mix drive.....	120

Formulelijst

Formule 1 Elektrisch vermogen. P is vermogen uitgedrukt in Watt, U is spanning uitgedrukt in voltage en I is stroom uitgedrukt in ampère (HAN Automotive electronics, 2018)	29
Formule 2 Procentueel verschil warmte inbreng door verandering Slope 1	51

1. Inleiding

Dit verslag betreft een afstudeeronderzoek op het gebied van aluminium lassen. Het onderzoek wordt uitgevoerd voor AWL-Techniek Holding BV en ten behoeve van het afstuderen aan de opleiding Automotive Engineering aan de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen. Het onderzoek vindt plaats in het Fieldlab van AWL.

Het doel van dit afstudeeronderzoek is een stabiel aluminium proces ontwikkelen voor EN AW-5754 en EN AW-6082 legeringen, de start- en eindfase onderzoeken en het verminderen van de start- en eindfase waarbij er geen kwaliteitsverlies optreedt. Na dit onderzoek moet AWL beter in staat zijn om geautomatiseerde productiesystemen aan te bieden die gebruik maken van aluminium booglassen.

1.1 Probleemdefinitie

AWL krijgt steeds meer vraag uit de automobieliindustrie om aluminium producten aan elkaar te verbinden. In de zomer van 2019 is de afdeling las- en proces engineering van AWL een onderzoek gestart naar aluminium booglassen met de Fronius TPS500i lasbron. Door tijdgebrek is dit onderzoek nog niet afgerond.

Uit een voorlopige conclusie van het voorgaande onderzoek is gebleken dat het mogelijk is om de i-naad las te booglassen. Echter is er alleen gekeken naar de visuele aspecten van het proces. Er zijn geen kwaliteitsonderzoeken gedaan. Er dient hierdoor nader onderzoek gedaan te worden naar de overlappende las en de binnenhoeklas met daarbij een kwaliteitscontrole.

Ook dient er nader onderzoek gedaan te worden naar de start- en eindfase van aluminium booglassen, bij tenminste één lasproces variant. Vanwege de omvang van het project is ervoor ten minste één lasprocesvariant gekozen. Het verminderen van de start- en eindfase zonder dat er kwaliteitsverlies optreedt is het hoofddoel hiervan.

1.2 Opbouw verslag

Het verslag is opgebouwd aan de hand van hoofd- en deelvragen. Door middel van deelvragen wordt de hoofdvraag beantwoordt. In het verslag staat alleen informatie weergegeven die bijdraagt aan de onderbouwing van het onderzoek. Waar nodig is er uitgebreide informatie te vinden in de bijlagen. Bij de betreffende delen wordt hiernaar verwezen. Het testen is verdeeld in de volgende drie delen:

- Het verschil tussen EN AW-5754 en EN AW-6082 legeringen.
- Stabiel booglasproces overlappende- en binnenhoeklas.
- De start- en eindfase.

De opbouw van het verslag ziet er als volgt uit: in hoofdstuk twee is de achtergrondinformatie met de hoofd- en deelvragen weergegeven. Gevolgd door hoofdstuk drie waar eruit wordt gelegd wat de keuze van de opbouw van het verslag is en hoe de testopstelling eruitziet. Het verschil tussen de legeringen EN AW-5754 en EN AW-6082 wordt behandeld in hoofdstuk vier. In hoofdstuk vijf zijn de testen van het stabiele proces van de overlappende- en binnenhoeklas te vinden. In hoofdstuk zes wordt de startfase weergegeven, gevolgd door de eindfase in hoofdstuk zeven. Het laatste hoofdstuk is de conclusie waar de hoofd- en deelvragen beantwoord worden.

2. Achtergrond

In dit hoofdstuk zijn de project- en achtergrondinformatie over het onderzoek weergegeven.

2.1 Projectinformatie

Het onderzoek richt zich op aluminium MIG-lassen van EN AW-5754 en EN AW-6082 legeringen met een Fronius TPSi lasbron. Uit dit onderzoek moet blijken of er een stabiel aluminium booglasproces gecreëerd kan worden dat voldoet aan de kwaliteitseisen. De kwaliteitseisen worden getoetst aan de hand van de aluminium lasboog norm van Renault. Er is gekozen om deze norm te gebruiken bij dit onderzoek omdat deze norm aansluit bij de klanten van AWL. Daarnaast zijn de kwaliteitscriteria die (Wittel, Muhs, Jannasch, & Voßiek, 2013, pp. tabel 6-2) hanteert minder zwaar dan de Renault norm. De norm is terug te vinden in Bijlage 6 Aluminium lasboog norm Renault. Daarnaast wordt er onderzocht welke start- en eindfase er benodigd zijn voor tenminste één lasprocesvariant. Er is voor tenminste één lasprocesvariant gekozen om de omvang van het onderzoek te beperken. Het onderzoek wordt uitgevoerd aan de hand van de volgende hoofd- en deelvragen:

HOOFDVRAAG

- Hoe kan er een stabiel aluminium booglasproces ontwikkeld worden voor EN AW-5754 en EN AW-6082 legeringen, waarbij de start- en eindfase verminderd worden zonder kwaliteitsverlies te hebben?

DEELVRAGEN

- Wat is MIG-lassen?
- Wat is een stabiel aluminium booglasproces?
- Hoe ziet de testopstelling eruit?
- Welke lasprocesvarianten worden er getest?
- Hoe zien de testen van de overlappende las en binnenhoeklas eruit en wat zijn de uitkomsten van de testen?
- Wat zijn aluminium AW-5754 en AW-6082 legeringen en wat is het verschil ertussen?
- Aan welke kwaliteitsvoorschriften moeten de lassen voor dit onderzoek voldoen?
- Waarom is er een startfase en hoe kan de startfase verminderd worden?
- Waarom is er een eindfase en hoe kan de eindfase verminderd worden?

2.2 Beschrijving AWL

AWL is een bedrijf dat gespecialiseerd is in het maken van geautomatiseerde productiesystemen waar hechttechnieken van toepassing zijn. Voornamelijk lasverbindingen zijn terug te vinden in de productiesystemen. Bij AWL zijn er wereldwijd meer dan 800 werknemers in dienst. Het hoofdkantoor is gevestigd in Harderwijk, waar rond de 400 mensen werkzaam zijn. De andere vestigingen zijn gevestigd in:

- | | |
|---------|------------|
| - China | - Mexico |
| - USA | - Tsjechië |

Daarnaast zijn er nog losstaande bedrijven die onder AWL vallen:

- ICS, gespecialiseerd in robotica en automatisering.
- Mechdes, engineeringbureau gespecialiseerd in offshore en mallenbouw.
- TT-Engineering, engineeringsbureau gespecialiseerd in werktuigbouwkundige engineering.

2.2.1 Hiërarchie AWL Nederland

In Bijlage 4 hiërarchie AWL, is de hiërarchie van AWL Nederland weergegeven. De afdeling Process Engineering houdt zich bezig met de processen die in de machines moeten komen. Hierbij hoort ook de kwaliteit van de las. Het onderzoek "Validatie van aluminium lassen" valt onder de afdeling Process Engineering. De afdeling Process Engineering is als volgt terug te vinden in de hiërarchie:

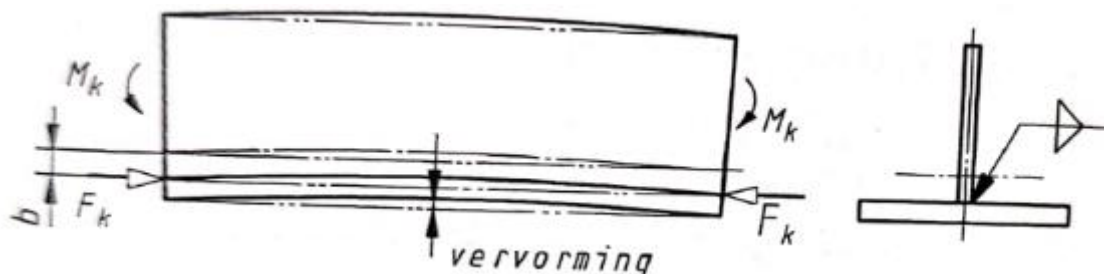
- Managing director;
 - o Business unit Automotive;
 - Engineering;
 - Process Engineering.

2.3 Achtergrondinformatie

Lassen is een verbindingstechniek waarbij een niet-losneembare verbinding ontstaat tussen twee of meer materiaaldelen. Een niet-losneembare verbinding is materiaalgesloten en is geschikt voor het overbrengen van krachten, buig- en torsiemomenten. Een nadeel van een lasverbinding is dat het leidt tot krimp, inwendige spanningen en structuurverandering. Krimp wordt veroorzaakt door het uitzetten van het materiaal door de plaatselijke warmte inbreng tijdens het lassen. Na het lassen krimpt het materiaal naar zijn oorspronkelijke vorm. Doordat het niet altijd mogelijk is dat het materiaal naar de oorspronkelijke vorm teruggaat, ontstaan er inwendige spanningen. Inwendige spanningen kunnen zorgen voor een lagere gebruiksbelasting en het veroorzaken van scheurvorming. (Kals, et al., 2012, p. 232) (Wittel, Muhs, Jannasch, & Voßiek, 2013, p. 118 en 119)

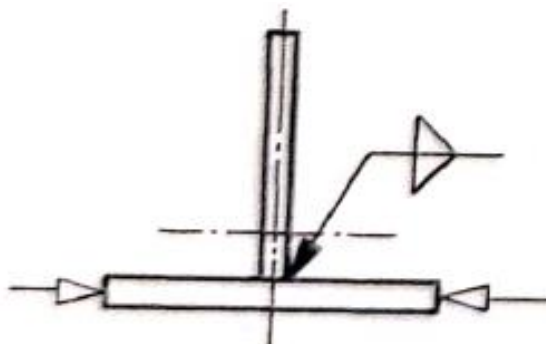
Het gevolg wat krimp afhankelijk van de vorm kan geven is vervorming ten opzichte van de oorspronkelijke vorm. Hierin kan onderscheidt gemaakt worden in de volgende drie bewegingsrichtingen:

- Langsrichting, vervorming door langskrimp, zie figuur 1.



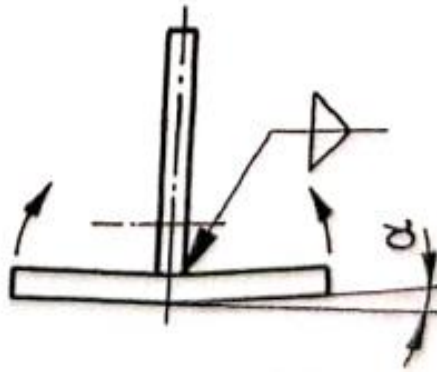
FIGUUR 1 LANGSKRIMP (WITTEL, MUHS, JANNASCH, & VOßIEK, 2013, P. 119)

- Dwarszijde, vervorming door dwarskrimp, zie figuur 2.



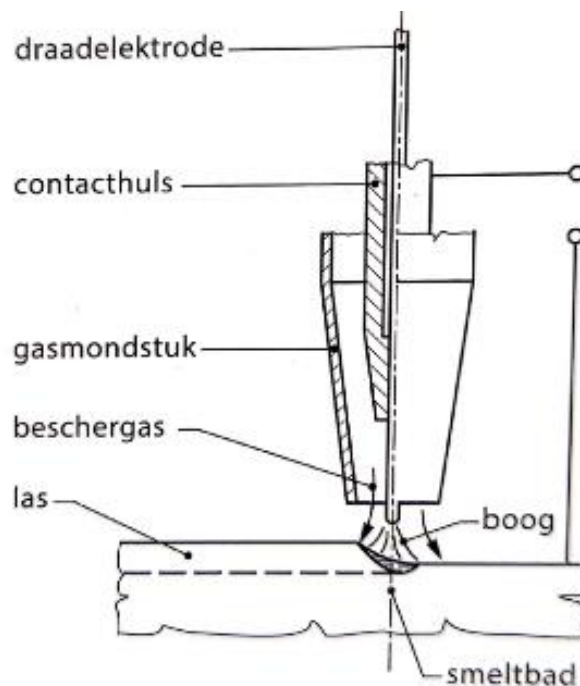
FIGUUR 2 DWARSKRIMP (WITTEL, MUHS, JANNASCH, & VOßIEK, 2013, P. 119)

- Hoekverdraaiing, vervorming door diktekrimp, zie figuur 3.



FIGUUR 3 HOEKVERDRAAIING DOOR KRIMP (WITTEL, MUHS, JANNASCH, & VOßIEK, 2013, P. 119)

MIG-lassen staat voor metaal inert gaslassen en valt onder de smeltlasmethode. Bij MIG-lassen wordt het materiaal plaatselijk gesmolten waardoor de delen samenvoegen. De inerte gassen zorgen voor een beschermgasmantel waar de vlamboog zichtbaar in brand. De vlamboog brand tussen het te lassen materiaal en een afsmeltende elektrode. De afsmeltende elektrode zorgt voor de aanvoer van toevoegmateriaal. In figuur 4 is een schematische voorstelling van MIG-lassen weergegeven. (Wittel, Muhs, Jannasch, & Voßiek, 2013, p. 114 t/m 116)



FIGUUR 4 SCHEMATISCHE VOORSTELLING MIG-LASSEN (KALS, ET AL., 2012, P. 231)

Het materiaaltransport in de boog is onder te verdelen in de volgende groepen:

- Kortsluitbooglassen, is niet geschikt voor aluminium lassen. De reinigende werking ontbreekt, tijdens de kortsluiting is er geen lasboog. De reinigende werking zorgt ervoor dat een deel van de oxidehuid wordt verwijderd. (Stoop, et al., 2010, p. 41 en 47)
- Sproei-booglassen, is uitermate geschikt voor aluminium lassen. De sproei-boog is een continue ontstoken boog waardoor de reinigende werking zonder onderbrekingen plaatsvindt. Een relatief hoge stroomsterkte bij sproei-booglassen resulteert in een hoge warmte inbreng. Hierdoor is een sproei-boog alleen geschikt voor onder de hand lassen en het maken van staande hoeklassen. (Stoop, et al., 2010, p. 41)

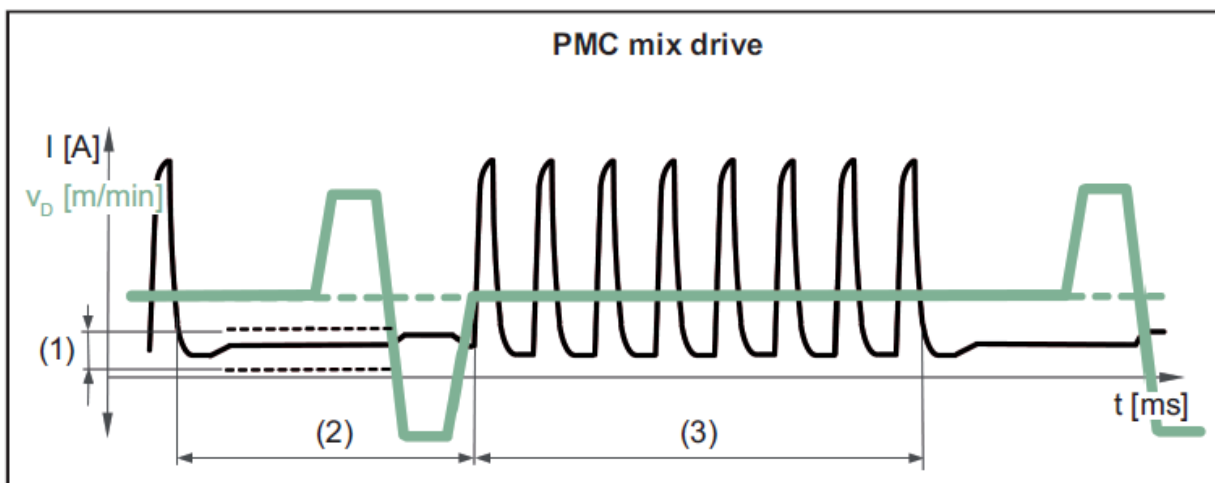
- Pulserend lassen, is geschikt voor aluminium lassen. Door de pulserende piekstroom is de gemiddelde warmte inbreng lager dan bij sproeibooglassen. De hoge piekstroom zorgt voor een versterkte reinigende werking. (Stoop, et al., 2010, p. 41)

“Bij het pulserend lassen wordt bij een gemiddelde stroomsterkte, die onder de kritische lasstroom ligt, in het sproeibooggebied gelast.” (Stoop, et al., 2010, p. 41)

De volgende drie lasprocesvarianten maken gebruik van pulserend lassen en verschillen in de manier van aansturing van de hoofdstroom:

- PMC Mix drive;
- PMC Ripple drive;
- PMC Universeel.

De aansturing van PMC Mix drive is een hoog pulserende fase gevolgd door een lage fase. In de hoog pulserende fase is de draadaanvoer constant. In de lage fase wordt de draadaanvoer snelheid negatief, dit houdt in dat de draad teruggetrokken wordt. Hiermee wordt voorkomen dat de lasdraad het lasbad raakt. In onderstaande figuur is de aansturing van PMC Mix drive weergegeven. (Fronius, 2019, p. 125)

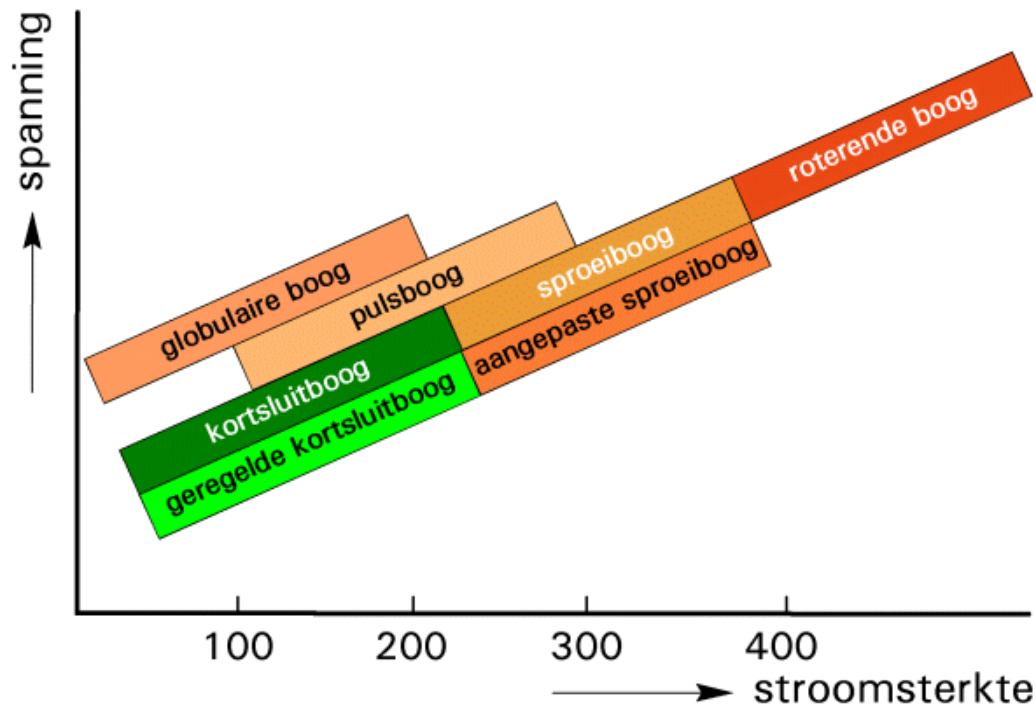


FIGUUR 5 AANSTURING PMC MIX DRIVE (FRONIUS, 2019, P. 125)

De aansturing van PMC Ripple drive is een hoog pulserende fase gevolgd door een uitgeschakelde fase. De hoge pulserende fase is in bovenstaande figuur weergegeven als nummer drie. Om te voorkomen dat de draad in het lasbad prikt, wordt de draad tijdens de uitgeschakelde fase teruggetrokken. (AWL, 2011 - 2020)

PMC universeel is een constante hoogvermogen fase met pulserende aansturing. In bovenstaande figuur weergegeven met nummer drie. De draad wordt met een constante snelheid aangevoerd. (AWL, 2011 - 2020)

- Koude variant op kortsluitbooglassen, is geschikt voor aluminium lassen. Deze koude variant is mogelijk door de betere beheersing van het kortsluitbooglassen. Door gebruik te maken van de koude variant is het mogelijk om dunnere plaatdiktes aan elkaar te lassen omdat er minder warmte ingebracht wordt. Lasprocesvariant CMT Mix drive, wat tijdens dit onderzoek wordt gebruikt valt onder de koude variant. CMT staat voor koude materiaal overdracht. In onderstaande figuur is te zien dat de koude variant op een lagere spanning en stroom werkt dan de sproeihoog en pulsboog. (Stoop, et al., 2010, p. 42)



FIGUUR 6 SCHEMATISCHE LIGGING WERKGEBIED (STOOP, ET AL., 2010, P. 42)

De aansturing van CMT Mix drive is net als PMC Mix drive een hoog pulserende fase gevolgd door een lage fase. Zodra er kortsluiting ontstaat wordt de draad teruggetrokken en de spanning nagenoeg uitgeschakeld. Hierdoor ontstaat een vrijwel stroomloze overgang met weinig tot geen spettervorming. (Fronius, 2019) (Koopmans, 2013)

Non-ferrometalen waar aluminium onder valt, zijn over het algemeen goed te lassen. Bij niet-uitthardende kneedlegeringen wordt de hoge sterkte verkregen door koudversteving. In de warmte-beïnvloede zone verliezen de legeringen hun hoge sterkte. Naast niet-uitthardende legeringen zijn er ook uitthardende legeringen, deze verliezen ook hun sterkte in het warmte-beïnvloede gebied. Maar kunnen hun sterkte weer krijgen door een warmtebehandeling na het lassen. (Wittel, Muhs, Jannasch, & Voßiek, 2013, p. 123)

Aluminium legeringen zijn te verdelen in acht groepen. Binnen een groep zijn er overeenkomsten met betrekking tot de eigenschappen. (Stoop, et al., 2010, p. 18) In tabel 2 worden de groepen uitgelegd.

TABEL 2 LEGERINGSGROEPEN (STOOP, ET AL., 2010, P. HFSTK 3) (MARCHAL, ET AL., 2004, P. 2 EN 3)

Groep	Omschrijving
1xxx	Zuiver aluminium waarvan het aluminiumgehalte minimaal 99% bedraagt. Mechanische eigenschappen zijn laag en worden hierdoor niet gebruikt als constructiemateriaal.
2xxx	Aluminiumlegering met koper. Op enkele uitzonderingen na is deze groep slecht lasbaar.
3xxx	Aluminiumlegering met mangaan. Met een sterkte die rond de 40% hoger is dan de 1xxx groep wordt deze groep gebruikt in matige belaste toepassingen. De lasbaarheid is uitstekend.
4xxx	Aluminiumlegering met silicium. Door de toevoeging van silicium wordt het smeltpunt verlaagd, zonder dat het materiaal bros wordt. Dit maakt de 4xxx groep geschikt voor toevoegmateriaal.
5xxx	Aluminiumlegering met magnesium. Deze groep onderscheidt zich door de goede lasbaarheid, corrosiebestendigheid op zeewater en sterkte. Porositeit door het verdampen van magnesium is niet te vermijden. Om het uitdampen te compenseren dient het toevoegmateriaal een hoger magnesiumgehalte te hebben dan het basismateriaal. Door de toevoeging van magnesium wordt een gemiddelde tot hoge sterkte verkregen.
6xxx	Aluminiumlegering met magnesium en silicium. Door de toevoeging van silicium wordt net als bij de 4xxx groep het smeltpunt verlaagd, zonder dat het materiaal bros wordt. De toevoeging van magnesium zorgt net als bij de 5xxx groep voor een hogere sterkte. De verhouding tussen silicium en magnesium is in de 6xxx groep is zodanig dat er Mg_2Si gevormd kan worden. Mg_2Si zorgt ervoor dat de 6xxx groep hardbaar is. Deze groep heeft goede extrusie-eigenschappen met een redelijke sterkte. De 6xxx groep is meer warmtegevoelig dan de 5xxx groep. Dit heeft vooral te maken met hoe het deel kan uitzetten en krimpen. <i>“Door het kiezen van het toevoegmateriaal van het type EN AW-4043 (AlSi5) kan de scheurgevoeligheid worden teruggedrongen.”</i> (Stoop, et al., 2010, p. 19)
7xxx	Aluminiumlegering met zink, magnesium en soms koper. Dit is een groep met hoogsterkte legeringen.
8xxx	Aluminiumlegering met een niet bovengenoemd element. Voor deze groep zijn geen duidelijke kenmerken te geven.

Met de letters F, H, O en T worden de mechanische en/of thermische behandeling waaraan de legering aan is onderworpen aangegeven. In onderstaande tabel is de betekenis van de letters weergegeven. (William D. Callister, 2011, p. 408)

TABEL 3 TEMPER ALUMINIUM (WILLIAM D. CALLISTER, 2011, P. 408)

Temper	Omschrijving
F	Fabricage toestand
H	Koudvervormd
O	Zachtgegloeid
T	Warmtebehandeld

De legeringen EN AW-5754 en EN AW-6082 worden tijdens dit onderzoek gebruikt. Zoals de naam al doet vermoeden komt de EN AW-5754 uit de 5xxx groep en de EN AW-6082 uit de 6xxx groep. Daarnaast wordt er gebruik gemaakt van EN AW-4043 toevoegmateriaal, deze komt uit de 4xxx groep.

De EN AW-5754 legering heeft een temper van H111. “H111 is gegloeid met de volgende geringe koudverstevinging” (Wittel, Muhs, Jannasch, & Voßiek, 2013, pp. Tabel 1-3). H111 is alleen uit te voeren bij niet-uithardbare kneedlegeringen. Hiermee verliest de EN AW-5754 legering zijn hoge sterkte in de warmte-beïnvloede zone.

Bij gloeien wordt het materiaal meestal tot rekristallisatietemperatuur verhit, waardoor er rekristallisatie optreedt. Gevolgd door een geringe koudverstevinging. Koudverstevinging vindt plaats op een temperatuur onder rekristallisatietemperatuur. (Kals, et al., 2012, p. 248) (Rajput, 2012, p. 141 en 142)

De EN AW-6082 legering heeft een temper van T6. “T6 is oplosgegloeid en geheel warm verouderd” (Wittel, Muhs, Jannasch, & Voßiek, 2013, pp. Tabel 1-3). T6 is alleen uit te voeren bij uithardbare kneedlegeringen. De EN AW-6082 verliest net als de EN AW-5754 legering in de warmte-beïnvloede zone de hoge sterkte. Maar de EN AW-6082 kan door middel van een warmtebehandeling weer de oorspronkelijke sterkte bereiken. (Wittel, Muhs, Jannasch, & Voßiek, 2013, p. 123)

Oplosgloeien en geheel warm verouderd, is gloeien net onder smelttemperatuur gevolgd door af laten schrikken en op een verhoogde temperatuur uit laten harden. Hierdoor hard het product op natuurlijke wijze uit. De sterkte en hardheid nemen hierbij geleidelijk toe. (Kals, et al., 2012, p. 248) (William D. Callister, 2011, p. 441)

Op magnesium en silicium na zijn de procentuele toevoegingen voor de EN AW-5754 en de EN AW-6082 nagenoeg gelijk, zie onderstaande tabel.

TABEL 4 CHEMISCHE SAMENSTELLINGEN LEGERINGEN VOLGENS BIJLAGE 5 CERTIFICATEN GEBRUIKTE MATERIALEN

	Silicium	IJzer	Koper	Mangaan	Magnesium	Zink	Chroom	Titanium	Aluminium
EN AW-5754	0,12%	0,23%	0,01%	0,23%	2,78%	0,01%	0,10%	0,02%	96,5%
EN AW-6082	0,85%	0,37%	0,075%	0,54%	0,98%	0,055%	0,039%	0,016%	97,08%
EN AW-4043	4,5-6%	<0,6%	<0,3%	<0,15%	<0,2%	<0,1%	-	<0,15%	Rest

Naast de te lassen materialen wordt er ook gebruik gemaakt van toevoegmateriaal. Het toevoegmateriaal is afkomstig van de afsmeltende elektrode. Het toevoegmateriaal wat bij dit onderzoek wordt gebruikt is AW-4043 legering, met een draaddiameter van 1,2 millimeter. “Het toevoegmateriaal moet afgestemd zijn op het basismateriaal, het lasproces en de fabricageomstandigheden” (Wittel, Muhs, Jannasch, & Voßiek, 2013, p. 124).

TABEL 5 OVERZICHT TREKSTERKTE EN 0,2%-REKGRENS VOLGENS BIJLAGE 5 CERTIFICATEN GEBRUIKTE MATERIALEN

Omschrijving	Treksterkte Rm [Mpa]	0,2%-rekgrens Rp0,2 [Mpa]
EN AW-5754	Minimaal 206	Minimaal 97
EN AW-6082	Minimaal 310	Minimaal 260
EN AW-4043	Maximaal 130	Maximaal 40

Zowel de treksterkte als de 0,2%-rekgrens is van het toevoegmateriaal lager dan de te lassen materialen. Dit houdt in dat het toevoegmateriaal niet afgestemd is op het basismateriaal op basis van de treksterkte en 0,2%-rekgrens.

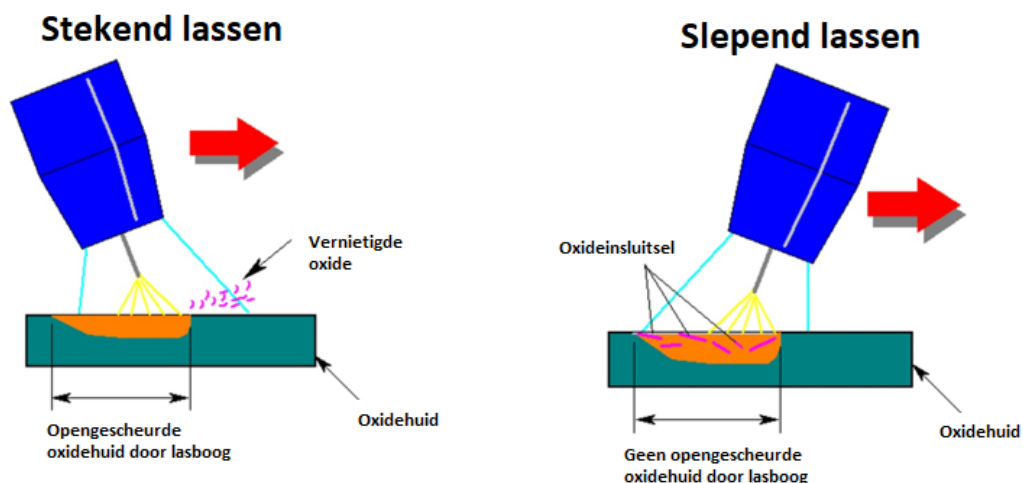
Door gebruik te maken van EN AW-4043 toevoegmateriaal wordt de scheurgevoeligheid verkleind bij de EN AW-6082 legering. Het nadeel is dat de las een lagere sterkte krijgt dan het basismateriaal en niet versterkt kan worden door een warmtebehandeling. Het magnesiumgehalte van het toevoegmateriaal is echter beperkt. Hierdoor verdampt het magnesium uit het materiaal en is de kans op porositeit groter bij de EN AW-5754 legering. (Stoop, et al., 2010, pp. 18-19) (Goes, 2008)

Aluminiumoxide, ook wel de oxidehuid van aluminium genoemd is een keramische verbinding. Aluminiumoxide is een chemische verbinding van aluminium en zuurstof. (Kals, et al., 2012, p. 43) *“Aluminiumoxide heeft een relatief grote hardheid, een matige sterke, een hoge warmvastigheid en kan aanzienlijke temperaturen (tot ca. 1500 °C) verdragen”* (Kals, et al., 2012, p. 43).

De oxidehuid heeft een hogere smelttemperatuur dan de aluminium legeringen. Waar de oxidehuid tot circa 1500 graden kan verdragen, ligt het smeltpunt van de aluminiumlegeringen tussen de 575 en 655 graden. De oxidehuid kan zowel mechanisch als chemisch verwijderd worden. Het lassen dient zo snel mogelijk na het verwijderen van de oxidehuid te gebeuren, met een maximum van 24 uur na verwijderen. Na 24 uur is de oxidehuid dusdanig gevormd dat er problemen bij het lassen ontstaan. (Stoop, et al., 2010, p. 13 en 31)

Problemen die kunnen ontstaan door een te dikke oxidehuid zijn:

- Er moet meer warmte ingebracht worden om door de oxidehuid heen te komen. Zodra de oxidehuid gepasseerd is dient de warmte inbreng omlaag gebracht te worden. Hier is een nauwkeurige instelling van de parameters voor nodig.
- Door het hoge smeltpunt van de oxidehuid kan er aluminiumoxide in het lasbad terecht komen. De lasboog heeft een reinigende werking als er stekend wordt gelast, maar kan niet voorkomen dat alle restanten van de oxidehuid in het lasbad terecht komen. (Stoop, et al., 2010, p. 47)

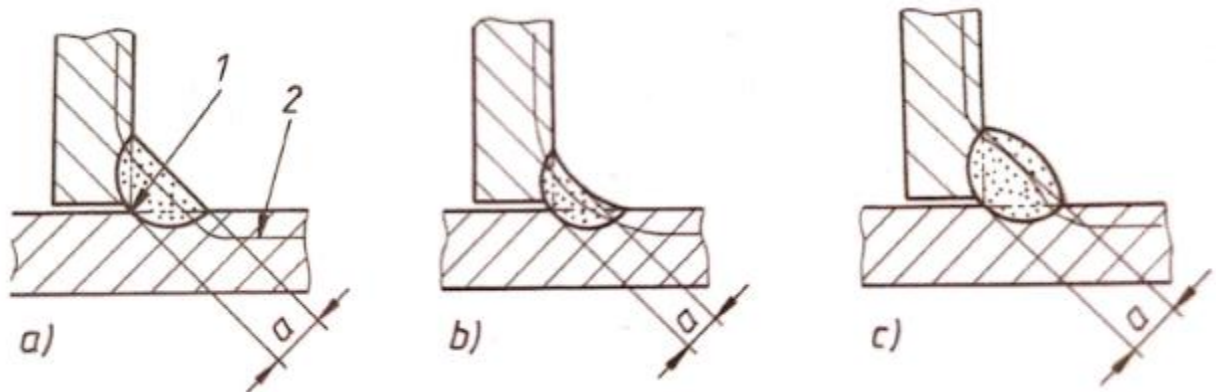


FIGUUR 7 REINIGENDE WERKING STEKEND OF SLEPEND LASSEN (WEITZER)

2.3.1 Lasnaadvormen

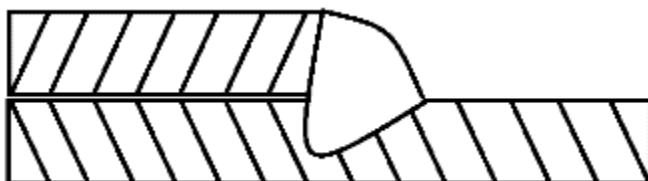
Voor dit onderzoek zijn er twee lasnaadvormen van belang: de binnenhoeklas en de overlappende las. Bij de binnenhoeklas worden de delen loodrecht op elkaar gepositioneerd. De volgende lasnaadvormen kunnen worden toegepast bij de binnenhoeklas (Wittel, Muhs, Jannasch, & Voßiek, 2013):

- a) Vlakke binnenhoeklas, is gunstig voor de statische en dynamische belasting.
- b) Holle binnenhoeklas, heeft een geleidelijke materiaalovergang en daardoor een gunstig verloop van de krachtstroom.
- c) Bolle binnenhoeklas, makkelijk te lassen maar heeft een ongunstig verloop van de krachten.



FIGUUR 8 VERSCHILLENDE LASNAADVORMEN BINNENHOEKLAS. 1) THEORETISCH WORTELPUNT, 2) KRACHTLIJN EN A) KEELHOOGTE (WITTEL, MUHS, JANNASCH, & VOßIEK, 2013, P. 128)

Bij de overlappende las zijn de delen op elkaar gepositioneerd. Dezelfde lasnaadvormen als bij de binnenhoeklas kunnen worden toegepast bij de overlappende las.



FIGUUR 9 VOORBEELD OVERLAPPENDE LAS

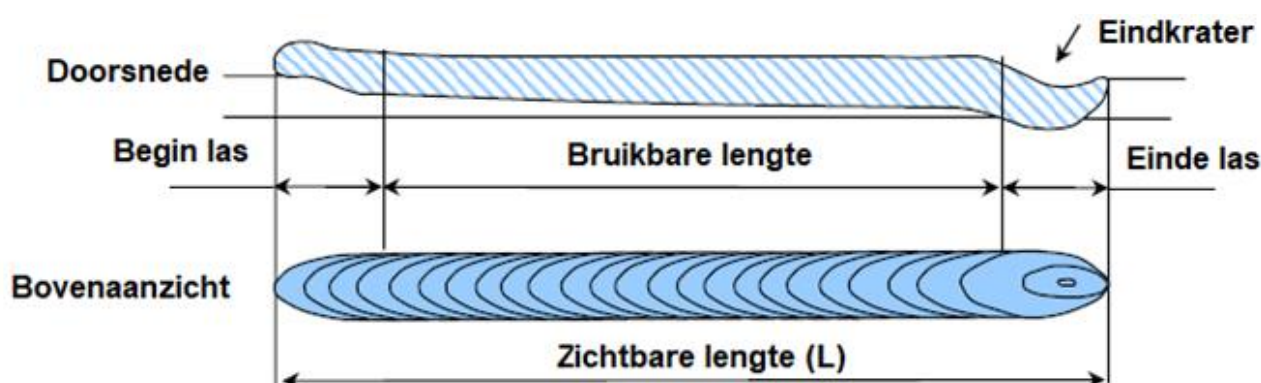
2.3.2 Kwaliteitsvoorschriften

In lassen komen onregelmatigheden voor, deze dienen te voldoen aan een kwaliteitsniveau. Dit houdt in dat er beschreven is hoe groot de onregelmatigheden mogen zijn. Het kwaliteitsniveau is onderverdeeld in verschillende gradaties. Hiermee kunnen belangrijke lassen in een constructie zwaarder beoordeeld worden dan lassen die minder bijdragen in een constructie. Voor dit onderzoek wordt de aluminium lasboog norm van Renault gehanteerd. De norm is terug te vinden in Bijlage 6 Aluminium lasboog norm Renault.

