
Generative Fertigung im Werkzeugbau – vom Kunststoffspritzguss bis zur Blechwarmumformung

Thomas Töppel, 18. Anwenderforum RPD, Stuttgart, 13. November 2013



INHALT

- Das Fraunhofer IWU
- Stand der Technik und Projektbeispiele
 - Kunststoff-Spritzgießen
 - Aluminium-Druckgießen
 - Blechwarmumformung (Presshärten)
- Zusammenfassung

Das Fraunhofer IWU

Standorte in Deutschland

- Gründung am 1. Juli 1991
- ca. 520 Mitarbeiter
- 34 Mio Euro Jahresetat
- Projektgruppe Augsburg seit 01/2009
- Projektgruppe Zittau seit 10/2011



Das Fraunhofer IWU Profil



Kompetenzfelder

Werkzeugmaschinen

Mechatronik

Funktionsleichtbau

Umformtechnologien

Spanende Technologien

Füge- und Montagetechnologien

Produktionsmanagement

im Verbund mit

- Technischer Universität Chemnitz
- Fraunhofer-Gesellschaft
- Maschinen-, insbesondere Werkzeugmaschinenbauern
- deutscher und internationaler Automobilindustrie
- Zulieferindustrie (Umformung, Zerspanung, Werkzeugbau)

Stand der Technik und Projektbeispiele

Kunststoff-Spritzgießen

Motivation

- zunehmend komplexere Bauteilgeometrien
 - steigende Anforderungen an Oberflächenqualität (z. B. hochglänzende Oberflächen)
 - Zykluszeit = kostenbestimmender Faktor
- ➔ Innovative Temperiersysteme mittels generativer Fertigung möglich

Stand der Technik und Projektbeispiele

Kunststoff-Spritzgießen

Projektbeispiel

- Besteckkorb
- Bauteildaten:
 - Wandstärke 1,1 mm
 - Länge 188 mm, Breite 116 mm, Höhe 143 mm
- Werkstoff
 - Bauteil: Polypropylen
 - Werkzeug: Werkzeugstahl 1.2343



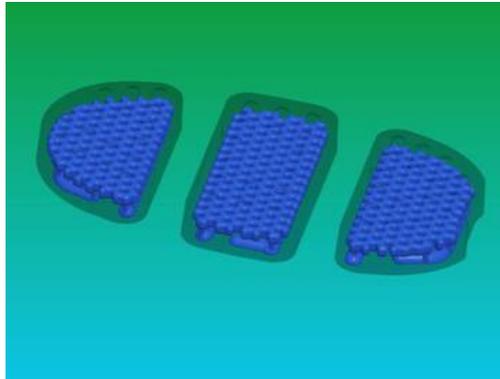
Auswahlkriterium	Bauteil-Einstufung		
Komplexität	niedrig	mittel	hoch
Platz für Kühlung	groß	mittel	eng
Qualitätsanforderungen	niedrig	mittel	hoch
Stückzahlen	niedrig	mittel	hoch
Produkt-Lebenszyklus	kurz	mittel	lang

(Mit freundlicher Genehmigung vom Institute for Advanced Tooling IAT der Stellenbosch University, Südafrika)

Stand der Technik und Projektbeispiele

Kunststoff-Spritzgießen

Generative Herstellung

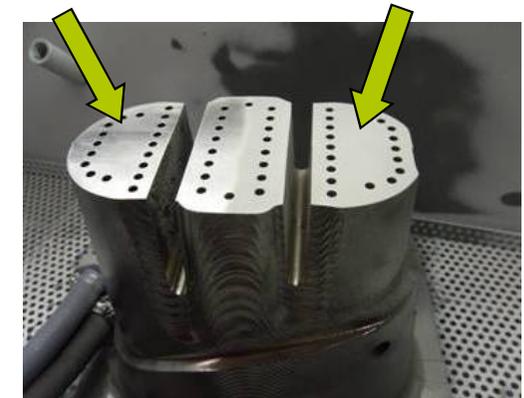


CAD-Modell der
Flächenkühlung

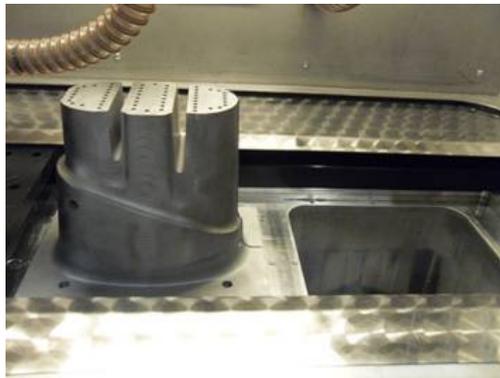


gefräster Grundkörper mit
Kühlbohrungen (vorgeschruppt)

1. geschliffen 2. gestrahlt



Vorbereitung der
Verbindungsfläche



Ausrichten und Fixieren in der
Strahlschmelzanlage



Strahlschmelzanlage vorbereitet
→ fertig für Bauprozess



Werkzeugeinsatz mit Flächen-
kühlung → fertig für die
Schlichtbearbeitung

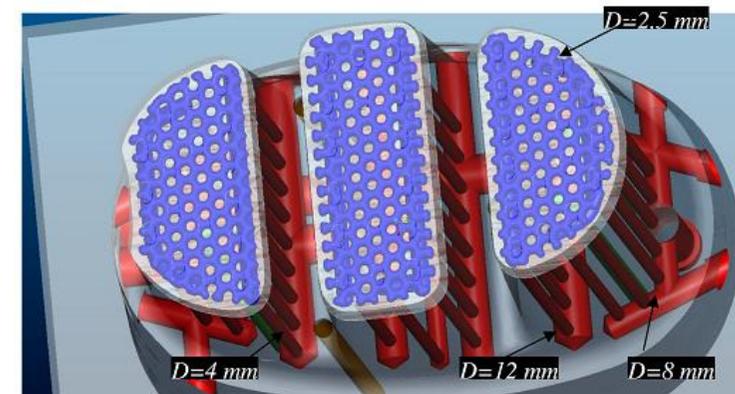
(Mit freundlicher Genehmigung vom Institute for Advanced Tooling IAT der Stellenbosch University, Südafrika)

Stand der Technik und Projektbeispiele

Kunststoff-Spritzgießen

Ergebnisse

- mit herkömmlichen Kühleinsatz 26 s
 - Öffnen und Schließen 6,0 s
 - Kühlzeit 12,0 s
 - Formfüllung 3,0 s
 - Nachdrücken 3,5 s
 - Auswerfen 1,5 s
- mit innovativer Flächenkühlung 18 s
 - Öffnen und Schließen 6,0 s
 - Kühlzeit 6,0 s
 - Formfüllung 2,0 s
 - Nachdrücken 2,5 s
 - Auswerfen 1,5 s



