



Alexander Küll M.Sc. +49 (0) 241 94 32 49-48 a.kuell@access-technology.de www.access-technology.de	Kurzreport Projekt: CoAdCer Laufzeit: 01.07.2022 – 30.06.2024 Förderkennzeichen: KK5445201SH1 Projektpartner: Voxeljet AG
---	--

Entwicklung einer neuen keramischen Beschichtung für additiv gefertigte keramische Formschalensysteme und Qualifizierung für einen prozesssicheren und ökonomischen Feinguss (CoAdCer)

Aufgrund der immer komplexen Gussbauteile der Luftfahrtindustrie, werden insbesondere in der Prototypenphase 3D-Druckverfahren eingesetzt, da dies die Entwicklungszeit signifikant reduzieren kann. Dies gilt für heute vor allem für Modelle aus Kunststoff oder Wachs, zunehmend aber auch für Formen und Kerne aus Keramiken. Durch das Herstellungsverfahren bedingt, liegt bei den Keramiken aber oft eine unzureichende Oberflächengüte vor, welche sich im weiteren Prozess im Gussteil niederschlägt. Vor diesem Hintergrund wurde das im Rahmen des Förderprogramms „Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand“ (ZIM) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) geförderte Forschungsvorhaben KK5445201SH1 „Entwicklung einer neuen keramischen Beschichtung für additiv gefertigte keramische Formschalensysteme und Qualifizierung für einen prozesssicheren und ökonomischen Feinguss“ (CoAdCer) im Zeitraum vom 01.07.22 bis 30.06.24 in Zusammenarbeit mit der Voxeljet AG umgesetzt. Im Projektverlauf sollte ein Verfahren zur Beschichtung von additiv gefertigten Keramiken entwickelt werden, welches als übergeordnete Zielsetzung eine signifikante Herabsetzung der Oberflächenrauheit von ca. 20 µm auf > 10 µm ermöglicht.

In einem ersten Schritt wurde der Ausgangszustand der Voxeljet-Keramiken bestimmt. Dazu wurden sogenannte Biegeriegel (100 x 25 x 7 mm) mit verschiedenen Herstellungsparametern (Druckrichtung, Binderinfiltration und Vorsinterung) gedruckt und bei Access durch Festigkeits- und Rauheitsmessungen charakterisiert. Anschließend wurde auf Grundlage eines bei Access verwendeten Al₂O₃-Schlickersystems in mehreren Iterationsschleifen eine Suspension erzeugt, welche mit Hilfe der Biegeriegel auf die Einsatzfähigkeit geprüft wurde. Über die Hinzunahme des Demonstrator-Bauteils „VDG-Prüfkörper“ nach VDG-Arbeitsblatt 7.330 und des Realbauteils „Einspritzdüse“ konnte das Verfahren zur Beschichtung dieser additiv gefertigten Formschalen weiter verbessert und validiert werden. Es konnte somit eine thermisch stabile Beschichtung erzeugt werden, die eine Flächenaufdickung von < 0,1 mm zur Folge hat. Abbildung 1 zeigt den vereinfachten Prozessablauf am Beispiel des VDG-Prüfkörpers. Nach dem

Infiltrieren, Beschichten und Sintern der Formschalen wurden in diese Stahl 17-4 PH (WL 1.4542) mit einer Schleudergießanlage gegossen. Anschließend wurden die Gussteile optisch untersucht und die Mittenrauheit Ra mittels tastendem Verfahren gemessen. Beispiele einer nach dem „best practice“ Verfahren beschichtenden Formschale und dem daraus resultierendem Gussteil sind in Abbildung 2 dargestellt.

Die Betrachtung zeigt eine weitestgehend homogene Beschichtung der Kavität. An Stellen, die zu Schlickeransammlungen neigen, wurden keine qualitätsgefährdenden Beschichtungsfehler festgestellt. Der im Bild 2e erkennbare Grat resultiert aus der Trennfläche der beiden Formhälften und wurde im Projekt nicht weiter betrachtet. In Abbildung 3 sind die Messwerte der Mittenrauheit Ra als Säulendiagramm dargestellt. Hierdurch können die gemittelten Daten der einzelnen Geometrien (Biegerigel, VDG-Prüfkörper und Einspritzdüse) und Zustände (blank, beschichtet und gegossen) direkt miteinander verglichen werden. Eine signifikante Reduzierung der Oberflächenrauheit aller Geometrien kann somit eindeutig nachgewiesen werden. Auch wird das im Projekt gesetzte Ziel von $Ra < 10 \mu m$ bei nahezu allen untersuchten Fällen erreicht. Lediglich bei der Beschichtung von komplexeren Bauteilen wie dem Realbauteils „Einspritzdüse“ fällt die Rauheitsreduzierung etwas geringer aus. Für komplexe Komponenten sind entsprechend weitere Optimierungen des Beschichtungsverfahrens zu empfehlen.

