

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau

FH-Prof. Dr.-Ing. Aziz Huskic

FORUM.WERKZEUGBAU 2023 / 29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf



HAGENBERG | LINZ | STEYR | WELS



UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES
UPPER AUSTRIA

1

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau *Inhalt*

- *Vorstellung Center for Smart Manufacturing (CSM)
Additive Manufacturing @ FH OÖ Campus Wels*
- **Selective Laser Melting (SLM)**
 - kleine bis mittelgroße Formeinsätze
 - Schmiedegesenke in Hybridbauweise
- **Laser Metal Deposition (LMD)**
 - große Druckguss- und Spritzgussformen
 - große Tiefziehwerkzeuge
 - Presshärtewerkzeuge
- **Zusammenfassung**

2

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau Vorstellung Center for Smart Manufacturing (CSM)



SEITE | 3

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



3

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau Vorstellung Center for Smart Manufacturing (CSM)

CSM: Lehr- und Forschungsfabrik für Lehre und Forschung mit der Wirtschaft
@ FH OÖ Campus Wels

- **CSM – AM: Additive Manufacturing**
(Metall, Kunststoff, Gips)
 - Concept Laser M1 & M2 cusing (SLM) with preheating system
 - DMG Lasertec 65 3D hybrid with preheating system
 - HAGE 3DP-A2 3D printer
 - COMPOSER A3 FDM-3D-printer Anisoprint LLC
 - Form 3 SLA-3D-printer Formlabs GmbH
- **CSM - Metal forming**
- **CSM - CNC machining**
- **CSM - Robotics, Automation, Digital Factory and Simulation**



SEITE | 4

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



4

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau

➔ Werkzeugtemperierung / Reparatur / Verschleißschutz

- Reduzierung vom Werkzeugverschleiß
- Taktzeiterhöhung und Verzugreduzierung
- gezielte Einstellung von mechanischen Eigenschaften

➔ Additive Fertigung im Werkzeugbau

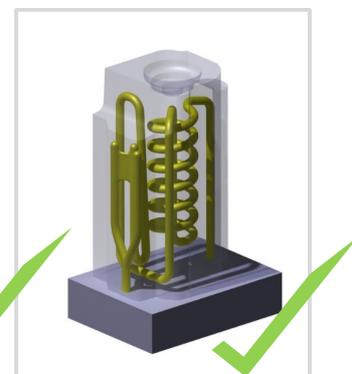
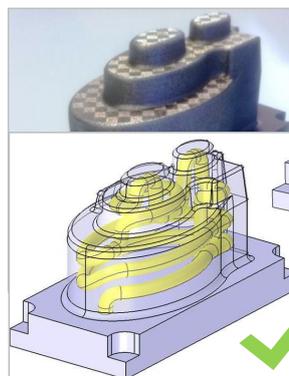
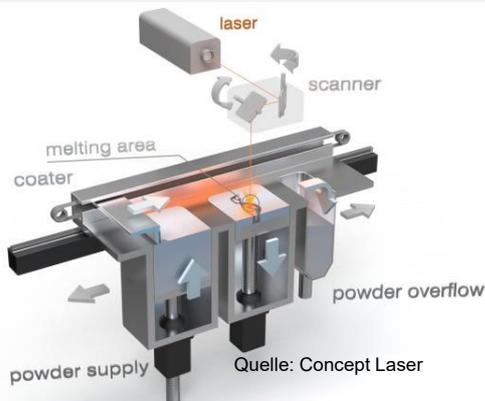
- Selektives Laser Schmelzen (SLM) – Material, Aufbaustrategie?
- Laserauftragsschweißen (LMD) – Material, Aufbaustrategie?
- Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) – Material, Aufbaustrategie?

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau

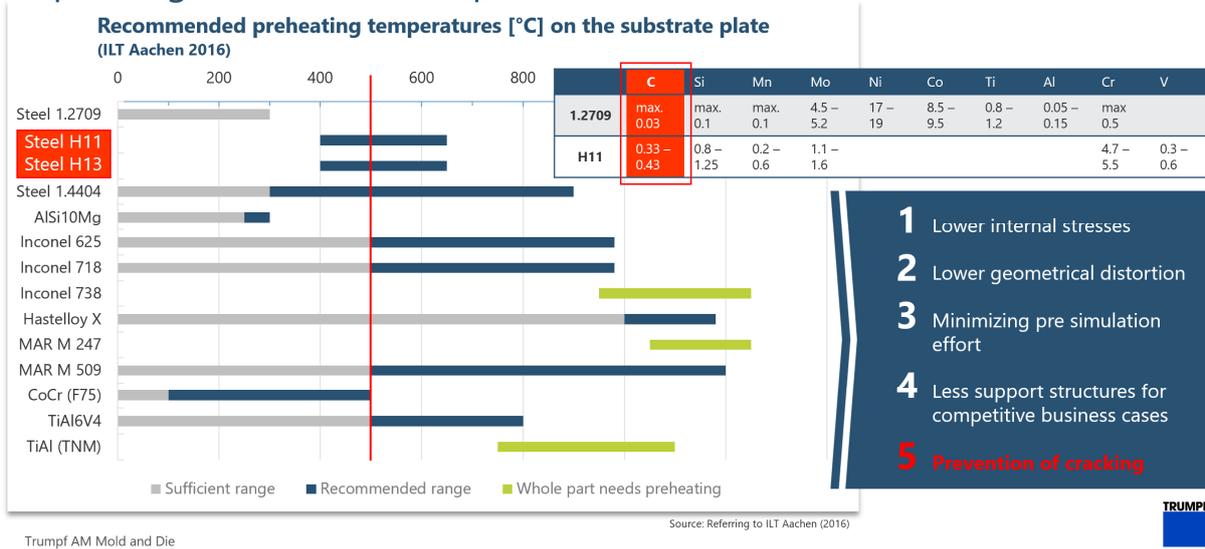
SLM: Druckguss- und Spritzgussformen

SLM: Einsätze für Druckguss- und Spritzgussformen oder Hybridfertigung

Werkstoffe: 1.2709, 1.2343, 1.2344, W360, 1.2365, HTCS-150, HSS....

