

FORSCHUNGSVORHABEN

## Pulverflammspritzen von thermoschockbeständigen Tiegeln und Feingussformen am Beispiel $\text{CaZrO}_3\text{-CaTiO}_3$ für den Feinguss von hochschmelzenden und hochreaktiven Legierungen

Die Feinguss-Technologie findet in zahlreichen Branchen Anwendung, insbesondere in der Luft- und Raumfahrt, Medizintechnik, im Automobilbereich, der Energietechnik sowie der Schmuck- und Uhrenherstellung [1]. Von Vorteil ist die endkonturnahe Fertigung des Verfahrens. Dadurch lassen sich vor allem komplexe und filigrane Gussteilgeometrien verwirklichen, die zerspanend nicht oder nur sehr schwer herstellbar sind. Eine sehr flexible Produktion ist mit Gießverfahren aus der Gruppe der verlorenen Formen möglich. Hierbei spielt das Wachsausschmelzverfahren eine hervorgehobene Rolle. Ohne zusätzlichen Aufwand lassen sich variable Gussformen, durch Anbringen verschiedenster Modelle an den Wachsbaum, gestalten. Durch die endformnahe Fertigung wird die spanende Nacharbeit weitgehend vermieden.

Das Aufbringen des Keramikschlickers im üblichen Tauchverfahren ist problematisch bei filigranen Geometrien und Sacklöchern. Mit dem Schlickerspritzverfahren (IGF-Projekt 18293 BG), lassen sich bereits deutliche Fortschritte beim Beschichten in Bezug auf Detailtreue und Komplexität der Modelle erreichen. Die Trocknungsdauer der Formschalen lässt sich durch das Schlickerspritzverfahren verkürzen. Jedoch ist die Formschalenherstellung mit Keramikschlicker aufwendig und erfordert eine Produktionszeit von ca. 2 Wochen vom Wachsmodell bis zum fertigen Gussteil. Um eine deutliche Effizienzsteigerung und Energieeinsparung zu erreichen, müssen andere Verfahren wie das Flammspritzen in Betracht gezogen werden, für das keine Trocknungszeiten notwendig sind. Das Flamm- oder Plasmaspritzen erfolgt durch das Aufschmelzen von keramischen oder metallischen Pulvern oder Stäben und das anschließende Spritzen auf ein Substrat aus beispielsweise Zucker oder Salz. Diese Verfahren können

zur Herstellung freistehender Schichten, zur Bauteilbeschichtung oder sogar zur Herstellung eigenständiger Bauteile genutzt werden [2]. Anhand von anderen keramischen Systemen wurden bereits umfangreiche Untersuchungen mit flammgespritzten Schichten durchgeführt. Wesentliche Vorteile ergeben sich aus der entstehenden Mikrostruktur, einer amorphen Lamellenstruktur, die besonders gute Eigenschaften hinsichtlich des Thermoschockverhaltens aufweist [3, 4, 5].

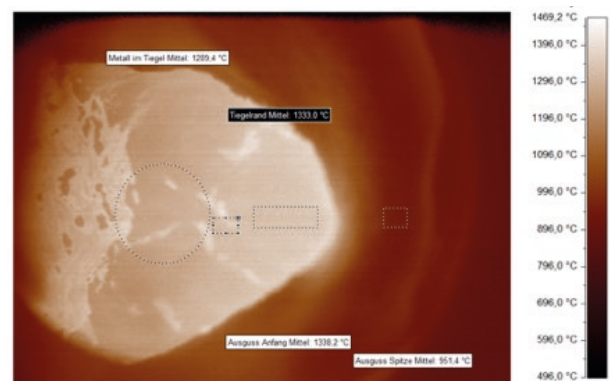


Abb. 2 | Flüssiges Titan beim Abguss aus kalisostatisch gepresstem  $\text{CaZrO}_3$ -Tiegel



Abb. 3 | Aufschmelzen von Titanzylindern in keramischem Tiegel mit  $\text{CaZrO}_3$ -Beschichtung

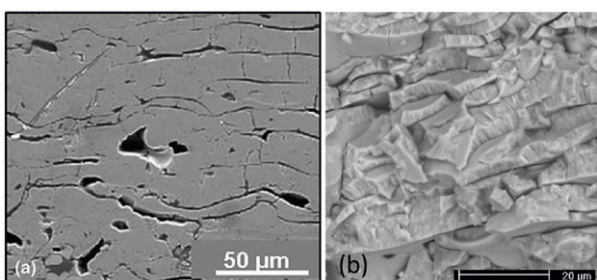


Abb. 1 | REM-Aufnahmen von flammgespritzten  $\text{CaZrO}_3$ -Schichten, a) mit gesintertem  $\text{CaZrO}_3$  [8], b) mit schmelzgegossenem  $\text{CaZrO}_3$  [9]

