

Lextra

Laserbasierte additive Fertigung von Bauteilen für extreme Anforderungen aus innovativen intermetallischen Werkstoffen

Laufzeit 01.02.2017 – 31.01.2020



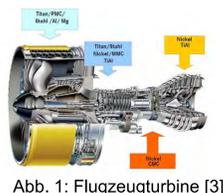
Additive Fertigung gasverdünster Mo-Si-B Pulver durch Laserauftragschweißen

J. Schmelzer^{1*}, S.-K. Rittinghaus², A. Weisheit², M. Stobik³, J. Paulus⁴, K. Gruber⁴, E. Wessel⁵, C. Heinze⁵, M. Krüger⁶

¹Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Magdeburg. ²Fraunhofer – Institut für Lasertechnologie, Aachen. ³NANOVAL GmbH & Co.KG, Berlin. ⁴Dr. Kochanek Entwicklungsgesellschaft, Neustadt a. d. Weinstraße. ⁵Siemens AG, Berlin. ⁶Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK-2), Jülich.

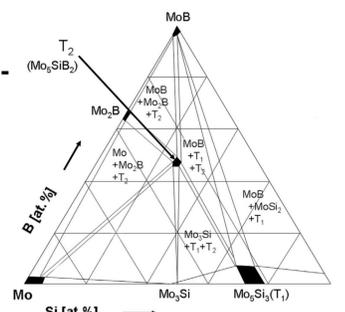
Motivation & Ziele

- **Mo-Si-B Legierungen** zeigen Potenzial für Anwendungen "beyond Ni-superalloys" → **bessere Hochtemperaturfestigkeit und Kriechbeständigkeit** [1, 2]
- **Anwendung:** - Steigerung des Wirkungsgrades von Gasturbinen durch Erhöhung der Heisgastemperatur
- **Herausforderung:**
 - sehr hoher Schmelzpunkt (ca. 2000 °C)
 - hochpräzise, „near-net-shape“ Bauteile mit **komplexen Geometrien** in einem **einstufigen Prozess** direkt aus dem Pulvermaterial



Mo-13,5Si-7,5B

- **nah-eutektische Legierungszusammensetzung**
- lokalisiert im **Dreiphasengebiet** zwischen **Mo Mischkristallphase (Mo_{SS})** und den Siliziden **Mo_3SiB** und **Mo_3Si** , im sogenannten „Berczik-Dreieck“
- Balance zwischen Raumtemperatureigenschaften, wie Bruchzähigkeit und Spröd-Duktil-Übergangstemperatur, sowie Hochtemperatureigenschaften, wie Kriech- und Oxidationsbeständigkeit [4]



Pulver

- Herstellung: **Inertgasverdünnungsprozess** ausgehend von elementaren Feststoffen

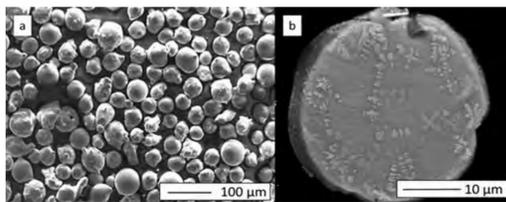


Abb. 3: REM Aufnahme der verdünsten Mo-13,5Si-7,5B Pulverpartikel: Morphologie der Pulverpartikel (REM-SE), b) Schlibbild Pulverpartikel (REM-BSE).

Pulvereigenschaften nach dem Verdünnungsprozess

Chemische Zusammensetzung:

| | |
|--|------------------------|
| Mo | 78,48 at. % |
| Si | 13,5 at. % |
| B | 7,49 at. % |
| Verunreinigungen (Cu, Mg, Al, Zr, Fe) | 0,53 at. % |
| Sauerstoffgehalt | 1054 ± 353 ppm |
| Partikelgröße: | |
| d_{10} | 13,7 ± 0,09 µm |
| d_{50} | 23,8 ± 0,2 µm |
| d_{90} | 40,7 ± 0,22 µm |
| Sphärizität | 0,94 |
| Fließfähigkeit ffc | 10,8 (= frei fließend) |

Prozess

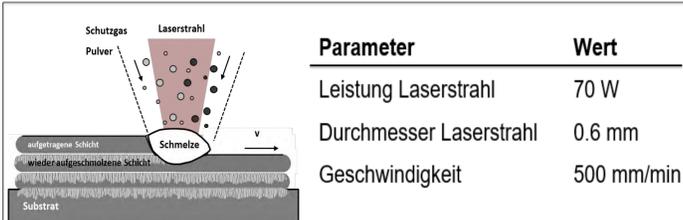


Abb. 4: Verfahrensprinzip Laserauftragschweißen

Kompaktwerkstoff

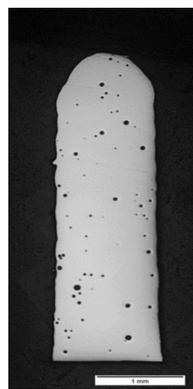


Abb. 5: Schlibbild Kompaktwerkstoff Mo-13,5Si-7,5B mit Porenanteilen

- rissfreie Kompaktproben
- Porengröße: 10 µm – 50 µm
- Porenanteil: 2,1 %
- Dichte: ca. 8,26 g/cm³ (archimed. Prinzip)
- theoretische Dichte nach Phasenanteilen: 8,85 g/cm³
- Entstehung primär erstarrter Mo_{SS} Dendriten umgeben von eutektischen Bereichen