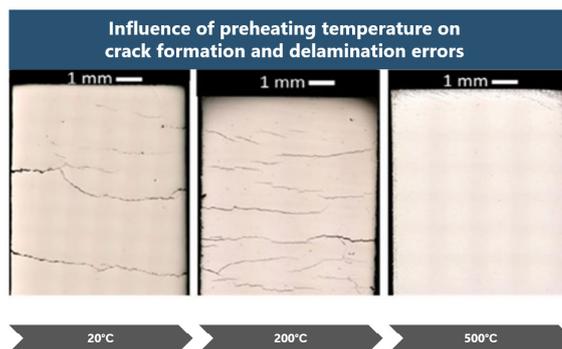
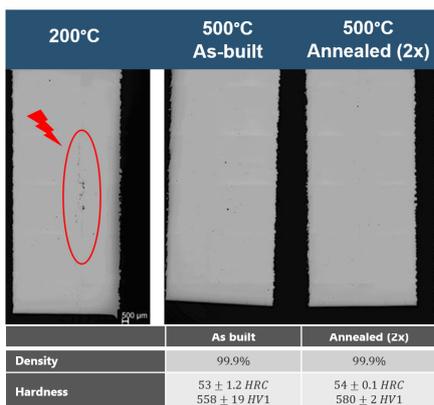


Why the request for higher preheating temperatures? Expanding the AM material portfolio



7

How to avoid formation of hot cracks 500° C preheating reduces cracks in H11/H13



- Significant reduction of delamination errors and cracks in H11/H13 by higher preheating temperatures
- Even large-volume parts can be manufactured without critical crack formations

Trumpf AM Mold and Die



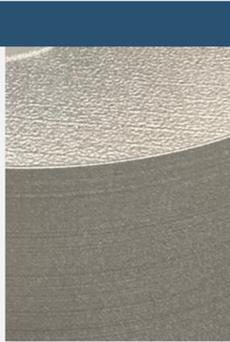
8

Process experience and build applications H11 / Dievar for Die Casting

Successful manufacturing
of a variety of applications

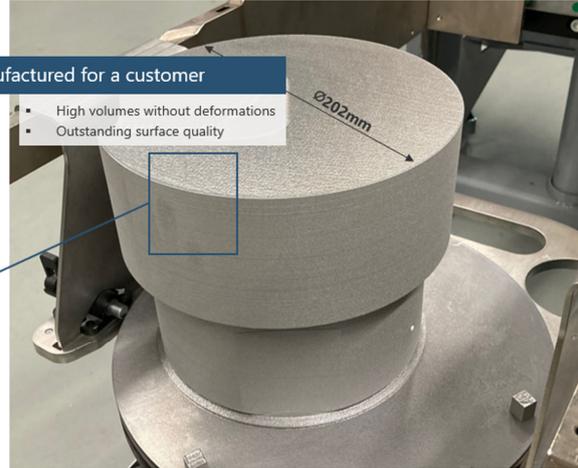
Distributor

- Very high volumes printed with low thermal deformations
- Extraordinary surface quality both vertical and horizontal
- **Cutting from baseplate without heat treatment!**



Distributor manufactured for a customer

- High volumes without deformations
- Outstanding surface quality



Trumpf AM Mold and Die



9

Material overview at Trumpf Die casting applications and materials

Material portfolio

H11 (1.2343)

- Standard material for die casting
- A lot of experience in the industry
- High heat transfer
- Cost safety for hybrid manufacturing (raw material widely available)

H13 (1.2344)

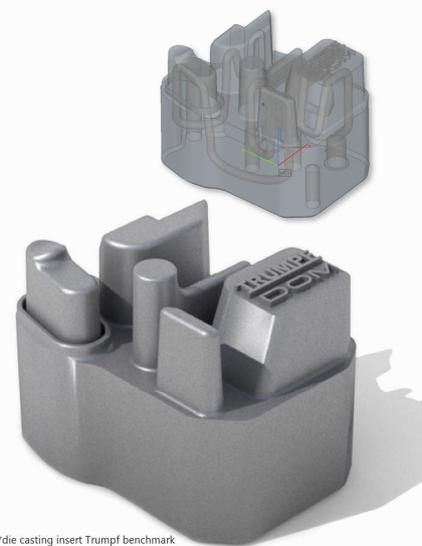
Dievar

- excellent toughness, very good hot strength and ductility in all directions
- High crack resistance (perfect for conformal cooling)

Near future

1.3343 (M2)

- Universally usable high-speed-steel (HSS)
- Very high levels of hardness can be achieved (Hrc 64 – 65)
- Available Q4/2023