rot: konventionelle Kühlung,
blau: Flächenkühlung

➔ Reduzierung der Zykluszeit um 30,8 %

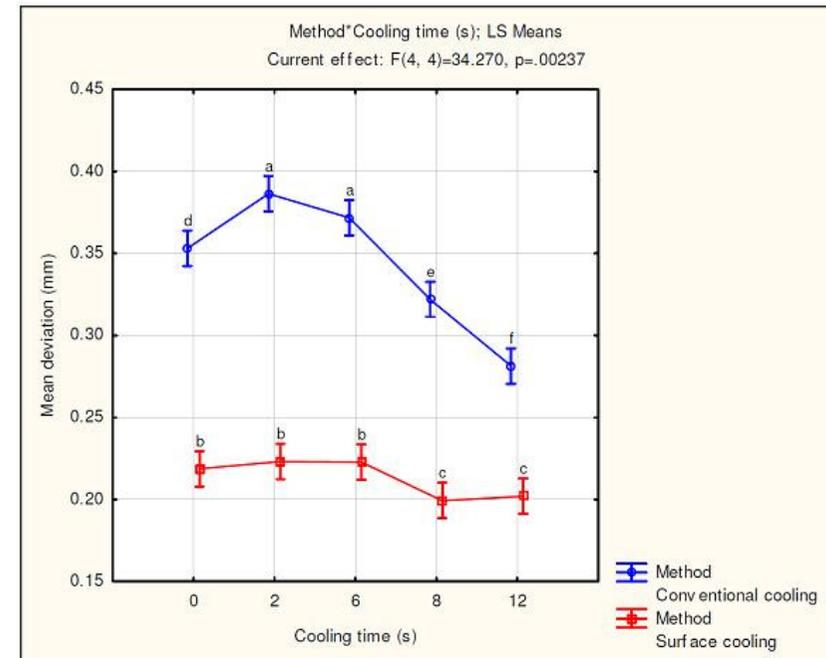
(Mit freundlicher Genehmigung vom Institute for Advanced Tooling IAT der Stellenbosch University, Südafrika)

Stand der Technik und Projektbeispiele

Kunststoff-Spritzgießen

Ergebnisse

- Reduzierung der Zykluszeit
- Erhöhung der Wärmeabfuhr
- schnelleres Erreichen stabiler Temperaturzustand
- gleichmäßigere Temperaturverteilung
- höhere Maßgenauigkeit der Bauteile



mittlere Abweichung der Formteile
(Vergleich: **herkömmlichen Kühlung** –
Flächenkühlung bei unterschiedlichen
Abkühlzeiten von 0, 2, 6, 8 und 12 s)

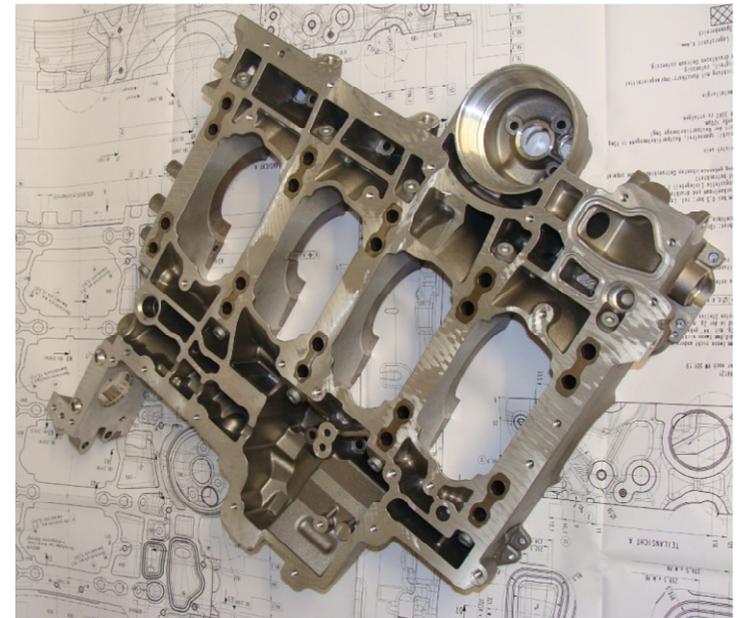
(Mit freundlicher Genehmigung vom Institute for Advanced Tooling IAT der Stellenbosch University, Südafrika)

Stand der Technik und Projektbeispiele

Aluminium-Druckgießen

Motivation

- innovative Motorenkonzepte bieten Potenzial für beträchtliche Verbesserungen der Performance und Effizienz
 - ➔ Hohe thermische und mechanische Lasten (speziell bei Powertrain-Komponenten)
 - ➔ Hochleistungs-Aluminiumgussteile mit hohen Qualitätsanforderungen
- Herstellung von komplexen Komponenten ist oft sehr schwierig
 - ➔ Gießfehler mindern die Qualität
 - ➔ Porosität (Lunker, Luft-/Gaseinschlüsse) sind oftmals Hauptfehler



Stand der Technik und Projektbeispiele

Aluminium-Druckgießen

Porosität

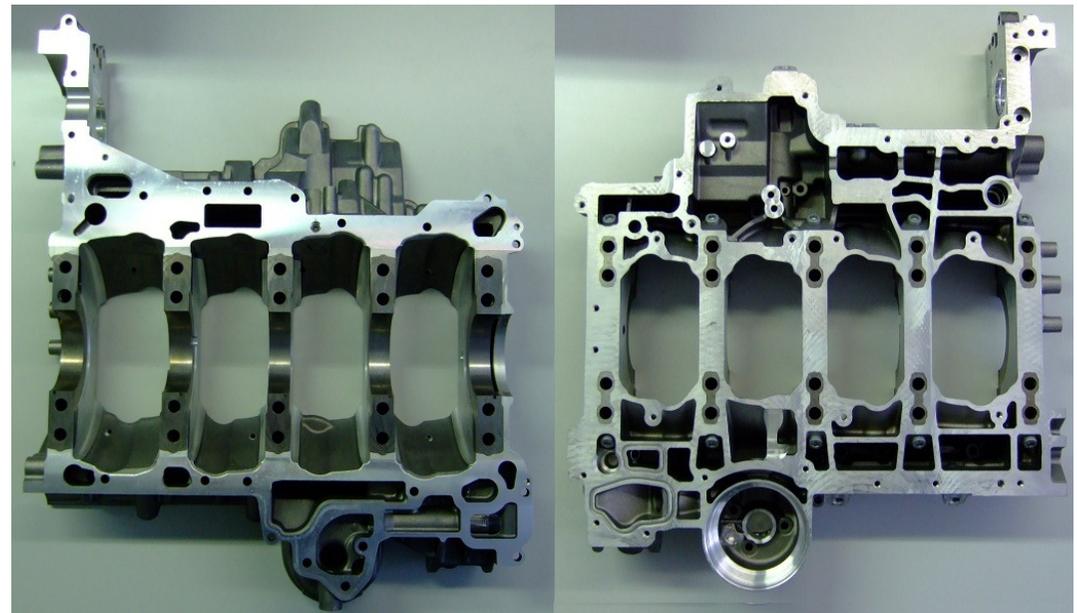
- schrumpfungsbedigte Porosität
 - Ergebnis der thermo-physikalischen Eigenschaften, welche während der Erstarrung des Materials auftritt
 - Entstehung eines Volumendefizits
- Gasporosität
 - Gaseinschlüsse aufgrund strömungstechnischer Ursachen
 - Gasauscheidungen aufgrund thermo-dynamischer Ursachen während des Erstarrungsprozesses
- ➔ **Lokale Temperatursteuerung**
 - ➔ Große Bemühungen im konventionellen Formenbau, jedoch starke Einschränkungen vorhanden

