



LASERAUFTRAGSCHWEIßEN:

Eine alternative Technologie im Bereich der Hartverchromung

Dr. Antonio Candel-Ruiz
Branchenmanagement Laseroberflächenverfahren

Dortmund, 14.01.2019

Agenda

- 1 Motivation: Gesetzlicher Rahmen und Stand der Technik

- 2 Laserbasierte Technologien als Alternative der Hartverchromung.
Zusatzwerkstoffe

- 3 Handlungsbedarf im Bereich der Laseroberflächenverfahren

- 4 Zusammenfassung und Ausblick

Die TRUMPF-Gruppe auf einen Blick

Unternehmenskennzahlen 2017/18

Umsatz 2017/18

3.565 in Mio. €
+14,6 %

F+E Aufwendungen in Mio. €

337 +5,9 %

Auftragseingang 2017/18
in Mio. €

3.799
+12,5 %

Ergebnis v. Steuern
in Mio. €

513,8

F+E Quote

10,2 %

Mitarbeiter am 30.06.2018

13.420

Umsatzrendite

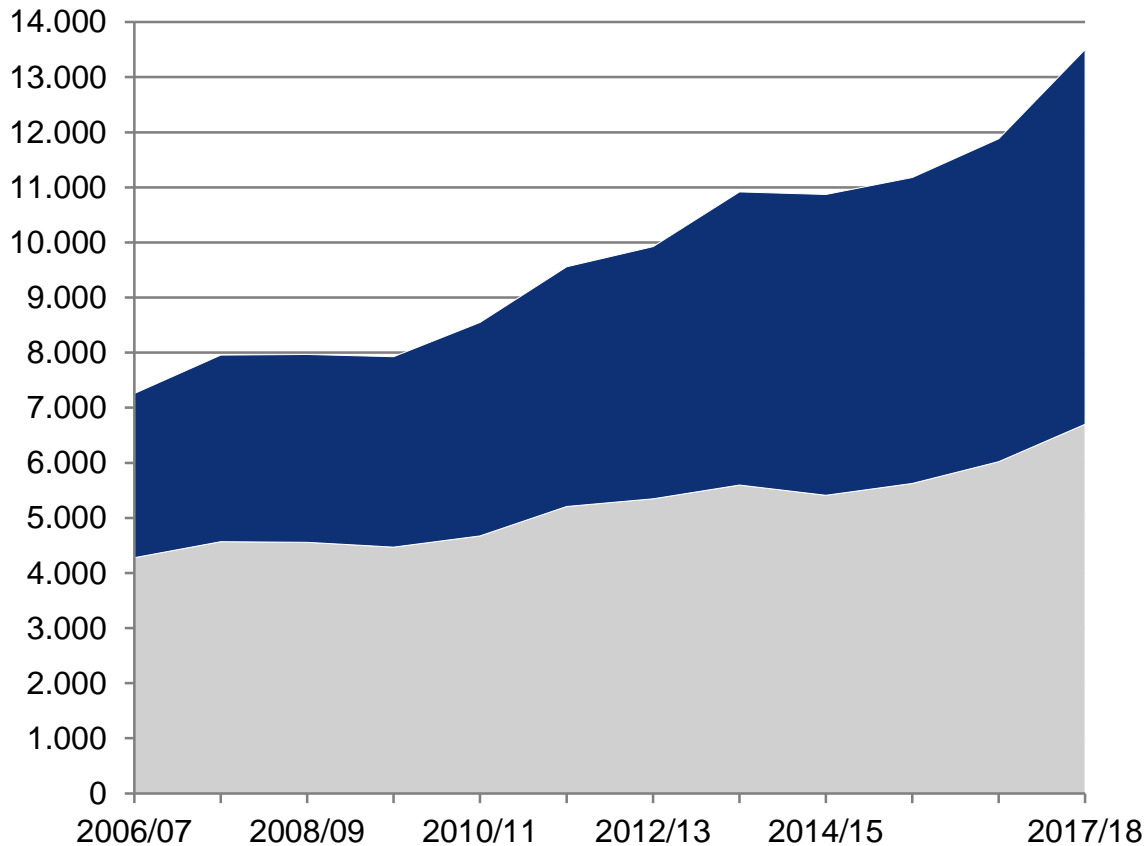
14,4 %

Investitionen in Mio. €

216 +8,0 %

Gemeinsam stark

Unsere Mitarbeiter, Stand: 30. Juni 2018



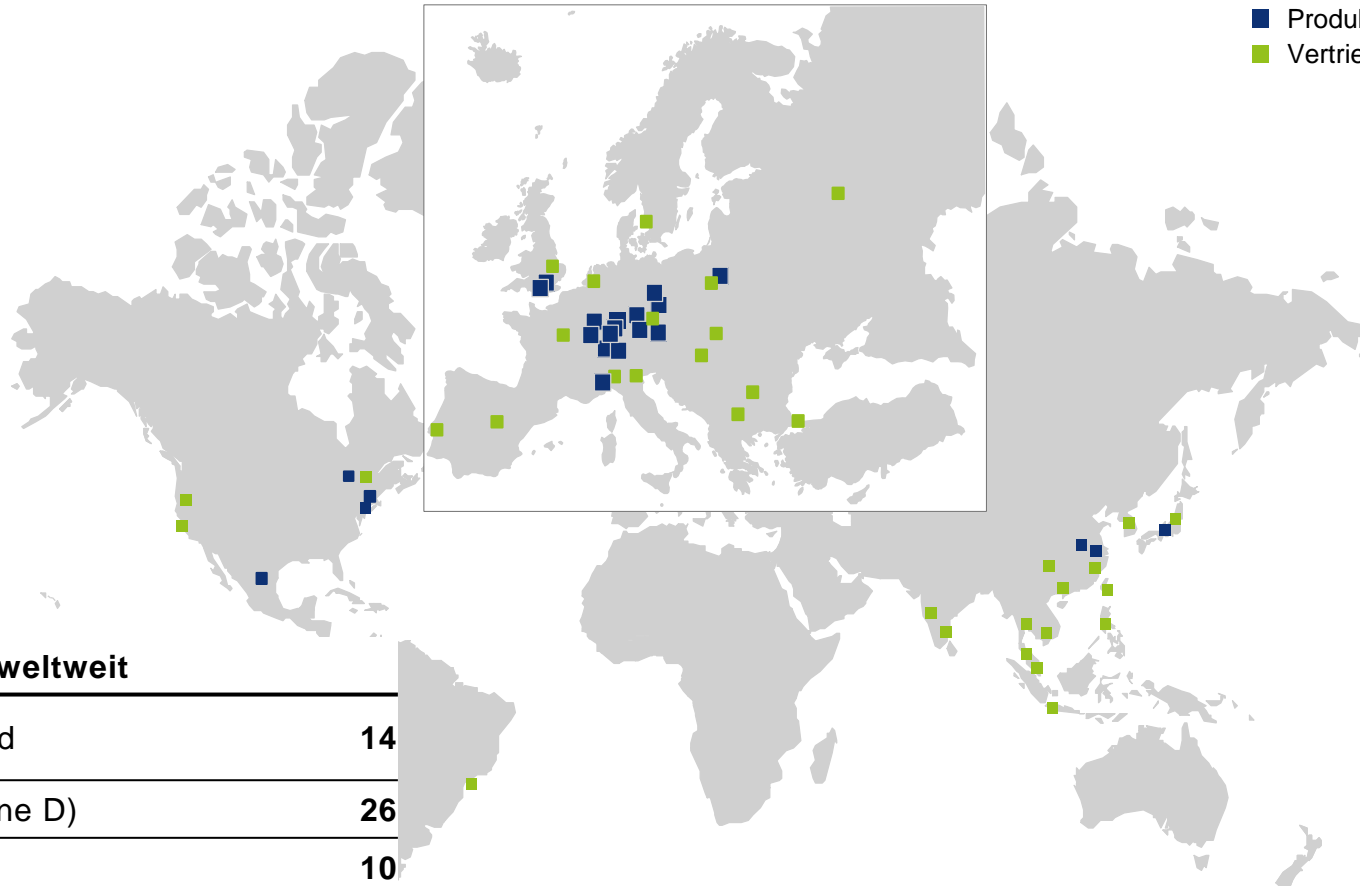
Mitarbeiter
13.420

Geschäftsjahr 2017/18

Mitarbeiterzahl	13.420
Veränderung	+ 12,9 %
MA weltweit (ohne D)	6.642
MA Deutschland	6.778

Globale Präsenz

Weltweit nah am Kunden



■ Produktionsstandort
■ Vertrieb und Service

Standorte weltweit

Deutschland	14
Europa (ohne D)	26
Amerika	10
Asien/Pazifik/Sonstige	16

Produktportfolio bei TRUMPF im Bereich Laserauftragschweißen



Ersatz des Hartverchromens: Gesetzlicher Rahmen und mögliche alternative Verfahren

Gesetzlicher Rahmen

Europa (REACH-Verordnung):

- Sechswertiges Chrom darf nur nach Zulassung verwendet werden
- Zulassungen werden immer wieder auf ihre Berechtigung geprüft
- Import von in Nicht-EU-Ländern verchromten Teilen erlaubt

Japan:

