
LASERSTRAHLSCHMELZEN IM WERKZEUGBAU FÜR DIE BLECHWARMUMFORMUNG

M. Oettel, M. Gebauer, B. Müller, A. Spierings, P. Stoll, T. Feld, M. Klinger,
A. Zurbrügg



INHALT

- Gesamtprojekt
- Motivation
 - Blechwarmumformung „Presshärten“
- Lösungsansatz
 - Demonstrator
 - Entwicklung Werkzeugtemperierung
 - Sensorintegration
- Werkzeugfertigung
- Umformversuche
- Ergebnisse
- Zusammenfassung



INHALT

- Gesamtprojekt
- Motivation
 - Blechwarmumformung „Presshärten“
- Lösungsansatz
 - Demonstrator
 - Entwicklung Werkzeugtemperierung
 - Sensorintegration
- Werkzeugfertigung
- Umformversuche
- Ergebnisse
- Zusammenfassung



Überblick Gesamtprojekt

MANUNET TRANSNATIONAL - CALL 2013

Laufzeit: 01.05.2014 – 31.12.2016

Partner:



BraunCarTec GmbH



Fraunhofer IWU



GUT Metallumformung AG



Ringele AG



inspire AG



INHALT

- Gesamtprojekt
- Motivation
 - Blechwarmumformung „Presshärten“
- Lösungsansatz
 - Demonstrator
 - Entwicklung Werkzeugtemperierung
 - Sensorintegration
- Werkzeugfertigung
- Umformversuche
- Ergebnisse
- Zusammenfassung



Motivation

Ausgangslage

- Anforderungen an Werkzeuge und Formen werden immer höher und komplexer
→ Forderung nach Integration zusätzlicher oder verbesserter Funktionen
 - konventionelle Verfahren der Werkzeugfertigung stoßen zunehmend an ihre Grenzen
 - Fertigung von geeigneten Werkzeugeinsätzen mit Mehrwert erfordern innovative Fertigungsmethoden

Ziel

- Schaffung von Mehrwert und Integration zusätzlicher Funktionen in Blechumformwerkzeuge unter Nutzung additiver Fertigung
→ Steigerung der Leistungsfähigkeit im Vergleich zum Stand der Technik
 - Temperierung
 - Schmierung
 - Sensorintegration

➔ **Projekt »HiperFormTool«**



Motivation

Ausgangslage

- Anforderungen an Werkzeuge und Formen werden immer höher und komplexer
→ Forderung nach Integration zusätzlicher oder verbesserter Funktionen
 - konventionelle Verfahren der Werkzeugfertigung stoßen zunehmend an ihre Grenzen
 - Fertigung von geeigneten Werkzeugeinsätzen mit Mehrwert erfordern innovative Fertigungsmethoden

Ziel

- Schaffung von Mehrwert und Integration zusätzlicher Funktionen in Blechumformwerkzeuge unter Nutzung additiver Fertigung
→ Steigerung der Leistungsfähigkeit im Vergleich zum Stand der Technik
 - **Temperierung**
 - Schmierung
 - **Sensorintegration**

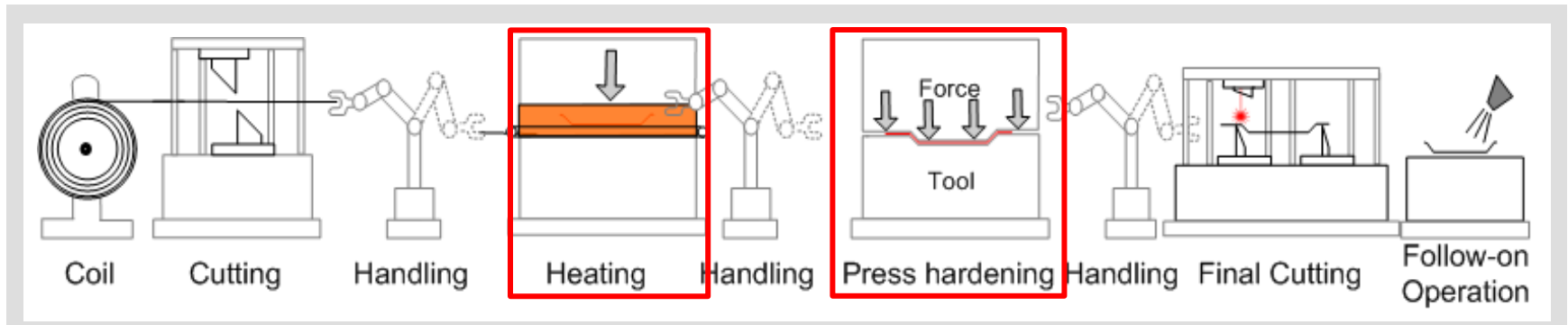
➔ **Projekt »HiperFormTool«**



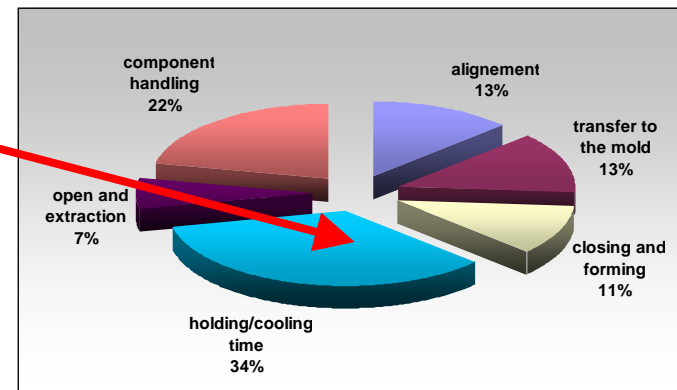
Motivation

Blechwarmumformung „Presshärten“

- Blech wird über Austenitisierungstemperatur ($\approx 950\text{ }^{\circ}\text{C}$) erwärmt und im Werkzeug rasch auf unter $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ abgekühlt/abgeschreckt \rightarrow hartes martensitisches Gefüge



- Zykluszeit zu über 30 % durch die Bauteilabkühlung (Haltezeit) bestimmt
- aktuell gezielte Temperierung bestimmter Bereiche konform zur Werkzeugkontur nur sehr aufwändig und mit Einschränkungen realisierbar



exemplarische Darstellung der Zykluszeitunterteilung beim Presshärten

INHALT

- Gesamtprojekt
- Motivation
 - Blechwarmumformung „Presshärten“
- Lösungsansatz
 - Demonstrator
 - Entwicklung Werkzeugtemperierung
 - Sensorintegration
- Werkzeugfertigung
- Umformversuche
- Ergebnisse
- Zusammenfassung

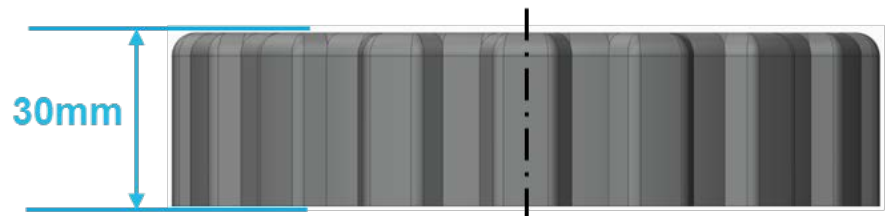
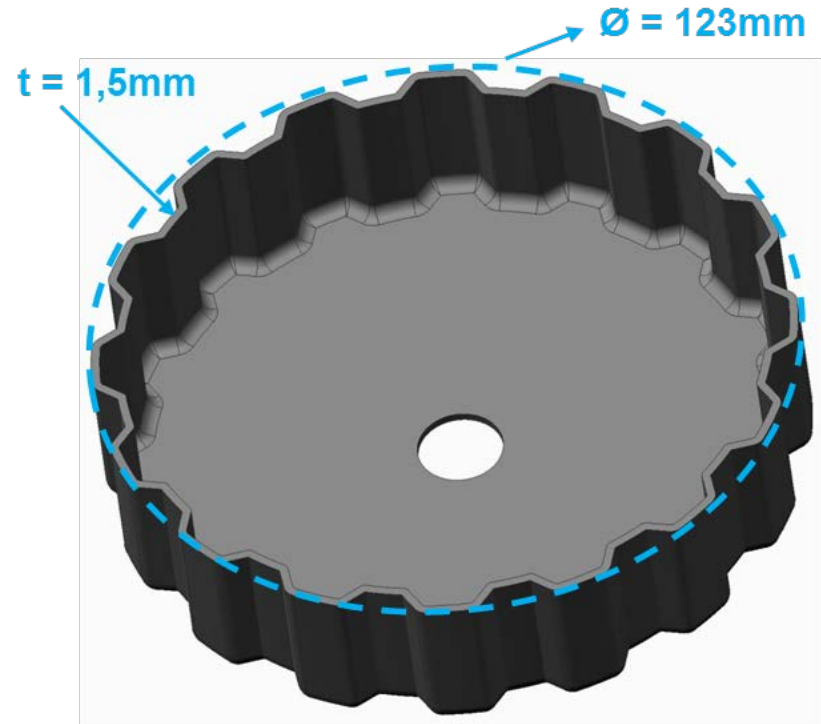


Lösungsansatz

Demonstratorbauteil

Randbedingungen

- neuartige Bauteilgeometrie (ähnlich Tiefziehbauteil)
- Werkzeug bestehend aus Stempel, Matrize & Niederhalter
- Bauteil:
 - Werkstoff: 22MnB5
 - Durchmesser Platine: 172 mm
 - Blechstärke: 1,5 mm
- Temperaturen:
 - 950 °C Ofen
 - ca. 750 – 780 °C beim Einlegen