*die casting insert Trumpf benchmark

TRUMPF | Mold & Die AM

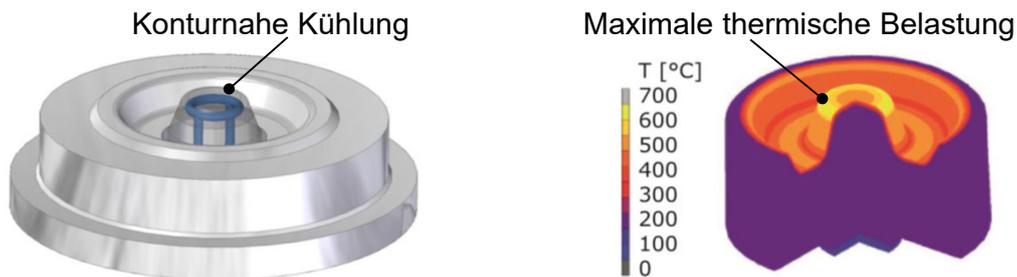
10

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau

SLM: Schmiedegesenke

SLM: Einsätze für Schmiedegesenke – Aktuelle Forschungsarbeiten
Werkstoff: 1.2365 / 32CrMoV12-28

- Reduzierung der thermischen Belastung → Standzeiterhöhung
- Einsparung von Kühlschmierstoffen → Reduzierung der Umweltbelastung



SEITE | 11

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



11

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau

SLM: Schmiedegesenke



SEITE | 12

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



12

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau

SLM: Schmiedegesenke

Pulvereigenschaften des Werkstoffs 32CrMoV12-28 (1.2365) für den SLM-Prozess

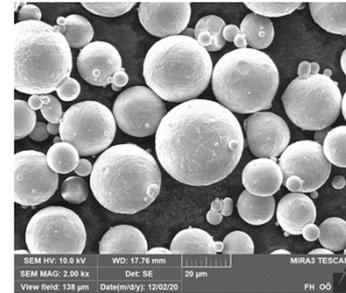
[Mass-%]	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	O
Min. Grenzwert	0,28	0,10	0,15	-	-	2,70	2,50	0,40	-
Max. Grenzwert	0,35	0,40	0,45	0,03	0,02	3,20	3,00	0,70	-
Pulver	0,281	0,20	0,39	<0,01	0,01	3,14	2,71	0,40	0,03

Pulverfraktion: 10-45 µm

$D_{10} = 16,41 \mu\text{m}$

$D_{50} = 27,84 \mu\text{m}$

$D_{90} = 40,88 \mu\text{m}$



Die Pulverlegierung entspricht der chemischen Zusammensetzung nach DIN EN ISO 4957, der C-Gehalt liegt an der unteren Grenze

- Hohe Sphärizität (REM)
- Gute Rieselfähigkeit
- Auftragsfähigkeit sehr gut
- Keine Agglomerationen
- Homogenes Pulverbett
- Füllichte ($4,32 \text{ g/cm}^3$)

SEITE | 13

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic

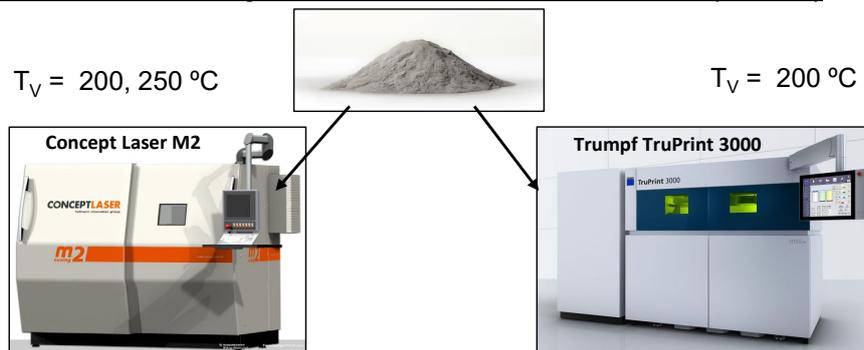


13

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau

SLM: Schmiedegesenke

SLM-Prozess-Parametrisierung des Werkstoffes 32CrMoV12-28 (1.2365)



Anpassung der max. notwendigen Substratvorwärmtemperatur für die rissfreie Verarbeitung und Optimierung des werkstoffspezifischen Prozessfensters (geringe Defektanzahl, hohe Homogenität und ausreichende Härte)

SEITE |

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



14

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau

SLM: Schmiedegesenke

Parametrisierung/Versuchsplan:

33 Parametervariationen
(pro Parametersatz jeweils
3 Probenkörper: 10 x 10 x 10 mm)

Werkstoff: 1.2365 / 32CrMoV12-28



Probenherstellung für mikroskopische Untersuchungen

SEITE |

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



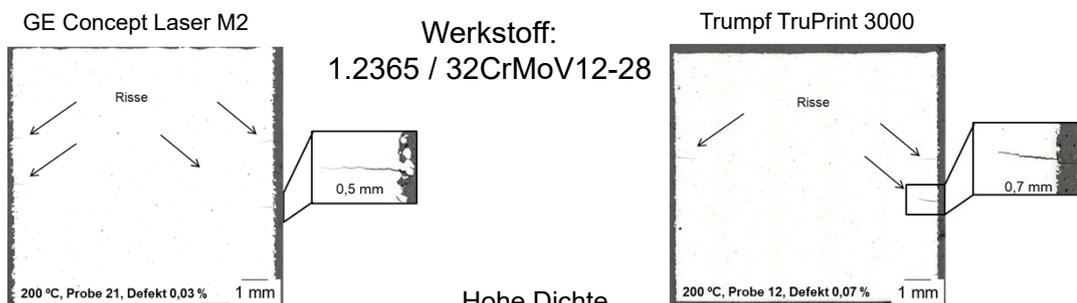
UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES
UPPER AUSTRIA

15

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau

SLM: Schmiedegesenke

Lichtmikroskopische Defektanalyse der Probenkörper bei 200 °C Vorwärmung



Hohe Dichte

Geringe Porosität (sehr wenige Bindefehler, vereinzelt kleine Poren)

Keine Mikrorisse detektiert



Makrorisse → zu hohe Spannungen !!!