- Strikte Regulierung durch Kontrollen der Japanese Society for Occupational Exposure Limits (JSOH)

USA:

- Verbot bzw. Kennzeichnung von Stoffen sind von den einzelnen Bundesstaaten zu regeln
- Bis dato keine Beschränkung von Chrom

China:

- Offenlegung bei Bauteilen, welche die unter RoHS 2 gelisteten Stoffe (u.a. Chrom) enthalten
- Grenzwert: 0,1 Gewichts-% (im homogenen Material, in Metallbeschichtungen oder in Kleinstteilen kleiner als 4mm³) und Kennzeichnung der Produkte
- Chrom(VI) muss bei Chromatisierungsprozessen offengelegt werden (Chrom(III) nicht)

Alternative Verfahren (1/2)

Auswahl

Verfahren	Material	Merkmale	Typische Einsatzgebiete
Chemische Ni-Verfahren	<ul style="list-style-type: none"> Ni-P Ni-B 	<ul style="list-style-type: none"> Für gewöhnlich reduzierte Härte im Vergleich zur Hartverchromung Oberflächentemperatur ca. 400 °C Wenn Pb vorhanden: nicht RoHS-konform 	<ul style="list-style-type: none"> Korrosionsschutz Kleine Bauteile
HVOF (High Velocity Oxygen Fuel)	<ul style="list-style-type: none"> Verschiedene Beschichtungsmaterialien Häufig Karbide von Wolfram oder Chrom 	<ul style="list-style-type: none"> Härte und Verschleißbeständigkeit akzeptabel für definierte Anwendungen Schallschutz nötig Aufwendige Bauteilvorbereitung Abplatzung möglich 	<ul style="list-style-type: none"> Flugzeugfahrwerke Kolben Walzen
Beschichtung anhand NiL35	NiL35 (Kombinationsschicht aus zwei Legierungen der Metalle Kupfer, Zinn und Nickel)	<ul style="list-style-type: none"> Gute Korrosionsbeständigkeit und Verschleißfestigkeit Seewasserbeständig 	<ul style="list-style-type: none"> Off-Shore-Einsatz, z.B. Schutzbeschichtung von Hydraulikzylindern für Hafenkräne

Alternative Verfahren (2/2)