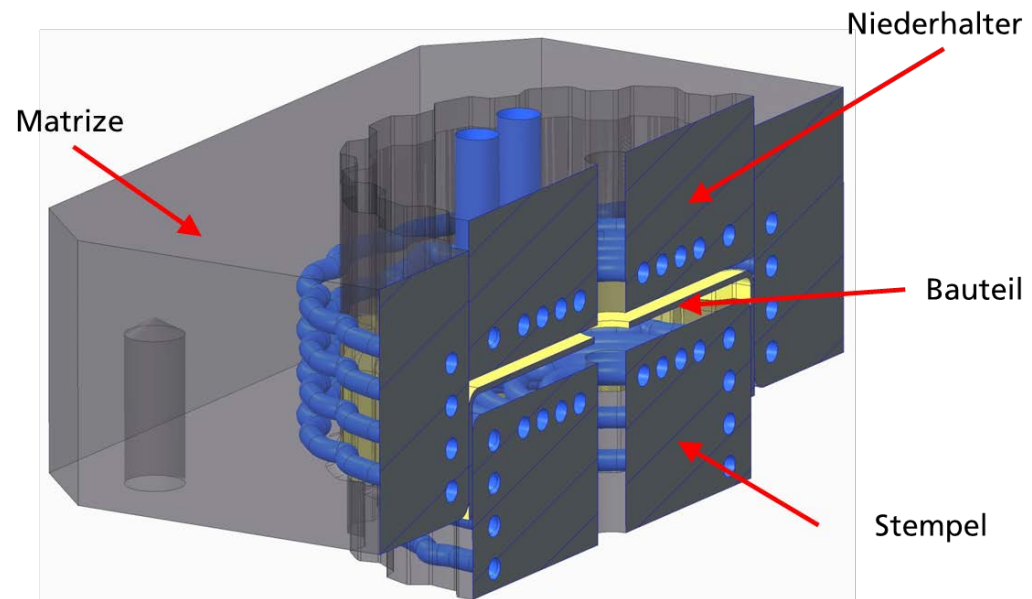


Lösungsansatz

Entwicklung Werkzeugtemperierung

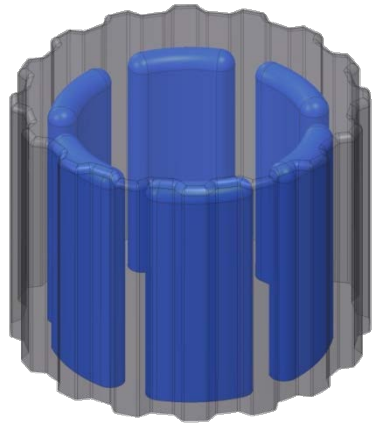
Werkzeugaufbau

- Entwicklung einer innovativen Werkzeugtemperierung für **alle** Werkzeugkomponenten
 - Verbesserung Prozessbedingungen und Reduzierung Zykluszeit
- konturnahe Sensorintegration in Stempel
 - Prozessverständnis
 - Prozesskontrolle

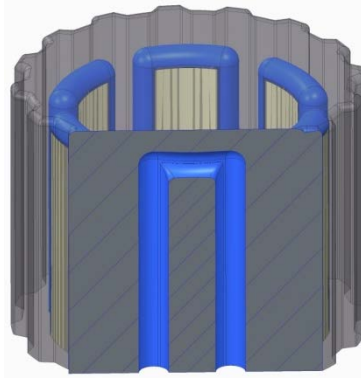


Lösungsansatz

Entwicklung Werkzeugtemperierung



Werkzeug mit gefrästen Taschen



Schnitt Zusammenbau



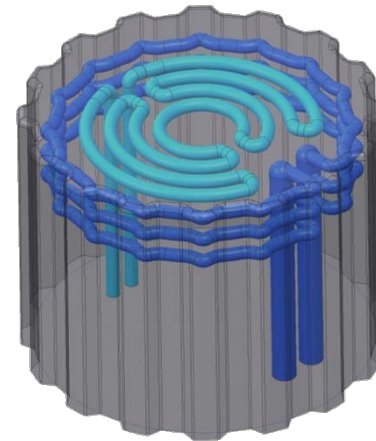
gefräster Einsatz

Konventionelle Werkzeugtemperierung

- gefräste Taschen mit Einsätzen
 - flächige Kühlung kaum möglich
 - ungleichmäßiger Abstand zur Kontur bei Verzahnung

Generative Werkzeugtemperierung

- zwei separate Temperierkreisläufe
 - gleichmäßiger Abstand zur Kontur auch im Bereich der Verzahnung



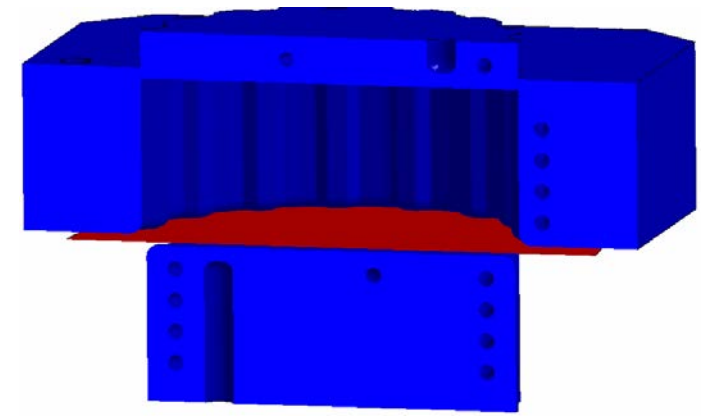
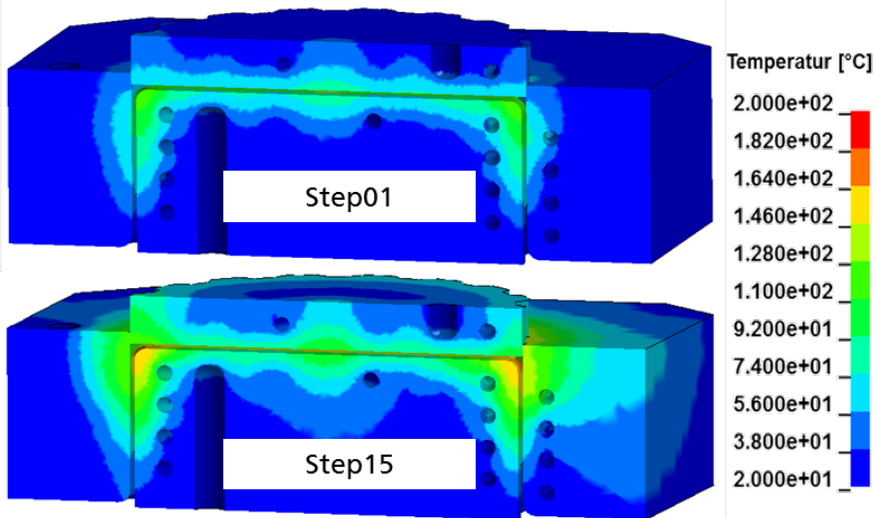
generativ gefertigter Stempel (CAD Modell)

Lösungsansatz

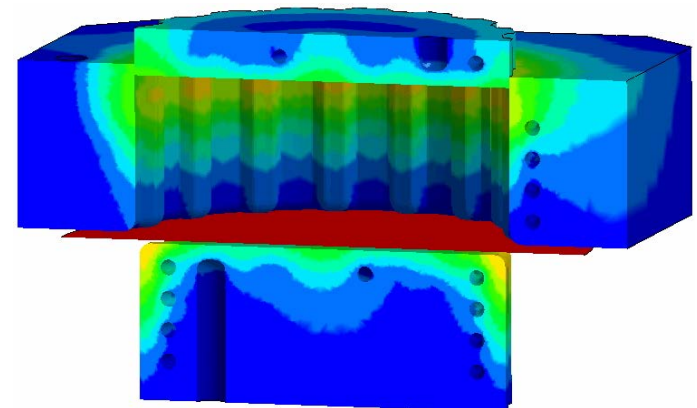
Entwicklung Werkzeugtemperierung

Thermische Simulation

- Bestimmung der Leistungsfähigkeit der innovativen Werkzeugkühlung
- Analyse Werkzeugermwärmung über die Anzahl an Umformzyklen
 - eingeschwungener Zustand nach 15 Umformzyklen



Step 01



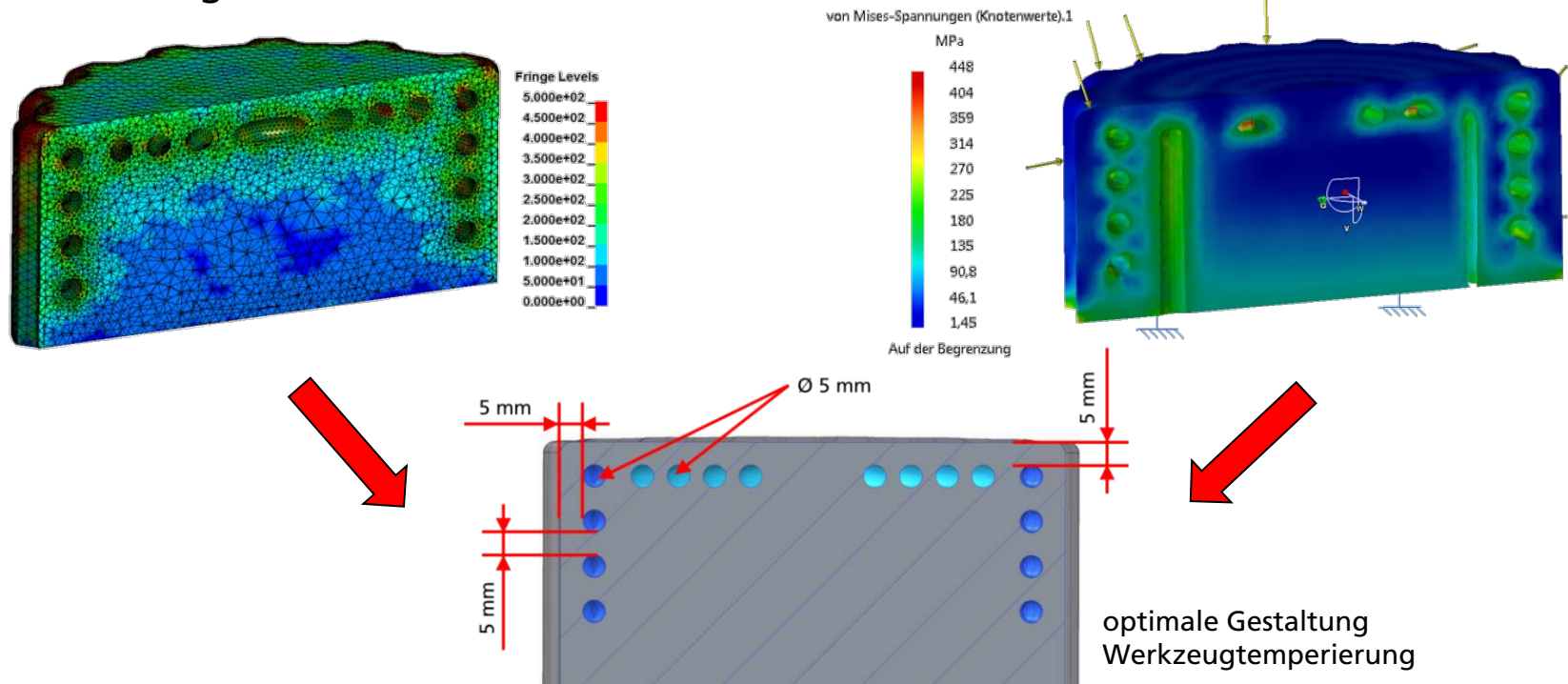
Step 15

Lösungsansatz

Entwicklung Werkzeugtemperierung

Festigkeitsbetrachtung

- zur Bestimmung minimaler Abstand zur Kontur bei Kanaldurchmesser 5 mm
- angenommene Kraft entspricht Pressendruck von 3000 kN (300t)
- Werkzeugwerkstoff 1.2709 (Maximalhärte 54 HRC)

