3D metaal printen van schroefdraad

W.W. Weijermars MSc., K.M.M. van Beurden MSc., I.B.E. Vrooijink MSc., T. Grootelaar BSc. E: <u>w.w.weijermars@saxion.nl</u>

Samenvatting

Door toenemende complexiteit en functie-integratie van metaal geprinte onderdelen zou de productie van schroefdraad tijdens het metaalprintproces voordelig zijn. In dit onderzoek ligt de focus op de maakbaarheid van schroefdraad in een 3D metaalprint poederbed proces (SLM). Er is aangetoond dat schroefdraad succesvol mee-geprint kan worden, zowel horizontaal als verticaal georiënteerd. Horizontaal georiënteerde schroefdraad-gaten vertonen inzakking, waardoor de passing niet geheel als gewenst is. Verticaal georiënteerde schroefdraad-gaten zijn veel nauwkeuriger, maar hebben wel nabewerking nodig om echt goed te functioneren. Mogelijke verklaringen voor deze beperkte functionaliteit zijn semi-losse korrels, het trap-effect en inzakking.

Afkortingen

FDM – Fused Deposition Modelling BSPT – British Standard Pipe Taper SLM – Selective Laser Melting

1. Introductie

1.1 Motivatie

Additive Manufacturing (AM) is tegenwoordig zijn status als veelbelovende techniek ontgroeid. Producenten werken hard aan het professionaliseren van de techniek. Dit geldt ook voor metaalprinten. De meest gebruikte metaalprinttechniek SLM is klaar voor de industrie en een toenemend aantal bedrijven start met investeren in deze techniek. Met de voordelen van lichtgewicht construeren, functie-integratie en toenemende complexiteit kan metaalprinten tegenwoordig steeds beter concurreren met traditionele productieprocessen.

Met de productie van complexere onderdelen wordt de behoefte aan functie-integratie steeds groter, met de assemblage-tijd in het achterhoofd. Maar functie-integratie heeft ook zo zijn keerzijde. Ergens in het geheel moet dit complexe metaal geprinte product aan een ander product worden vastgemaakt. Veel metalen onderdelen worden verbonden met een bout-moer verbinding. Om juist die reden is de productie van schroefdraad tijdens het printproces van belang, om zo nabewerkingsstappen en –tijd te kunnen besparen. Ondanks de veelgebruikte bout-moer verbinding, is nog niet veel bekend op het gebied het metaalprinten van deze verbindingstechniek. Wanneer er voor AM, of specifiek SLM, wordt ontworpen, is het van belang dat men de limieten en beperkingen van deze techniek kent. Één van deze beperkingen is de relatief hoge oppervlakteruwheid (3-8um), wat ervoor kan zorgen dat de torsiekrachten worden verhoogd tijdens het bevestigen van een bout. Een andere beperking is de inzakking die horizontaal geprinte gaten vertonen, welke maatnauwkeurigheid sterk verminderen.

1.2 Voorgaand werk

Er zijn enkele artikelen over het 3D printen van schroefdraad [1-5]. Een aantal artikelen publiceren over het 3D plastic printen van schroefdraad in een FDM-proces. Bijvoorbeeld Sigmund en Tronvoll (2018) [6] beschrijven de maatnauwkeurigheid van schroefdraad in een FDM dat de proces. Zij beweren nauwkeurigheid sterk afhankelijk is van de laagdikte en de machine waarmee deze is geproduceerd. Ze laten de verschillende fouten zien in één afbeelding (Figuur 1).





Figuur 1 Illustratie van FDM geprint schroefdraad met a) de fouten; b) de referentielijnen; en c) een conceptuele illustratie van de ideale versus de reële profielen. [6]

Verder is er onderzoek gedaan naar de maatnauwkeurigheid van 3D geprinte gaten (0,5 – 8 mm) door middel van SLM. Dit onderzoek heeft aangetoond dat de horizontaal geprinte gaten een afwijking hadden van 0,5 mm door de inzakking aan de bovenzijde van de gaten (Figuur 2). De verticaal geprinte gaten hadden een 0,01 mm maatnauwkeurigheid (Figuur 3).

In ditzelfde onderzoek is onderzocht of deze geprinte gaten getapt konden worden om zo van schroefdraad te voorzien. Zonder voorboren was de nauwkeurigheid niet voldoende om schroefdraad te tappen. Er werd geconcludeerd dat schroefdraad alleen getapt kon worden na het voorboren van de gaten.



Figuur 2 Horizontaal geprint gat van 6,0 mm (middelste cirkel) +/- 0,5 mm (binnenste en buitenste cirkel).