Auswahl

Verfahren	Material	Merkmale	Typische Einsatzgebiete
PVD (Physical Vapor Deposition)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Titaniumnitrid (TiN) ▪ Chromnitrid (CrN) ▪ Diamantähnliche Beschichtungen (DLC) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohe Härte ▪ In aller Regel kosteneffizient bei Serienproduktion ▪ Oberflächentemperatur ca. 250 °C 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dünne Schichten für optische, magnetische und mikroelektronische Bauteile ▪ Verschleiß- und Korrosionsschutz ▪ Dekorative Aufgaben
CVD (Chemical Vapour Deposition)	Nitride mit erhöhter Härte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beschichtung von komplexen Geometrien möglich ▪ Oberflächentemperatur ca. 1000 °C ▪ Gefährliche Chemikalien ▪ Aufwendige Anlagentechnik (Vakuum) 	

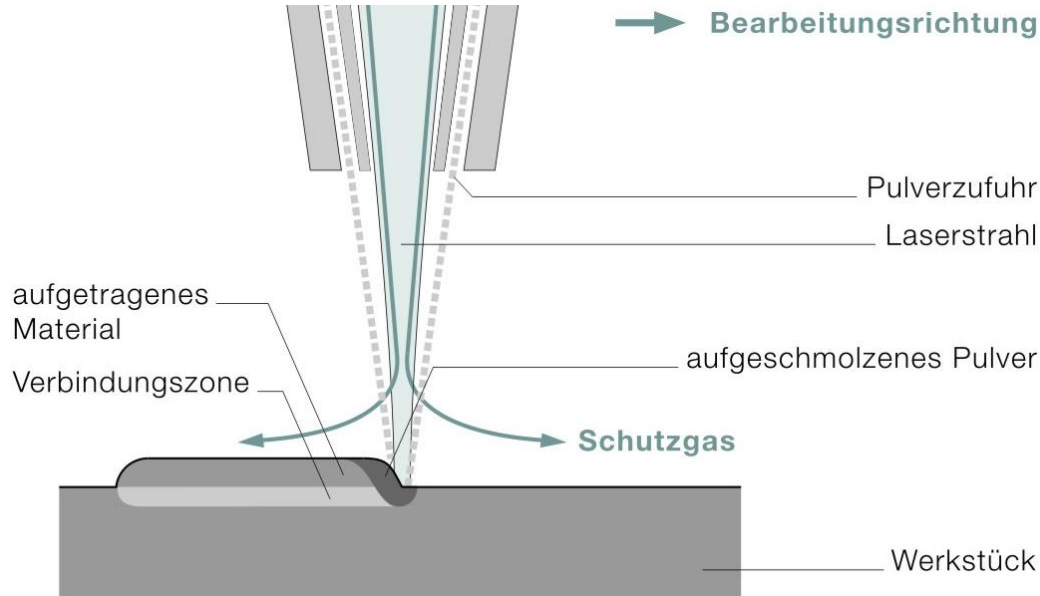
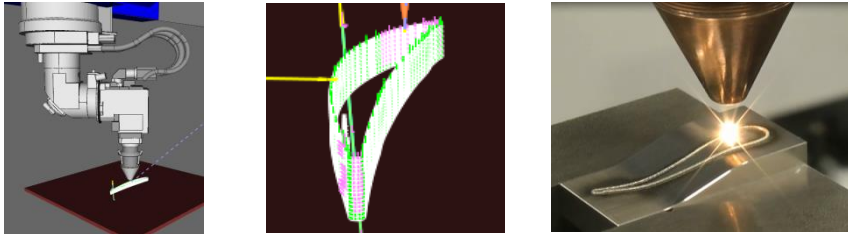
Laserbasierte Verfahren: Laserauftragschweißen & Hochgeschwindigkeitslaserauftragschweißen

Laserbasierte Alternativen zum Hartverchromen


Konventionelles Laserauftragschweißen (LMD)

Prozessbeschreibung und Vorteile


Laser Metal Deposition



Prozessbeschreibung

- 
 ■ Mittels Laser wird ein Schmelzbad auf der Oberfläche eines Bauteils erzeugt
- In das Schmelzbad wird ein Zusatzwerkstoff kontinuierlich eingebracht und aufgeschmolzen

Vorteile

- 
 ■ Volumina können auf vorhandenen Oberflächen aufgetragen werden
- Aufbauraten > 500 cm³/h erzielbar
- Kombination von Materialien

Konventionelles Laserauftragschweißen (LMD)



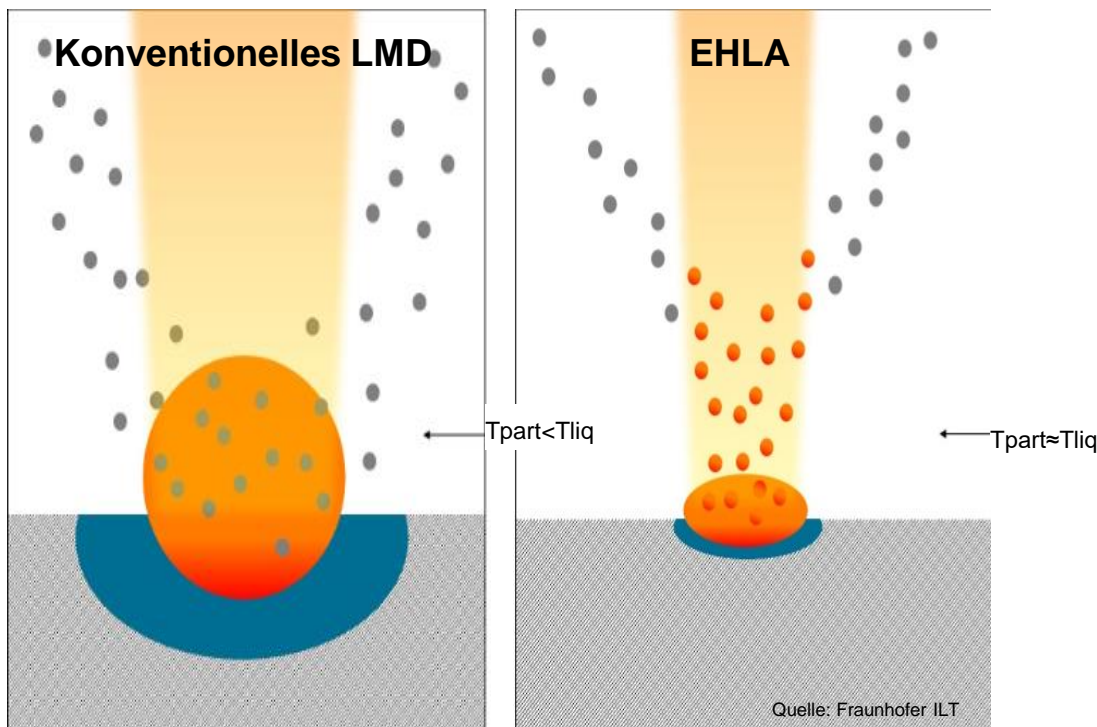
Durch das Laserauftragschweißen können 3D-Bauteile hochwertig mit einer Vielzahl von Materialien beschichtet werden.