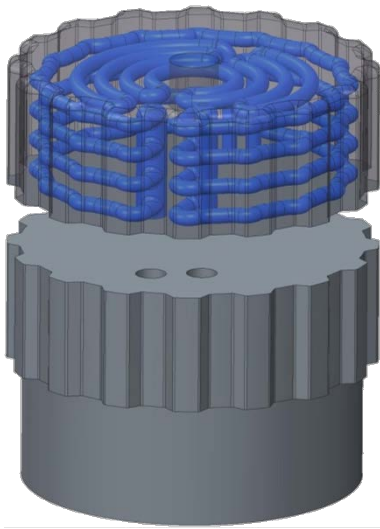


Lösungsansatz

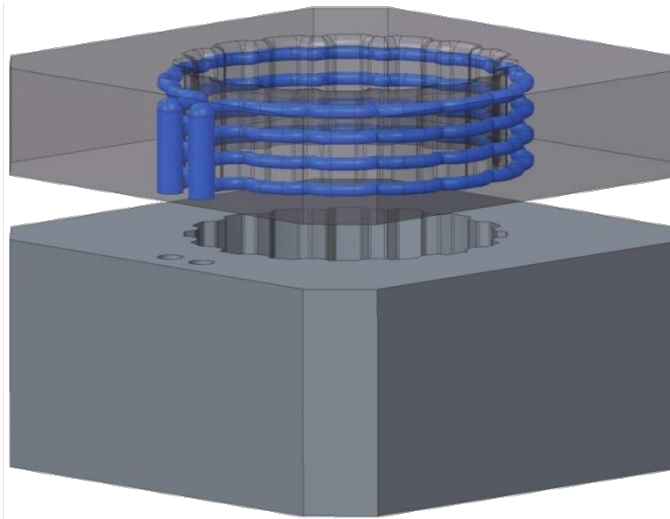
Entwicklung Werkzeugtemperierung

Werkzeuggestaltung für Hybridbauweise

- Minimierung generativer Aufbau durch Hybridbauweise
 - konventionell, spanend gefertigte Grundkörper aus 1.2343 (gehärtet) + generative aufgebaute Funktionsgeometrie aus 1.2709
- generativ zu fertigendes Gesamtvolumen = 1955 cm³



Stempel



Matrize



Niederhalter

Lösungsansatz

Sensorintegration

Auswahlkriterien:

- sehr hohe lokale Temperaturbelastung beim „Einschmelzen“ während der generativen Fertigung → **Temperaturbeständigkeit Messelement**
 - hohe Temperaturbelastung während der Wärmebehandlung → **Temperaturbeständigkeit der Isolation**
 - möglichst geringe **Kosten** + geringer **Bauraum** + gute **Verfügbarkeit** + gute **Genauigkeit**
- **Thermoleitung Typ K** - doppelt isoliert, Hochtemperatur-Glasgeflecht bis 700°C
- Temperaturbereich: - 270 bis + 1300 °C

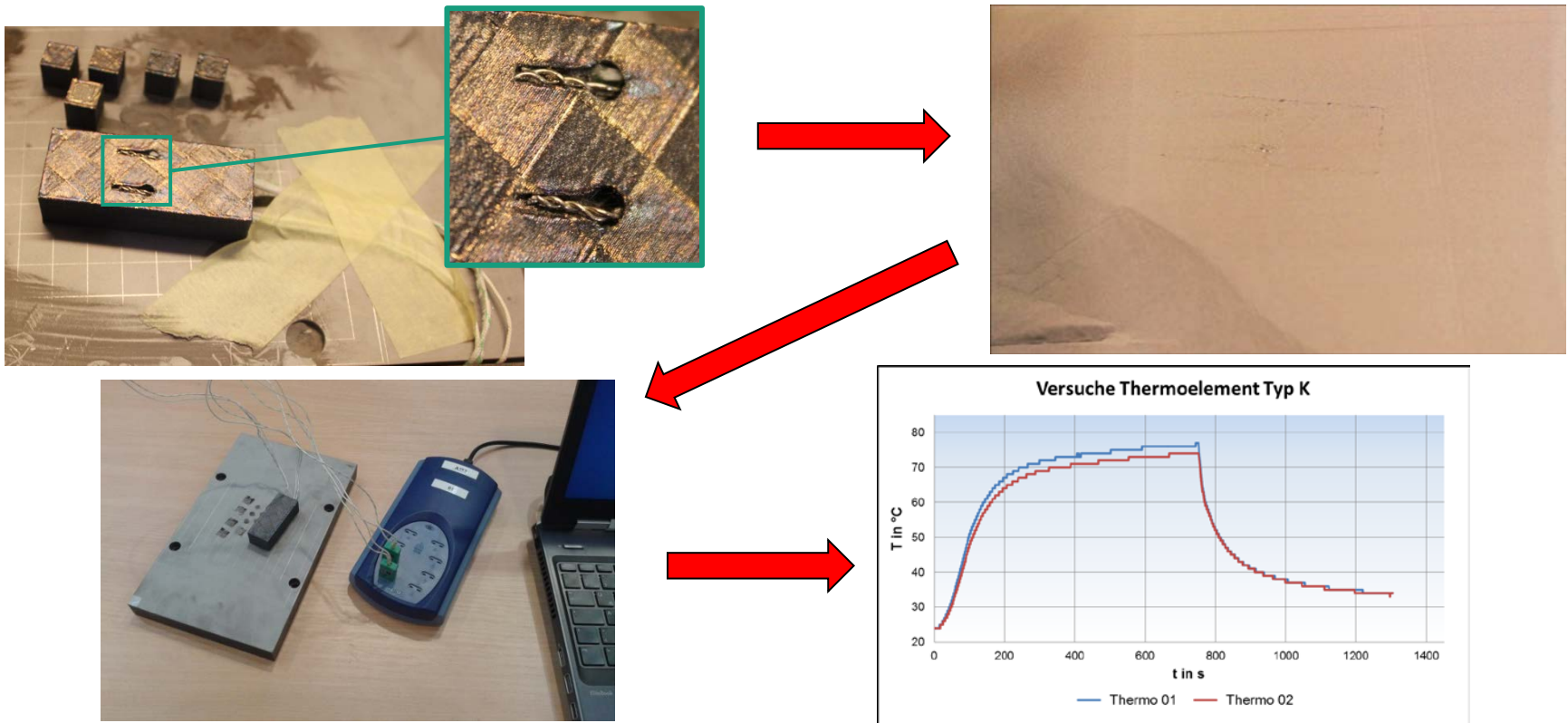


Lösungsansatz

Sensorintegration

Vorversuche

- erfolgreiche Integration (Einschmelzen) der Thermoleitungen in generatives Versuchsbauteil mit anschließendem Funktionsnachweis

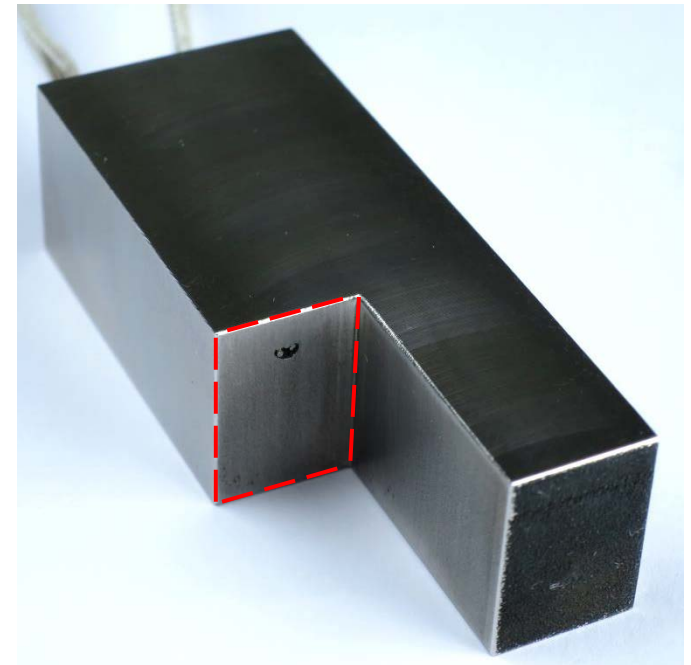


Lösungsansatz

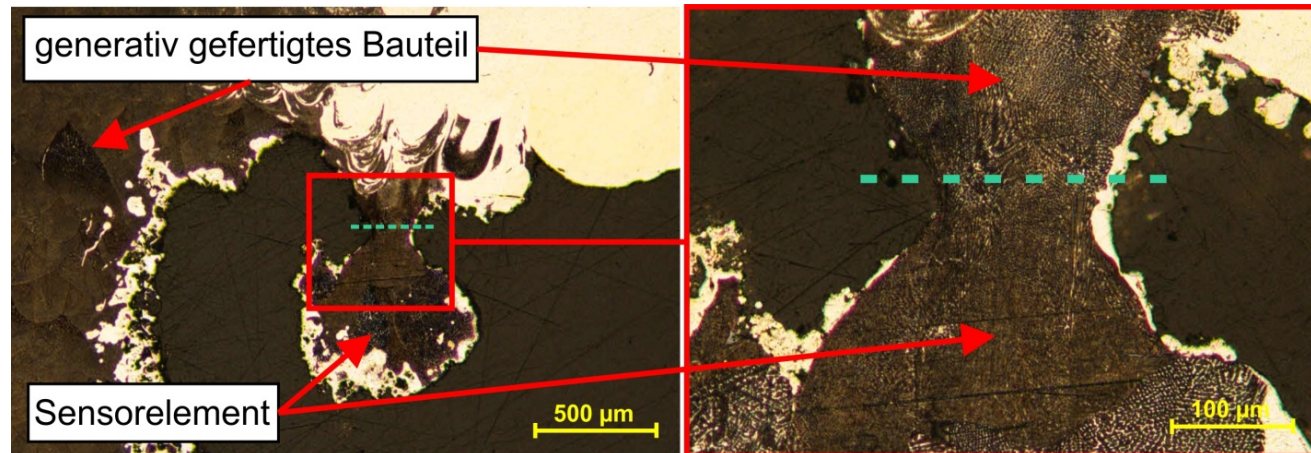
Sensorintegration

Vorversuche

- Untersuchung bzw. Bestätigung der stoffschlüssigen Verbindung zwischen Testkörper und Thermoelement
 - Schlifffanalyse an geätztem Probekörper



