



Technologiefusion von Metal-Injection-Moulding und selektiven Laserschmelzen zur Herstellung komplexer und multifunktionaler (Hydraulik-)Komponenten

Martin Herold¹⁾, Camilo Zopp¹⁾, Oliver Neiske²⁾, Frank Schubert¹⁾, Jan Hustert²⁾, Wolfgang Nendel¹⁾, Lothar Kroll¹⁾

- 1) Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung, martin.herold@mb.tu-chemnitz.de, camilo.zopp@mb.tu-chemnitz.de, frschu@hrz.tu-chemnitz.de, nendel.wolfgang@mb.tu-chemnitz.de, lothar.kroll@mb.tu-chemnitz.de, Technische Universität Chemnitz, Reichenhainer Straße 31/33, 09126 Chemnitz, Deutschland
- 2) Parker Hannifin Manufacturing Germany GmbH & Co. KG, onesike@parker.com, Am Metallwerk 9, 33659 Bielefeld, Germany

Stichworte

Additive Manufacturing, Metal-Injection-Moulding, selektives Laserschmelzen, Fitting, Verbindungsfestigkeit

Abstract

Das selektive Laserschmelzen (SLM) und das metallische Spritzgießen (MIM) sind etablierte Verfahren zur Herstellung von metallischen Hochleistungsbauteilen für kleine und große Serien. Im Bereich der Luftfahrt, an den sehr hohe Anforderungen an Material und Bauteil gestellt werden, gelten beide Verfahren als noch recht jung. Bei beiden Verfahren kann die konventionelle Titanlegierung Ti-6Al-4V in Form von Pulver eingesetzt werden. Derzeit werden die Technologien ausschließlich separat betrachtet. Durch die Verschmelzung der jeweiligen artgleichen Komponenten lassen sich multifunktionelle Bauteile mit einem hohen Leichtbaupotential herstellen.

Um eine direkte Materialfusion zu generieren, muss die MIM-Komponente entsprechend mechanisch bearbeitet werden. Außerdem müssen geeignete SLM-Prozessparameter entwickelt werden, um zum einen den generativen Aufbau und zum anderen eine hohe Verbindungsfestigkeit sicherzustellen. Dementsprechend erfolgte eine Charakterisierung der Fügezone und der statischen Verbindungsfestigkeit. Im Rahmen des Papers wurden zudem Druckprüfkörper ausgelegt und sowohl statisch als auch auf Dauerfestigkeit untersucht. Es konnte nachgewiesen werden, dass eine hohe statische Verbindungsfestigkeit erzielt wurde. Ebenfalls hielten die Druckprüfkörper einer Dauerfestigkeit von über 1. Mio. Zyklen stand.

1 Einleitung

Die Herstellung von kostengünstigen metallischen Systemkomponenten speziell für Luftfahrtanwendungen soll durch zukünftige hybride Fertigungsverfahren erreicht werden. In diesem Zusammenhang haben sich die Schlüsseltechnologien Selektives Laserschmelzen (SLM) und Metal-Injection-Moulding (MIM) herauskristallisiert. Das selektive Laserschmelzen zeichnet sich durch die Fertigung von endkonturnahen, und geometrisch komplexen Bauteilen mit hoher Funktionsdichte aus. Für die Fertigung ist ein CAD-Modell für die zu generierende Komponente erforderlich. Dieses wird im Slice-Prozess in horizontale Schichten mit definierter Dicke zerlegt. Anschließend kann der schichtenweise additive Aufbau auf einem metallischen Substrat durch gezielte Laserbelichtung stattfinden.

Sowohl für die stückzahlintensive Produktion als auch Kleinserie mit moderater Geometriekomplexität erweist sich das MIM-Verfahren als prädestiniert. Während beim additiven Fertigungsverfahren lediglich metallisches Pulver als Ausgangsmaterial benötigt wird, muss beim metallischen Spritzgießen

zusätzlich ein Feedstock (Hinzufügen von Bindemittel) hergestellt werden. Nach dem Spritzgießprozess wird das Grünteil entbindert und gesintert, um ein Fertigteil zu erhalten.