Allerdings ist das Verfahren für große Bauteile in aller Regel zu langsam. Im Bereich Verschleiß- und Korrosionsschutz konnte es sich daher bislang nur vereinzelt durchsetzen.

Hochgeschwindigkeitslaserauftragschweißen (EHLA)

Vergleich: Konventionelles LMD – EHLA

Beim EHLA-Verfahren trifft der pulverförmige Zusatzwerkstoff bereits oberhalb des Schmelzbades auf das Laserlicht, welches es noch auf dem Weg zum Bauteil bis nahe an den Schmelzpunkt erhitzt



Vergleich von konventionellem LMD und Hochgeschwindigkeits-LMD

Aspekte	Konventionelles Laserbeschichten	Ultrahochgeschwindigkeitsbeschichten	Faktor
Vorschubgeschwindigkeit	0,5 - 2 m/min	> 100 m/min	50
Abscheiderate	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 50 cm²/min (lokal) ▪ 100 cm²/min (Oberfläche) 	Bis zu 1000 cm ² /min	10 - 20
Wärmeeinflusszone*	>= 500 - 1000 µm	5 - 10 µm	100
Produzierbare Beschichtungsdicke	>= 500 µm	10 - 250 µm	50
Oberflächenrauigkeit	R _z = 100 - 200 µm	R _z = 10 - 20 µm	10

* Die Wärmezufuhr kann so stark reduziert werden, dass auch Grundmaterialien die bisher ungeeignet für das Beschichten waren, nun repariert oder hybride erzeugt werden können (z. B. Aluminiumlegierungen oder Gusseisen).

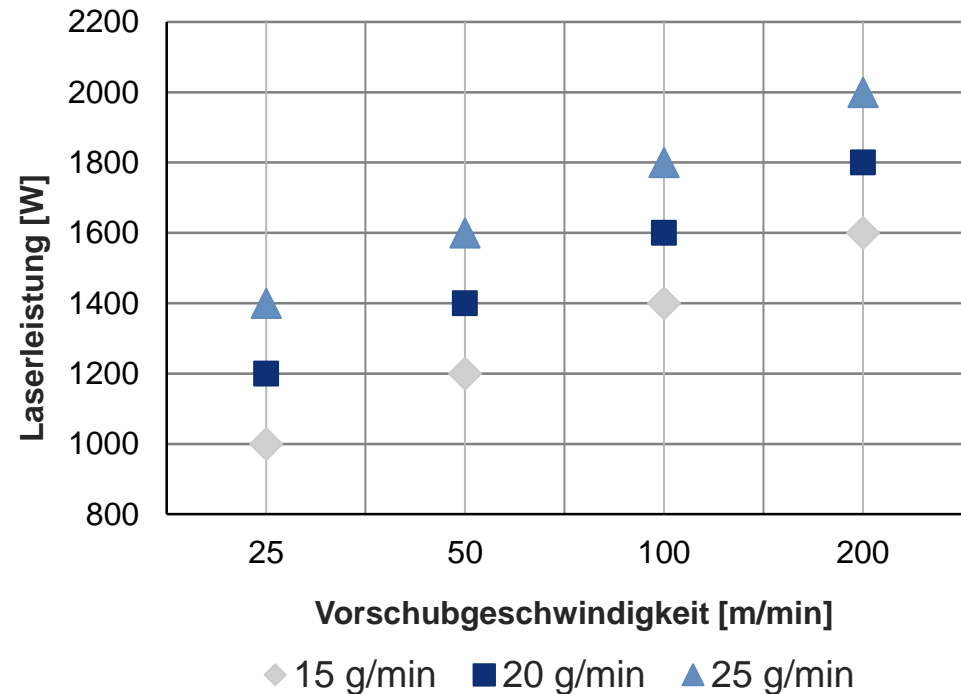
Erhebliche Produktivitätserhöhung bei der Beschichtung von rotationssymmetrischen Teilen

Typische Prozessparameter



Parameter EHLA	
Prozessgeschwindigkeit	typ. 25 - 200 m/min
Pulvermassenstrom	5 - 25 g/min
Laserstärke	750 - 2500 W
Überschneidung	0,15 - 0,4 mm/U
Arbeitsabstand	7 - 10 mm
Trägergas	3 - 9 l/min (Ar)
Schutzgasvolumenstrom	8 - 12 l/min (Ar)
Korngrößenverteilung	-45+11µm, -53+20 µm, (-90+45µm)
Laserstrahldurchmesser	0,75 - 1,5 mm

Laserleistung-Vorschubgeschwindigkeits-Diagramm*



Quelle: Fraunhofer ILT

•Referenzwerte für die notwendige Laserstärke zum Verarbeiten einer Ni-basierten Superlegierung für ein Laserstrahldurchmesser von ~ 1 mm und Pulver mit einer Korngrößenverteilung von -53+20 µm

FEINSTAUB
ALARM
IN
STUTTGART

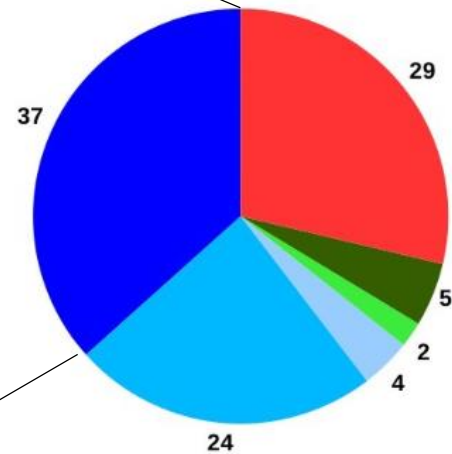
Derzeit!