Figuur 3 Verticaal geprint gat van 6,0 mm (middelste cirkel) +/- 0,5 mm (binnenste en buitenste cirkel).

In dit onderzoek wordt de mogelijkheid naar het direct printen van inwendig schroefdraad onderzocht.

2. Materialen en methodes

2.1 Materialen

Het SLM-productieproces is uitgevoerd op kamertemperatuur met de Concept Laser Mlab Cusing 3D metaalprinter van Saxion, uitgerust met een 100W fiber-laser. Er is gebruik gemaakt van een quad-island scanpatroon van 5*5 mm. De productieparameters zijn als volgt: de laser spotsize is 50µm; de printinstelling Performance Cusing is gebruikt; de laagdikte is 25µm; en de rotatie tussen de verschillende lagen is 45°. Het gebruikte materiaal was *CL20ES* RVS316L (1.4404).

In this investigation, the building direction is defined as the positive direction of the z-axis. The surfaces in perpendicular and horizontal to the building direction are defined as the XY plane and XZ plane, respectively (as shown in Figuur 4).



Figuur 4 Bouwplaat en X-Y-Z-assen.

2.2 Methodes

In dit onderzoek is een totaal van 3 proefsamples geprint. Tabel 1 toont de verschillen tussen deze proefsamples en de verschillende doelen.

Tabel 1 Doel van de verschillende proefsamples.

Proefsample	Doel
Proefsample 1	Onderzoek naar de
	mogelijkheid van het
	printen van
	schroefdraad (M4-M8)
	in horizontale en
	verticale richting.
Proefsample 2a	Onderzoek naar de
	passing van
	verschillende toleranties
	van 1/8" conische
	schroefdraad.
Proefsample 2b	Onderzoek naar de
	passing van
	verschillende toleranties
	van M5 metrische
	schroefdraad.

Proefsample 1 is een object met verschillende maten van schroefdraad. In Figuur 5 is het object te zien, de letters corresponderen met verticaal (V), getapt (T) en horizontaal (H). Het bevat de schroefdraad-maten M4, M5, M6, M7 en M8. Deze maten zijn gebruikt, omdat dit veelgebruikte schroefdraad-maten zijn in de industrie en door het beperkte bouwvolume van de gebruikte printer. Het model is gemodelleerd in SolidWorks en de schroefdraad is gemaakt volgens onderstaande maat-tabel (Tabel 2) met een diepte van 25 mm. De schroefdraad-maten zijn zowel horizontaal als verticaal georiënteerd. De verticaal georiënteerde gaten zijn in tweevoud geprint om zo de invloed van het natappen te onderzoeken. Het natappen is gedaan met de hand met een M8 schroefdraad-tap (TC115-M8-C0-WY80FC, ISO 2/6H).

Tabel 2 Dimensies van de schroefdraad-gaten. [7]

Thread Inner diameter Thread pitch (P)

M4	4.0	0.7
M5	5.0	0.8
M6	6.0	1.0
M7	7.0	1.0
M8	8.0	1.25

Het tweede proefsample bevat twee modellen (2a en 2b), beide met verticaal georiënteerde schroefdraad-gaten. Proefsample 2a bevat conische schroefdraad van 1/8" met verschillende toleranties van 99.75% t/m 101.5% in stappen van 0.25% (Figuur 6a). Proefsample 2b bevat metrische M5 schroefdraad met toleranties van 5.0mm t/m 5.2mm, in stappen van 0.02mm (Figuur 6b). Om de passing tussen de verschillende toleranties te kunnen vergelijken wordt luchtdruk gebruikt.



Figuur 5 Proefsample 1 met dubbele verticale en enkele horizontale M4-M8 schroefdraad-gaten.



Figuur 6 Proefsample 2 met a) verschillende toleranties 1/8" conische schroefdraad en b) verschillende toleranties metrische M5 schroefdraad.

Microscopische afbeeldingen zijn gemaakt met de Leica Wild M3Z stereomicroscoop en de TOOLCRAFT DigiMicro Lab5.0. Oppervlakteruwheidsmetingen en bijbehorende afbeeldingen zijn gemaakt met de Laser scanning microscope VK 9700 Keyence.

Proefsample 1 is doorgesneden door middel van draadvonken met de Fanuc Robocut Alpha -0iA.

Simulaties zijn gedaan in Simufact Additive, een software pakket waarin het printproces gesimuleerd kan worden om zo deformatie, faalgedrag en spanningen te voorspellen. Simulaties zijn uitgevoerd met een mesh-size van 0.1 mm.

