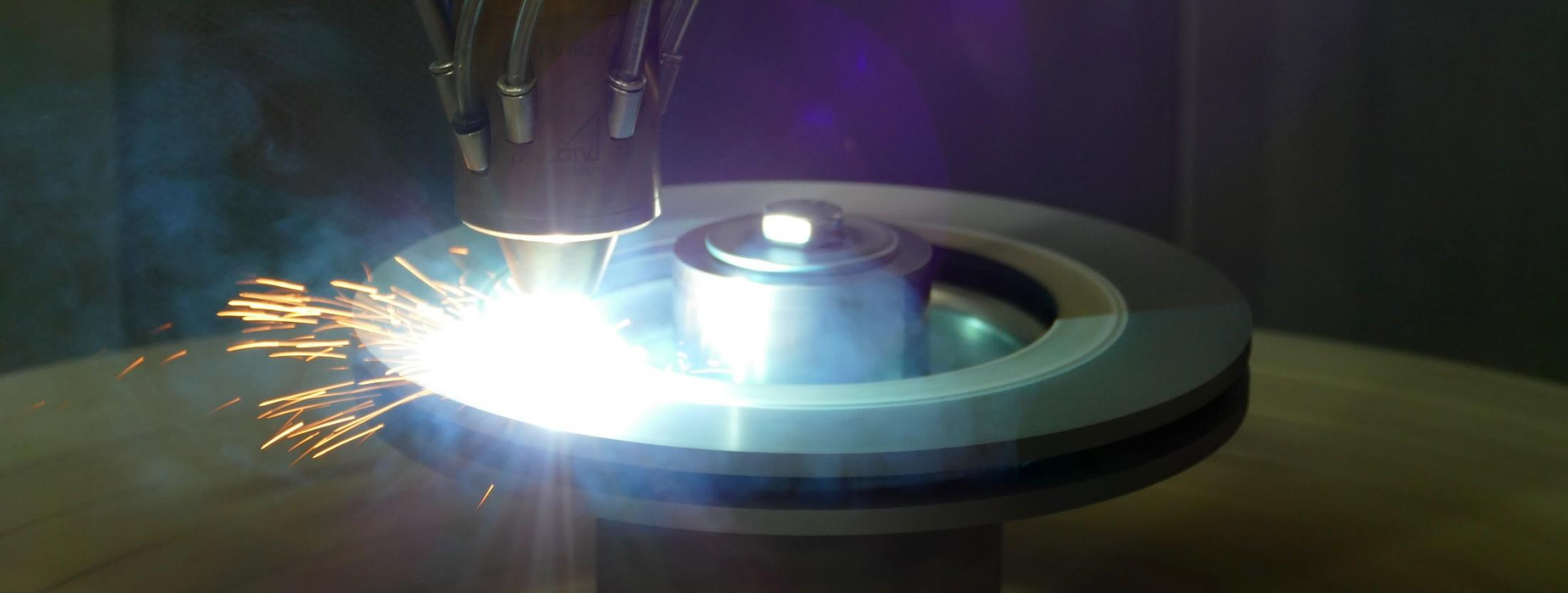




Einfluss des Zusatzwerkstoffs auf Eigenschaften von NbC-verstärkten Laser Cladding Beschichtungen auf Grauguss-Bremsscheiben

Andreas Wank, Christian Schmengler, Lisa-Marie Rymer, Thomas Grund

22. Werkstofftechnisches Kolloquium, 24.03.2021

Gliederung



- **Motivation**
- **Laser Cladding Prozess**
- **Beschichtungswerkstoffe**
 - NbC, gelaugt
 - NbC, gesintert und gebrochen
 - NbC/FeCr 80/20, agglomeriert und gesintert
- **Mikrostrukturuntersuchungen**
- **Zusammenfassung**

Warum beschichtete Bremsscheiben?

- Ästhetik
Rost, Bremsstaub
- Korrosionsschutz
E-Mobilität
- Verschleißschutz
Lebensdauer, Nachhaltigkeit
- Umweltverträglichkeit
Feinstaub