TABEL 6 GRADATIES KWALITEITSNIVEAUS LASSEN (RENAULT, 2008)

Gradaties	Omschrijving
A1	Bij falen van de las bezwijkt de gehele constructie, product wordt onbruikbaar. Hoog risico op falen.
A2	Bij falen van de las bezwijkt de gehele constructie, product wordt onbruikbaar. Laag risico op falen.
B1	Bij falen van de las bezwijkt een gedeelte van de constructie, product wordt mogelijk onbruikbaar. Hoog risico op falen.
B2	Bij falen van de las bezwijkt een gedeelte van de constructie, product wordt mogelijk onbruikbaar. Laag risico op falen.
C1	Bij falen van de las blijft de constructie intact, product blijft bruikbaar. Hoog risico op falen.
C2	Bij falen van de las blijft de constructie intact, product blijft bruikbaar. Laag risico op falen.

De kwaliteitscriteria hoeft niet over de gehele lengte van de las te voldoen. Alleen in de bruikbare lengte moeten de kwaliteitscriteria voldoen. De start- en eindfase vallen hierdoor buiten de kwaliteitscriteria.

**FIGUUR 10 BRUIKBARE LENGTE VOOR MACRO ONDERZOEK (RENAULT, 2008)**

De lengte van de start- en eindfase verschilt per lengte van de las. Over het algemeen geldt voor zowel de start- als eindfase een lengte van tien millimeter. Hierdoor worden lassen van minder dan twintig millimeter in zichtbare laslengte beschouwd als lassen die niet gecontroleerd kunnen worden op kwaliteitscriteria.

Voor zichtbare laslengte boven de twintig millimeter geldt dat een macro niet in de start- of eindfase uitgenomen mag worden. Daarnaast geldt: hoe langer de las hoe groter de start- en eindfase mag zijn. Zie onderstaande tabel. (Renault, 2008)

TABEL 7 POSITIES UITNEMEN MACRO ONDERZOEK (RENAULT, 2008)

Laslengte	Aantal macro's	Posities uitnemen macro
$20 \text{ mm} < L < 80 \text{ mm}$	1	In het midden
$80 \text{ mm} < L < 150 \text{ mm}$	2	Start op $1/3 L$; Eind op $2/3 L$
$150 \text{ mm} < L$	3	Start op $1/4 L$; Midden op $1/2 L$; Eind op $3/4 L$

2.3.3 Stabiel lasproces

Om een lasproces verkoopbaar te krijgen dient het proces stabiel te zijn. Dit houdt in dat het een herhaalbaar proces moet zijn, waarbij de lasboog over het hele traject volgens aansturing verloopt. Hiermee kan de kwaliteit over de gehele las gewaarborgd worden.

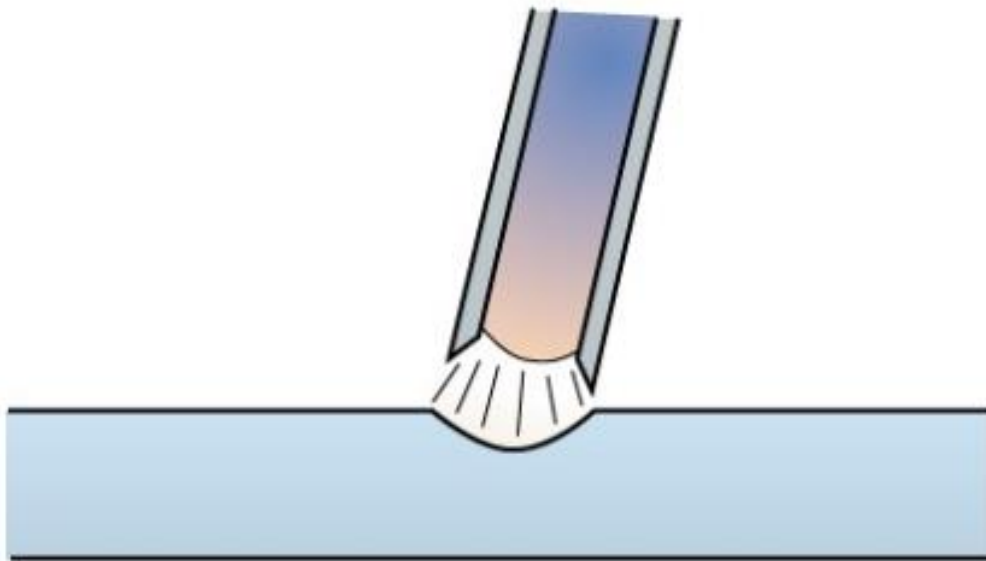
Er zijn verschillende factoren waardoor een lasproces instabiel kan worden. Een kleine of grote booglengte, voorloopsnelheid, een te hoge of lage draadsnelheid en warmtetransport vallen hieronder. Daarnaast zijn er nog meer factoren die buiten beschouwing gelaten worden in dit onderzoek. Voorbeelden hiervan zijn vervuild basismateriaal en omgevingstemperatuur.

De draadsnelheid is hoe snel het toevoegmateriaal wordt aangevoerd, uitgedrukt in meter per minuut. Een hogere draadsnelheid resulteert in een hogere stroomsterkte, bij een gelijkblijvende warmte inbreng resulteert dit in een kortere boog. Een kortere booglengte zorgt voor een lagere boogweerstand en daardoor een lagere boogspanning. Een lagere boogspanning met dezelfde stroomsterkte resulteert in een lagere warmte inbreng.

$$P = U * I$$

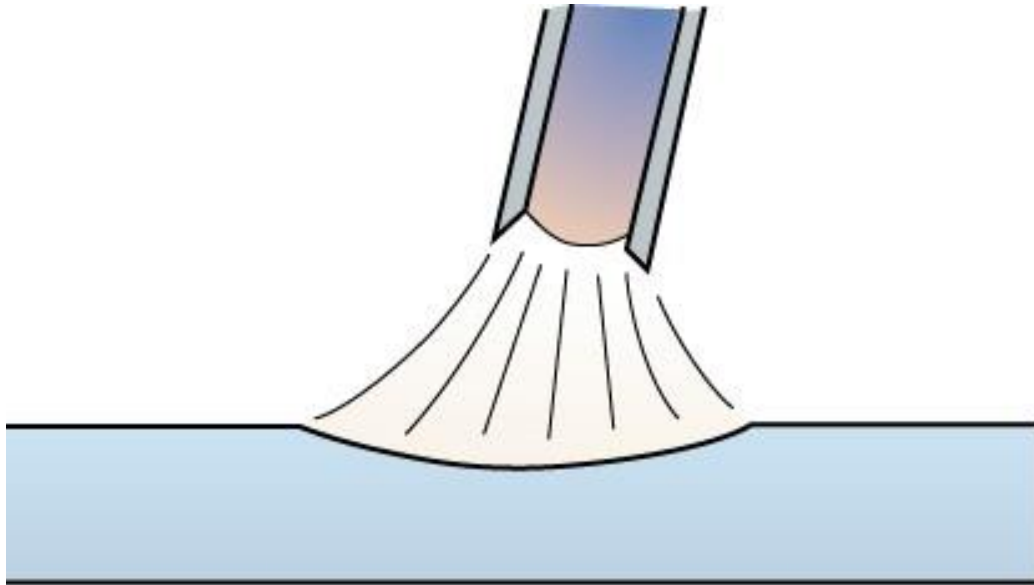
FORMULE 1 ELEKTRISCH VERMOGEN. P IS VERMOGEN UITGEDRUKT IN WATT, U IS SPANNING UITGEDRUKT IN VOLTAGE EN I IS STROOM UITGEDRUKT IN AMPÈRE (HAN AUTOMOTIVE ELECTRONICS, 2018)

Een te hoge draadsnelheid kan het aanraken van het lasbad tot gevolg hebben. Door het aanraken van het lasbad ontstaat er kostsluiting en kan de boog doven. (Fronius, 2019, p. 132) (Gales, Luijendijk, Hermans, & Veassen, 2008, p. 12)



FIGUUR 11 KORTE BOOGLENGTE (VENTERINK, 2014)

Een lagere draadsnelheid geeft het omgekeerde van een hogere draadsnelheid. De stroomsterkte neemt bij een lagere draadsnelheid af. Een grotere booglengte zorgt voor een hogere boogweerstand en daardoor een hogere boogspanning. Een hogere boogspanning met dezelfde stroomsterkte resulteert in een hogere warmte inbreng. (Gales, Luijendijk, Hermans, & Veassen, 2008, p. 12)



FIGUUR 12 GROTE BOOGLENGTE (VENTERINK, 2014)

De voorloopsnelheid is hoe snel de robot beweegt, dit wordt weergegeven in millimeter per seconden. Een te hoge voorloopsnelheid kan ervoor zorgen dat de las te snel afkoelt en te weinig inbranding geeft. Als de las te snel afkoelt kan er porositeit ontstaan, er is onvoldoende tijd voor het gas om het smeltbad te verlaten. (Gales, Luijendijk, Hermans, & Veassen, 2008, pp. 48, 51)

Bij een lage voorloopsnelheid kan de inbranding te diep worden. Het smeltbad kan door een te diepe inbranding door het materiaal zakken waardoor een gat ontstaat. (Stoop, et al., 2010, p. 48)

Warmtetransport vindt plaats in metaal door geleiding. Naast geleiding is het mogelijk dat er warmte verloren gaat aan de omgeving door straling. Grotere geleiding van warmte leidt tot warmteverlies rondom de las. Als de warmte te snel wegvloeit kan er onvoldoende inbranding ontstaan. Bij een te lage voorloopsnelheid kan het warmtetransport op het lasbad voorruit gaan lopen. Dit heeft tot gevolg dat naarmate de las vordert het te lassen materiaal opgewarmd wordt. Hierdoor verschillen het begin en einde van de las. (Course 7-8 Automotive Development Internal Combustion Engines (ICE)) (Gales, Luijendijk, Hermans, & Veassen, 2008, p. 28)

3. Methode

In dit hoofdstuk worden de stappen die in het onderzoek genomen zijn beschreven. Zoals eerder aangegeven, is het onderzoek verdeeld in drie delen. Als eerste is het verschil tussen de legeringen onderzocht. Het onderzoek moet aantonen of er een verschil tussen de legeringen optreedt. In het geval dat er geen verschil is of dat het verschil te verwaarlozen is, kunnen de opvolgende testen op een van de twee legeringen uitgevoerd worden.

Als tweede wordt het stabiele proces getest. Als een lasprocesvariant niet stabiel te krijgen is, kan er geen onderzoek naar de start- of eindfase van de desbetreffende lasprocesvariant gedaan worden. De testen van het stabiele proces zijn hierdoor apart van de start- en eindfase uitgevoerd. Daarnaast zijn de testen apart van elkaar uitgevoerd om het laboratorium van AWL niet in een keer te overspoelen met werk. Het laboratorium heeft door de coronacrisis tijdens de afstudeerperiode een personele onderbezetting en doet het macro onderzoek voor het afstuderen tussen andere projecten door.

Alle testen zijn uitgevoerd in het Fieldlab van AWL. De testopstelling bestaat uit:

- Fronius TPS 500i;
- Fronius SB 60i R (CMT-push/pull systeem);
- Fronius 25i REEL R (draadaanvoer unit);
- Fronius WF 60i Robacta Drive CMT/W (toorts);
- ABB IRB 1600ID-6/.55 robot:
 - o Robotstudio 2020.
- Siegmund lastafel;
- Afzuiging voor het afvoeren van lasrook;
- Opspanmallen:
 - o I-naad las;
 - o Overlappende las;
 - o Binnenhoeklas.
- 1,2mm AlSi5 lasdraad;
- Gasfles met 100% argon;
- Magneetklep voor de toevoer van gas;
- Plastic draadgeleiders;
- Contacttip voor aluminium lassen.

In onderstaande afbeelding is de testopstelling te zien. Verdere informatie over de testopstelling is terug te vinden in Bijlage 7 De testopstelling.



FIGUUR 13 TESTOPSTELLING FIELDLAB AWL

4. Verschil tussen EN AW-5754 en EN AW-6082 legeringen

In dit hoofdstuk wordt het verschil tussen de legeringen in de praktijk weergegeven. In het plan van aanpak en in het voorgaande hoofdstuk, bij de achtergrondinformatie is er dieper ingegaan op de theoretische verschillen tussen de EN AW-6082 en de EN AW-5754 legeringen. Het plan van aanpak is terug te vinden in Bijlage 2 Plan van aanpak.

Het percentage magnesium en silicium is in de EN AW-6082 legering hoger dan in de EN AW-5754 legering. Door de procentuele verhoging van silicium is de smelttemperatuur lager en de vloeibaarheid beter bij de EN AW-6082 legering. Door de lagere smelttemperatuur wordt er meer materiaal van het te lassen materiaal omgesmolten. Een groter gebied rondom de las zet uit en wil na het lassen krimpen tot de oorspronkelijke vorm. Meer uitzetting en krimp geeft meer initiatie op scheurvorming.

Daarnaast is er een belangrijk verschil dat optreedt in de materiaaleigenschappen, de warmtegeleidingscoëfficiënt. Voor EN AW-5754 legering is dit 147 W/m.K, waar het voor de EN AW-6082 180 W/m.K is. Doordat de warmtegeleidingscoëfficiënt in de EN AW-6082 hoger is, verplaatst de warmte zich sneller door het materiaal heen. Bij het lassen is het gewenst dat de warmte zo lokaal mogelijk wordt ingebracht. Daarmee is de verwachting dat de EN AW-6082 legering slechter te lassen is en een kleinere inbrandingsdiepte zal hebben vergeleken met de EN AW-5754 legering. Om dit aan te tonen zijn er tests met exact dezelfde parameters op de legeringen uitgevoerd. Dit is gedaan met de volgende parameters:

- Fronius TPS 500i lasbron.
- Fronius SB 60i R, CMT-push/pull systeem.
- Fronius 25i REEL R, draadaanvoer unit.
- Fronius WF 60i Robacta Drive CMT/W toorts.
- Een ABB-robot met zes assen.
- Een Siegmund lastafel.
- Lasmatten voor de overlappende- en binnenhoeklas.
- AW-4043 (AlSi5) 1,2 millimeter lasdraad.
- 100% argon met vijftien liter per minuut.
- Overlappende las en binnenhoeklas.
- Positie PA, onder de hand lassen.
- Toortsstand van 45 graden ten opzichte van de onderste plaat.
- S2-step trigger modus, zie Bijlage 8 Beschrijving parameters Fronius TPSi.
- Twee lasprocesvarianten:
 - o PMC Ripple drive.
 - o PMC Mix drive.
- Plaatdiktecombinaties 4+4 en 2+2.
- Macro onderzoek op één punt in de las.
- Het reinigen van het oppervlak met aceton, oxidehuid verwijderen met een rvs-borstel en het schoonblazen van het oppervlak. Zie Bijlage 9 Schoonmaaktest.
- De testen zijn uitgevoerd aan de hand van het stappenplan uit Bijlage 10 Stappenplan uitvoeren testen.

In Bijlage 7 De testopstelling, is een uitgebreide weergave van de testopstelling weergegeven.

4.1 Resultaten aluminium legeringen

De testen bevatten een analyse op de verschillen tussen de EN AW-5754 en de EN AW-6082 legeringen. Er zijn in totaal acht testen uitgevoerd. Per plaatdiktecombinatie zijn er vier testen uitgevoerd, twee op de binnenhoeklas en twee op de overlappende las. Er is gekozen voor plaatdiktecombinaties met gelijke plaatdikte zodat de afkoeling bij de binnenhoeklas gelijk is. Per test is er gekeken naar het vermogen, inbrandingsdiepte en keelhoogte. Hoe meer testen er uitgevoerd worden hoe betrouwbaarder de uitslag is. In dit geval is er gekozen om het aantal testen te beperken tot acht. Hierdoor is er sneller resultaat bekend en wordt het laboratorium van AWL niet overbelast.

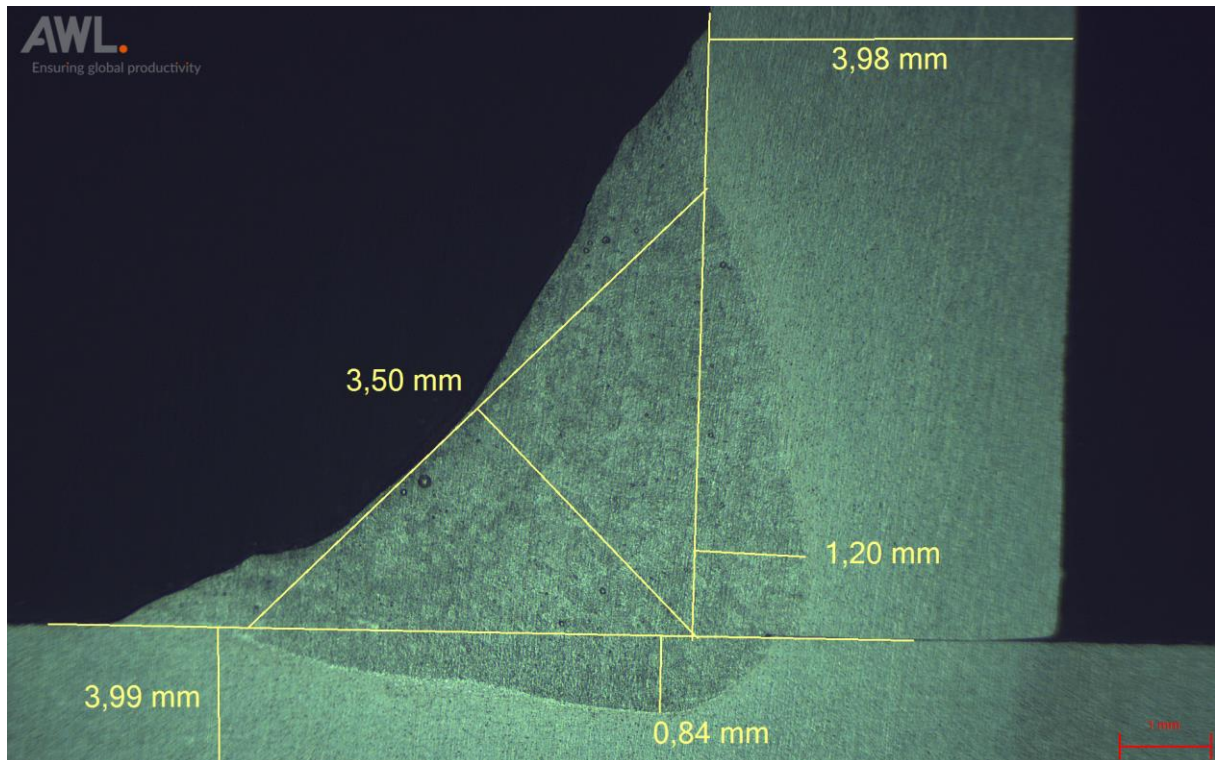
TABEL 8 RESULTATEN VERSCHIL ALUMINIUM LEGERINGEN

Plaat-dikte	Type las	Proces variant	Legering	Vermogen [Watt]	Inbrandingsdiepte L1 Inbrandingsdiepte L2 [mm]	Keelhoogte [mm]
2+2	Hoek	PMC Mix drive	EN AW-5754	2090	L1= 0,40 L2= 1,28	1,88
			EN AW-6082	2075	L1= 0,43 L2= 1,17	1,84
2+2	Overlap	PMC Mix drive	EN AW-5754	2460	L1= 0,85 L2= n.v.t.	1,92
			EN AW-6082	2460	L1= 0,76 L2= n.v.t.	1,79
4+4	Hoek	PMC Ripple drive	EN AW-5754	2570	L1= 0,84 L2= 1,20	3,50
			EN AW-6082	2570	L1= 1,12 L2= 1,02	3,08
4+4	Overlap	PMC Ripple drive	EN AW-5754	2700	L1= 0,82 L2= n.v.t.	3,21
			EN AW-6082	2705	L1= 1,14 L2= n.v.t.	3,78

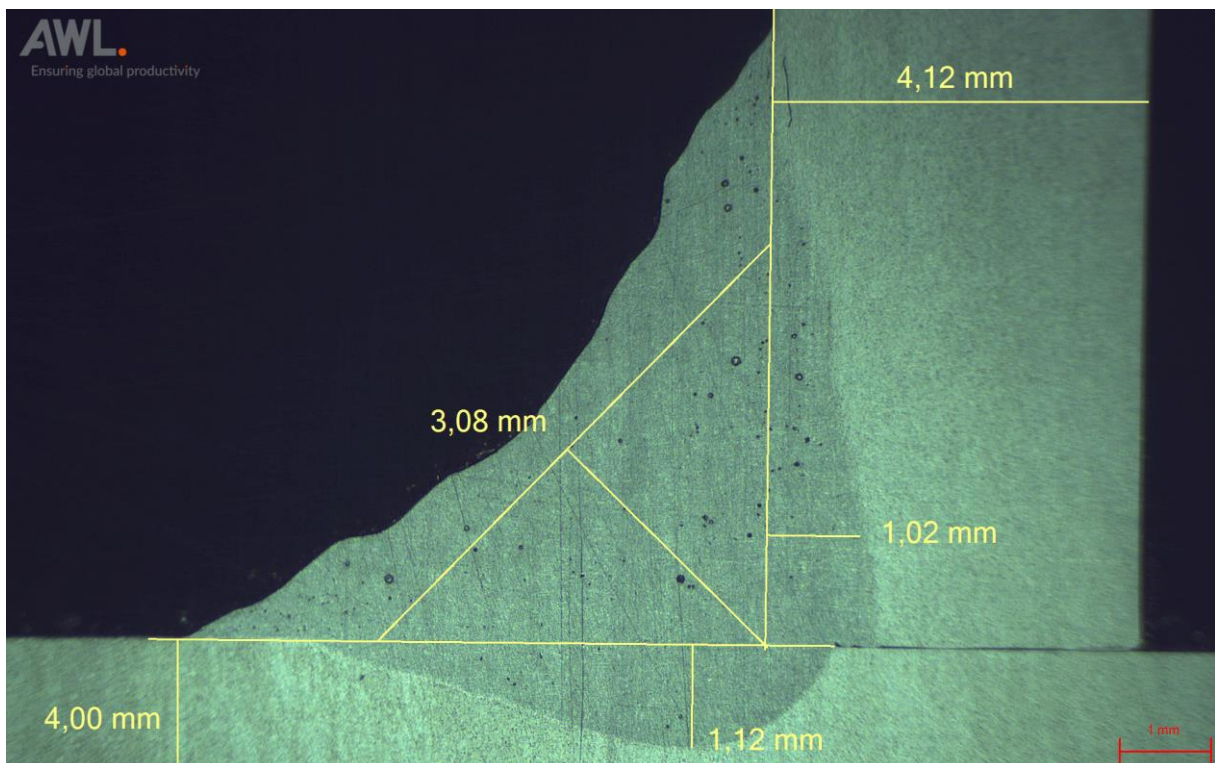
4.2 Discussie aluminium legeringen

Er zijn kleine verschillen in inbrandingsdiepte en keelhoogte op de overlappende las PMC Ripple drive na. PMC Ripple drive wordt aangestuurd met een hoge fase gevolgd door een uitgeschakelde fase. Het verschil in inbranding is te verklaren op de positie waar de macro is uitgenomen.

In de figuren 14 en 15 is dezelfde test uitgevoerd op zowel de EN AW-5754 legering als de EN AW-6082 legering. De vorm van de inbranding is op het tegenhouden van het lasbad door de oxidehuid bij de EN AW-6082 legering nagenoeg gelijk. De kleinere inbranding is hiermee aantoonbaar verwaarloosbaar als het gaat om het verschil tussen deze legeringen.

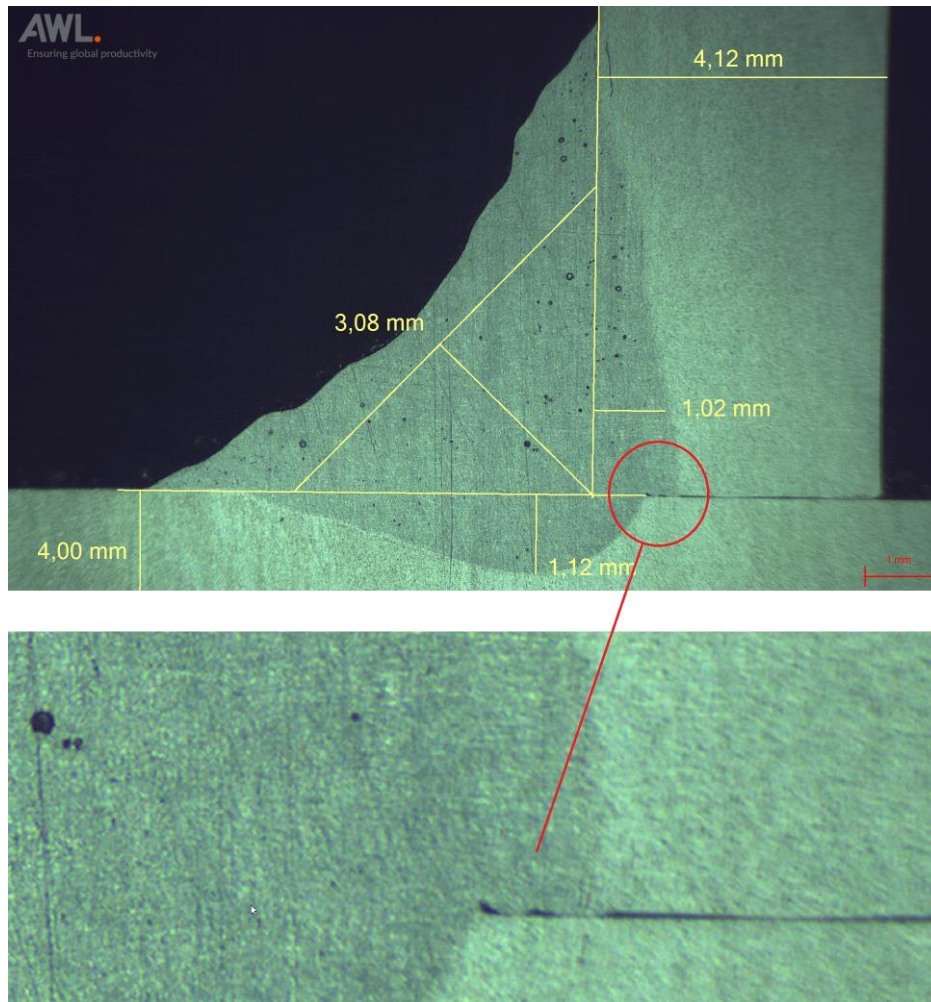


FIGUUR 14 MACRO EN AW-5754 PMC RIPPLE DRIVE 4+4 MILLIMETER



FIGUUR 15 MACRO EN AW-6082 PMC RIPPLE DRIVE 4+4 MILLIMETER

Bij beide legeringen wordt het lasbad tegengehouden door de oxidehuid. Bij de EN AW-6082 is dit echter meer dan de EN AW-5754 legering. De oxidehuid heeft een hoger smeltpunt dan de aluminium legering waardoor het lasbad door de oxidehuid tegen gehouden wordt. Het verwijderen van de oxidehuid heeft plaatsgevonden na het monteren van de materialen in de lasmal. Dit houdt in dat de oxidehuid op de positie waar het lasbad tegengehouden wordt, niet verwijderd is.



FIGUUR 16 TEGENHOUDEN LASBAD OXIDEHUID EN AW-6082

De oxidehuid bij de EN AW-5754 legering is op dezelfde manier als de EN AW-6082 verwijderd. Het lasbad wordt bij de EN AW-5754 minder tegen gehouden door de oxidehuid dan de EN AW-6082. Door de toevoeging van silicium bij de EN AW-6082 legering is de smeltemperatuur lager. Waar de EN AW-5754 weinig materiaal omsmelt boven de oxidehuid, smelt de EN AW-6082 meer materiaal om. In de kwaliteitscriteria van aluminium lasboog norm van Renault staat het niet beschreven. Dit houdt in dat er een klein verschil aan inbrandingsvorm is, maar het verschil aanwezig mag zijn.

De keelhoogte is bij de EN AW-6082 niet juist ingetekend, de onderste lijn moet doorlopen tot het einde van de beenlengte. De keelhoogte komt daarmee nagenoeg gelijk uit. Daarnaast vertonen de processtabiliteit en het uiterlijk geen verschil. Hiermee kan geconcludeerd worden dat de verschillen dusdanig klein zijn dat de testen niet op beide legeringen uitgevoerd hoeven te worden.

5. Testen stabiel proces

De testen voor een stabiel proces worden uitgevoerd op de overlappende las en binnenhoeklas. De testen bevatten een analyse op een stabiel proces. Er wordt gekeken naar de laagst en hoogst mogelijke voorloopsnelheid waarbij het proces stabiel blijft. Er is gekozen voor een minimale en maximale snelheid omdat de robot niet altijd de ingestelde snelheid kan halen. Na het uitvoeren van de testen wordt er door het laboratorium van AWL macro onderzoek uitgevoerd.

Vanwege het al aanwezig materiaal bij AWL en de testen niet op beide legeringen uitgevoerd hoeven te worden, zijn de testen van de overlappende las uitgevoerd op de EN AW-5754 legering. De testen van de binnenhoeklas zijn op de EN AW-6082 legering uitgevoerd. Er is geen bewuste keuze gemaakt om de legeringen op deze manier toe te wijzen. De programmering voor de overlappende las was als eerste gereed en de EN AW-5754 legering had al de juiste afmeting voor de testen. Hierdoor is er begonnen met de overlappende las en de EN AW-5754 legering.

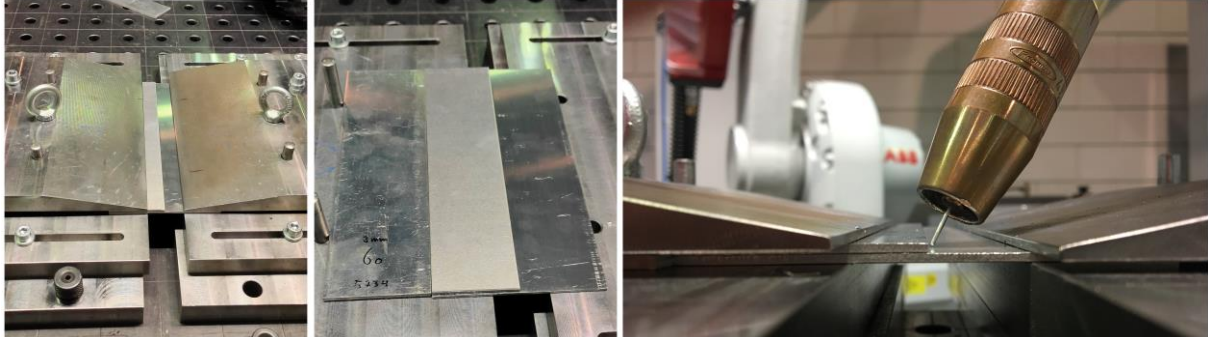
Alle testen zijn uitgevoerd met de volgende gegevens:

- Fronius TPS 500i lasbron.
- Fronius SB 60i R, CMT-push/pull systeem.
- Fronius 25i REEL R, draadaanvoer unit.
- Fronius WF 60i Robacta Drive CMT/W toorts.
- Een ABB-robot met zes assen.
- Een Siegmund lastafel.
- lasmatten voor de overlappende- en binnenhoeklas.
- AW-4043 (AlSi5) 1,2 millimeter lasdraad.
- 100% argon met vijftien liter per minuut.
- Positie PA, onder de hand lassen.
- Toortsstand van 45 graden ten opzichte van de onderste plaat.
- S2-step trigger modus, zie Bijlage 8 Beschrijving parameters Fronius TPSi.
- Vier lasprocesvarianten:
 - o PMC Ripple drive.
 - o PMC Mix drive.
 - o PMC Universeel.
 - o CMT Mix drive.
- Plaatdiktecombinaties:

o 1,5 + 1,5	o 2 + 3
o 2 + 1,5	o 2 + 4
o 3 + 1,5	o 3 + 3
o 4 + 1,5	o 3 + 4
o 2 + 2	o 4 + 4
- Macro onderzoek op één punt in de las.
- Het reinigen van het oppervlak met aceton, oxidehuid verwijderen met een rvs-borstel en het schoonblazen van het oppervlak, zie Bijlage 9 Schoonmaakttest.
- de testen zijn uitgevoerd aan de hand van het stappenplan uit Bijlage 10 Stappenplan uitvoeren testen.

In Bijlage 7 De testopstelling, is een uitgebreide weergave van de testopstelling weergegeven.

Het te testen materiaal van de overlappende las bestaat uit twee verschillende afmetingen. De onderste plaat heeft een afmeting van 100*200 millimeter. De plaat die er bovenop ligt heeft een afmeting van 50*200 millimeter. Door de afmetingen en het inspannen tegen een vast punt aan één kant, is het inspannen van het materiaal herhaalbaar. Ook bevindt de las zich in het midden van de onderste plaat. In onderstaande afbeelding is te zien hoe het materiaal ingespannen is.



FIGUUR 17 OPSTELLING OVERLAPPENDE LAS

Het te testen materiaal van de binnenhoeklas heeft een afmeting van 100*200 millimeter. Dit geldt voor zowel de liggende als de opstaande plaat. In onderstaande figuur is te zien hoe het materiaal is ingespannen in de lasmal. Door gebruik te maken van een 70 millimeter afstandsplaat, wordt de onderste plaat constant op dezelfde manier ingespannen. De opstaande plaat is exact in het midden van de onderste plaat gepositioneerd. Daarnaast is de toorts altijd op 45 graden ten opzichte van de onderste plaat geteicht.



FIGUUR 18 OPSTELLING BINNENHOEKLAS

5.1 Resultaat testen stabiel proces

De resultaten die uit de testen van het stabiele proces zijn gekomen, zijn uitgezet in staafgrafieken. Per type las, lasprocesvariant en plaatdiktecombinatie is er gekeken of het proces stabiel is en of de kwaliteitscriteria voldoen aan de hand van macro onderzoek.

Om te zien welk lasprocesvariant het beste past bij het type las en plaatdiktecombinatie, zijn er beoordelingstabellen bedacht. De beoordelingstabel bestaat uit de volgende delen:

- Beschrijving van het proces, plaatdiktecombinatie, gebruikte snelheid en draadsnelheid.
- Kwaliteitscriteria volgens de lasboognorm van Renault.
- Hoeveelheid insluitsels.
- Aanwezigheid van scheurvorming.
- Gebrek aan fusie.
- Of het een stabiel proces is.

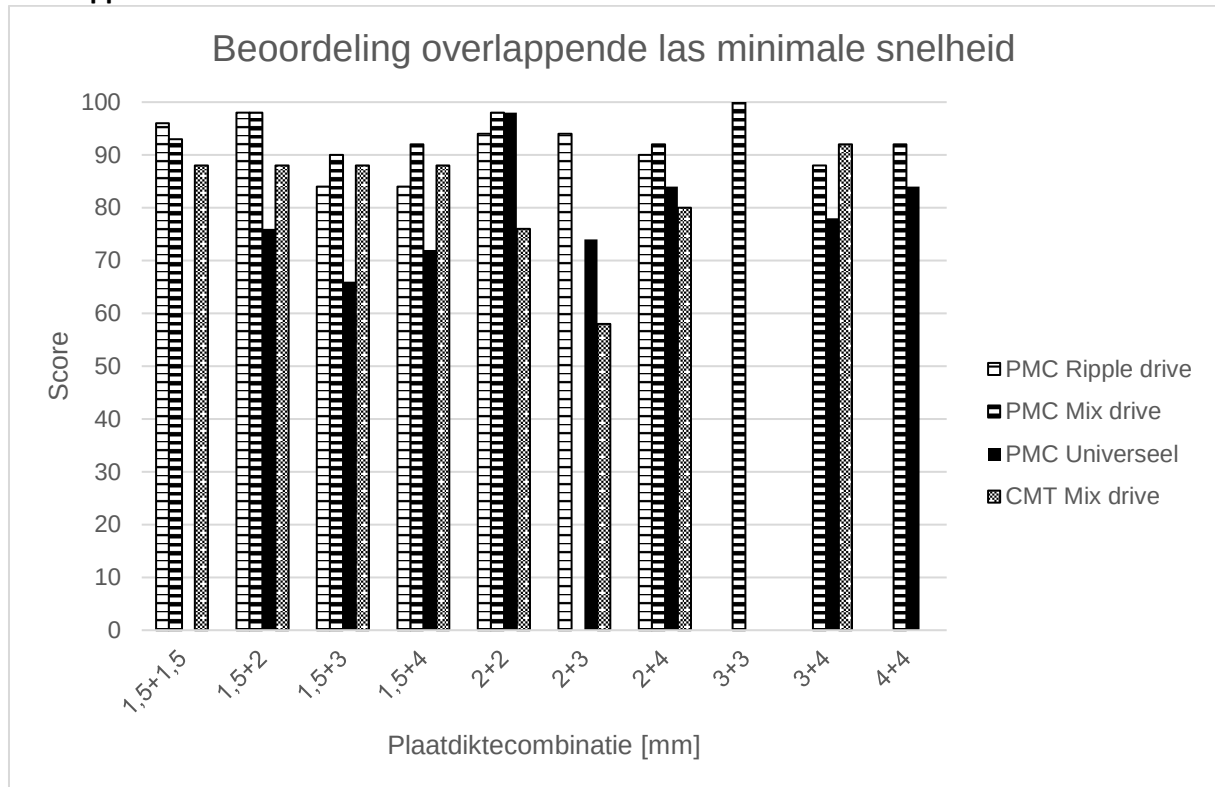
De beoordelingstabellen zijn na het uitvoeren van alle testen gemaakt. In de uitkomsten van de testen zijn de bovengenoemde delen naar voren gekomen. Hierdoor zijn de beoordelingstabellen beperkt tot het bovenstaande.

