Best-Practice-Beispiel aus dem Bereich „Innovation“

Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung teilflexibler, 3D-gedruckter Keramik

Ansprechpartner:
Knuth Ensenmeier, Handwerkskammer für Schwaben

TTnet® Netzwerk der Beauftragten für Innovation und Technologie

2021

© rawpixel.com - www.freepik.com

Problemstellung

Die technische Keramik entwickelte sich über die letzte Dekade hinweg zu einem hochmodernen, industrialisierten und von Innovationen getriebenen Geschäftsfeld. Sie stellt den dynamischsten Teil der keramischen Industrie dar. Dies basiert vor allem auf der vielseitigen Einsetzbarkeit in treibenden Industriefeldern wie der Elektronik, dem Automobilsektor, der Luftfahrt sowie der Energie- und Medizintechnik. In allen Bereichen konnten durch den Einsatz von Hochleistungskeramiken langjährige Probleme gelöst werden. Im Bereich der Medizintechnik erfüllen keramische Werkstoffe die Anforderungen an Produkteigenschaften wie Porosität, Festigkeit, Biokompatibilität, Verschließfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit besser als vergleichsweise Metall- oder Kunststoffteile. Für die Medizinbranche und den Dentalbereich nimmt das Material Zirkonoxid eine besondere Rolle ein, da es aufgrund seiner sehr guten Studienlage hinsichtlich der ästhetischen Optik, angenehmer Haptik, Biokompatibilität, Korrosionsbeständigkeit und Langlebigkeit vielseitig Anwendung findet. Außerhalb des Zahnmedizinischen Bereiches findet Zirkonoxid allerdings selten Anwendung. Der Werkstoff wird von der CADdent GmbH wie von anderen Unternehmen bereits seit Jahren in Zusammenhang mit der zerspanenden Fertigung (Fräsen) eingesetzt, wodurch nicht nur in der Literatur, sondern auch unternehmensintern vertiefte Kenntnisse über die Werkstoffeigenschaften vorliegen.

Für die Herstellung von keramischen Bauteilen mittels additiven Fertigungsverfahren wird ein kurzer Überblick über die im Stand der Technik bekannten Verfahren gegeben. Da es in der Literatur keine einheitliche Struktur hinsichtlich der Einteilung der Detail-Technologien gibt, werden diese im Folgenden den Prozessklassen DIN EN IOS/ASTM 52900 sowie den drei Kategorien Flüssigmaterial-, Freiraum- und Pulverbettverfahren zugeordnet. Diese Gruppen beinhalten Fertigungsverfahren für Kunststoff-, Metall und Keramikverarbeitung. Für den Werkstoff Keramik werden demnach folgende Detail-Technologien identifiziert (vgl. *Tab.* 1)
.

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Prozessklasse	Detail-Technologie
Flüssigmaterialverfahren	
Vat (Photo) Polymerization	▪ Lithography Based Ceramic Manufacturing (LCM) ▪ Stereolithografie (SLA)
Freiraumverfahren	
Material Extrusion	Robocasting
Material Jetting	NanoParticle Jetting (NPJ)
Sheet Lamination	▪ Layer Laminate Manufacturing (LLM), Laminate Object Modeling (LOM) ▪ 3D Screen Printing
Pulverbettverfahren	
Power Bed Fusion	Selective Laser Sintering
Binder Jetting	Binder Jetting (BJ), Three Dimensional Printing (3DP)

Tab. 1: Klassifizierung additiver Fertigungsverfahren für Keramik (Freichel 2021, S. 101)

Der keramische 3D-Druck als additives Formgebungsverfahren bringt den Vorteil einer hohen geometrischen Freiheit bei der Ausgestaltung des Bauteils, dadurch dass Stützstrukturen, bspw. bei Überhängen, nicht mehr notwendig sind. Durch das anschließende Sintern entsteht ein dichtes Gefüge - bei vergleichsweise hoher Schwindung – wodurch eine hohe Festigkeit gewährleistet wird. Das LCM-Verfahren wird aufgrund seiner Relevanz für diesen Antrag hinsichtlich seiner Verfahrensweise und Vorteile detailliert betrachtet. Das von dem Institut für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie der TU Wien entwickelte Lithografie Druckverfahren wurde von der Lithoz GmbH zur Marktreife geführt. In diesem Verfahren werden LED anstelle von Lasern, wie es normalerweise bei der Stereolithografie üblich ist, als Lichtquelle genutzt. Durch dieses Verfahren ist es möglich keramische Bauteile in der gleichen Qualität wie mittels Spritzguss-Verfahren herzustellen, welches eine hohe Relevanz speziell für die Fertigung von kleinen und filigranen Bauteilen besitzt. Die CADdent GmbH nutzt ein vergleichbares Verfahren (DLP = Digital Light Processing) bereits für die Herstellung von Bauteilen aus Kunststoff. Für Produktbereiche wie individuelle Hörgeräte haben die 3D-Drucktechniken, für Metall- und Kunststoffbauteile, die konventionelle Produktionsprozesse bereits nahezu vollständig ersetzt.