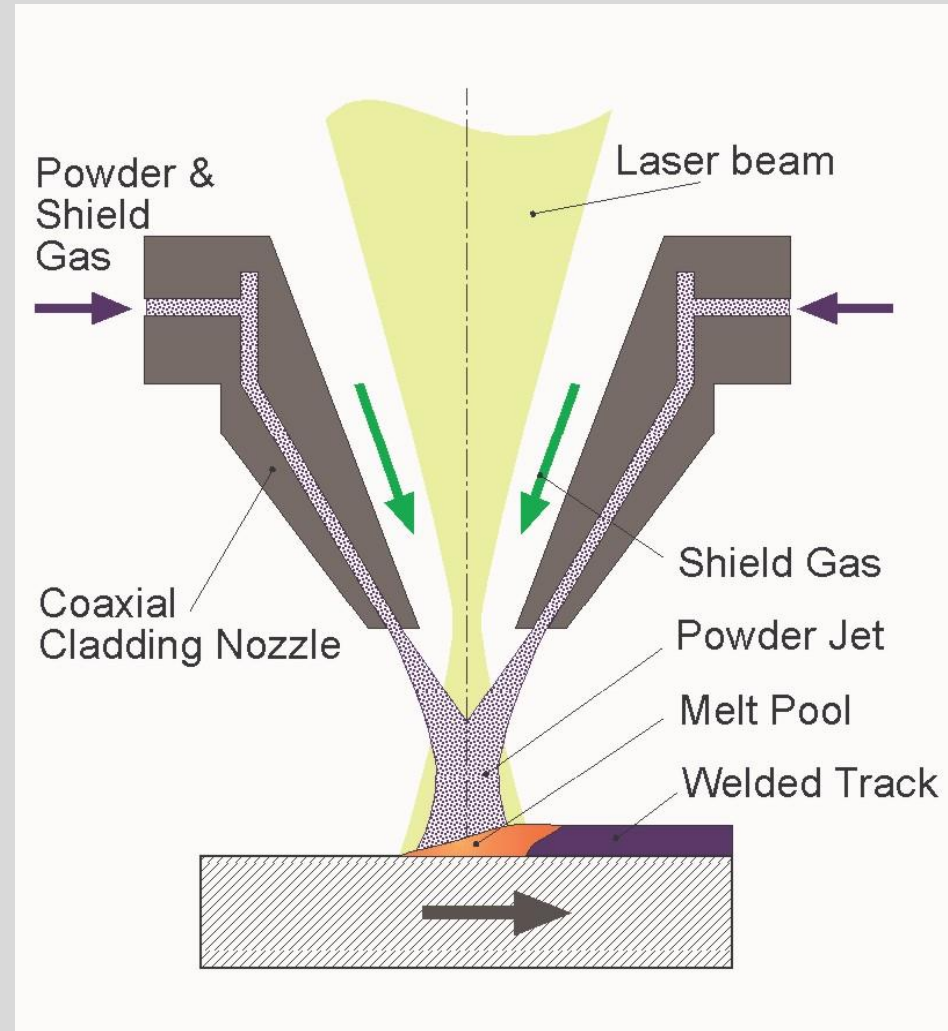


Warum Laser Cladding?

- Metallurgische Anbindung
- Relativ geringer Wärmeeintrag
geringe Aufmischung, geringer Verzug
- Hohe Flexibilität
Schicht(lagen)dicken, Werkstoffzusammensetzung, Gradierung
- Hoher Automatisierungsgrad
- Hohe Reproduzierbarkeit
- Sinkende Investitionskosten und Platzbedarf

Laser Cladding Prozess

- Quasi-koaxiale Pulverzufuhr (6-Strahldüse)
- Lagendicke:
80 - 500 μm
- Laserleistung:
max. 22 kW
- Pulverförderrate:
max. 300 g/min (90% DE)
- Schweißgeschwindigkeit:
max. 400 m/min
- Flächenrate:
bis 8 m^2/h @ 100 μm



Laser Cladding Prozess

<https://youtu.be/YZdobKlaKfU>



100 μm 316L-Stahl (GTV 80.46.1) Beschichtung, 22 kW, 300 g/min
220 HV0.3, 8 m^2/h , 90% DE

Anforderungen

- Umweltverträglichkeit
 - “kein” Co, Ni, Cu, W
- Vermeidung durchgehender Risse
 - Schutz vor Unterkorrosion, auch nach extremen Bremsungen
- Tribologie
 - Definierte Reibwerte bei diversen Umgebungs- und Bremsbedingungen (ohne definierten Reibpartner)
- Hohe Verfügbarkeit
- Minimaler Preis

Ansätze

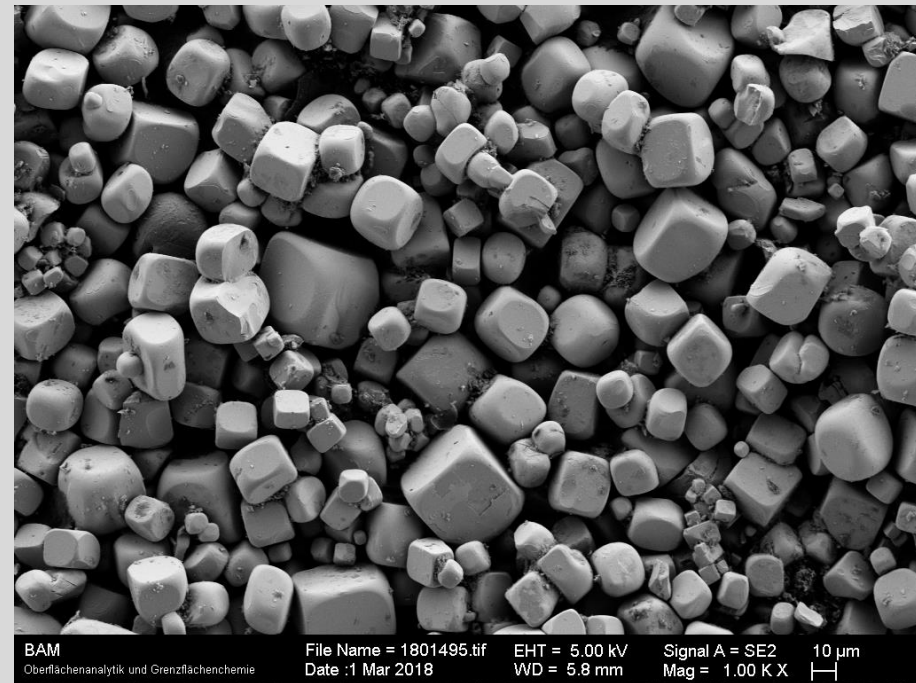
- Laser Cladding RSH-Stahl-Lage für Korrosionsschutz
- Thermisch gespritzte Eisenbasis-Verschleißschutzschicht
Fe-Cr-V-C, Fe-Cr-B, $\text{Cr}_3\text{C}_2/\text{FeCr}$, NbC/FeCr, TiC/FeCr
- Laser Cladding Eisenbasis-Verschleißschutzschicht
RSH-Stahl + NbC (/ TiC / $\text{W}_2\text{C}/\text{WC}$ / Cr_3C_2 / SiC), Fe-Cr-V-C
- NbC

Stabiler Monokarbidbildner; keine Bildung spröder Mischkarbide;
keine Gesundheitsgefährdung; Rohstoffverfügbarkeit unter Kontrolle
Brasiliens; relativ hoher Preis; Verfügbarkeit Zusatzwerkstoffe?