Daarnaast wordt er een score bepaald op basis van de hoeveelheid insluitsels, scheurvorming, gebrek aan fusie en stabiel proces. Een score wordt pas bepaald als de kwaliteitscriteria voldoen aan de Renault norm, zie Bijlage 6 Aluminium lasboog norm Renault. Daarnaast geldt er een wegingsfactor waarmee de score vermenigvuldigt dient te worden. Door een wegingsfactor toe te passen kunnen onderdelen zwaarder beoordeeld worden. Een voorbeeldtabel en alle scores zijn terug te vinden in Bijlage 11 Resultaten stabiel proces.

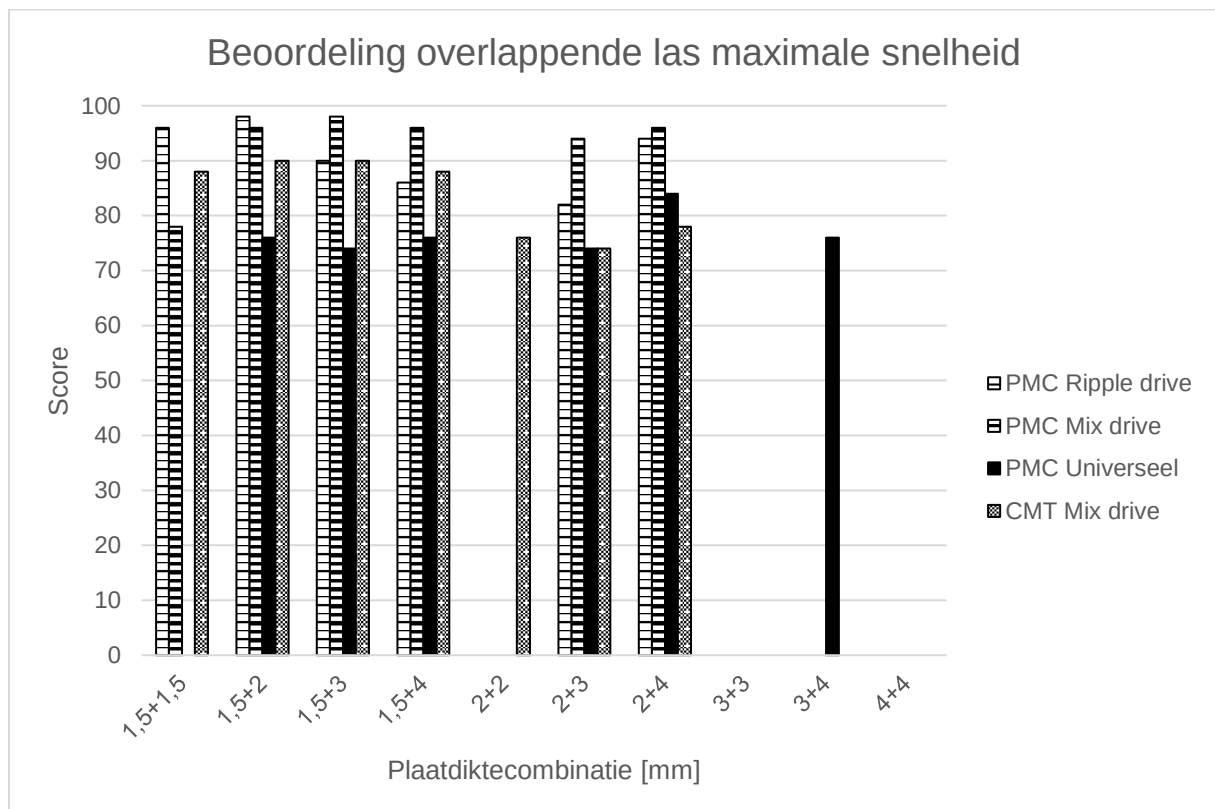
Er zijn vier staafgrafieken gemaakt, die als volgt verdeeld zijn:

- Overlappende las
 - o Minimale snelheid
 - o Maximale snelheid
- Binnenhoeklas
 - o Minimale snelheid
 - o Maximale snelheid

Overlappende las

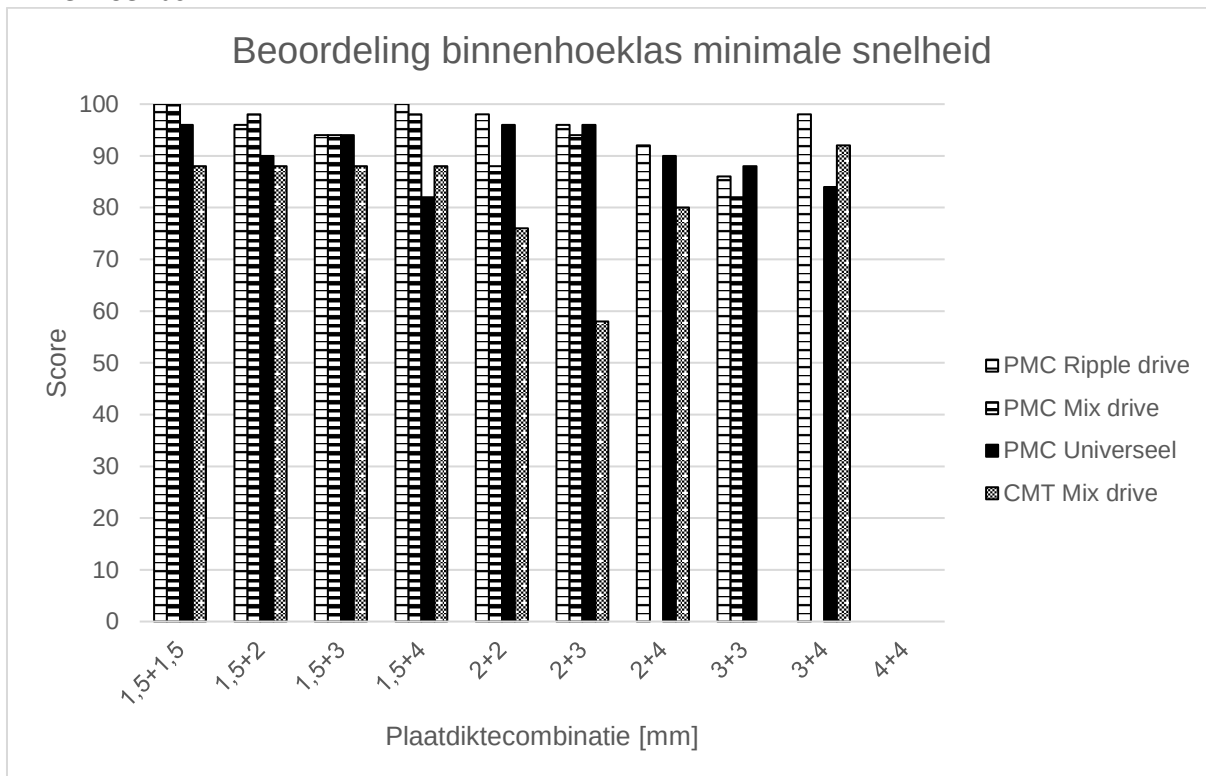


FIGUUR 19 BEOORDELINGSGRAFIK MINIMALE SNELHEID OVERLAPPENDE LAS

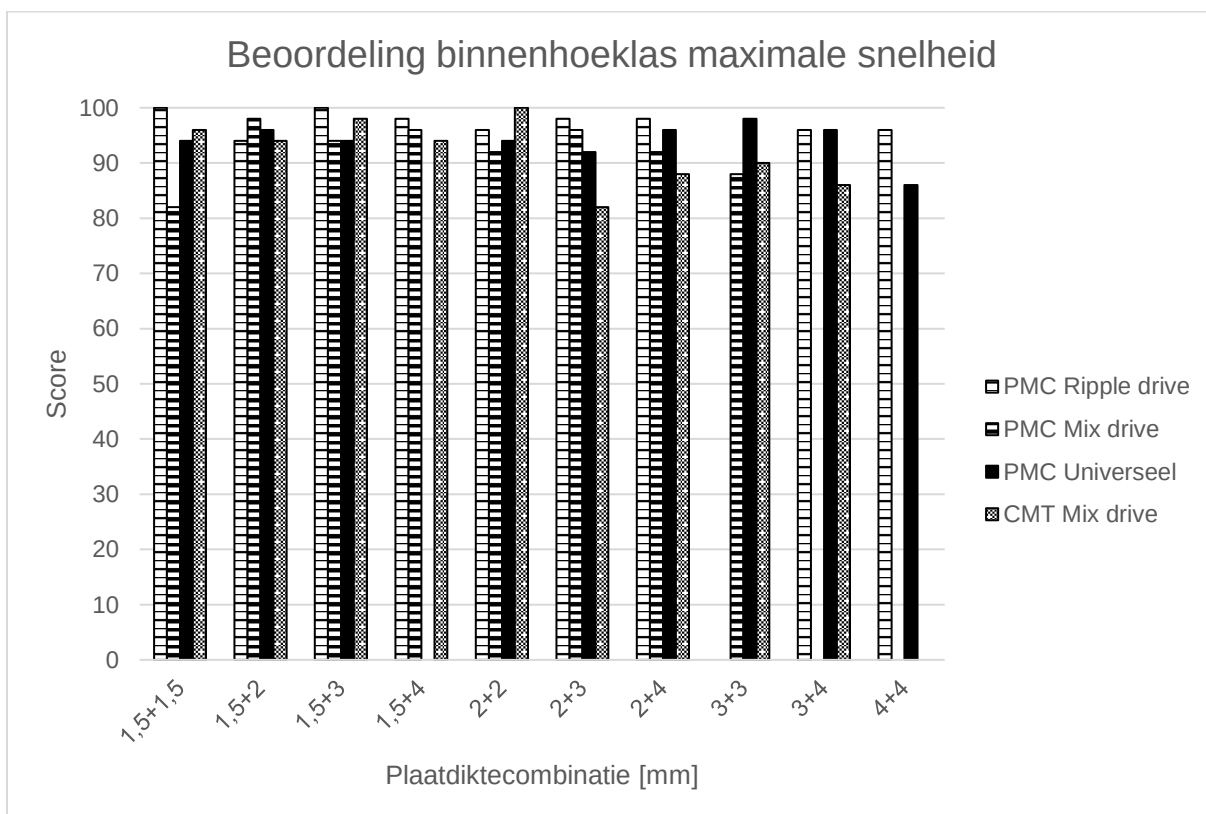


FIGUUR 20 BEOORDELINGSGRAFIK MAXIMALE SNELHEID OVERLAPPENDE LAS

Binnenhoekklas



FIGUUR 21 BEOORDELINGSGRAFIEK MINIMALE SNELHEID BINNENHOEKKLAS



FIGUUR 22 BEOORDELINGSGRAFIEK MAXIMALE SNELHEID BINNENHOEKKLAS

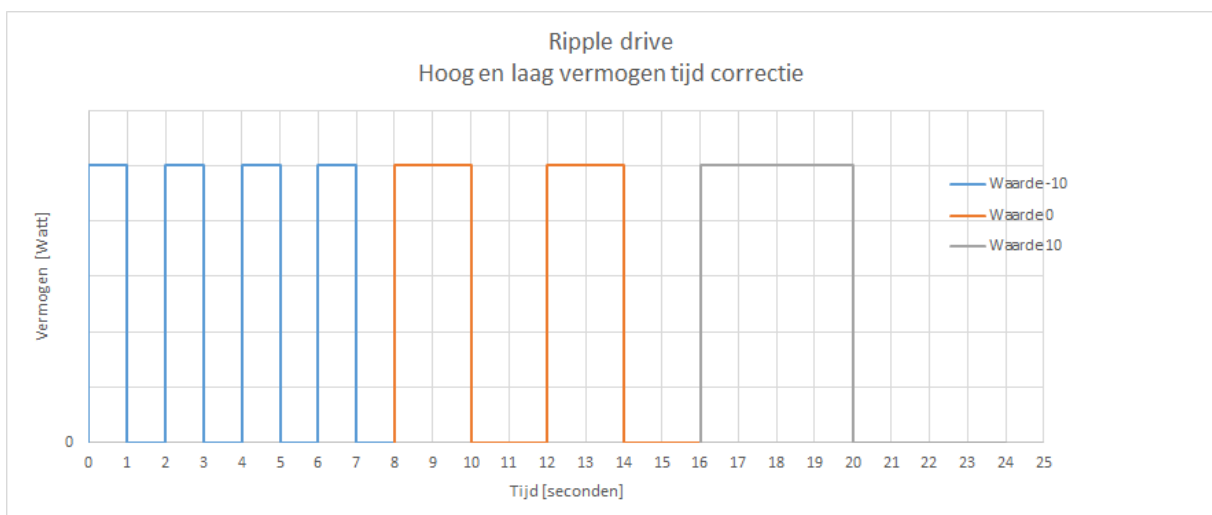
5.2 Discussie stabiel proces

Elke plaatdiktecombinatie heeft een of meer lasprocesvarianten waarbij het proces stabiel is en voldoet aan de kwaliteitscriteria. Bij grotere plaatdiktecombinatie worden de kwaliteitscriteria steeds minder vaak behaald. De keelhoogte plus inbrandingsdiepte is bij een minimale plaatdikte van drie millimeter moeilijker te behalen. Degene die voldoen aan de kwaliteitscriteria wordt de keelhoogte plus inbrandingsdiepte net aan gehaald. Om meer foutmarge te hebben dient er nader onderzoek gedaan te worden om de keelhoogte plus inbrandingsdiepte te vergroten.

De volgende lasprocesvarianten hebben een aanpassing in de basisinstelling nodig voor een stabiel proces:

- Overlappende las:
 - o PMC Ripple drive
 - o PMC Mix drive
 - o PMC Universeel
 - o CMT Mix drive
- Binnenhoeklas:
 - o PMC Ripple drive
 - o PMC Mix drive

Voor beide type lassen geldt dat PMC Ripple drive en PMC Mix drive dezelfde aanpassing nodig hebben. Beide processen maken gebruik van een hoge en lage fase. De periode van de fases zijn te lang, waardoor er een te koude periode opgevolgd wordt door een te warme periode. Een aanpassing in de periode kan op twee manieren. Handmatig een tijds correctie op de periodes uitvoeren, hoog- en laagvermogen tijds correctie. (Fronius, 2019) Hiermee kan de periode verkleind worden. De waarde kan bij beide lasprocesvarianten aangepast worden van min tien naar plus tien. Omdat het een tijds correctie is, is de aanpassing dimensie loos.



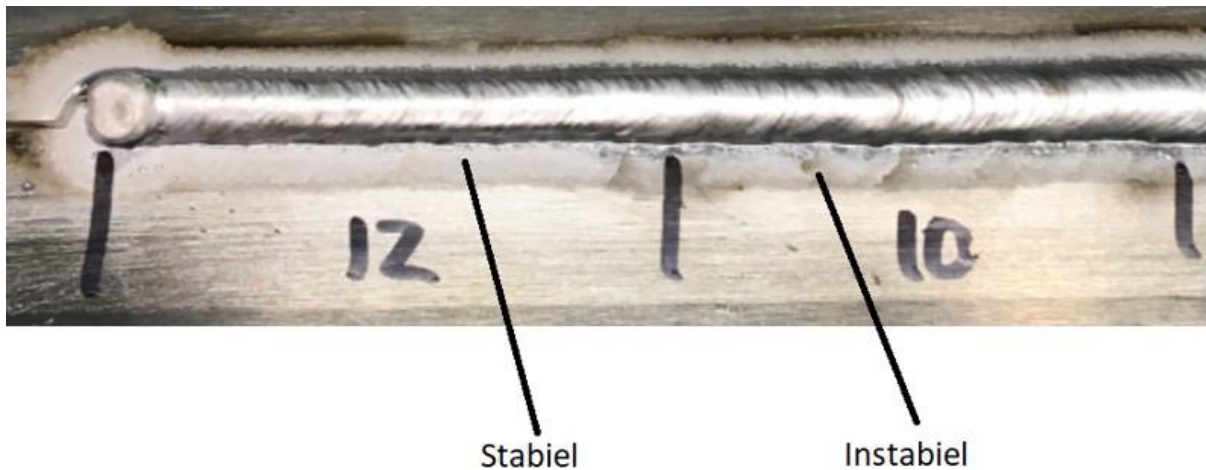
FIGUUR 23 HOOG- EN LAAGVERMOGEN TIJD CORRECTIE PMC RIPPLE DRIVE

Daarnaast kan er gebruik worden gemaakt van Synchronpuls. Door Synchronpuls te activeren kan er vloeiend tussen de fases geschakeld worden. Daarnaast worden er door het activeren van Synchronpuls vijf parameters actief. Hieronder valt het aanpassen van de frequentie. Door het verhogen van de frequentie, volgen de periodes elkaar sneller op. Meer informatie over Synchronpuls is te vinden in Bijlage 8 Beschrijving parameters Fronius TPSi.

Bij PMC Universeel en CMT Mix drive raakt de lasdraad het lasbad bij de overlappende las. Dit geeft spettervorming, een instabiele boog en een knetterend geluid. Het aanraken van het lasbad wordt veroorzaakt door een te groot lasbad. Er wordt te veel materiaal van de bovenste plaat omgesmolten waardoor het lasbad te groot wordt.

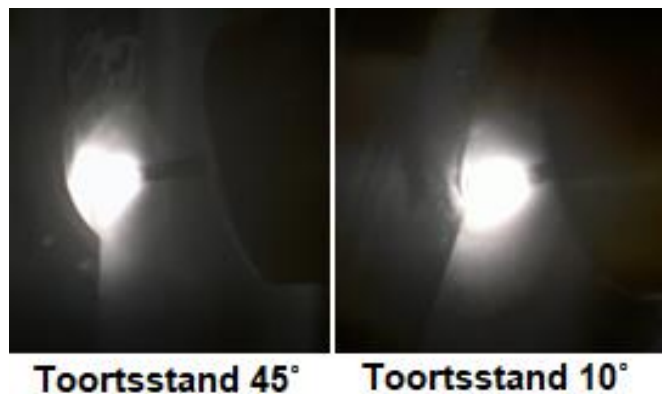
Spettervorming wordt veroorzaakt door het kortsluiten van de lasdraad met het lasbad. Bij CMT Mix drive is minder dan bij PMC Universeel omdat de spanning wordt verlaagd zodra de lasdraad het lasbad raakt. Het lasbad is zo groot dat als de lasdraad wordt teruggetrokken de lasdraad dusdanig dicht op het lasbad bevindt, er vrijwel direct contact tussen de lasdraad en het lasbad is.

Bij PMC Universeel wordt bij het aantikken van het lasbad de lasboog naar voren gedrukt om vervolgens volledig te doven. De lasboog wordt naar voren gedrukt omdat daar nog geen lasbad gevormd is en de lasboog daar intact kan blijven. Naast dat het tijdens het lassen zichtbaar is, is het ook visueel zichtbaar na het lassen. In onderstaande afbeelding zijn er twee situaties weergegeven. Nummer twaalf is een stabiel proces en bij nummer tien raakt de lasdraad het lasbad. Bij nummer tien zijn wolkachtige strepen te zien, dit is het gevolg van het naar voren gaan en doven van de boog.



FIGUUR 24 PRIKKEN VAN DE LASDRAAD IN HET LASBAD VISUEEL ZICHTBAAR

In onderstaande figuur is te zien dat bij een toortsstand van 45 graden veel materiaal van de bovenste plaat omgesmolten wordt. De toorts rechter op zetten, wordt het lasbad meer op de onderste plaat gericht. Hierdoor wordt er minder materiaal van de bovenste plaat omgesmolten en ontstaat er meer ruimte voor de lasboog tussen het lasbad en lasdraad.



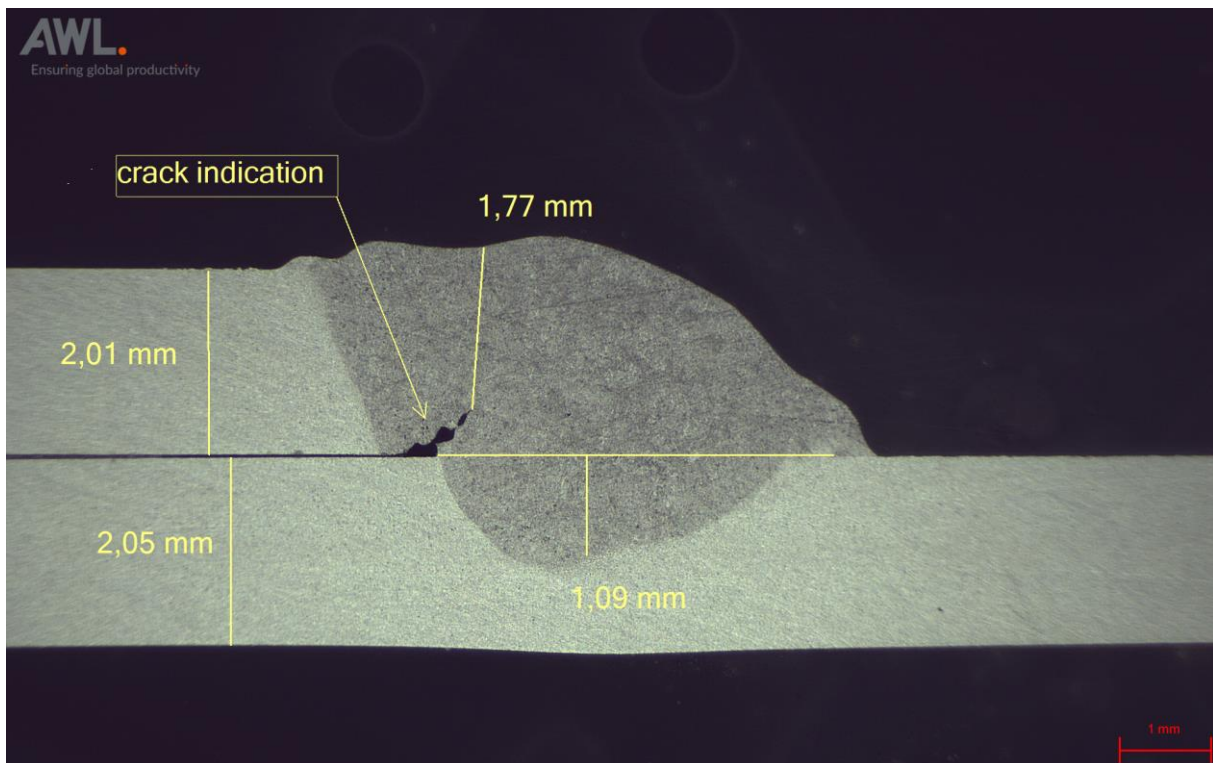
FIGUUR 25 AANPASSEN TOORTSSTAND VOOR EEN KLEINER LASBAD

Bij de testopstelling waar het onderzoek op uit is gevoerd is ruimte genoeg om de toortsstand aan te passen. Echter is dit bij de machines die AWL ontwikkeld niet altijd het geval. In het geval dat het aanpassen van de toortsstand niet haalbaar is, kan er gebruik worden gemaakt van booglengte correctie. Door een positieve booglengte correctie toe te passen wordt de lasboog vergroot. De boog komt verder van het lasbad af. Het nadeel van een grotere booglengte is een breder lasbad en een hogere boogspanning waardoor er een diepere inbranding ontstaat.



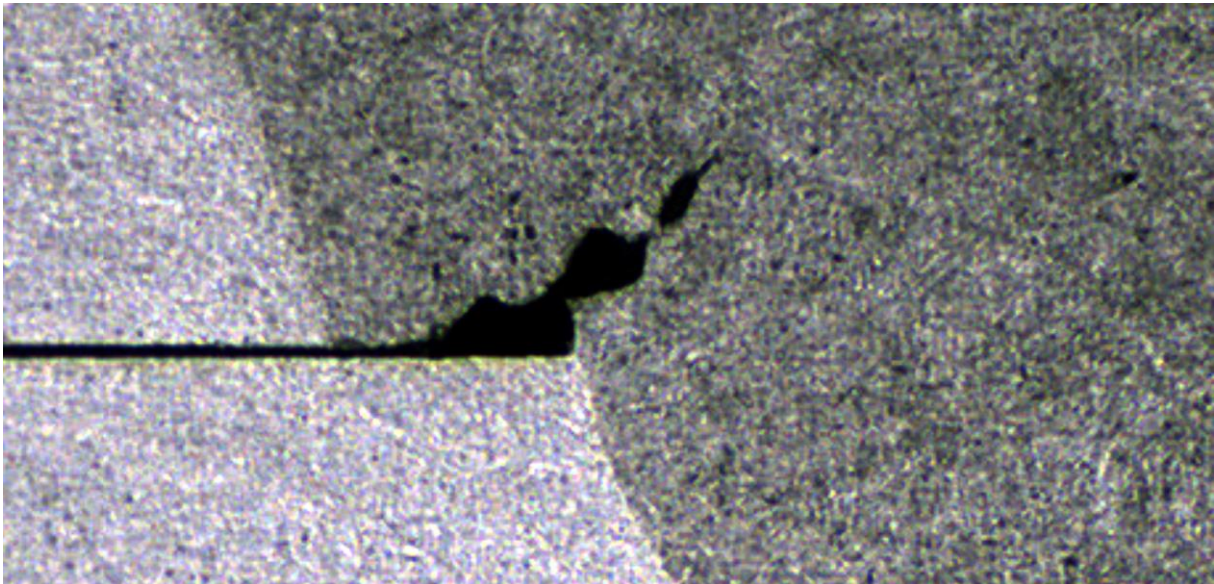
FIGUUR 26 BOOGLENGTE CORRECTIE

Naast de correcties in de parameters, is er bij de overlappende las een indicatie van scheurvorming zichtbaar. In onderstaande figuur is een scheurindicatie te zien.



FIGUUR 27 SCHEURINDICATIE OVERLAPPENDE LAS PMC RIPPLE DRIVE

De scheurindicatie, zoals weergegeven in figuur 28, is ontstaan door het krimpen van het materiaal. Doordat er aan de linkerkant twee keer zoveel materiaal is, vloeit er meer warmte aan de linkerkant weg dan aan de rechterkant. De las koelt hierdoor sneller aan de linkerkant. De oxidehuid is op kleine doorzakkingen na nog intact. Door het snellere afkoelen en intact zijn van de oxidehuid, krimpt het materiaal en kan het niet terug keren naar oorspronkelijke vorm. Hierdoor ontstaat er een holle ruimte. De vorm van de holle ruimte kan een scheurindicatie geven, in scheur is volgens de norm van Renault niet toegestaan. Daarnaast is de keelhoogte kleiner door de holle ruimte, afkeur op kwaliteitscriteria kan een gevolg zijn.

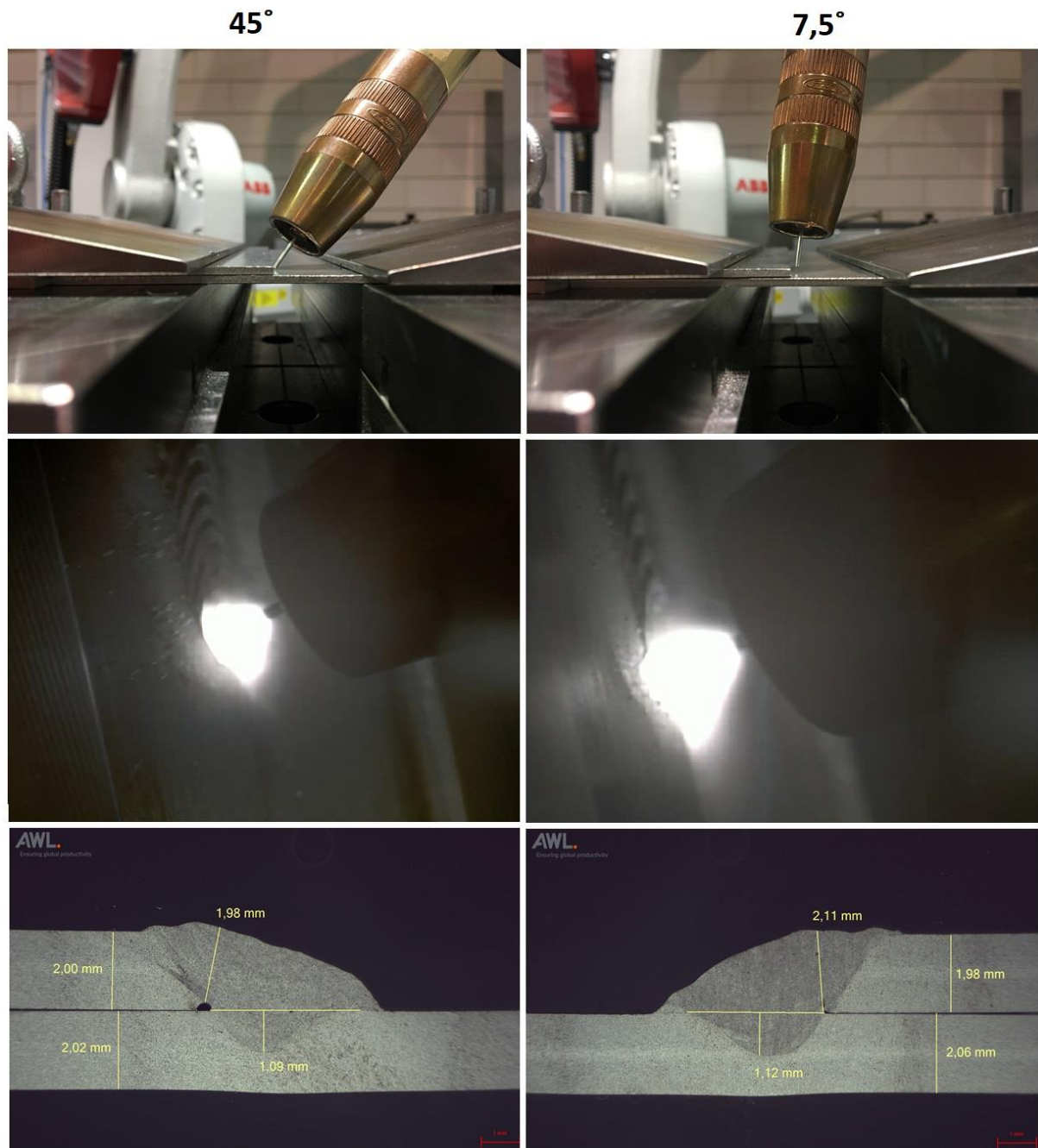


FIGUUR 28 HOLLE RUIMTE ONTSTAAN DOOR KRIMP VAN HET MATERIAAL

Door de vormgeving is de ongelijke afkoeling van de las niet te voorkomen. De oxidehuid is aan de onderzijde van de bovenste plaat niet verwijderd. Het verwijderen van de oxidehuid zorgt ervoor dat er meer doorlassing is en er minder kans is op het ontstaan van een holle ruimte door krimp.

Het doorzakken van de oxidehuid kan voorkomen worden door het afschuinen van de kanten aan de onderzijde van de bovenste plaat. Het afschuinen van de kanten zorgt ervoor dat het oxide beter kan wegvloeien. (Stoop, et al., 2010, p. 47)

Daarnaast is aanpassen van de toortsstand een optie om het lasbad meer op de onderste plaat te richten. Hiermee wordt er minder materiaal van de bovenste plaat omgesmolten. Minder omsmelting van materiaal geeft minder krimp. In figuur 29 is een aanpassing in de toortsstand van 45 graden naar 7,5 graden richting de bovenste plaat te zien. Er wordt minder materiaal omgesmolten en de holle ruimte wordt kleiner.



FIGUUR 29 AANPASSING TOORTSSTAND WAARDOOR ER MINDER KRIMP IS

6. Startfase

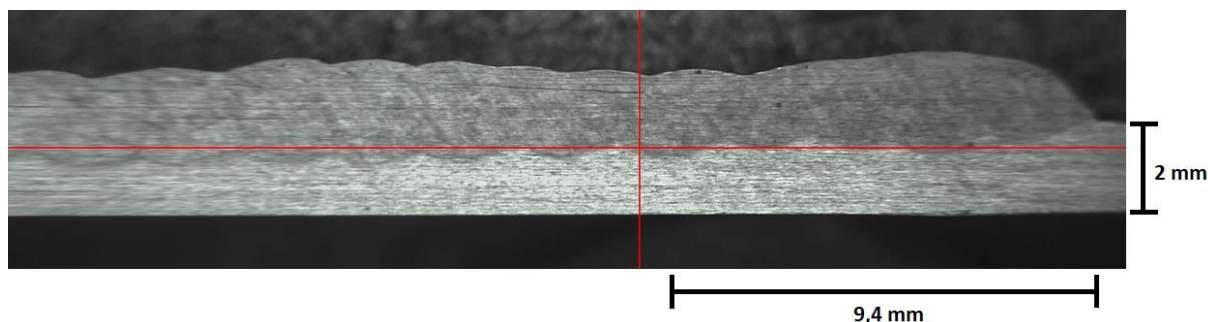
De startfase kan het beste omschreven worden als de fase waarin de las nog niet als volledig beschouwd kan worden. Zoals beschreven in de achtergrondinformatie hoeft de las in de eerste tien millimeter niet te voldoen aan de kwaliteitscriteria, die de Renault norm stelt. Het uitgangspunt voor de startfase is hierdoor het behalen van de kwaliteitscriteria op tien millimeter in een zo kort mogelijke tijd.

De testen van de startfase beperkt zich tot twee lasprocesvarianten. Alle testen zijn uitgevoerd met de volgende gegevens:

- Fronius TPS 500i lasbron.
- Fronius SB 60i R, CMT-push/pull system.
- Fronius 25i REEL R, draadaanvoer unit.
- Fronius WF 60i Robacta Drive CMT/W toorts.
- Zes assen ABB-robot.
- Siegmund lastafel.
- Lasmallen voor de overlappende- en binnenhoeklas.
- AW-4043 (AlSi5) 1,2 millimeter lasdraad.
- EN AW-6082.
- 100% argon met vijftien liter per minuut.
- Positie PA, onder de hand lassen.
- S2-step trigger modus, zie Bijlage 8 Beschrijving parameters Fronius TPSi
- Het reinigen van het oppervlak met aceton, oxidehuid verwijderen met een rvs-borstel en het schoonblazen van het oppervlak. Zie Bijlage 9 Schoonmaaktest.
- PMC Ripple drive:
 - o Voorloopsnelheid van twaalf millimeter per seconden.
 - o Draadsnelheid van vier meter per minuut.
- PMC Universeel:
 - o Voorloopsnelheid van twaalf millimeter per seconden.
 - o Draadsnelheid van drie millimeter per seconden.
- Vlakke plaat.
- Toorts haakt op de vlakke plaat en tien graden stekend.
- De testen zijn uitgevoerd aan de hand van het stappenplan uit Bijlage 10 Stappenplan uitvoeren testen.
- Een dwarsdoorsnede van de las laten maken door middel van frezen.

6.1 Resultaten startfase

PMC Ripple drive is met de parameters uit tabel 9 op een plaatdikte van twee millimeter, binnen 9,4 millimeter op de inbrandingsdiepte die over de gehele lengte van de las behaald wordt.

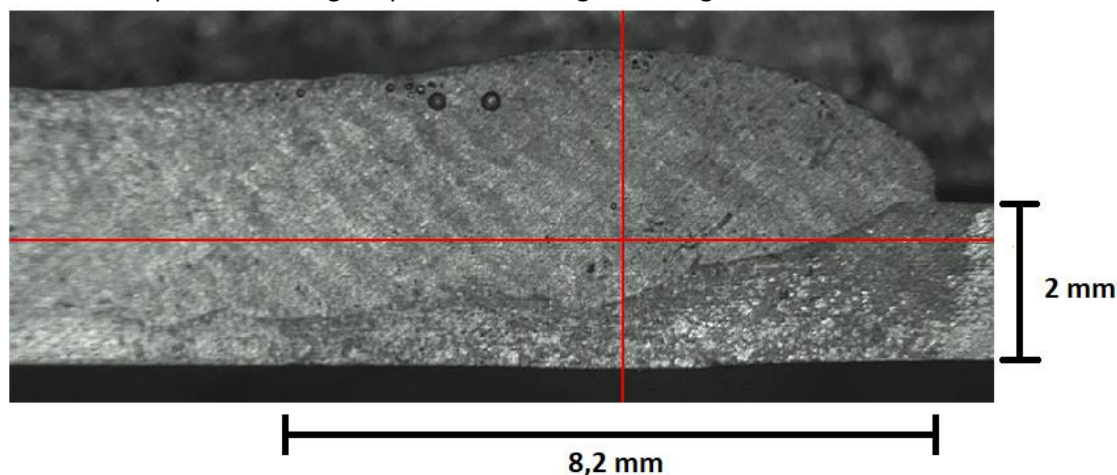


FIGUUR 30 DWARSDOORNEDE LAS VOOR INBRANDING STARTFASE PMC RIPPLE DRIVE

TABEL 9 IDEALE PARAMETERS STARTFASE PMC RIPPLE DRIVE PLAATDIKTE TWEE MILLIMETER

Startfase PMC Ripple drive plaatdikte 2 mm	
Startstroom	135%
Start booglengte correctie	+6
Tijd startstroom	0,2 seconden
Slope 1	0,2 seconden
SFI	Uit
SFI hot start	Uit

PMC Universeel is met de parameters uit tabel 10 op een plaatdikte van twee millimeter, binnen 8,2 millimeter op de inbrandingsdiepte die over de gehele lengte van de las behaald wordt.