Probekörper mit Thermoelement (Schnitt)



Schliffbild Probekörper (geätzt)

INHALT

- Gesamtprojekt
- Motivation
 - Blechwarmumformung „Presshärten“
- Lösungsansatz
 - Demonstrator
 - Entwicklung Werkzeugtemperierung
 - Sensorintegration
- **Werkzeugfertigung**
- Umformversuche
- Ergebnisse
- Zusammenfassung

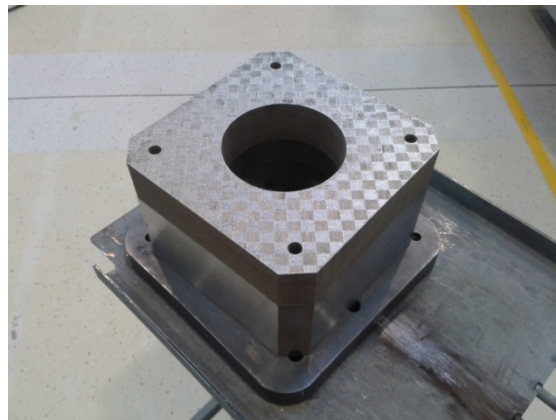
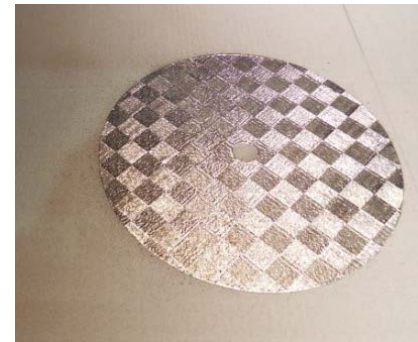
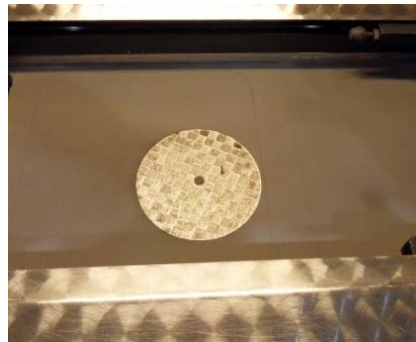
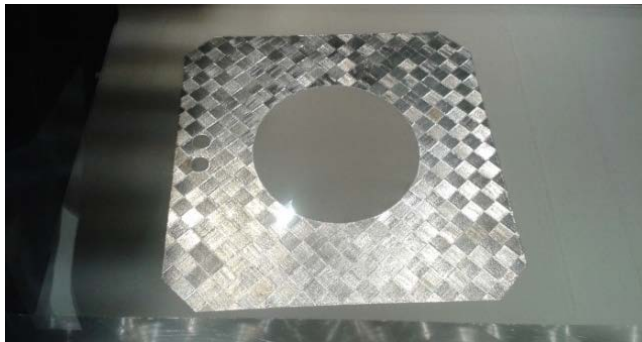


Lösungsansatz

Generative Werkzeugfertigung

Laser-Strahlschmelzen

- Concept Laser M2 cusing (400 Watt Laserleistung)
- Bauzeit Matrize = 90 h, Niederhalter = 12 h, Stempel = 36 h

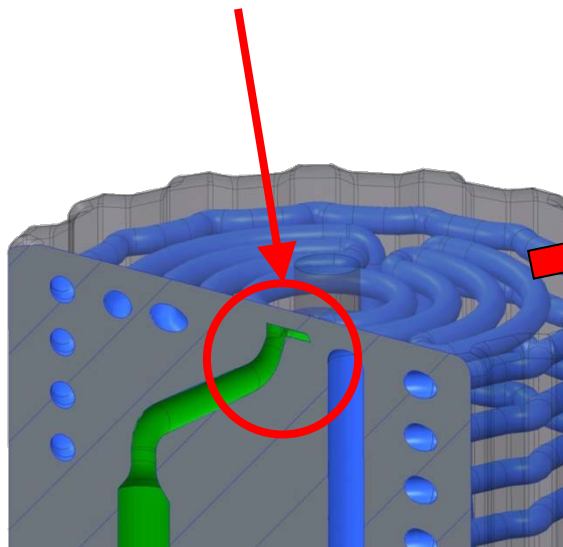


Lösungsansatz

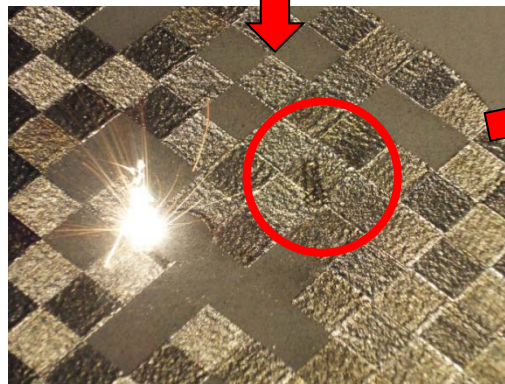
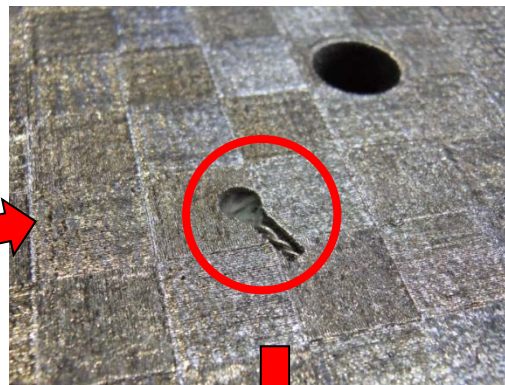
Generative Werkzeugfertigung

Sensorintegration im Werkzeugstempel

- möglichst konturnahe Integration ohne Beeinflussung der Festigkeit
 - nur 3 mm Abstand zur Werkzeugkontur



Position Thermoelement im Stempel
(CAD-Modell)

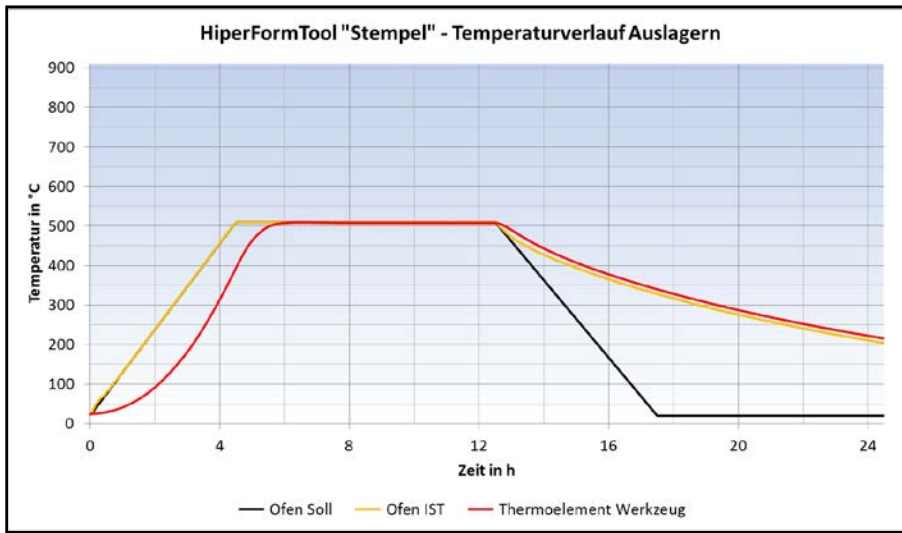
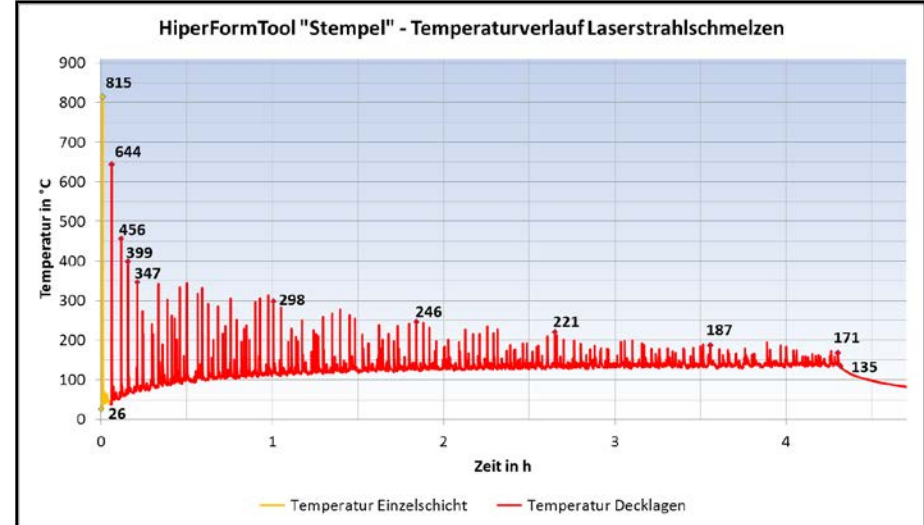