In Summe hat sich gezeigt, dass das „best practice“ Verfahren, welches in diesem Projekt für eine Beschichtung von additiv gefertigten Keramikformschalen entwickelt und getestet worden ist, für eine signifikante Verbesserung der Oberflächenqualität sorgt. Das Forschungsziel wurde damit erreicht. Das Fließverhalten der Schlickersuspension lässt sich über die Viskosität je nach Anwendungsfall entsprechend einstellen, sodass verschiedene Geometrien und Schichtdicken auf Flächen (hier $< 0,1 \text{ mm}$) realisiert werden können. Die erzeugte Beschichtung blieb auch nach dem Sinterprozess intakt und führte beim Demonstratorbauteil „VDG-Prüfkörper“ zu aussichtsreichen Gussergebnissen. Es konnten keine Beeinträchtigungen des Gusses aufgrund von verminderter Porosität festgestellt werden. Für komplexere Bauteile sollten jedoch entsprechende Anpassungen der Schlickersuspension vorgenommen werden.

Der Projektantrag des Forschungsvorhabens KK5445201SH1 wurde über das „Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand“ (ZIM) gefördert. Dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz danken wir für die Bewilligung der Projektaufwendungen. Der Autor bedankt sich zudem beim Projektpartner Voxeljet für die Zusammenarbeit und Unterstützung während der Projektlaufzeit.

Abbildungsverzeichnis:

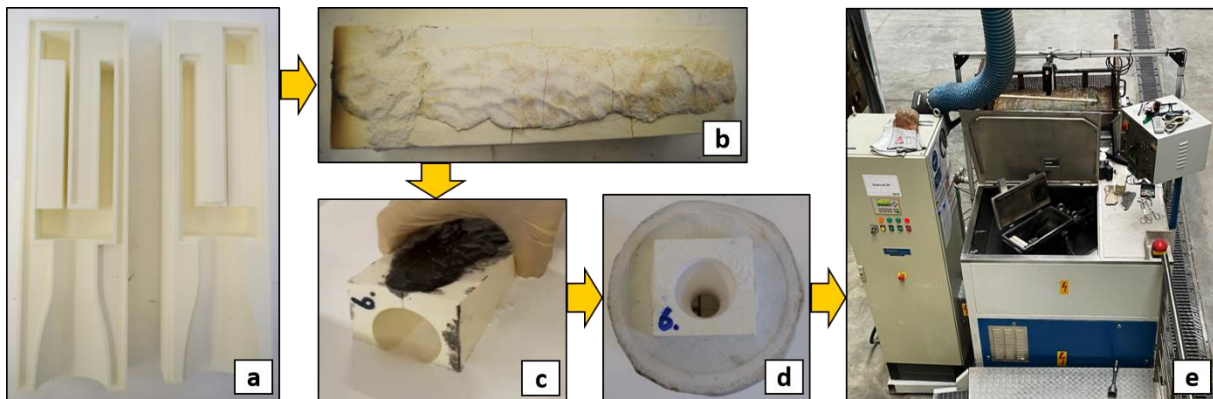


Abbildung 1: Vereinfacht dargestellter Arbeitsablauf zum Beschichten und Gießen einer zweiteilig gedruckten und gefügten Formschale des VDG Prüfkörpers mit dem Ausgangszustand (a), dem Zusammenfügen und Verstärken mit einem plastischen Feuerfestwerkstoff der Teile (b), dem Infiltrieren und Beschichten (c), den Gussvorbereitungen (d) sowie dem Guss auf der Schleudergießanlage der Firma Linn High Therm (e).