3. Theorie/berekeningen

De resultaten van simulaties van het printproces laten zien dat er aan de bovenzijde van het horizontaal georiënteerde schroefdraad inzakking verwacht kan worden (Figuur 7).



Figuur 7: Simulatie van het horizontale schroefdraad-gat.

Kijkend naar de resultaten van de simulaties van het verticaal georiënteerde schroefdraad, kan geconcludeerd worden dat er kleine deformatie verwacht wordt bij de tanden van het schroefdraad (Figuur 8).



Figuur 8: Simulatie van het verticale schroefdraad-gat.

4. Resultaten



Figuur 9: Geprint model.

Zoals in Figuur 9 te zien is, is het schroefdraad succesvol geprint. In de verticaal geprinte schroefdraad is geen afwijking te zien ten opzichte van de standaard print-kwaliteit. Zoals verwacht vertonen de horizontaal geprinte schroefdraad-gaten inzakking aan de bovenkant, zoals te zien is in Figuur 10.



Figuur 10: Verticaal en horizontaal geprint schroefdraad.

In Figuur 11 is te zien dat het verticaal geprinte schroefdraad (V8) een goede rondheid vertoond, terwijl het horizontaal geprinte schroefdraad (H8) inzakking vertoont (Figuur 12). Wanneer er ingezoomd wordt op de bovenzijde van beide gaten is te zien dat de inzakking ca. 0.5mm is (Figuur 13 verticaal geprint, Figuur 14 horizontaal geprint).



Figuur 11: Verticaal geprint M8 schroefdraad (V8).



Figuur 12: Horizontaal geprint M8 schroefdraad (H8).



Figuur 13: Details van de top van V8, zonder zichtbare inzakking.



Figuur 14 Details van de top van H8, met zichtbare inzakking.

Wanneer er een stalen bout (standaard commercieel verkrijgbaar) in de geprinte schroefdraad wordt gedraaid, is te zien dat de verticaal geprinte schroefdraad (V8) niet goed functioneert; de schroef kan er niet goed in gedraaid worden (Figuur 15). Bij het horizontale schroefdraad is te zien dat deze beter functioneert dan de verticale, maar nog steeds niet zoals gewenst; de bout kan er tot halverwege in gedraaid worden (Figuur 16). Nadat beide gaten nagetapt zijn, functioneren beide geprinte gaten goed; de bout kan volledig in het schroefdraad worden gedraaid.



Figuur 15: Passing van een bout in een verticaal geprint gat (V6).



Figuur 16: Passing van een bout in een horizontaal geprint gat (H6).

Ook proefsample 2 is succesvol geprint met zichtbaar schroefdraad (Figuur 17 en 18).

Proefsample 2a (Figuur 17): De verschillende toleranties van het conische 1/8" schroefdraad toont kleine maar verwaarloosbare verschillen in passing, er is lekkage voor alle geprinte toleranties. Na het natappen van de gaten functioneren alle toleranties naar behoren; geen lekkage.



Figuur 17: Test van de passing in verschillende maten van een 1/8" conische schroefdraad.

Proefsample 2b (Figuur 18): De metrische schroefdraad past beter in de grote gaten dan in de kleinere. De passing bij de variant van +2.5% heeft de beste passing; minst lekkage, maar nog steeds wel lekkage. Dit kan worden verholpen door natappen. Na het natappen is er geen lekkage meer.



Figuur 18: Test van de passing in verschillende maten van M5 metrische schroefdraad.

5. Discussie

De hoge oppervlakteruwheid aan de binnenzijde van het schroefdraad kan worden verklaard aan de hand van 3 fenomenen:

1. Semi-losse korrels.

Het produceren van schroefdraad met SLM, maakt gebruik van metaalpoeder dat aan elkaar gesmolten wordt onder invloed van een laser-bron. In het smeltbad dat gecreëerd wordt door deze laser, smelten de metaalpoederdeeltjes aan elkaar. Echter vlak naast het smeltbad zijn deeltjes die niet volledig smelten, maar wel aanhechten aan dit smeltbad, resulterend in hoge oppervlakteruwheid. Figuur 19 toont een vergroting van een oppervlak dat geprint is door middel van SLM. Figuur 20 is een vergroting van ditzelfde oppervlak. Hierin is te zien dat de hoge ruwheid wordt veroorzaakt door deeltjes die deels aan het oppervlak Het kan worden zijn. versmolten aangenomen dat ditzelfde fenomeen plaatsvindt aan de binnenzijde van het schroefdraad, resulterend in de hoge oppervlakteruwheid en dus ook de hoge torsiekrachten die benodigd zijn om de bout aan te draaien.





