

Kieferimplantate aus TiAl6V4 - Prozessentwicklung zur additiven Fertigung von maßhaltigen Hartgewebeimplantaten

Christoph WEIDIG¹, Christian STRAUBE¹, Sebastian MATTHES¹,
Daniel SCHELLER¹, Maik ANDERS¹

¹ ifw Jena - Günter-Köhler-Institut für Fügetechnik und Werkstoffprüfung GmbH, Jena

Kontakt E-Mail: cweidig@ifw-jena.de

Kurzfassung

Im Rahmen eines Forschungsprojektes konnte der Werkstoff TiAl6V4, welcher im PBF-LB-Verfahren verarbeitet wird, zum Einsatz als Hartgewebeimplantat (PSI) für den Kieferbereich des Menschen evaluiert werden. Der Schwerpunkt der Untersuchungen bestand in der Fertigung und zerstörungsfreien sowie zerstörenden Materialprüfung für patientenspezifische Implantate mit der Losgröße 1 unter den Kriterien verzugsarmer und konturnaher Fertigung. Dies beinhaltete sowohl die Pulvercharakterisierung des Ausgangswerkstoffs, die Parameteroptimierung zur Einstellung einer optimalen Dichte, als auch die Anpassung der nachgelagerten Wärmebehandlung zur Herstellung von Implantatproben. Zur Qualifizierung der Implantate bzw. des verarbeiteten Werkstoffs wurden sowohl statische und dynamische mechanische Eigenschaften ermittelt, welche ebenfalls zur Erstellung des im Gesamtvorhabens erstellten FEM-Modells dienen.

Die genannten Untersuchungen wurden weiterhin für konventionell CNC-gefertigte und EBM-gefertigte Proben durchgeführt, um eine technologische Vergleichbarkeit zu ermöglichen.

Zur Validierung der gefertigten Implantate wurden diese zerstörungsfrei auf Formtoleranz geprüft und in einem realen Lastfall über eine Lastspielzahl von 4 Millionen Zyklen getestet. Hierfür wurde eigens ein Teststand entwickelt und aufgebaut, welcher die realen Lastbedingungen im menschlichen Kiefer nachbildet.

Kieferimplantate aus TiAl6V4

Prozessentwicklung zur additiven Fertigung von maßhaltigen Hartgewebeimplantaten

C. Weidig, C. Straube, S. Matthes, D. Scheller, M. Anders



Ausgangssituation

Patientenspezifische Implantate im Schädel- und Kieferbereich werden hauptsächlich über spanende Bearbeitung hergestellt. Dies ist ein umfangreicher, mehrstufiger Prozess bei hohen Durchlaufzeiten.

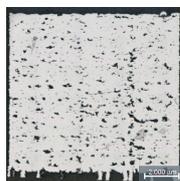
Durch die komplexe Geometrie des Schädels entstehen enorme Herausforderungen bei der Konstruktion individueller Implantate, besonders gesundes Gewebe zu erhalten und die Gesichtszüge des Patienten nicht zu verändern. Zudem gibt es derzeit zum dynamischen Verhalten von lasttragenden Implantaten im Schädelbereich keine Angaben, wodurch deren Lebensdauer nicht garantiert werden kann.

Die Nutzung additiver Fertigungstechnologien verspricht hier viele Vorteile hinsichtlich Produktvielfalt, Designfreiheit, Herstellungskosten und Bereitstellungsdauer.

1. Parameter

Im ersten Schritt wurden dreidimensionale Volumenkörper gefertigt, bei denen Einstellparameter, wie Spurbstand und Scanstrategie erarbeitet wurden.

Ziel waren Strukturen mit einer Dichte von $\rho > 99,5\%$.



Volumenkörper ohne Parameteroptimierung – Mikroschliiffaufnahme



Volumenkörper mit Parameteroptimierung – Mikroschliiffaufnahme

3. Implantatherstellung/Charakterisierung

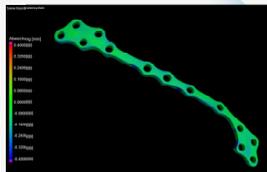
In Abhängigkeit der Implantatgeometrie und der Orientierung des Bauteils im Bau- raum ergibt sich eine hohe Vielfalt an Möglichkeiten das Bauteil mit Supportstrukturen zu versehen. Für den fertigungsbedingten Verzug und Maßabweichungen wurden Soll-Ist-Vergleiche mittels Computertomographie durchgeführt.