Der Einsatz von Titanlegierungen, wie Ti-6Al-4V, ist bei beiden Technologien aus dem Stand der Technik bekannt [1-5]. Diese zeichnet sich bspw. durch eine hohe spezifische Festigkeit, Widerstandsfähigkeit gegen Korrosion, geringe Dichte und gute Schweißbarkeit aus. Eine Hybridisierung aus einer additiv gefertigten Ti-6Al-4V Struktur und einer artgleichen Substratplatte wurde in [6-8], aufgezeigt. Durch die Verwendung geometrie- und gewichtsreduzierter Einzelkomponenten aus dem MIM- und SLM-Prozess sind Gewichtseinsparungen am Gesamtsystem erreichbar, die bspw. in der Flugzeugbaubranche zu einer Einsparung des Kraftstoffverbrauchs führt, und somit einen wesentlichen Beitrag zum umweltfreundlichen Luftverkehr leistet [9].

Im Rahmen der Untersuchungen sollen metallische Subkomponenten aus dem MIM-Prozess für die direkte Materialfusion bereitgestellt werden. Die Finalisierung des neuartigen Fittingkonzepts wurde durch die Funktionalisierung im SLM-Prozess erreicht. Eine derartige Fusion von metallischen Subkomponenten und deren Charakterisierung ist aus dem derzeitigen Stand der Technik nicht bekannt. Durch die Technologiekombination können wirtschaftliche Fertigungs- und Montageprozesse zur Herstellung modularer, hybrider Leichtbaukomponenten abgeleitet und sichergestellt werden.

2 Materialien und Methoden

2.1 Materialien und Herstellungsverfahren

Als Pulvermaterial für den SLM-Prozess diente eine konventionelle Titanlegierung Ti-6Al-4V (grade 23) mit einer Standardkornfraktion von 20–63 μm . Das Titanpulver wurde mittels Plasmaverdüsung hergestellt und zeigt eine sphärische Form. Im Partikel sind keine Poren nach dem Verdüsungprozess zu erkennen. Die Korngrößenverteilung kann aus Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1 Korngrößenverteilung vom verwendeten SLM-Pulver

Korngrößenverteilung	Ti-6Al-4V
D ₁₀ [μm]	23
D ₅₀ [μm]	41
D ₉₀ [μm]	61

Der additive Aufbau erfolgte auf der Strahlschmelzanlage SLM 250 HL von der SLM Solutions GmbH. Als Energiequelle kam ein Faserlaser mit einer maximalen Leistung von 400 W zum Einsatz. Die Proben und Einzelspuren wurden bei einer konstanten Schichtdicke von 30 μm unter Argonatmosphäre mit einem Sauerstoffgehalt von < 0.05 % aufgebaut. Als Scanstrategie wurde eine Streifenbelichtung in X/Y-Richtung mit einer Vektorlänge von 10 mm gewählt. Der Inkrementierungswinkel lag bei 79°. Es wurde ein Prozessfenster identifiziert bei den Strukturen mit einer Dichte von nahezu 100 % resultieren.

Entscheidend für eine dichte und tragfähige Anbindung ist der Vorbehandlungszustand des Substrats, aus diesem Grund ist eine Oberflächenvorbehandlung unabdingbar. Als Vorbehandlungsmethode der MIM-Subkomponente wurde daher das mechanische Strahlen gewählt. Als Strahlmedium diente spratziges Edelkorund (Korngröße: 125 – 180 μm). Durch die Anwendung des Verfahrens konnten homogene und reproduzierbare Oberflächen erzeugt werden. Zum additiven Aufbau der Zugproben und Druckprüfkörper war jeweils eine zusätzliche Modifizierung der Substratplatte erforderlich.