Der wirtschaftliche und technische Erfolg von keramischen Bauteilen hängt stark von dem Verständnis über die thermischen und mechanischen Belastungen sowie der Einbindung in die Gesamtkonstruktion eines Bauteils ab. Dabei wird in der Literatur für Fügetechniken von

Materialverbunden in drei Kategorien unterschieden: Stoffschlüssig (bspw. löten, schweißen, kleben), kraftschlüssig (bspw. klemmen, stecken) und formschlüssig (bspw. nieten, eingießen, schrumpfen, umspritzen). Durch diese Arten des Fügens kann ein Multi-Material-Verbund mit form-flexiblen Eigenschaften, sowohl aus Keramik-Keramik-, Keramik-Metall-, als auch Keramik-Kunststoff-Komponenten hergestellt werden. Etablierte oder bevorzugte Fügetechniken und Werkstoffe für eine Flexibilisierung von Keramikbauteilen durch integrale Herstellungsprozesse sind in der Literatur nicht bekannt.

Lösungsansatz

Die Verwendung von keramischen Werkstoffen für Brillenfassungen und Otoplastiken ist im derzeitigen Stand der Technik nicht bekannt. Des Weiteren ist bisher keine Keramik bekannt, die formflexible Eigenschaften aufweist. Otoplastiken und Brillenfassungen aus keramischen Werkstoffen bieten gegenüber Metallen wesentliche Vorteile. Aufgrund der niedrigen Dichte sind keramische Bauteile sehr viel leichter als die gleichen Bauteile aus Metall. Zudem besitzen Keramiken eine geringere Wärme- und Kälteleitfähigkeit als Metalle, wodurch sich ein angenehmerer Tragekomfort an sehr warmen oder kalten Tagen ergibt. Des Weiteren sind als wesentliche Vorteile der Keramik die große Härte, hohe mechanische Festigkeit und hohe spezifische Steifigkeit sowie die hohe Verschleiß-, Korrosions-, Temperatur- und Witterungsbeständigkeit zu nennen. Gegenüber Kunststoff versprechen Keramiken zusätzlich eine gute Verträglichkeit, eine bessere Hygiene aufgrund der höheren Reinigungs- und Pflege-Leichtigkeit sowie eine höhere Langlebigkeit, höhere Robustheit und eine Geruchsneutralität. Außerdem ist bei keramischen Werkstoffen eine bessere Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit hervorzuheben. Neben der Biokompatibilität weisen keramische Werkstoffe zudem antibakterielle, hydrophobe und lipophobe Eigenschaften auf. Zusammenfassend vereinen keramische Werkstoffe die Vorteile der bisherigen Fertigungsmaterialien von Brillenfassungen und Otoplastiken, beseitigen deren nachteiligen Aspekte und optimieren die Anforderungen an die Funktion, Befestigung, Hygiene, Nachhaltigkeit und Optik sowie an den Tragekomfort des Benutzers.

Durch die Verwendung von formflexiblen Keramiken zur Herstellung von individuell angepassten Brillen und Hörgeräten ergibt sich aufgrund der hohen Robustheit und Beständigkeit, eine äußerst lange Lebensdauer. Während beispielsweise Hörgeräte aus den bisher verwendeten Materialien eine durchschnittliche Lebensdauer von drei bis fünf Jahren aufweisen, ist bei keramischen Materialien eine Lebensdauer von zehn bis zwölf Jahren zu erwarten. Dies spart nachhaltig Ressourcen ein, senkt den CO_2-Ausstoß, der bei der Herstellung und bei dem Transport der Bauteile auftritt, und erspart dem Benutzer vor allem in finanzieller Hinsicht die regelmäßige Erneuerung. Die additive Herstellung ist besonders dadurch gekennzeichnet, dass sich ein Bauteil sehr energieeffizient und materialschonend fertigen lässt, wodurch ebenfalls Ressourcen nachhaltig geschont werden. Aufgrund der Biokompatibilität

und der damit nicht auftretenden Schadstoff-Freisetzung ist die Verwendung von form-flexiblen Keramiken zur Herstellung von individuell angepassten Brillenfassungen und Otoplastiken sowohl mit der Gesundheit des Menschen, als auch mit der Umwelt im Einklang.