Werkzeugstempel mit integriertem
Thermoelement

Integration Thermosensor Funktionsnachweis

Funktionstest Temperatursensor

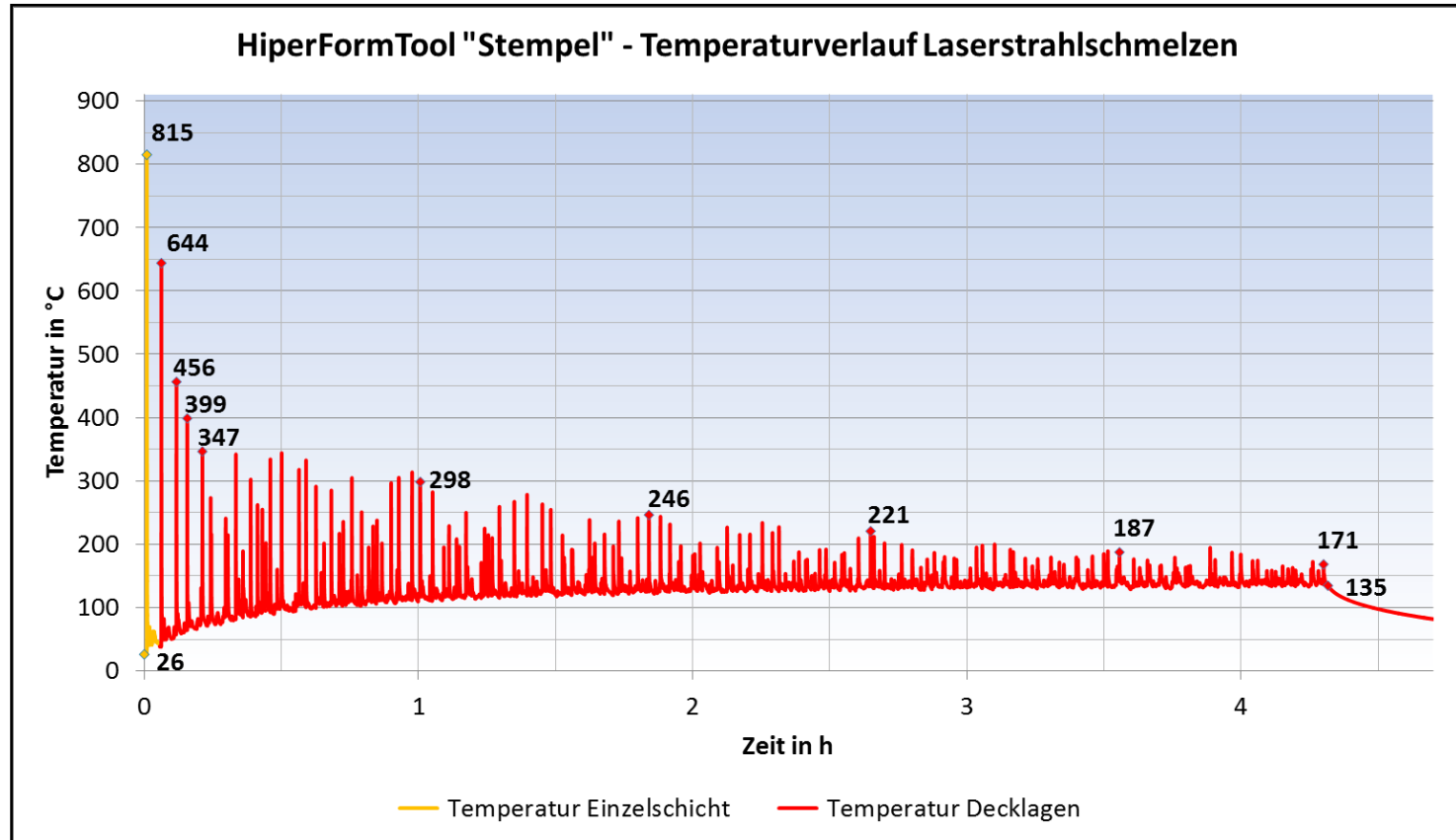
- Temperaturmessung während der generativen Fertigung
 - Abtastrate 500 / s für Schicht 1
→ 2 / s restliche Schichten
 - Bauteil erwärmt sich auf über 135 °C



- Temperaturmessung während der Wärmebehandlung
 - Abtastrate 1 / s
 - deutlicher Versatz zwischen Ofen-IST und Werkzeugtemperatur

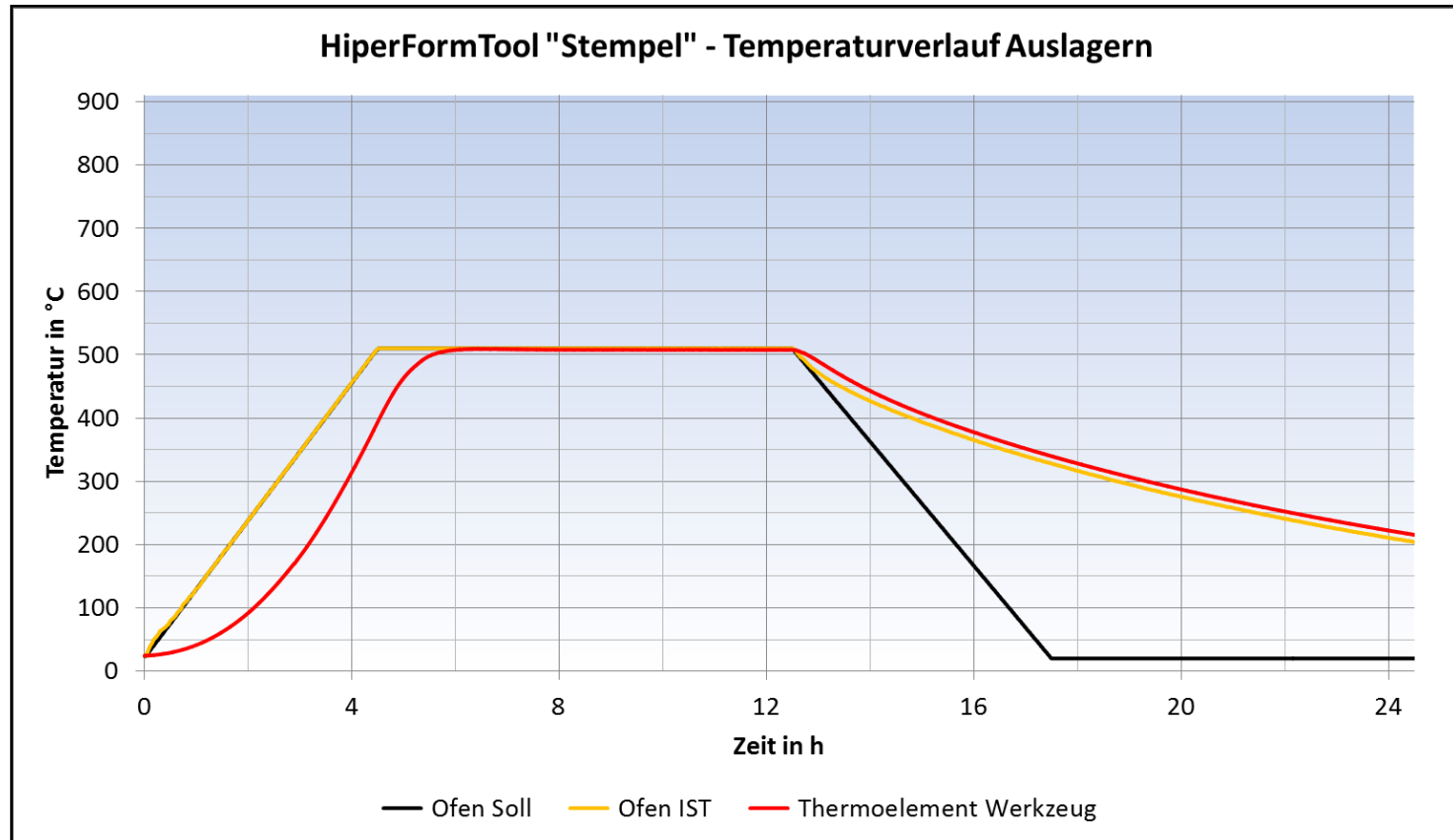
Integration Thermosensor

Funktionsnachweis



Integration Thermosensor

Funktionsnachweis



INHALT

- Gesamtprojekt
- Motivation
 - Blechwarmumformung „Presshärten“
- Lösungsansatz
 - Demonstrator
 - Entwicklung Werkzeugtemperierung
 - Sensorintegration
- Werkzeugfertigung
- Umformversuche
- Ergebnisse
- Zusammenfassung

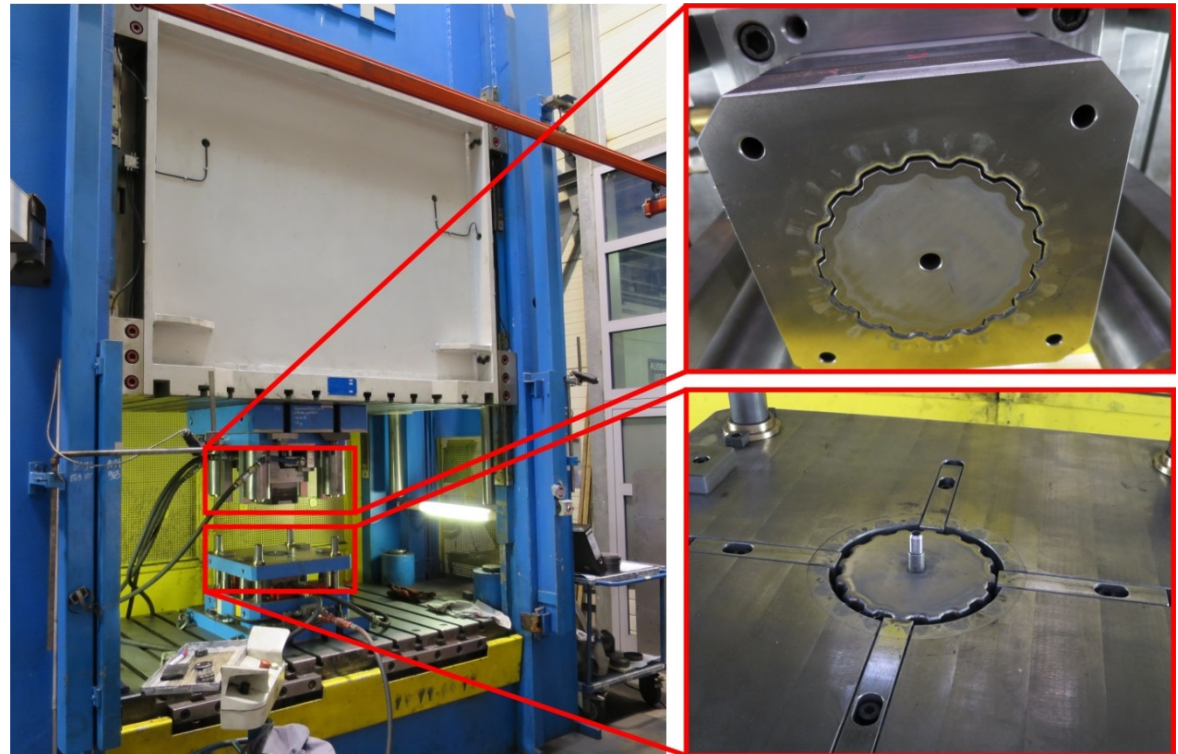


Umformversuche

Versuchsaufbau

Anlagentechnik und Peripherie

- Glühen der Platine im Muffelofen (950 °C)
- Zuführung der Platinen von Hand
- eingesetzte Presskraft 800 kN (testweise bis auf 1300 kN)
- Kühlmittel (Wasser) aus Ringleitung:
 - $T_{\text{ein}} = 20 \text{ °C}$
 - 20 l/min