SEITE |

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES
UPPER AUSTRIA

16

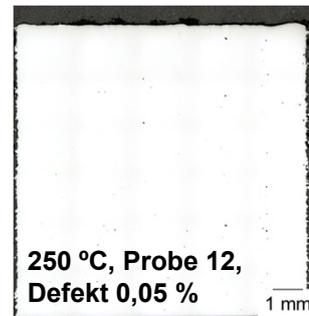
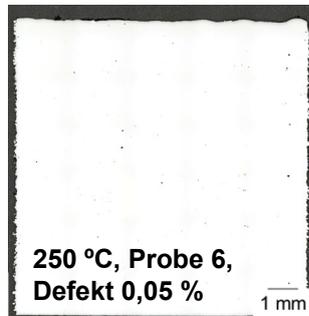
Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau

SLM: Schmiedegesenke

Relevante Ergebnisse:

Anlage CL M2 – 250 °C

Werkstoff:
1.2365 / 32CrMoV12-28



Hohe Dichte
Geringe Porosität (sehr wenige Bindefehler, vereinzelt kleine Poren)
Keine Mikrorisse detektiert
Makrorissfrei

SEITE |

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

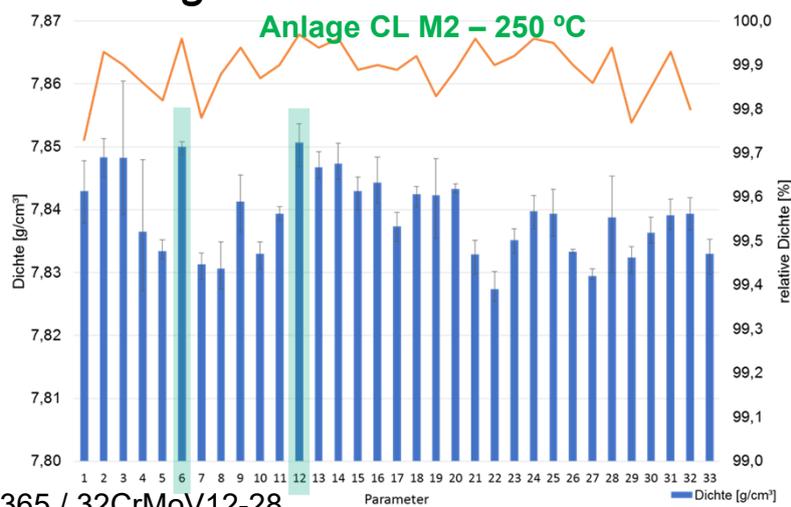
Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



17

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau

SLM: Schmiedegesenke



Werkstoff: 1.2365 / 32CrMoV12-28

SEITE |

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



18

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau

SLM: Schmiedegesenke

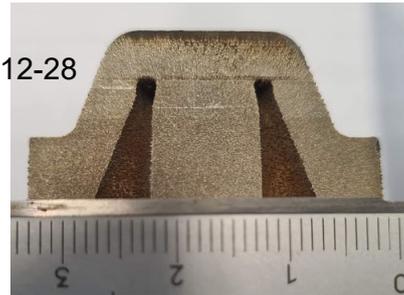
Untersuchung eines mittels SLM-Verfahren hergestellten Prototypendorns:

- Mittige Trennung des Dorns nach der Herstellung im SLM-Verfahren
- Schweißanbindung zwischen Zylinder und Dorn ist makrorissfrei



Druckversuch - Dorn auf Zylinder
Anbindungstests

Werkstoff:
1.2365 / 32CrMoV12-28



Untersuchung des Temperierkanals

SEITE |

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



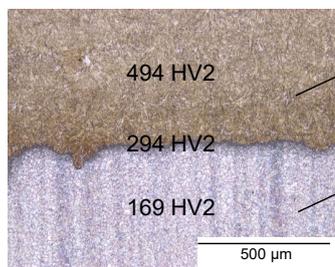
19

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau

SLM: Schmiedegesenke

Metallographische Untersuchung der Fügeverbindung von SLM-Hybridproben:

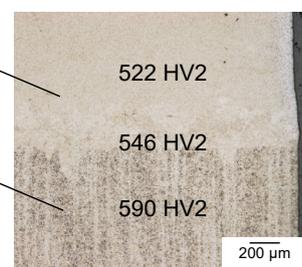
- Es entsteht eine defektarme Schweißanbindung zwischen dem SLM verarbeiteten und dem konventionell erzeugten Warmarbeitsstahl 1.2365
- In der Fügezone konnten keine Risse detektiert werden



Hybridanbindung 1.2365
(spannungsarmgeglüht)

SLM
verarbeitet

Konventionell
gefertigt



Hybridanbindung 1.2365
(vergütet)