Stand der Technik und Projektbeispiele

Aluminium-Druckgießen

Projektbeispiel

- Hochkomplexes Aluminiumdruckussbauteil für OEM im Premium-Segment
- Lagertraverse für 4,0l-V8-TFSI Motor
- Substitution aus Kokillenguss
- EN AC-AI Si9Cu3 (Fe)
- eingegossene Kurbelwellenlagerdeckel aus Sphäroguss
- 35.000 Stück/Jahr
- 5 Jahre Projektlaufzeit
- ➔ 45 % Ausfall über Prozesskette

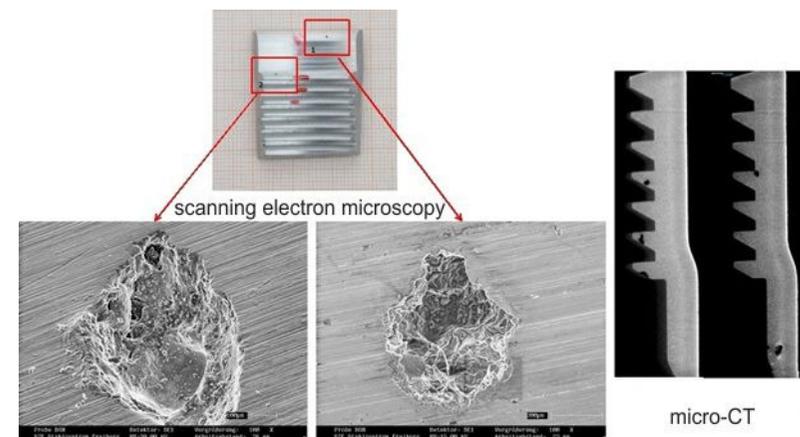


Stand der Technik und Projektbeispiele

Aluminium-Druckgießen

Ausgangssituation zu Projektbeginn

- fortlaufende Prozessanalyse und Maßnahmen zur Verbesserung der Bauteilqualität
- Verbesserung des Thermomanagements sowie Anpassung der Prozessparameter führte zu einer Reduktion der Defekte im Bauteil (lokale Schwachstellen, Einfallstellen, Kaltlauf, Warmrisse)
- ➔ verbleibende kritische Porosität im Bereich des Ölfiltertopfes

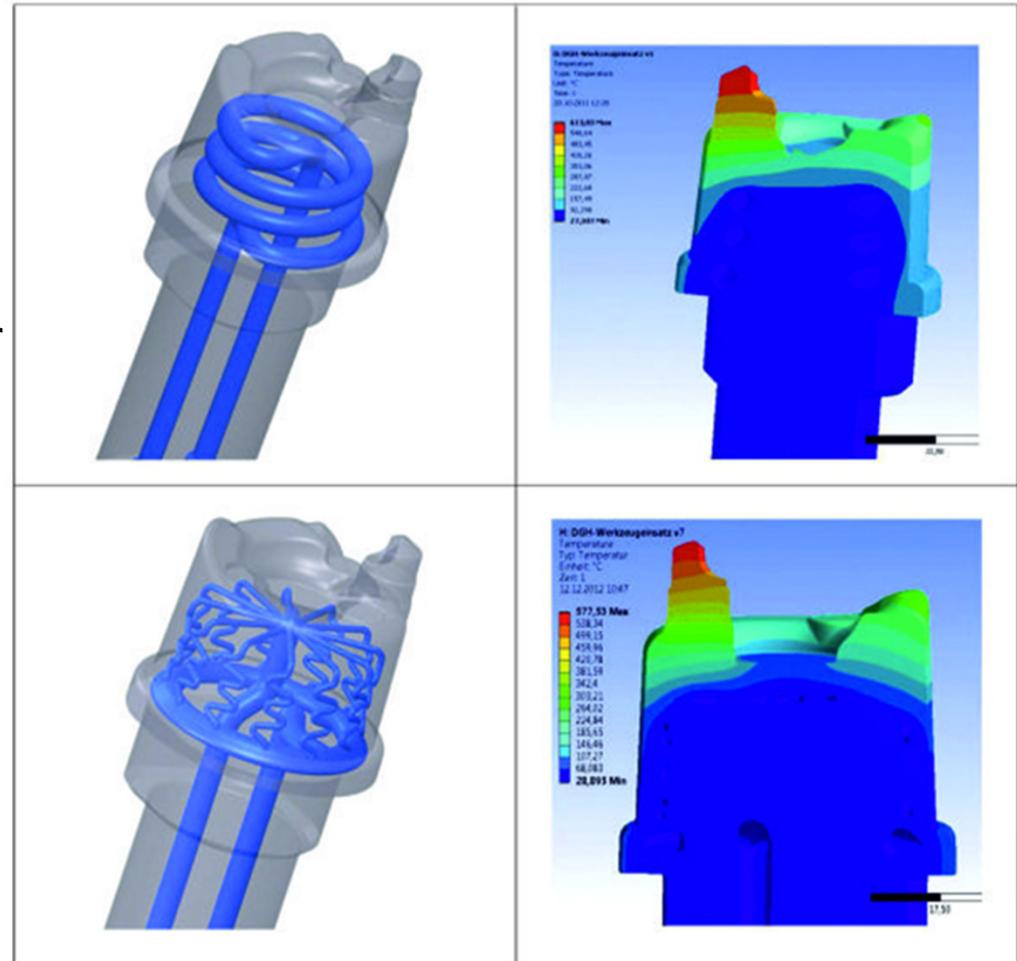


Stand der Technik und Projektbeispiele

Aluminium-Druckgießen

Lösungsweg

- Werkzeugeinsätze mit kontur-nahmen Kühlsystem
- Nutzung thermische und mechanische FE-Simulationen zur Auslegung der Werkzeugkühlung
 - Abstand zur WZ-Oberfläche
 - Bewertung verschiedene Kühlvarianten (serielle Kühlung, Parallelkühlung)



Stand der Technik und Projektbeispiele

Aluminium-Druckgießen

Gießversuche und Ergebnisse

- Anwendung in der Serienproduktion
- Nutzung einer Temperiereinheit in der Kühlwasseraufbereitung
- lediglich 10 K Temperaturunterschied verbleibend im gesamten Gießprozess
- Röntgenauswertungen zeigten signifikante Verbesserungen der schrumpfungsbedingten und Gasporosität (Ausschussrate um 10 % gesunken)
- Steigerung der Prozessstabilität und Reduktion der Zykluszeit um 3 %
- Langzeitversuche noch nicht abgeschlossen



Stand der Technik und Projektbeispiele

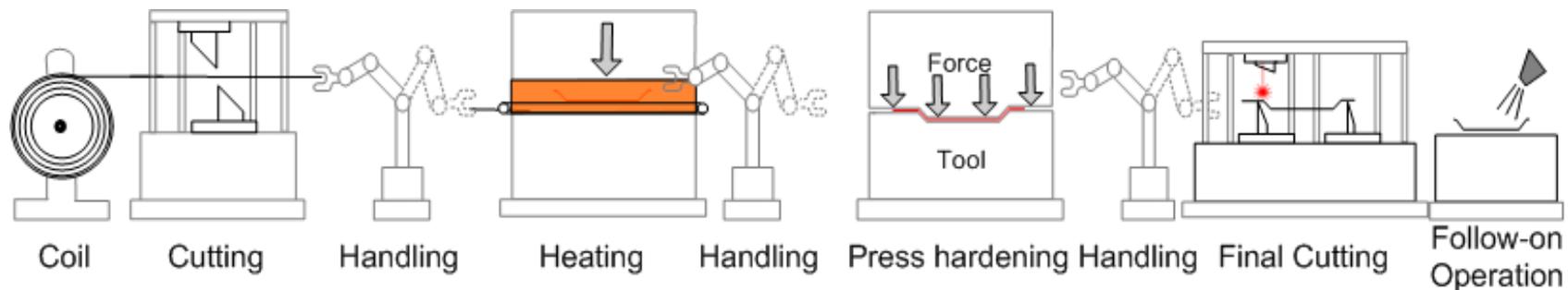
Blechwarmumformung (Presshärten)