Der Strukturwerkstoff Titan stellt besondere Anforderungen an die Tiegel und Formschalen. Ein Problem bei der Verarbeitung von Gussteilen aus Titan ist die harte und spröde Reaktionszone, auch  $\alpha$ -case genannt, wegen der hexagonalen Gitterstruktur von  $\alpha$ -Ti, die unter anderem durch Sauerstoff stabilisiert wird. Diese macht eine Nachbearbeitung unabdingbar, um negative mechanische Einflüsse zu eliminieren. Die Verwendung von Formschalen

aus Calciumzirkonat ( $\text{CaZrO}_3$ ) verhindert die  $\alpha$ -case-Bildung [6], es findet lediglich ein geringer Zirkoneintrag statt, wodurch eine gezielte Verbesserung der Gussqualität vorliegt. Da es momentan noch keine kommerziell erhältlichen Tiegel für das Gießen von Ti-Legierungen gibt, würde mit dem neuen Verfahren des Pulverflammspritzens von  $\text{CaZrO}_3$  erstmals eine Möglichkeit zum Füllen dieser Lücke geschaffen werden. Die kaltisostatisch gepressten Tiegel stellen einen Fortschritt in Bezug auf chemische Beständigkeit im Vergleich zum Stand der Technik dar [7], sind jedoch in der Komplexität der Formen begrenzt.

In diesem Forschungsvorhaben sollen durch die Technologie des Pulverflammspritzens der  $\text{CaZrO}_3$ -Keramik die Eigenschaften von Tiegeln und Formschalen nochmals deutlich verbessert werden. Die höherwertigen Tiegel und Formschalen sollen für mehr Prozessstabilität und höhere Standzeit sorgen und das Verfahren zuverlässiger und wirtschaftlich interessanter machen. Im Vorgängerprojekt (IGF-Vorhaben 18293 BG) waren bereits deutliche Fortschritte bei der Qualität der Gussstücke in Bezug auf Oberflächengüte und Reinheit zu verzeichnen.

#### Literatur

1. M. Guclu: *Titanium and Titanium Alloy Castings*. ASM Castings Handbook, ASM International, Materials Park, OH. 2008. 1132–1134
2. H. Salmang and H. Scholze: *Keramik*. Hrsg. von Reiner Telle, 2007, Springer, Berlin, Heidelberg, New York
3. C.G. Aneziris et al.: *Thermal Shock Behavior of Flame-Sprayed Free-Standing Coatings Based on  $\text{Al}_2\text{O}_3$  with  $\text{TiO}_2$ - and  $\text{ZrO}_2$ - Additions*. International Journal of Applied Ceramic Technology, 2011. 8(4): p. 953–964

4. T. Kratschmer: *Flammgespritzte Schichten im System  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{TiO}_2$ - $\text{ZrO}_2$* , 2010, TU Bergakademie Freiberg, Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik
5. T. Kratschmer, C. Aneziris, and P. Gruner: *Mechanical properties of flame sprayed free-standing coatings*. Ceramics International, 2011. 37(7): p. 2727–2735
6. U.E. Klotz et al.: *Investment casting of titanium alloys with calcium zirconate moulds and crucibles*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2019
7. U.E. Klotz und T. Heiss, *Evaluation of crucible and investment materials for lost wax investment casting of Ti and NiTi alloys*. Int. J. Cast Met. Res., 2014. 27(6): p. 341–348
8. E. Garcia et al.: *Thermally Sprayed  $\text{CaZrO}_3$  Coatings*. Journal of Thermal Spray Technology, 2008. 17(5-6): p. 865–871
9. M. Freiwald: *Untersuchungen zum Flammspritzprozess anhand schmelzgegossener Calciumzirkonat-Systeme*. In: TU Bergakademie Freiberg, Institut für Keramik, Glas- und Baustofftechnik 2017, TU Freiberg: Freiberg

#### Danksagung

Das IGF-Vorhaben 20531BG der Forschungsvereinigung Verein für das Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie (fem) wird über die AIF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Projekt: IGF 20531 BG

Laufzeit: 1.2.2019 – 31.1.2021

#### Industriepartner

IBU-tec advanced materials AG | Imerys Fused Minerals Laufenburg GmbH | Indutherm Gießtechnologie GmbH  
Le Marchant | Nonnenmacher GmbH & Co. KG | NRU GmbH | Porzellanfabrik Hermsdorf GmbH | Titanfactory GmbH  
Forschungsvereinigung Feuerfest e.V. | Gießerei Kessel

#### Forschungspartner

IKGB | Institut für Keramik, Glas- und Baustofftechnik an der TU Bergakademie Freiberg

#### Ansprechpartner

fem | Forschungsinstitut Edelmetalle + Metallchemie | Katharinenstraße 17 | 73525 Schwäbisch Gmünd  
Dr. Ulrich Klotz, klotz@fem-online.de | B. Eng. Florian Bulling, bulling@fem-online.de, T +49 7171 1006-722