Bitte



Quellen Feinstaub PM10* am Neckartor

Quelle: http://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?luft_luftreinigung_FAQ



*: Die Definition des Feinstaubes geht zurück auf den im Jahre 1987 eingeführten „National Air Quality“-Standard for Particulate Matter (kurz als **PM-Standard** bezeichnet) der US-amerikanischen Umweltschutzbehörde EPA (Environmental Protection Agency). **PM10** ist beispielsweise eine Kategorie für Teilchen, deren aerodynamischer Durchmesser **weniger als 10 Mikrometer (10 µm) beträgt.** (Wikipedia, Eintrag "Feinstaub" vom 13.06.2013)

Anteil Straßenverkehr (blauer Bereich): 65%

- Straßenverkehr Aufwirbelungen/ Abrieb 37%
- Straßenverkehr Abgas 24%
- Straßenverkehr Offroad & Sonstige 4%
- Industrie & Gewerbe 2%
- Kleine & Mittlere Feuerung (Hauskamine etc.) 5%
- Großräumiger Hintergrund 29%

Motivation zur Weiterentwicklung von Brems scheiben

- Gesetzliche Vorgaben: Feinstaub
- Verbesserte Korrosionsbeständigkeit bei E-Autos
- Längere Standzeit, Alternative zu Keramikbrems systemen
- Reduktion der Verschmutzung der Felge, ästhetische Ansprüche (Premium-Fahrzeuge)



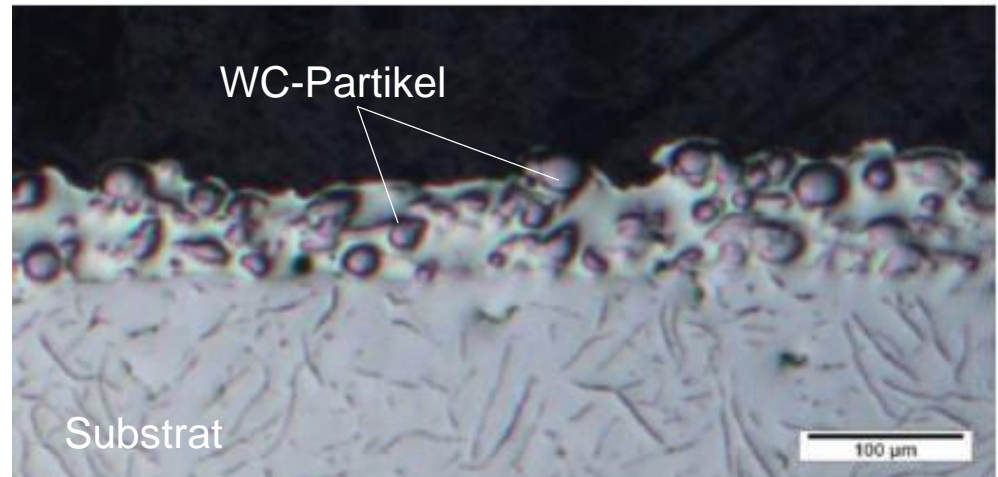
Mögliche Lösung: Beschichtung mittels Laserauftragschweißen / EHLA

Hochgeschwindigkeits-LMD (EHLA) für Bremsscheiben

- Schichtsysteme (korrosions- und verschleißbeständig) aus Keramik und Metall-Verbund
- Herausforderung bei konventionellem LMD/Schweißtechnologien: Auftragen auf Gusseisen (Lamellengraphit) mit Rissbildung aufgrund spröder Phasen (C in Fe-Matrix)
- Mittels EHLA kann die thermische Belastung stark reduziert werden, so dass die Bildung von spröden Phasen verringert werden kann



Beschichtete Bremsscheiben (links).