FIGUUR 31 DWARSDOORNEDE LAS VOOR INBRANDING STARTFASE PMC UNIVERSEEL

TABEL 10 IDEALE PARAMETERS STARTFASE PMC UNIVERSEEL PLAATDIKTE TWEE MILLIMETER

Startfase PMC Universeel plaatdikte 2 mm	
Startstroom	135 %
Start booglengte correctie	+3
Tijd startstroom	0,2 seconden
Slope 1	0,2 seconden
SFI	Aan
SFI hot start	0,05 seconden

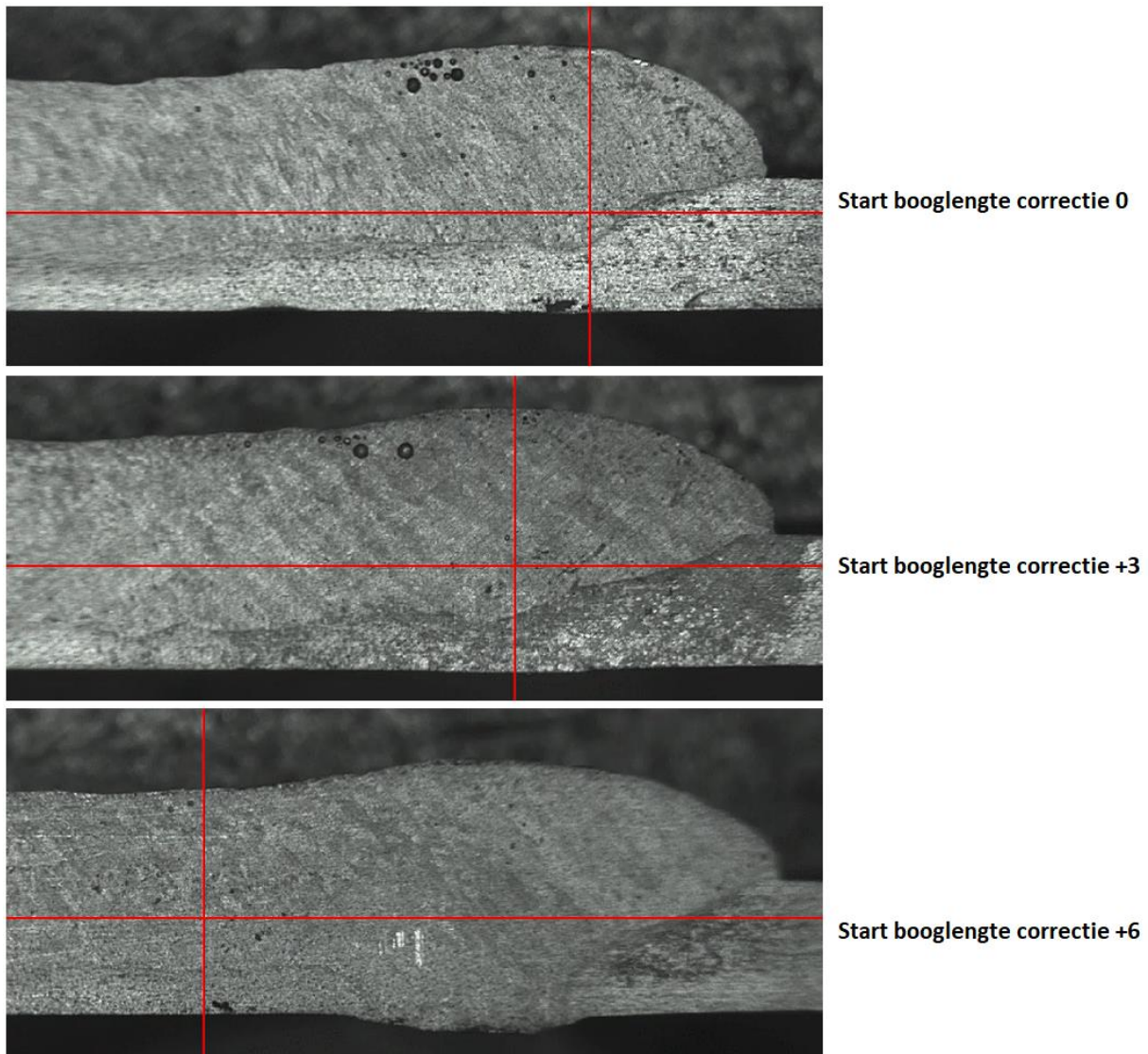
6.2 Discussie startfase

In het plan van aanpak is opgenomen dat de startfase bij tenminste één lasprocesvarianten onderzocht dient te worden. Er is voor twee lasprocesvarianten gekozen die qua warmte inbreng verschillen. Het onderzoeken van meer lasprocesvarianten maakt het onderzoek te groot.

De kwaliteitscriteria voor zowel de PMC Ripple drive als de PMC Universeel worden binnen de tien millimeter vanaf de start behaald. Dit is behaald door aanpassingen in de parameters ten opzichte van de basisinstellingen.

De basisinstelling van de startstroom is 135 procent. Voor beide lasprocesvarianten is het niet nodig om hier een aanpassing in te maken. Beide lasprocesvarianten hebben wel de mogelijkheid om een hoge startstroom te verhogen. De hoeveelheid basismateriaal onder de start van de las is voldoende voor een hoge startstroom.

Beide lasprocesvarianten hebben een positieve aanpassing in de start booglengte correctie. Een positieve booglengte correctie vergroot de booglengte. Een grotere booglengte resulteert in een hogere boogspanning. Bij een gelijkblijvende stroom wordt de warmte inbreng bij de start vergroot.



FIGUUR 32 VERSCHIL START BOOGLENGTE CORRECTIE (RODE LIJNEN ZIJN VOOR HET POSITIONEREN VAN DE CAMERA)

De starttijd staat bij de basisinstellingen uit, deze is voor zowel de PMC Ripple drive als de PMC Universeel aangepast naar 0,2 seconden. AWL hanteert altijd een starttijd om te voorkomen dat start van de las verschuift en de laslengte afwijkt. De minimale starttijd is 0,1 seconden. 0,1 seconden is niet voldoende om dezelfde startpositie herhaaldelijk te kunnen behouden. Bij het ontsteken van de boog wordt er al een vooruitgaande beweging gemaakt. Bij 0,2 seconden is dezelfde startpositie in stand te houden. Een langere tijd dan 0,2 seconden geeft een onnodige verlenging van de lastijd.

Slope 1 is het afbouwen van de startstroom naar de eindstroom. Bij beide lasprocesvarianten is 0,2 seconden voldoende, de basisinstelling is één seconden. Lager dan 0,2 seconden geeft een te snelle overgang tussen de start- en hoofdfase. De boog stikte waardoor er onvoldoende schoonbranding van het oppervlak is, zie onderstaande afbeelding. Onvoldoende schoonbranden van het oppervlak heeft meer verontreiniging in de las tot gevolg.

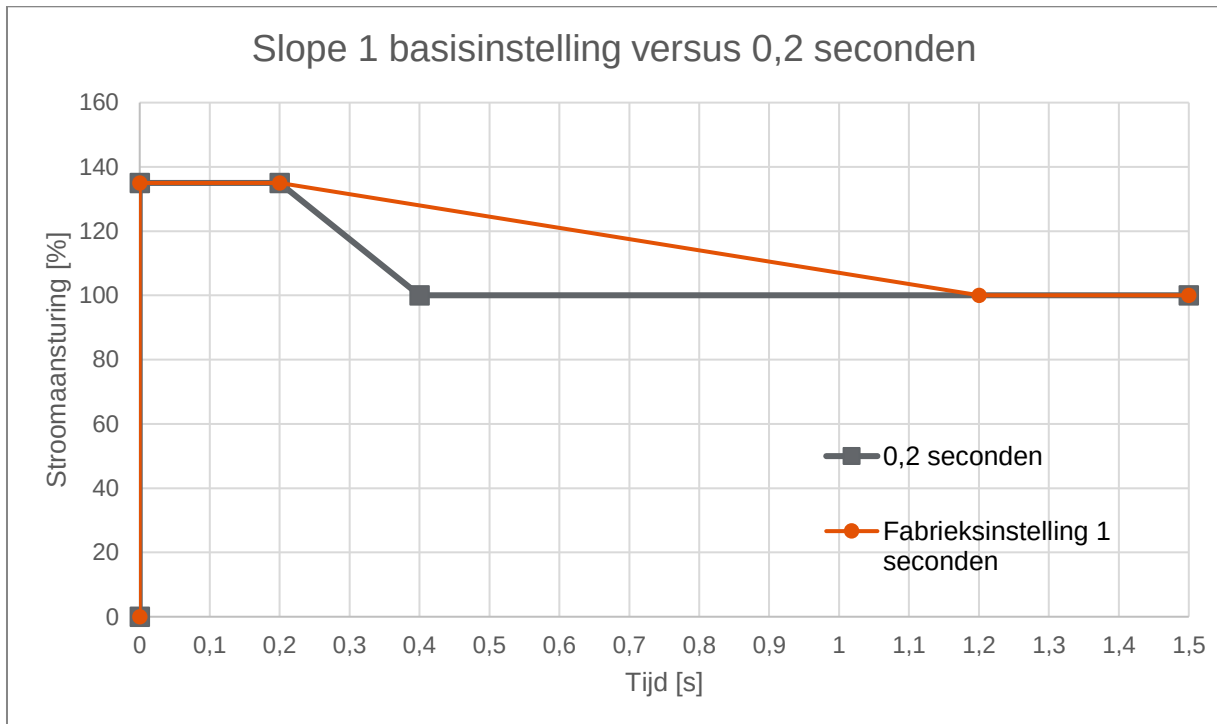


Slope 1 te laag, boog stikt door de snelle overgang

Slope 1 0,2 seconden, juiste overgang startfase naar hoofdfase

FIGUUR 33 SLOPE 1 TE KORTE TIJD EN JUISTE TIJD

Een hogere waarde voor Slope 1 geeft meer warmte inbreng in het begin van de las. Door het oppervlak onder de lijnen in figuur 34 te berekenen, is het verschil in warmte inbreng inzichtelijk. De berekening wordt dimensie loos uitgevoerd omdat het een aansturing betreft.



FIGUUR 34 VERSCHIL IN TIJD SLOPE 1

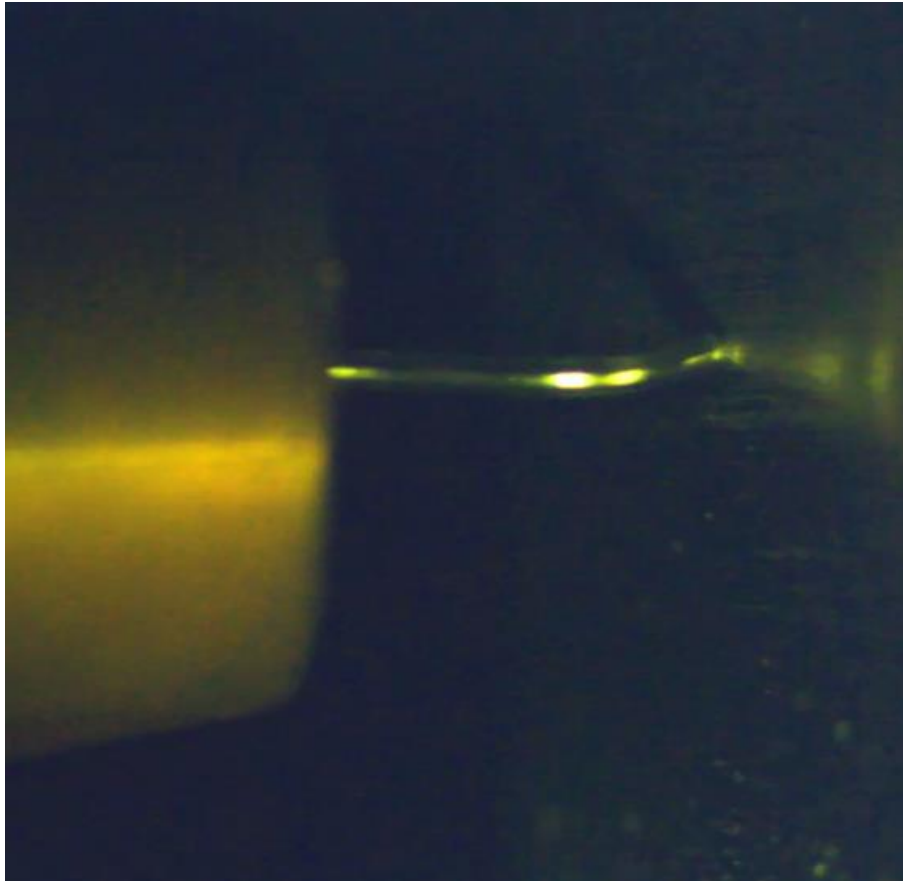
$$135 * 0,2 + \frac{35 * 0,2}{2} + 100 * 1,3 = 160,5$$

$$135 * 0,2 + \frac{35 * 1}{2} + 100 * 1,3 = 174,5$$

$$100 - \frac{160,5}{174,5} * 100 = 8\% \text{ meer warmte inbreng in de eerste 1,5 seconden bij basisinstelling.}$$

FORMULE 2 PROCENTUEEL VERSCHIL WARMTE INBRENG DOOR VERANDERING SLOPE 1

SFI staat voor spetter vrije ontsteking. Door SFI aan te zetten en een tijd bij SFI hot start in te geven van minimaal 0,01 seconden, wordt er met de start een sproeiboog ontstoken. De sproeiboog zorgt ervoor dat er meer neersmelt van toevoegmateriaal is. Hiermee wordt er meer warmte bij de start ingebracht. De fabrieksinstelling voor SFI hot start is uit. Bij PMC Universeel moet de SFI hot start geactiveerd zijn. Bij het niet activeren ondervindt PMC Universeel een startprobleem, de boog ontsteekt pas na meerdere keren. Hierdoor wordt de lasdraad verbogen en ontsteekt de boog vervolgens met een kromme lasdraad. Door het activeren van de SFI hotstart heeft PMC Universeel geen startproblemen meer.



FIGUUR 35 VERBUIGEN LASDRAAD PMC UNIVERSEEL, GEMAAKT MET EEN LASCAMERA

De starttijd is niet te verminderen ten opzichte van de basisinstelling. Het tegenovergestelde is waar, er is 0,2 seconden langer nodig dan de basisinstelling. De starttijd die AWL kan hanteren is 0,2 seconden.

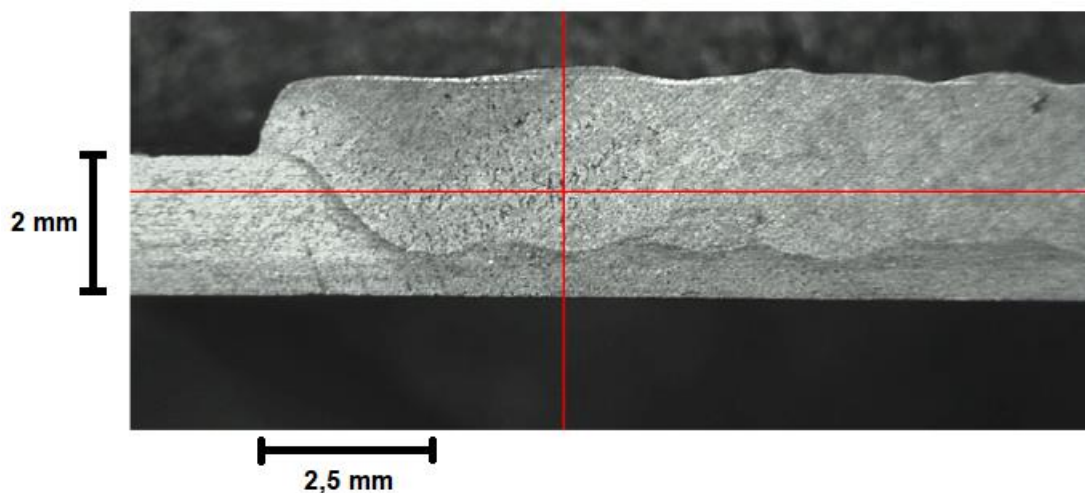
7. Eindfase

De eindfase van een las is het afbouwen van de stroom zodat het lasbad gelijkmatig stolt. Zoals beschreven in de achtergrondinformatie, hoeft de laatste tien millimeter niet te voldoen aan alle kwaliteitscriteria. In het einde van de las mogen geen scheuren voorkomen, dit worden ook wel katerscheuren genoemd.

De testen van de eindfase beperkt zich net als de startfase tot twee lasprocesvarianten. Alle testen zijn uitgevoerd met de dezelfde gegevens als de startfase.

7.1 Resultaten eindfase

PMC Ripple drive is met de parameters uit tabel 11 op een plaatdikte van twee millimeter, op 2,5 millimeter van het einde van de las voldoende ingebrand. Dit is ruim binnen de tien millimeter die behaald moet worden volgens de Renault norm.

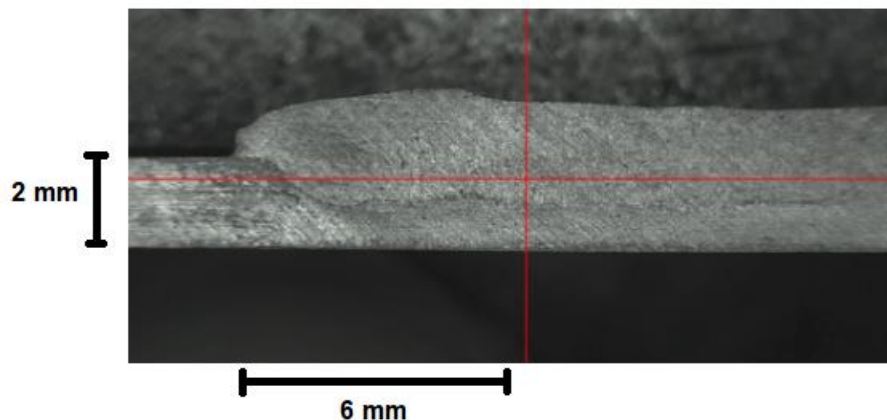


FIGUUR 36 DWARSDOORNEDE LAS VOOR INBRANDING EINDFASE PMC RIPPLE DRIVE

TABEL 11 IDEALE PARAMETERS EINDFASE PMC RIPPLE DRIVE PLAATDIKTE TWEE MILLIMETER

Eindfase PMC Ripple drive plaatdikte 2 mm	
Eindstroom	45 %
Eind booglengte correctie	0
Tijd Eindstroom	0,4 seconden
Slope 2	0,5 seconden

PMC Universeel is met de parameters uit tabel 12 op een plaatdikte van twee millimeter, op zes millimeter van het einde van de las voldoende ingebrand. Dit is ruim binnen de tien millimeter die behaald moet worden volgens de Renault norm.



FIGUUR 37 DWARSDOORNEDE LAS VOOR INBRANDING EINDFASE PMC UNIVERSEEL

TABEL 12 IDEALE PARAMETERS EINDFASE PMC UNIVERSEEL PLAATDIKTE TWEE MILLIMETER

Eindfase PMC Universeel plaatdikte 2 mm	
Eindstroom	50 %
Eind booglengte correctie	0
Tijd Eindstroom	0,4 seconden
Slope 2	0,4 seconden

7.2 Discussie eindfase

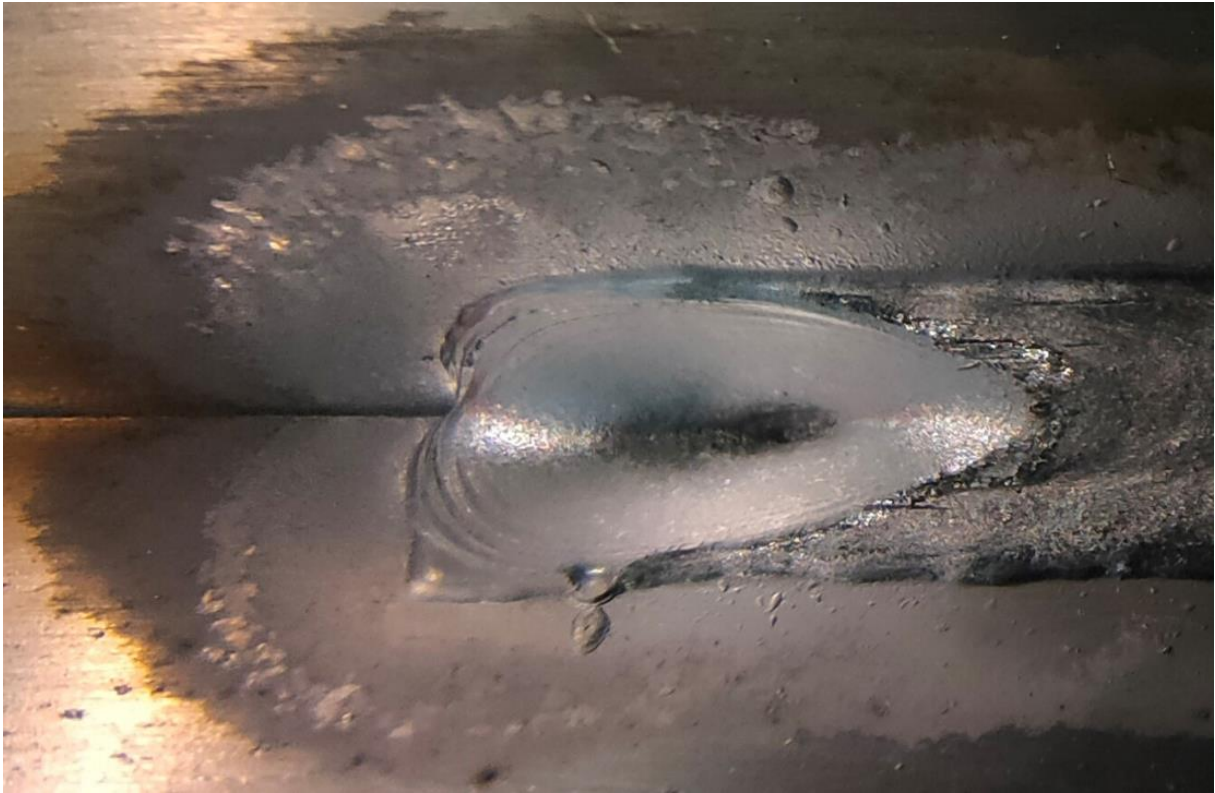
Voor zowel de PMC Ripple drive als de PMC Universeel zijn parameters te vinden waarmee de Renault norm wordt behaald.

De basisinstelling voor de eindstroom is 50 procent. Bij de PMC Ripple drive geeft dit een te diepe eindkrater. De eindstroom moet bij de PMC Ripple drive daarom verlaagd worden naar 45 procent.

Eind booglengte correctie is niet aan te raden bij beide lasprocesvarianten. Een positieve waarde waarbij de booglengte groter wordt, geeft een te warm lasbad aan het einde van de las. Een negatieve aanpassing van de eind booglengte correctie geeft een kouder eind van de las, maar hierdoor wordt de lasboog te klein waardoor de lasdraad het lasbad raakt. Om een kouder einde van de las te krijgen is het beter om de eindstroom aan te passen. Hiermee wordt voorkomen dat de lasdraad het lasbad raakt.

De eindtijd is de tijd dat de robot stilstaat aan het einde van de las. In deze tijd is de eindstroom geactiveerd. Voor beide procesvarianten is een minimale tijd van 0,4 seconden benodigd. Een kortere eindtijd heeft onvoldoende vulling van de eindkrater. Een langere eindtijd geeft onnodige vulling bovenop de eindkrater. Hierdoor wordt de eindkrater te hoog en wordt er onnodig tijd verspild.

Een onvoldoende gevulde eindkrater kan een initiatie voor een warmscheur bieden, maar is zelf geen warmscheur. In figuren 38 en 39 is te zien dat er een scheur is ontstaan bij een onvoldoende gevulde eindkrater.



FIGUUR 38 ONVOLDOENDE GEVULDE EINDKRATER



FIGUUR 39 WARMTESCHEUR TER HOOGTE VAN DE EINDKRATER VIER MILLIMETER PLAAT

Slope 2 is de overgang tussen de hoofdstroom en de eindstroom. Hoe langer deze fase is hoe meer warmte inbreng er is, vergelijkbaar met Slope 1. Een te korte Slope 2 geeft een te snelle overgang waardoor de afkoeling te snel plaatsvindt. Helaas wordt de Slope 2 pas geactiveerd als de robot stilstaat. Hierdoor moet de Slope 2 bij de lastijd opgeteld worden.

Het zou beter zijn als Slope 2 in werking treedt tijdens het bewegen van de robot. Hierdoor wordt de warmte inbreng tijdens het lassen en het bewegen afgebouwd, met een ondieper lasbad aan het eind van de las tot gevolg. Bij een ondieper lasbad op het eind is de krimp minder, eindkrater is makkelijker te vullen en de kans op scheuren wordt hiermee verkleind. Daarnaast is er minder tijd nodig om de eindkrater te vullen, wat een doorlooptijd van een product positief kan beïnvloeden.

Om de doorlooptijd positief te beïnvloeden kan ervoor gekozen worden om gebruik te maken van twee jobs. De eerste job voor de start- en hoofdfase en de tweede job voor de kratervulling. De tweede job met een lagere stroom, enkele millimeters voor het eind van de las activeren. Hiermee wordt er in de beweging van de robot afgebouwd naar een lagere stroom van job twee, gevolgd door de eindkratervulling van de tweede job.

Het is niet mogelijk om de robot onder het lassen direct van job te laten wisselen. Voor AWL is er verder onderzoek nodig om een Slope 2 te creëren die in de beweging van de robot geactiveerd wordt. Hier ligt voor AWL een mogelijkheid om de tijd van de eindfase te verminderen.

Conclusies en aanbevelingen

Een afstudeeronderzoek op het gebied van aluminium booglassen is uitgevoerd in het Fieldlab van AWL. De focus van dit onderzoek lag op het ontwikkelen van een stabiel aluminium booglasproces voor de EN AW-5754 en de EN AW-6082 legeringen. Daarnaast is er onderzoek gedaan naar het verminderen van de start- en eindfase waarbij er geen kwaliteitsverlies optreedt. Uit onderzoek is het volgende gebleken:

- Er voor elke plaatdiktecombinatie en legering een lasprocesvariant is, die stabiel is en voldoet aan de kwaliteitscriteria volgens de Renault norm. Paragraaf 5.1.
- De basisinstelling van de volgende lasprocesvarianten aangepast dienen te worden:
 - o PMC Ripple drive, hoge en lage periode aanpassen. Paragraaf 5.2.
 - o PMC Mix drive, hoge en lage periode aanpassen. Paragraaf 5.2.
 - o PMC Universeel, aanpassen toortsstand of booglengte bij de overlappende las. Paragraaf 5.2.
 - o CMT Mix drive, aanpassen toortsstand of booglengte bij de overlappende las. Paragraaf 5.2.
- MIG-lassen een passende manier is om EN AW-5754 en EN AW-6082 te lassen. Paragraaf 5.1.
- Dat door de vormgeving van de overlappende las er een ongelijke afkoeling van het lasbad ontstaat. Het materiaal is niet in staat om terug te keren naar de oorspronkelijke vorm, wat een holle ruimte tot gevolg heeft. Paragraaf 5.2.
- Er een aantoonbaar verschil in inbrandingsvorm tussen de EN AW-5754 en de EN AW-6082 legeringen is. Maar dat het verschil aanwezig mag zijn en dat de testen niet op beide legeringen uitgevoerd hoeven te worden. Paragraaf 4.2.
- De startfase niet in tijd verminderd kan worden ten opzichte van de basisinstelling. Maar verlengt moet worden met 0,2 seconden. Paragraaf 6.2.
- Een onvoldoende gevulde eindkrater, een initiatie voor een warmscheur kan bieden. Paragraaf 7.2.
- De oxidehuid voor het inspannen in de lasmal verwijderd dient te worden. Paragraaf 4.2.
- Het aanraken van het lasbad door de lasdraad duidelijk hoorbaar en visueel zichtbaar is. Paragraaf 5.2.

Daarnaast zijn er een aantal aanbevelingen die uit het onderzoek naar voren zijn gekomen:

- Voor de eindfase is er meer onderzoek nodig om de tijd te kunnen verminderen. Het is aan te bevelen om onderzoek te doen naar de Slope 2 die in de beweging van de robot geactiveerd wordt. Hier ligt voor AWL een mogelijkheid om de tijd van de eindfase te verminderen. Paragraaf 7.2.
- Bij een minimale plaatdikte van drie millimeter is de keelhoogte plus inbrandingsdiepte moeilijker te behalen. Er dient nader onderzoek gedaan te worden om de keelhoogte plus inbrandingsdiepte te vergroten. Paragraaf 5.2.

Referenties

AWL. (2011 - 2020). Kennisbank AWL.

Fronius. (2019). *Handleiding TPS 320i/400i/500i/600i en TPS 400i LSC ADV*. Pettenbach: FRONIUS INTERNATIONAL GMBH.

Gales, A., Luijendijk, T., Hermans, M., & Veassen, G. (2008, Januari). *MIG/MAG lassen en zijn varianten*. Retrieved from Induteq: <https://www.induteq.nl/metaal-werktuigbouw/bestanden/VM124%20MIG-MAG%20lassen%20en%20zijn%20varianten.pdf>

Goes, C. v. (2008). Laskennis opgefrist (nr. 5). *Nederlands Instituut voor Lastechniek*, 8.

HAN Automotive electronics. (2018). Formuleblad Automotive electronics examen. (p. 1). Arnhem: HAN Automotive.

Kals, P., Buiting-Csikós, I., Luttermelt, I. v., Moulijn, I., Ponsen, I., & Streppel, I. (2012). *Industriële productie*. Amsterdam: Boom.

Koopmans, H. (2013). CMT-lasproces voor dunne plaat en 'onmogelijke' combinaties nu ook handmatig uitvoerbaar. *ALURVS*, 4.

Marchal, P., Boers, P., Gales, A., Put, J. v., Raaijmakers, H., Vaessen, G., . . . Wijngaarden, G. v. (2004). Aluminium in dunne plaat en buis. *FNE CWM*, 20.

Mekel, T. (n.d.). *Course 7-8 Automotive Development Internal Combustion Engines (ICE)*. Retrieved mei 01, 2020, from Onderwijsonline: onderwijsonline.han.nl

Rajput, R. (2012). *Manufacturing Technology*. Delhi: Laxmi Publications Pvt. Ltd.

Renault. (2008). *RNT 01-50-026/--C norm*. Renault.

Sol, T. (2020, Februari 03). Validatie aluminium lassen. (K. Jägers, Interviewer)

Stoop, B., Gales, T., Velde, R. v., Olde Benneker, J., Soetens, F., & Boers, P. (2010). *Lassen van aluminium en aluminiumlegeringen*. Zoetermeer: Vereniging FME-CWM.

Venterink, B. h. (2014, Oktober 2). *Elektrisch booglassen*. Retrieved from Wikiwijs Arrangement: https://maken.wikiwijs.nl/47340/Elektrisch_booglassen#!page-colofon

Weitzer, M. (n.d.). *Aluminium in de praktijk*. BEWE Consulting (kennisbank AWL).

William D. Callister, D. G. (2011). *Materials Science and Engineering*. Hoboken: John Wiley and Sons (Asia) Pte Ltd.

Wittel, H., Muhs, D., Jannasch, D., & Voßiek, J. (2013). Rolof/Matek Machineonderdelen. In *Rolof/Matek Machineonderdelen* (5e editie ed., pp. 114,115). Den Haag: SDU.

Bijlagen

Inhoudsopgave bijlage

Bijlage 1 SLB-verklaring	62
Bijlage 2 Plan van aanpak	63
Bijlage 3 Reflectieverslag.....	97
Bijlage 4 hiërarchie AWL.....	100
Bijlage 5 Certificaten gebruikte materialen.....	101
Bijlage 6 Aluminium lasboog norm Renault	104
Bijlage 7 De testopstelling	106
Bijlage 8 Beschrijving parameters Fronius TPSi.....	109
Bijlage 9 Schoonmaaktest	113
Bijlage 10 Stappenplan uitvoeren testen	115
Bijlage 11 Resultaten stabiel proces.....	116

Bijlage 1 SLB-verklaring

		Hogeschool van Arnhem en Nijmegen HAN Automotive	Datum ontvangst :
Aanmeldingsformulier Afstuderen			
Studentgegevens			
Studentnummer	: 551634.....		
Achternaam	: Jägers		
Voorletters	: K.R.F.....	Roepnaam:	Kevin
E-mailadres	: Kevinjagers@outlook.com	Telefoonnummer:	06-18562832
Stroom	: Constructeur/Beproefer (CB) / Technisch-Commercieel (TC)*		
Richting	: AD (Automotive Development) / AM (Automotive Management) / AS (Automotive Services) AT (Automotive Testing)*		
Minor	: Powertrain..... * Doorhalen wat niet van toepassing is.		
Geplande start afstuderen: 03-02-2020.....			
Bedrijfsgegevens :			
Heb je al contact met dit bedrijf : Ja / Nee* * Doorhalen wat niet van toepassing is.			
Nog geen bedrijf, maar mijn interesse gaat uit naar de volgende bedrijven:			
Interessegebied :			
Aankruisen welk Expertteam op mij van toepassing is (hangt af van stroom CB of TC en gevolgde minor) is: (Let op, maximaal één Expertteam aanvinken !)			
☐ Business & Management	☐ Manufacturing	☐ Electronics & Control Systems	
☐ Structural Design	☒ Powertrain	☐ Vehicle Technologies	
Datum Gesprek SLB-er : <u>21-10-2019</u> Naam Studieloopbaanbegeleider (SLB-er) : René Beem..... Handtekening SLB-er:  Advies SLB-er aangaande start afstuderen: <u>Positief</u> / Negatief * Opmerkingen en/of toelichting: <u>geen</u>			
Ingevuld formulier inleveren bij Praktijkbureau Automotive.			

FIGUUR 40 SLB-VERKLARING Afstuderen

Bijlage 2 Plan van aanpak

AWL.

Ensuring global productivity

VALIDATIE ALUMINIUM LASSEN

Afstudeerscriptie



4 april 2020

De afbeeldingen in dit verslag zijn gemaakt door Kevin Jägers, tenzij anders vermeldt.

Geschreven door	Kevin Jägers
Begeleider bedrijf	Ton Sol
Begeleider school	Nick den Uijl

Automotive Engineering	
Studentnummer	551634
Versie	2 ^e

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	67
1.1	Probleemdefinitie	67
1.2	Doelstelling	67
2.	Achtergrond	68
2.1	aluminium legeringen	70
2.2	Hoofd- en deelvragen	72
3.	Projectmanagement plan	73
3.1	Scope	73
3.2	Project fasering	75
3.3	Kwaliteitsfuncties opstelling (QFD)	76
3.4	Mindmap	77
3.5	Pakket van eisen	77
4.	Product decompositiestructuur	78
4.1	PBS-woordenboek	78
5.	Werk decompositiestructuur	79
5.1	WBS-woordenboek	80
6.	Projectorganisatie	81
6.1	Organisatie Breakdown Structuur	81
6.2	Organisatie	81
6.3	Contact informatie	81
6.4	Stakeholder analyse	82
6.5	RACI-model	82
7.	Project monitor	83
7.1	Communicatie	83
7.2	Overlegstructuur	83
7.3	Financiën	83
7.4	Project monitoring	83
8.	Risicomanagement	84
8.1	Interne risico's	84
8.1.1	Impact tijd te kort	84
8.1.2	Impact afstudeerder langdurig ziek	84
8.1.3	Miscommunicatie	85
		64

8.2	Externe risico's	85
8.2.1	Impact verhuur cel Fieldlab AWL.....	85
8.2.2	Impact laboratorium over gepland	86
8.2.3	Impact storing testopstelling.....	86
8.2.4	Impact materiaal niet leverbaar	86
8.2.5	Impact sluiting Fieldlab.....	87
8.2.6	Impact niet nakomen afspraken.....	87
8.2.7	Impact corona virus	87
8.3	Risicomatrix	88
9.	Planning	89
9.1	Uitleg Ghanttchart.....	90
10.	Kosten en batenanalyse	92
10.1	GOKIT-diagram	93
	Bibliografie	94
	Bijlagen	95

Figuren- en tabellenlijst

Figuren

<i>Figuur voorblad plan van aanpak (AWL, 2011 - 2020)</i>	63
<i>Figuur 41 Aansturing hoofdstroom door Fronius TPSi</i>	69
<i>Figuur 42 Aansturing PMC Mix drive (Fronius, 2019)</i>	69
<i>Figuur 43 QFD</i>	76
<i>Figuur 44 Mindmap</i>	77
<i>Figuur 45 Product decompositiestructuur</i>	78
<i>Figuur 46 Werk decompositiestructuur</i>	79
<i>Figuur 47 Organisatie Breakdown Structuur</i>	81
<i>Figuur 48 Ghanttchart</i>	89
<i>Figuur 49 GOKIT-diagram</i>	93
<i>Figuur 50 Mindmap</i>	95
<i>Figuur 51 Ghanttchart in weken</i>	96

Tabellen

<i>Tabel 13 Contact gegevens betrokkenen onderzoek</i>	81
<i>Tabel 14 RACI-model (Riepma, Hedeman, & Aken, 2010)</i>	82
<i>Tabel 15 Interne risico's</i>	84
<i>Tabel 16 Impact tijd te kort</i>	84
<i>Tabel 17 Impact afstudeerder langdurig ziek</i>	84
<i>Tabel 18 Impact miscommunicatie</i>	85
<i>Tabel 19 Externe risico's</i>	85
<i>Tabel 20 Impact verhuur cel Fieldlab AWL</i>	85
<i>Tabel 21 Impact laboratorium over gepland</i>	86
<i>Tabel 22 Impact storing testopstelling</i>	86
<i>Tabel 23 Impact materiaal niet leverbaar</i>	86
<i>Tabel 24 Impact sluiting fieldlab</i>	87
<i>Tabel 25 Impact niet nakomen afspraken</i>	87
<i>Tabel 26 Impact corona virus</i>	87
<i>Tabel 27 Risicomatrix (Riepma, Hedeman, & Aken, 2010)</i>	88
<i>Tabel 28 Uitleg Ghanttchart</i>	90

1. Inleiding

Dit onderzoek wordt uitgevoerd voor AWL en ten behoeve van het afstuderen aan de opleiding Automotive Engineering aan de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen. Het onderzoek vindt plaats in het Fieldlab van AWL.