Als Ausgangsmaterial für den MIM-Prozess diente ebenfalls die Titanlegierung Ti-6Al-4V. Im Rahmen der Untersuchungen wurde für relativ große Bauteile ein globular eingeformtes, gasverdüstes Pulver der Korngröße von D₉₀ (25 μm) verwendet. Dies ist somit etwas feiner als das verwendete Pulver für den SLM-Prozess. Für die MIM-Subkomponente wurden ferner verschiedene Materialchargen (PM 300ter, PM400ter, PM 600ter) auf ihre prinzipielle Verarbeitbarkeit untersucht. Die Bauteile wurden auf einer hydraulischen Spritzgießmaschine Krauss Maffei 80-380CX mit spezieller MIM-Schnecke gespritzt. Gesintert wurde im Ofen Elnik 3045 T50XHB unter Argon-Schutzgasatmosphäre. Das Grünteilgewicht betrug ca. 145 g, der Spritzdruck lag bei 1600 bar, Schmelztemperatur bei 185°C und

die Werkzeugtemperatur bei 60°C. Gesintert wurde bei einer Temperatur von 1350°C bei 1h Haltezeit. Um den auftretenden Verzug infolge des Sinterns zu limitieren wurden mitschrumpfende Unterlagen aus dem Feedstock verwendet, die mit Hilfe eines keramischen Trennsprays vorbereitet wurden.

Für die Verbindung MIM-SLM erfolgte eine Probekörper-Fertigung mit unterschiedlichen Vorbehandlungszuständen. Hieraus ergaben sich gemittelte Rautiefen (Rz) von 6,93 bis 27,57 µm. In Voruntersuchungen wurde nachgewiesen, dass für eine definierte Pulverablage eine minimale Oberflächenrauheit von ca. 20 µm erforderlich ist. Um die erforderliche Rauheit einzustellen, mussten allerdings geeignete Passflächen mittels Fräsprozess vorbereitet und nachträglich oberflächenbehandelt werden. Hierzu wurden die Proben zuvor mechanisch mit groben Edelkorund (Korngröße: 425 – 600 µm) oder feinen Edelkorund (Korngröße: 125 – 180 µm) für eine Minute gestrahlt.

2.2 Fügezone

Um den Einfluss der Prozessparameter auf die Fügezone zu untersuchen wurden zunächst Einzelspuren (Schweißraupen) auf die zuvor mechanisch gestrahlten MIM-Proben generiert. Dabei wurden die Verfahrenskenngrößen wie Laserleistung (175 und 200 W), Scangeschwindigkeit (700, 900 und 1100 mm/s) und Laserfokus (70 und 80 µm) sowie die Anzahl der initialen Belichtung (1 und 3) variiert.

2.3 Verbindungsfestigkeit

Die Verbindungsfestigkeit zwischen der MIM- und SLM-Subkomponente wurde in Anlehnung an die DIN EN ISO 6892-1 ermittelt. Bei der Zugprobenform (B5 x 25) wurde sich an der DIN 50125 orientiert. Hierzu wurden zunächst MIM-Vollzylinder (h: 8 mm, Ø: 10 mm) vorbereitet, in die Substratplatte eingelegt und ein SLM-Vollzylinder (h: 26 mm, Ø: 10 mm) additiv aufgebaut. Danach wurde der Zylinder gedreht und die andere MIM-Seite entsprechend angedrückt. Der schematische Aufbau kann der Abbildung 1 entnommen werden. Anschließend wurde die Probe analog zur DIN EN ISO 6892-1 mechanisch nachgearbeitet. Es wurden sowohl drei Proben im „as built“ als auch im „as built + HIP“ Zustand getestet. Beim HIP-Verfahren handelt es sich um Heiß-Isostatisches-Pressen, um den Porengehalt infolge des additiven Fertigungsprozesses zu reduzieren. Die Zugprüfung wurde auf der Zwick/Roell Z100 durchgeführt. Die Prüfgeschwindigkeit lag bei 0,0067 1/s.