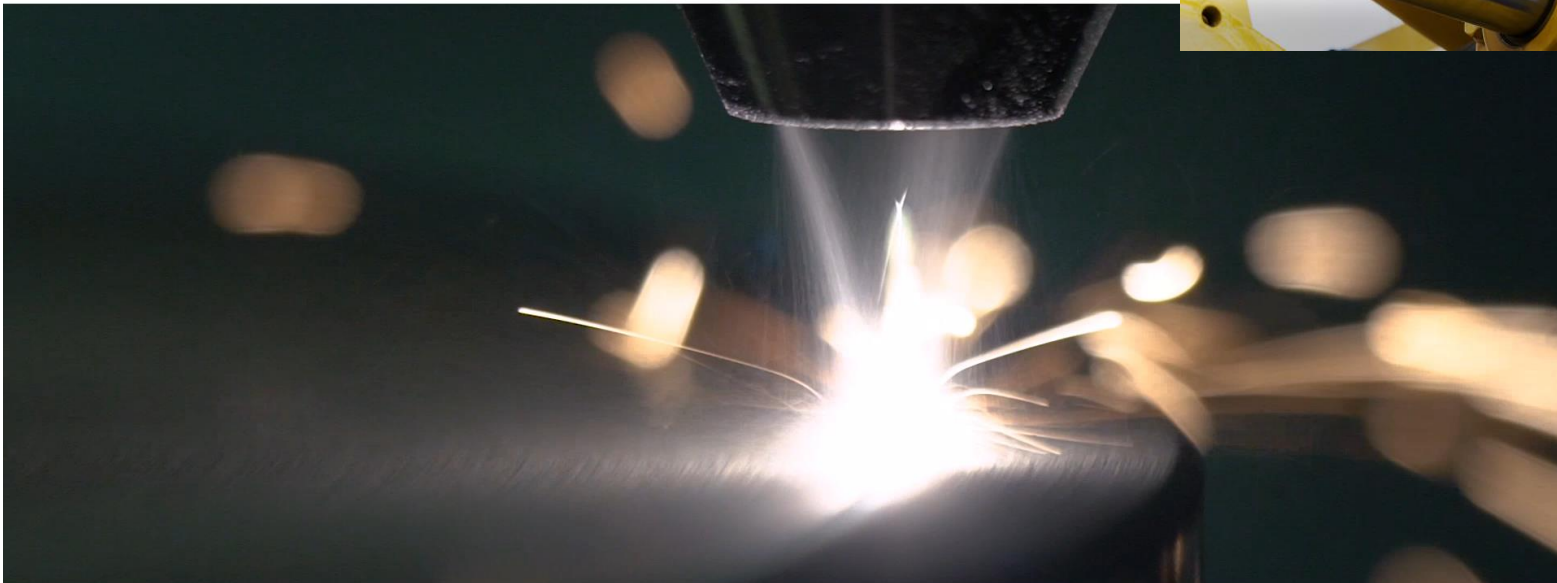
Querschnitt von Verbundwerkstoff WC in Nickel-Matrix (rechts).

Quelle: TRUMPF, Fraunhofer ILT

Weitere Anwendungsfelder für EHLA

Branche	Bauteile
Druckindustrie	Dosierwalzen, Druck-, Plattenzylinder, u. a.
Maschinenbau	Hydraulikzylinder (Mobil-, Hafenkranen, Tunnelvortrieb), Walzen, Kolben, -Stangen, u. a.
Automobilindustrie	Bremsscheiben, Ventile, Kolbenringe, Wellen

EHLA – Hochgeschwindigkeits-Auftragschweißen
Beschichten mit >100m/min



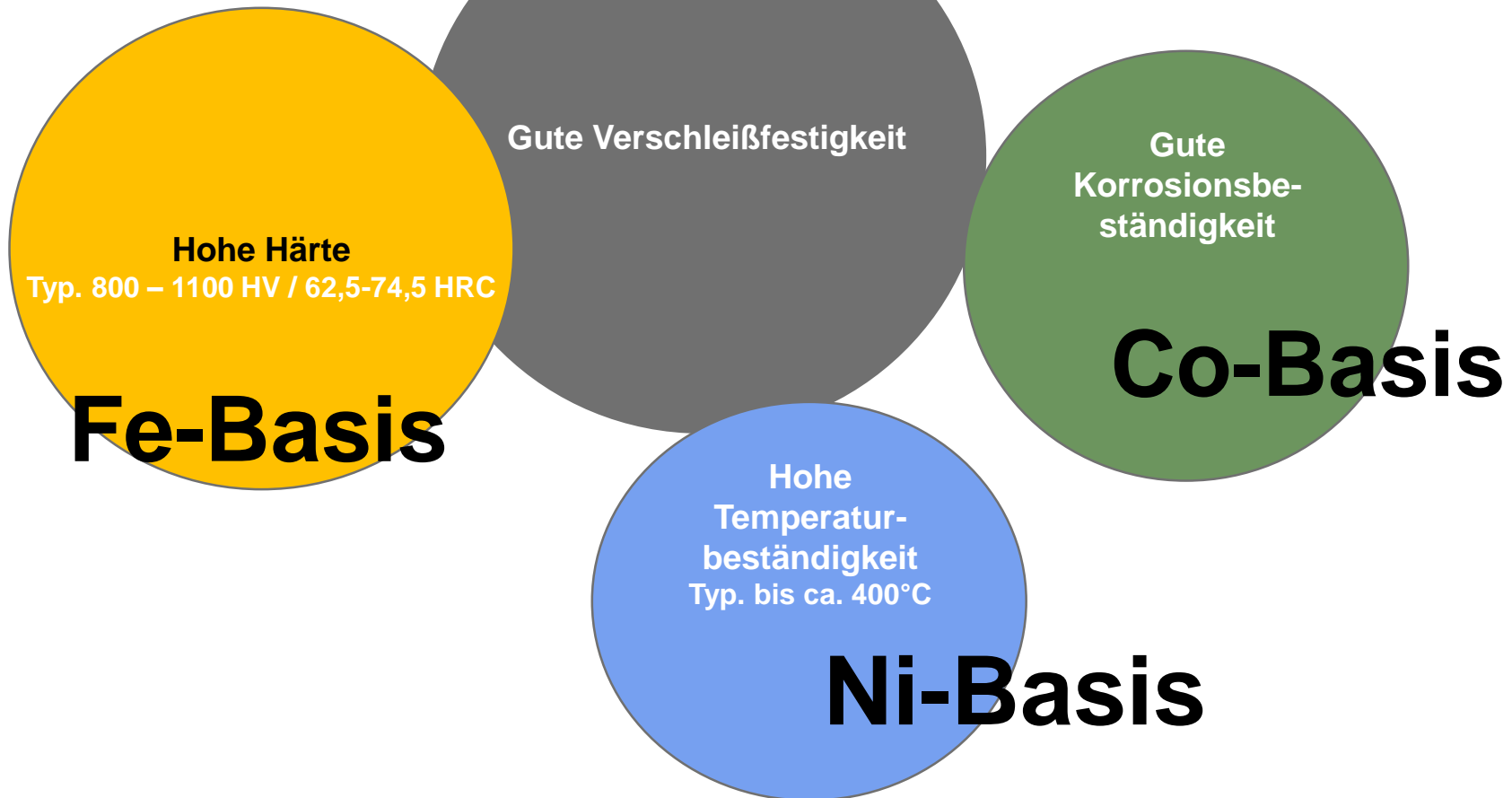
Vorteile des Laserauftragschweißen

Im Vergleich zum Hartverchromen

- **Reduzierter Energieverbrauch**
- Vollständiger **Verzicht auf umweltschädliche Chemikalien**
- Große Flexibilität bei der **Auswahl von Zusatzwerkstoffen**
- Materialkombinationen möglich, z. B. **Metallmatrix-Verbundwerkstoffe** und/oder **Sandwichstrukturen** zur Erhöhung der Bauteillebensdauer
- Reduzierte Poren- und Rissbildung
- **Schmelzmetallurgische Verbindung** zwischen Schicht und Substrat:
Die Beschichtung kann im Gegensatz zur Hartverchromung nicht abplatzen

