

INTEGRIERTE STRUKTUREN FÜR KOMPLEXE WÄRMETAUSCHER MITTELS ADDITIVER FERTIGUNG

Christian GASSER^{*a}, Thomas THIEBET^a und Stefan HAUSEGGER^a

^a CAMPUS 02 Fachhochschule der Wirtschaft, Graz, Österreich

* Kontakt: Christian Gasser, christian.gasser@campus02.at

Zusammenfassung. Bei Wärmetauschern stellen Eigenschaften wie Geometrie, Leistungsdichte, Gewicht, Anpassung an das umgebende System und die maximale Einsatztemperatur limitierende Faktoren dar. Die Realisierung effizienter Wärmetauscher erfolgte im gegenständlichen Projekt durch die Weiterentwicklung generativer Fertigungstechnologien. Hierbei wurden unterschiedliche Materialien und Verfahren getestet sowie Herstellungsparameter und Drucksysteme optimiert. Die hergestellten Testbauteile wurden auf einem eigens konzipierten Prüfstand getestet. Durch die optimierten Strukturen mittels additiver Fertigung und den Einsatz von Siliciumcarbid als Druckmaterial wurden Wärmetauscher für unterschiedlichste Umgebungen und Anwendungstemperaturen bis zu 1500° C entwickelt. Dabei wurden wesentliche neue Erkenntnisse zu den Möglichkeiten und Einsatzgrenzen additiver Fertigungsverfahren erarbeitet. Auf Basis der Projektergebnisse des Konsortiums von neun Unternehmen und Forschungseinrichtungen aus Österreich und Deutschland sind Entwicklungen und Optimierungen von komplexen Strukturen mittels additiver Fertigung von hochbelasteten Wärmetauscher realisierbar. Darüber hinaus können die erarbeiteten Entwicklungen und Verfahrensoptimierungen auf andere Bauteile oder Problemstellungen umgelegt werden.

Keywords: Additive Fertigung, integrierte Strukturen, 3D-Druck, FFF-Prozesse, Wärmetauscher, AM-Verfahren

1 EINLEITUNG

Ziel dieses Projektes ist es, mittels additiver Fertigungstechniken komplexe Strukturen bei Wärmetauschern zu realisieren und entsprechende Vorteile im Vergleich zu konventionellen Herstellungsverfahren zu entwickeln. Neben einer höheren Leistungsdichte und einer besseren geometrischen Anpassung an das umgebende System sollen die Einsatztemperatur der Wärmetauscher erhöht und gleichzeitig Gewicht reduziert werden.

Das Konsortium setzte sich zusammen aus der Lithoz GmbH, FOTEC Forschungs- und Technologietransfer GmbH, LAPP Insulators Alumina GmbH, Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme, Technische Universität Dresden, MICRO-EPSILON Optronik GmbH, Airbus DS GmbH und der Resch GmbH.

2 ADDITIVE FERTIGUNGSTECHNOLOGIEN

Für die Zielerreichung wurden unterschiedliche AM-Prozesse ausführlich evaluiert und getestet. [1] Neben der Druckaufbereitung mittels unterschiedlicher Slicing Software Pakete erfolgte die Festlegung von Druck- und Maschinenparametern sowie die Erstellung von Konstruktionsrichtlinien für die Herstellung der komplexen Wärmetauscher. Eine Teilaufgabe befasste sich mit Polymeren und gefüllten Polymeren mittels Fused Filament Fabrication (FFF) Drucksystemen. Die Untersuchungen reichten von der Materialauswahl bis zur Herstellung einfacher Testgeometrien. Speziell die Optimierung des FFF-Drucksystems für partikelgefüllte Filamente und der Einbau einer optimierten Druckdüse ist hier zu erwähnen. Hierbei wurden Lösungsansätze für die Filament-Zuführung von spröden Materialien sowie für die Auswahl, Optimierung und Betrieb des Druckkopfes von FFF-Drucksystemen erarbeitet.

2.1 PROZESS- UND VERFAHRENSOPTIMIERUNG

Die Prozessoptimierung additiver Fertigungsprozesse wurde durch spezialisierte Konsortialpartner erweitert. Dabei wurde SiC (Siliziumcarbid) nicht nur mit dem FFF-Verfahren verarbeitet, sondern auch eine SiC (Siliziumcarbid)-Suspension für LCM Verfahren entwickelt, Prozessparameter für AM-gefertigte SiC-Grünkörper festgelegt sowie Entbinderungs- und Sintermethoden und ein Verfahren zur lokalen Metallisierung von additiv gefertigten SiC-Bauteile entwickelt. In Abbildung 1 sind Wärmetauscher aus verschiedensten Materialien, welche mit unterschiedlichen Technologien hergestellt wurden, dargestellt. [2]

Durch die Entwicklung des Metallisierungskonzepts für additive gefertigte SiC-Bauteile wurde die Integrierbarkeit dieser neuen Wärmetauschertypen in konventionellen Systemen gewährleistet (Anbindung der keramischen Wärmetauscher an metallische Verrohrungssysteme).



Abbildung 1. Testbauteile unterschiedlicher Iterationsstufen, hergestellt mit unterschiedlichen Fertigungstechnologien und Materialien.