Umformversuche

Versuchsablauf

■ Test Rück

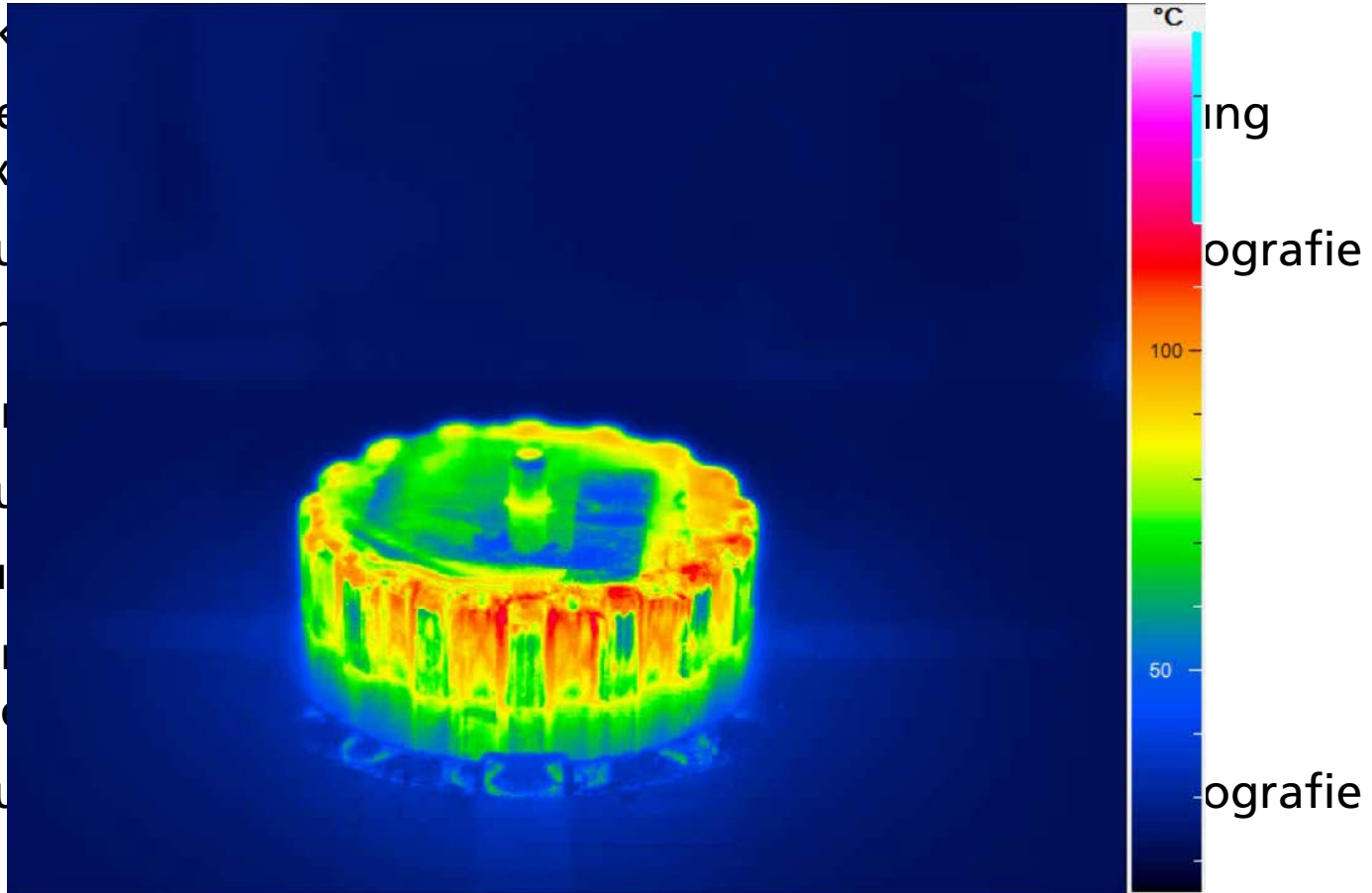
- Unge (max)
- Doku

■ Ermittlung

- Plati
- Doku

■ Werkzeug

- Plati eing
- Doku

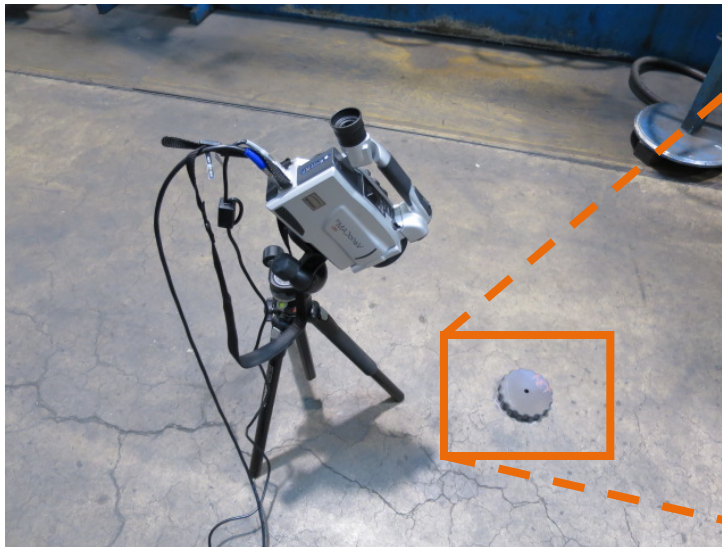


Umformversuche

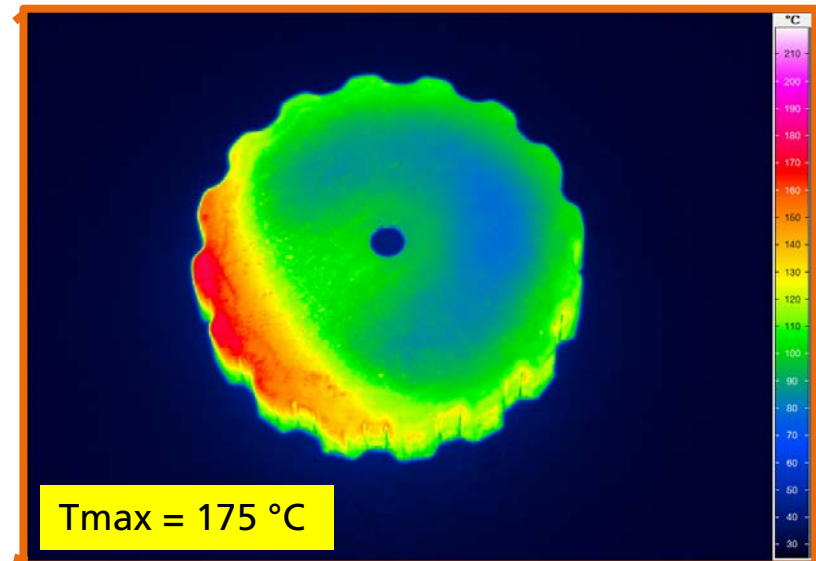
Versuchsaufbau

Ermittlung Entnahmetemperatur

- schrittweise Verringerung der Haltezeit (10 s, 8 s, 5 s, 3 s)
 - 10 s ist bei betrachteter Blechstärke Stand der Technik
- Dokumentation der Bauteiltemperatur mittels Thermografie
- Ziel: Entnahmetemperatur unter 200 °C



Temperaturmessung Bauteile



Temperaturverteilung im Bauteil (3 s Haltezeit)

INHALT

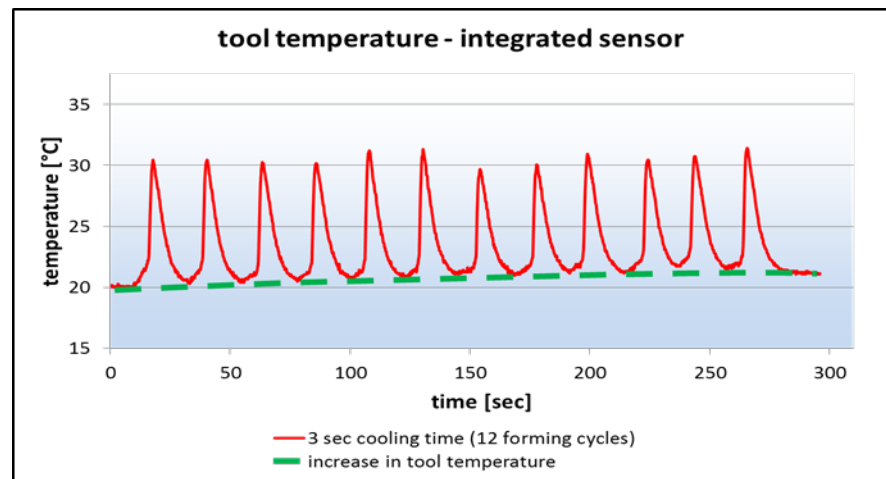
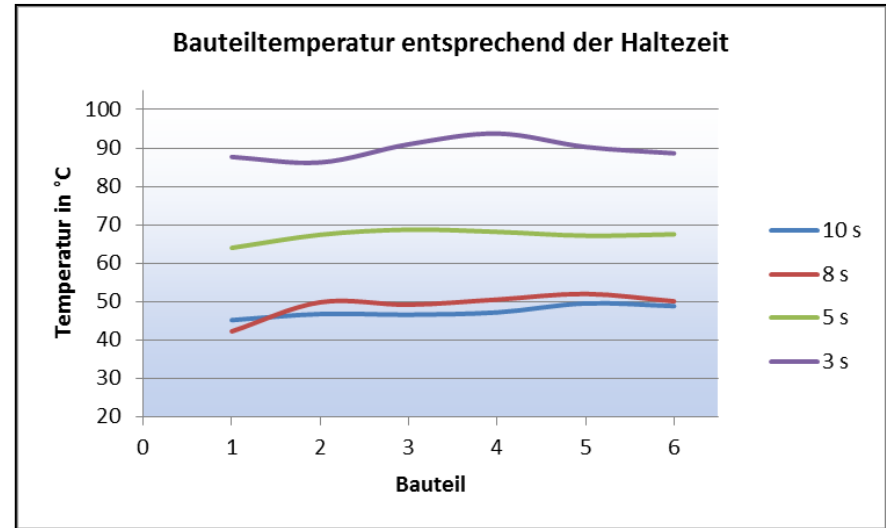
- Gesamtprojekt
- Motivation
 - Blechwarmumformung „Presshärten“
- Lösungsansatz
 - Demonstrator
 - Entwicklung Werkzeugtemperierung
 - Sensorintegration
- Werkzeugfertigung
- Umformversuche
- Ergebnisse
- Zusammenfassung