NbC Zusatzwerkstoffe

Gelaugtes NbC-Pulver

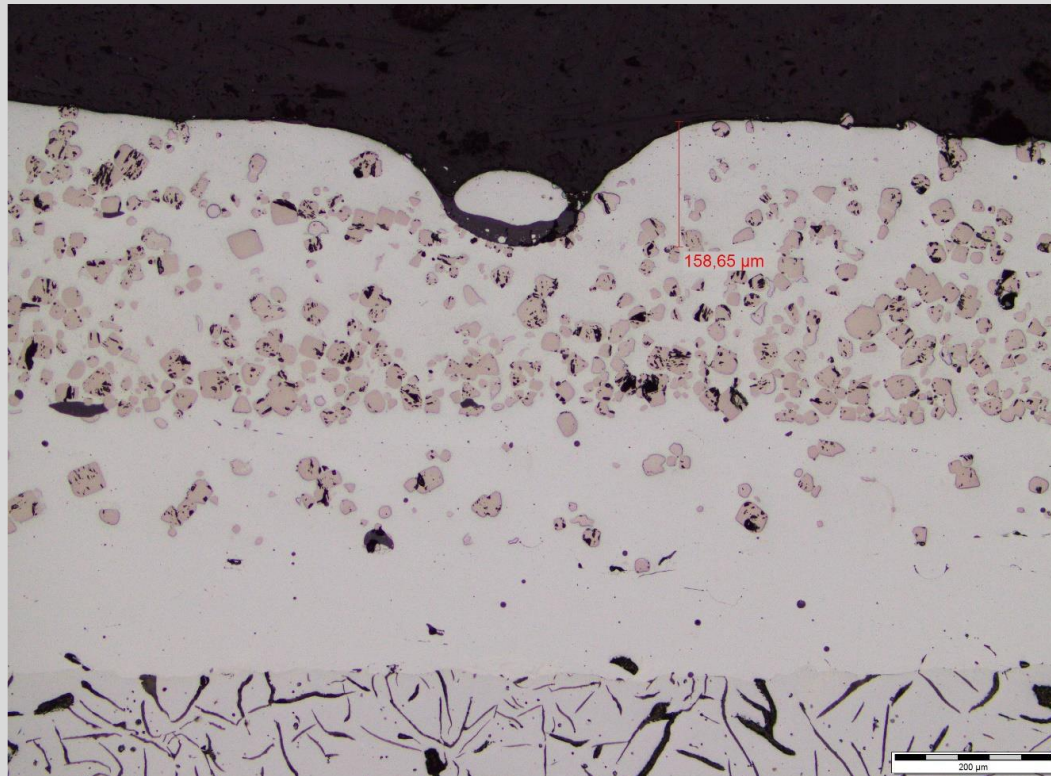
- Hersteller CBMM
- PSD (CILAS 920): d_{10} 13,8 μm , d_{50} 31,2 μm , d_{90} 52,3 μm
- Würfelform
- Al_2O_3 Verunreinigungen aus Ätzprozess
- Verfügbarkeit 2 t/a (2019)



NbC Zusatzwerkstoffe

Gelaugtes NbC-Pulver

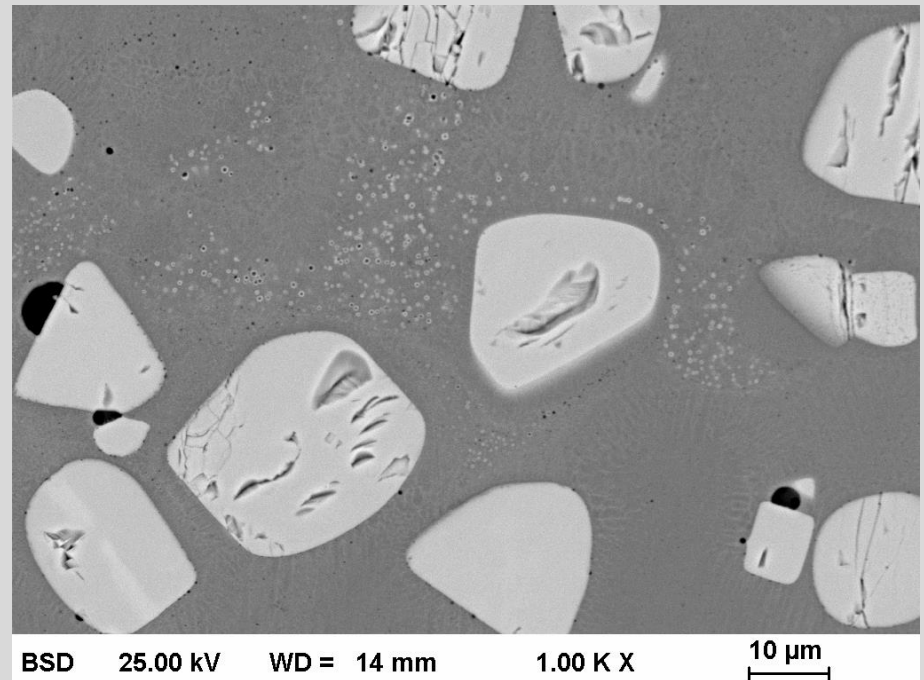
- Al_2O_3 Verunreinigungen bewirken Kraterbildung