2.2 GEOMETRIEN UND STRUKTUREN

Von Seiten eines darauf spezialisierten Konsortialpartners wurden mathematische Algorithmen zur Konstruktion von komplexen Strukturen für Wärmetauscher und die Erstellung von CAD-Daten entwickelt. [3]

Auf Basis dieser Grundlage wurden neue Strukturen für den Aufbau dieser Bauteile modelliert, simuliert und in die Designiteration der Wärmetauscher implementiert. (Abbildung 2)

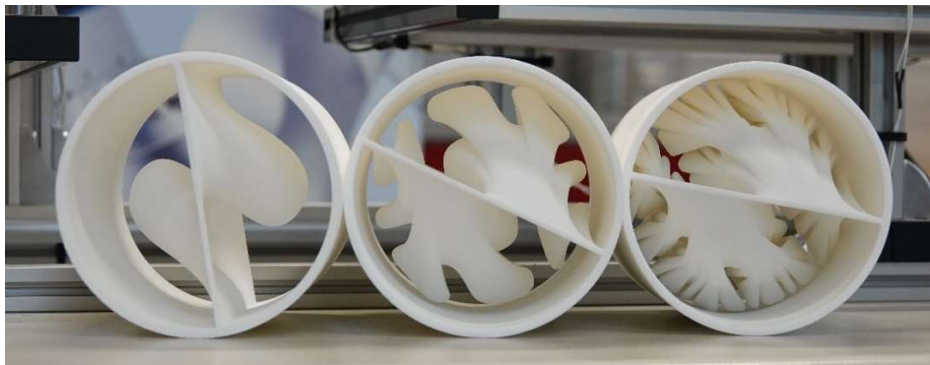


Abbildung 2. Testbauteile mit von links nach rechts ansteigender Iterationsstufe

3 BAUTEILPRÜFUNG

Die Testbauteile mit unterschiedlichen Geometrien (Iterationsstufen und Durchmesser) und aus unterschiedlichen Materialien (Abbildung 1) wurden unter Berücksichtigung der technologischen Randbedingungen der verschiedenen 3D-Druckverfahren am eigens entwickelnden Prüfstand wissenschaftlich getestet [4]. (Abbildung 4 und Abbildung 4)

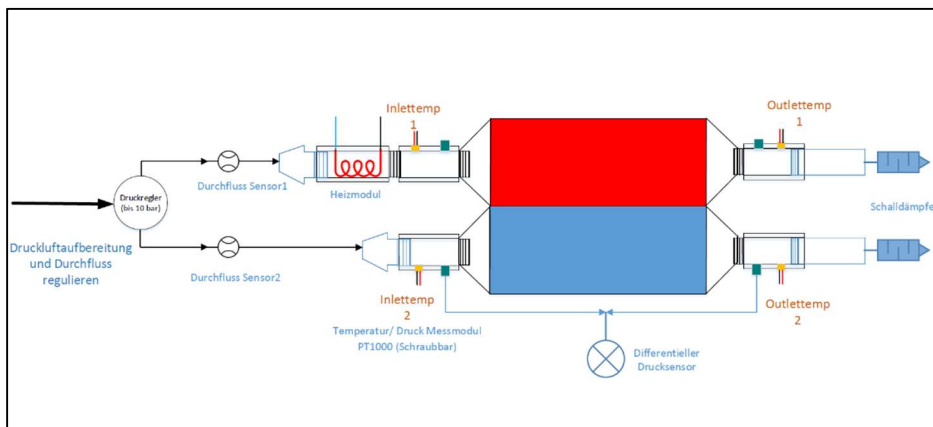


Abbildung 3. Schematisch dargestellter Aufbau des Prüfstandes.

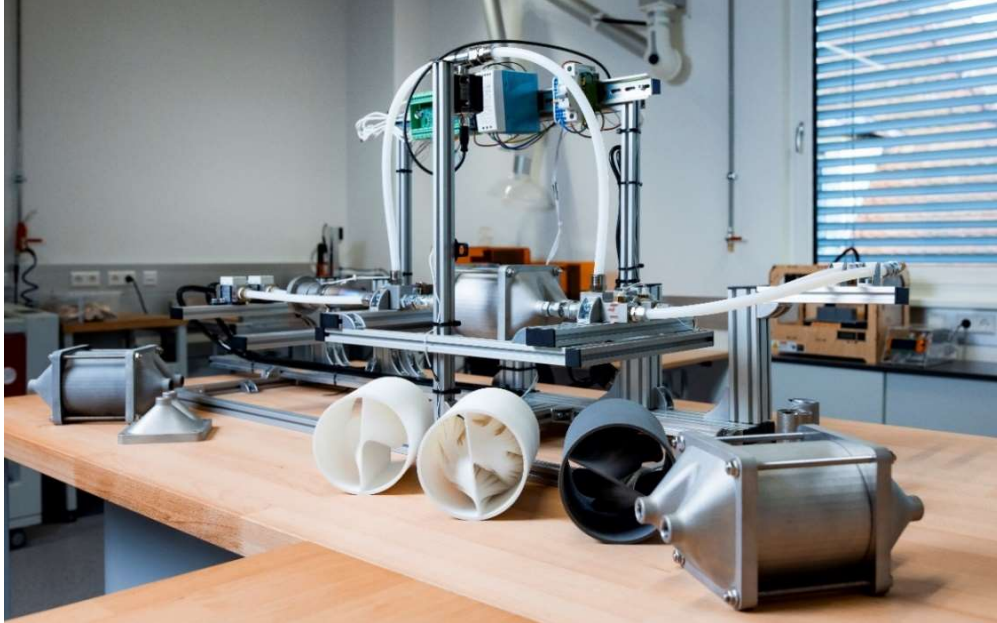


Abbildung 4. Prüfstand mit Testbauteilen.