Materialien

WC-, Ti- und Chromkarbide



Fe-Basislegierungen

Chemische Zusammensetzung

	C	Cr	Mo	Si	Mn	V	W	Fe
M2	1,00 %	4,00 %	5,00 %	0,30 %	0,30 %	2,00 %	6,20 %	81,20 %

	C	Cr	Mo	Ni	Sonstige	Fe
Rockit 401	0,15 %	18,00 %	0,50 %	2,50 %	< 7	71,85 %

Quelle: LPW Technologies, Höganäs

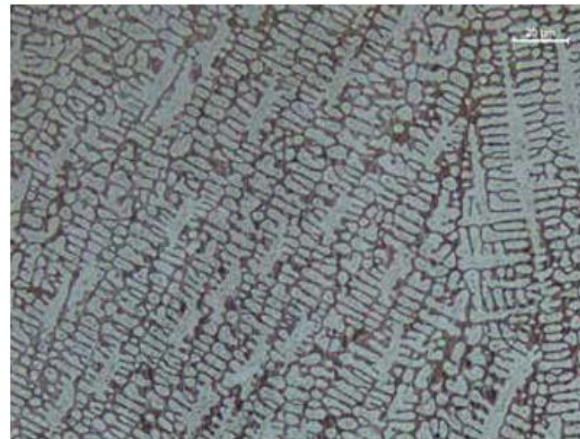
Typical chemical analysis (%)					
Fe	C	Cr	Mo	Ni	Others
Bal	0.15	18	0.5	2.5	< 7

Typical physical properties	Rockit® 401
Sieve range	53-180 µm
Coating hardness	55-58 HRC

Hot hardness (HV _{0.05})					
Rockit 401	RT	200° C	300° C	400° C	500° C
Coating hardness	620	520	500	490	480

Samples are laser clad with Rockit 401 on steel substrate with dilution ~5%.

Microstructure



Martensitic matrix with eutectic hard phases (etched in Glyceregia).

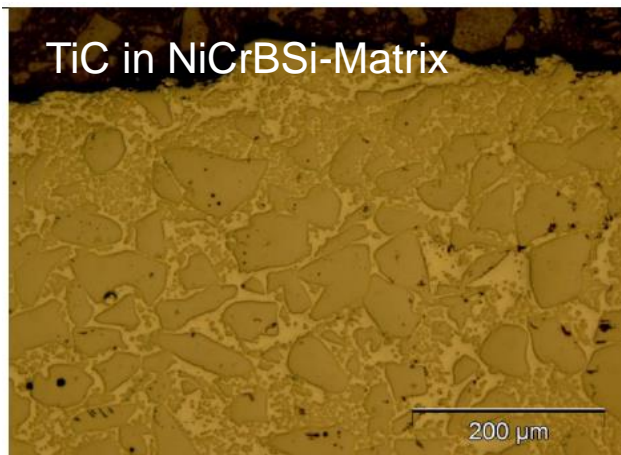
Härte > 60 HRC erzielbar

Flächenrate mit
Edelstahl 316: ca. 2 m²/h

Verbundwerkstoffe Karbide-Matrix (Schliffbilder)

- WC-Partikel eingebettet in Ni-Basislegierung
- TiC-Partikel eingebettet in Ni-Basislegierung
- Cr_3C_2 -Partikel eingebettet in Ni-Basislegierung

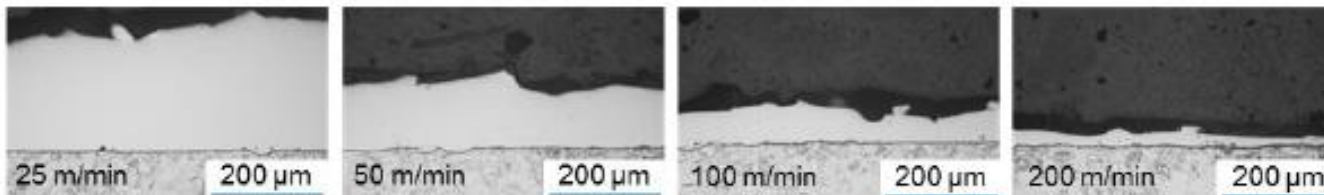
Flächenrate mit
WC-NiCr:
ca. 1,5 m²/h anhand EHLA



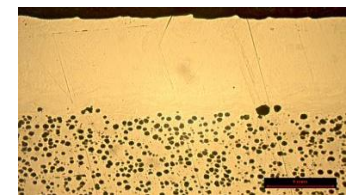
Co- und Ni-Basislegierungen

Chemische Zusammensetzung

	C	Si	Cr	W	Co	
Stellite 1	2,50 %	1,20 %	30,00 %	12,50 %	53,80 %	
	C	Si	Cr	Fe	B	Ni
Höganäs 1050-00	0,45 %	3,90 %	11,00 %	2,90 %	2,30 %	79,45 %
Höganäs 1060-00	0,75 %	4,30 %	14,80 %	3,70 %	3,10 %	73,35 %
Oerlikon Metco 12C	0,25 %	3,50 %	7,50 %	2,50 %	1,70 %	84,55 %
Oerlikon Metco 14E	0,50 %	3,70 %	11,00 %	2,75 %	2,20 %	79,85 %
Oerlikon Metco 15F	1,00 %	4,00 %	17,00 %	4,00 %	3,50 %	70,50 %