NbC Zusatzwerkstoffe

Gelaugtes NbC-Pulver

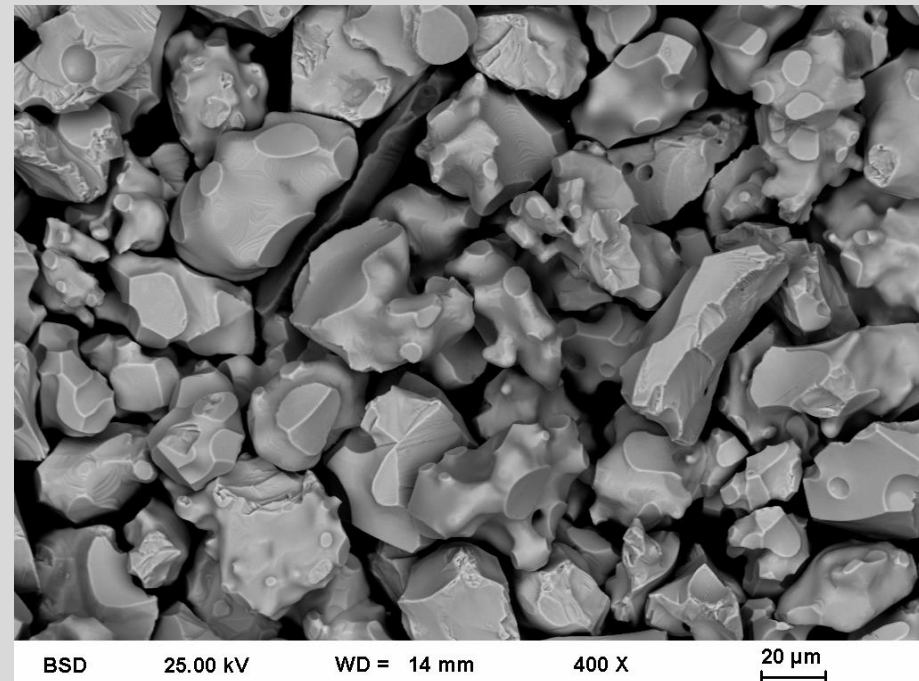
- NbC-Partikel werden von (1.4462-) Stahlschmelze sehr gut benetzt, lösen sich darin aber nur minimal
- Bei Einsatz von 10 wt.-% NbC im Pulver ~15 wt.-% Nb in Schichtlage, bei 40 wt.-% NbC im Pulver ~44 wt.-% Nb in Schichtlage



NbC Zusatzwerkstoffe

Gesintertes und gebrochenes NbC-Pulver

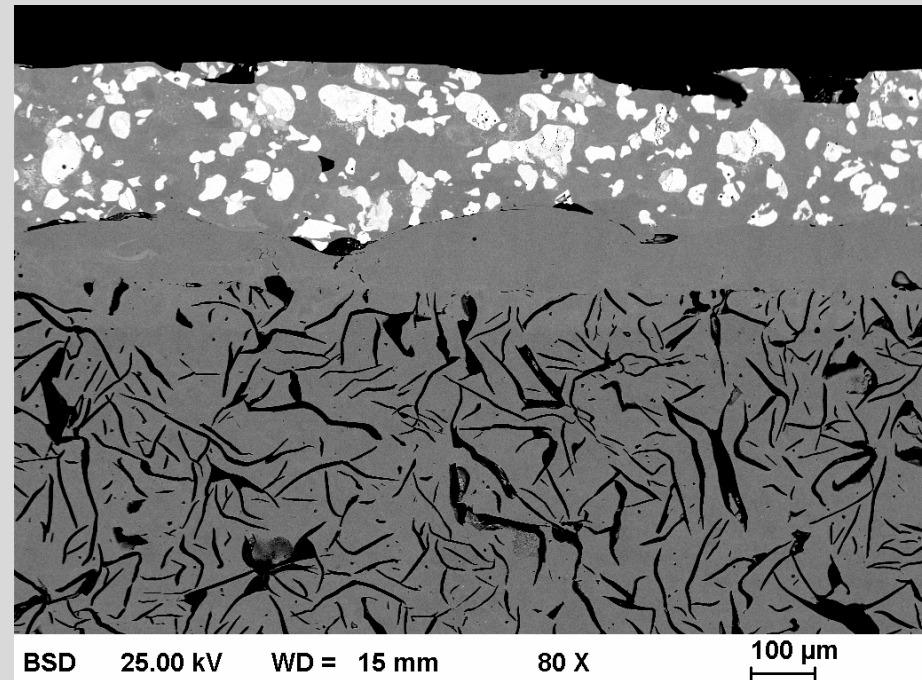
- GTV 70.82.1
- PSD (CILAS 920): d_{10} 25,3 μm , d_{50} 39,4 μm , d_{90} 59,7 μm
- Kantige Form
- Relativ hohe Pulsationsneigung beim Fördern