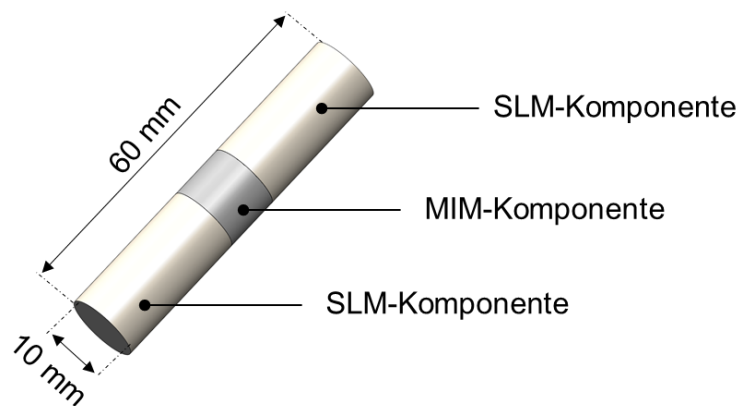


Abbildung 1: Aufbau der Zugproben aus den jeweiligen Technologiekomponenten

2.4 Hydraulische Druckprüfung

Um die statische und dynamische Verbindungsfestigkeit bzw. Dichtheit bei Innendruckbelastung zu charakterisieren, wurden MIM/ALM-Druckprüfkörper, entsprechend Abbildung 2 aufgebaut. Aufgrund der fertigungsbedingten Toleranzen ergeben sich beim additiven Aufbau Abweichungen von ca. 0,1 mm und bis zu 0,5°. Dadurch müssen Wanddickenverhältnisse angepasst werden, sodass sich im idealisierten Bauteil eine maximale Spannung von ca. 300 MPa einstellt. Um Kerbwirkungen insbesondere an der Andruckstelle zu reduzieren, wurden die Versuchsproben an der Innenseite mechanisch nachbearbeitet. Die statische Druckprüfung fand auf einem Druckprüfstand der Fa.

Maximator mit einer Prüfpumpe Uraca HP 32-8 statt. Als Medium für die Druckbeaufschlagung diente ein Wasser/Glykol-Gemisch. Als Prüfdruck wurden 550 bar und eine Haltezeit 5 min festgelegt.

Bei der dynamischen Untersuchung wurden je fünf Proben auf den Hochdruckimpulsprüfstand FLS500/5000 montiert. Die Druckanstiegsrate lag bei 5000 bar/s, der Prüfdruck bei 450 bar und die Frequenz bei 3 Hz.

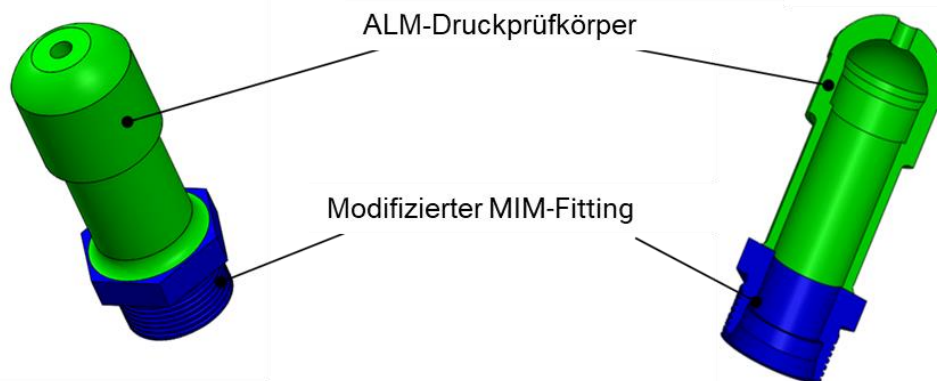


Abbildung 2: Aufbau der Druckprüfkörper und Schnittansicht aus den jeweiligen Technologiekomponenten

3 Ergebnisse

3.1 MIM Subkomponente

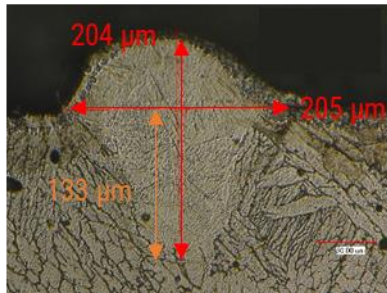
Die Dichte der Materialchargen lag für PM300ter+PM400ter bei 98,3%, die Zugfestigkeit bei 920MPa. Die Bruchdehnung beträgt mehr als 10%, welches auch dem Zielwert für die MIM-Teile aus Ti-6Al-4V entspricht. Für die Proben aus der PM600ter Charge wurde bei gleichen Dichtewerten eine reduzierte Zugfestigkeit von 900 MPa ermittelt. Die Bruchdehnung schwankte am Bauteil zwischen 3 und 10%. Dies kann mit Spritzgießfehlern, die im Wesentlichen geometriebedingt auftraten, erklärt werden.