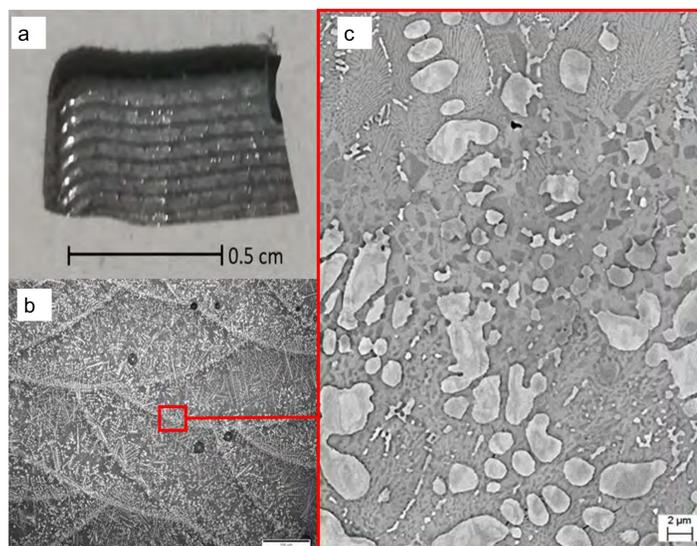


Abb. 6: a) Additiv gefertigte Mo-13,5Si-7,5B Probe; b) typische Lagenstruktur nach dem Laserauftragschweißen und daraus resultierende Mikrostruktur (c)

Bestimmung der Phasenanteile:

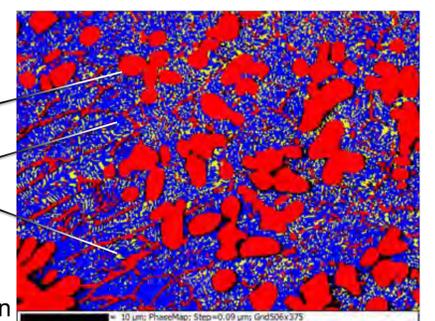


Abb. 7: EBSD Bild mit farbig codierten Phasenanteilen: Mo_{SS} (rot), Mo_3Si (blau) und Mo_5SiB_2 (gelb).

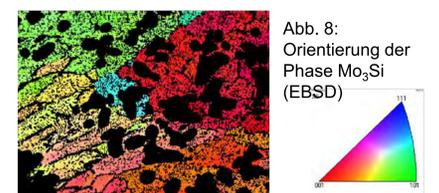


Abb. 8: Orientierung der Phase Mo_3Si (EBSD)

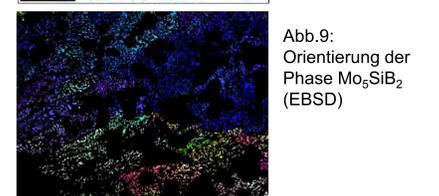


Abb. 9: Orientierung der Phase Mo_5SiB_2 (EBSD)

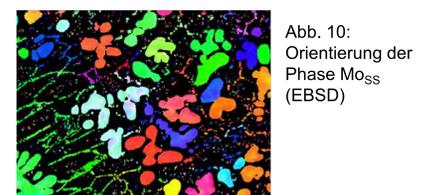


Abb. 10: Orientierung der Phase Mo_{SS} (EBSD)

Ergebnisse & Zusammenfassung

- erfolgreiches Gasverdünnen einer nah-eutektischen Mo-Si-B-Legierung (T_m ca. 2000 °C) (Abb. 3a)
- Aufbauten bei erhöhten Bautemperaturen mittels Laserauftragschweißen bzw. Laser Metal Deposition (LMD) rissfrei erzeugt (Abb. 6a - c)
- Aufbauten zeigen ein dichtes Volumen mit einem geringen Anteil an Poren (2,1 %) (Abb. 5)
- Ausbildung primär erstarrter Mo_{SS} Dendriten, die von Bereichen binärer Mo_3Si - Mo_5SiB_2 und ternärer Mo_{SS} - Mo_3Si - Mo_5SiB_2 Eutektika umgeben sind (Abb. 6c)

Referenzen

- [1] G. Hasemann, D. Kaplunenko, I. Bogomol, M. Krüger, JOM 2016, 68:11, 2847-2853.
- [2] V. Supatarawanich, D.R. Johnson, C.T. Liu, Mater. Sci. Eng. 2003, A344, 328-339.
- [3] W. Smarsly, Symposium 30 Jahre GWP, Zorneding, 25.5.2007.
- [4] M. Krüger, P. Jain, K. S. Kumar, M. Heilmaier, Intermetallics 2014, 48, 10-18.
- [5] C.A Nunes, R Sakidja, J.H Perepezko Phase stability in high temperature Mo-rich Mo-B-Si alloys M.V Nathal, et al. (Eds.), Structural intermetallics, TMS, Warrendale (PA) (1997), pp. 831-839.