4 ERGEBNISSE UND SCHUSSFOLGERUNGEN

Unter der Einhaltung der entsprechenden Konstruktionsrichtlinien und Prozessketten lassen sich im Vergleich zur herkömmlichen Herstellung von Wärmetauschern mit Hilfe der AM-Technologien eigenschaftsoptimierte Wärmetauscher in einem sehr breiten Anwendungsspektrum mit deutlich verbesserten Gebrauchseigenschaften herstellen. Bei der Prüfung der Bauteile zeigte sich eine Grundtendenz, dass mit einer Steigerung der Iterationsstufe eine Steigerung des Wirkungsgrades einhergeht und dieser direkt proportional zur Eingangstemperatur ist. Eine Reihung nach Materialien geht zugunsten der Keramik vor Inconel, Aluminium und Titan, erst dann folgenden die Kunststoffe. Wobei hier explizit festzuhalten ist, dass die Kunststoffe im verwendbaren Temperaturbereich bis 100°C und kleinem Durchmesser keine signifikanten Defizite im Vergleich zu Metallen aufweisen.

Durch die optimierten Strukturen mittels additiver Fertigung und den Einsatz von Siliciumcarbid wurden Wärmetauscher für unterschiedlichste Umgebungen und Anwendungstemperaturen von bis zu 1500° C entwickelt. Dabei wurden wesentliche neue Erkenntnisse zu den Möglichkeiten und Einsatzgrenzen additiver Fertigungsverfahren erarbeitet.

Aus den Ergebnissen kann auch abgeleitet werden, dass die Geometrie wesentlich mehr Einfluss auf die Leistungsfähigkeit hat als die Wärmeleitfähigkeit des verwendeten Materials an sich. Das bedeutet, dass durch das Ausschöpfen der Potentiale der additiven Fertigung bei

der Auslegung komplexer Wärmetauscher festigkeits-, strömungs- und wärmetechnische Eigenschaften die zentrale Rolle einnehmen können. Die Grenze der geometrischen Limitierung bei herkömmlichen Fertigungsverfahren kann mit Hilfe der additiven Fertigung deutlich hin zu komplexeren Geometrien verschoben werden.

Aufbauend auf den Ergebnissen des Projektes wurden von einzelnen Konsortialpartnern bereits mehrere Pilotprojekte umgesetzt. Im Zuge dieser Pilotprojekte wurden bis dato zehn Wärmetauscher nach unterschiedlichen Vorgaben in Bezug auf ihre Anwendung und Anforderungen erfolgreich in der Industrie umgesetzt und das große Verbesserungspotential unterstrichen.

Neben dem projektspezifischen Fokus auf die Herstellung von Wärmetauscher können die Erkenntnisse und gewonnenen Kompetenzen aus diesem Projekt auch auf andere Problemstellungen bzw. Bauteile und Anwendungen umgelegt werden und als Ausgangs- bzw. Anknüpfungspunkt für weitere innovative Forschungs- und Entwicklungsarbeiten gesehen werden. Diese können von wissenschaftlich orientierten Projekten bis zu konkreten Anwendungen und Produktentwicklungen reichen.

5 DANKSAGUNG

Das Projekt wurde im Rahmen der Ausschreibung IraSME 19. Call 2017 finanziert und in Zusammenarbeit mit den Konsortialpartnern umgesetzt.

6 LITERATURVERZEICHNIS (IEEE)

[1] A. Gebhardt „Additive Fertigungsverfahren – Additive Manufacturing und 3D-Druck für Prototyping – Tooling - Produktion“, 5. Auflage, Hansa Verlag, München, 2017.

[2] T. Moritz, U. Partsch, St. Ziesche, U. Scheithauer, M. Ahlheim, E. Schwarzer & H-J Richter „Additive Fertigung von Keramik“ in Werkstoffe und Verfahren – Jahresbericht 2014/15, IKTS Fraunhofer, Hermsdorf, 2015.

[3] K. Noack, M. F. Eichenauer, D. Lordick, J. Abel & U. Scheithauer „Additive Fertigung von Hochleistungswärmetauschern unter Verwendung fraktaler Strukturen“ in Tagungsband zur DGM-Konferenz: Werkstoffe und Additive Fertigung, Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V., Berlin, 2018.

[4] RT. Kuppan „Heat Exchanger Design Handbook“, Marcel Dekker, Inc, NY, Basel, 2000