3.2 Fügezone

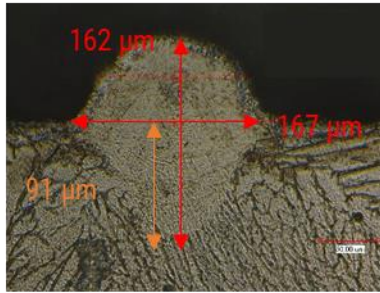
In Abhängigkeit der Prozessparameter und initialen Belichtung wurde eine Charakterisierung der Fügezone vorgenommen. Da die erste Schicht manuell abgelegt wird, ist eine Schichtdickenschwankung zu berücksichtigen. Im ersten Schritt wurde eine einfache initiale Belichtung umgesetzt. Hierbei zeigte sich eine oberflächennahe Ausbildung der Fügezone. Durch Änderung der einfachen auf eine dreifache initiale Belichtungsstrategie konnte hingegen eine ausgeprägte Einbrenntiefe nachgewiesen werden. Aus diesem Grund erfolgt die weitere Betrachtung ausschließlich mit einer dreifach initialen Belichtung.

Es wird deutlich, dass durch eine höhere Laserleistung die Einschmelztiefe gesteigert wird. Ferner nimmt der Laserfokus einen erheblichen Einfluss auf die Fügezone. Eine bestmögliche Fügezone konnte durch einen vergleichsweise kleinen Laserfokus eingestellt werden (vgl. Abbildung 3).

P = 175 W
v = 700 mm/s
F = 70 μ m



P = 175 W
v = 700 mm/s
F = 80 μ m



P = 200 W
v = 700 mm/s
F = 80 μ m

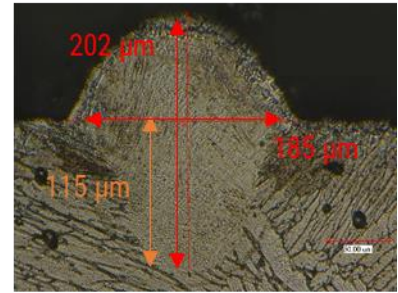
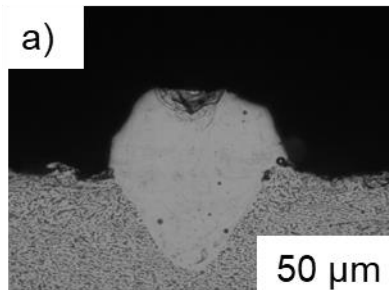


Abbildung 3: Ausbildung der Fügezonen in Abhängigkeit ausgewählter Verfahrensparameter

Weiterhin konnten durch die definierte Oberflächenrauheit, Rückschlüsse auf die Fügezone gezogen werden. Demnach führt die unterschiedliche Oberflächenmorphologie zur Veränderung des Energieabsorptionsverhaltens. Die mittels Grobkorund gestrahlte Oberfläche brachte dabei eine höhere Einbrenntiefe als die behandelte Oberfläche mit dem feinen Edelkorund hervor (vgl. Abbildung 4). Dies resultiert aus der größeren Oberflächenrauheit, die ca. 32 μ m nach der mechanischen Oberflächenbehandlung beträgt und damit mehr als doppelt so groß ist wie mit dem feinen Edelkorund.