SEITE |

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



20

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau SLM: Schmiedegesenke



SEITE | 21

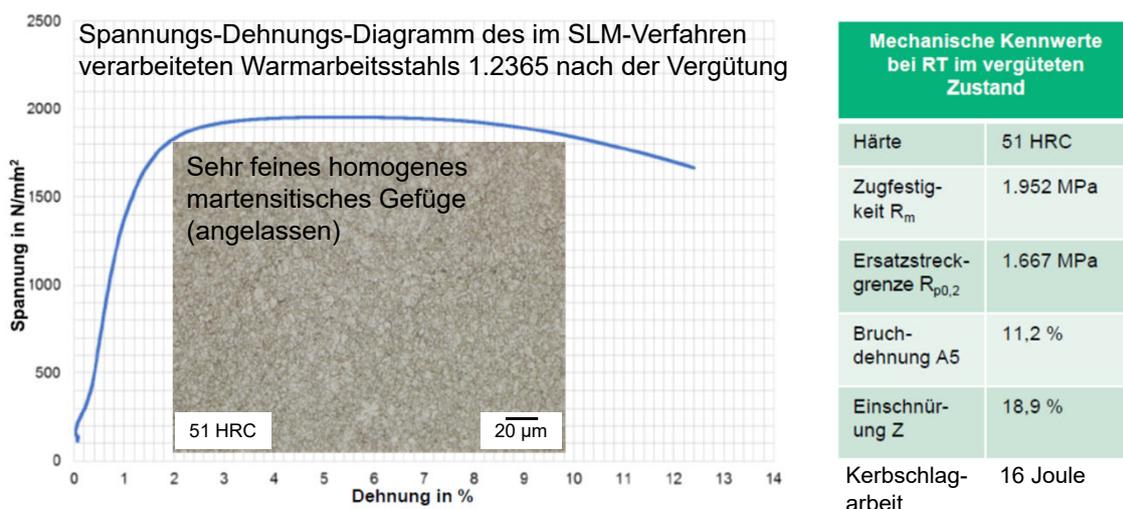
29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



21

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau SLM: Schmiedegesenke



SEITE | 22

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



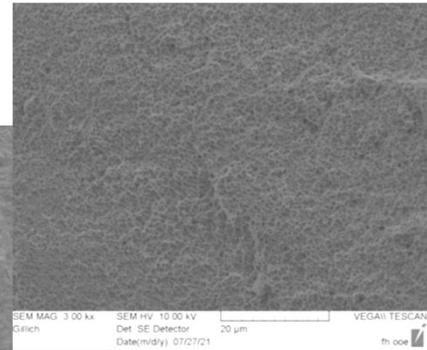
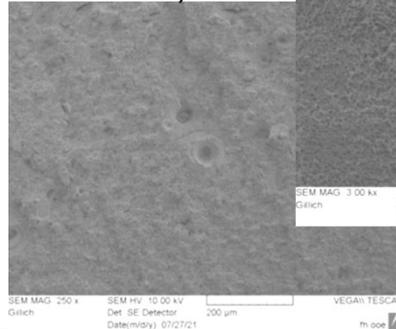
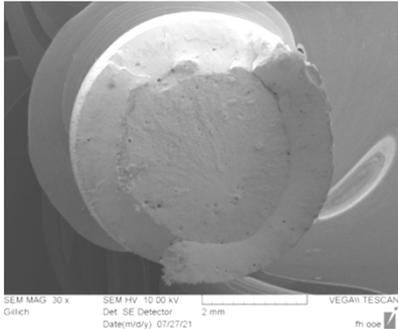
22

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau

SLM: Schmiedegesenke

- Die Proben weisen ein duktiles Werkstoffverhalten bei einachsiger Zugbelastung auf
- Auf der Bruchfläche sind fertigungsbedingte SLM-Defekte erkennbar (Krater / Poren)

Werkstoff:
1.2365 / 32CrMoV12-28



SEITE | 23

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

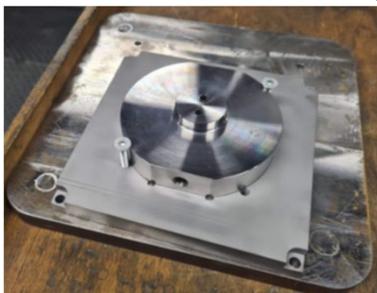
Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



23

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau

SLM: Schmiedegesenke



Angepasste Substratplatte
(Adapterplatte)
für Hybrid Aufbau



Hybrid-Gesenk
nach SLM-Prozess

16 Hybridgesenke in Serie
(ohne Abbrüche) gefertigt

SEITE | 24

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



24

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau

SLM: Schmiedegesenke

Industriewerkzeuge mit konturnaher Kühlung

Werkstoff:
1.2365 / 32CrMoV12-28

Erfordert eine
angepasste
Wärmebehandlung



SEITE | 25

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



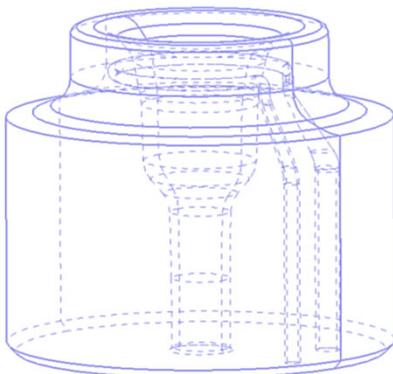
25

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau

SLM: Schmiedegesenke

Industriewerkzeuge mit konturnaher Kühlung

Werkstoff:
1.2365 / 32CrMoV12-28



SEITE | 26

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



26

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau

SLM: Schmiedegesenke

Industriewerkzeuge mit konturnaher Kühlung

Werkstoff:
1.2365 / 32CrMoV12-28

Die SLM-Fertigung:

- schichtweiser Pulverauftrag
- die Belichtung mit Laser funktioniert sehr gut



Es gibt keine Anzeichen für Risse, Spannungen während der Fertigung

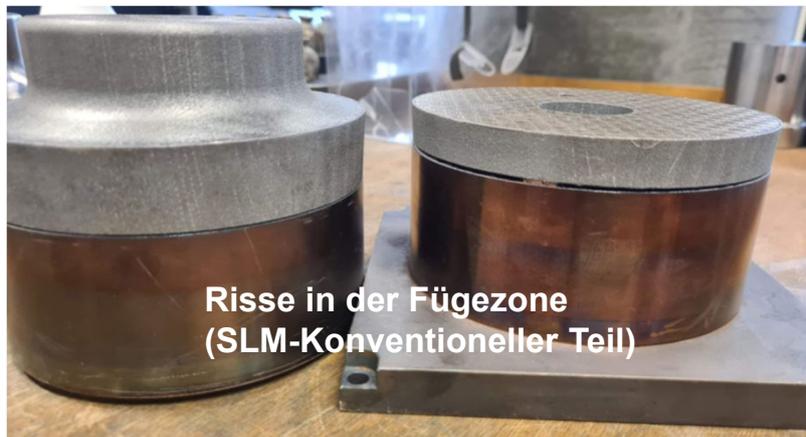
Nach der SLM-Fertigung und während der Abkühlphase kommt es durch die hohen thermischen und umwandlungsbedingten Spannungen zum Reißen der Fügezone (SLM-Konventioneller Teil)

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau

SLM: Schmiedegesenke

Industriewerkzeuge mit konturnaher Kühlung

Werkstoff:
1.2365 / 32CrMoV12-28

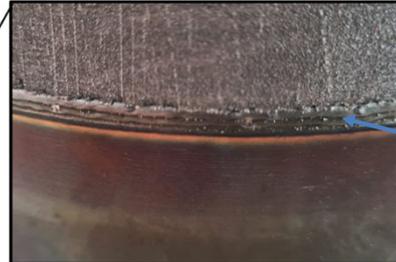
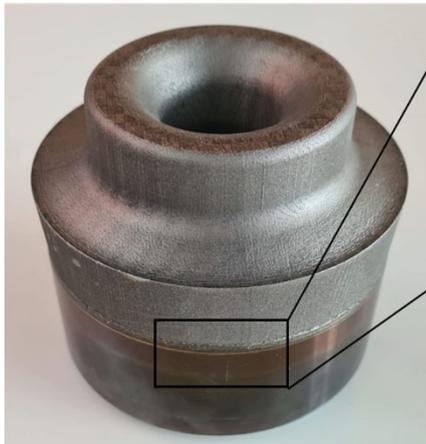


Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau

SLM: Schmiedegesenke

Industriewerkzeuge mit konturnaher Kühlung

Werkstoff:
1.2365 / 32CrMoV12-28



Zwischenschicht

Es ist eine angepasste
Wärmebehandlung erforderlich!

SEITE | 29

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



29

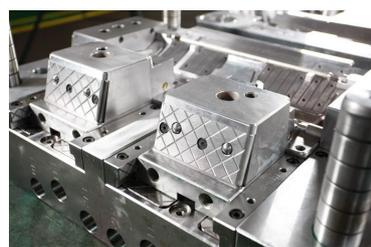
Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau

Große Formen, Gesenke und Tiefziehwerkzeuge



Quelle: Audi AG

Tiefziehwerkzeug
Seitenwandrahmen Audi Q4 e-tron



Spritzgussform - groß



Druckgussform - groß



Quelle: Rübiger



Quelle: Rübiger

Schmiedegesenke - groß

SEITE | 30

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



30

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau Presshärteteile im Karosseriebau



SEITE | 31

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

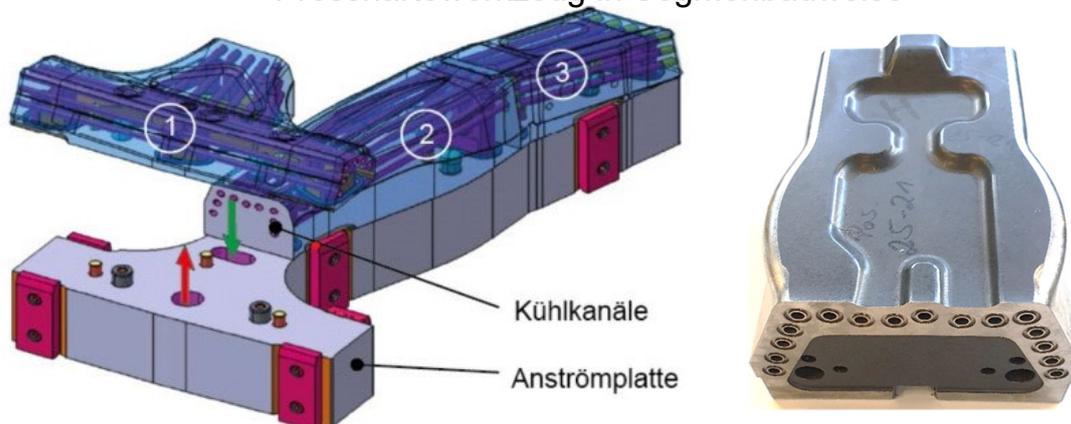
Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



31

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau Konventionelle Presshärtewerkzeuge

Presshärtewerkzeug in Segmenbauweise



Quelle: TU Graz - Weiß, 2013

SEITE | 32

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

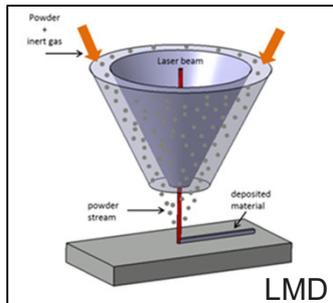
Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