Ergebnisse

Temperatur

- Rückkühlung
 - Funktionsnachweis erbracht
- Bauteiltemperatur
 - ermittelt mittels Thermografie
 - relativ gleichmäßige Bauteiltemperatur von Bauteil 1 bis 6
 - 3 s Haltezeit ausreichend (ggf. weitere Reduzierung möglich)
- Werkzeugerwärmung
 - ermittelt mittels Thermoelement im Stempel
 - für 12 Umformvorgänge je Haltezeit in mehreren Versuchreihen

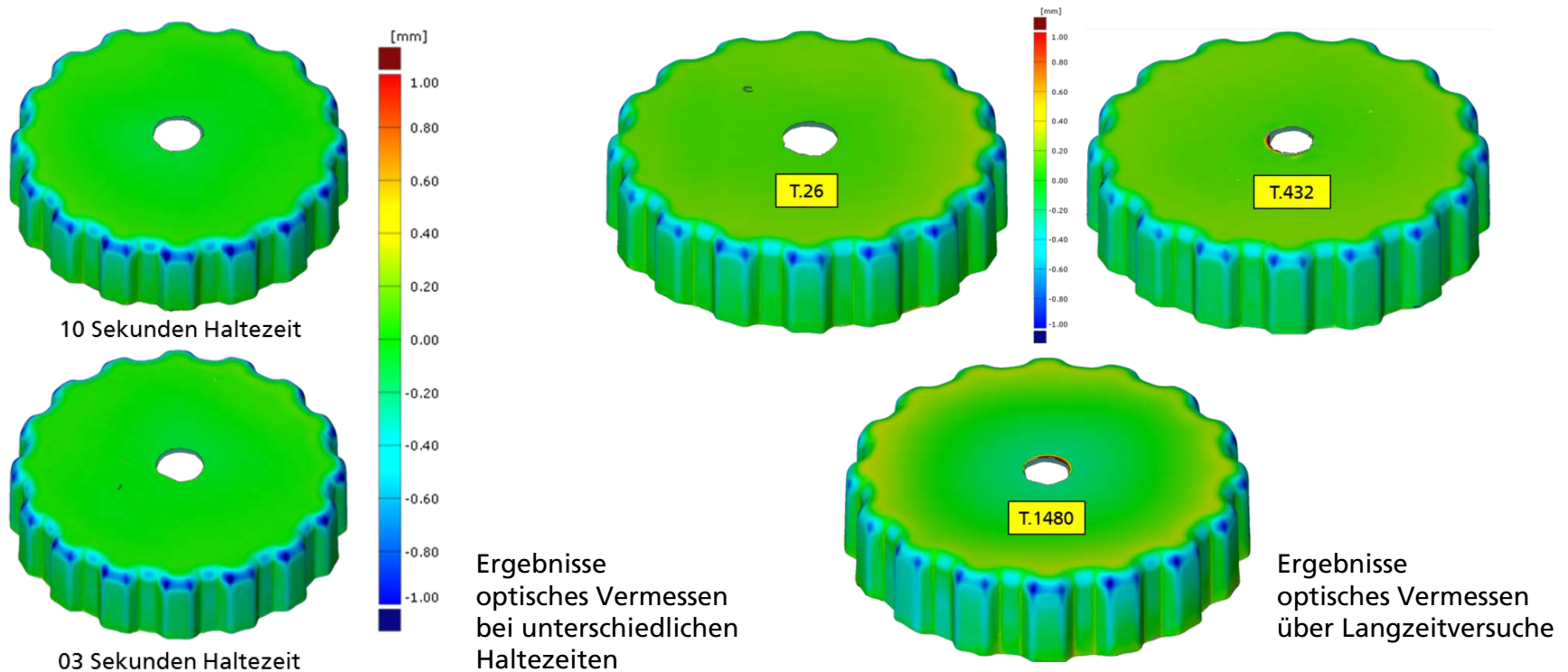


Ergebnisse

Bauteilgenauigkeit

GOM-Messung

- Vergleich Bauteilgenauigkeit → 10 s Haltezeit & 3 s Haltezeit keine Unterschiede
- Vergleich Bauteilgenauigkeit stichprobenartig über die 1.500 umgeformten Teile (3 s Haltezeit) zur Bestimmung Werkzeugverschleiß

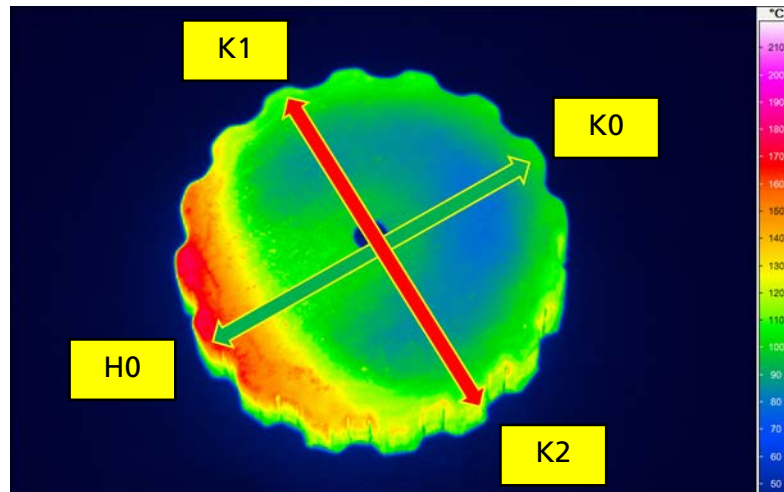


Ergebnisse

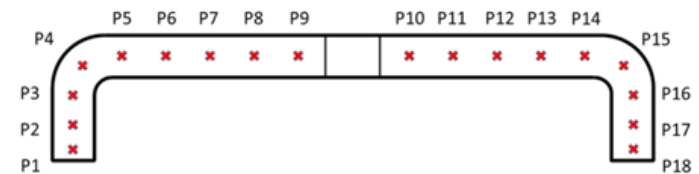
Härteverlauf

Zielwerterreichung

- Mikrohärtemessung (HV1) über den Bauteilquerschnitt in 2 Richtungen
 - von WARM (H0) nach KALT (K0) → grüner Pfeil
 - von KALT (K1) nach KALT (K2) → roter Pfeil



Thermografieaufnahme Bauteil
(3 sec Haltezeit)

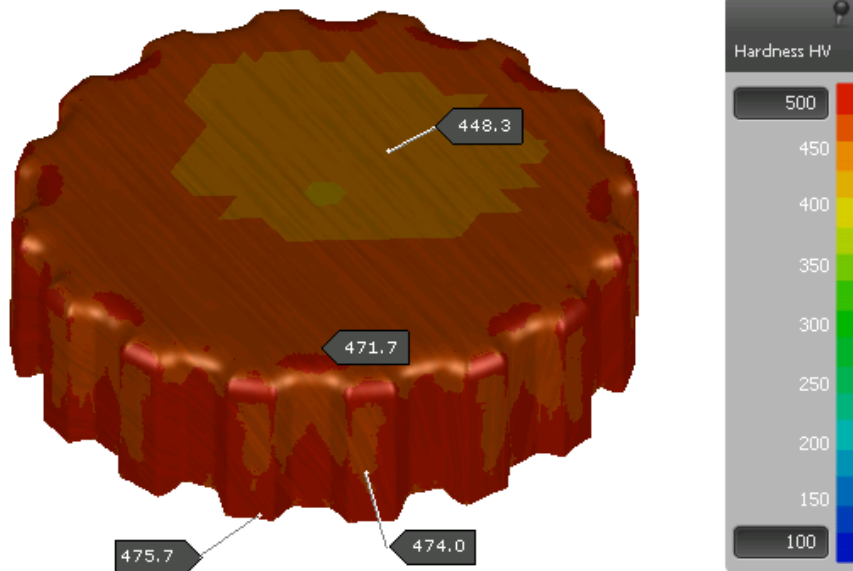


Bestimmung des Härteverlaufs über den
Querschnitt in 2 Richtungen
(3 Messungen je Messpunkt)