Stand der Technik

- Blech wird oberhalb der Rekristallisationstemperatur (ca. **950 °C**) erhitzt und anschließend während des Umformprozesses rasch auf ca. **180 °C** abgekühlt
- Ausbildung einer hochfesten **martensitischen Gefügestruktur**
 - 22MnB5: $R_{p0,2} = 950 - 1.250 \text{ MPa}$, $R_m = 1.300 - 1.650 \text{ MPa}$, $A_5 = 6 \%$,
Härte = 400 - 520 HV 10

Direct press hardening



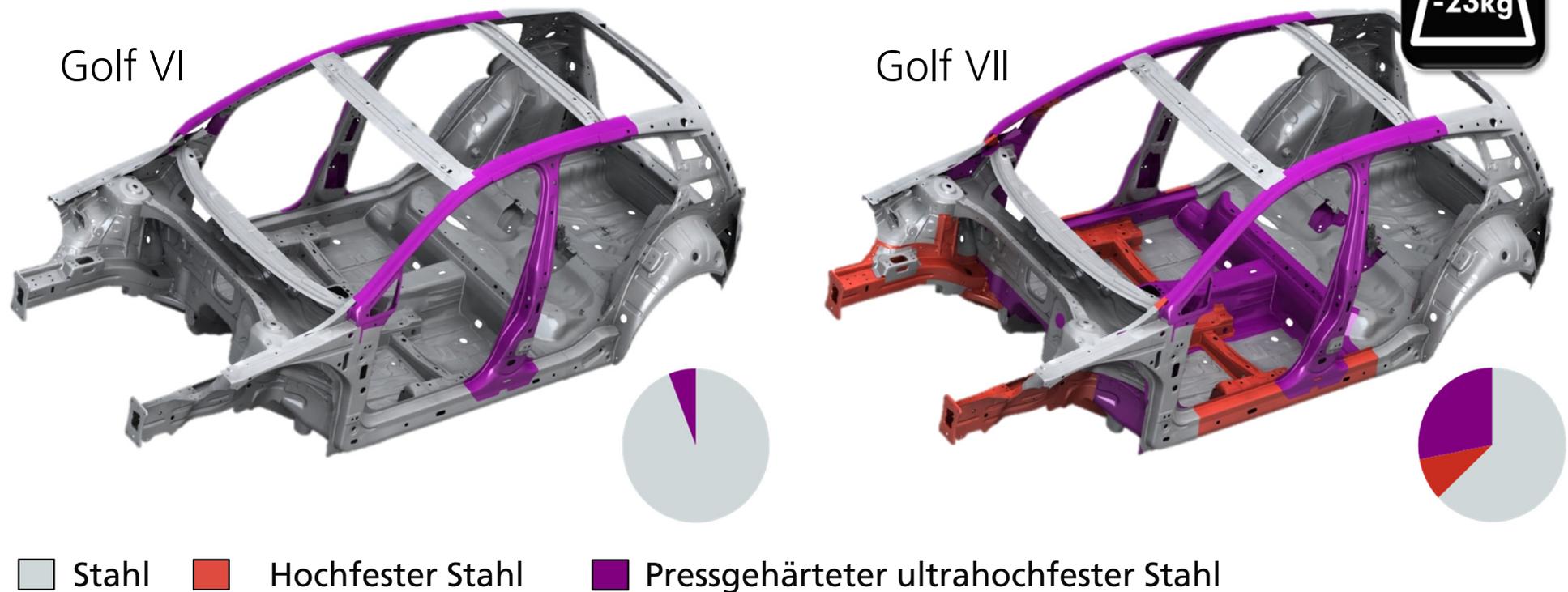
Typische Prozesskette beim Presshärten

Stand der Technik und Projektbeispiele

Blechwarmumformung (Presshärten)

Motivation

- Blechstärkenreduktion und damit Gewichtsreduzierung bei gleichbleibenden Festigkeitseigenschaften



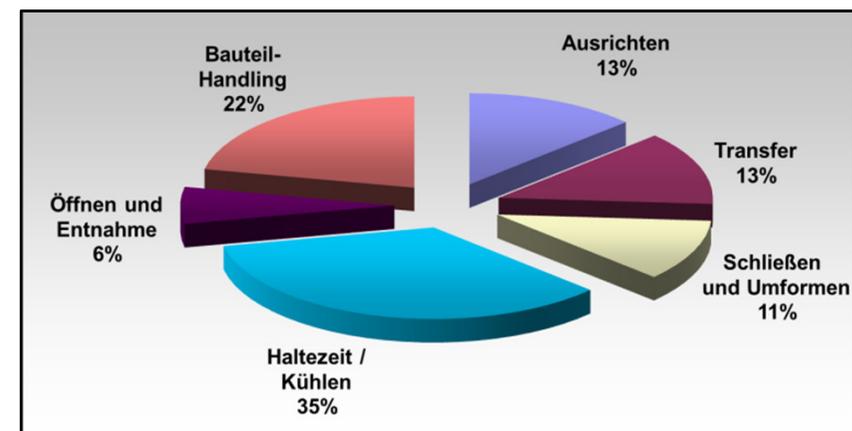
Stand der Technik und Projektbeispiele

Blechwarmumformung (Presshärten)

Motivation

- Zykluszeit im Presshärtprozess zu über 30 % durch die Bauteilabkühlung (Haltezeit) bestimmt
- hoher Energieeinsatz für die Temperiermedien (Kühlen/Heizen) und Pressentechnik (Zuhaltezeiten) aufgrund relativ langer Zykluszeiten
- aktuell ist die gezielte Temperierung bestimmter Bereiche konform zur Werkzeugkontur nur sehr aufwändig und mit Einschränkungen realisierbar