AWL is gespecialiseerd in het maken van geautomatiseerde productiesystemen. De automobiellindustrie is goed voor 80% van de opdrachten die AWL uitvoert. Voorbeelden hiervan zijn het maken van stoelframes, A-stijlen van hoog sterkte staal en het maken van accubakken voor elektrische auto's. Bij de geautomatiseerde productiesystemen komen verschillende lastechnieken en materialen kijken.

Het onderzoek gaat over het valideren van aluminium lassen. Het plan van aanpak wordt opgesteld om het onderzoek op te starten en het onderzoek in goede banen te leiden zonder de onderzoeksgrenzen te overschrijden. Het plan van aanpak is geschreven volgens projectmanagement IPMA-D (Riepma, Hedeman, & Aken, 2010).

1.1 Probleemdefinitie

AWL krijgt steeds meer vraag om aluminium producten aan elkaar te verbinden. In de zomer van 2019 is de afdeling las- en proces engineering van AWL een onderzoek gestart naar aluminium booglassen met de Fronius TPS500i lasbron. Door tijdgebrek is dit onderzoek nog niet afgerond. Uit dit onderzoek is wel gebleken dat het mogelijk is om de i-naad las te booglassen. Echter dient er nader onderzoek gedaan te worden naar de overlappende las en de binnenhoeklas. Ook dient er nader onderzoek gedaan te worden naar de start- en eindfase van aluminium booglassen, bij ten minste één lasproces variant. (Sol, 2020)

1.2 Doelstelling

De doelstelling van dit onderzoek is een stabiel aluminium proces ontwikkelen voor EN AW-5754 en EN AW-6082 legeringen. De start- en eindfase onderzoeken. Het verminderen van de start- en eindfase waarbij er geen kwaliteitsverlies optreedt. Na dit onderzoek moet AWL beter in staat zijn om geautomatiseerde productiesystemen aan te bieden die gebruik maken van aluminium booglassen.

2. Achtergrond

Het onderzoek richt zich op aluminium MIG-lassen van EN AW-5754 en EN AW-6082 legeringen met een Fronius TPSi lasbron. De lasbron beschikt over verschillende lasprocesvarianten, waaronder PMC en CMT. Deze twee lasprocesvarianten zullen worden gebruikt tijdens dit onderzoek.

PMC lassen staat voor Pulse Multi Control en is een vorm van pulserend lassen.

“Pulserend lassen is een lasproces waarbij twee verschillen stroomsterktes worden gebruikt. De basisstroom is constant en zorgt er voor dat de lasboog in stand wordt gehouden. Daarnaast is er nog een pulserende stroom. Deze pulsstroom komt over de basisstroom heen. De pulserende stroom zorgt er voor dat het toevoegmateriaal (de toevoegdraad) smelt. Hierdoor smelten er druppels toevoegmateriaal in het smeltbad. Pulserend lassen zorgt voor minder warmte inbreng tijdens het lasproces.” (Geertsma, 2014)

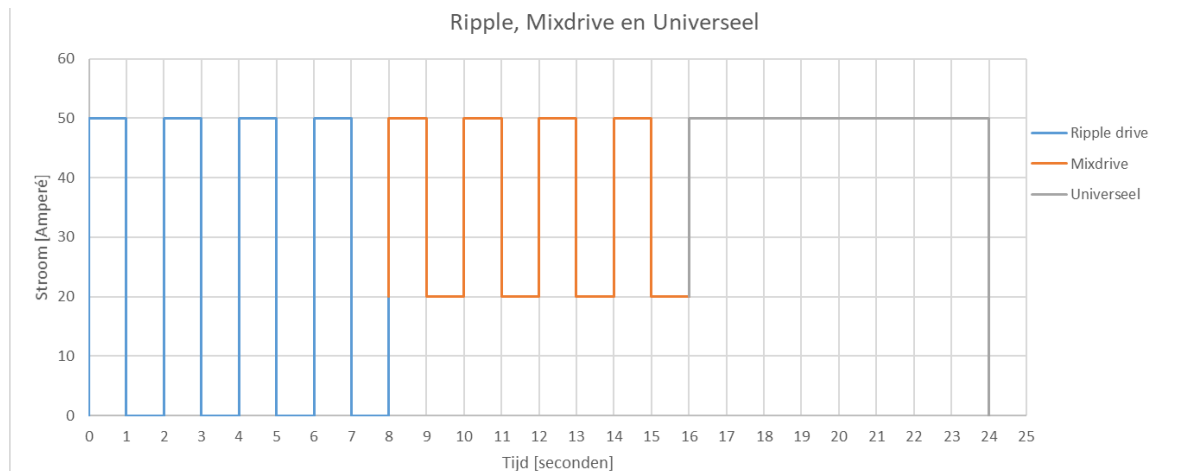
Bij PMC lassen wordt er gebruik gemaakt van een extra draadregeling die de stroom en penetratie tijdens het lasproces constant houdt. Ook als de afstand tussen toorts en te lassen product verandert. Hierdoor heeft PMC lassen een nauwkeurig regeling van de warmtetoevoer. Dit heeft als voordeel dat er een stabielere lasboog verkregen wordt en tevens de penetratiediepte constanter is. (AWL, 2011 - 2020)

CMT lassen is een lasproces dat staat voor Cold Metal Transfer (CMT), in het Nederlands is dit koude metaal overdracht. Zoals de naam al aangeeft is dit een koud lasproces, waardoor het lassen van materiaal vanaf 0,3mm uitermate geschikt is. De overgang van het las toevoegmateriaal op het werkstuk gebeurt vrijwel stroomloos, waardoor er niet tot nauwelijks lasspatten ontstaan. Bij CMT lassen detecteert het lasapparaat wanneer er kortsluiting ontstaat. Op het moment dat de kortsluiting gedetecteerd wordt, zal de spanning worden uitgeschakeld en de lasdraad worden teruggetrokken. Om vervolgens met een lagere spanning een druppel van de lasdraad af te smelten. Daarna wordt de lasdraad weer via de toorts naar voren geduwd om het proces te herhalen. Omdat het proces vrijwel stroomloos gebeurt komt er minder hitte vrij en is het mogelijk om dun materiaal aan elkaar te lassen. (AWL, 2011 - 2020)

Naast de lasprocesvarianten biedt Fronius de keuze hoe de hoofdstroom wordt aangestuurd. De volgende aansturingen zijn van toepassing voor dit onderzoek:

- Ripple drive
- Mix drive
- Universeel

In figuur 41 is een algemene benadering van de hoofdstroom aansturing te zien. Door de hoofdstroom verschillend aan te sturen kan de warmte inbreng beïnvloed worden. Voor de warmte inbreng geldt dat de Ripple drive het laagste is, daarna Mix drive en dat Universeel de hoogste warmte inbreng heeft. (Sol, 2020)

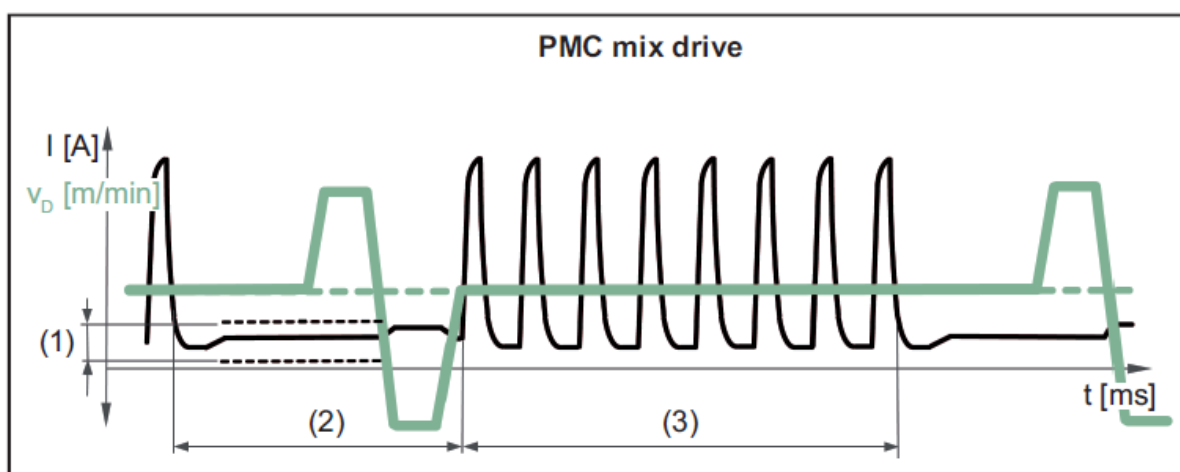


FIGUUR 41 AANSTURING HOOFDSTROOM DOOR FRONIUS TPSi

PMC Mix drive

Als er verder ingezoomd wordt, is de aansturing een stuk complexer. Aan de hand van figuur 42 wordt de aansturing van de PMC Mix drive uitgelegd. De PMC Mix drive is een gemixt proces waarbij er een periode een laagvermogen wordt geleverd, dit is aangegeven als nummer twee. Na de lage periode volgt een hoge periode, aangegeven met nummer drie. Tijdens de hoge aanstuurperiode blijft de aansturing pulseren. Periode twee en drie volgen elkaar op.

Op de y-as zijn de stroomsterkte (die geldt voor de zwarte lijn) en de draadsnelheid (die geldt voor de groene/blauwe lijn) weergegeven. Op de x-as is de tijd weergegeven. De draadsnelheid wordt in het laagvermogen gedeelte negatief, dit houdt in dat de draad teruggetrokken wordt. Zodra de Fronius TPSi ziet dat er in de lage fase kortsluiting ontstaat wordt de draad teruggetrokken. Het terugtrekken draagt bij aan het makkelijker loslaten van de druppel en een stroomloze materiaalovergang. Ondanks het terug trekken van de draad blijft er zowel in de hoge als lage fase een boog aanwezig. Zoals eerder vermeld komt dit door de extra draadregeling die de stroom en penetratie tijdens het lasproces constant houdt. (Fronius, 2019) (AWL, 2011 - 2020)



FIGUUR 42 AANSTURING PMC MIX DRIVE (FRONIUS, 2019)

PMC Universeel

PMC universeel is een constante hoogvermogen fase met pulserende aansturing, in figuur 42 weergegeven met nummer drie. De draad wordt met een constante snelheid aangevoerd.

PMC Ripple drive

PMC Ripple drive gedraagt zich als een intervalmodus, een hoge pulserende fase gevolgd door een uitgeschakelde fase. Door het interval ontstaat er een zichtbare lasrimpel. De hoge pulserende fase is in figuur 42 weergegeven als nummer drie. Om te voorkomen dat de draad in het lasbad prikt, wordt de draad tijdens de uitgeschakelde fase teruggetrokken. (Fronius, 2019)

CMT Mix drive

CMT Mix drive is net als PMC Mix drive een gemixt proces. Een laagvermogen periode wordt opgevolgd door een hoogvermogen periode. Zoals eerder aangegeven wordt de draad bij CMT lassen teruggetrokken en hierdoor ontstaat er een vrijwel spanningsloze materiaal overgang. CMT Mix drive verschilt met PMC Mix drive in de aansturing van de boog. CMT heeft een kort boog proces waar PMC een pulsboog heeft.

“De pulsboog werd ontwikkeld als methode om een stabiele boog te verkrijgen in een laag stroombereik - onder de kritische waarde - en om kortsluitingen en spatvorming te vermijden. Bij het pulserend lassen wordt materiaaltransport met een open boog verkregen. Elke stroompuls moet voldoende krachtig zijn om een druppel af te schieten.” (Vanotools, sd)

2.1 aluminium legeringen

De legeringen EN AW-5754 en EN AW-6082 worden tijdens dit onderzoek gebruikt. Zoals de namen al doen vermoeden komen deze legeringen uit de 5xxx en 6xxx series. De toevoegmaterialen zorgen voor andere mechanische eigenschappen waardoor er verschillende legeringen binnen een serie zijn. “Omdat zuiver aluminium tamelijk zacht en zwak is, worden meestal kleine hoeveelheden legeringselementen toegevoegd waardoor een breed assortiment aan mechanische eigenschappen mogelijk wordt” (Goed, 2008, p. 1)

5xxx-serie is bij uitstek geschikt scheepsbouw en carrosseriebouw, vanwege de hoge corrosiebestendigheid.

“Legeringen in de 6xxx serie bevatten een verhouding tussen silicium en magnesium als belangrijkste legeringselementen. Door de juiste verhouding in legeringselementen zijn deze legeringen hardbaar. Het verhogen van de sterkte kan door legeringen in oplosgegloeide en goed vervormbare toestand te vervormen in toestand T4 en vervolgens uit te laten harden. Legeringen uit deze serie zijn goed te lassen, hebben een goede corrosiebestendigheid, zijn goed te verspanen en te anodiseren. Daarnaast is het elektrisch geleidingsvermogen van deze legeringen goed.” (Blok, sd)

Beide legeringen kunnen gelast worden met het MIG-lasproces. “In het bijzonder de 5xxx-legeringen hebben een uitstekende lasbaarheid.” (Goed, 2008, p. 3) De 6xxx kan alleen met toevoegmateriaal gelast worden, de 6xxx serie is namelijk van nature gevoelig voor scheuren tijdens het stollen. (AWL, 2011 - 2020)

EN AW-5754 en EN AW-6082 legeringen

De legeringssamenstelling van de EN AW-5754 en de EN AW-6082 zien er als volgt uit:

	EN-AW-5754	EN AW-6082
- Aluminium:	94,2 tot 97,4%	95,2 tot 98,3%
- Chroom:	0,3% max	0,25% max
- Koper:	0,1% max	0,1% max
- IJzer:	0,4% max	0,5% max
- Magnesium:	2,6 tot 3,6%	0,6 tot 1,2%
- Mangaan:	0,5% max	0,4% tot 1,0%
- Silicium:	0,4% max	0,7 tot 1,3%
- Titanium:	0,15% max	0,1% max
- Zink:	0,2% max	0,2% max
- Residuen:	0,15% max	0,15% max

De materiaaleigenschappen van de EN AW-5754 en de EN AW-6082 zien er als volgt uit:

	EN AW-5754	EN AW-6082	
- Dichtheid	2,678	2,71	g/cm ³
- Elasticiteitsmodulus	69	71	Gpa
- Treksterkte	220-330	140-330	Mpa
- Warmtegeleiding	130	180	W/m-k
- Thermische uitzetting	23,7	23,1	µm/ m-K

(5754 aluminium alloy, sd) (6082 aluminium alloy, sd) (Aalco, sd)

De verschillen in legeringssamenstellingen leiden ertoe dat de mechanische eigenschappen van elkaar verschillen. Een voorbeeld hiervan is de warmtegevoeligheid. "De warmtegevoeligheid wordt belangrijk beïnvloed door de mate waarin het lasdeel kan uitzetten en krimpen." (Stoop, et al., 2010) De warmtegevoeligheid is groter bij de 6xxx serie dan bij de 5xxx serie. Hierdoor is de 6xxx serie, zoals eerder vermeld alleen lasbaar met een toevoegmateriaal. Naast het verschil tijdens het lassen zijn er ook verschillen in de productie en nabewerkingen.

De EN AW-5754 kan gevormd worden door rollen, extrusie of door smeden. Ook is het geschikt voor koudvervormen waardoor er hogere sterktes verkregen kunnen worden. Door het koudvervormen wordt de vervormbaarheid lager. De verspaanbaarheid is matig tot slecht.

De EN AW-6082 wordt vaak gevormd door extrusie of walsen, daarnaast wordt er vaak een warmtebehandeling toegepast om de sterkte te verhogen. Het verhogen van de sterkte heeft net als bij de EN AW-5754 tot gevolg dat de vervormbaarheid lager wordt. De EN AW-6082 is minder geschikt voor koudvervormen.

2.2 Hoofd- en deelvragen

Het onderzoek wordt uitgevoerd aan de hand van de volgende hoofd- en deelvragen.

Hoofdvraag

- Hoe kan er een stabiel aluminium booglasproces ontwikkeld worden voor de EN AW-5754 en de EN AW-6082 legeringen, waarbij de start- en eindfase verminderd worden zonder kwaliteitsverlies te hebben?

Deelvragen

- Wat is booglassen?
- Wat is een stabiel aluminium booglasproces?
- Hoe zien de testen van de overlappende las eruit?
- Hoe zien de testen van de binnenhoeklas eruit?
- Welke lasproces varianten moeten er worden getest?
- Hoe ziet de testopstelling eruit?
- Wat zijn aluminium de EN AW-5754 en de EN AW-6082 legeringen en wat is het verschil ertussen?
- Aan welke kwaliteitsvoorschriften moeten de lassen volgens AWL voldoen?
- Waarom is er een startfase en hoe kan de startfase verminderd worden?
- Waarom is er een eindfase en hoe kan de eindfase verminderd worden?

3. Projectmanagement plan

Het projectmanagement plan stelt de taken, producten en de grenzen van het onderzoek vast.

3.1 Scope

Met een scope worden de grenzen aan het onderzoek gesteld. Bij de scope horen de producten die geleverd worden, de activiteiten die voor het onderzoek gedaan worden en de grenzen die het kader voor het onderzoek bepalen. (Riepma, Hedeman, & Aken, 2010)

PRODUCTEN

Er dienen vier verslagen ingeleverd te worden:

- plan van aanpak;
- eindverslag;
- reflectieverslag;
- validatie rapport voor AWL.

Er dienen twee documenten ingeleverd te worden:

- 4-wekelijkse voortgang, vijf in totaal;
- uitgebreide samenvatting naast eindverslag.

Er dienen twee bestanden ingeleverd te worden:

- testresultaten gedigitaliseerd voor AWL;
- poster voor presentatie en verdediging.

Aan het eind van de afstudeerstage dient er een presentatie en verdediging gehouden te worden.

ACTIVITEITEN

De volgende activiteiten dienen uitgevoerd te worden tijdens de afstudeerstage:

- maak een plan van aanpak;
- stel een pakket van eisen op;
- maak elke vier weken een voortgangsrapportage;
- leer de robot en de lasapparatuur kennen;
- onderzoek de mogelijke testen;
- voer de mogelijke testen uit;
- maak een gedetailleerd verslag over de onderzoeken;
- maak een validatie rapport voor AWL;
- digitaliseer de testresultaten;
- maak een poster voor de eindpresentatie;
- bereidt de presentatie en verdediging voor.

GRENZEN

De tijd van het onderzoek is begrensd op de volgende punten:

- het onderzoek is klaar in week 22 van 2020;
- het eindverslag is klaar op 2 juni 2020;
- het validatierapport is klaar in week 26 van 2020;
- de testresultaten digitaliseren is klaar in week 26 van 2020;
- klant specifieke testen die buiten de scope van het onderzoek vallen, mogen niet langer dan één week van de totale afstudeerperiode in beslag nemen.

De testopstelling is begrensd op de volgende punten:

- het testen vindt uitsluitend plaats in het Fieldlab van AWL, het Fieldlab is de testafdeling van AWL;
- er wordt gebruik gemaakt van Fronius lasapparatuur bestaande uit:
 - Fronius TPS 500i (lasbron);
 - Fronius SB 60i R (CMT-push/pull systeem);
 - Fronius 25i REEL R (draadaanvoer unit);
 - Fronius RC Panel (radio control paneel);
 - Fronius WF 60i Robacta Drive CMT/W (toorts).
- er wordt gebruik gemaakt van een ABB IRB 1600ID-6/.55 robot;
 - 6-assige robot, geschikt voor lassen.
- de programmering hoeft niet volledig geschreven te worden. Het begrijpen van de programmering en het maken van kleine aanpassingen is voldoende.

Het onderzoek is begrensd op de volgende punten:

- het onderzoek houdt zich alleen bezig met aluminium MIG-lassen in combinatie met de Fronius TPS 500i lasapparatuur;
- het te testen materiaal is aluminium EN AW-5754 H111 en/of EN AW-6082 T651;
- de maximale dikte van het materiaal wat getest moet worden is 4 mm;
- het onderzoek bestaat uit deskresearch en fieldresearch:
 - deskresearch om de kennis te vergaren om het onderzoek uit te voeren;
 - fieldresearch om de testen in het Fieldlab van AWL uit te voeren:
 - overlappende las onderzoeken:
 - minimale en maximale voorloopsnelheid;
 - 4 lasprocessen;
 - 10 verschillende plaatdikte combinaties.
 - binnenhoeklas onderzoeken:
 - minimale en maximale voorloopsnelheid;
 - 4 lasprocessen;
 - 10 verschillende plaatdikte combinaties.
 - startfase onderzoeken, bij minimaal één proces;
 - eindfase onderzoeken, bij minimaal één proces.
- bevindingen uit dit onderzoek die buiten de scope vallen moeten goed omschreven worden en gedocumenteerd worden. Dit is voor eventuele verdiepende onderzoeken. De student omschrijft de bevindingen en documenteert deze. Verdiepende onderzoeken buiten de scope worden niet tijdens de afstudeerperiode uitgevoerd.

3.2 Project fasering

“Fasering is het opknippen van het project in afzonderlijke tijdseenheden, ieder met zijn eigen vooraf gedefinieerd eindresultaat. Fasering is een gebruikelijke manier om een project te structureren.

Fasering is ook een belangrijk hulpmiddel om een project te beheersen.” (Riepma, Hedeman, & Aken, 2010)

Er is gekozen voor de methode DMAIC, omdat dit een methode is die het beste past bij dit onderzoek.

“Bij het DMAIC model draait het om verbeteren en controleren van een bedrijfsproces. Het definieert een bedrijfsproces en de toepasbaarheid, terwijl het DMADV model de behoeften van de klant definieert, omdat dit betrekking heeft op de dienstverlening of het product.” (Mulder P. , 2017)

Er zijn al testen uitgevoerd, hierdoor past DMAIC het beste bij dit onderzoek. Deze methode bestaat uit de volgende onderdelen. **Definiëren**, **Meten**, **Analyseren**, **Improve** (verbeteren) en **Controleren**.

Definieerfase

In de definieerfase wordt het probleem gedefinieerd. Stappen voor de definieerfase zijn:

- plan van aanpak opstellen;
- pakket van eisen opstellen;
- informatie verzamelen.

Meetfase

In de meetfase wordt alle informatie verzameld die benodigd is, dit gaat gebeuren aan de hand van deskresearch en fieldresearch. Stappen voor deskresearch zijn:

- onderzoek doen naar de Fronius TPS 500i lasbron;
- onderzoek doen naar de ABB-robot;
- onderzoek doen naar booglassen;
- onderzoek doen naar aluminium legeringen EN AW-5754 H111 en EN AW-6082 T651;
- onderzoek doen naar de startfase;
- onderzoek doen naar de eindfase.

Stappen voor fieldresearch zijn:

- de robot en lasapparatuur leren kennen;
- de programmering begrijpen en kleine aanpassingen in kunnen doen.

Analysefase

In de analysefase is het tijd om te gaan testen. Stappen voor de analysefase zijn:

- het uitvoeren van testen;
- onderzoek doen naar de startfase;
- onderzoek doen naar de eindfase;
- kwaliteit van de uitgevoerde testen waarborgen, doormiddel van macro onderzoek.

Improve-fase

In de improve-fase worden alle waardes opgeslagen. Ook kunnen er in deze fase verbeteringen aan de start- en eindfase worden aangebracht. Stappen voor de improve-fase zijn:

- het verwerken van de meetresultaten in het eindverslag;
- het verwerken van de meetresultaten in het validatierapport;
- het digitaliseren van de meetresultaten;
- het verbeteren van de startfase;
- het verbeteren van de eindfase.

Controlefase

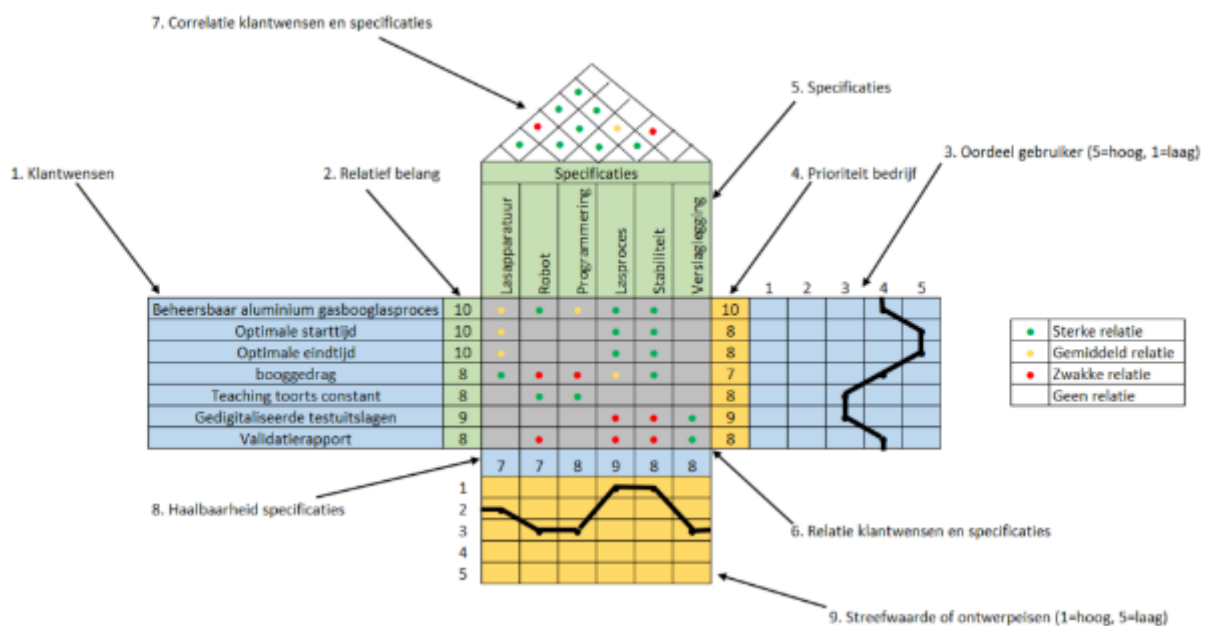
De laatste fase is de controlefase, in deze fase wordt het werk gecontroleerd. Stappen voor de controlefase zijn:

- het inleveren van het eindverslag;
- het inleveren van het validatierapport;
- het inleveren van de gedigitaliseerde meetresultaten;
- het houden van de eindpresentatie.

De controle in deze fase wordt gedaan door AWL en de HAN Automotive Engineering.

3.3 Kwaliteitsfuncties opstelling (QFD)

QFD is een methode om klantwensen te vertalen naar functionele eisen.



FIGUUR 43 QFD

De stappen van het QFD-proces zijn:

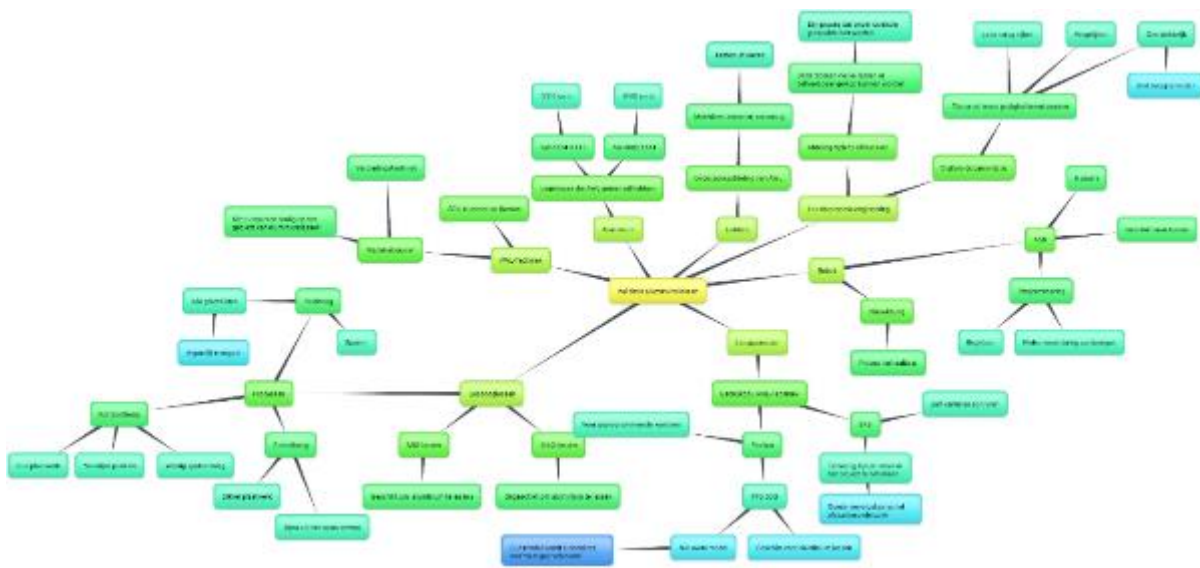
1. de klantwensen in kaart brengen;
2. de relatieve belangen van de klantwensen in kaart brengen (wordt met cijfers van 1 tot en met 10 aangegeven, waarbij 1 het minst van belang is en 10 het meest van belang);
3. het oordeel van de gebruiker in kaart brengen;

4. de prioriteit voor bedrijf per klantwens in kaart brengen;
5. de specificaties/ontwerpgegevens in kaart brengen;
6. de relatie tussen klantwensen en specificaties leggen;
7. de correlaties tussen de specificaties in kaart brengen;
8. de relevanties (haalbaarheid) van de specificaties in kaart brengen;
9. de streefwaarde of ontwerpisen in kaart brengen.

(Mulder, 2019)

3.4 Mindmap

Een mindmap wordt gemaakt om alle gedachtegangen op papier te zetten (Riepma, Hedeman, & Aken, 2010). Op deze manier worden alle gedachten over het onderzoek visueel inzichtelijk gemaakt. Een grotere versie is terug te vinden in bijlage A.



FIGUUR 44 MINDMAP

3.5 Pakket van eisen

Het pakket van eisen is samengesteld uit de eisen, wensen en randvoorwaarden van AWL, de afstudeerder en de HAN Automotive Engineering.

A. Eisen

1. het onderzoek moet in twee onderwijsblokken uitgevoerd kunnen worden. Dit houdt in dat er vijf maanden de tijd is voor de opdracht;
2. een inspanningsverplichting naar AWL;
3. een resultaatverplichting naar de HAN Automotive Engineering.

B. Wensen

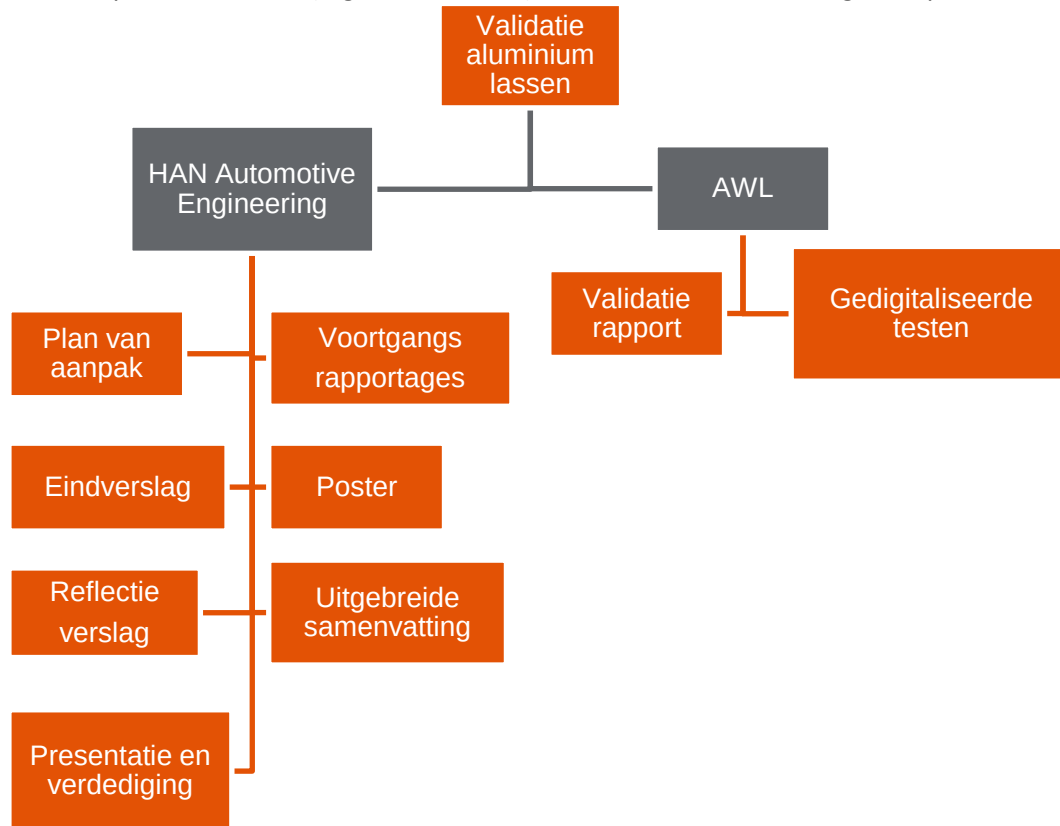
4. het ontwikkelen van een stabiel aluminium booglasproces voor EN AW-5754 en EN AW-6082 legeringen;
5. optimale startfase voor minimaal één lasproces;
6. optimale eindfase voor minimaal één lasproces;
7. booggedrag inzichtelijk krijgen;
8. gedigitaliseerde testuitslagen;
9. overzichtelijk en snel toegankelijk validatierapport.

C. Randvoorwaarden

10. specifieke klantvragen moeten tussendoor getest worden.

4. Product decompositiestructuur

De product decompositiestructuur (afgekort met PBS) maakt een onderverdeling in de producten.



FIGUUR 45 PRODUCT DECOMPOSITIESTRUCTUUR

4.1 PBS-woordenboek

Een PBS-woordenboek legt alle delen van een PBS uit, met de hierbij horende deadlines. Het niet halen van een deadline kan erin resulteren dat het onderzoek niet op tijd afkomt. Aan de HAN Automotive Engineering worden de volgende producten opgeleverd:

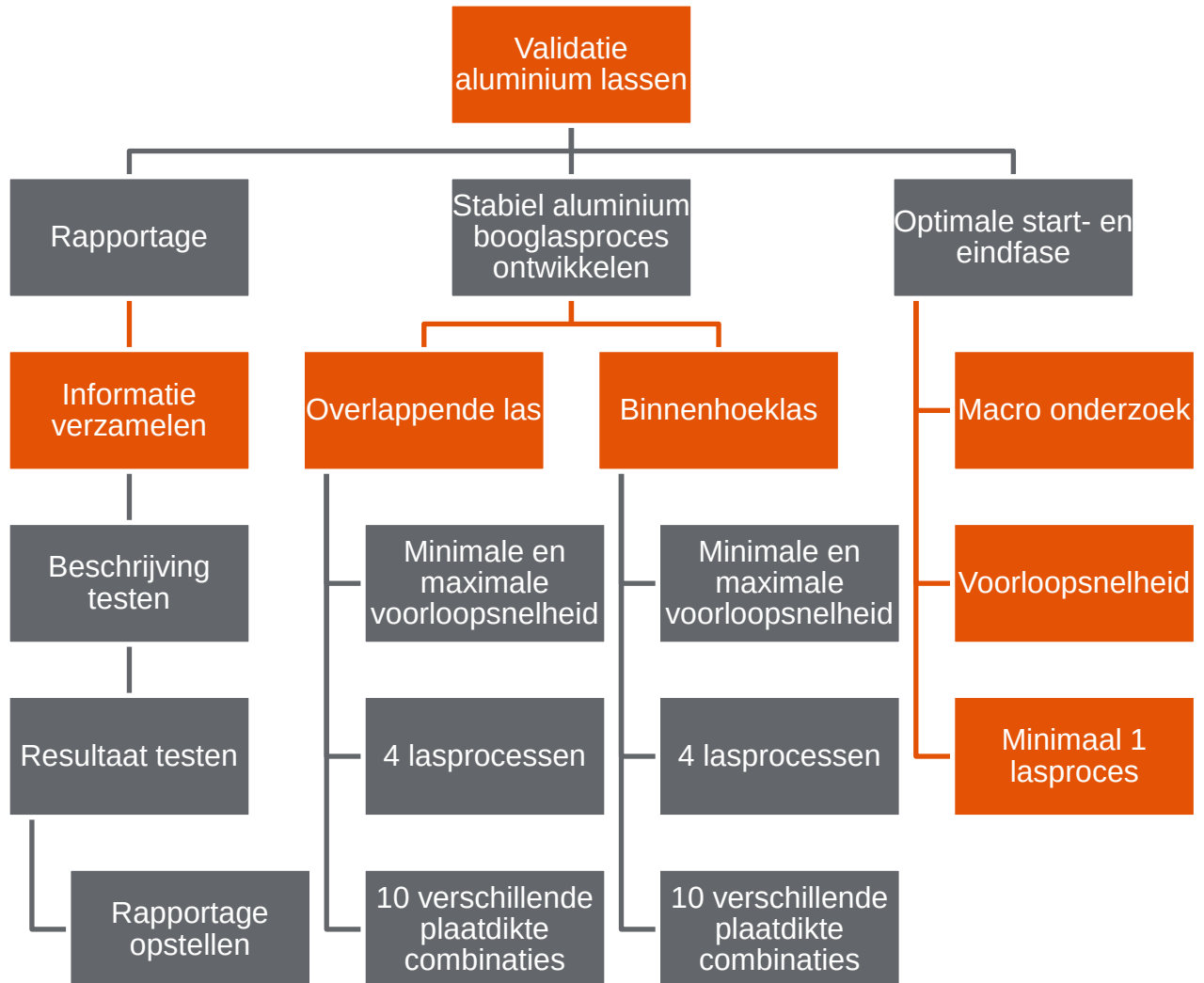
- een plan van aanpak, met uitgebreide probleemanalyse. Deadline 28 februari 2020;
- een voortgangsrapportage, algemene gang van zaken en voortgang. Elke vier weken;
- een eindverslag, hierbij hoort ook een concept eindverslag. Deadline 2 juni 2020;
- een poster, overzichtelijk en aansprekend. Deadline 2 juni 2020;
- een reflectieverslag, geleerd van ervaringen en invloed op het denken en doen van de student. Deadline 2 juni 2020;
- een uitgebreide samenvatting, afzonderlijk van eindverslag. Deadline 2 juni 2020.