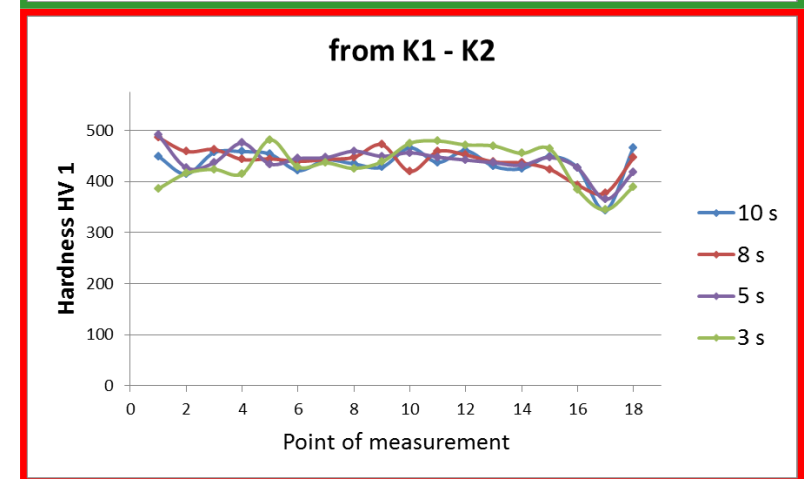
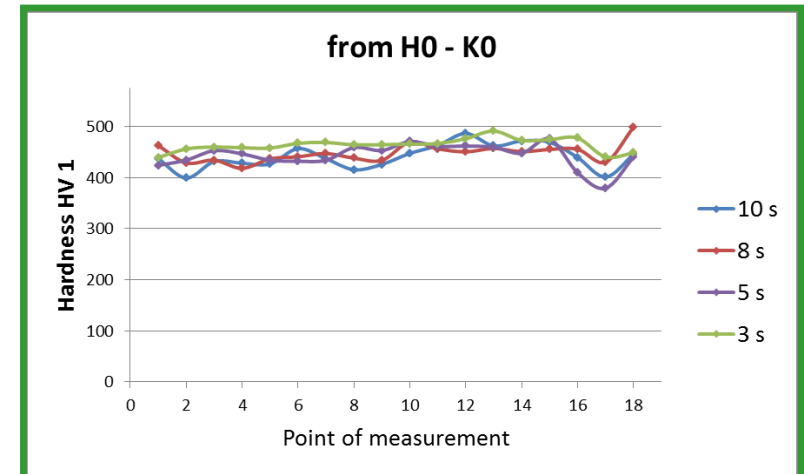
Ergebnisse Härteverlauf

Zielwernerreichung

- Bestätigung der Härtewerte aus der Simulation
- geringe Unterschiede zwischen den verschiedenen Haltezeiten



Härteverteilung ermittelt mit AutoForm



Gegenüberstellung Härteverlauf für verschiedene Haltezeiten

INHALT

- Gesamtprojekt
- Motivation
 - Blechwarmumformung „Presshärten“
- Lösungsansatz
 - Demonstrator
 - Entwicklung Werkzeugtemperierung
 - Sensorintegration
- Werkzeugfertigung
- Umformversuche
- Ergebnisse
- Zusammenfassung & Ausblick



Zusammenfassung & Ausblick

- erfolgreiche Integration von Thermosensoren während der additiven Fertigung
 - Funktionstest während des Laserstrahlschmelzens, der Wärmbehandlung und der Umformversuche
- konturnahe Werkzeugtemperierung erlaubt signifikante Reduzierung der Haltezeit (um 70%)
 - von 10 s (Stand der Technik) auf 3 s
 - 3 h Fertigungszeit eingespart bei 1.500 umgeformten Bauteilen
- Bauteile zeigen die gleiche Genauigkeit
- Unterschiede im Härteverlauf bewegen sich im erlaubten Rahmen



Zusammenfassung & Ausblick

- erfolgreiche Integration von Thermosensoren während der additiven Fertigung
 - Funktionstest während des Laserstrahlschmelzens, der Wärmbehandlung und der Umformversuche
 - ➔ **Position (Konturnähe) und Kanalendgeometrie sollten weiter optimiert werden**
- konturnahe Werkzeugtemperierung erlaubt signifikante Reduzierung der Haltezeit (um 70%)
 - von 10 s (Stand der Technik) auf 3 s
 - 3 h Fertigungszeit eingespart bei 1.500 umgeformten Bauteilen
- Bauteile zeigen die gleiche Genauigkeit
- Unterschiede im Härteverlauf bewegen sich im erlaubten Rahmen

Zusammenfassung & Ausblick

- Reduzierung Werkzeugmasse bzw. generativ aufzubauendes Volumen durch belastungsgerechte Werkzeuggestaltung
 - Reduzierung der Fertigungszeit
 - Reduzierung der **Kosten**
 - Verringerung thermischer Trägheit des Systems
 - ggf. weitere Verringerung der Zykluszeiten

aber:

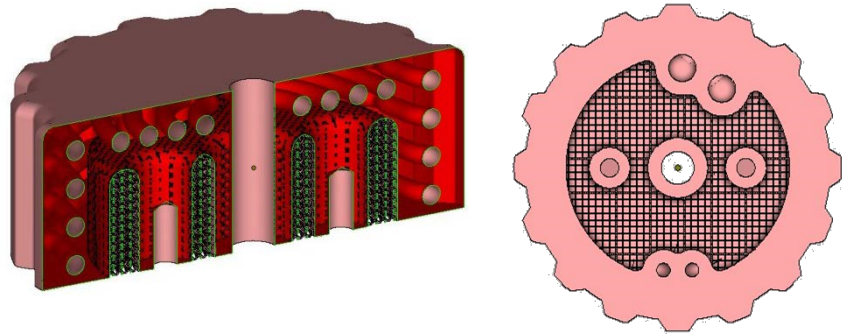
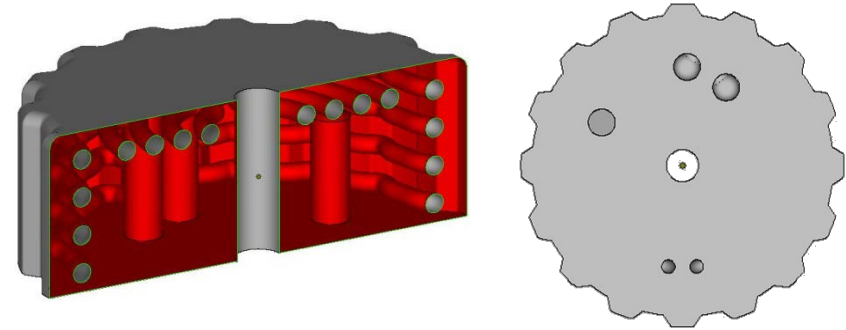
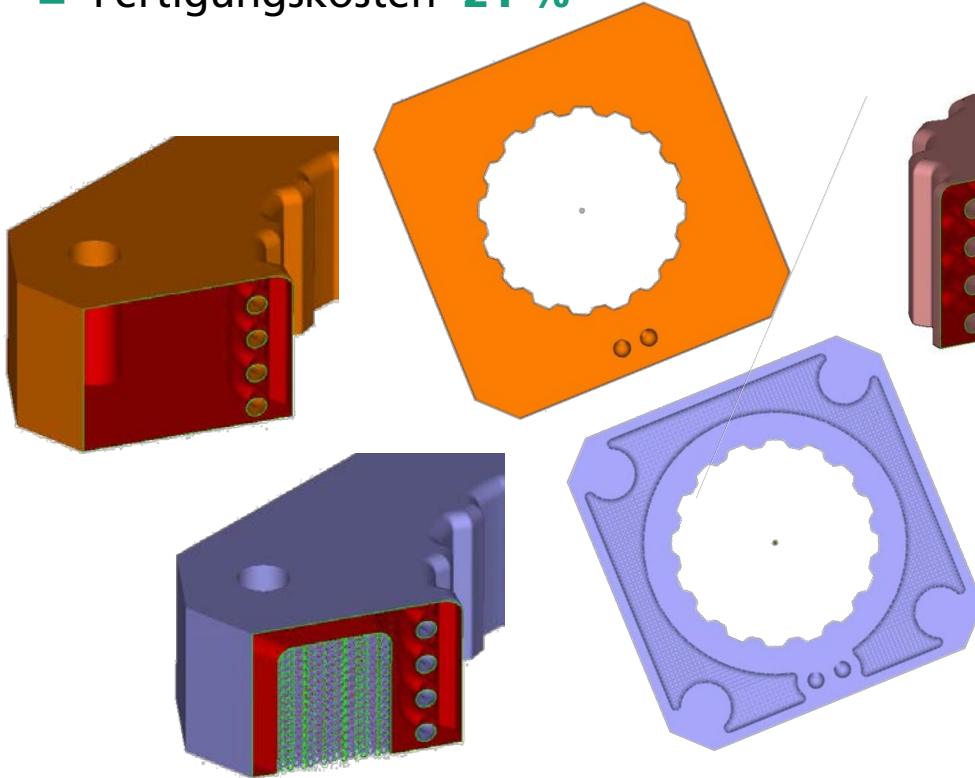
- komplexe Gitter schwierig mit FEM zu betrachten
 - große Datenmengen
 - mechanische Kennwerte kaum bekannt bzw. ermittelt
- bei Überhängen muss Gitter Supportfunktion übernehmen
 - ggf. Gradierung nötig (zusätzlicher Aufwand)



Zusammenfassung & Ausblick

„Leichtbaustempel“:

- Volumen von 398 cm³ auf 307 cm³ **(-23 %)**
- Fertigungszeit von 36 h auf 29 h **(-20 %)**
- Fertigungskosten **-21 %**



„Leichtbaumatrix“:

- von 1110 cm³ auf 726 cm³ **(-34 %)**
- von 90 h auf 61 h **(-32 %)**
- Fertigungskosten **-33 %**



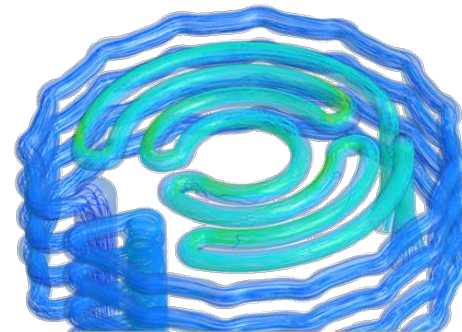
2017

19.10.2017 – SAVE THE DATE

Workshop „Potentiale generativer
Fertigung im Werkzeug- und Formenbau“

... Erfolgstories aus der Industrie

Veranstaltungsort:
Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU,
Nöthnitzer Straße 44, 01187 Dresden



 **Fraunhofer**
IWU

- Trends im Werkzeug- und Formenbau
- Beispiele industrieller Umsetzung
- Versuchsfeldführung im IWU

Ansprechpartner: Mathias Gebauer
Tel.: +49 351 4772-2151 / Mail: mathias.gebauer@iwu.fraunhofer.de

Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!



 **Fraunhofer**
IWU

Dipl.-Ing. (FH) Markus Oettel

»Generative Verfahren«

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und
Umformtechnik IWU

Noethnitzer Strasse 44 | 01187 Dresden
Telefon: + 49 (0) 3 51 / 47 72-21 29
Fax: + 49 (0) 3 51 / 47 72-23 03
E-Mail: markus.oettel@iwu.fraunhofer.de