Exemplarische Zusammensetzung der Zykluszeit beim Presshärten

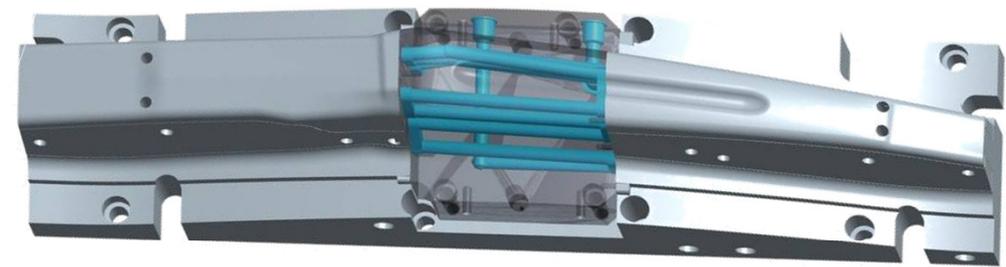
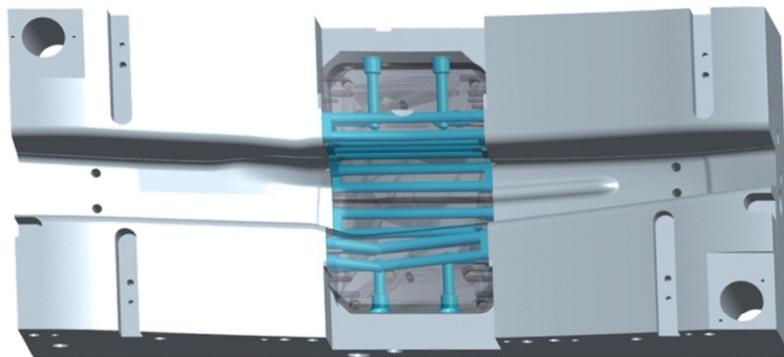
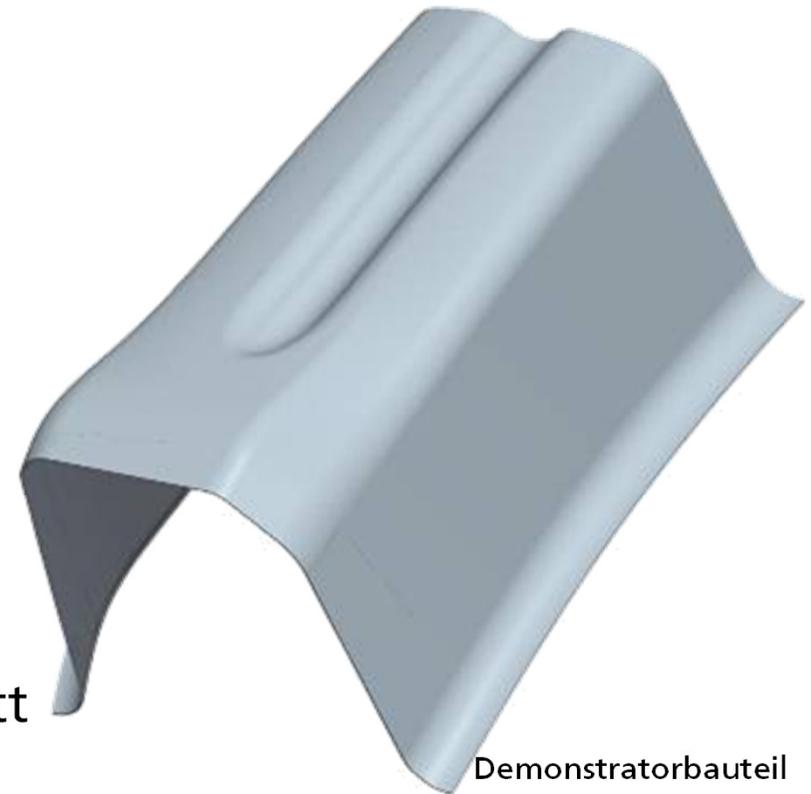


Stand der Technik und Projektbeispiele

Blechwarmumformung (Presshärten)

Projektbeispiel

- Bauteilgeometrie ähnlich der eines Serien-Presshärtbauteils
- geschwungene Freiformflächen
→ schwierig, eine gleichmäßige Kühlung mit konventionell tieflochgebohrten Kühlsystem zu erzielen
- hoher Umformgrad in einem Umformschritt

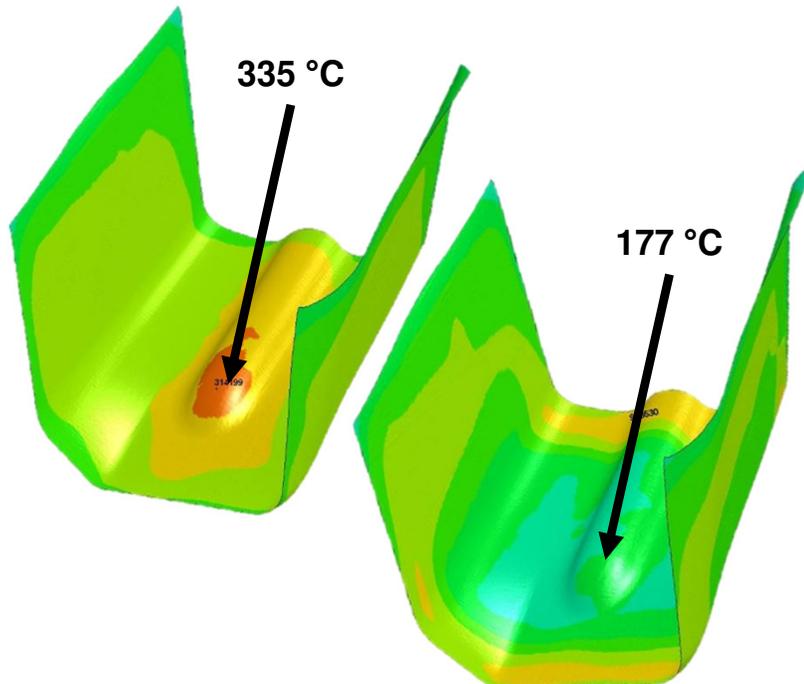


Werkzeug (Matrize und Stempel) mit konventionellem Kühlsystem

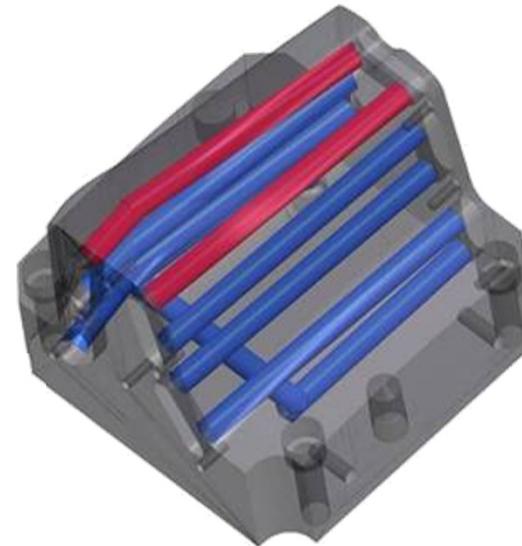
Stand der Technik und Projektbeispiele

Blechwarmumformung (Presshärten)

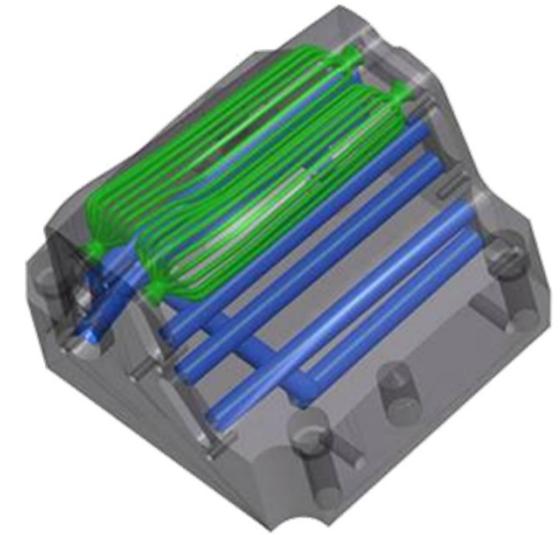
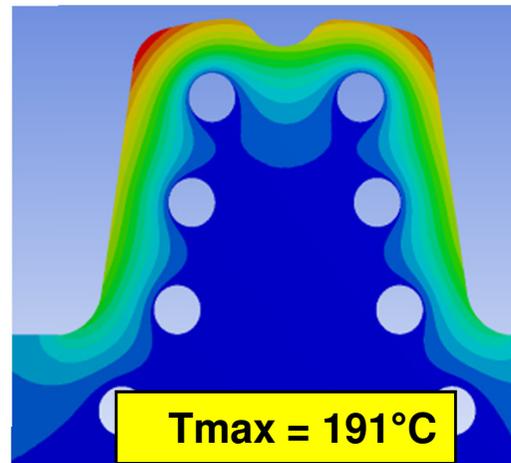
- Auslegung des Werkzeugs mittels FE-Simulation