P = 225 W
v = 900 mm/s
F = 70 μ m



P = 225 W
v = 900 mm/s
F = 70 μ m

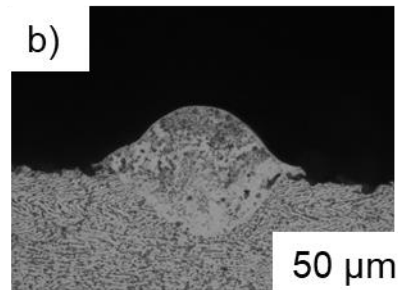


Abbildung 4: Einbrenntiefe in Abhängigkeit des Strahlguts a) grobes Edelkorund und b) feines Edelkorund

Es wurde zudem ersichtlich, dass die SLM-Parameter mit einer vergleichsweise guten Einbrenntiefe nicht für den generativen Aufbau von Funktionselementen geeignet waren. Dies liegt darin begründet, dass diese hohe Einbrenntiefe einen vergleichsweise großen Bereich aufschmilzt, jedoch eben auch in höheren Schichten durch das erneute Aufschmelzen im hohen Maß Eigenspannungen induzieren. Diese Eigenspannungen führen bei höheren Bauteilhöhen zu erheblichen Verzug. In diesem Zusammenhang konnten signifikant reduzierte Oberflächengüten sowie Geometrieabweichungen festgestellt werden. Aus diesem Grund wurde für den weiteren Aufbau der SLM-Subkomponente ein hybrider Datensatz entwickelt.

3.3 Verbindungsfestigkeit

Im Rahmen der Untersuchung konnte ein Zug-E-Modul von ca. 115 GPa, eine Zugfestigkeit von ca. 934 MPa und eine Bruchdehnung (A_{25}) von ca. 3,5 % im „as built“ Zustand ermittelt werden. Die Proben versagten ausschließlich im Bereich des MIM-Zylinders. In Abbildung 5 sind die getesteten Proben nach dem Bruch aufgezeigt. Demnach liegt eine höhere Verbindungsfestigkeit zwischen der MIM/SLM-

Grenzfläche vor. Es wurden typische Zug-E-Modul und Festigkeitskennwerte für diese Titanlegierung erreicht.

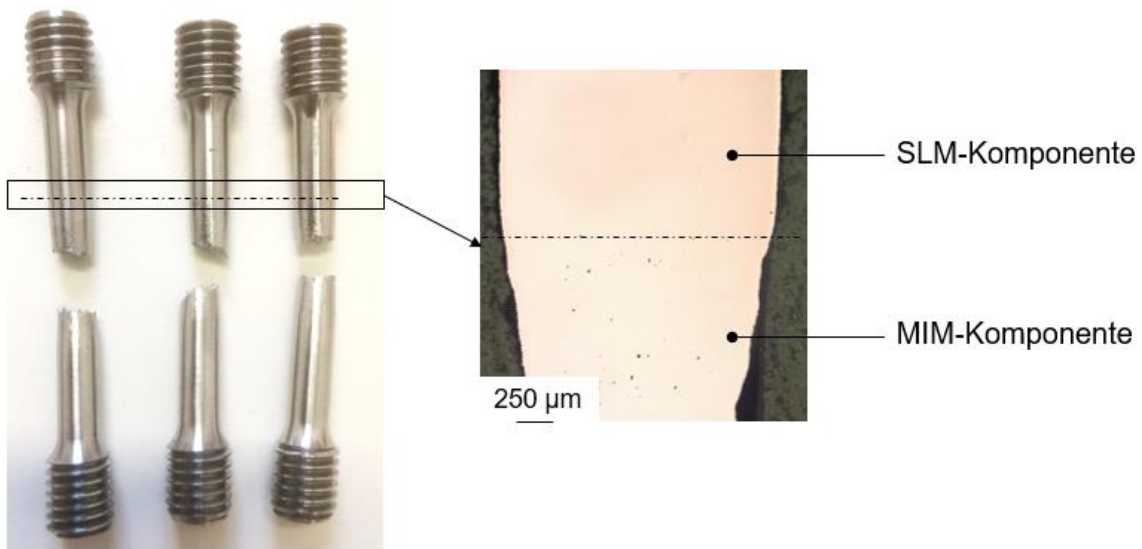


Abbildung 5: Bruchversagen nach der quasi-statischen Zugprüfung und MIM-SLM Grenzfläche (gestrichelte Linie)