NbC Zusatzwerkstoffe

Gesintertes und gebrochenes NbC-Pulver

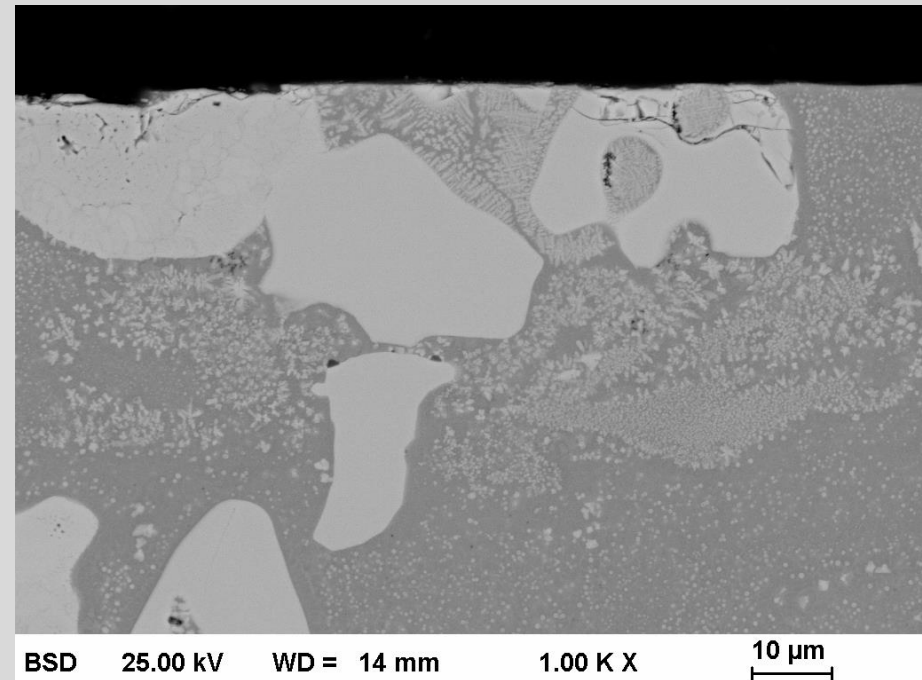
- NbC-Partikel werden von (1.4462-) Stahlschmelze sehr gut benetzt und bewirken keine Kraterbildung
- Relativ hohe Porosität, erhöhte Rissneigung



NbC Zusatzwerkstoffe

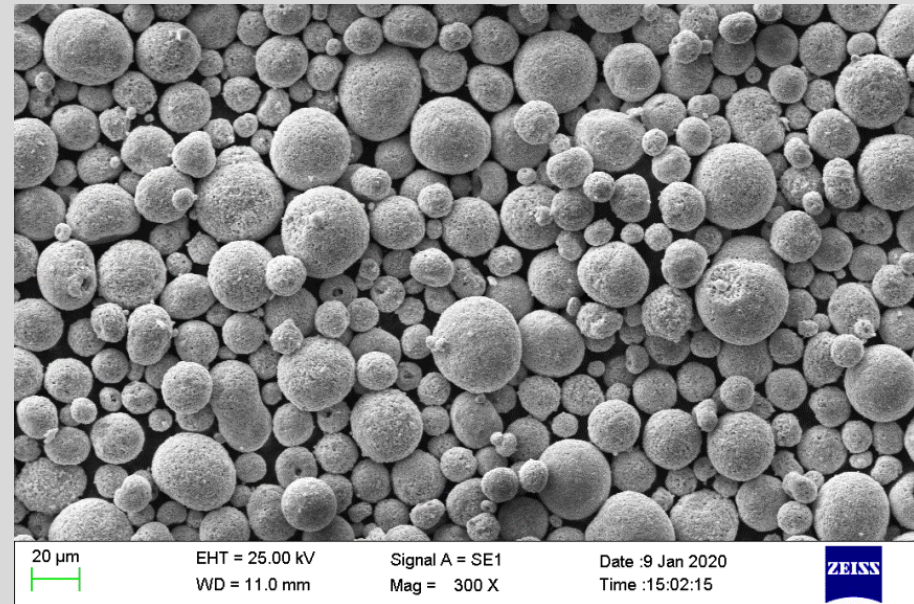
Gesintertes und gebrochenes NbC-Pulver

- Gelöstes NbC scheidet sich bei hoher Dichte in Form von Dendriten, sonst globular aus
- Primärkarbidgrenzflächen bleiben erhalten
- Bei Einsatz von 40 wt.-% NbC im Pulver ~41 wt.-% Nb in Schichtlage



Agglomeriertes und gesintertes NbC/FeCr-Pulver

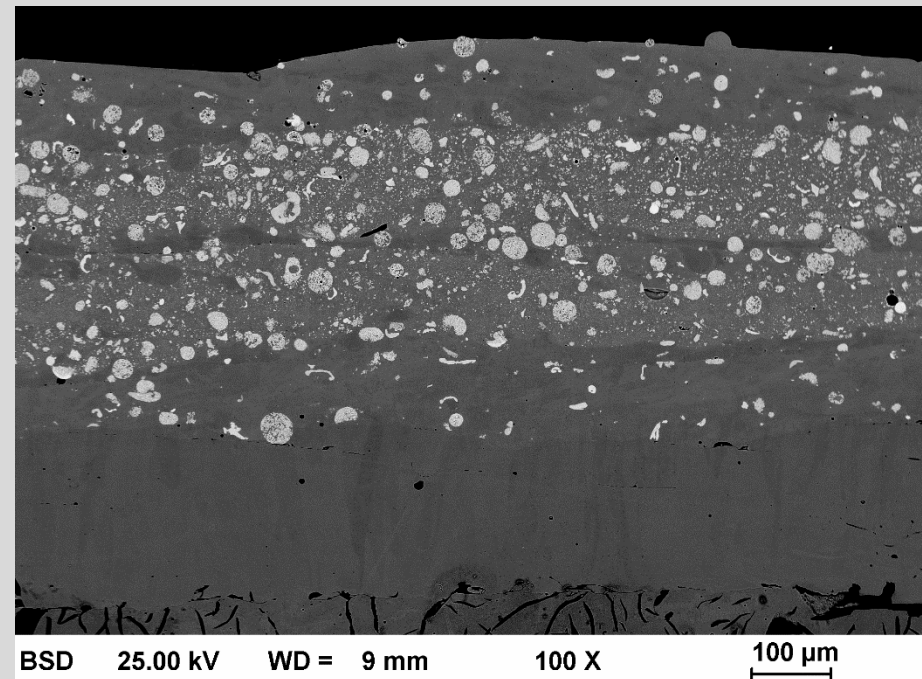
- GTV 81.71.8
- PSD (CILAS 920): d_{10} 16,2 μm , d_{50} 25,8 μm , d_{90} 40,1 μm
- Karbidgröße FSSS $\sim 1 \mu\text{m}$
- 20 Gew.-% FeCr-Binder
- Kugelform