Aus den Möglichkeiten der additiven Fertigungsverfahren sowie aus den bisher bekannten Eigenschaften von keramischen Werkstoffen, kombiniert mit dem in diesem Projekt zu entwickelnden Verfahren zur Flexibilisierung von keramischen Werkstoffen, ergeben sich einige neue Verwendungsbereiche. Grundsätzlich können dadurch jegliche, individuell angepasste, formflexible Keramikbauteile für den optischen, medizinischen und prothetischen Bereich industriell gefertigt werden. Neben der Verwendung zur Herstellung von individualisierten Brillenfassungen und Otoplastiken, ist vor allem auch die Verwendung zur Herstellung von Cochlea-Implantaten naheliegend. Auch die Herstellung von Gelenk- und Knochenersatz ist denkbar. Darüber hinaus können die Ergebnisse dazu beitragen, die Herstellung und Nutzung von form-flexiblen Keramikbauteilen auch im Bereich der Technischen und Hochleistungskeramik zu etablieren.

Das Vorhaben wurde zur besseren Steuerung und Kontrolle in definierte Haupt- und Unterarbeitspakete sowie nach zu erreichenden Meilensteinen strukturiert. Über mögliche iterative Schleifen können Probleme bei der Entwicklung aufgefangen werden. Zudem ermöglicht die interdisziplinäre Zusammenarbeit der Kooperationspartner, eintretende Probleme möglichst früh zu identifizieren und somit ohne große Verzögerungen lösen zu können.

Die Hauptproblemstellung betrifft der äußerst hohe Elastizitätsmodul (Verformungswiderstand) von keramischen Materialien. Während zum Vergleich Polyethylen (Kunststoff) einen Zugspannungs-E-Modul von etwa 0,8 - 1,3 GPa aufweist, besitzt Zirkoniumdioxid einen E-Modul von 205 GPa (Lithoz GmbH 2021). Neben dem E-Modul hängt die Steifigkeit eines Bauteils von der Geometrie bzw. dem Querschnitt und von der Verarbeitung ab. Daher ist es die Aufgabe, geeignete Mikrostrukturen zu entwerfen und diese in einem additiven Prozess so zu verarbeiten, dass sich eine geeignete Formflexibilität ergibt. Dazu kann unter Umständen die Kombination mit einer zweiten Komponente dienen.

Herkömmliche Herstellungsverfahren von additiv gefertigten Keramiken berücksichtigten keine integrale Prozesskette. Entsprechend wurden bisherige Zwei-Komponenten Bauteile in mehreren Prozess- bzw. Bearbeitungsschritten unter Verwendungen mehrerer Anlagen gefertigt. Für die Entwicklung eines integralen Fertigungsprozesses ist es zunächst elementar, verschiedene Werkstoffstrukturen sowohl bezogen auf die Keramik als auch das Flexibilisierungsmaterial zu analysieren. Darauf aufbauend können verschiedene Fügeprinzipien auf ihre Anwendbarkeit in einem additiven Fertigungsverfahren überprüft werden. Diese unterliegen zahlreichen Restriktionen, sowohl bedingt durch die Werkstoffe und deren Verbund als auch hinsichtlich der Anlagenkonfiguration und -steuerung.

Die erfolgreiche Bewältigung der Herausforderungen im Vorhaben hängen vor allem von einer detaillierten Konzeptions- und Planungsphase im Bereich der Anforderungsanalyse der Werkstoffe und Fügeprinzipien ab, da diese die Basis für ein marktreifes Produkt schaffen. Erst wenn die Anforderungen und die vorliegenden Restriktionen abgestimmt sind, kann das Herstellungsverfahren mit dem Produktprogramm (Brillenfassungen und Otoplastiken) auf Synergien überprüft werden und entsprechende Demonstrationsbauteile oder -geometrien für Feldstudien gefertigt werden.

Das Vorhaben wird in 6 Arbeitspakete eingeteilt und auf eine Laufzeit von 30 Monaten ausgelegt. Diese werden zur Projektsteuerung und Kontrolle in Haupt- und Unterarbeitspakete unterteilt und inhaltlich beschrieben. Folgende Tabelle 2 gibt einen Überblick über die geplanten Arbeitspakete mit den beteiligten Partnern sowie der Laufzeit und den geplanten Personalkosten pro Arbeitspaket.

Für das Vorhaben wurden Fördermittel über das BayTP+ Programm beantragt. Die Entwicklung erfolgte durch den Handwerksbetrieb in Zusammenarbeit mit der Hochschule Augsburg und der Handwerkskammer für Schwaben.

Die Lieferung des ersten 3D-Keramik-Druckers für das Projekt von der Firma Lithoz ist für 12/2021 geplant. Er verfügt über eine Druckauflösung von 20 Mikrometer.