Figuur 19: Semi-losse korrels en hoogte-profiel van de korrels. (Verkregen met VK9700)





Figuur 20: Details van de semi-losse korrels die vastzitten aan het oppervlak. (Verkregen met VK9700)

2. <u>Trap-effect</u>

Gedurende het SLM proces, wordt het object opgebouwd in laagjes van 25μ m. Deze lagen zijn terug te zien in de opbouw van het schroefdraad-profiel, te zien in Figuur 21.



Figuur 21: Trap-effect van het profiel van de onderzijde van het horizontaal geprinte schroefdraad-gat (H8).

3. Inzakking

Door inzakking (door het gebrek aan ondersteuning) ontstaat een hoge oppervlakteruwheid aan het profiel van de bovenzijde van het horizontaal geprinte schroefdraad, zoals te zien is in Figuur 22.



Figuur 22: Inzakking van het profile aan de bovenzijde van het horizontaal geprinte schroefdraad-gat (H8).

Deze inzakking is tevens te zien aan de onderzijde van het tand-profiel van het verticaal geprinte schroefdraad (Figuur 23).

Door het natappen van het geprinte schroefdraad worden de semi-losse korrels, het trap-effect en de inzakking eenvoudig verwijderd. Natappen kan eenvoudig met de hand gedaan worden. Wanneer het geprinte schroefdraad (Figuur 23) en het nagetapte schroefdraad (Figuur 24) met elkaar vergeleken worden, is goed te zien dat de oppervlakte van het tand-profiel een lagere ruwheid en betere vorm-nauwkeurigheid heeft. Hierdoor is de bout eenvoudig met de hand in te draaien.



Figuur 23: Geprinte profiel van het verticaal geprinte schroefdraad (V8).



Figuur 24: Nagetapte profiel van het verticaal geprinte schroefdraad (T8).

6. Conclusies

Verticaal geprint schroefdraad kan accuraat geprint worden, maar is nog niet volledig functioneel. Deze schroefdraad kan functioneel gemaakt worden door het na te tappen, wat bijna moeiteloos gedaan kan worden. Een mogelijke verklaring voor de beperkte functionaliteit is dat het oppervlak van het schroefdraad onderhevig is aan semilosse korrels, die wel eenvoudig verwijderd kunnen worden.

Horizontaal geprinte schroefdraad zijn onderhevig aan inzakking van de bovenzijde van het gat, het trap-effect en semi-losse korrels. Om het schroefdraad functioneel te maken is nabewerking benodigd. Na het natappen van het schroefdraad verbeterd de passing significant.

7. Dankbetuigingen

Dit onderzoek is gefinancierd door TechForFuture in kader van het "3D metaalprinten BIZ2" project.

Draadvonken en natappen van de proefsamples is gedan bij Peters FMI.

Microscopische foto's van de oppervlakteruwheid zijn gedaan in het materialen-lab van de Universiteit Twente.

8. Referenties

[1] Coy, J. A., Miyashita, K., Entsfellner, K., Gumprecht, J. D., & Luth, T. C. (2013). First pullout strength measurements of threads produced by selective laser sintering. 2013 *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*.

[2] Lee, J., Kim, W., Choi, W., & Cho, K. (2016). Soft Robotic Blocks: Introducing SoBL, a Fast-Build Modularized Design Block. *IEEE Robotics* & Automation Magazine, 23(3), 30-41.

[3] Nefelov, I. S., & Baurova, N. I. (2017). Formation of Threaded Surfaces in the Components Produced by 3D Printing. *Russian Metallurgy (Metally), 2017*(13), 1158-1160.

[4] Veenstra, J., Gustafson, P., Bearden, C., & Jastifer, J. (2018). The Effect of Pitch Variation and Diameter Variation on Screw Pullout in 3D Printed Screws. *Foot & Ankle Orthopaedics, 3*(3).

[5] Zips, S., Wenzel, O. J., Rinklin, P., Grob, L., Terkan, K., Adly, N. Y., . . . Wolfrum, B. (2018). Direct Stereolithographic 3D Printing of Microfluidic Structures on Polymer Substrates for Printed Electronics. *Advanced Materials Technologies*, *4*(3), 1800455.

 [6] Sigmund A. Tronvoll, C. W. (2018).
Dimensional accuracy of threads manufactured by fused deposition modeling.
Procedia Manufacturing 26, 763-773.

[7] ISO 262:1998 ISO general purpose metric screw threads – Selected sizes for screws, bolts and nuts. International Organization for Standardization. 17 Dec 1998.