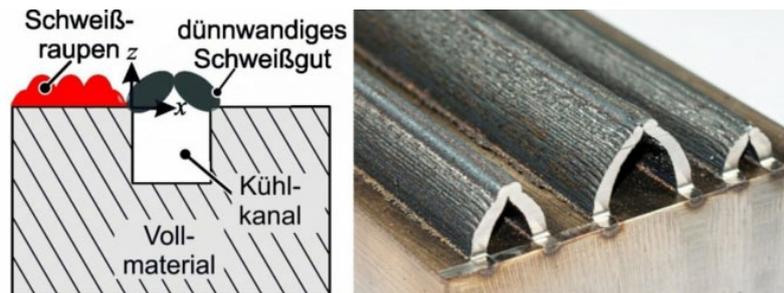
32

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau

LMD: Presshärtewerkzeuge in Hybridbauweise



Laserpulverauftragschweißens
sowie das anschließende Glattwalzen



Quelle: Institut für Umformtechnik und Leichtbau der TU Dortmund

SEITE | 33

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic

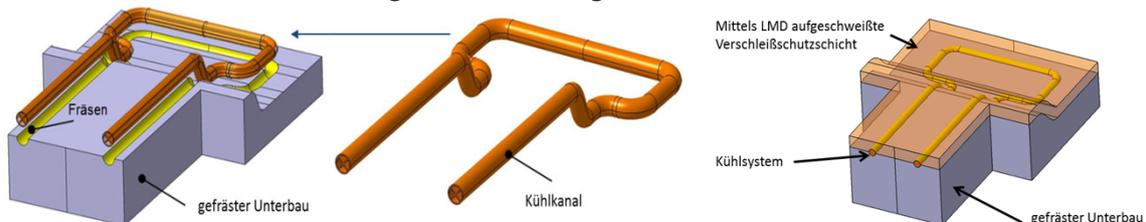


33

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau

LMD: Große Formen, Gesenke, Tiefzieh- und Presshärtewerkzeuge

- Spanend hergestellter Unterbau
- Einpressen des Kühlkanals (Rohr aus z.B.: Kupfer, Al) oder SLM-Rohr in die gefräste Halbschale
- Additiver Aufbau mittels LMD, WAAM oder Plasma-Auftragschweißen der verschleißbeständigen Werkzeugoberfläche



Quelle: CSM – AM @ FH OÖ Campus Wels

SEITE | 34

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic

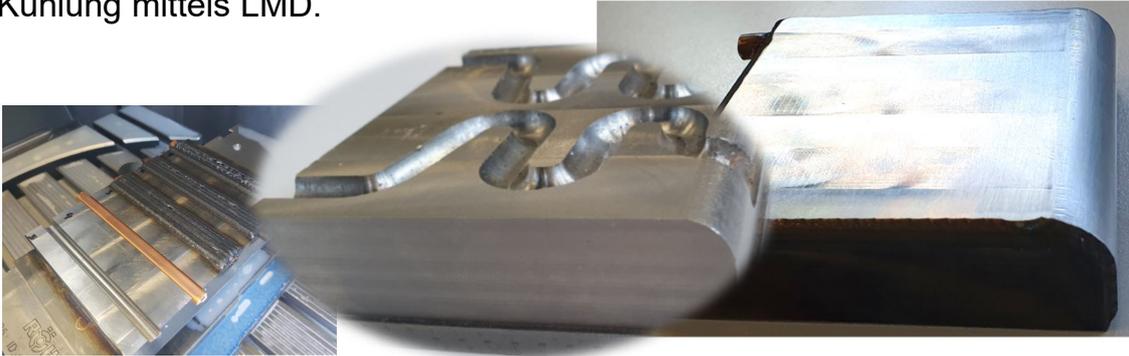


34

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau

LMD: Große Formen, Gesenke, Tiefzieh- und Presshärtewerkzeuge

Optimierte Aufbaustrategie und Prozessparameter für Warmarbeitsstähle wie z. B. W360 AMPO oder 1.2365 führen zur wirtschaftlichen Fertigung von Presshärtewerkzeugen, großen Formen und Gesenken mit konturnahen Kühlung mittels LMD.



SEITE | 35

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



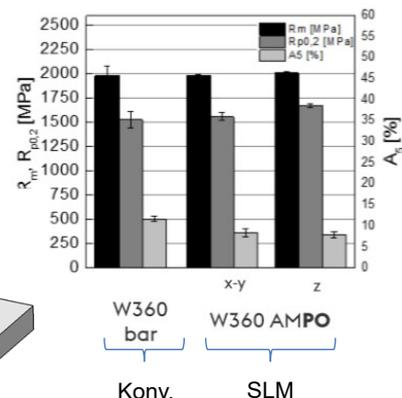
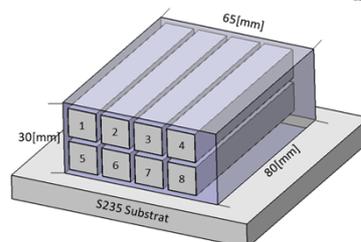
35

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau

LMD: *Böhler W360 AMPO*

Zugversuch	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	A ₅ [%]	Z[%]	Härte[HRC]*
Probe 1	2076	1733	8,2	30	55,4
Probe 4	2057	1620	7,9	28,8	54,8
Probe 6	2096	1680	8	28,3	55,5

Kerbschlagversuch	Arbeit[J]	Härte[HRC]*
Probe 2	11	55,5
Probe 5	8	55,8
Probe 8	8	55,5



SEITE | 36

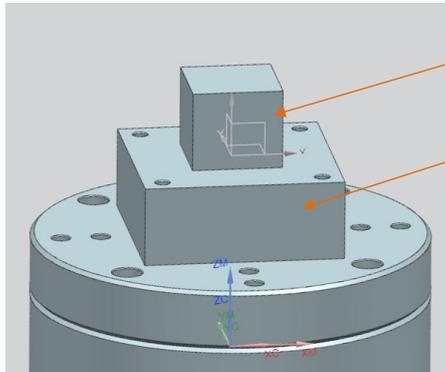
29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