NbC Zusatzwerkstoffe

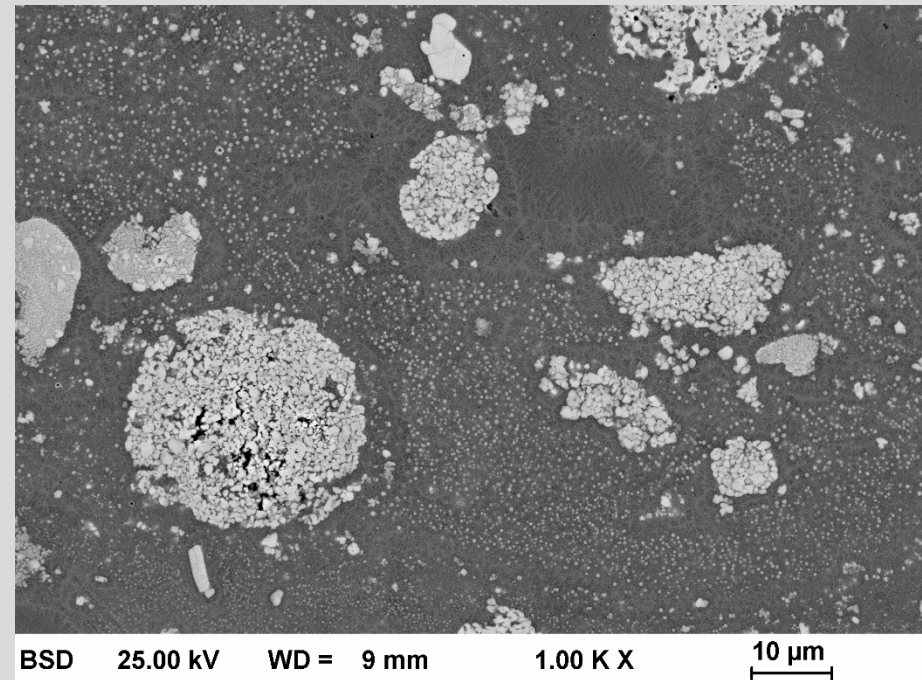
Agglomeriertes und gesintertes NbC/FeCr-Pulver

- NbC/FeCr-Verbundpartikel werden von (1.4462-) Stahlschmelze sehr gut benetzt und bewirken keine Kraterbildung
- Teilweise werden die Verbundpartikel in der (1.4462-) Stahlschmelze gelöst



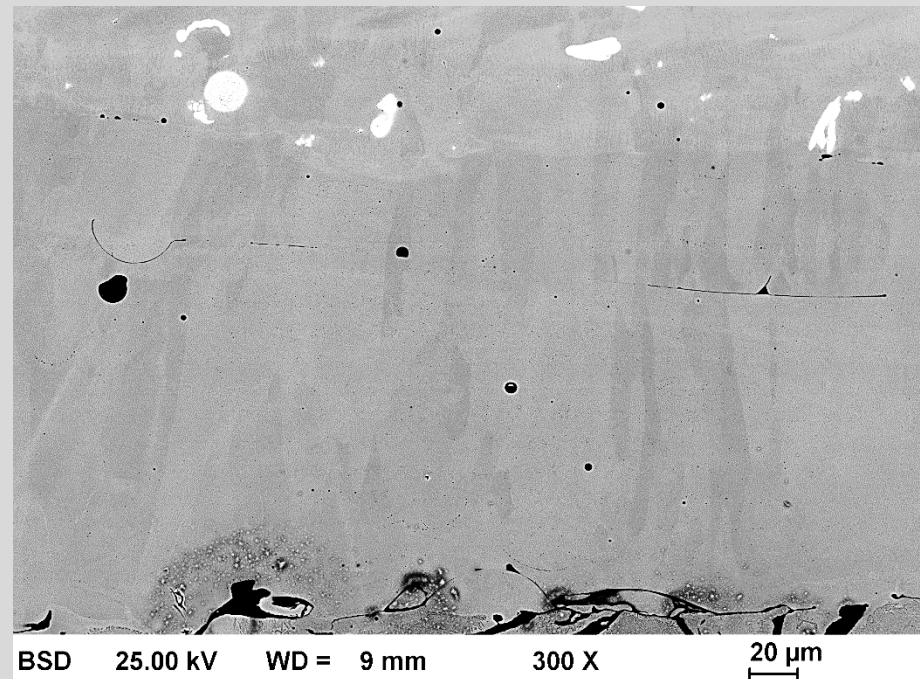
Agglomeriertes und gesintertes NbC/FeCr-Pulver

- NbC wird aus der (1.4462-) Stahlschmelze bei hoher Dichte in Form von groben irregulär geformten Partikeln, bei geringer Dichte globular mit 200 - 500 nm Größe ausgeschieden
- Bei Einsatz von 30 wt.-% NbC/FeCr im Pulver
~29 wt.-% Nb in Schichtlage