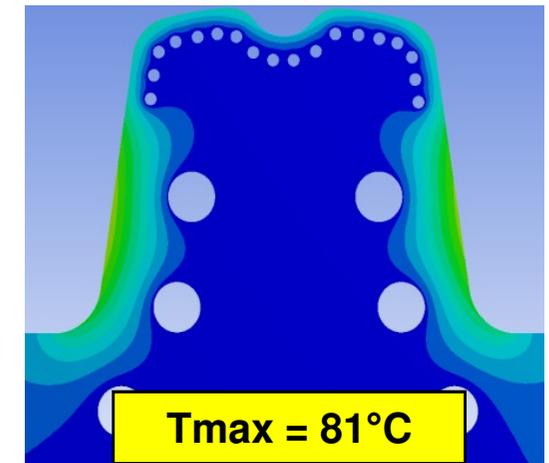
li.: Bauteil hergestellt mit konventionellem Kühlsystem
 re.: Bauteil hergestellt mit konturnahem Kühlsystem



Werkzeug mit konventionell tieflochgebohrten Kühlkanälen (Ø 16 mm)



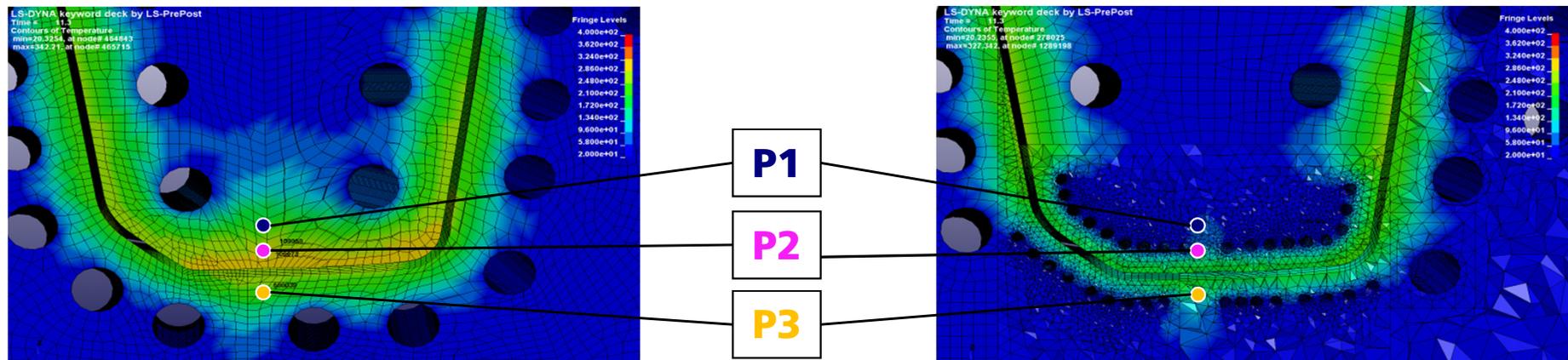
Werkzeug mit konturnahen Kühlkanälen (Ø 4 mm)



Stand der Technik und Projektbeispiele

Blechwarmumformung (Presshärten)

- Simulationsergebnisse zeigen
 - geringere Temperaturen und gleichmäßigere Verteilung im Werkzeug
 - eingeschwungener Temperaturzustand bereits nach vier Zyklen erreicht
 - schnellere und höhere Abkühlung des Bauteils
 - Reduktion der Haltezeit um 47 % → Gesamt-Zykluszeit um 22 %

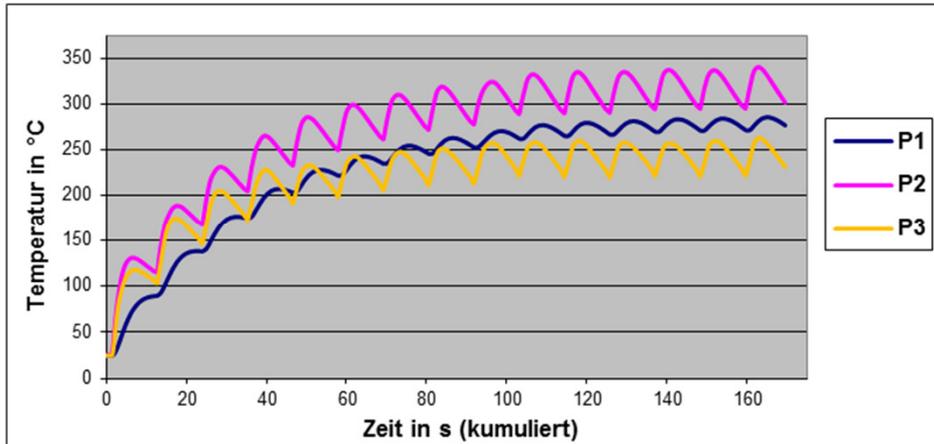


Temperaturverteilung im Werkzeug mit tieflochgebohrten Kühlkanälen

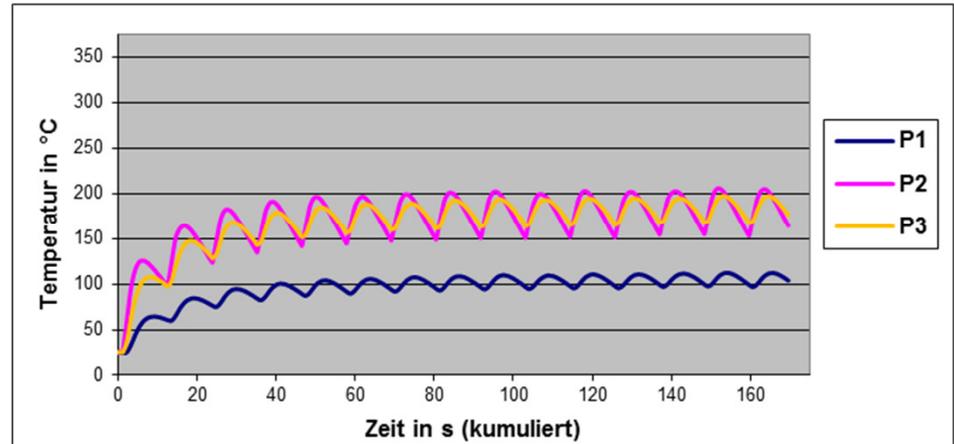
Temperaturverteilung im Werkzeug mit konturnahen Kühlkanälen