Aan AVL worden de volgende producten opgeleverd:

- een validatierapport, snel en overzichtelijk. Deadline 26 juni 2020;
- de gedigitaliseerde testen, makkelijk terug te vinden. Deadline 26 juni 2020.

5. Werk decompositiestructuur

Werk decompositiestructuur wordt afgekort met WBS. “De WBS definieert de totale scope van het project. Ieder lager niveau laat meer detail van het projectwerk zien. De WBS wordt opgedeeld in componenten en ten slotte in werkpakketten en bevat zowel interne als externe opleveringen” (Riepma, Hedeman, & Aken, 2010).



FIGUUR 46 WERK DECOMPOSITIESTRUCTUUR

5.1 WBS-woordenboek

Een WBS-woordenboek legt alle delen van een WBS uit, met de hierbij behorende deadlines. De WBS is opgedeeld in drie verschillende hoofdgroepen (Riepma, Hedeman, & Aken, 2010):

- een rapportage;
- een stabiel aluminium booglasproces ontwikkelen;
- een optimale start- en eindfase.

De hoofdgroep rapportage bevat de volgende onderdelen:

- het verzamelen van informatie om de testen goed uit te kunnen voeren;
- het beschrijven van de testen. Hiermee het doel van de testen duidelijk maken voor de lezer;
- de resultaten duidelijk en overzichtelijk rapporteren;
- een rapportage opstellen, hierin kan de uitslag van de test worden weergegeven.

De hoofdgroep stabiel aluminium booglasproces ontwikkelen bevat de volgende onderdelen:

- de overlappende las;
 - minimale en maximale voorloopsnelheid in een overzichtelijke tabel;
 - vier lasprocessen;
 - PMC Mix drive;
 - PMC Rippledride;
 - PMC Universeel;
 - CMT Mix drive;
 - 10 verschillende plaatdikte combinaties;
- de binnenhoeklas;
 - minimale en maximale voorloopsnelheid in een overzichtelijke tabel;
 - vier lasprocessen;
 - PMC Mix drive;
 - PMC Rippledride;
 - PMC Universeel;
 - CMT Mix drive;
 - 10 verschillende plaatdikte combinaties.

De hoofdgroep optimale start- en eindfase bevat de volgende onderdelen:

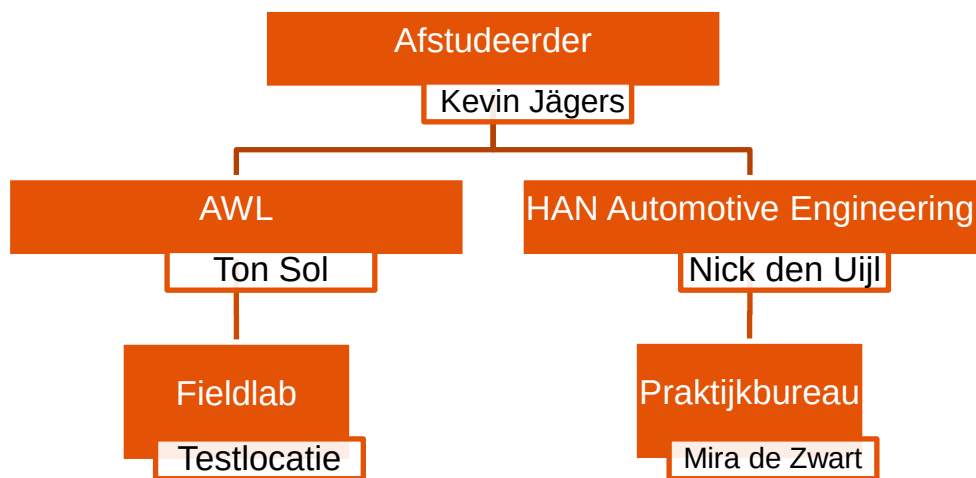
- het nader onderzoeken van de startfase, bij minimaal één lasproces;
- het nader onderzoeken van de eindfase, bij minimaal één lasproces;
- de kwaliteit van de lassen beheersen door macro onderzoek te doen;
- het nader onderzoeken van de voorloopsnelheid.

6. Projectorganisatie

In dit hoofdstuk wordt de organisatie van het onderzoek uitgelegd. Als eerste wordt de organisatiestructuur weergegeven. Gevolgd hoe de organisatie die deelneemt aan het onderzoek eruitziet. De contact informatie, een stakeholdersanalyse en als laatste wordt er een RACI-model weergegeven.

6.1 Organisatie Breakdown Structuur

Hieronder volgt de breakdown structuur van de organisatie. Hierin is de hiërarchie van de afstudeerstage weergegeven.



FIGUUR 47 ORGANISATIE BREAKDOWN STRUCTUUR

6.2 Organisatie

Het onderzoek is georganiseerd zoals weergegeven in figuur 47. De afstudeerder leidt het onderzoek met inbreng van AWL. De HAN Automotive Engineering heeft een controlerende functie.

6.3 Contact informatie

Hieronder volgt een tabel met de contactgegevens die betrokken zijn bij het onderzoek.

TABEL 13 CONTACT GEGEVENS BETROKKENEN ONDERZOEK

Naam	Functie	Bedrijf	E-mail	Telefoon
Ton Sol	Senior Weld and Process Engineer	AWL	t.sol@awl.nl	+31341411859
Kevin Jägers	Afstudeerder	AWL	kevinjagers@outlook.com krf.jagers@awl.nl	06-18562832
Nick den Uijl	Onderzoeker	HAN Automotive Engineering	Nick.denUijl@han.nl	06-53937150

6.4 Stakeholder analyse

De volgende mensen/organisaties hebben belangen in dit onderzoek:

AWL;

Als opdrachtgever verwacht AWL een bewezen validatie rapport over aluminium booglassen, inclusief het digitaliseren van testuitslagen. Hiermee verwacht AWL meer opdrachten op het gebied van aluminiumlassen aan te kunnen nemen.

Afstudeerder;

Voor de afstudeerder is het afleveren van een product en het behalen van de afstudeerstage van belang. Daarnaast is het een goede leerervaring. Mocht het blijken dat het onderzoek over aluminium booglassen niet van toegevoegde waarde is, dan dient dit in een validatie rapport beschreven te worden. Zo wordt er voorkomen dat AWL later opnieuw onderzoek gaat doen naar aluminium booglassen.

HAN Automotive Engineering;

Het falen van een opdracht door de afstudeerder kan de relaties met het bedrijf verslechteren. Hierdoor kan het zijn dat er in de toekomst geen onderzoeken of projecten meer worden gestart met de HAN Automotive Engineering. Het is hierdoor van belang dat het onderzoek succesvol verloopt.

6.5 RACI-model

In het RACI-model wordt overzichtelijk aangetoond wie welke belangen en verantwoordelijkheden heeft bij de verschillende delen van het onderzoek. (Riepma, Hedeman, & Aken, 2010)

De volgende punten zijn de belangen en verantwoordelijkheden voor dit onderzoek, volgens de RACI-definities:

- **R**esponsibility: verantwoordelijk voor het uitvoeren van een taak;
- **A**ccountable: verantwoordelijk dat de taak uitgevoerd wordt;
- **C**onsulted: groep waarvan instemming is vereist om de taak af te ronden;
- **I**nformed: groep die geïnformeerd moet worden wanneer de taak is afgerond.

TABEL 14 RACI-MODEL (RIEPMA, HEDEMAN, & AKEN, 2010)

Taak	Groep	Afstudeerder	AWL	HAN Automotive Engineering
Plan van aanpak		R/A	I/C	I/C
Onderzoeken		R/A	I/C	
Concept eindverslag		R/A	I	I
Eindverslag		R/A	I/C	I
Validatie rapport		R/A	I/C	I
Test resultaten gedigitaliseerd		R/A	I	

7. Project monitor

Om het onderzoek succesvol af te kunnen sluiten zal het gemonitord moeten worden. Dit houdt in dat er gecontroleerd wordt of het onderzoek nog volgens de planning en de scope verloopt. De communicatie, overlegstructuur, financiën en project monitoring spelen een belangrijke rol hierin.

7.1 Communicatie

Er is geen sprake van een vast overlegmoment met AWL, deze zullen worden ingeplant waar nodig is. Wat betreft de communicatie met de begeleider van de HAN Automotive Engineering, dit zal via de mail gaan en ook worden ingeplant waar nodig is.

Het inleveren van documenten gaat via de mail of wordt uitgeprint ingeleverd bij de HAN Automotive Engineering.

7.2 Overlegstructuur

Zoals eerder vermeld is er geen vast overleg moment. Als er overleg benodigd is of vragen zijn kan het aan de begeleider of andere collega's die aanwezig zijn gevraagd worden. Mocht dit niet mogelijk zijn kan er altijd via de mail of telefoon overlegd worden.

7.3 Financiën

Het onderzoek kost geld. Er zullen meerdere spullen aangeschaft worden voor het onderzoek, een cel in het Fieldlab zal gereserveerd worden, het kost tijd om een afstudeerder te begeleiden en de afstudeerder krijgt een maandelijkse vergoeding. In hoofdstuk 9 kosten en batenanalyse, wordt hier verder op ingegaan.

7.4 Project monitoring

Om de kwaliteit en scope van het onderzoek te waarborgen zullen er een aantal dingen gedaan moeten worden: potentiële problemen op tijd signaleren en voorkomen, scope drift moet voorkomen worden, deadlines mogen niet overschreden worden en de producten moeten van correcte of voldoende kwaliteit zijn.

Om dit te realiseren is het volgende belangrijk:

- bij elke deadline een moment nemen om terug te kijken op de voortgang. Hierbij zal de huidige situatie moeten worden vergeleken met de geplande situatie. Waar nodig actie ondernemen zodat de voortgang op schema blijft;
- de planning volgen en waar nodig deze in overleg aanpassen;
- de kwaliteit waarborgen door feedback te vragen;
- nieuwe informatie uit onderzoek bespreken met bedrijfsbegeleider.

8. Risicomanagement

Om de risico tot het minimum te beperken worden de te verwachten risico's van tevoren bekeken. Hierdoor kan er beter geanticipeerd worden als er een risico tijdens het onderzoek optreedt.

Om de mogelijke risico's tot slagen van dit onderzoek in kaart te brengen, is gekeken welke risico's voor kunnen komen. In de risicoanalyse wordt er onderscheidt gemaakt tussen interne en externe risico's. Voor zowel de interne als de externe risico's worden oplossingen gedefinieerd waardoor voortgang van het onderzoek gewaarborgd blijft. De externe risico's worden waar mogelijk geïnternaliseerd, hierdoor heeft de afstudeerder geïnternaliseerde externe risico's in eigen hand.

8.1 Interne risico's

De interne risico's heeft de afstudeerder zelf in de hand. In onderstaande tabel zijn de interne risico's weergegeven. Daaronder volgt er per risico een impact tabel met daarbij een eventuele oplossing. De impact die een risico kan hebben wordt beoordeeld op kosten, planning, scope en kwaliteit. De gradaties per beoordeling zijn heel laag, laag, gemiddeld, hoog en heel hoog.

TABEL 15 INTERNE RISICO'S

Risico	Waarschijnlijkheid
Tijd te kort	Kleine kans
Afstudeerder langdurig ziek	Hele kleine kans
Miscommunicatie	Kleine kans

8.1.1 Impact tijd te kort

Er bestaat een kans dat het onderzoek niet op tijd klaar is.

TABEL 16 IMPACT TIJD TE KORT

	Heel laag	Laag	Gemiddeld	Hoog	Heel hoog
Kosten					
Planning					
Scope					
Kwaliteit					
Oplossing	Omvang van het onderzoek verkleinen. Voorbeeld hiervan is het uitvoeren van de testen op één in plaats van twee verschillende legeringen. Hiermee wordt er alsnog voldoende informatie verzameld om het eindverslag te schrijven.				

8.1.2 Impact afstudeerder langdurig ziek

Er bestaat een kans dat de afstudeerder langdurig ziek raakt.

TABEL 17 IMPACT AFSTUDEERDER LANGDURIG ZIEK

	Heel laag	Laag	Gemiddeld	Hoog	Heel hoog
Kosten					
Planning					
Scope					
Kwaliteit					
Oplossing	In overleg schrappen van onderdelen. Zoals eerder vermeldt kan dit door het uitvoeren van de testen op een van de legeringen. Mocht deze oplossing niet voldoende zijn kan er besloten worden om de afstudeerperiode te verlengen.				

8.1.3 Miscommunicatie

Er bestaat een kans dat de er miscommunicatie plaatsvindt tussen de afstudeerder en AWL.

TABEL 18 IMPACT MISCOMMUNICATIE

	Heel laag	Laag	Gemiddeld	Hoog	Heel hoog
Kosten					
Planning					
Scope					
Kwaliteit					
Oplossing	Plan van aanpak goed laten keuren door AWL en de HAN. Hiermee is er een document waar de drie betrokken partijen elkaar op aan kunnen spreken. Elke week een gesprek plannen tussen de bedrijfsbegeleider en afstudeerder. Tijdens dit gesprek de stand van zaken en de planning doorspreken. Als dit niet voldoende blijkt te zijn, notuleren en laten ondertekenen.				

8.2 Externe risico's

De externe risico's heeft de afstudeerder niet in de hand. In onderstaande tabel zijn de externe risico's weergegeven. Daaronder volgt er net als bij de interne risico's per externe risico een impact tabel met daarbij een eventuele oplossing. Daarnaast worden de externe risico's waar mogelijk geïnternaliseerd. De gradaties per beoordeling zijn heel laag, laag, gemiddeld, hoog en heel hoog.

TABEL 19 EXTERNE RISICO'S

Risico	Waarschijnlijkheid
Verhuur cel Fieldlab	Gemiddelde kans
Laboratorium over gepland	Kleine kans
Storing testopstelling	Gemiddelde kans
Materiaal niet leverbaar	Hele kleine kans
Sluiting Fieldlab	Gemiddelde kans
Niet nakomen van afspraken	Hele kleine kans
Uitbraak corona virus	Grote kans

8.2.1 Impact verhuur cel Fieldlab AWL

Er bestaat een kans dat de cel die gereserveerd wordt voor de afstudeerder, toch wordt verhuurd voor een ander onderzoek.

TABEL 20 IMPACT VERHUUR CEL FIELDLAB AWL

	Heel laag	Laag	Gemiddeld	Hoog	Heel hoog
Kosten					
Planning					
Scope					
Kwaliteit					
Oplossing	Ervoor zorgen dat de cel voldoende in gebruik is, hierdoor kan niet de indruk ontstaan dat de cel verhuurt kan worden. Een plan opstellen voor de opbouw van een andere cel. Bijvoorbeeld de benodigde materialen huren.				
Internaliseren	Zelf een plan opstellen hoe de andere cel snel ingericht kan worden. Inventariseren welke onderdelen er nodig zijn en welke delen binnen AWL beschikbaar zijn. Zelf de andere cel inrichten en de robot programmeren.				

8.2.2 Impact laboratorium over gepland

Er bestaat een kans dat het laboratorium over gepland is.

TABEL 21 IMPACT LABORATORIUM OVER GEPLAND

	Heel laag	Laag	Gemiddeld	Hoog	Heel hoog
Kosten					
Planning					
Scope					
Kwaliteit					
Oplossing	Het aantal macro's beperken. Daarnaast iemand inhuren om het macro onderzoek te doen.				
Internaliseren	Zelf het macro onderzoek uitvoeren in het laboratorium. Of de delen uitgeslepen aanleveren bij het laboratorium.				

8.2.3 Impact storing testopstelling

Er bestaat een kans dat er een storing in de testopstelling komt.

TABEL 22 IMPACT STORING TESTOPSTELLING

	Heel laag	Laag	Gemiddeld	Hoog	Heel hoog
Kosten					
Planning					
Scope					
Kwaliteit					
Oplossing	Als eerste al dan niet met hulp de storing proberen op te lossen. Mocht dit niet baten de fabrikant van het betreffende onderdeel inschakelen.				
Internaliseren	Vervangingsonderdelen welke binnen AWL beschikbaar zijn. Daarnaast kunnen er huurdelen worden ingezet.				

8.2.4 Impact materiaal niet leverbaar

Er bestaat een kans het materiaal niet geleverd kan worden.

TABEL 23 IMPACT MATERIAAL NIET LEVERBAAR

	Heel laag	Laag	Gemiddeld	Hoog	Heel hoog
Kosten					
Planning					
Scope					
Kwaliteit					
Oplossing	Andere leveranciers benaderen. Beschikbaar materiaal binnen AWL inventariseren.				
Internaliseren	Mocht er een van de twee legeringen niet beschikbaar zijn, opdracht beperken tot één legering.				

8.2.5 Impact sluiting Fieldlab

Er bestaat een kans dat het Fieldlab gesloten moet worden. Dit kan veroorzaakt worden door het corona virus, grote projecten of om een andere reden.

TABEL 24 IMPACT SLUITING FIELDLAB

	Heel laag	Laag	Gemiddeld	Hoog	Heel hoog
Kosten					
Planning					
Scope					
Kwaliteit					
Oplossing	In overleg met AWL andere bedrijven benaderen om het onderzoek elders voort te zetten, met daarbij het behouden van de begeleiding van AWL.				
Internaliseren	Afstudeeropdracht aanpassen door bijvoorbeeld het praktisch testen om te zetten naar het theoretisch onderzoeken en dit te onderbouwen.				

8.2.6 Impact niet nakomen afspraken

Er bestaat een kans dat er afspraken niet nagekomen worden.

TABEL 25 IMPACT NIET NAKOMEN AFSPRAKEN

	Heel laag	Laag	Gemiddeld	Hoog	Heel hoog
Kosten					
Planning					
Scope					
Kwaliteit					
Oplossing	Mondelinge afspraken laten bevestigen via de mail. Betreffende personen op tijd aanspreken. Mocht dit niet baten, moet de afstudeerder de leidinggevende dit bij de juiste personen neerleggen.				
Internaliseren	Internaliseren is in deze niet altijd mogelijk. Bijvoorbeeld spullen bestellen, dit moet een afstudeerder aanvragen. Hierdoor blijft de afstudeerder altijd afhankelijk van andere partijen.				

8.2.7 Impact corona virus

Op het moment van schrijven (30 maart 2020) zijn er voldoende maatregelen omtrent corona. De kans bestaat dat door het corona virus het afstuderen niet voortgezet kan worden.

TABEL 26 IMPACT CORONA VIRUS

	Heel laag	Laag	Gemiddeld	Hoog	Heel hoog
Kosten					
Planning					
Scope					
Kwaliteit					
Oplossing	Voldoende testgegevens verzamelen die op een later moment thuis uitgewerkt kunnen worden. Hierdoor kan er voldoende informatie verzameld worden om het eindverslag te schrijven.				
Internaliseren	Dit is alleen te internaliseren als er voldoende testen uitgevoerd zijn voordat er verplicht wordt om thuis te werken. Ook het schrappen van delen uit de afstudeeropdracht zou hier van toepassing kunnen zijn, dit is ook afhankelijk van de uitgevoerde testen.				

8.3 Risicomatrix

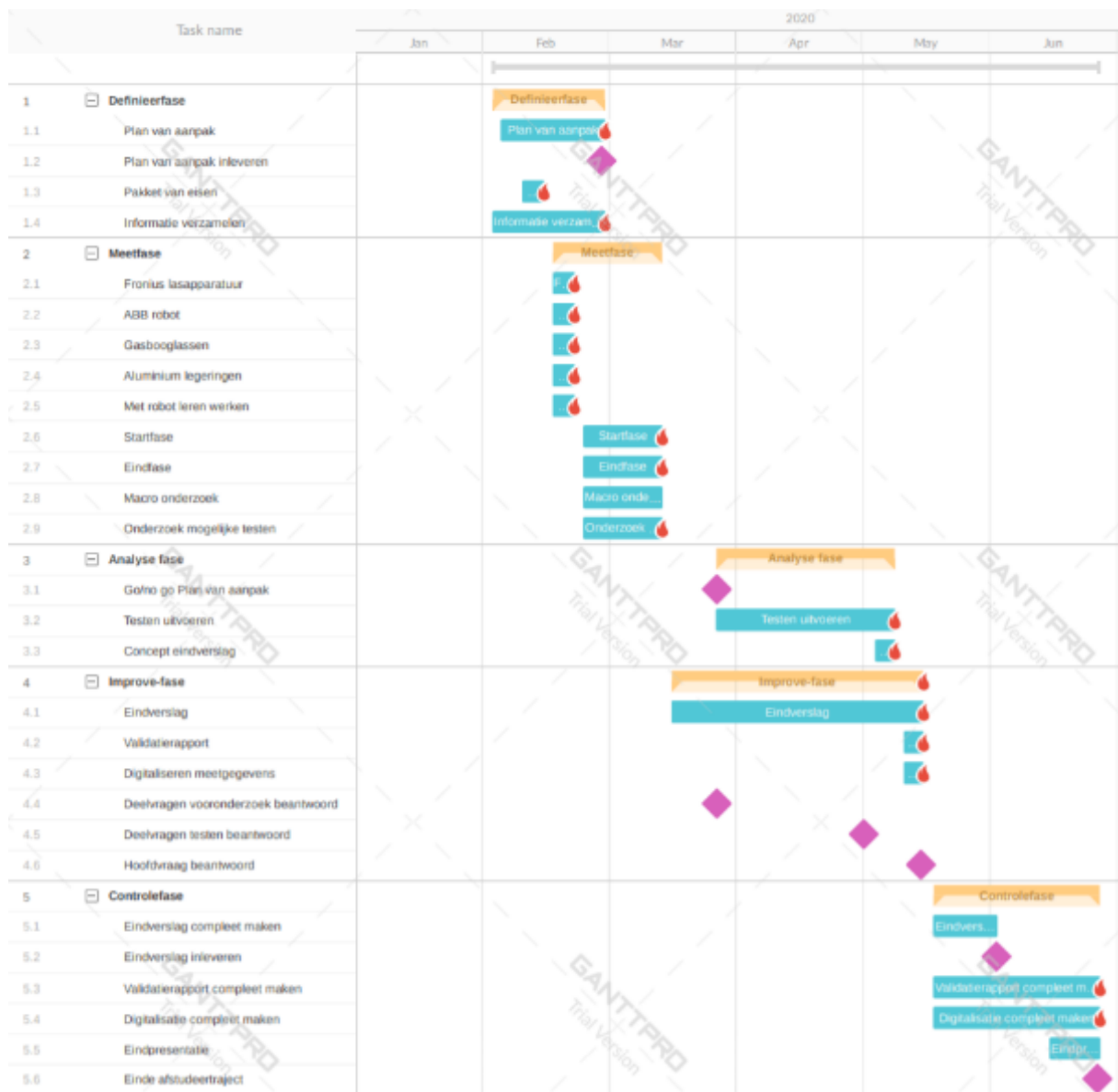
Een risicomatrix is opgesteld om snel en overzichtelijk de risico's te kunnen zien.

TABEL 27 RISICOMATRIX (RIEPMA, HEDEMAN, & AKEN, 2010)

W a r s c h i j n l i j k h e i d	Impact					
		Heel laag	Laag	Gemiddeld	Hoog	Heel hoog
	Hele kleine kans			Langdurig ziek	Materiaal niet leverbaar	Niet nakomen afspraken
	Kleine kans				Tijd te kort /Laboratorium overgepland	Miscommunicatie
	Gemiddelde kans			Storing testopstelling	Verhuur cel Fieldlab	Sluiting Fieldlab
	Grote kans				Corona virus	
	Hele grote kans					

9. Planning

Om de planning van het onderzoek in goede banen te leiden is er een Ghanttchart gemaakt. Een Ghanttchart is een planning in de vorm van een balkenschema (Riepma, Hedeman, & Aken, 2010). In een Ghanttchart worden alle fases, milestones en taken weergegeven. De Ghanttchart van dit onderzoek omvat een definieerfase, meetfase, analysefase, improve-fase en controle fase. Dit zijn de fases die bij DMAIC horen. In onderstaande afbeelding is de Ghanttchart te zien, in bijlage B is de versie per week weergegeven. Het volgen van de planning is van belang voor de uitkomst van het onderzoek.



FIGUUR 48 GHANTTCHART

9.1 Uitleg Ghanttchart

In onderstaande tabel wordt er uitgelegd uit welke activiteiten de fases bestaan, de beschrijving van de activiteiten en wat de milestones zijn.

TABEL 28 UITLEG GHANTTCHART

Definieerfase		
Activiteit	Beschrijving	Milestones
Pakket van eisen	- De eisen en wensen vanuit AWL; - Is onderdeel van het plan van aanpak.	14 februari 2020
Plan van aanpak	- Volgens de regels van Project Engineering; - Alle betrokken partijen op één lijn; - Duidelijke grenzen; - Gedetailleerde planning.	Plan van aanpak inleveren uiterlijk 28 februari 2020
Informatie verzamelen	- Lastechnieken binnen AWL in kaart brengen; - Voorgaande testen uitzoeken.	28 februari 2020
Meetfase		
Activiteit	Beschrijving	Milestones
Fronius lasapparatuur	- Bestuderen; - Werking kennen.	21 februari 2020
ABB robot	- Bestuderen; - Werking kennen; - Programmering.	21 februari 2020
Booglassen	- Bestuderen; - Werking kennen.	21 februari 2020
Aluminium legeringen	- Bestuderen; - Eigenschappen 5000 en 6000 serie legeringen kennen.	21 februari 2020
Met de robot leren werken	- Inlezen in de robot; - Proefjes doen met de robot; 17 t/m 19 februari uitleg collega; - Leren teachen van de toorts.	21 februari 2020
Startfase	Bestuderen.	13 maart 2020
Eindfase	Bestuderen.	13 maart 2020
Macro onderzoek	Bestuderen.	
Onderzoek mogelijke testen	Welke testen er nodig zijn voor het	13 maart 2020

	verdiepende onderzoek.	
Analysefase		
Activiteit	Beschrijving	Milestones
Go/no go Plan van aanpak	Terugkoppeling of er een go of no go is voor het plan van aanpak.	27 maart 2020
Testen uitvoeren	- Stabiel aluminium booglasproces overlappende las; - Stabiel aluminium booglasproces binnenhoeklas; - Startfase; - Eindfase.	8 mei 2020
Concept eindverslag	Toezenen naar schoolbegeleider.	8 mei 2020
Improve-fase		
Activiteit	Beschrijving	Milestones
Verwerken van de meetgegevens	- Testresultaten verwerken in eindverslag; - Testresultaten verwerken om validatierapport; - Testgegevens digitaliseren.	15 mei 2020
Eindverslag	- Beantwoorden deelvragen vooronderzoek - Beantwoording deelvragen testen - Beantwoording hoofdvraag	27 maart 2020 1 mei 2020 15 mei 2020
Controlefase		
Activiteit	Beschrijving	Milestones
Eindverslag	- Compleet maken; - Inleveren.	2 juni 2020 tussen 9.00 en 14.00 uur
Validatierapport	- Compleet maken; - Inleveren.	26 juni 2020
Gedigitaliseerde meetresultaten	- Compleet maken; - Overzichtelijk inrichten; - Inleveren.	26 juni 2020
Eindpresentatie	- Voorbereiden; - Oefenen.	
Einde afstudeertraject		26 juni 2020

10. Kosten en batenanalyse

De afstudeerstage brengt kosten met zich mee maar leveren ook voordelen op. In dit hoofdstuk worden de kosten en baten uitgelegd.

KOSTEN

Het financiële plaatje van de afstudeerstage is op dit moment nog niet bekend. Ook is er geen budget voor afgesproken. Dit komt doordat er niet gezegd kan worden hoeveel testen er uitgevoerd moeten worden.

Een schatting van de kosten ziet er als volgt uit:

- reservering Fieldlab Totaal €3000,-
- diensten
 - begeleiding programmeren robot €1000,-
 - stagevergoeding €2500,-
 - macro onderzoek €3500,-
 - Totaal €7000,-
- materiaal
 - lasdraad €150,-
 - EN AW-5754 H111 €250,-
 - EN AW-6082 T651 €250,-
 - laptop + werkplek €1000,-
 - Totaal €1650,-

*Alle bedragen zijn een inschatting, bedragen kunnen hoger of lager uitvallen.

Het totaalbedrag wat op dit moment ingeschat kan worden komt op €11650,-.

BATEN

Baten zijn de opbrengsten voor de organisatie die uit dit onderzoek voortkomen. Onder de organisatie vallen de afstudeerder, AWL en de HAN Automotive Engineering.

Afstudeerder

De opbrengst die uit de afstudeerstage voortkomt is voor de afstudeerder, het behalen van de afstudeerstage en daarbij zijn diploma.

AWL

De opbrengst die uit de afstudeerstage voortkomt is voor AWL, nieuwe inzichten in aluminium lassen. Wat nieuwe opdrachten kan opleveren, omdat AWL hierdoor de kwaliteit van een las kan garanderen.

HAN Automotive Engineering

De opbrengst die uit de afstudeerstage voortkomt is voor de HAN Automotive engineering, de connectie tussen de theorie en het bedrijfsleven. Ook voor de komende jaren studenten bij AWL stage laten lopen.

10.1 GOKIT-diagram

In figuur 49 is een GOKIT-diagram weergegeven. Een GOKIT-diagram geeft weer, wie er verantwoordelijk is voor geld, organisatie, kwaliteit, informatie en tijd. (Riepma, Hedeman, & Aken, 2010)

GELD

Het onderzoek kost geld. Er moeten meerdere spullen aangeschaft worden, een cel in het Fieldlab moet worden gereserveerd, het kost tijd om een afstudeerder te begeleiden en de afstudeerder krijgt een maandelijkse vergoeding. Voor AWL zijn de kosten van belang, hierdoor is AWL ook verantwoordelijk voor de kosten.

ORGANISATIE

Het opzetten van het onderzoek en de organisatie ervan wordt geregeld door de afstudeerder. Ook het organiseren van het stagebezoek en eventuele besprekingen worden geregeld door de afstudeerder. De partijen die belang hebben in het onderzoek zijn de afstudeerder, AWL en de HAN Automotive Engineering.

KWALITEIT

De kwaliteit dient ten alle tijden op orde te zijn. Aan de hand van macro onderzoek wordt de kwaliteit van de las gecontroleerd. De afstudeerder neemt de tijd om de kwaliteit in overleg met de bedrijfsbegeleider te controleren. De Afstudeerder is verantwoordelijk voor de kwaliteit.

INFORMATIE

Informatie wordt verkregen vanuit AWL en uit de HAN-kennisbank. Uiteindelijk is de afstudeerder verantwoordelijk voor het verkrijgen van de juiste informatie.

TIJD

Het onderzoek moet binnen twee aaneengesloten onderwijsperiodes afgerond worden. Het is hierdoor van belang dat de gemaakte planning haalbaar is en gevolgd wordt. Er wordt uitgegaan van een 40-uurs werkweek. De afstudeerder is hier verantwoordelijk voor.