CAD-Modell



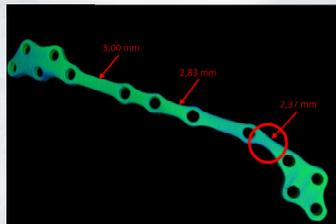
Gefertigtes Implantat



Soll-Ist-Vergleich mittels CT



Gebrochenes Implantat nach provoziertes Überlast



Vermessung der Stegbreiten

5. Zusammenfassung

Im Rahmen des Vorhabens konnte der Werkstoff TiAl6V4 für den Einsatz bei der PBF-LB-basierten Herstellung von Hartgewebeimplantat evaluiert werden. Dabei zeigte sich durch die CT, dass diese Implantate die besten Soll-Ist-Vergleiche lieferten. Zur Qualifizierung des verarbeiteten Werkstoffs und der Implantate wurden sowohl statische und dynamische mechanische Eigenschaften ermittelt. Um eine technologische Vergleichbarkeit zu ermöglichen, wurden die genannten Untersuchungen sowohl für konventionell CNC-gefertigte als auch für EBM-gefertigte Proben durchgeführt.

Zur Validierung der gefertigten Implantate schloss sich der zerstörungsfreien Prüfung auf Formtoleranz eine Dauerschwingprüfung über eine Lastspielzahl von 4 Millionen Zyklen an. Hierfür wurde eigens ein Teststand entwickelt und aufgebaut, welcher die realen Lastbedingungen im menschlichen Kiefer nachbildete.

Verbundpartner

3di GmbH
Klinik für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde, Universitätsklinikum Jena

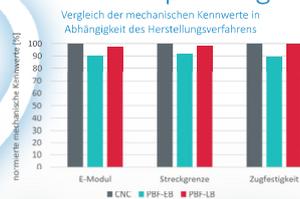
Zielstellung

Ziel war es, die Losgröße 1 zu bedienen, ohne Prototypen zur Validierung fertigen zu müssen und dennoch den hohen Ansprüchen an Maßhaltigkeit und mechanischen Eigenschaften zu entsprechen.

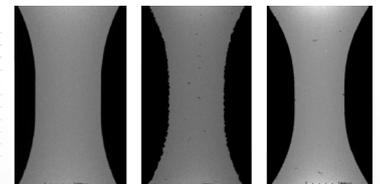
Bestandteil der Untersuchungen waren sowohl die Prozessoptimierung zur Fertigung von Bauteilen, die zum Teil lasttragend sind, als auch die Anpassung der nachgelagerten Wärmebehandlung. Die Durchführung mechanischer Tests (dynamisch und statisch) an Normprüfkörpern diente der Validierung der Kenndaten der additiv gefertigten Teile. Um die Kieferimplantate zu prüfen sollte ein Prüfstand entwickelt werden, welcher den realen Lastfall so nah wie möglich abbildete. Im vorliegenden Beitrag wurden

- › Lasttragende Implantate pulverbettbasiert additiv gefertigt (PBF-LB)
- › Deren werkstoffbezogenes und einsetzbezogenes Eigenschaftsprofil untersucht
- › Die Implantate mit konventionell hergestellten Implantaten verglichen

2. Werkstoffprüfung



Vergleich der Kennwerte

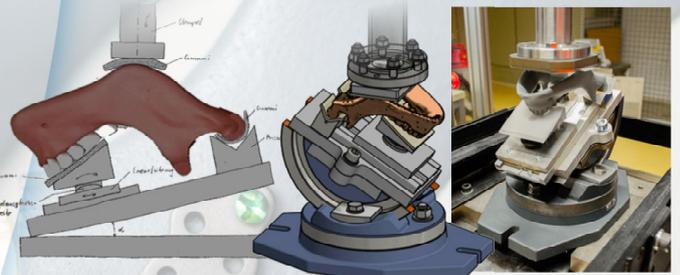


Durchstrahlungsprüfung – CT-Schnittebene

4. Prüfstand/Implantatprüfung

Um reale Lastbedingungen auf den Unterkiefer nachbilden zu können, wurde eine Prüfvorrichtung entwickelt. Die Analyse der Lastbedingung am Unterkiefer zeigte, dass die Anordnung der Muskeln vereinfacht einem Biegebelastungsfall mit zwei Stützen und einer Einzelkraft entspricht. Ebenso ging hervor, dass der Kaumuskel (Medial pterygoid) schräg an den Kieferknochen zieht. Darum wurde die gesamte Vorrichtung geneigt in der Zug-Druck-Maschine angeordnet.

Für die Prüfung wurde eine dynamische Schwellbelastung auf Basis der Voruntersuchungen in einem Lastbereich von 0 bis 300 N (Mittlere Kraft: 150 N, Kraftamplitude: 150 N) mit einer Frequenz von 20 Hz auf die Prüflinge aufgebracht.



Förderkennzeichen:
ZF4236505MD8

Projektlaufzeit:
01.04.2018 bis 30.09.2021

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Klinik für
Hals-, Nasen- und
Ohrenheilkunde

ifw Jena

Günter-Köhler-Institut für Füge-technik und Werkstoffprüfung GmbH
Ernst-Ruska-Ring 3, 07745 Jena
Tel: +49 3641 204-100 | Fax: +49 3641 204-210
info@ifw-jena.de | www.ifw-jena.de | in ifw-jena | f ifwJena

Kontakt:
Sebastian Matthes, M. Sc.
Tel: +49 3641 204-229 | Mail: smatthes@ifw-jena.de