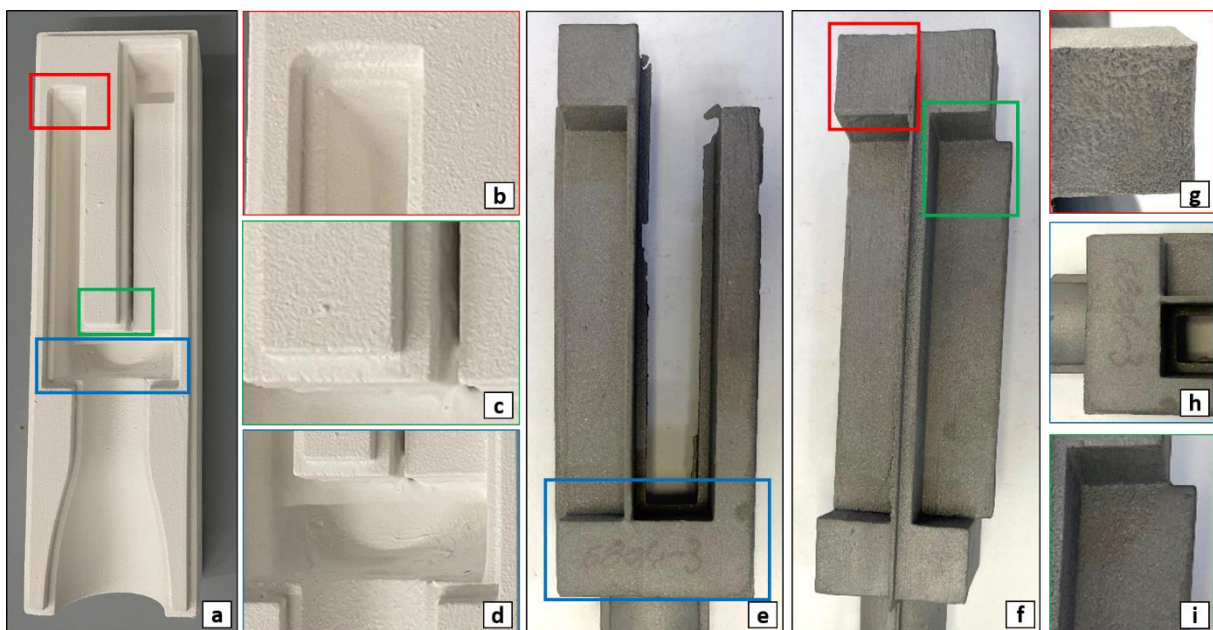


Abbildung 2: Nach „best practice“ beschichtete Formschalenhälfte des VDG-Prüfkörpers (a) mit entsprechenden Vergrößerungen kritischer Bereiche (b-d) sowie der gegossene und entformte VDG-Prüfkörper aus dieser beschichteten Formschale. Zu sehen ist die Seitenansicht (e), die Ansicht von oben (f) und die Vergrößerung ausgewählter Bauteilbereiche (g-i).

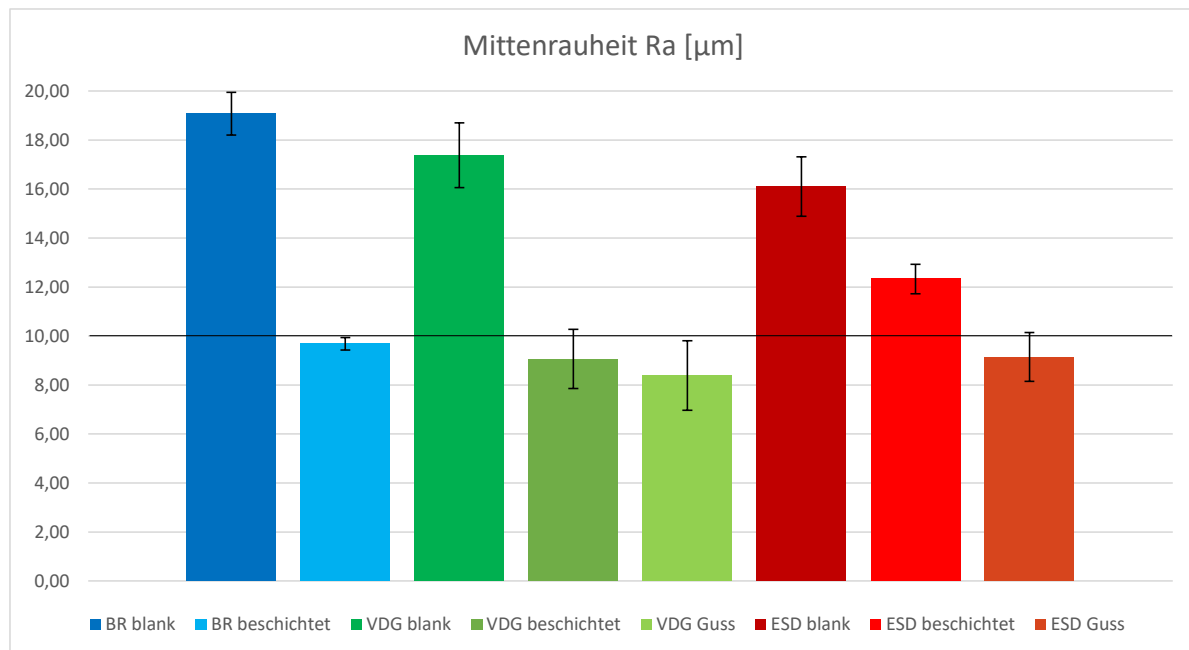


Abbildung 3: Säulendiagramm der Mittrauheit Ra der gemessenen Biegeriegel (BR), des VDG-Prüfkörpers (VDG) und der Einspritzdüse (ESD) an verschiedenen Punkten (blank, beschichtet und Guss) der Prozessroute.