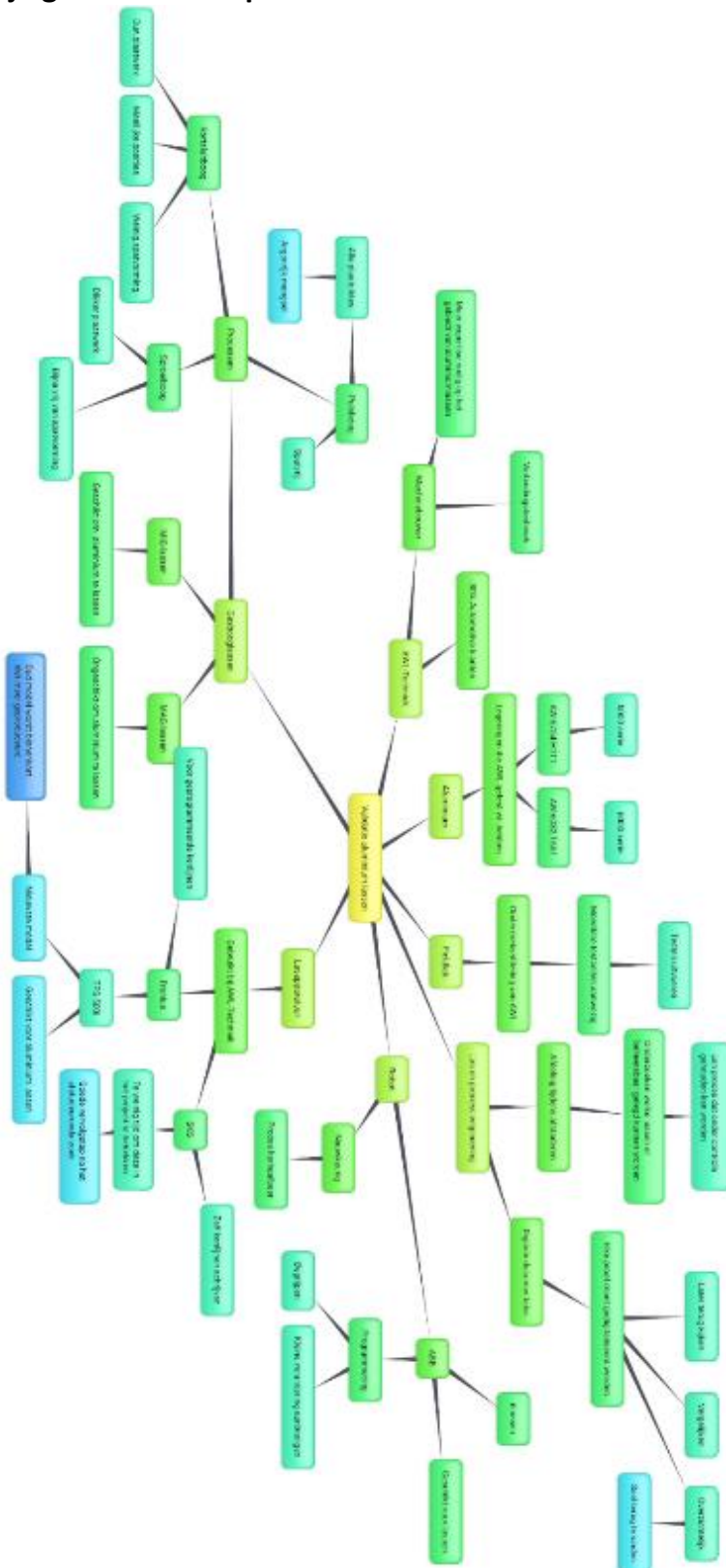
FIGUUR 49 GOKIT-DIAGRAM

Bibliografie

- Aalco. (sd). *Aluminium Alloy - Commercial Alloy - 6082 - T6~T651 Plate*. Opgeroepen op April 1, 2020, van Aalco: http://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy_6082-T6~T651_148.ashx
- AWL. (2011 - 2020). Kennisbank AWL.
- Bloks, A. (sd). *De verschillende aluminium series*. Opgehaald van HEGO Stainless steel and aluminium: <https://www.hego.nl/de-verschillende-aluminium-series/>
- Fronius. (2019). *Handleiding TPS 320i/400i/500i/600i en TPS 400i LSC ADV*. Pettenbach: FRONIUS INTERNATIONAL GMBH.
- Geertsma, P. (2014, Maart 2). *Welke vier varianten zijn er van het MIG/MAG lasproces?* Opgehaald van Technisch werken: <https://www.technischwerken.nl/kennisbank/techniek-kennis/welke-vier-varianten-zijn-er-van-het-migmag-lasproces/>
- Goed, C. d. (2008). *Lasbaarheid van materialen aluminium en aluminiumlegeringen*. Zoetermeer: Nederlands Instituut voor Lastechniek.
- Mulder, P. (2017). *DMADV model*. Opgehaald van Toolshero: <https://www.toolshero.nl/kwaliteitsmanagement/dmadv-model/>
- Mulder, P. (2019). *House of Quality*. Opgehaald van Toolshero: <https://www.toolshero.nl/kwaliteitsmanagement/house-of-quality/>
- Riepma, R., Hedeman, B., & Aken, T. v. (2010). *Projectmanagement voor het HBO op basis van IPMA-D*. Zaltbommel: Van Haren Publishing.
- Sol, T. (2020, Februari 03). Validatie aluminium lassen. (K. Jägers, Interviewer)
- Stoop, B., Gales, T., Velde, R. v., Olde Benneker, J., Soetens, F., & Boers, P. (2010). *Lassen van aluminium en aluminiumlegeringen*. Zoetermeer: Vereniging FME-CWM.
- Vanotools. (sd). *MIG/MAG-lasproces*. Opgeroepen op Maart 30, 2020, van Vanotools: <http://www.vanotools.nl/infosite/pages/Techniek%20&%20know%20how/Technische%20informatie%20MIG%20MAG-lasproces%20.html>
- Wikipedia. (sd). *5754 aluminium alloy*. Opgeroepen op 03 2020, 31, van Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/5754_aluminium_alloy
- Wikipedia. (sd). *6082 aluminium alloy*. Opgeroepen op 03 31, 2020, van Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/6082_aluminium_alloy

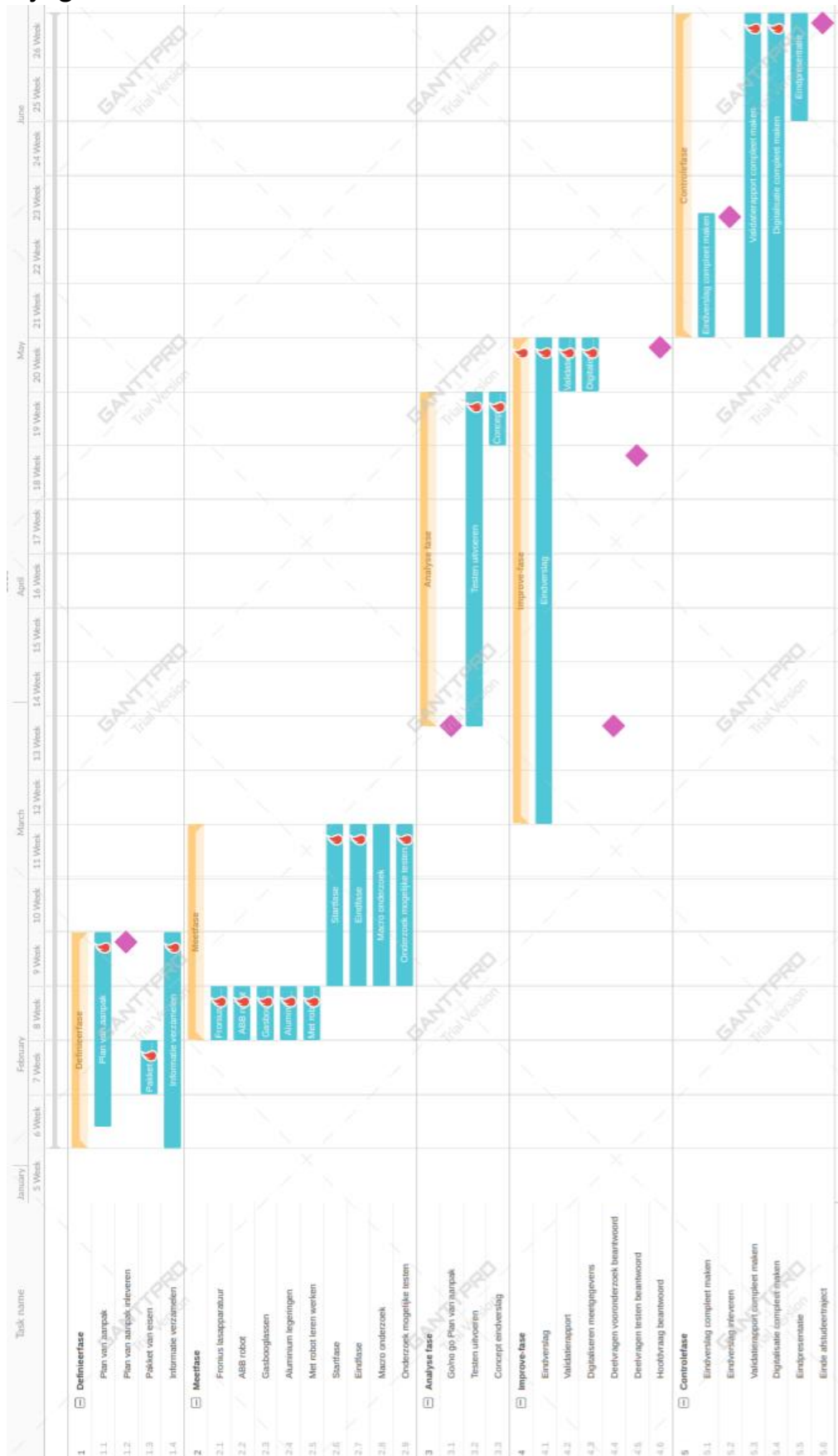
Bijlagen

Bijlagen A Mindmap



FIGUUR 50 MINDMAP

Bijlage B Ganttchart



FIGUUR 51 GHANTTCHART IN WEKEN

Bijlage 3 Reflectieverslag

Aan de hand van de Starr-methode wordt er gereflecteerd op mijn eigen handelen tijdens de afstudeerperiode bij AWL. Starr staat voor situatie, taak, actie, resultaat en reflectie.

Situatie

Sinds 3 februari 2020 loop ik stage bij AWL in Harderwijk. Ik voer hier een opdracht uit ten behoeve van mijn afstuderen aan de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen. De opdracht wordt uitgevoerd voor de afdeling las en proces engineering van AWL.

Taak

De taak die uitgevoerd wordt ten behoeve van het afstuderen aan de HAN Automotive is onderzoek doen naar aluminium booglassen met een Fronius TPSi lasbron. AWL heeft jarenlange ervaring in het lassen van staal en sinds de laatste jaren ook in aluminium puntlassen. Voor AWL is het van belang om te weten of het mogelijk is om een aluminium booglasproces stabiel te krijgen en daardoor ook verkoopbaar.

De uitkomst van dit onderzoek dient geïmplementeerd te worden in een project die AWL begin 2020 heeft aangenomen. Ik ga samen met mijn begeleider het lasproces van dit project onder onze hoede nemen.

Actie

In de eerste weken van de afstudeerstage ben ik bezig geweest om het theoretische gedeelte op peil te krijgen, daarna ben ik in de praktijk de testen uit gaan voeren. Hierbij moesten verschillende afspraken worden gemaakt met verschillende afdelingen. De eerste afdeling is het Fieldlab waar de testen uitgevoerd worden. Hier moesten afspraken gemaakt worden over de tijdsduur van het reserveren van de cel. De tijdsplanning heb ik voorgelegd en hierdoor ontstonden enige problemen. Er loopt een project parallel aan mijn afstudeeropdracht. De cel die geschikt is om aluminium boog te lassen was van half maart tot eind mei bezet.

Het project was net na mijn starten van afstuderen ertussendoor gekomen. Hierop heb ik samen met mijn begeleider een voorstel gedaan om een lasbron te huren waardoor een andere cel ingericht kon worden voor aluminium booglassen. Dit is goed opgepakt. Uiteindelijk door leveringsproblemen rondom Corona heb ik één week zonder cel gezeten.

Daarnaast moesten er afspraken met het laboratorium gemaakt worden. In het laboratorium worden de macro's van de lassen die visueel als 'goed' beoordeeld zijn gemaakt. Met het laboratorium hebben we afgesproken dat mijn delen tussen de projecten door worden gedaan. Omdat het op deze afdeling hollen of stilstaan is (de ene dag hebben ze veel werk, gevolgd door een dag zonder werk) zijn de eerste weken volgens afspraak gegaan maar na enige tijd ontving ik geen resultaten meer van de testen. Omdat we toen al in de corona crisis zaten en het bedrijf opgedeeld was in sectoren kon ik niet langs om dit te bespreken. Daarnaast werd de telefoon niet opgenomen en werden mijn mailtjes ook niet meer beantwoord. Na overleg met mijn begeleider en leidinggevende is er besloten om via de leidinggevende van het laboratorium de vragen te stellen. Hierop werd besloten om extra personeel in te zetten, waarop ik al snel de resultaten ontving.

Tijdens het uitvoeren van de testen heb ik veel contact gehad met mijn begeleider om hem goed op de hoogte te houden van de ontwikkelingen.

Het resultaat

AWL en ik zijn zeer tevreden over het resultaat. De basis voor aluminium booglassen is gelegd. Vanuit hier kunnen er klantwensen beter gespecificeerd worden. Een van de klantwensen heb ik direct in de praktijk kunnen toepassen. Het project wat ik eerder in het verslag vermeld heb, heb ik samen met mijn begeleider de proces engineering op ons hoede genomen.

Het project bestaat uit accubakken van extrusieprofielen voor een elektrische auto. De eerste resultaten waren niet zoals gehoopt. De afkoeling door de ribben in het extrusieprofiel waren niet om aan te zien. De extrusieprofielen die gebruikt worden in dit project geven lang niet het resultaat wat bereikt wordt op de testplaatjes van dit onderzoek.

Uit de testen die voor dit project zijn uitgevoerd kwam naar voren dat PMC Ripple drive voor de buitenhoeklas, PMC Mix drive voor de binnenhoeklas en PMC Universeel voor een i-naad zouden voldoen.

Uiteindelijk is hier alleen de PMC Ripple drive voor de buitenhoek van overgebleven. Dit komt omdat de ribben van de extrusieprofielen het warmtetransport beïnvloeden.

Voor mij was dit een heel leerzaam project naast mijn afstudeeronderzoek. De inzichten die zijn verkregen door te helpen bij dit project waren direct toe te passen in mijn afstudeeronderzoek.

De reflectie

Het onderzoek is volgens plan verlopen en de resultaten konden goed geïmplementeerd worden in het project. Helaas ging er te veel tijd zitten in het uitvoeren van de testen, hierdoor is er per type las (binnenhoek en overlap) één aluminium legering getest. Door eerst onderzoek te doen naar het verschil tussen de legeringen was dit mogelijk.

Als ik het onderzoek opnieuw zou doen zou ik mijn onderzoek beperken. Ik zou het aantal plaatdiktecombinaties beperken, door bijvoorbeeld 1,5+1,5, 2+2, 3+3, 4+4 en 4+1,5 te nemen. Hiermee wordt voldoende informatie verzameld om een uitspraak over de tussenliggende plaatdiktecombinaties in te schatten. Nu is er op tien plaatdiktecombinaties getest. Met minder plaatdiktecombinaties was er meer tijd geweest om dieper op andere dingen in te gaan.

Daarnaast zijn de afspraken tussen het laboratorium niet nagekomen. We hebben voordat er begonnen was met testen om de tafel gezeten dat er vier uur per week gepland zou worden. Dit is door beide partijen geaccepteerd maar bleek later niet haalbaar voor het laboratorium. Hierdoor heb ik de eerste weken van het testen, te lang moeten wachten op resultaat. Waarop ik heb besloten om actie te ondernemen en opnieuw om tafel te gaan zitten. Hieruit bleek dat er onderbezetting was, door ziekte en het coronavirus.

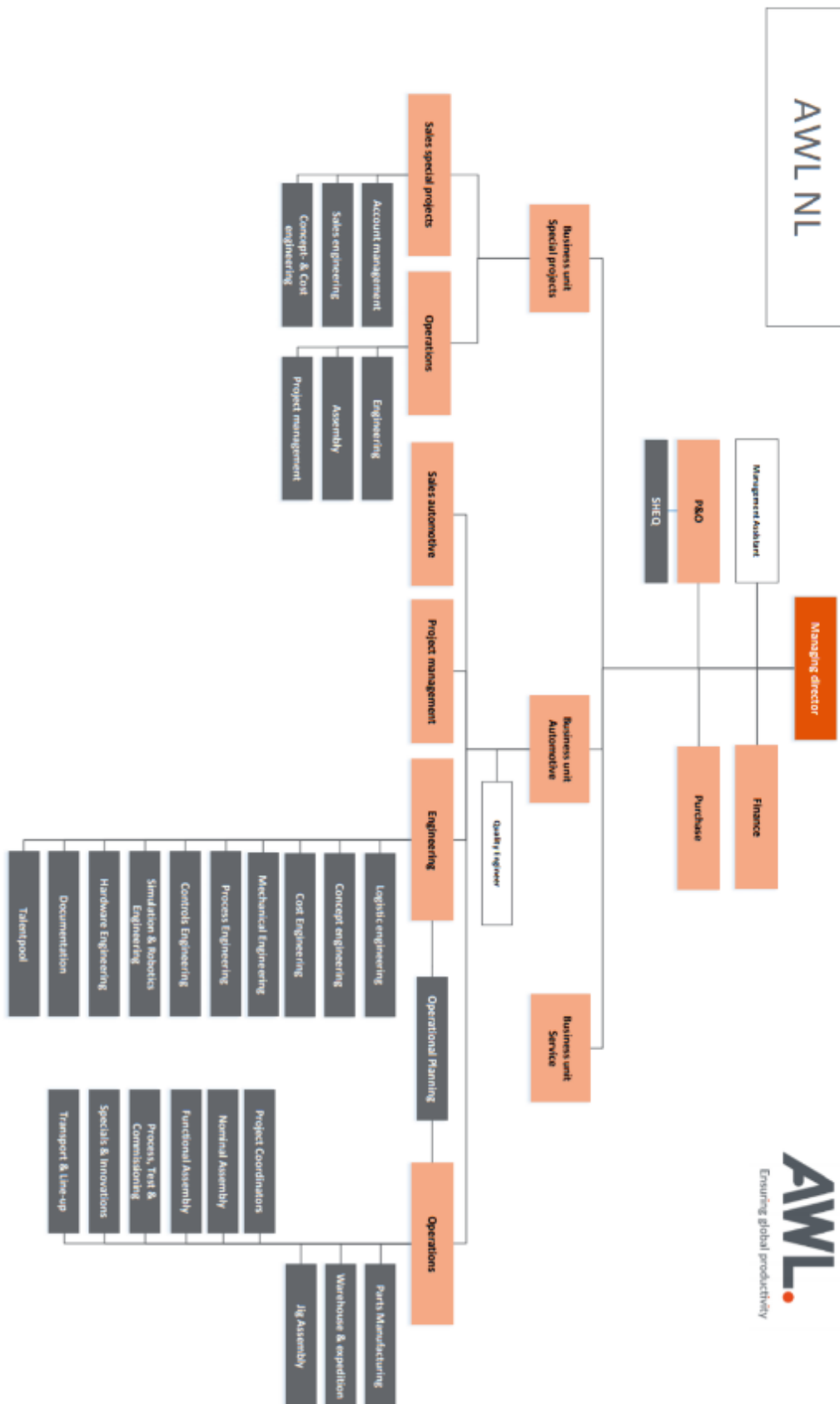
Ook waren er projecten die prioriteit hadden en de overige dingen opzij geschoven werden. Mijn testmateriaal werd hierdoor opzijgeschoven. Ook kwam het erop neer dat ik pech had en zou moeten wachten op mijn resultaten. Dit was voor mij geen optie en is uiteindelijk na tussenkomst van leidinggevende opgelost. Er is extra personeel in het laboratorium geplaatst en had ik binnen één dag de eerste resultaten. Uiteindelijk duurde het discussiëren langer dan het maken van de resultaten. De volgende keer zorg ik dat er betere afspraken komen en dat er tussentijds een voortgangsgesprek plaatsvindt. Daarnaast moet ik beter informeren hoelang een proces in beslag neemt, ik heb veel te lang gewacht met aan de bel trekken. Ik wist immers niet hoelang het duurde om de resultaten terug te krijgen. In het vervolg ga ik sneller achter dingen aan, hierdoor voorkom ik dat ik in de problemen kom.

Het voor het eerst werken met een robot en het programmeren ervan was een uitdaging. De basis die ik op school had geleerd was niet toereikend. Er is hier best veel tijd in gaan zitten, met name omdat ik alles wou weten en het veel te leuk vond. Achteraf gezien had er met minder tijd hetzelfde resultaat neergezet kunnen worden. In de toekomst moet ik mij hierin zien te beheersen, zodat andere dingen ook voldoende tijd krijgen.

Als ik terug kijk op de afstudeerperiode heb ik een leuke en leerzame tijd gehad. Ik heb geleerd om de volgende keer een strakkere tijdsplanning te maken. Daarnaast heb ik een bruikbare basis voor aluminium booglassen voor AWL neergezet. Voordat ik begon wist ik alleen de basis van lassen en was het lassen van aluminium zo goed als onbekend. Ik kan nu mijn opgedane kennis in het werkveld in gaan zetten.

Het leuke van deze afstudeerstage is het praktisch bezig zijn en daarbij de kennis inzetten om tot een resultaat te komen. Het lijkt mij geweldig om in de proces engineering verder te ontwikkelen. Daarnaast vond ik het leuk om voor het eerst van mijn leven met een robot te werken. Het gaat me goed af, de basis is er. Ik wil hier in de toekomst zeker mijn kennis in uitbreiden.

Bijlage 4 hiërarchie AWL



FIGUUR 52 HIËRARCHIE AWL-NEDERLAND (AWL, 2011 - 2020)

Bijlage 5 Certificaten gebruikte materialen



天津忠旺铝业有限公司
Tianjin Zhongwang Aluminium Co.,Ltd.
产品质量证明书

CERTIFICATE OF PRODUCT QUALITY ACCORDING TO EN 10204 3.1

编号/NO.: 201907020000870

产品名称 Product	冷轧板材 Aluminium Sheet	订货单位 Customer	MCB Nederland B.V.		订单号 Order No.	4500540838				
批号 Lot No.	177A261300	合金状态 Alloy & Temper	5754-H111		规格 (mm) Dimension	1.5*1000*2000				
托盘号 Pallet No.	177A261300D2-3Q	张数 Pcs.	120		净重(Kg) N.W.	955				
化学成分 Chemical Composition(%): EN573-3 2009										
元素 Element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ni	Ti	Al
标准值 Standard Value	0-0.4	0-0.4	0-0.1	0-0.5	2.6-3.6	0-0.2	0-0.3	—	0-0.15	余量 Remainder
实测值 Actual Value	0.12	0.23	0.01	0.23	2.78	0.01	0.10	—	0.02	
机械性能 Mechanical Properties : EN485-2 2013										
检测项目 Inspec. Item	抗拉强度Rm (Mpa) Tensile Strength	屈服强度Rp0.2 (Mpa) Yield Strength	伸长率A (%) Elongation		硬度 (HB) Hardness	弯曲结果 Bend Results				
标准值 Standard Value	190-240	≥80	≥14		—	90° 180°				
实测值 Actual Value	206	97	26.5		—	合格 Eligibility				
检测项目 Inspec. Item	剥落腐蚀 Exfoliation Corrosion		晶间腐蚀 (mg/cm²) Intergranular Corrosion		高倍组织 Microstructure	低倍组织 Macrostructure				
标准值 Standard Value	—		—		—	—				
实测值 Actual Value	—		—		—	—				
其它 Other	表面质量 Surface Control		合格 Eligibility		几何尺寸 Dimension Control	合格 Eligibility				
备注 Note:										
兹证明以上材料按照所注明的规范进行检验和测试, 其结果符合要求。 We hereby certify that the item listed have been checked and tested in accordance with the specifications noted and have been found to meet all the applicable requirements.					检印Check Printing: 					

检验员 Inspector:

张云

审核 Review:

张云

签发日期 Issue Date:

公司地址 Add.:

中国天津市武清区汽车零部件产业园 (武宁路北侧)
North of Wu Ning Road, Auto Industrial Park, Wuqing District, Tianjin, China 301701

电话 Tel.:

+8602259015008

传真 Fax:

+8602259663333

FIGUUR 53 EN AW-5754 CERTIFICAAT

SLIM Fusina Rolling Srl

Via dell' Elettronica 31
30176 Malcontenta
Loc. Fusina (Venezia)
Italia
Tel.: 39 041 2917111
Fax: 39 041 2917250



INSPECTION CERTIFICATE

MCB NEDERLAND BV
JF KENNEDYLAAN 59
5555 XC VALKENSWAARD
NETHERLANDS

EN 10204 3.1

Ordernumber **193219001**
Date **22/07/19**
Certificate number **W19307562**
Shipment doc.ref. **011783**

Your order nr	Your alloy	Your temper	Quantity	Your Art nr
4500539671	6082	T6	9694 kg	2800-0050-214
Global specification				
ALU SHEET 6082 T6 573.3/485.2 Mill finish				
Dimensions T x W x L 4,0000 x 1000,00 x 2000,0 mm				
Remarks				

Chemical composition 6082										
Cast no	%Si	%Fe	%Cu	%Mn	%Mg	%Cr	%Ni	%Zn	%Ti	Others
89184A3 5942A	0,85	0,37	0,075	0,54	0,98	0,039	0,0085	0,055	0,016	%Each Total
89184A3 5943A	0,85	0,37	0,075	0,54	0,98	0,039	0,0085	0,055	0,016	
Limit	Min.	0,70		0,40	0,60					
	Max.	1,30	0,50	0,10	1,20	0,25		0,20	0,10	0,050 0,15

Mechanical properties			
Coil nr:	Rm	Rp0.2	A50
Pallet	N/mm2	N/mm2	%
5942A	338	306	13
1114846			
1114848			
1114849			
1114850			
1114852			
5943A	334	304	13
1114855			
1114856			
1114859			
1114862			
1114863			
Min.	310	260	10
Max.			

Approved by
Alessandro Memo
Test Laboratory Supervisor

SLIM Fusina Rolling Srl - Sede Legale ed operativa: 30176 Malcontenta Loc. Fusina(VE) - Via dell'Elettronica, 31 - Società a socio unico sottoposta a direzione e coordinamento di SLIM Aluminium Spa.
Cap. Soc € 1.000.000,00 int. Vers. C.F. P.IVA n° 09391220960 - Registro Imprese di Venezia 09391220960 - R.E.A. C.C.I.A.A. Venezia n° VE - 407063

We hereby certify, that the material described above has been tested and complies
with the terms of the confirmation of order.

FIGUUR 54 EN AW-6082 CERTIFICAAT

CHEMICAL COMPOSITION (AVERAGE VALUES IN % OF THE WELDING CONSUMABLE)

ALUNOX	DIN-EN-ISO 18273	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Be	Ti	Others (indiv.)	Others (total)	Al	PDF
AX-AISI 5 (AX-4043)	S AL 4043A (AISI5)	4,50 - 6,00	<0,60	<0,30	<0,15	<0,20	<0,10	-	<0,0003	<0,15	<0,05	<0,15	Basis	

MECHANICAL PROPERTIES OF THE WELD MATERIAL (AVERAGE VALUES) AT ROOM TEMPERATURE [20°C]

ALUNOX	DIN EN-ISO 8273	Tensile Strength Rm N/mm²	Stretching limit RP0,2[N/mm²]	Elongation A5 (Lo 0 5 do) [%]
AX-4043	S AL 4043A (AISI5)	≤ 130	≤ 40	≤ 8

FIGUUR 55 LASDRAAD EN AW-4043



THE LINDE GROUP

Linde

Argon 4.6

Chemische naam: Argon
Formule: Ar

Specificatie/kwaliteit

Zuiverheid	≥ 99,996	vol %
Verontreiniging	N ₂ < 30	vpm
	O ₂ < 10	vpm
	H ₂ O < 10	vpm

Verpakkingsvormen

	V _{cil} (l)	V _{pak} (m ³)	P _{cil} (bar)	Artikelcode
Cilinders	5	1,1	200	2600105
	10	2,2	200	2600110
	20	4,4	200	2600120
	30	6,5	200	2600130
	30	9,1	300	2600193 VIVANTOS*
Pakket (16 cil.)	50	10,8	200	2600150
	800	173	200	2600580
	800	242,7	300	2600583**
m ³ bij 15 °C en 1 bar				

Cilinderkenmerken

Kleur volgens norm	NEN-EN 1089-3
Schouder	Smaragdgroen RAL 6001
Cilindrisch deel	Smaragdgroen RAL 6001
Aansluiting volgens NEN 3268	RU 3
Aansluiting volgens NEN-EN 561 (alleen 2600193 VIVANTOS*)	Geïntegreerd reduceerventiel + snelkoppeling
Aansluiting volgens NEN-ISO 5145**	No. 30

Fysische eigenschappen

Moleculair gewicht (kg/kmol)	39,95
Dichtheid gas (kg/m ³ bij 1,013 bar en 0 °C)	1,784
Relatieve dichtheid (lucht = 1)	1,380
Kookpunt (°C) (K)	-185,9 respectievelijk 87,3
Kritische temperatuur (°C) (K)	-122,3 respectievelijk 151

Overige informatie

Veiligheidsinformatieblad	Argon, samengeperst (VIB nr. 8303)
Productbeschrijving	Kleurloos en reukloos samengeperst gas; chemisch inert
Aanduiding volgens NEN-EN-ISO 14175	11

Toepassingen

Inertiseren	Warmtebehandeling van metalen
Draaggas bij gaschromatografie	Plasmabeeldschermen
Beschermgas bij TIG en MIG lassen	Ontkalking van edelstalen
Backingsgas	Uitvloei van metalen
Plasma-snijden	

Linde Gas Benelux B.V.
Havenstraat 1, Postbus 78, 3100 AB Schiedam
www.linde-gas.nl
BESTELLEN:
www.lindegasonline.nl / E-mail: mailorder.lg.nl@linde.com
Tel.: +31 88 262 62 62 / Fax: +31 10 246 15 06

Linde Gas Belgium N.V.
Westvaardijk 85, B-1850 Grimbergen
www.linde-gas.be
BESTELLEN:
E-mail: order.lg.be@linde.com
Tel.: +32 2 257 88 49 / Fax: +32 2 257 88 76

RL-P10 0002/09

FIGUUR 56 ARGON CERTIFICAAT

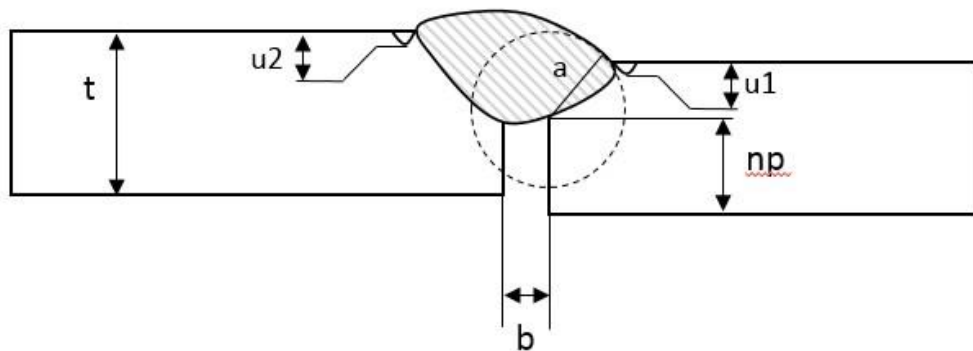
Bijlage 6 Aluminium lasboog norm Renault

De volledige norm van Renault is in het Frans. De belangrijkste delen uit de norm zijn vertaald naar het Nederlands en zijn in deze bijlage te vinden. In de Renault norm zijn kwaliteitscriteria beschreven waaraan een las moet voldoen. Hieronder volgen de definities met kwaliteitscriteria en bijbehorende afbeeldingen van de i-naad las, binnenhoeklas en overlappende las.

De definities en kwaliteitscriteria zijn:

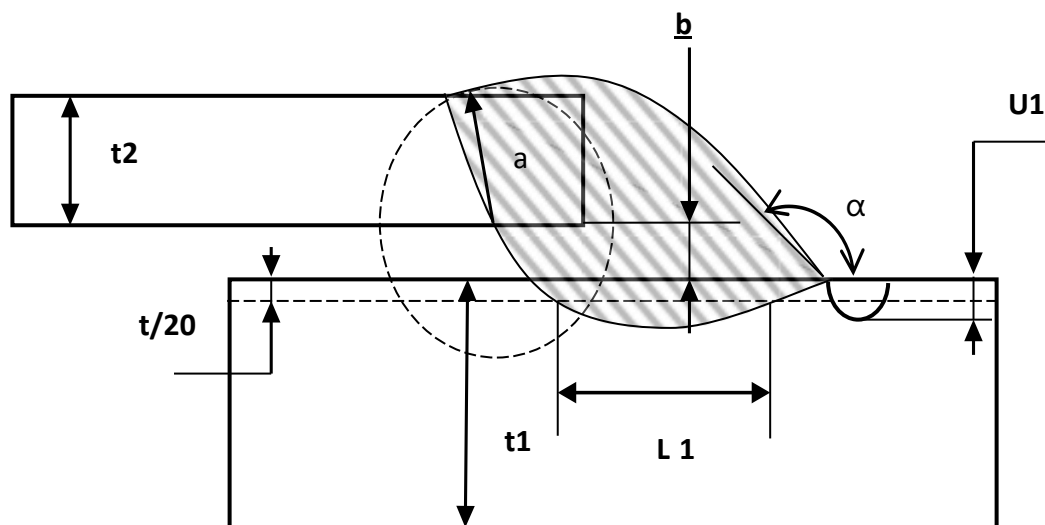
- t_1 en t_2 : plaatdiktes van de te lassen delen;
- L_1 en L_2 : penetratielengte op 1/20 van de dunste plaatdikte;
- a : keelhoogte + inbrandingsdiepte;
- b : speling tussen de te lassen delen;
- u_1 en u_2 : randinkarteling;
- α en β : verbindingshoek;
- np : geen penetratie.

I-naad las

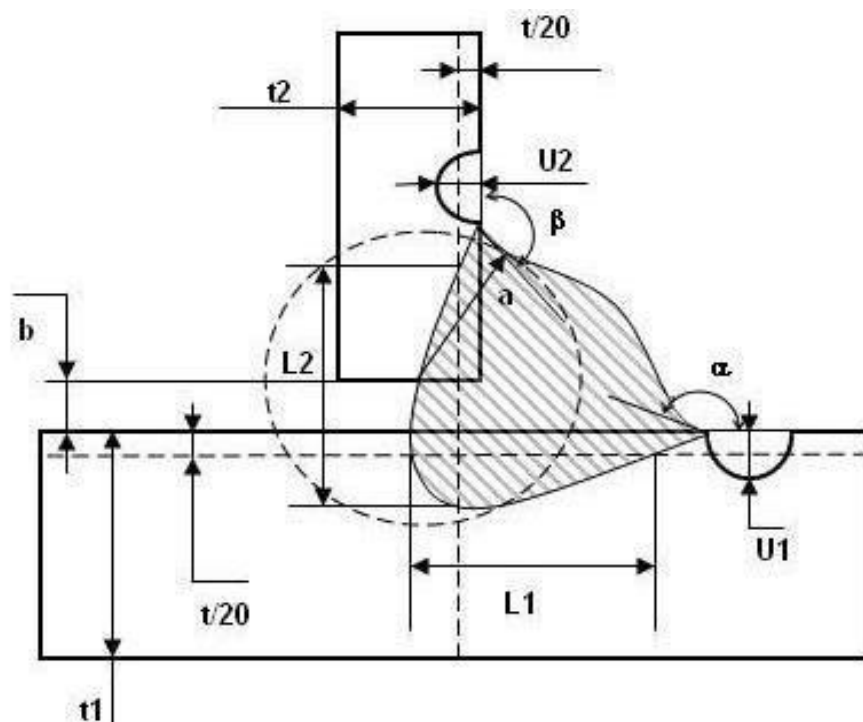


FIGUUR 57 KWALITEITSCRITERIA I-NAAD LAS (RENAULT, 2008)

Overlappende las



FIGUUR 58 KWALITEITSCRITERIA OVERLAPPENDE LAS (RENAULT, 2008)



FIGUUR 59 KWALITEITSCRITERIA BINNENHOEKLAS (RENAULT, 2008)

In onderstaande tabel zijn de waarden waar de kwaliteitscriteria aan moet voldoen weergegeven.

TABEL 29 KWALITEITSCRITERIA LASSEN (RENAULT, 2008)

Kwaliteitscriteria	Minimaal toegestaan	Gradatie
Penetratielengte	$L1 \text{ \& } L2 = 0,8 t$	A, B, C
Meetdiepte voor platen $\leq 4 \text{ mm}$	$0,05 t$	
Meetdiepte voor platen $> 4 \text{ mm}$	$0,2 \text{ mm}$	
Geen penetratie	$np \leq 0,5 t$	
Keelhoogte + inbrandingsdiepte	$a \geq t$	
Verbindingshoeken	100°	A1, B1, C1
	90°	A2, B2, C2
Plaatdikte $t \leq 4 \text{ mm}$ Plaatdikte $t > 4 \text{ mm}$	$b \leq 0,4 t$ $1,6 \text{ mm}$	A, B, C
Randinkarteling	$u1 \leq 0,1 t1, u2 \leq 0,1 t2$ $\text{max } 1 \text{ mm}$	A1, B1, C1
	$u1 \leq 0,2 t1, u2 \leq 0,2 t2$ $\text{max } 1 \text{ mm}$	A2, B2, C2
Tolerantie laslengte	$\pm 5 \text{ mm}$	A, B, C
Begin- en eindposities las	$\pm 5 \text{ mm}$	
Porositeit	Gelijkmatig verdeeld $\leq 3 \text{ cm}$ Insluitsels $\leq 3 \text{ mm}$	Alle gradaties
Scheurvorming	Niet toegestaan	Alle gradaties

*t is de dikte van de dunste plaat

Bijlage 7 De testopstelling

Voor het uitvoeren van de testen heeft AWL een testopstelling in het Fieldlab beschikbaar gesteld. Het is van belang om te weten uit welke onderdelen de testopstelling bestaat, of de testopstelling geschikt is voor aluminium lassen en wat de mogelijkheden van de testopstelling zijn.

Fronius lasapparatuur

De Fronius lasapparatuur bestaat uit de volgende onderdelen:

- Fronius TPS 500i

“De Fronius TPS 500i vormt de Intelligent Revolution van Fronius op het gebied van MIG/MAG lasmachines. Deze machines zijn compleet nieuw ontwikkeld en uitgerust met de nieuwste technologie. Als gevolg hiervan zijn de las eigenschappen aanzienlijk verbeterd, de communicatie tussen mens en machine geoptimaliseerd en de bediening geperfectioneerd. De Fronius TPS 500i is een universeel genie, deze machine kan tot 500 Amprere mig/mag lassen . TPS staat hierin voor Trans Process Solutions en biedt een keuze uit de lasprocessen; Standaard, Puls, LSC, PMC of zelfs CMT. (Fronius TPS 500i, sd)”



FIGUUR 60 FRONIUS TPS 500i (AWL, 2011 - 2020)

- Fronius SB 60i R (CMT-push/pull systeem)

Zorgt ervoor dat de lasdraad teruggetrokken kan worden. Hierdoor is het mogelijk om CMT te lassen.



FIGUUR 61 FRONIUS SB 60i R (AWL, 2011 - 2020)

- Fronius 25i REEL R (draadaanvoer unit)

Voert de draad aan richting het CMT-push pull systeem. Het push-pull systeem is niet in staan om het draad tot aan de lastoorts te krijgen.

- Fronius WF 60i Robacta Drive CMT/W (toorts)

Toorts die geschikt is voor het terugtrekken van de lasdraad.

ABB IRB 1600ID-6/.55 robot

Alle testen worden uitgevoerd met een ABB-robot. De robot staat los van de lasapparatuur, de communicatie gaat via robot studio. Robot studio is een programmeerprogramma voor de ABB-robot. In de programmering wordt de lasapparatuur aangeropen en bestuurt.



FIGUUR 62 ABB-ROBOT

Lastafel met Siegmund bevestiging materiaal

De lastafel staat in een wender en beschikt over Siegmund bevestiging. De wender houdt in dat de tafel om één as kan draaien. Er is voor een Siegmund lastafel gekozen om de lasmallen makkelijk en nauwkeurig te kunnen positioneren. Een Siegmund lastafel beschikt over vaste punten die even ver uit elkaar liggen.

Veiligheid

De testopstelling beschikt over een afzuiging om de lasrook die tijdens het lassen ontstaat af te voeren. Daarnaast zijn er lashelmen en beschermende kleding beschikbaar.

Opspanmallen

Voor het opspannen van het testmateriaal zijn meerdere mallen beschikbaar. Hiermee kunnen de volgende lassen gelegd worden:

- I-naad las
- Overlappende las
- Binnenhoeklas

De lasmallen zijn afgestemd op de Siegmund lastafel en kunnen door middel van snelkoppelingen aan de lastafel bevestigd worden.