Unverstärkte 1.4462-Stahl-Lage

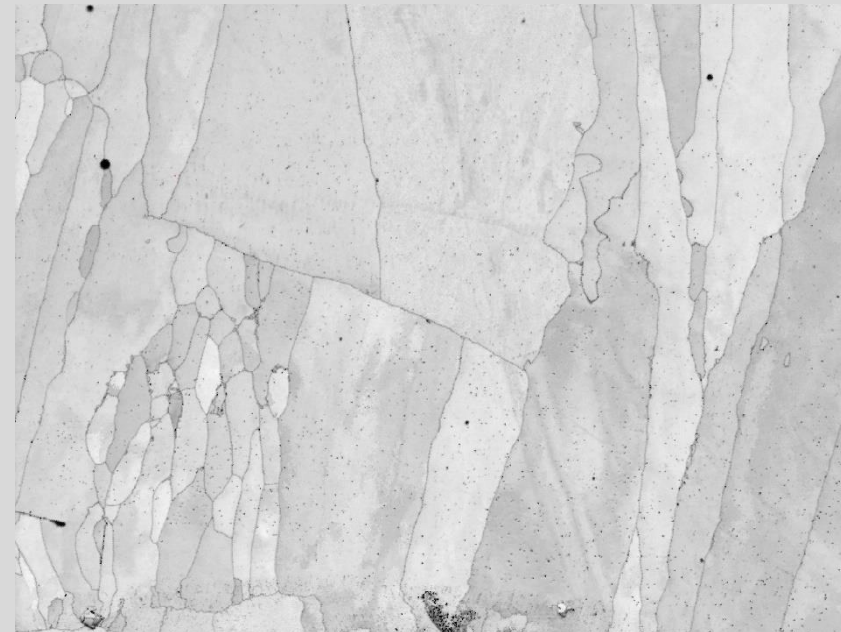
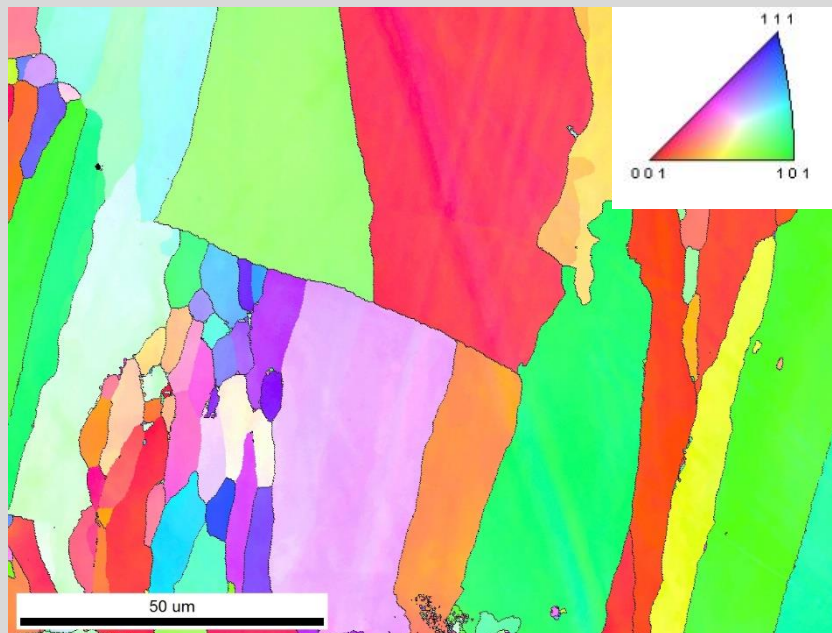
- Mit großem Überlapp ($> 90\%$) aufgetragene Schweißraupen weisen teilweise unvollständig angeschmolzene Grenzflächen auf
- Gerichtete Erstarrung



Mikrostruktur Verbundschichten

Unverstärkte 1.4462-Stahl-Lage

- Der Aufbau aus Schweißraupen mit großem Überlapp wird durch teilweise unvollständiges Anschmelzen der Grenzfläche sichtbar



Unverstärkte 1.4462-Stahl-Lage

- Aufgrund der extrem hohen Abkühlgeschwindigkeiten enthält der 1.4462 Stahl nahezu ausschließlich Ferrit (laut Schaeffler-Diagramm: 86% Ferrit, mit Stickstoff-Berücksichtigung: 58% Ferrit)