36

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau LMD: *Böhler W360 AMPO*

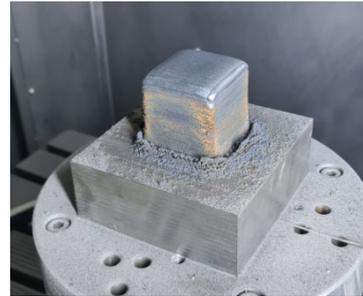


Hybridbau

Mittels LMD gefertigter Teil
Böhler W360 AMPO
45x45x45 mm (LxBxH)

Spanend hergestelltes Substrat
Böhler W360
100x100x40 mm (LxBxH)

P81_W360_H_01



SEITE | 37

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

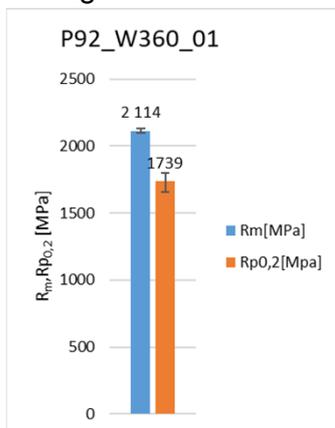
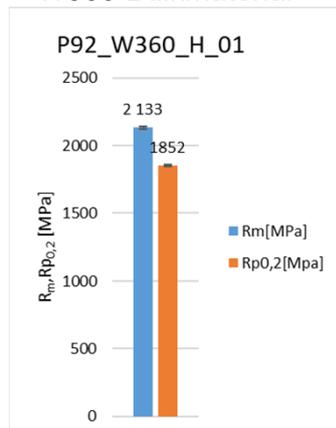
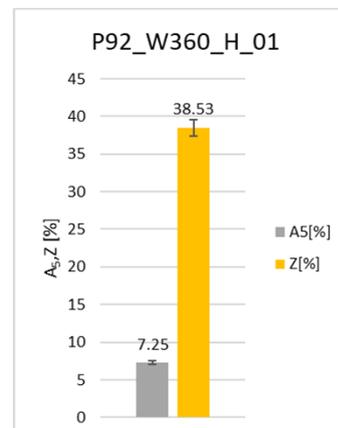
Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



37

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau LMD: *Böhler W360 AMPO*

-liegend

-stehend hybrid auf
W360 Bulkmaterial-stehend hybrid auf
W360 Bulkmaterial

SEITE | 38

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



38

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau LMD: Böhler W360 AMPO

Presshärtewerkzeug aus Böhler W360 AMPO



- An Kanten und Radien zu wenig Material
(39% Stepover außen, ~61% Überlappung)



- An Kanten und Radien zu wenig Material
(20% Stepover außen, ~80% Überlappung)

SEITE | 39

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

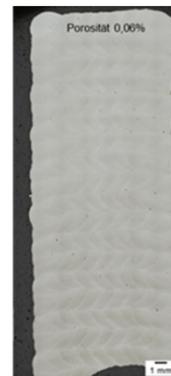
Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



39

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau LMD: Werkstoff HSS „XXX“

Fertigung Presstempel Aufbaustrategie „A“



Aufbaustrategie A → Makrorisse werden ab einer Bauhöhe von ca. 60mm !

SEITE | 40

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

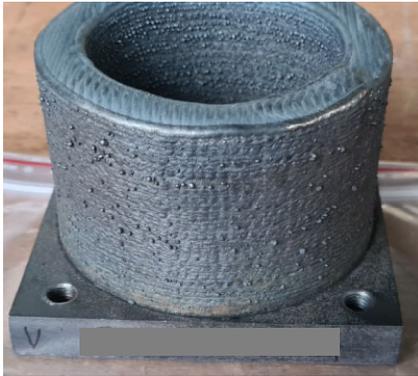
Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



40

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau LMD: Werkstoff HSS „XXX“

Fertigung Presstempel Aufbaustrategie „B“



Aufbaustrategie B → Makrorissfrei

SEITE | 41

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

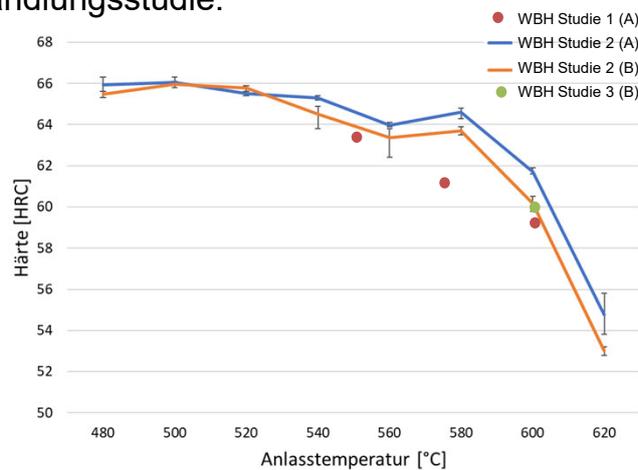
Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



41

Additive Fertigung im Werkzeug- und Formenbau LMD: Werkstoff HSS „XXX“

Wärmebehandlungsstudie:



SEITE | 42

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



42

Center for Smart Manufacturing (CSM)

Additive Fertigung - Partner

@ FH OÖ, Campus Wels (seit 17 Jahre)



SEITE | 45

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



45

Center for Smart Manufacturing (CSM)

Additive Fertigung

@ FH OÖ, Campus Wels (seit 17 Jahre)

Vielen Dank!

Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic

Professor for Production Engineering and Metal Forming
Head of Department Production Engineering
School of Engineering and Environmental Sciences



SEITE | 46

29.-30. JUNI 2023 Kirchdorf

Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic



46