Geschikt maken voor aluminium lassen

Om de testopstelling geschikt te maken voor aluminium lassen zijn de volgende onderdelen gebruikt:

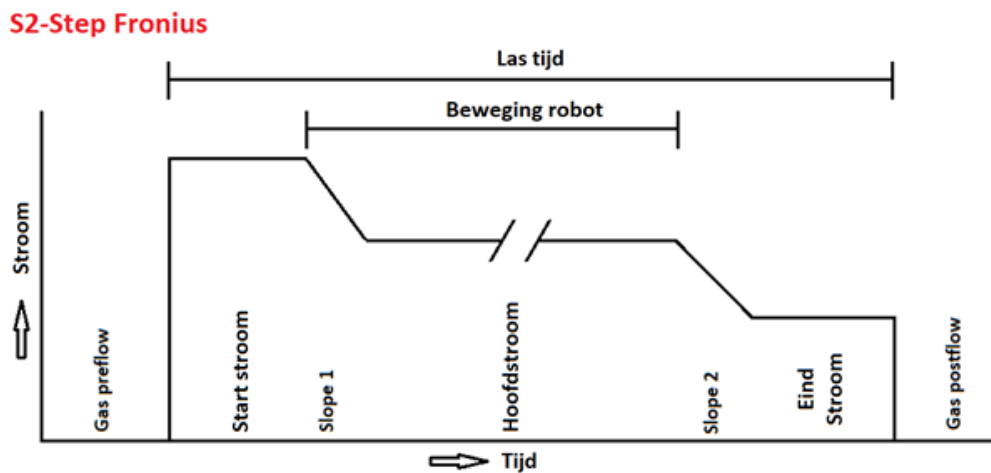
- 1,2mm AlSi5 lasdraad.
- Gasfles met 100% argon:
 - Er wordt voor 100% argon gekozen omdat de testmaterialen onder de dunne plaatdiktes vallen. Een combinatie van argon-helium wordt gebruikt voor grote plaatdiktes, door de combinatie wordt de vlamboog warmer.
 - De zuiverheid van argon moet zo hoog mogelijk zijn. Een kleine verontreiniging is terug te vinden in de las.
- Een magneetklep die de toevoer van het gas regelt. Hiermee is de ideale gasstroom te regelen.
 - 15 liter per minuut. Teveel of te weinig gas kan zorgen voor meer porositeit. Daarnaast is er bij een verkeerde instelling roet rond de las zichtbaar.
- Plastic draadgeleiders om vervuiling van het toevoegmateriaal te voorkomen.
- Contacttip geschikt voor aluminium lassen.

Bijlage 8 Beschrijving parameters Fronius TPSi

Fronius maakt gebruik van Synergic lijnen. Dit zijn voorgeprogrammeerde lijnen die gemaakt zijn voor specifieke toepassingen. De lijnen die in dit onderzoek gebruikt worden zijn gemaakt voor aluminium MIG-lassen met een draaddoorsnede van 1,2 millimeter. De basis van elke test zijn de standaard parameter van de desbetreffende Synergic lijn. Door het aanpassen van de parameters kan een ander gedrag van het lasproces verkregen worden.

Hieronder volgen de beschrijvingen van de aanpasbare parameters.

Trigger modus het verloop van de startstroom, hoofdstroom en eindstroom. Om door de oxidehuid heen te komen dient er een verhoogde startstroom ten opzichte van de hoofdstroom te zijn. Om scheurvorming bij de eindkrater te voorkomen dient de krater gevuld te worden. De eindkrater wordt gevuld door een lagere eindstroom dan hoofdstroom te gebruiken. Fronius heeft de S2-step trigger modus die voldoet aan de bovengenoemde eisen.



FIGUUR 63 TRIGGER MODE S2-STEP

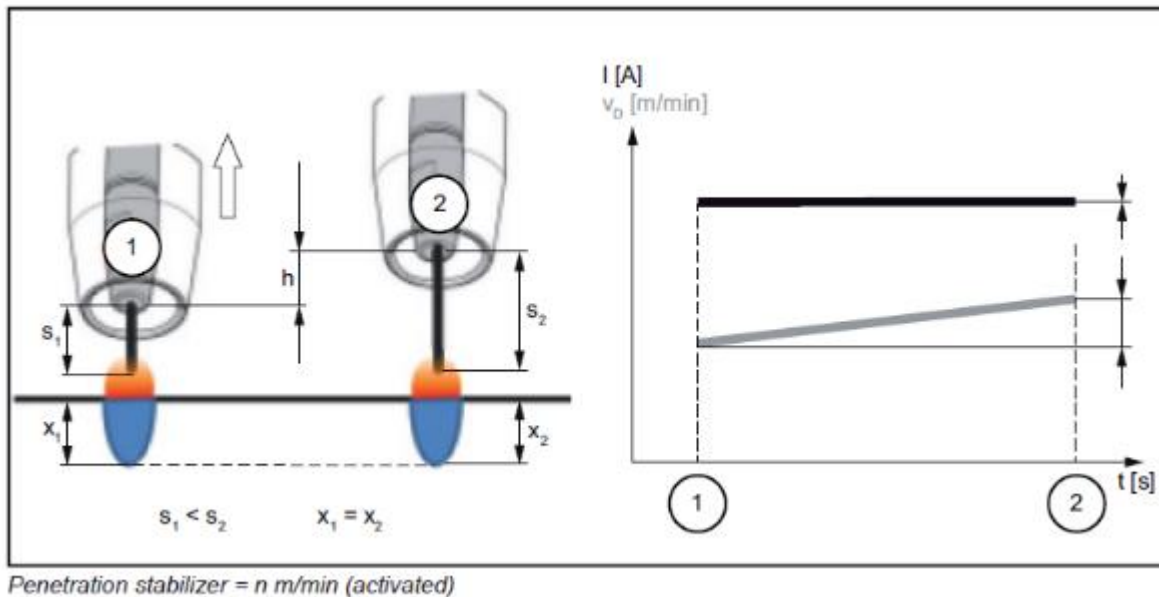
Draadsnelheid hoe snel de draad wordt aangevoerd in meter per minuut. Hier zit altijd een minimale en maximale snelheid aan vast.

- PMC Ripple drive 1,5 tot en met 9,5 meter per minuut
- PMC Mix drive 1,5 tot en met 9,3 meter per minuut
- PMC Universeel 0,8 tot en met 18 meter per minuut
- CMT Mix drive 1,2 tot en met 9,3 meter per minuut

Booglengte correctie is het kleiner of groter maken van de lasboog. Door een negatieve correctie uit te voeren wordt de booglengte kleiner. Een kleinere booglengte kan resulteren in een stabielere boog. Een te korte booglengte kan het aantikken van het lasbad veroorzaken met het doven van de boog tot gevolg. Een positieve correctie geeft een grotere booglengte, een te grote booglengte kan het doven van de boog veroorzaken. Doordat de lasdraad te ver van het werkstuk komt kan er geen boog tussen de delen verkregen worden. De booglengte correctie staat standaard ingesteld op 'nul'.

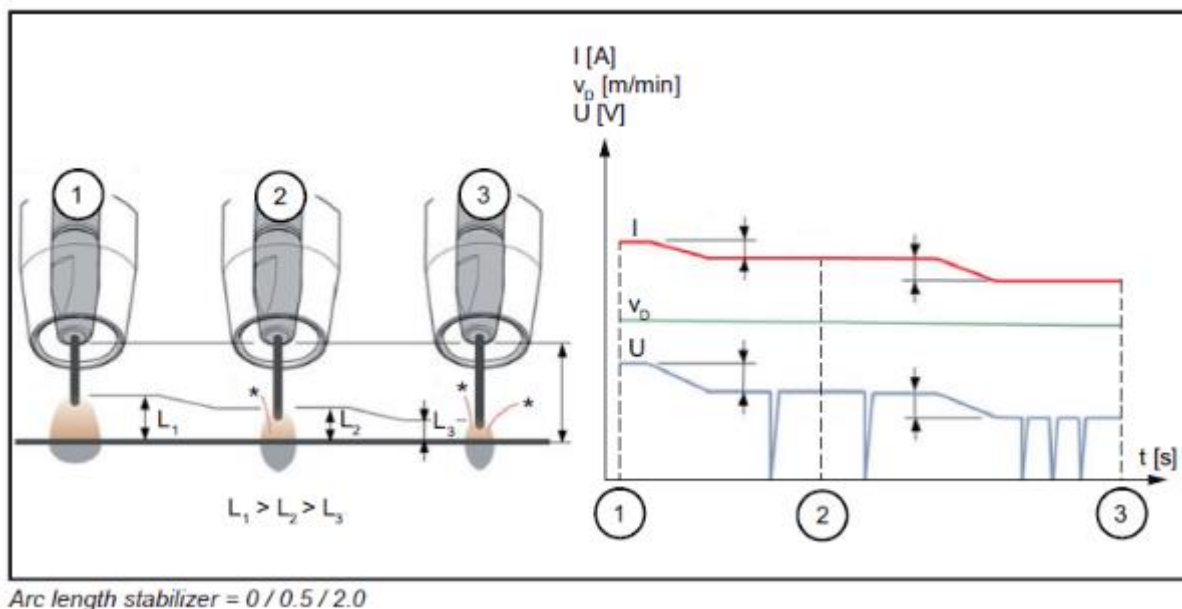
Puls/dynamische correctie kan de mate van puls energie tijdens de gepulseerde boog proces aangepast worden. Dit houdt in dat er meer of minder energie in de lasboog van de pulserende fase gestopt kan worden. De puls/dynamische correctie staat standaard ingesteld op 'nul'.

Penetratie stabilisator is zoals de naam al aangeeft een stabilisator voor de penetratiediepte. De penetratiediepte wordt geregeld door de stroom constant te houden. De penetratie stabilisator staat standaard ingesteld op 'nul'. In onderstaande figuur is te zien dat de inbranding gelijk blijft bij verschillende spanningen.



FIGUUR 64 PENETRATIE STABILISATOR FRONIUS (FRONIUS, 2019, P. 117)

Booglengte stabilisator is een stabilisator die de booglengte constant houdt. De booglengte wordt geregeld door de spanning constant te houden. De booglengte stabilisator staat standaard ingesteld op 'nul'. In onderstaande figuur is te zien dat de booglengte correctie verhoogt wordt en hierdoor de booglengte korter wordt. Zodra er kortsluiting ontstaat wordt de booglengte vergroot zodat er geen kortsluiting meer ontstaat.



FIGUUR 65 BOOGLENGTE STABILISATOR FRONIUS (FRONIUS, 2019, P. 119)

Gas voorstroom hoelang het gas voordat er begonnen is met lassen aangezet wordt. Het gas mag al stromen in de beweging van de robot. De gas voorstroom staat standaard ingesteld op 0,1 seconden.

Gas nastroom hoelang het gas moet stromen nadat het lassen geëindigd is. De robot moet stilstaan zolang het gas stroomt. Gas nastroom staat standaard ingesteld om 0,5 seconden.

Inching waarde is hoe snel de draad vanuit de draadrol naar de toorts geleid wordt. De fabrieksinstelling voor inching waarde staat standaard op tien meter per minuut.

Startstroom geeft de procentuele verhoging of verlagen ten opzichte van de hoofdstroom weer. Standaard staat deze ingesteld op 135%.

Start booglengte correctie is het aanpassen van de booglengte tijdens de startfase. Het aanpassen van de waarde geeft hetzelfde effect als bij de booglentecorrectie. Standaard staat de start booglengte correctie ingesteld op 'nul'.

Starttijd is hoelang de robot stil moet staan terwijl de startstroom loopt. Standaard staat de starttijd ingesteld op 'nul'.

Slope 1 is de overgang van de startstroom naar de hoofdstroom. Dit gebeurt tijdens de beweging van de robot. Standaard staat Slope 1 ingesteld op één seconden.

Slope 2 is de overgang van de hoofdstroom naar de eindstroom. Dit gebeurt als de robot stilstaat. De tijd van Slope 2 is hierdoor onderdeel van de totale las tijd. Standaard staat Slope 2 ingesteld op één seconden.

Eindstroom geeft de procentuele verhoging of verlaging ten opzichte van de hoofdstroom weer. Standaard staat de eindstroom ingesteld op 50%.

Eind booglengte correctie is het aanpassen van de booglengte tijdens de eindfase. Het aanpassen van de waarde geeft hetzelfde effect als bij de booglentecorrectie. Standaard staat de start booglengte correctie ingesteld op 'nul'.

Eindtijd is hoelang de robot stilstaat om de eindkrater te vullen. Standaard staat de eindtijd ingesteld op 'nul'.

SFI is een afkorting van Spatter Free Ignition. In het Nederlands is dit spatvrije ontsteking van de boog. Het activeren van de SFI wordt ervoor gezorgd dat er minder spettervorming is bij de start. Standaard staat de SFI uit.

SFI Hot start is het activeren van sproeihoog bij de start. De SFI hot start kan aangepast worden in tijd. Standaard staat de SFI hot start uit.

Terugtrekken draad is gebaseerd op de teruggaande beweging van de draad waarbij het systeem uitgerust moet zijn met een push-pull systeem. Hoe hoger de waarde hoe meer de draad terug getrokken wordt. Standaard staat dit ingesteld op 'nul'.

Synchropulse is het vloeiend schakelen tussen de verschillende parameters. Bij de Mix drive wordt er gebruik gemaakt van een lage en hoge fase. De overgang tussen deze fases wordt geregeld door synchropulse. Standaard staat deze waarde aan. Hieronder volgen de parameters die aangepast kunnen worden als synchropulse geactiveerd is.

- Aanvoer draadsnelheid tussen de verschillende fases, in meter per minuut.
- Frequentie, hoe snel er tussen de fases geschakeld dient te worden.
- Duty cyle, hoelang de hoge fase aangestuurd moet worden.
- Booglengte correctie hoge fase is het aanpassen van de booglente tijdens de hoge fase. Standaard staat dit ingesteld op 'nul'.
- Booglengte correctie lage fase is het aanpassen van de booglente tijdens de lage fase. Standaard staat dit ingesteld op 'nul'.

Hoogvermogen tijd correctie is het aanpassen van de tijd dat de hoge fase duurt. Het aanpassen naar een negatieve waarde geeft een kortere tijd. Standaard staat de hoogvermogen tijd correctie ingesteld op 'nul'.

Laagvermogen tijd correctie is het aanpassen van de tijd dat de lage fase duurt. Het aanpassen naar een negatieve waarde geeft een kortere tijd. Standaard staat de laagvermogen tijd correctie ingesteld op 'nul'.

Laagvermogen correctie geldt voor Mix drive. Het vermogen van de lage kan hiermee aangepast worden. Standaard staat de laagvermogen correctie ingesteld op 'nul'.

Hoogvermogen correctie limiet is het activeren van een limiet op de hoogvermogen fase. Hiermee wordt de penetratiestabilisator beperkt tot een ingevoerde procentuele limiet. Standaard staat de hoogvermogen correctie limiet ingesteld op 'nul'.

Laagvermogen correctie limiet is het activeren van een limiet op de laagvermogen fase. Hiermee wordt de penetratiestabilisator beperkt tot een ingevoerde procentuele limiet. Standaard staat de laagvermogen correctie limiet ingesteld op 'nul'.

Booglengte correctie hoogvermogen limiet is het activeren van een limiet op de booglengte correctie van de hoogvermogen fase. Hiermee worden de booglengtestabilisator beperkt tot een ingevoerde procentuele limiet. Standaard staat deze ingesteld op 'nul'.

Booglengte correctie laagvermogen limiet is het activeren van een limiet op de booglengte correctie van de laagvermogen fase. Hiermee worden de booglengtestabilisator beperkt tot een ingevoerde procentuele limiet. Standaard staat deze ingesteld op 'nul'.

Gasstroom kan ingesteld worden op de hoeveelheid liters per minuut. De Fronius maakt gebruik van een elektromagnetische gastoevoerklap. Hiermee kan de hoeveel gas in liters per minuut geregeld worden.

Jobslope is de overgang tussen twee jobs. Het afbouwen of opbouwen naar de volgende job gebeurt tijdens de beweging van de robot. Standaard staat dit uit.

Bijlage 9 Schoonmaakttest

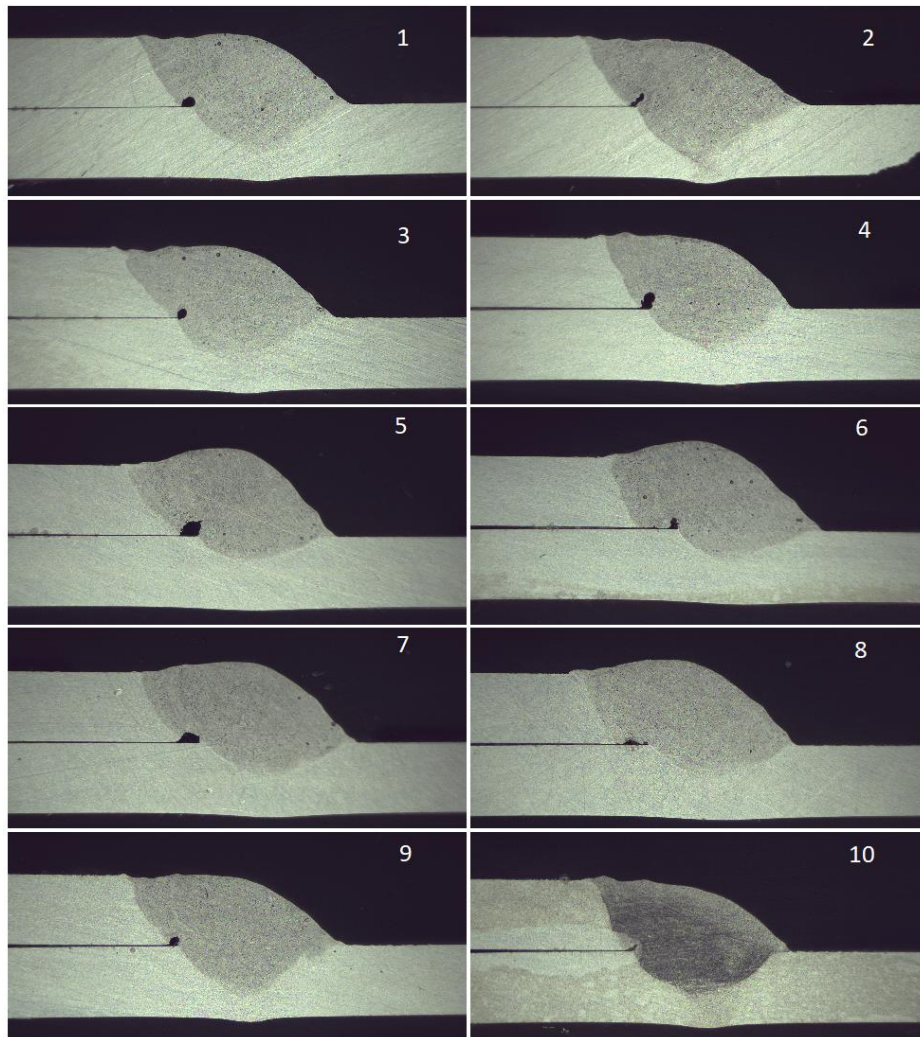
Aluminium reageert met de buitenlucht en creëert hierdoor een oxide laag. Voordat er gelast gaat worden dient een oxide laag verwijderd te worden. Het niet verwijderen van een oxide laag resulteert in het zakken van het oxide in het lasbad. Dit is ongewenste vervuiling en moet voorkomen zien te worden.

De eerste macro's die terugkwamen van het laboratorium bevatte veel gasinsluitels. Hierdoor is er besloten om uit te testen wat de beste manier is om het materiaal te reinigen en de oxidehuid te verwijderen.

De schoonmaakttest houdt in dat er verschillende manieren van schoonmaken worden gehanteerd. Vervolgens worden er van iedere test macro's gemaakt om te kijken hoe schoon of vuil de las is. Alle manieren van schoonmaken zijn na het inspannen van het te testen materiaal gebeurt. Hieronder volgen de manier van schoonmaken:

1. **Gas niet door laten stromen na een tijd niet gebruikt te hebben. Schoongemaakt met een rvs-borstel en vuil van het borstelen weggeblazen.** Argon is iets zwaarder dan lucht, hierdoor bestaat de kans dat argon eruit zakt en lucht ervoor in de plaats komt. Eerst het vuil verwijderd met aceton en een doek, vervolgens met een rvs-borstel schoongemaakt en het vuil weggeblazen.
2. **Gas niet door laten stromen na een tijd niet gebruikt te hebben. Niet schoongemaakt.** Een proef vergeten schoon te maken gaan vast voorkomen. Door deze test kan het opnieuw testen besparen.
3. **Niet schoongemaakt en met vette vingers aangeraakt.** Vet moet in het lasbad wegzakken.
4. **Niet schoongemaakt.**
5. **Schoongemaakt met Scotch Brite en vuil weggeblazen.** Eerst het vuil verwijderd met aceton en een doek, vervolgens met een Scotch brite schoongemaakt en het vuil weggeblazen.
6. **Schoongemaakt met Scotch Brite en vuil verwijderd met doek.** Eerst het vuil verwijderd met aceton en een doek, vervolgens met een Scotch brite schoongemaakt en het vuil verwijderd met een doek. Vezels van een doek kunnen hierdoor achterblijven.
7. **Rvs-borstel, vuil weggeblazen.** Eerst het vuil verwijderd met aceton en een doek, vervolgens met een rvs-borstel schoongemaakt en het vuil weggeblazen.
8. **Rvs-borstel, vuil weggehaald met doek.** Eerst het vuil verwijderd met aceton en een doek, vervolgens met een rvs-borstel schoongemaakt en het vuil verwijderd met een doek.
9. **Rvs-borstel, vuil weggeblazen en reinigen met aceton en doek.** Eerst het vuil verwijderd met aceton en een doek, vervolgens met een rvs-borstel schoongemaakt en het vuil verwijderd met een doek en aceton.
10. **Rvs-borstel en vette vingers.**

Alle testen zijn met dezelfde parameters en omstandigheden uitgevoerd. In onderstaande figuur zijn de macro's van de schoonmaaktest te zien.



FIGUUR 66 MACRO'S SCHOONMAAKTEST

Om tot een goede conclusie van de schoonmaaktest te komen worden de macro's vergeleken in een keuzetabel.

TABEL 30 KEUZETABEL SCHOONMAAKPROEF

Omschrijving	Weging	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Grote insluitsels	8	8	2	7	5	6	9	6	2	2	1
Oneffenheden inbranding	7	1	10	3	4	3	7	2	6	8	3
Verkleuring	6	4	5	2	2	3	2	2	3	5	10
Totaal		95	116	89	80	87	133	74	76	102	89

Uit de keuzetabel komt dat het materiaal het beste gereinigd kan worden volgens punt 7. Om de insluitel van de oxidehuid te voorkomen dient er volgens stap 7, voor het inspannen van het te testen materiaal gereinigd te worden. De manier van schoonmaken is geschikt voor het onderzoek, maar kan niet garanderen dat bij complexe geometrie de delen goed gereinigd worden.

Bijlage 10 Stappenplan uitvoeren testen

Er is een stappenplan opgesteld om ervoor te zorgen dat alle testen op dezelfde manier uitgevoerd worden. Daarnaast is het proces in een later stadium aan de hand van het stappenplan makkelijk te herhalen.

Stappenplan voor het uitvoeren van de testen

1. Controleer of de testopstelling compleet is;
2. Positioneer de lasmallen op de lastafel;
3. Zet de robot, lasapparatuur en Robotstudio aan;
4. Zet het gas aan;
5. Laat het gas 30 seconden doorstromen;
6. Positioneer het te testen materiaal in de lasmallen;
7. Stel het programma voor de te leggen las in;
8. Te lassen gebied voorbehandelen volgens optie 7 schoonmaakttest, zie Bijlage 8 Beschrijving parameters Fronius TPSi;
9. Laat het programma draaien met het lassen uitgeschakeld;
10. Safety;
 - Zet de afzuiging aan;
 - Draag brandveilige kleding;
 - Zet veiligheidsschermen neer zodat anderen niet ongewenst in de las kunnen kijken;
 - Draag een lashelm;
11. Laat het programma draaien;
12. Laat de testplaatjes afkoelen;
13. Haal de testplaatjes uit de lasmallen;
14. Resultaat waarnemen;
15. Digitaliseer alle informatie;
 - Vul de gebruikte parameters in het Excel bestand in;
 - Maak duidelijke foto's van de las;
16. Direct een nieuw experiment? → Begin opnieuw bij stap 6;
Experiment klaar? → Ga verder naar stap 17;
17. Uitschakelen testopstelling;
18. Schakel de afzuiging uit;
19. Zet het gas uit.

Bijlage 11 Resultaten stabiel proces

De resultaten worden weergegeven in tabellen 32 tot en met 39. Als eerste wordt er per lasprocesvariant de overlappende las weergegeven. Daarna volgt er per lasprocesvariant de binnenhoeklas. Een tabel bestaat uit de minimale en maximale voorloopsnelheid met bijbehorende draadsnelheid. Daarnaast wordt er aangegeven of het proces stabiel is. Ook wordt er weergegeven of de kwaliteitseisen volgens de Renault norm voldoen. Als laatste is er een score op basis van het aantal insluitsels, scheurvorming, gebrek aan fusie en stabiel proces gegeven.

Hieronder volgt een voorbeeld van een scoretabel. De scores zijn van één tot tien, waar tien goed is en één slecht. Daarnaast geldt er wegingsfactor waarmee de score vermenigvuldigd dient te worden.

Aantal insluitsels, hoe hoger de score hoe minder insluitsels. Weging is twee.

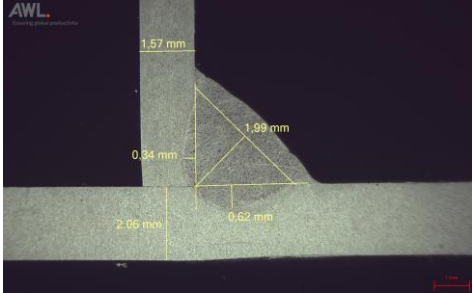
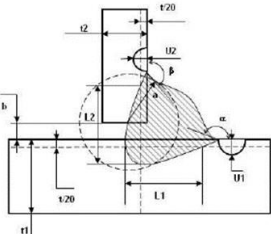
Scheurvorming, hoe hoger de score hoe minder kans op scheurvorming. Weging is twee.

Gebrek aan fusie, hoe hoger de score hoe beter de twee platen aan elkaar gefuseerd zitten. Weging is twee.

Stabiel proces, hoe hoger de score hoe stabiel het proces. Weging is vier.

Als de macro aan de macrografische criteria voldoet, dan kan de score bepaald worden. Als de macrografische criteria niet voldoet, wordt er omschreven waarom die niet voldoet en wordt de score niet bepaald. In totaal is er een score van 100 te halen.

TABEL 31 BEOORDELINGSTABEL MACRO ONDERZOEK

1,5+2 MIN PMC Universeel 2602-49			
		Beoordelingstabel las 	
		Type las binnenhoek Proces PMC Universeel Plaatdiktes 1,5+2 Snelheid 10 mm/s Draadsnelheid 3,5 m/min	
Omschrijving	Waarde criteria	Gemeten waarde	Goed/fout
t1	2 mm	2,06 mm	Goed
t2	1,5 mm	1,57 mm	Goed
L1	≥ 1,2 mm	2,1 mm	Goed
L2	≥ 1,2 mm	1,4 mm	Goed
a	≥ 1,5 mm	2,4 mm	Goed
b	≤ 0,6 mm	0 mm	Goed
α	≥ 90°	140°	Goed
Voldoet			
	Score	Weging	Score 100
Insluitsels	10	2	
Scheurvorming	10	2	
Gebrek aan fusie	10	2	
Stabiel proces	10	4	

TABEL 32 RESULTAAT OVERLAPPENDE LAS PMC RIPPLE DRIVE

Plaat-diktes	Overlappende las PMC Ripple drive				
	Snelheid [mm/s]	Draadsnelheid [m/min]	Stabiel proces Ja/Nee	Kwaliteitseisen Voldoet/Voldoet niet	Score
1,5 + 1,5	10	4,0	Ja	Voldoet	96
	12	4,0	Ja	Voldoet	96
1,5 + 2	12	4,5	Ja	Voldoet	98
	18	5,0	Ja	Voldoet	98
1,5 + 3	10	5,5	Ja	Voldoet	84
	16	5,5	Ja	Voldoet	90
1,5 + 4	10	5,0	Ja	Voldoet	84
	16	6,5	Ja	Voldoet	86
2 + 2	12	5,0	Ja	Voldoet	94
	14	5,5	Ja	Voldoet niet	-
2 + 3	8	5,5	Ja	Voldoet	94
	16	6,0	Ja	Voldoet	82
2 + 4	8	6,0	Ja	Voldoet	90
	16	6,5	Ja	Voldoet	94
3 + 3	10	6,0	Ja	Voldoet niet	-
	14	7,0	Ja	Voldoet niet	-
3 + 4	10	5,5	Ja	Voldoet niet	-
	14	7,5	Ja	Voldoet niet	-
4 + 4	10	7,0	Ja	Voldoet niet	-
	12	8,0	Ja	Voldoet niet	-

TABEL 33 RESULTAAT OVERLAPPENDE LAS PMC MIX DRIVE

Plaat-diktes	Overlappende las PMC Mix drive				
	Snelheid [mm/s]	Draadsnelheid [m/min]	Stabiel proces Ja/Nee	Kwaliteitseisen Voldoet/Voldoet niet	Score
1,5 + 1,5	10	3,5	Ja	Voldoet	93
	16	4,0	Ja	Voldoet	78
1,5 + 2	10	4,0	Ja	Voldoet	98
	20	5,5	Ja	Voldoet	96
1,5 + 3	12	4,5	Ja	Voldoet	90
	20	6,0	Ja	Voldoet	98
1,5 + 4	10	4,5	Ja	Voldoet	92
	18	6,0	Ja	Voldoet	96
2 + 2	8	4,0	Ja	Voldoet	98
	20	6,0	Ja	Voldoet niet	-
2 + 3	10	4,5	Ja	Voldoet niet	-
	20	6,5	Ja	Voldoet	94
2 + 4	10	5,0	Ja	Voldoet	92
	20	7,0	Ja	Voldoet	96
3 + 3	12	6,5	Ja	Voldoet	100
	18	7,0	Ja	Voldoet niet	-
3 + 4	14	7,5	Ja	Voldoet	88
	18	7,5	Ja	Voldoet niet	-
4 + 4	14	7,5	Ja	Voldoet	92
	18	8,5	Ja	Voldoet niet	-

TABEL 34 RESULTAAT OVERLAPPENDE LAS PMC UNIVERSEEL

Plaat-diktes	Overlappende las PMC Universeel				
	Snelheid [mm/s]	Draadsnelheid [m/min]	Stabiël proces Ja/Nee	Kwaliteitseisen Voldoet/Voldoet niet	Score
1,5 + 1,5	16	3,5	Nee	Voldoet	-
	20	3,5	Nee	Voldoet	-
1,5 + 2	10	3,5	Nee	Voldoet	76
	18	4,0	Nee	Voldoet	76
1,5 + 3	12	4,5	Nee	Voldoet	66
	18	5,5	Nee	Voldoet	74
1,5 + 4	10	5,0	Ja	Voldoet	72
	18	6,5	Ja	Voldoet	76
2 + 2	10	3,5	Ja	Voldoet	98
	20	5,0	Ja	Voldoet niet	-
2 + 3	18	6,5	Nee	Voldoet	74
	18	6,5	Nee	Voldoet	74
2 + 4	12	5,0	Nee	Voldoet	84
	12	5,0	Nee	Voldoet	84
3 + 3	14	6,5	Ja	Voldoet niet	-
	18	7,0	Ja	Voldoet niet	-
3 + 4	12	6,5	Nee	Voldoet	78
	16	7,5	Nee	Voldoet	76
4 + 4	12	7,0	Ja	Voldoet	84
	16	7,0	Ja	Voldoet niet	-

TABEL 35 RESULTAAT OVERLAPPENDE LAS CMT MIX DRIVE

Plaat-diktes	Overlappende las CMT Mix drive				
	Snelheid [mm/s]	Draadsnelheid [m/min]	Stabiël proces Ja/Nee	Kwaliteitseisen Voldoet/Voldoet niet	Score
1,5 + 1,5	10	3,0	Ja	Voldoet	88
	18	3,5	Ja	Voldoet	88
1,5 + 2	12	4,0	Ja	Voldoet	88
	18	4,5	Ja	Voldoet	90
1,5 + 3	12	4,0	Ja	Voldoet	88
	20	5,5	Ja	Voldoet	90
1,5 + 4	12	4,5	Ja	Voldoet	88
	20	6,0	Ja	Voldoet	88
2 + 2	10	4,0	Nee	Voldoet	76
	20	5,0	Nee	Voldoet	76
2 + 3	10	5,0	Nee	Voldoet	58
	20	6,5	Nee	Voldoet	74
2 + 4	10	4,5	Nee	Voldoet	80
	20	6,5	Nee	Voldoet	78
3 + 3	14	6,0	Nee	Voldoet niet	-
	20	7,0	Nee	Voldoet niet	-
3 + 4	12	6,5	Ja	Voldoet	92
	20	7,0	Ja	Voldoet niet	-
4 + 4	12	6,0	Ja	Voldoet niet	-
	18	7,0	Ja	Voldoet niet	-

TABEL 36 RESULTAAT BINNENHOEKLAS PMC RIPPLE DRIVE

Plaat-diktes	Binnenhoeklas PMC Ripple drive				
	Snelheid [mm/s]	Draadsnelheid [m/min]	Stabiël proces Ja/Nee	Kwaliteitseisen Voldoet/Voldoet niet	Score
1,5 + 1,5	10	3,5	Ja	Voldoet	100
	12	4,0	Ja	Voldoet	100
1,5 + 2	12	4,5	Ja	Voldoet	96
	14	4,5	Ja	Voldoet	94
1,5 + 3	10	5,0	Ja	Voldoet	94
	16	5,5	Ja	Voldoet	100
1,5 + 4	10	5,0	Ja	Voldoet	100
	16	6,0	Ja	Voldoet	98
2 + 2	8	4,5	Ja	Voldoet	98
	14	5,0	Ja	Voldoet	96
2 + 3	8	5,5	Ja	Voldoet	96
	14	6,0	Ja	Voldoet	98
2 + 4	8	5,5	Ja	Voldoet	92
	14	7,5	Ja	Voldoet	98
3 + 3	8	6,0	Ja	Voldoet	86
	14	7,0	Ja	Voldoet niet	-
3 + 4	8	6,5	Ja	Voldoet	98
	14	8,0	Ja	Voldoet	96
4 + 4	8	7,0	Ja	Voldoet niet	-
	12	9,0	Ja	Voldoet	96

TABEL 37 RESULTAAT BINNENHOEKLAS PMC MIX DRIVE

Plaat-diktes	Binnenhoeklas PMC Mix drive				
	Snelheid [mm/s]	Draadsnelheid [m/min]	Stabiël proces Ja/Nee	Kwaliteitseisen Voldoet/Voldoet niet	Score
1,5 + 1,5	10	3,0	Ja	Voldoet	100
	18	4,0	Ja	Voldoet	82
1,5 + 2	10	3,5	Ja	Voldoet	98
	20	5,0	Ja	Voldoet	98
1,5 + 3	12	4,5	Ja	Voldoet	94
	18	5,5	Ja	Voldoet	94
1,5 + 4	12	4,5	Ja	Voldoet	98
	16	5,0	Ja	Voldoet	96
2 + 2	8	4,0	Ja	Voldoet	88
	20	5,5	Ja	Voldoet	92
2 + 3	10	5,0	Ja	Voldoet	94
	18	6,5	Ja	Voldoet	96
2 + 4	8	5,0	Ja	Voldoet niet	-
	14	6,5	Ja	Voldoet	92
3 + 3	8	5,5	Ja	Voldoet	82
	16	6,5	Ja	Voldoet niet	88
3 + 4	10	5,5	Ja	Voldoet niet	-
	14	6,5	Ja	Voldoet	-
4 + 4	8	6,0	Ja	Voldoet niet	-
	14	6,5	Ja	Voldoet niet	-

TABEL 38 RESULTAAT BINNENHOEKLAS PMC UNIVERSEEL

Plaat-diktes	Binnenhoeklas PMC Universeel				
	Snelheid [mm/s]	Draadsnelheid [m/min]	Stabiel proces Ja/Nee	Kwaliteitseisen Voldoet/Voldoet niet	Score
1,5 + 1,5	16	3,5	Ja	Voldoet	100
	18	3,5	Ja	Voldoet	94
1,5 + 2	10	3,5	Ja	Voldoet	100
	16	4,5	Ja	Voldoet	96
1,5 + 3	10	4,0	Ja	Voldoet	92
	16	4,5	Ja	Voldoet	94
1,5 + 4	10	4,0	Nee	Voldoet	-
	16	5,0	Nee	Voldoet	-
2 + 2	8	3,5	Ja	Voldoet	94
	18	5,0	Ja	Voldoet	94
2 + 3	8	4,0	Ja	Voldoet	94
	16	6,0	Ja	Voldoet	92
2 + 4	10	5,0	Ja	Voldoet	88
	16	6,5	Ja	Voldoet	96
3 + 3	8	5,5	Ja	Voldoet	90
	16	7,0	Ja	Voldoet	98
3 + 4	10	5,5	Ja	Voldoet	96
	14	7,0	Ja	Voldoet	96
4 + 4	10	7,5	Ja	Voldoet	92
	14	9,0	Ja	Voldoet	86

TABEL 39 RESULTAAT BINNENHOEKLAS CMT MIX DRIVE

Plaat-diktes	Binnenhoeklas CMT Mix drive				
	Snelheid [mm/s]	Draadsnelheid [m/min]	Stabiel proces Ja/Nee	Kwaliteitseisen Voldoet/Voldoet niet	Score
1,5 + 1,5	10	3,0	Ja	Voldoet	96
	18	4,0	Ja	Voldoet	96
1,5 + 2	10	3,5	Ja	Voldoet	90
	18	4,5	Ja	Voldoet	94
1,5 + 3	10	4,0	Ja	Voldoet	94
	20	5,0	Ja	Voldoet	98
1,5 + 4	10	4,0	Ja	Voldoet	82
	18	5,0	Ja	Voldoet	94
2 + 2	10	4,0	Ja	Voldoet	96
	20	5,0	Ja	Voldoet	100
2 + 3	10	4,5	Ja	Voldoet	96
	20	6,5	Ja	Voldoet	82
2 + 4	10	5,0	Ja	Voldoet	90
	18	7,0	Ja	Voldoet	88
3 + 3	8	5,5	Ja	Voldoet	88
	20	7,0	Ja	Voldoet	90
3 + 4	10	6,0	Nee	Voldoet	84
	20	7,0	Nee	Voldoet	86
4 + 4	-	-	Nee	-	-