Stand der Technik und Projektbeispiele

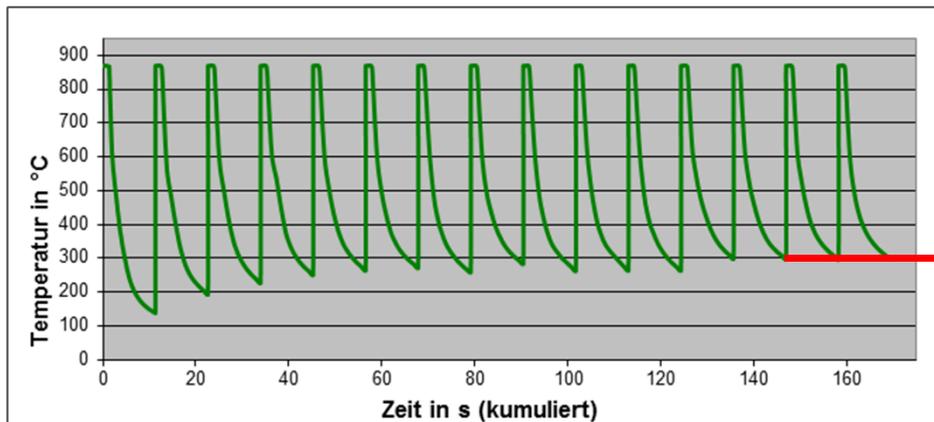
Blechwarmumformung (Presshärten)



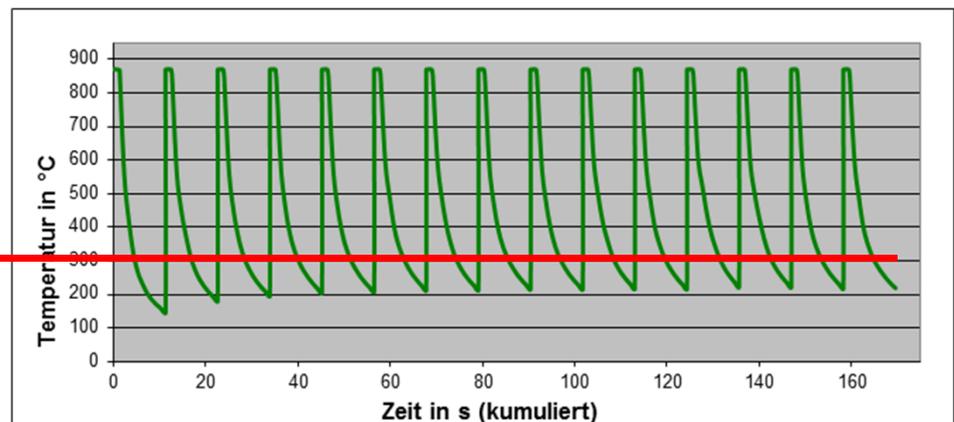
Werkzeugtemperatur mit konventioneller Kühlung (15 Zyklen)



Werkzeugtemperatur mit konturnaher Kühlung (15 Zyklen)



Bauteiltemperatur mit konventioneller Kühlung (15 Zyklen)

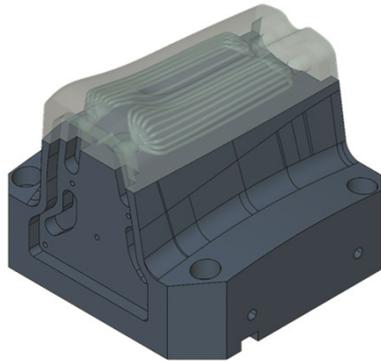


Bauteiltemperatur mit konturnaher Kühlung (15 Zyklen)

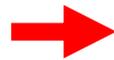
Stand der Technik und Projektbeispiele

Blechwarmumformung (Presshärten)

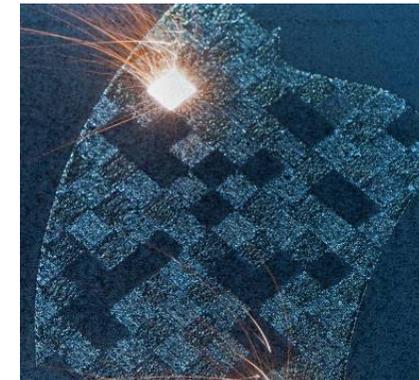
Generative Herstellung der Werkzeuge mittels Laserstrahlschmelzen



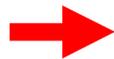
3D-Modell des Stempels mit konturnahem Kühlsystem



gefräster Grundkörper in der Laserstrahlschmelzanlage (Material - 1.2367)



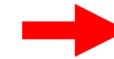
Laserstrahlschmelzen (Material - 1.2709)



laserstrahlgeschmolzener Werkzeugeinsatz



endbearbeiteter Werkzeugeinsatz

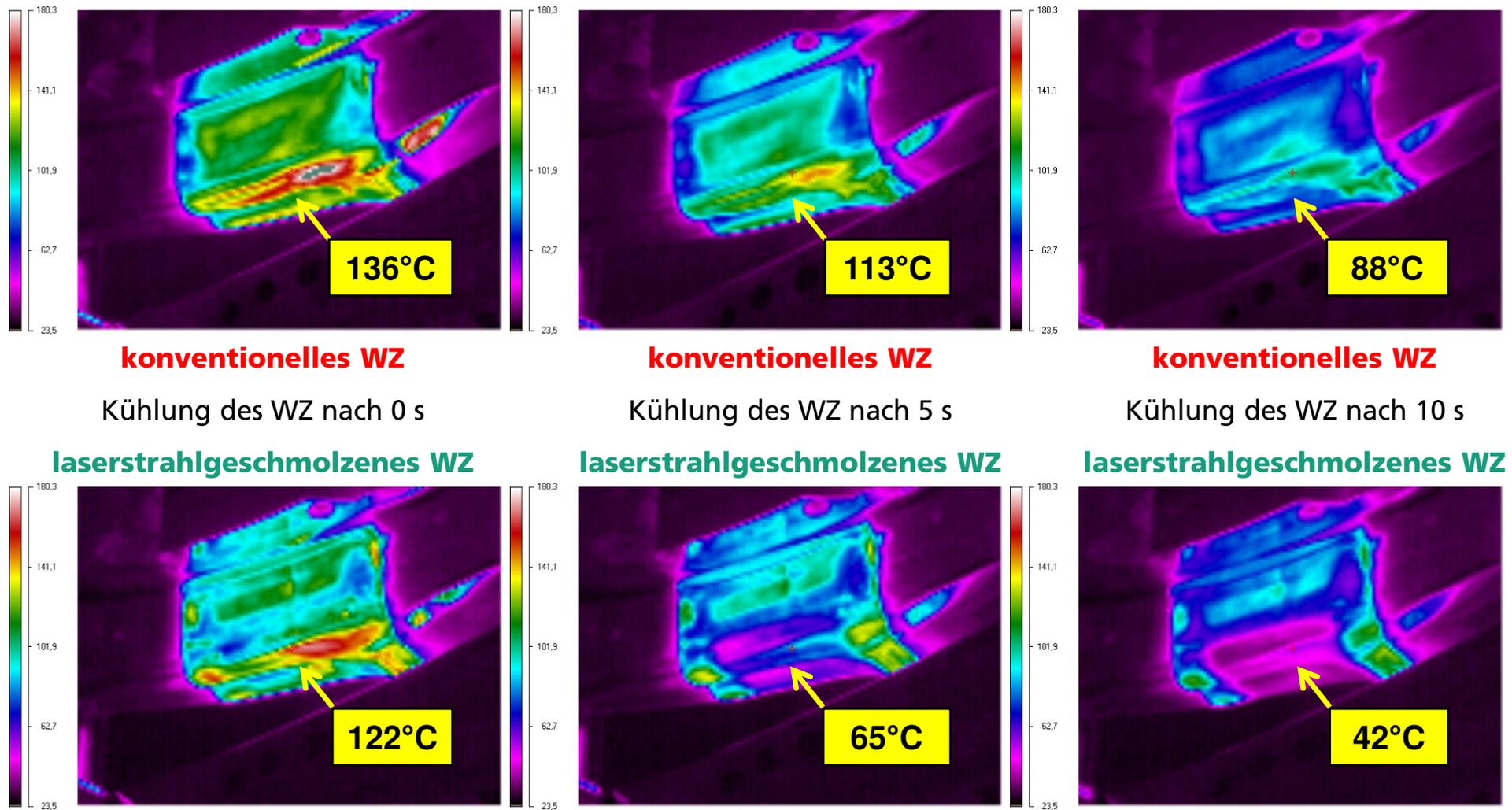


Werkzeugeinsatz montiert im Gesamtwerkzeug

Stand der Technik und Projektbeispiele

Blechwarmumformung (Presshärten)