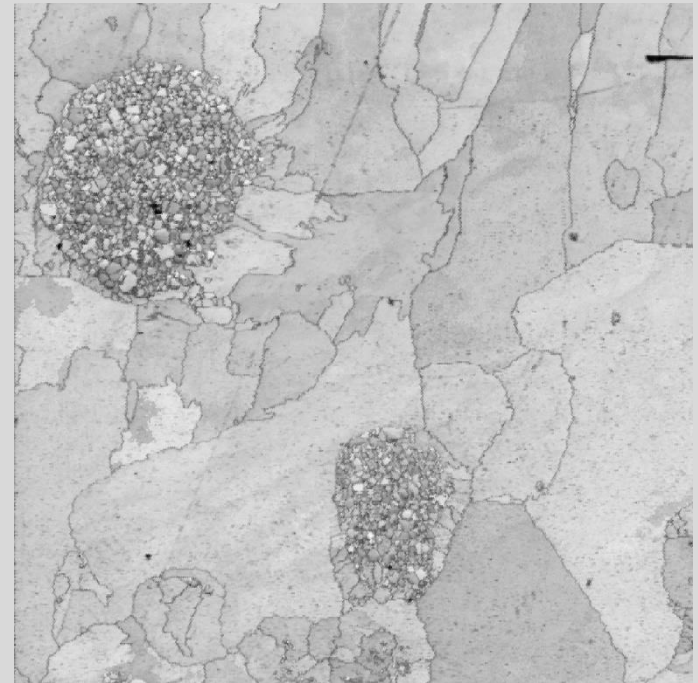
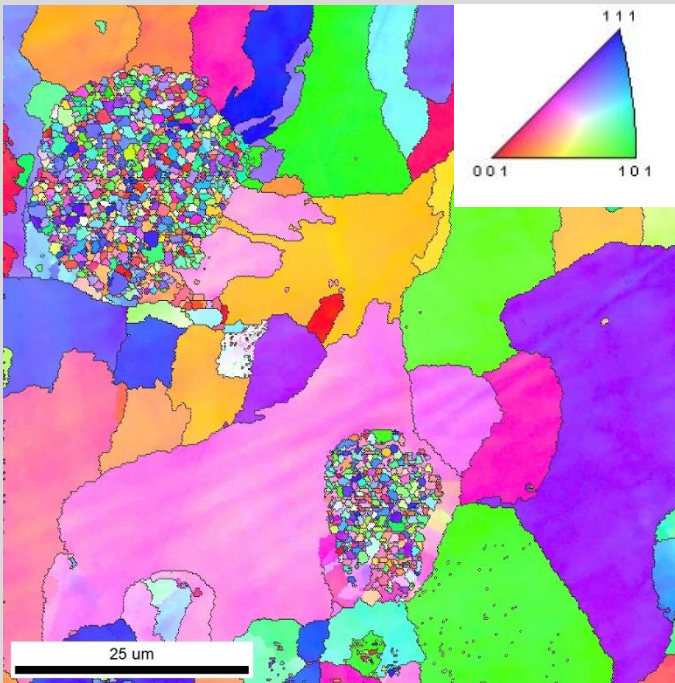
Color Coded Map Type: Phase

	Phase	Total Fraction	Partition Fraction
	Ferrite	0.996	0.997
	Austenite	0.003	0.003



NbC/FeCr-verstärkte 1.4462-Stahl-Lage

- NbC/FeCr-Zugabe bewirkt Kornfeinung und geringere Orientierung der Körner senkrecht zur Substratoberfläche; nahezu ausschließlich ferritische Stahlmatrix

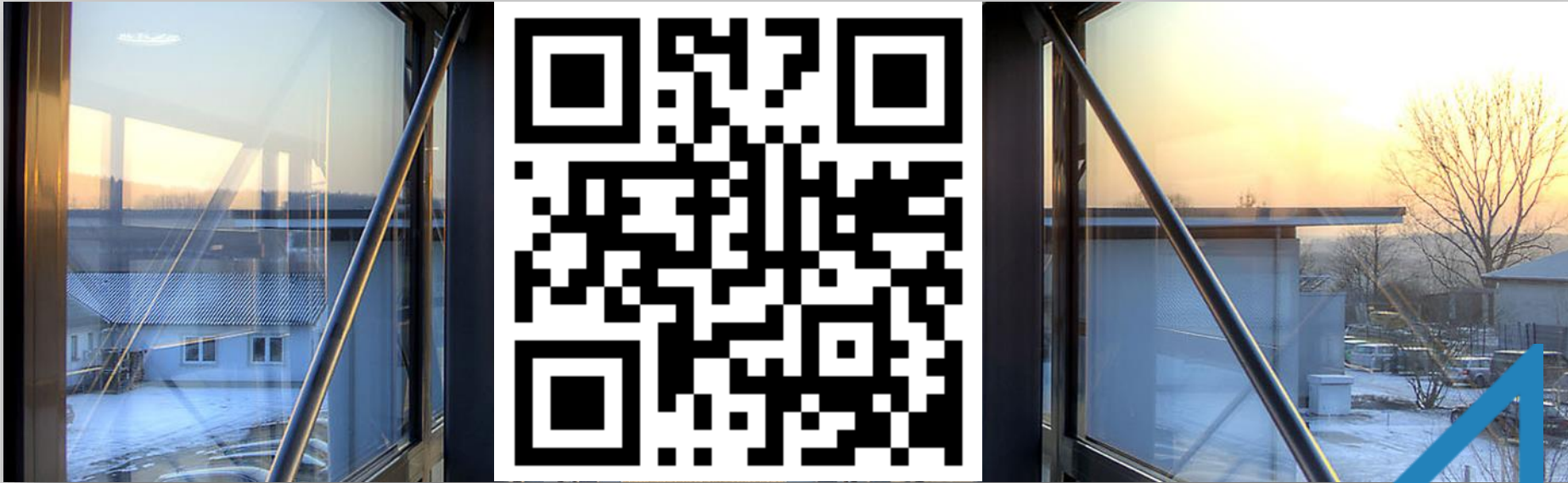


Zusammenfassung



- Gelaugtes NbC-Pulver bewirkt wegen Al_2O_3 -Verunreinigungen Kraterbildung, wird gut benetzt und löst sich in Stahlschmelzen relativ wenig auf
- Gesintertes und gebrochenes NbC-Pulver wird gut benetzt und löst sich relativ stark in Stahlschmelze, neigt zu Pulsation beim Fördern und fördert Riss- und Porenbildung
- Agglomeriertes und gesintertes NbC/FeCr-Pulver wird gut benetzt und löst sich teilweise in Stahlschmelze, NbC-Ausscheidungen bewirken Kornfeinung in Verbundschichten

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



www.gtv-mbh.com