Verschiedene Querschnitte: Inconel 625 auf 1.4301 mit Vorschubgeschwindigkeiten von 25-100 m/min, Pulvermassenstrom: 15 g/min



Kobaltbasislegierungen auf Gusseisen

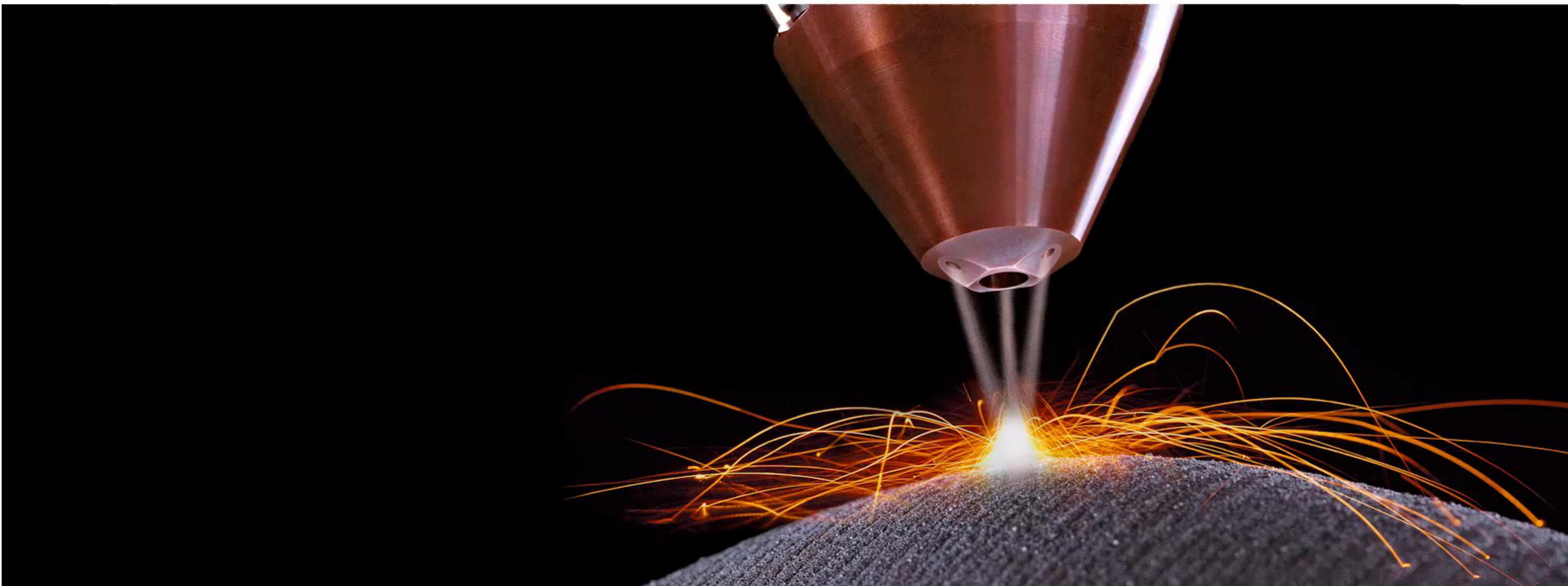
Einsatz als additive Fertigungsverfahren zur Bauteilanpassung

Kombination von Gießen und Laserauftragschweißen

5-Achsen-Betrieb für das Auftragen örtlicher Verstärkung



Local reinforcement of 3D structures by LMD



Handlungsfelder

Handlungsbedarf

Produktivität

- Erhöhung der Laserleistung
- Neue Optiken
- Automatisierung

Prozessentwicklung und Materialien

Erfüllung der Anforderungen:

- Mechanische Eigenschaften
- Porosität
- Homogenität der Schichtstärke etc.



Software

Programmier- und Simulationswerkzeuge

Qualitätssicherung

Pulverzufuhrrate

Strahleigenschaften

Pulverfokus

Prozessüberwachung

Industrie 4.0

Automatisierung und Vernetzung
 unterschiedlicher Technologien inkl.
 Nachbehandlung

Zusammenfassung und Ausblick

- Die laserbasierten Oberflächenverfahren *Laserauftragschweißen* und das *Hochgeschwindigkeitslaserauftragschweißen* (kurz: *EHLA*) werden derzeit als Alternative im Bereich der Hartverchromung berücksichtigt
- Die Motivation hierfür basiert auf Vorteilen im Bezug auf:
 - Wirtschaftlichkeit
 - Vollständiger Verzicht auf umweltschädliche Chemikalien
 - Flexibilität bei der Auswahl von Materialien (je nach Anforderung) in Verbindung mit realisierbaren Metallmatrix-Verbundwerkstoffen und/oder Sandwichstrukturen
 - das Erzielen von schmelzmetallurgischen Verbindungen zwischen Schicht und Substrat
- Zusätzlich besteht die Möglichkeit, **Grundkörper**, welche konventionell gefertigt wurden, **lokal zu verändern oder zu verstärken** (signifikante Kostenreduktion im Vergleich zur Generierung kompletter Teile)
- **In den Bereichen Material- und Prozessentwicklung sowie Prozesskontrolle, Überwachung und Automatisierung sollen Leistungen erbracht werden**, um den Einsatz dieser Technologien als Ersatz des Hartverchromens zu sichern

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dr. Antonio Candel-Ruiz

Branchenmanagement Laseroberflächenverfahren

Telefon: +49 7156 303-30429, Telefax: +49 7156 303-930429,

antonio.candel-ruiz@de.trumpf.com

TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH, Johann-Maus-Straße 2, 71254 Ditzingen,
Deutschland, www.trumpf-laser.com