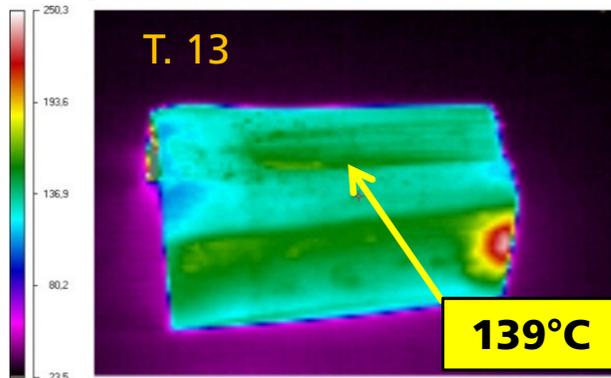
Ergebnisse der Umformversuche



Stand der Technik und Projektbeispiele

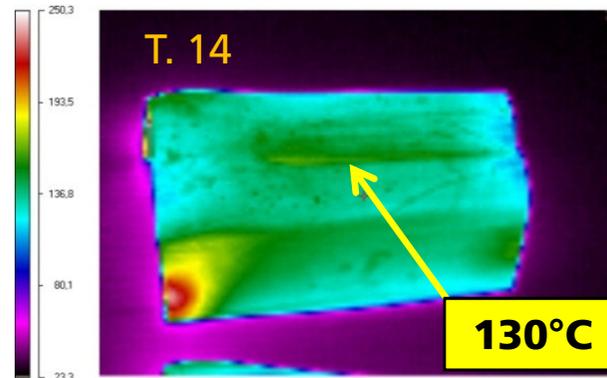
Blechwarmumformung (Presshärten)

Ergebnisse der Umformversuche



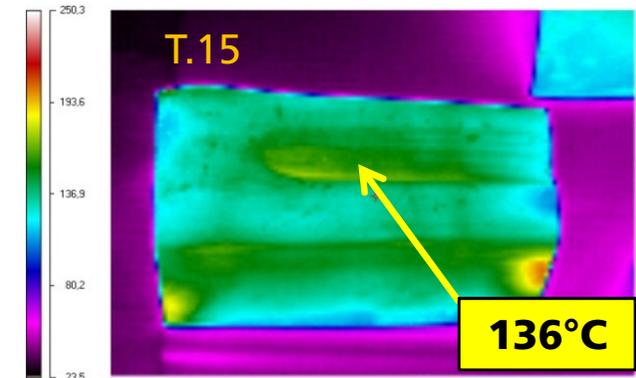
konventionell hergestelltes Bauteil

10 s Haltezeit bei 10 l/min
Bauteil gefertigt mit
laserstrahlgeschmolzenen WZ



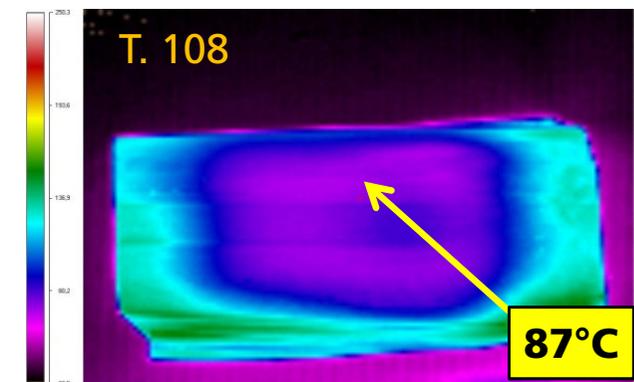
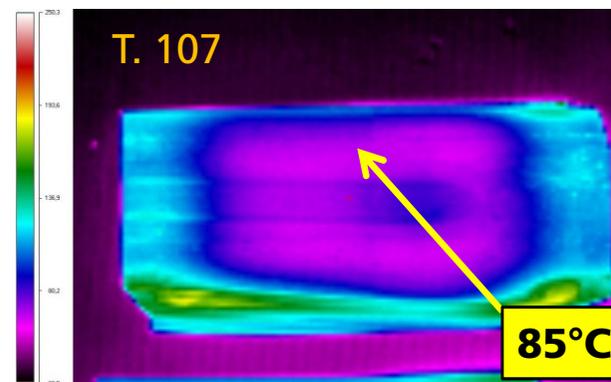
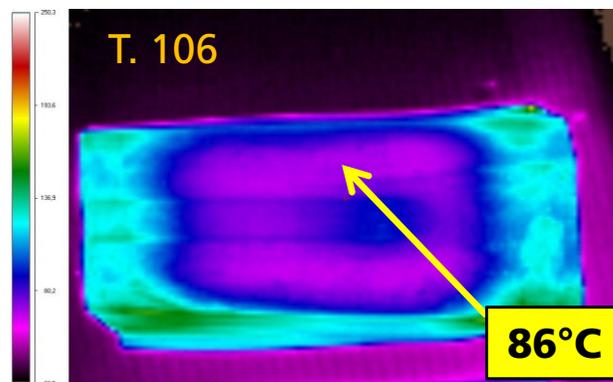
konventionell hergestelltes Bauteil

10 s Haltezeit bei 10 l/min
Bauteil gefertigt mit
laserstrahlgeschmolzenen WZ



konventionell hergestelltes Bauteil

10 s Haltezeit bei 10 l/min
Bauteil gefertigt mit
laserstrahlgeschmolzenen WZ



Zusammenfassung

- Laserstrahlschmelzen ist eine geeignete Technologie zur Herstellung hochgradig komplexer Formen und Werkzeuge, die mittels konventionellen Fertigungsverfahren nicht herstellbar sind
- Laserstrahlschmelzen eröffnet neue Möglichkeiten in der Bauteil- und Werkzeugauslegung durch verbesserte Kühlsysteme
- Verbesserte Temperaturverteilung im Werkzeug und Bauteil durch konturnahe Kühlsysteme
- Zykluszeitverkürzung
- Verbesserung der Bauteilqualität
- Steigerung der Ressourceneffizienz

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



 **Fraunhofer**
IWU

Thomas Töppel
Dipl.-Wi.-Ing. (FH)

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Generative Fertigungsverfahren
Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen
und Umformtechnik IWU

Nöthnitzer Strasse 44 | 01187 Dresden
Telefon +49 351 4772-2152 | Fax -2303
thomas.toeppel@iwu.fraunhofer.de
www.iwu.fraunhofer.de