Ferner wird deutlich, dass sich keine signifikante Grenzfläche (Fügezone) zwischen der MIM- und SLM-Komponente ausbildet. Allerdings sind in der MIM-Komponente Poren zu erkennen, während in der SLM-Komponente eine nahezu 100%ige Materialdichte vorliegt (vgl. Abbildung 6). Nach dem HIP-Prozess konnte der Zug-E-Modul auf ca. 119 GPa gesteigert werden. Ebenfalls erhöhte sich die Zugfestigkeit auf ca. 1017 MPa. Die Bruchdehnung (A_{25}) lag bei ca. 6,0 %. Allerdings zeigte diese eine vergleichsweise hohe Streuung (ca. ± 2 %). Analog zum „as built“ Zustand versagten die Proben ausschließlich im MIM-Zylinder. Der Übergangsbereich ist vergleichbar mit dem „as built“ Zustand.

3.4 Hydraulische Druckprüfungen

In Abbildung 7 sind die Druckprüfkörper bei der Druckimpulsprüfung und die Auslegung zur Bauteilbeanspruchung bei erwarteten Berstdruck dargelegt. Während der statischen Versuche bis 550 bar wurde kein Druckabfall festgestellt. Demnach lag kein Versagen an der Grenzfläche zwischen MIM- und SLM-Subkomponente vor.

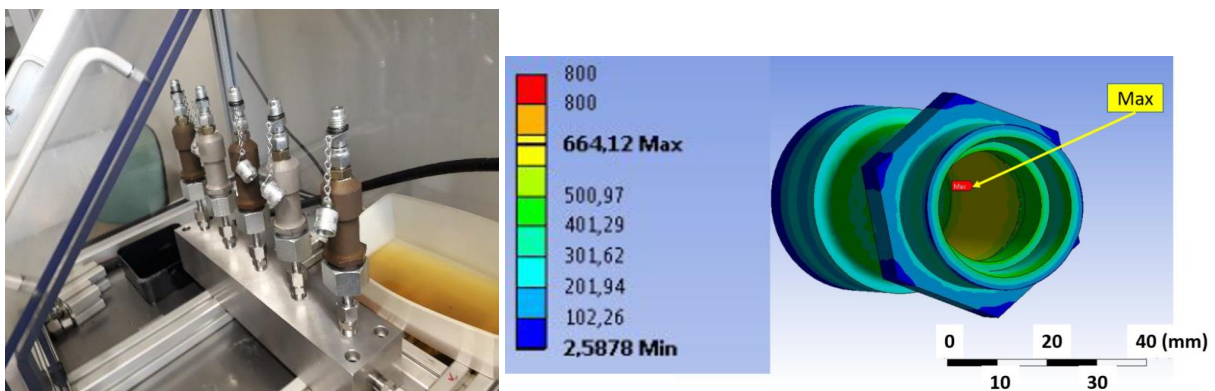


Abbildung 6: Dauerdruckprüfung (links) und Simulative Auslegung (rechts) zur Bauteilbeanspruchung

Die Druckimpulsprüfung (5000bar/s) wurde ohne Versagen an der Grenzschicht nach je 1. Mio. Zyklen beendet, wodurch die Dauerfestigkeit sowohl für „as built“ als auch für thermisch nachbehandelte

Proben (vakuumgeglüht, schutzgasgeglüht bzw. gehipt) bis mindestens ca. 300 MPa nachgewiesen werden konnte. Die „as-built“ Proben wiesen jedoch in den Anschraubbereichen um die Gewinde Setzungseffekte auf, wodurch ein Nachziehen oberhalb des zulässigen Drehmoments notwendig war, um die Dichtheit sicherzustellen.

4 Diskussion

Im Rahmen der Untersuchungen stellte sich eine hohe Verbindungsfestigkeit zwischen der MIM- und SLM-Subkomponente ein. Dies liegt neben der artgleichen Materialzusammensetzung auch an der vergleichsweise hohen Einbrenntiefe der SLM-Einzelspuren. Die MIM-Komponente wurde analog zur Substratplatte des SLM-Prozesses mit temperiert, was den thermischen Eigenspannungen entgegenwirkt. Allerdings war eine zusätzliche Belichtung der MIM-Komponente erforderlich, um eine hohe Verbindungsfestigkeit zu generieren. Ebenfalls scheint die Oxidation an der metallischen Oberfläche keinen wesentlichen Einfluss auf die Verbindungsfestigkeit zu nehmen. Ferner wurde festgestellt, dass Proben mit einer größeren Oberflächenrauheit tendenziell eine ausgeprägtere Fügezone zeigen. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass mit einem gröberen Strahlmittel tiefere „Täler“ im Substrat bzw. auf der MIM-Komponente erzeugen lassen. Dadurch lagert sich mehr Pulver in den „Tälern“ ab.

Artgleiche Verbindungen erscheinen auch unter hohen Beanspruchungen dauerhaft zu sein. Eine Wärmebehandlung ist ggf. nicht immer notwendig. Bei Funktionsbereichen wie Gewinden ist die Wärmebehandlung jedoch unumgänglich, um dauerhaft hohe und homogene Festigkeiten für die Funktionserfüllung innerhalb eines multifunktionalen und somit leichten Bauteiles zu gewährleisten.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchungen zeigten die Verbindungsfestigkeit sowohl unter statischer als auch dynamischer Belastung zwischen MIM- und additiv gefertigten Komponenten. Es wurde festgestellt, dass der schwächste Part die MIM-Komponente ist. Wechselwirkungen in der Grenzfläche, wie manuelle Pulverablage, Oxidschichtbildung und Temperaturdifferenzen sind demnach zu vernachlässigen. Eine Steigerung der Zugfestigkeit konnte durch Heiß-Isostatisches-Pressen erzielt werden. Um die Zugfestigkeit weiter zu erhöhen, sollte eine Wärmebehandlung angeschlossen und der MIM-Prozess verbessert werden.

Durch die Kombination der beiden Technologien zu bspw. Hydraulikkomponenten werden neue Potentiale und Anwendungsfelder für leistungsfähigere Luftfahrtkomponenten erschlossen, die sich zudem durch eine hohe Ressourceneffizienz bei der Herstellung auszeichnen.

Danksagung

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Projektes Hydraulische System Innovation (Hyd-I), LuFo V-2, FKZ: 20Y1506E des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) durchgeführt. Die finanzielle Unterstützung wird dankend anerkannt..

Literaturverzeichnis

- [1] Vaithilingam, J; Goodridge, R. D.; Hague, R. J. M.; et al.: The effect of laser remelting on the surface chemistry of Ti6Al4V components fabricated by selective laser melting, *Journal of Materials Processing Technology*, 232, (2016), pp 1–8.
- [2] Song, Bo et al.: Effects of processing parameters on microstructure and mechanical property of selective laser melted Ti6Al4V, *Materials and Design*, 35, (2011), pp 120–125.
- [3] Leuders, S. et al.: On the mechanical behaviour of titanium alloy TiAl6V4 manufactured by selective laser melting: Fatigue resistance and crack growth performance, *International Journal of Fatigue*, 48, (2012), pp 300–307.

- [4] Ferri, O. M.; Ebel, T.; Borman, R.: High cycle fatigue behaviour of Ti-6Al-4V fabricated by metal injection moulding technology. *Materials Science and Engineering A*, 504, (2009), pp. 107–113.
- [5] Fores, F. H.: POWDER METALLURGY ABROAD. *ADVANCES IN TITANIUM METAL INJECTION MOLDING*. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 46, (2007), pp. 303–310.
- [6] Ahuja, B. et al.: High Power Laser Beam Melting of Ti-6Al-4V on Formed Sheet Metal to achieve Hybrid structures. *Laser 3D Manufacturing II*, (2015).
- [7] Schaub, A. et al. Fabrication and Characterization of Laser Beam Melted Ti-6Al-4V Geometries on Sheet Metal. *Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Conference*, (2014).
- [8] Schaub, A.: Grundlagenwissenschaftliche Untersuchung der kombinierten Prozesskette aus Umformen und Additive Fertigung. Dissertation, Lehrstuhl für Fertigungstechnologie, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, 2019.
- [9] Amtsblatt der europäischen Union: Delegierte Verordnung (EU) 2019/1603 der Kommission. Juli 2019.